#### UNIVERSIDAD DE GRANADA



FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

# EFECTO DEL ENTRENAMIENTO FUNCIONAL DE LA FUERZA EN LA MUSCULATURA ISQUIOTIBIAL EN JUGADORES DE FÚTBOL

**ANTONIO JESÚS SÁNCHEZ SÁNCHEZ** 

PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOMEDICINA

**Editor:** Universidad de Granada. Tesis Doctorales

Autor: Antonio Jesús Sánchez Sánchez

**ISBN:** 978-84-1117-144-1

**URI:** <a href="http://hdl.handle.net/10481/71765">http://hdl.handle.net/10481/71765</a>



Universidad de Granada

Facultad de Ciencias del Deporte

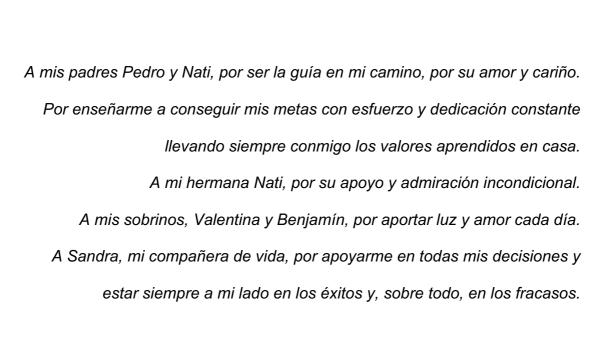
Departamento de Educación Física y Deportiva

Programa de Doctorado en Biomedicina

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

Antonio Jesús Sánchez Sánchez

## **Dedicatoria**



## **Agradecimientos**

#### **Agradecimientos**

- A Luis Javier Chirosa e Ignacio Chirosa por darme la oportunidad de poder formar parte de su grupo de investigación. Gracias por motivarme, ayudarme y guiarme en cada uno de mis pasos, con la sencillez y humildad que os caracteriza.
- A Dani y a Agustín, mis compañeros de batalla, por su implicación y entrega desinteresada. Gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado en este camino.
- A la Universidad de Granada, por aceptarme en el programa de Doctorado,
   especialmente a todos los miembros del grupo IDAFISAD CTS 642.
- A toda mi familia y amigos por apoyarme siempre en todas mis decisiones.
   Especialmente a mi prima Nati, contigo empezó todo.

## Índice

#### **Índice de Contenidos**

1 Índice de Tablas	4
2 Índice de Figuras	6
3 Listado de Abreviaturas	9
4 Danasana	44
4 Resumen	11
5 Abstract of the Thesis	14
6 Introducción	17
7 Marco Conceptual	22
7.1 Anatomía	22
7.2 Incidencia Lesional	23
7.3 Mecanismo Lesional	26
7.4 Factores de Riesgo	30
7.4.1 Factores no modificables	30
7.4.2 Factores modificables	32
7.4.2.1 La fatiga	32
7.4.2.2 La coordinación inter e intra muscular	34
7.4.2.3 La fuerza	36
7.4.2.4 La flexibilidad	38
7.5 Demandas Físicas de la Competición	39
7.6 Programas de Entrenamiento Enfocados a la Prevención de	
Lesiones y Optimización de la Musculatura Isquiosural	42
7.7 Valoración de la Activación de la Musculatura Isquiosural	45
7.7.1 Comportamiento electromiográfico de la musculatura isquiosural	45
7.7.2 Imágenes de Resonancia Magnética Funcional (IRMf) de la	40
musculatura isquiosural 7.8 Selección de Ejercicios de la Musculatura Isquiosural	48
7.9 Valoración de la Fuerza en la Musculatura Isquiosural	48 52
7.5 Valoración de la 1 derza en la Musculatura isquiosural	52
8 Aproximación al Problema de Investigación	55
9 Objetivo General	57

Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios Controlados Aleatorizados				
9.1.1 Objetivos específicos	57			
9.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE) en Jugadores de Fútbol Utilizando un Dinamómetro				
Electromecánico Funcional				
9.2.1 Objetivos específicos	58			
9.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura	58			
Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de				
Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)	58			
9.3.1 Objetivos específicos	58			
10 Hipótesis	59			
10.1 Estudio I: Efectividad del Entrenamiento de la Musculatura				
Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios				
Controlados Aleatorizados	59			
10.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Excentric Hamstring Exercise				
(SEHE) en Jugadores de Fútbol Utilizando un Dinamómetro				
Electromecánico Funcional	59			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura	59			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de				
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura	59 60			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de				
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación	61			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación	60			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación	60 61			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación 11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes	60 61 62			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación  11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión	60 61 62 62			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos	60 61 62 62 63 63 63			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I	60 61 62 62 63 63 63 64			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación 11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica	60 61 62 63 63 63 64 64			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis	60 61 62 62 63 63 63 64 64 64			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.2.3 Extracción de datos	60 61 62 63 63 63 64 64 66			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II	60 61 62 63 63 63 64 64 66 66			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación  11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación	60 61 62 62 63 63 64 64 66 66 67 67			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación 11.2.3.2 Sujetos	60 61 62 62 63 63 64 64 66 66 67 67			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación 11.2.3.2 Sujetos 11.2.3.3 Procedimiento	60 61 62 63 63 63 64 64 66 67 67 67 67			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.2 Análisis 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación 11.2.3.2 Sujetos	60 61 62 62 63 63 64 64 66 66 67 67			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación 11.2.3.2 Sujetos 11.2.3.3 Procedimiento 11.2.3.4 Variables de la investigación	60 61 62 62 63 63 64 64 66 67 67 67 68 72			
10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Excentric Hamstring Exercise (SEHE)  11 Metodología de la Investigación  11.1 Diseño de la Investigación 11.1.1 Participantes 11.1.1.1 Criterios de inclusión 11.1.2 Criterios de exclusión 11.2 Material y Métodos 11.2.1 Procedimientos 11.2.2 Estudio I 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica 11.2.2.3 Extracción de datos 11.2.3 Estudio II 11.2.3.1 Diseño de la investigación 11.2.3.2 Sujetos 11.2.3.3 Procedimiento 11.2.3.4 Variables de la investigación 11.2.4 Estudio III	60 61 62 62 63 63 63 64 64 66 67 67 67 67 68 72 73			

## Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

11.2.4.4 Test de sprint	74
11.2.4.5 Test de Bosco	75
11.3 Análisis Estadístico	76
11.3.1 Estudio I	76
11.3.2 Estudio II	77
11.3.3 Estudio III	77
12 Resultados	79
42.4 Fatudia I	70
12.1 Estudio I	<b>79</b>
12.1.1 Resultado de búsqueda 12.1.2 Incidencia de lesiones	79 84
12.1.3 Par máximo excéntrico isquiosural	85
12.1.4 Par máximo concéntrico isquiosural	85
12.1.5 Par máximo concéntrico del cuádriceps	86
12.1.6 Ratio isquiosural/ cuádriceps concéntrico	87
12.1.7 Ratio isquiosural excéntrico/ cuádriceps concéntrico	88
12.1.8 Tiempo de sprint de 10 metros	89
12.1.9 Salto vertical con contramovimiento	89
12.2 Estudio II	91
12.3 Estudio III	93
13 Discusión	96
13.1 Estudio I	96
13.1.1 Incidencia lesional	97
13.1.2 Fuerza y ratio H:Q	99
13.1.3 Rendimiento del tiempo de sprint y del salto vertical con	
contramovimiento (CMJ)	100
13.2 Estudio II	101
13.3 Estudio III	105
14 Conclusiones	108
15 Limitaciones	110
16 Futuras Líneas de Investigación	111
17 Bibliografía	112

## Índice de Tablas

#### 1 Índice de Tablas

Tabla 1 Origen, Inserción y Función de las Musculatura Isquiosural	
•	23
Tabla 2 Número de Lesiones y Días de Baja por Lesión según la Tipología	24
Tabla 3 Número de Lesiones y Días de Baja por Lesión según la Localización	24
Tabla 4 Variables de Factores de Riesgo No Modificables	31
Tabla 5 Desequilibrios de Fuerza y Frecuencia Lesional	37
Tabla 6 Diseño del Estudio y Características de los Participantes	61
Tabla 7 Resumen de la Agrupación de Palabras Clave Empleada durante las Búsquedas en las Bases de Datos	65
Tabla 8 Calidad Metodológica del Estudio según la Escala PEDro	66
Tabla 9 Variables de Investigación Independientes y Dependientes	72
Tabla 10 Características de los Estudios Seleccionados para el Meta-análisis	81

Tabla 11 Características Descriptivas de los Participantes del Estudio II	
	91
Tabla 12 Fiabilidad del DEMF Utilizando Diferentes Velocidades de Ejecución durante el SEHE	
	92
Tabla 13 Características Descriptivas de los Sujetos del Estudio III	
	93
Tabla 14 Características Descriptivas de Fuerza Media y Pico, Sprint y Salto	
opinit y cano	94
Tabla 15 Coeficiente de Correlación de Pearson entre la Fuerza Pico Excéntrica y el Tiempo Medio y Pico del Sprint	94
Tabla 16 Coeficiente de Correlación de Pearson entre la Fuerza Pico Excéntrica, la Altura y el RSI del CMJ (n=20)	95
Tabla 17 Coeficiente de Correlación de Pearson entre la Fuerza Pico Excéntrica, la Altura y el RSI del SJ (n=20)	95

## Índice de Figuras

#### 2 Índice de Figuras

Figura 1 Activación de la Musculatura Isquiosural durante el Ciclo de Carrera	
	27
Figura 2 (a) Control frente a (b) Lesión: Plano Sagital Ángulo de la Pelvis en la Fase de Balanceo Frontal Tardío	
	29
Figura 3 (c) Control fente a (d) Lesión: Plano Coronal Ángulo Pelvis - Tórax en la Fase de Balanceo Frontal Tardío	
	29
Figura 4 Relaciones Convencionales, Funcionales, Isométricas y Tasa de Desarrollo de la Fuerza después de un Ejercicio Exhaustivo Específico de Fútbol en el Laboratorio	
	22
	32
Figura 5 Magnitud de la Actividad Muscular Metabólica en los Vientres Musculares Separados (BF, bíceps femoral; ST, semitendinoso; SM, semimembranoso)	
	35
Figura 6 Evolución de las Demandas Físicas en Competición	
	40
Figura 7 Magnitud de los Cambios Pre-Post en el Rendimiento de la Aceleración del Sprint y en los Rendimientos Mecánicos	
	45

Figura 8 Magnitud de la Activación Muscular del Bíceps Femoral durante la Realización de Ejercicios de Fuerza de la Musculatura Isquiosural	
	47
Figura 9 Selección de Ejercicios en Función de la Magnitud de la Activación Muscular de la Cabeza Larga del Bíceps Femoral y del Semitendinoso	
	<u>51</u>
Figura 10 Clasificación de los Dispositivos Isocinéticos Multiarticulares	
	53
Figura 11 Flujograma del Calentamiento durante las Semanas de Familiarización y Test	<b>CO</b>
	69
Figura 12 Protocolo del Swing Eccetrinc Hamstring Exercise	71
Figura 13 Representación de la Prueba de Sprint con las Fotocélulas	
	74
Figura 14 Realización del CMJ y el SJ mediante el Instrumento OptoJump	
•	76
Figura 15 Diagrama de Flujo a través de las Estrategias de Búsqueda Bibliográfica	
	80

Figura 16 Incidencia Lesional	
	85
Figura 17 Par Máximo Excéntrico y Concéntrico del Isquiosural	
<u> </u>	86
Figura 18 Par Máximo Concéntrico del Cuádriceps	
	87
Figura 19 Ratio Isquiosural/ Cuádriceps Concéntrico e Isquiosural Excéntrico/ Cuádriceps Concéntrico	
	88
Figura 20 Tiempo de Sprint 10 metros	
	89
Figura 21 Salto Vertical con Contramovimiento	
	90

## Listado de Abreviaturas

#### 3 Listado de Abreviaturas

Hecc: Qcon Ratio Isquiosural Excéntrico: Cuádriceps Concéntrico

NHE Nordic Hamstring Exercise

- AID Dinamómetros isocinéticos angulares

SEHE Swing Eccentric Hamstring Exercise

- DEMF Dinamómetro electromecánico funcional

- CMJ Salto con contramovimiento

- SJ Squat Jump

- CMJ Dom Salto con contramovimiento pierna dominante

- CMJ No Dom Salto con contramovimiento pierna no dominante

- SH Salto Horizontal

- RSI índice de fuerza reactiva

EMG Electromiografía

BF Bíceps femoral

- BFlh Cabeza larga del bíceps femoral

- BFsh Cabeza corta del bíceps femoral

- ST Semitendinoso

- SM Semimembranoso

- AV Alta velocidad

- SP Sprint

- IRMf Imagen de resonancia magnética funcional

CVM Contracción voluntaria máxima

MID Dinamómetros isocinéticos multiarticulares

ECA Estudios controlados aleatorizados

- Hcon-Qcon Ratio isquiosural/cuádriceps concéntrico

### Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

- ES Tamaño del efecto

DE Desviación estándar

SEM Error estándar de medición

- CV Coeficiente de variación

ICC Coeficiente de correlación intraclase

- EG Grupo experimental

- CG Grupo control

- FP Fuerza Pico

- RSI Índice de fuerza reactiva

## Resumen de la Tesis

### 4 Resumen

Introducción: Las lesiones de la musculatura isquiosural son un grave problema para los jugadores de fútbol y sus clubes, ya que constituyen más de un tercio de todas las lesiones. Aunque el trasfondo de las lesiones de la musculatura isquiosural suele ser de carácter multifactorial, los programas de prevención y optimización se centran comúnmente en el déficits de fuerza excéntrica de los isquiosurales y la relación fuerza Isquiosural Excéntrico: Cuádriceps Concéntrico (del inglés Hecc:Qcon). En este contexto, el ejercicio más utilizado dentro de los programas de entrenamiento es el Nordic Hamstring Exercise (NHE), aunque presenta varias limitaciones a nivel funcional, desde el punto de vista anatómico (solo se centra en la articulación de la rodilla) y fisiológico (es un ejercicio muy demandante). Del mismo modo ocurre con los dinamómetros isocinéticos angulares (AID), ya que son los más utilizados para evaluar los diferentes tipos de contracciones musculares, pero carecen de utilidad práctica en comparación con otros dispositivos. Debido a que la musculatura isquiosural es más propensa a sufrir una lesión durante las acciones a alta velocidad y los sprints, es importante utilizar ejercicios transferibles como el Swing Eccentric Hamstring Exercise (SEHE). Del mismo modo, también es importante utilizar dispositivos de medición que permitan replicar movimientos similares al gesto deportivo como un dinamómetro electromecánico funcional (DEMF).

**Objetivo:** Determinar la fiabilidad de un ejercicio funcional excéntrico de la musculatura isquiosural, el Swing Eccentric Hamstring Exercise utilizando un DEMF y su relación con el rendimiento en el salto y el sprint.

**Metodología:** En esta investigación participaron diecinueve jugadores de fútbol masculinos federados (n = 19, edad =  $20.74 \pm 4.04$  años, altura =  $176.00 \pm 5.41$ 

cm, peso = 73.35 ± 8.91 kg, IMC = 23.76 ± 2.41 kg/m² y experiencia de juego = 11.37 ± 2.71 años). En una primera fase, se evaluó la fiabilidad del FEMD mediante la realización del SEHE a tres velocidades isocinéticas diferentes (20-40-60 cm/s). Estas evaluaciones se llevaron a cabo en cuatro sesiones, dos de familiarización y dos de registro, en las que se dejó una semana entre cada sesión de registro de datos para evitar la fatiga. En una segunda fase, se realizaron tres pruebas de medición para correlacionar el SEHE con el rendimiento. Test de sprint de 30 metros utilizando células fotoeléctricas midiendo los tiempos de paso cada 10 metros (10-20-30 m.), batería de test de Bosco mediante el dispositivo OptoJump, realizando Countermovement Jump (CMJ), Squat Jump (SJ), y el Countermovement Jump en pierna dominante y no dominante (CMJ Dom/No Dom) y el Salto Horizontal (SH) a través de la aplicación My Jump 2. En estas investigaciones se evaluó y analizó la composición corporal de los jugadores, así como las medidas de los diferentes segmentos del tren inferior, cadera-rodilla y rodilla-tobillo.

**Resultados:** (I) En la evaluación de la carga media durante el SEHE se encontraron diferencias significativas entre el test-retest en la condición de 20 cm/s (p = 0,032) y 40 cm/s (p = 0,001) con un tamaño del efecto pequeño (ES = 0,32 y 0,34 respectivamente). Por otro lado, en la carga máxima hubo diferencias significativas en las tres condiciones entre el test-retest (p < 0,05), con un tamaño del efecto pequeño para 20 cm/s (ES = 0,28), 40 cm/s (ES = 0,31) y 60 cm/s (ES = 0,28). La fiabilidad absoluta proporcionó una repetibilidad estable para los protocolos de carga media y máxima, con un CV inferior al 10% en todos los casos. La fiabilidad fue alta para la carga media en la condición de 40 cm/s, presentando el mayor valor de ICC (0,94). Para la carga máxima, la fiabilidad fue

alta en la condición de 20 cm/s. La manifestación de la carga más fiable fue la carga máxima (ICC = 0,91-0,87). (II) Hay una correlación moderada entre la Fuerza Pico (PF) a 60 cm/s comparándolo con el Sprint Media (SM) 10 metros (r= 0.492, p= 0.032) y al Sprint Media 20 metros (r=0.4621, p=0.047). Por otro lado, se observó una alta correlación entre PF(N) 60 cm/s y CMJ (r=0.59, p=0.008), CMJ No Dom (r=0.56, p=0.013) y SJ (r=0.51, p=0.027), tomando la variable del índice de fuerza reactiva (RSI) (m/s). En cuanto al salto horizontal, se observó una baja correlación con las tres velocidades de ejecución.

Conclusiones: Tras la realización de la presente tesis doctoral se puede concluir que el DEMF es un dispositivo fiable para evaluar la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural en jugadores de fútbol. A su vez, realizar el SEHE a velocidades isocinéticas altas presenta una alta correlación con la mejora del rendimiento en el salto vertical con contramovimiento (CMJ), el salto vertical con contramovimiento en la pierna no dominante (CMJ No Dom) y el squat jump (SJ). Del mismo modo, hubo una correlación moderada con la mejora del rendimiento en el sprint a 10 y 20 metros. Por el contrario, no hubo ninguna relación con la mejora del salto horizontal a ninguna de las velocidades isocinéticas de ejecución.

**Palabras claves:** Isocinética, Fuerza Excéntrica, Extremidad inferior, Dinamómetro, Isquiosurales, Futbolistas, Rendimiento.

# **Abstract of the Thesis**

# **5 Abstract of the Thesis**

Introduction: Hamstring injuries are a serious problem for football players and their clubs, accounting for over a third of all injuries. Although the background to hamstring injuries is often multifactorial in nature, prevention and optimisation programmes commonly focus on eccentric hamstring strength deficits and the Eccentric Hecc:Qcon (Eccentric Hecc:Qcon) strength ratio. In this context, the most commonly used exercise in training programmes is the Nordic Hamstring Exercise (NHE), although it has several functional limitations from an anatomical (it only focuses on the knee joint) and physiological (it is a very demanding exercise) point of view. Similarly, angular isokinetic dynamometers (AID) are the most commonly used to assess different types of muscle contractions, but lack practical utility compared to other devices. Because the hamstring musculature is more prone to injury during high-speed actions and sprints, it is important to use transferable exercises such as the Swing Eccentric Hamstring Exercise (SEHE). Similarly, it is also important to use measuring devices that can replicate movements similar to the sporting gesture such as a functional electromechanical dynamometer (FEMD).

**Objective:** To determine the reliability of a functional eccentric exercise of the hamstring muscles, the Swing Eccentric Hamstring Exercise using a DEMF and its relationship with jumping and sprinting performance.

**Methodology:** Nineteen male federated football players (n = 19, age =  $20.74 \pm 4.04$  years, height =  $176.00 \pm 5.41$  cm, weight =  $73.35 \pm 8.91$  kg, BMI =  $23.76 \pm 2.41$  kg/m2 and playing experience =  $11.37 \pm 2.71$  years) participated in this research. In a first phase, the reliability of the FEMD was assessed by performing the SEHE at three different isokinetic speeds (20-40-60 cm/s). These

assessments were carried out in four sessions, two familiarisation and two recording sessions, with one week between each data recording session to avoid fatigue. In a second phase, three measurement tests were conducted to correlate SEHE with performance. A 30m sprint test using photoelectric cells measuring step times every 10m (10-20-30m), Bosco test battery using the OptoJump device, performing Countermovement Jump (CMJ), Squat Jump (SJ), and the Countermovement Jump on dominant and non-dominant leg (CMJ Dom/No Dom) and the Horizontal Jump (SH) through the My Jump 2 application. In these investigations, the body composition of the players was evaluated and analysed, as well as the measurements of the different segments of the lower body, hip-knee and knee-ankle.

**Results:** (I) In the assessment of mean load during SEHE, significant differences were found between test-retest in the 20 cm/s (p = 0.032) and 40 cm/s (p = 0.001) condition with a small effect size (ES = 0.32 and 0.34 respectively). On the other hand, at peak load there were significant differences in all three test-retest conditions (p < 0.05), with a small effect size for 20 cm/s (ES = 0.28), 40 cm/s (ES = 0.31) and 60 cm/s (ES = 0.28). Absolute reliability provided stable repeatability for the medium and maximum load protocols, with a CV of less than 10% in all cases. Reliability was high for the medium load in the 40 cm/s condition, with the highest ICC value (0.94). For the maximum load, reliability was high in the 20 cm/s condition. The most reliable load manifestation was the maximum load (ICC = 0.91-0.87). (II) There is a moderate correlation between Peak Force (PF) at 60 cm/s compared to the Mean Sprint (SM) 10 metres (r= 0.492, p= 0.032) and to the Mean Sprint 20 metres (r=0.4621, p=0.047). On the other hand, a high correlation was observed between PF(N) 60 cm/s and CMJ

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

(r=0.59, p=0.008), CMJ No Dom (r=0.56, p=0.013) and SJ (r=0.51, p=0.027),

taking the reactive force index (RSI) variable (m/s). As for the horizontal jump, a

low correlation was observed with the three running speeds.

Conclusions: After the completion of this doctoral thesis it can be concluded that

the DEMF is a reliable device to assess the eccentric strength of the hamstring

muscles in football players. In turn, performing the SEHE at high isokinetic

speeds is highly correlated with improved performance in the vertical jump with

countermovement (CMJ), the vertical jump with countermovement on the non-

dominant leg (CMJ No Dom) and the squat jump (SJ). Similarly, there was a

moderate correlation with improved 10 and 20 metre sprint performance. In

contrast, there was no relationship with improvement in the horizontal jump at

any of the isokinetic execution speeds.

Keywords: Isokinetics, Eccentric Strength, Lower Extremity, Dynamometer,

Hamstrings, Football Players, Performance.

• 4			· /
Intr	odu	<b>ICC</b> I	lon

# 6 Introducción

Las lesiones por distensión en los músculos isquiosurales, son un problema trascendente para los jugadores de fútbol y sus clubes, ya que el coste medio de un futbolista profesional lesionado asciende aproximadamente a 500.000 € mensuales. A su vez, la incidencia de lesiones ha aumentado en los últimos 16 años, y la distensión muscular sigue siendo la lesión más frecuente. Las distensiones musculares representan el 41,2% de todas las lesiones en jugadores de fútbol. En este contexto, los isquiosurales son el grupo muscular con mayor incidencia lesional, representando el 39.5% de todas las distensiones musculares y el 16.3% de todas las lesiones.

A la hora de estudiar las lesiones de la musculatura isquiosural, es importante tener en cuenta que al ser un músculo biarticular, van a influir en ella la articulación de la cadera (de manera proximal) y la articulación de la rodilla (de manera distal). Por lo que cualquier cambio en el patrón de movimiento o descompensación en alguna de las dos articulaciones, va a afectar de manera directa a la musculatura isquiosural. Del mismo modo, conocer el mecanismo lesional nos va a proporcionar información para poder realizar protocolos de prevención y optimización que sean efectivos y transferibles a las acciones reales de juego.

Partiendo de la base de que el trasfondo de las lesiones de la musculatura isquiosural suele ser de carácter multifactorial, la lesión previa y la edad son dos de los factores de riesgo no modificables comúnmente propuestos. El desequilibrio de fuerza, la fatiga y la coordinación inter e intra-muscular, son tres

de los factores de riesgos modificables más asociados con el riesgo de lesión. La fatiga y la lesión previa, son dos de los factores más significativos y nombrados por los autores a la hora de relacionarlos con el riesgo de lesión de la musculatura isquiosural, ya que influyen de manera indirecta sobre el resto de variables. La fatiga provoca una reducción de la longitud de zancada, una mayor frecuencia de zancada y un aumento del tiempo de contacto contra el suelo, reduciendo el ángulo máximo de flexión de la cadera y la extensión de rodilla. Del mismo modo, la fatiga, disminuye el torque máximo de la musculatura isquiosural, así como la fuerza excéntrica y la relación Hecc:Qcon funcional.

Otro factor importante a tener en cuenta es la coordinación inter e intramuscular, ya que el control neuromuscular bien sincronizado de la unidad central (músculos del glúteo y del tronco), proporciona una estabilidad adecuada durante la locomoción y la carrera, previniendo así la lesión de la musculatura isquiosural. Niveles más altos de actividad electromiográfica (EMG) del glúteo mayor y del tronco (oblicuo abdominal, erectores espinales y lumbares) durante el backswing, disminuyen el riesgo de lesión en un 20% y un 6%, con un aumento del 10% de la actividad del glúteo y del tronco, respectivamente, en las fases de balanceo y retroceso del sprint. Otras variables como la edad, la raza, la composición muscular y la flexibilidad no parecen tener una relación significativa con la lesión de la musculatura isquiosural.

En ese sentido, se utilizan estrategias de prevención y optimización que se centran en modificar los factores de riesgo asociados con las lesiones, que comúnmente incluyen déficits de fuerza excéntrica de los isquiosurales y la relación fuerza Hecc:Qcon. Por ello, realizar programas de entrenamiento que aumenten la fuerza excéntrica, disminuye el número de lesiones de la musculatura isquiosural y la gravedad de las mismas a lo largo de una temporada en jugadores de fútbol. Los programas de entrenamiento también se focalizan en la optimización del rendimiento de los mecanismos lesionales como el sprint, ya que de manera indirecta podrían ayudar a prevenir lesiones.

Actualmente el NHE es el ejercicio más utilizado dentro de estos programas, ya que reduce el riesgo de lesión hasta en un 51% y produce mejoras de leves a moderadas en el rendimiento del salto y del sprint. Aunque presenta varias limitaciones a nivel funcional, desde el punto de vista anatómico y fisiológico. Ya que no tiene transferencia a las acciones reales de juego que se dan durante el mecanismo lesional y es un ejercicio muy exigente y fatigante, el cual no puede ser realizado por todos los jugadores.

A su vez, para evaluar los diferentes tipos de contracción muscular encontramos los dinamómetros isocinéticos angulares (AID), los cuales están reconocidos como el gold standard para evaluar la fuerza excéntrica de la musculatura flexora de la rodilla, pero carecen de utilidad práctica en comparación con otros dispositivos. Los AID, al igual que el NHE, no tienen transferencia a las acciones reales de juego que se dan durante el mecanismo lesional en jugadores de fútbol, ya que el movimiento se centra únicamente en la articulación de la rodilla mientras que la cadera permanece estática durante todo el recorrido.

En investigaciones sobre el uso de nuevas tecnologías para la evaluación de la fiabilidad de gestos funcionales se han utilizado dispositivos iso-inerciales, cómo poleas cónicas o Flywheel, y dispositivos con motor eléctrico. Aunque producen adaptaciones de sobrecarga excéntrica similares, los dispositivos con motor eléctrico tienen mayores beneficios potenciales para el entrenamiento excéntrico ya que permiten modificar de manera independiente las cargas y la velocidades concéntricas y excéntricas.

En este contexto, el SEHE es un ejercicio funcional que nos permite trabajar la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural realizando el mismo patrón de movimiento que se lleva a cabo durante el gesto de carrera. Generalmente las evaluaciones de este tipo de ejercicios se realizan con dispositivos estacionarios, los cuales se alejan del mecanismo lesional y son poco transferibles a la realidad de la práctica deportiva. Recientemente en el mercado de la tecnología aplicada a las ciencias de la actividad física, el deporte y la rehabilitación ha surgido un nuevo dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) que permite la evaluación de movimientos naturales controlados como lo es el SEHE. La evaluación de este gesto funcional utilizando esta tecnología permitirá establecer el comportamiento de la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural a diferentes velocidades de contracción isocinética y la relación que podría tener con el rendimiento del salto y del sprint, el cual no ha sido estudiado hasta la fecha.

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

Por todo lo explicado anteriormente, la presente investigación busca determinar la fiabilidad del DEMF durante la realización del SEHE y conocer su relación con el rendimiento del salto y el sprint en jugadores de fútbol.

# **Marco Conceptual**

# 7 Marco Conceptual

#### 7.1 Anatomía

Todos los estudios de anatomía coinciden en que la musculatura isquiosural está formado por: A) Bíceps femoral (cabeza corta y cabeza larga), B) Semitendinoso y C) Semimembranoso (Ahmad et al., 2013; Ali & Leland, 2012; Kumazaki et al., 2012). Todos ellos, excepto la cabeza corta del bíceps femoral, se originan en la tuberosidad isquiática formando un tendón común (Kumazaki et al., 2012) (Tabla 1).

Las fibras musculares de la cabeza larga del bíceps femoral (BF-Lh) se insertan en la cabeza del peroné y en lateral de la tibia, y se encargan de estabilizar la pelvis y extender la cadera en la articulación coxofemoral (a nivel proximal), y de flexionar la rodilla y actuar como sinergia en la rotación externa (a nivel distal) (Ahmad et al., 2013; Kumazaki et al., 2012). Mientras que las fibras musculares de la cabeza corta del bíceps femoral (BF-Sh), al ser monoarticular, se origina en la línea áspera del fémur y se inserta en la cabeza del peroné y en la tibia lateral; se encarga de flexionar la rodilla con el muslo extendido y actuar como sinergia en la rotación externa (Ahmad et al., 2013; Ali & Leland, 2012; Kumazaki et al., 2012). El semitendinoso (ST) se une en la cara medial de la parte proximal de la tibia, y su función es la de flexionar y rotar internamente la rodilla, además de proporcionar estabilidad en el valgo de rodilla (Ahmad et al., 2013). Por último, el semimembranoso (SM), presenta múltiples inserciones en la parte posteromedial de la rodilla, y se encarga de extender, aducir y rotar el muslo en la articulación coxofemoral; al mismo tiempo que flexiona y rota internamente la rodilla (Ahmad et al., 2013; Kumazaki et al., 2012).

**Tabla 1.** Origen, inserción y función de la musculatura isquiosural.

Músculo	Origen	Inserción	Función
Bíceps femoral (cabeza larga)	Tuberosidad isquiática	Cabeza del peroné y parte lateral de la tibia	A) Coxofemoral: estabilizar la pelvis y extender la cadera B) Rodilla: flexión. Sinergista en la rotación externa
Bíceps femoral (cabeza corta)	Línea áspera del fémur	Cabeza del peroné y parte lateral de la tibia	Flexión. Sinergista en la rotación externa
Semitendinoso	Tuberosidad isquiática	Cara medial de la parte proximal de la tibia	<ul><li>A) Coxofemoral:</li><li>extensión de</li><li>cadera</li><li>B) Rodilla: flexión y</li><li>rotación interna</li></ul>
Semimembranoso	Tuberosidad isquiática	Parte postero- medial de la rodilla	<ul><li>A) Coxofemoral:</li><li>extender, aducir y</li><li>rotar el muslo</li><li>B) Rodilla: flexión y</li><li>rotación interna</li></ul>

Tabla de elaboración propia

#### 7.2 Incidencia Lesional

Dentro de las lesiones que se producen en los jugadores de fútbol, la sobrecarga y la rotura muscular son las tipologías más predominantes y que las que más días de baja por lesión presentan (Tabla 2) (Mallo et al., 2011). Dentro de estas tipologías, la lesión de la musculatura isquiosural constituye más de un tercio de todas las lesiones en los jugadores de fútbol, siendo con un 12% el subtipo más común (Mallo et al., 2011). Los isquiosurales son el grupo muscular con mayor incidencia lesional, representando el 39,5% (IC 32,9% a 46,4%) de todas las distensiones musculares y el 16,3% (IC 13,2% a 19,8%) de todas las lesiones

(Jones et al., 2019), siendo el bíceps femoral, con un 26'5% la región muscular más afectada (Noya & Sillero, 2012) (Tabla 3).

Tabla 2. Número de lesiones y días de baja por lesión según la tipología.

Tipología		<u>Total</u>		Po	r equipo
	N°	% del total	Días de baja	N°	Días de baja
Sobrecarga muscular	516	23,8%	2.366	19,1	87,6
Rotura muscular	353	16,3%	7.215	13,1	267,2
Ligamentosa	328	15,1%	4.917	12.1	182,1
Contractura muscular	204	9,4%	1.592	7,6	59,0
Inflamación/edema	188	8,7%	842	7,0	31,2
Contusión	140	6,4%	569	5,2	21,1
Articular	119	5,5%	1.669	4,4	61,8
Tendinitis	104	4,8%	1.434	3,9	53,1
Fractura	36	1,7%	1.007	1,3	37,3
Pubalgia	32	1,5%	934	1,2	34,6

Tabla resumida de Mallo, J. 2011

Tabla 3. Número de lesiones y días de baja por lesión según la localización.

Localización		<u>Total</u>		<u>Por</u>	equipo
	N°	% del total	Días de baja	Nº	Días de baja
Bíceps femoral	88	26,5%	1.852	3,3	68,6
Recto anterior	81	24,4%	2.068	3,0	76,6
Aductor mediano	58	17,5%	836	2,1	31,0
Gemelo	25	7,5%	552	0,9	20,4
Soleo	19	5,7%	488	0,7	18,1
Semitendinoso	19	5,7%	308	0,7	11,4
Semimembranoso	5	1,5%	235	0,2	8,7
Aductor mayor	5	1,5%	118	0,2	4,4
Vasto interno	5	1,5%	119	0,2	4,4
Vasto externo	4	1,2%	122	0,1	4,5

Tabla resumida de Mallo, J. 2011

El mayor número de lesiones de la musculatura isquiosural se producen en el último tercio del partido (Coratella et al., 2015; Small et al., 2010), teniendo en cuenta que la musculatura con mayor incidencia lesional es el bíceps femoral (BF) seguido del semitendinoso (ST) (Schuermans et al., 2016). Esto puede ser debido a que el BF no es óptimo para la producción de fuerza en el rango de movimiento distal y el ST se fatiga y acidifica de manera prematura. Ya que según Garrett et al., (1984) el BF en su parte distal posee un bajo porcentaje de fibras tipo II (53.8%), mientras que el ST posee un alto porcentaje de fibras tipo II (60.4%), lo que hace indicar la mayor fatigabilidad del mismo (Hamada et al., 2003). Por ello, cuando el ST no puede mantener su papel predominante en la producción de fuerza y le entrega el trabajo en circunstancias de carga excéntrica alta al BF, este se lesiona (Schuermans et al., 2016). Debido a que las fibras musculares son cortas y voluminosas, el BF es más adecuado para el trabajo muscular concéntrico e isométrico (fase de postura y retroceso), mientras que las fibras musculares del ST son largas, delgadas y bastante alineadas, por lo que son capaces de participar en acciones excéntricas (fase de balanceo) (Kellis et al., 2012; Schuermans et al., 2014).

Lejos de disminuir, las lesiones de la musculatura isquiosural en jugadores de fútbol, se han visto incrementadas en un 4% de manera anual (Jan Ekstrand et al., 2016).

La tasa de lesiones en la musculatura isquiosural durante el periodo de 13 años (2001-20014) fue de 1,20 lesiones por 1000 h (IC del 95%: 1,14 a 1,26); la tasa de lesiones en los partidos fue de 4,77 (IC del 95%: 4,49 a 5,06) y la tasa de lesiones en los entrenamientos de 0,51 (IC del 95%: 0,47 a 0,55) lesiones por

1000 h (Jan Ekstrand et al., 2016). Aunque la tasa de lesiones en los partidos fue nueve veces mayor que la tasa de lesiones en los entrenamientos (RR 9,4; IC del 95%: 8,5 a 10,4, p<0,001), el incremento fue más pronunciado durante los entrenamientos, con un aumento anual del 4,0%, respecto al 1,5% producido durante los partidos (Jan Ekstrand et al., 2016).

#### 7.3 Mecanismo Lesional

Un factor importante a tener en cuenta a la hora de comprender el mecanismo lesional del isquiosural es su anatomía, ya que es un músculo biarticular, por lo que influirán en él: la articulación de la cadera y la articulación de la rodilla (Ahmad et al., 2013; Ali & Leland, 2012; Evangelidis et al., 2016; Kumazaki et al., 2012). La musculatura isquiosural es más propensa a sufrir una lesión durante las acciones a alta velocidad y los sprints, más concretamente, durante la última fase del swing de carrera, justo antes de que el pie entre en contacto con el suelo (Ahmad et al., 2013; Chumanov et al., 2011, 2012; J. B. Morin et al., 2015; Schache et al., 2009). Durante esta fase de la carrera, los isquiosurales tienen que soportar una gran carga de trabajo negativo (sobre todo el BF) (Figura 1), aumentando la influencia de los músculos de la región lumbo-pélvica en el estiramiento de la musculatura isquiosural (Chumanov et al., 2007; J. B. Morin et al., 2015). Según Chumanov et al., (2007), la activación de los flexores de cadera (psoas ilíaco) durante la fase de oscilación temprana, inducen al estiramiento de los isquiosurales en la extremidad opuesta, debido a una flexión de cadera y una pequeña extensión de rodilla de la misma.

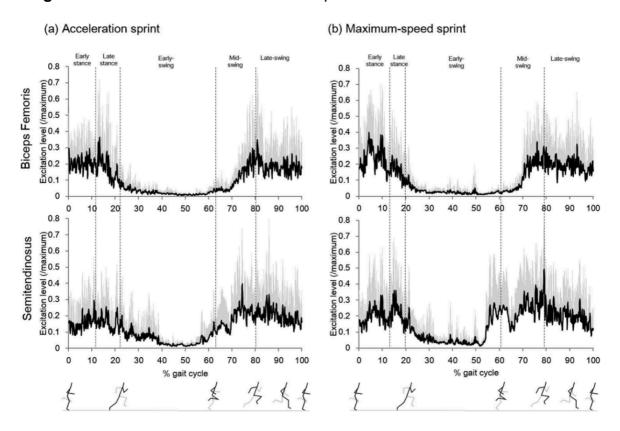


Figura 1. Activación de la musculatura isquiosural durante el ciclo de carrera.

Figura Extraída de Higashihara et al. 2018

El segundo factor a considerar es la mecánica de carrera y la posición del tronco, diferenciando los dos momentos críticos donde se produce la lesión. El primero de ellos, se produce durante la fase de oscilación tardía o última fase del swing de carrera (entre el 85% y el 95% del ciclo de carrera), donde se produce una flexión de cadera y una extensión súbita de la rodilla (Chumanov et al., 2011; Liu et al., 2012). El segundo momento crítico, se encuentra durante la fase de postura inicial (entre el 0% y el 15% del ciclo de carrera), donde se produce una gran extensión de cadera y momentos de flexión de rodilla (Chumanov et al., 2011, 2012; Schache et al., 2009). Además, hay que tener en cuenta la posición del tronco durante el ciclo de carrera, ya que la inclinación del tronco hacia delante durante el sprint aumenta la carga de elongación en la musculatura

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

isquiosural, sobre todo la cabeza larga del bíceps femoral y el semimembranoso (Higashihara et al., 2015).

Según Yu et al., (2008), la parte de la musculatura lesionada varía en función de la fase de carrera en la que se produzca la lesión. Las probabilidades de que se produzca una lesión por tensión en la unión músculo-tendón son mayores durante la última fase de postura, cuando la velocidad de deformación es baja; mientras que las probabilidades de que la lesión se produzca en el vientre muscular, son mayores en la última fase de oscilación de carrera, cuando la velocidad de deformación es alta (Yu et al., 2008; Liu et al., 2012).

El tercer factor a tener en cuenta, es la cinemática del miembro inferior y del tronco durante el sprint junto con la técnica de carrera. Según Schuermans, Danneels, et al., (2017), una anteversión de la pelvis mucho mayor (inestabilidad lumbo-pélvica) (Figura 2) junto con una flexión torácica lateral (Figura 3) durante la fase de oscilación, aumenta el riesgo de sufrir una lesión en la musculatura isquiotibial. Ya que según este autor, en carreras de alta velocidad donde la fase aérea (tiempo de vuelo) representa hasta el 80% del tiempo total de la zancada, es importante tener una buena estabilidad del core para prevenir lesiones.

**Figura 2.** (a) Control frente a (b) Lesión: Plano sagital Angulo de la Pelvis en la fase de balanceo frontal tardío.

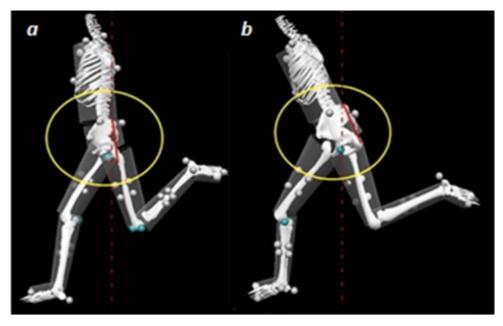


Figura extraída de Schuermans et al. 2017

**Figura 3.** (c) Control frente a (d) Lesiones: Plano coronal Ángulo Pelvis-Tórax en la fase de balanceo frontal tardío.

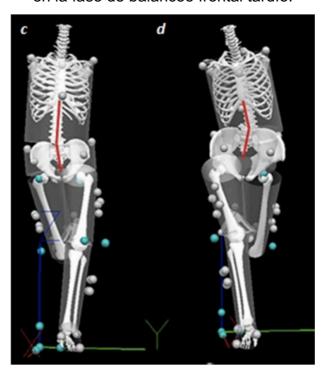


Figura extraída de Schuermans et al. 2017

#### 7.4 Factores de Riesgo

Para desarrollar estrategias de prevención y rehabilitación de lesiones de manera eficiente, es fundamental comprender los diferentes factores de riesgo que están involucrados en la lesión de la musculatura isquiosural. Según Liu et al., (2012) podemos diferenciar entre dos tipos de factores de riesgo: modificables y no modificables. Los factores de riesgo modificables incluyen una longitud muscular acortada, falta de flexibilidad muscular, desequilibrio de fuerza, calentamiento insuficiente, fatiga, trastornos lumbares y aumento de la tensión neural muscular. Por el contrario, los factores de riesgo no modificables incluyen composiciones musculares, edad, raza y lesiones previas.

#### 7.4.1 Factores no modificables

Dentro de los factores de riesgo no modificables, la lesión previa es la variables más determinante a la hora de relacionarla con la lesión del isquiosural, ya que todos los autores coinciden a la hora de nombrar esta variable en sus estudios como un factor predictivo de lesión (Engebretsen et al., 2010; Fousekis et al., 2011; Green et al., 2020; Henderson et al., 2010). Engebretsen et al., (2010), afirma que los jugadores que han sufrido una lesión previa tienen más del doble de riesgo de sufrir una lesión en la musculatura isquiosural.

Existe evidencia científica que afirma que la edad es una variable significativa a la hora de aumentar el riesgo de lesión, aunque presenta cierta controversia entre los autores. Según Henderson et al., (2010), las probabilidades de sufrir una lesión en el isquiosural aumentan x 1.78 con cada año de edad adicional (Tabla 4). Por el contrario, Engebretsen et al., (2010), no encuentra relación

significativa en un análisis multivariado. Del mismo modo, Fousekis et al., (2011) en un estudio con 100 futbolistas profesionales, afirma que la edad es una variable irrelevante como factor predictivo de lesión. Ya que este autor, solo identificó tres factores predictivos significativos asociados con el riesgo de lesión, que son: la asimetría funcional de la longitud de la pierna, la asimetría en la fuerza isocinética excéntrica y la lesión previa del isquiosural.

**Tabla 4.** Variables de factores de riesgo no modificables.

Variables				<u>95% I.C</u>	<u>. de Riesgo</u>
				Re	<u>elativo</u>
	В	Sig.	Riesgo	Bajo	Superior
			Relativo		
Edad	0.579	0.007	1.78	1.17	2.72
Rango de movimiento activo en la extremidad dominante	-0.258	0.023	0.77	0.62	0.97
Salto sin contra movimiento	0.386	0.038	1.47	1.02	2.12
Masa magra	-0.166	0.068	0.847	0.71	1.01

Tabla resumida de Henderson et al. 2010

Los autores no mencionan la raza ni la composición muscular como factores de riesgo significativos. Aunque Henderson et al., (2010), en su estudio con jugadores de fútbol profesionales de la Premier League, descubre que las probabilidades de sufrir una lesión aumentaban x 1.47 con cada cm extra logrado en la prueba de salto sin contramovimiento (SJ Test). Lo que hace indicar que los jugadores más potentes corren un mayor riesgo de sufrir una lesión. Por el contrario, Engebretsen et al., (2010) observó que el test de salto con contramovimiento (CMJ Test), al igual que la prueba de sprint de 40 metros o las

características individuales del jugador (entre otros), no resultó significativo en un análisis multivariado.

#### 7.4.2 Factores modificables

#### 7.4.2.1 La fatiga

La fatiga es uno de los factores más determinantes que inciden en el mecanismo lesional, ya que afecta de manera directa al pico de fuerza excéntrica del isquiosural (Hecc) y al ratio Heccentric:Qconcentric (Hecc:Qcon) funcional (Cohen et al., 2015; Coratella et al., 2015; Greco et al., 2013; Greig & Siegler, 2009; Small et al., 2010) y, como consecuencia, afecta a otras variables independientes, como la coordinación inter e intra-muscular (Schuermans et al., 2016) (Figura 4). Por ello, la mayor parte de las lesiones por distensión en la musculatura isquiosural se producen en el último tercio del partido (Coratella et al., 2015; Small et al., 2010) y al inicio de la segunda mitad (Greig & Siegler, 2009), ya que no pudieron recuperar los valores de fuerza excéntrica previos al inicio del partido y, por lo tanto, no fueron capaces de mediar el efecto de la fatiga impuesto durante la primera parte.

Figura 4. Relaciones convencionales (Hcon:Qcon), funcionales (Hecc:Qcon), isométricas (Hiso:Qiso) y tasa de desarrollo de la fuerza a 0-50 (50 RFD:Q) y 0-100 ms (100 RFDH:Q) de los isquiosurales/cuádriceps antes (PRE) y después (POST) de un ejercicio exhaustivo específico de fútbol en el laboratorio.

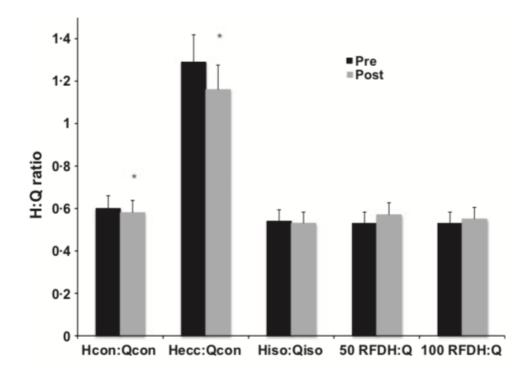


Figura extraída de Greco et al. 2013

Se pueden diferenciar dos clasificaciones en función del protocolo de fútbol específico utilizado para inducir la fatiga muscular.

En los últimos años se han utilizado diversos tests como Loughboroug Intermittent Shuttle Test "LIST" (Cohen et al., 2015; Coratella et al., 2015) y Soccer-Specific Aerobic Field Test "SAFT 90" (Small et al., 2010), los cuales han utilizado un protocolo de fútbol simulado de campo, que aun no siendo el mismo, no se han encontrado diferencias significativas entre ambos test y han reportados las mismas conclusiones finales. Según estos autores, la fatiga induce a una disminución del torque máximo excéntrico del isquiosural, así como una disminución en la relación funcional Hecc:Qcon; la cual disminuye la capacidad del isquiosural de desacelerar la articulación de la rodilla durante la extensión ejercida por el cuádriceps . Del mismo modo, se observó un cambio

en el ángulo de torsión articular hacia longitudes musculares más largas, alrededor del cual los isquiosurales son más vulnerables a la lesión por esfuerzo. Además, según Coratella et al., (2015), la pierna dominante presenta una mayor fatigabilidad que la no dominante, ya que se utiliza con más frecuencia para las acciones propias del fútbol, como: frenar, cambiar de dirección, driblar y golpear el balón.

Por otro lado, Greco et al., (2013) y Greig & Siegler, (2009), han utilizado un protocolo intermitente específico de fútbol en cinta de correr como método para inducir la fatiga. Estos dos autores, aun habiendo utilizado una metodología diferente, coinciden en que la fatiga disminuye el torque máximo del isquiosural y la relación H:Q. Según Greco et al., (2013), no solo se ve influenciada por la fatiga la relación Hexc:Qcon funcional, sino que también se produce una disminución en la relación Hcon:Qcon convencional. Al contrario de lo que mostraban los autores anteriores donde solo disminuía la relación Hexc:Qcon, ya que no encontraron diferencias significativas en la relación Hcon:Qcon.

#### 7.4.2.2 La coordinación inter e intra muscular

Según la musculatura implicada, se pueden diferenciar dos tipos de coordinación neuromuscular. La coordinación intramuscular, cuando la sinergia se produce entre los diferentes músculos que actúan dentro de la musculatura isquiosural (BF-ST-SM), y la coordinación intermuscular, que se produce entre los diferentes grupos musculares que intervienen en el movimiento de carrera (Schuermans et al., 2014).

Según Schuermans et al., (2014), una activación más simétrica y menos disociada entre el BF y el ST conlleva un mayor riesgo de lesión en ambos músculos, ya que ambos vientres musculares son altamente interdependientes en términos de magnitud de la carga y funcionamiento muscular (Figura 5). Posteriormente, este mismo autor en 2016 demostró que las lesiones de los isquiosurales en el fútbol están asociadas con alteraciones en la coordinación neuromuscular (Schuermans et al., 2016). Y descubrió que el riesgo de sufrir una lesión por primera vez en la musculatura isquiosural aumenta significativamente si el BF se activa más del 10% de su estado de reposo metabólico, o si el ST no participa lo suficiente (34% del umbral). Esto es debido a que las fibras del BF son cortas y voluminosas, y se adecuan mejor al trabajo muscular concéntrico e isométrico (fase de postura y retroceso). Mientras que las fibras musculares del ST son largas, delgadas y bastante alineadas, por lo que responden mejor al trabajo muscular excéntrico (fase de balanceo o swing) (Kellis et al., 2012).

**Figura 5.** Magnitud de la actividad muscular metabólica en los vientres musculares separados (BF, bíceps femoral; ST, semitendinoso; SM, semimembranoso).

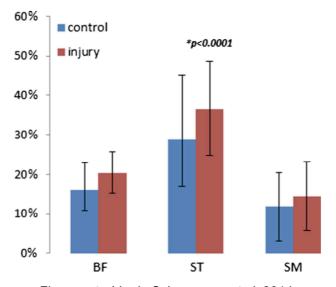


Figura extraída de Schuermans et al. 2014

Siguiendo en su línea de investigación, este mismo autor identificó en dos artículos la importancia de la coordinación intermuscular asociada al riesgo de lesión. El primer estudio revela la importancia del control neuromuscular y el equilibrio sinérgico entre la musculatura de la cadena posterior implicada (Schuermans, Van Tiggelen, et al., 2017). Según Schuermans, Van Tiggelen, et al., (2017) la secuencia de reclutamiento en la que el isquiosural se activa significativamente más tarde, dejando paso primero a los músculos erectores de la columna y posteriormente (en tercer lugar) al glúteo mayor, se asoció con un mayor riesgo de sufrir una lesión en la musculatura isquiosural.

En una investigación posterior de ese mismo año, Schuermans, Danneels, et al., (2017), demostró que el riesgo de lesión de la musculatura isquiosural disminuía un 20% y un 6%, con un aumento del 10% de la activación del glúteo y de la musculatura del tronco (oblicuos abdominales y erectores lumbares y torácicos), respectivamente, durante las fases aerotransportadas de balanceo y retroceso del sprint.

#### 7.4.2.3 La fuerza

El desequilibrio de fuerza (Pierna dominante - No dominante y ratio H:Q) es un factor de riesgo modificable comúnmente propuesto, aunque presenta cierta controversia entre la literatura científica actual (Dauty et al., 2018). Según Croisier et al., (2008) los jugadores con desequilibrios de fuerza tenían de 4 a 5 veces más probabilidades de sufrir una lesión en la musculatura isquiosural cuando se comparaban con los jugadores sin desequilibrios de fuerza, por lo que reestableciendo el equilibrio entre los grupos musculares agonista y antagonista

disminuye significativamente el riesgo de lesión (Tabla 5). Del mismo modo, Fousekis et al., (2011) afirma que los jugadores que presentaban una asimetría de fuerza excéntrica mayor al 15%, tenían un mayor riesgo de sufrir una lesión en la musculatura isquiosural en comparación con aquellos jugadores sin asimetrías de fuerza muscular.

**Tabla 5.** Desequilibrios de fuerza y frecuencia lesional.

		····· , ···	***************************************
Grupo	N° de Jugadores (n = 462)	N° de Lesiones (n = 35)	Frecuencia de Lesión
Α	246	10	4.1
В	91	15	16.5
С	55	6	11
D	70	4	5.7

Tabla extraída de Croisier et al. 2008

El grupo A no tenía desequilibrios de fuerza de pretemporada.

El grupo B tenía desequilibrios de fuerza de pretemporada pero no tenía un entrenamiento compensatorio específico posterior.

El grupo C tuvo desequilibrios de fuerza durante la pretemporada y un posterior entrenamiento compensatorio, pero ninguna prueba de control isocinético destinada a verificar la normalización de los parámetros.

El grupo D tuvo desequilibrios de fuerza durante la pretemporada y un entrenamiento compensatorio posterior hasta que se comprobó la normalización de los parámetros mediante pruebas de control isocinético repetidas.

Por otro lado, Dauty et al., (2018) no encuentra asociación significativa entre la relación de fuerza (H:Q) y la lesión del isquiosural, ya que solo un jugador lesionado de 36 (2.7%) había sido detectado gracias a estos puntos de corte (0.47 y 0.80 para los ratios de fuerza convencional y funcional, respectivamente).

Según van Doormaal et al., (2017) la fuerza excéntrica reducida puede ser la responsable de la lesión de la musculatura isquiosural, y no la flexibilidad, ya que en velocidades que van del 80% al 100% de un sprint máximo no parece haber

variación en el estiramiento del tendón muscular. En este sentido, como extensores de la cadera y flexores de la rodilla, los músculos isquiosurales están asociados con el componente horizontal de la fuerza de reacción en el suelo durante la carrera a alta velocidad (Dorn et al., 2012; J. B. Morin et al., 2015; Schache et al., 2019). Por ello, la baja capacidad de producción de fuerza horizontal a baja velocidad durante la fase de aceleración en el sprint (FH0) puede considerarse como un posible factor de riesgo de la musculatura isquiosural (Edouard et al., 2021).

#### 7.4.2.4 La flexibilidad

La falta de flexibilidad muscular se ha sugerido en repetidas ocasiones como un factor de riesgo modificable para la lesión muscular del isquiosural, aunque según la literatura científica actual no haya una relación directa entre ambos (Fousekis et al., 2011; Henderson et al., 2010). Van Doormaal et al., (2017) llevó a cabo el primer estudio (hasta el momento) que relaciona la flexibilidad de la musculatura isquiosural y las lesiones de la misma. Este estudio estaba compuesto por 450 jugadores de fútbol amateur y se ajustaron las posibles variables de confusión, como la edad y la lesión previa del isquiosural. Los resultados no encontraron ninguna relación significativa entre la flexibilidad de la musculatura isquiosural y la lesión de la misma, tanto en el análisis univariado como en el análisis multivariado.

Del mismo modo, Engebretsen et al., (2010) en un estudio con 508 jugadores de fútbol (382 profesionales y 126 amateur) para conocer los factores de riesgo

intrínsecos, tampoco encontró una relación significativa entre la flexibilidad y la lesión de la musculatura isquiosural mediante un análisis multivariado.

#### 7.5 Demandas Físicas de la Competición

Debido a la duración de un partido de competición oficial, el fútbol es un deporte principalmente de metabolismo aeróbico, aunque las demandas fisiológicas de este deporte son de naturaleza intermitente (Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007). Sin embargo, las acciones más decisivas del propio juego se desarrollan por medio del metabolismo anaeróbico, como por ejemplo: sprints, saltos, tackles, duelos...etc. (Stølen et al., 2005).

En la última década, numerosas investigaciones, han analizado lo que sucede a nivel condicional en un partido de fútbol, llegando a establecer valores de referencia para las diferentes variables analizadas. La distancia total recorrida oscila entre los 10 y los 12 kms por partido, viéndose incrementada en un 2% en las últimas 7 temporadas (Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007; Mohr et al., 2003) y produciéndose entre 1000 y 1400 cambios de actividad (Stølen et al., 2005). Aunque, durante los últimos años, la distancia recorrida a alta velocidad (AV, > 14-19 Km/h) y la distancia en sprint (SP, > 21-25 km/h) se han incrementado de manera significativa entre un 30-50% (Barnes et al., 2014) (Figura 6). Del mismo modo ocurre con el número de pases, que se ha visto incrementado en un 40% a lo largo de siete temporadas, mostrando un aumento claro de la intensidad del juego (Barnes et al., 2014). Este aumento de intensidad competitiva, provoca de manera directa un aumento en la fatiga de los jugadores, de manera que la relación media trabajo-recuperación (duración del período de

juego:duración del período de descanso) ha disminuido alrededor de 4:1 en 1966 a 1,5:1 en 2010 (Wallace & Norton et al., 2014).

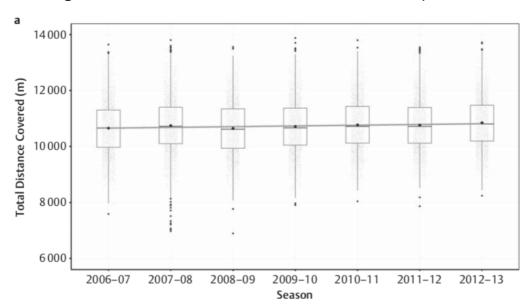
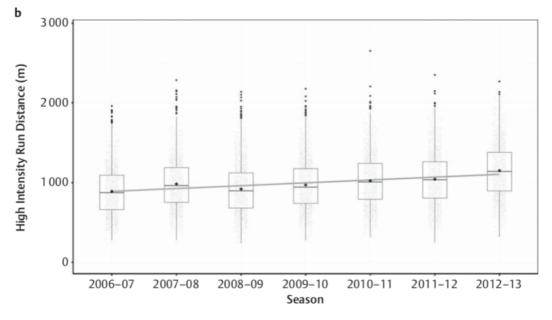


Figura 6. Evolución de las demandas físicas en competición.



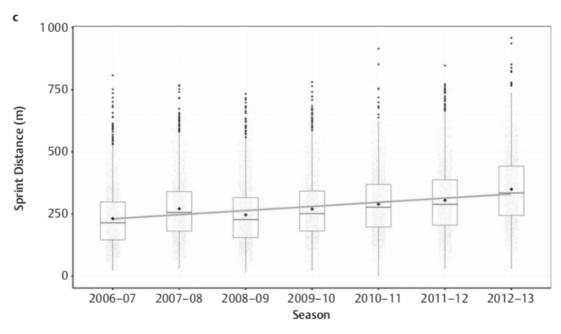


Figura extraída de Barnes et al. 2014

Los requisitos físicos del fútbol moderno, en concreto la carrera a alta intensidad, han evolucionado en mayor medida para los defensas y los centrocampistas (30-36%) que para los jugadores atacantes (24-27%) (Bush et al., 2015). A nivel general, la distancia a sprint aumentó en un 50% entre las temporadas 2006 y 20013 (Bush et al., 2015). Aunque se distribuyeron de manera heterogénea entre las diferentes posiciones del campo, ya que el mayor cambio se ha producido en los defensas laterales con un 63%, seguido de los defensas centrales y centrocampistas con un 54% y dejando en último lugar a los delanteros con un aumento del 36% (Bush et al., 2015).

Este aumento tan significativo de las acciones a alta intensidad y del número de sprints, ha provocado un incremento de las lesiones de la musculatura isquiosural en los últimos años (Jan Ekstrand et al., 2016), ya que esta musculatura es más propensa a sufrir lesiones durante este tipo de acciones de alta y muy alta velocidad (Ahmad et al., 2013; Chumanov et al., 2011, 2012; J.

B. Morin et al., 2015; Schache et al., 2009). La congestión de partidos semanales también es un factor importante a tener en cuenta, ya que hay una asociación directa entre los periodos de congestión de partidos y las lesiones musculares, al comparar ≤4 días con ≥6 días de recuperación entre partidos de competición (Bengtsson et al., 2013). Por otro lado, el número de jugadores por plantilla, es un aspecto a tener en cuenta a la hora de analizar el incremento de lesiones de la musculatura isquiosural, ya que las plantillas más pequeñas están expuestas a mayores tasas de exposición de partidos a lo largo de una temporada (J. Ekstrand et al., 2004; Hawkins et al., 2001).

Todas estas demandas físicas y fisiológicas de la competición, se han visto incrementadas a lo largo de las temporadas debido al aumento del profesionalismo, el uso de las nuevas tecnologías, la evolución en los métodos de entrenamiento, los cambios en las reglas de juego y la preparación técnicotáctica de los jugadores (Norton & Olds et al., 2001).

# 7.6 Programas de Entrenamiento Enfocados a la Prevención de Lesiones y Optimización de la Musculatura Isquiosural

A la hora de seleccionar los ejercicios para realizar programas de prevención y optimización de la musculatura isquiosural, debemos de tener en cuenta el tipo de contracción muscular que se va a desarrollar, ya que el entrenamiento excéntrico de los isquiosurales aumenta la longitud de los fascículos de la cabeza larga del bíceps femoral (BFlh), mientras que el entrenamiento concéntrico la disminuye (Timmins et al., 2016). Además, el mismo grupo de autores informó que los jugadores de fútbol con fascículos de la cabeza larga del

bíceps femoral (BFIh) más cortos (<10,56 cm de media) tenían un riesgo cuatro veces mayor de sufrir lesiones por distensión de los isquiosurales que los jugadores con fascículos más largos (Timmins et al., 2016).

Realizar programas de entrenamiento que aumenten la fuerza excéntrica disminuye el número de lesiones de la musculatura isquiosural y la gravedad de estas a lo largo de una temporada en jugadores de fútbol (Askling et al., 2003.; Petersen et al., 2011). Actualmente el NHE es el ejercicio más utilizado dentro de estos programas, ya que reduce el riesgo de lesión hasta en un 51% (van Dyk et al., 2018) y produce mejoras de leves a moderadas en el rendimiento del salto y del sprint (Bautista et al., 2021). De acuerdo con este autor, según Ishøi et al., (2018) la realización de la NHE en jugadores amateurs produciría pequeñas o medianas mejoras en el rendimiento del sprint. Aunque existe cierta controversia, ya que Suarez-Arrones et al., (2019) afirma que la mejora en el rendimiento del sprint no está asociada al NHE tras la aplicación de un programa de intervención de 15 a 17 semanas al inicio de la temporada en jugadores de fútbol profesionales.

Dentro de la literatura científica, encontramos estudios que han demostrado que la realización de ejercicios excentricos bilaterales y de cadena cerrada, han provocado descensos en las tasas de lesiones, entre los que se encontraban el NHE y el curl de isquiosurales en máquina YoYo (Askling et al., 2003; Brooks et al., 2006; Gabbe et al., 2006; Arnason et al., 2008 ). Esto es debido a que longitudes musculares más cortas tienen más probabilidades de sufrir una lesión muscular aguda (Brockett et al., 2004; Brooks et al., 2006) y el ejercicio

excéntrico aumenta las longitudes óptimas tanto de los extensores como de los flexores de la rodilla (Brughelli et al., 2010).

Actualmente, el entrenamiento de sprint se ha propuesto como un ejercicio importante para prevenir y optimizar la musculatura isquiosural, ya que tiene un efecto protector superior al NHE debido a que aumenta la longitud de los fascículos de la cabeza larga del bíceps femoral (BFIh) y, al mismo tiempo, mejora el rendimiento y la mecánica del sprint (Jurdan Mendiguchia et al., 2020) (Figura 7). J. B. Morin et al., (2015) han demostrado que la fuerza de reacción horizontal que se ejerce contra el suelo es el factor más determinante del rendimiento en el sprint, la cual está directamente relacionada con la actividad EMG de la musculatura isquiosural y su producción de fuerza, convirtiéndola en una musculatura clave para mejorar la fase de aceleración. Según Mendiguchia et al., (2020) observaron tras un programa completo de seis semanas de sprint en comparación con el NHE, que aunque ambos tipos de entrenamiento añadidos a la práctica del fútbol indujeron aumentos en la longitud del fascículo BFIh, el sprint mostró adaptaciones moderadamente superiores (16%) en comparación con el NHE (7%). Del mismo modo que ocurre con el rendimiento en el sprint, donde observaron, que tras seis semanas de intervención, el NHE no mostró beneficios (e incluso pequeños cambios negativos) en comparación con el sprint, que dio lugar a mejoras moderadas y muy probables tanto en la mecánica del sprint (principalmente las variables de aceleración) como en el rendimiento (Jurdan Mendiguchia et al., 2020). Estos resultados están de acuerdo con un estudio reciente de Freeman et al., (2019) los cuales han demostrado que el entrenamiento de sprint es eficaz para mejorar la fuerza

excéntrica de los isquiosurales en atletas adolescentes, además de tener efectos positivos en el rendimiento del sprint.

Large

| Small | Sprint | Soccer | Soccer | Large | Vo Fo Pmax RFmax 5m 20m

**Figura 7.** Magnitud de los cambios pre-post en el rendimiento de la aceleración del sprint principal y en los rendimientos mecánicos.

### 7.7 Valoración de la Activación de la Musculatura Isquiosural

# 7.7.1 Comportamiento electromiográfico de la musculatura isquiosural

Figura extraída de Mendiguchia et al. 2020

La EMG utiliza electrodos, que se colocan en la piel sobre el músculo que queremos analizar, para medir la actividad eléctrica generada por las unidades motoras activas (Vigotsky et al., 2018). La amplitud de EMG registrada durante un ejercicio se expresa en relación al nivel más alto de activación alcanzado durante una contracción voluntaria máxima (CVM) (Farina et al., 2004; Vigotsky et al., 2018). Esto nos ofrece una estimación de la activación voluntaria para los músculos analizados durante el ejercicio, con una alta resolución temporal

(Farina et al., 2004). Aunque es importante tener en cuenta que las cargas mayores suelen dar niveles de activación más altos que las cargas menores para cualquier ejercicio (Farina et al., 2004), por lo que al comparar ejercicios hay que tener en cuenta la intensidad relativa de cada uno.

Dentro de la literatura científica hay varios estudios que han comparado la activación del músculo BFIh utilizando el nivel de EMG entre los ejercicios de fuerza de la musculatura isquiosural (Matthew N. Bourne et al., 2017; Hegyi et al., 2019). La EMG ha demostrado ser un buen instrumento para determinar los niveles de activación muscular durante los ejercicios de fuerza (Enoka & Duchateau, 2015) y se ha utilizado para categorizar la intensidad del ejercicio y ayudar a los entrenadores deportivos y fisioterapeutas a la hora de seleccionar los ejercicios más apropiados (Matthew N. Bourne et al., 2017, 2018) (Figura 8).

La actividad electromiográfica de los músculos isquiosurales es mayor que la de cualquier otro grupo muscular durante el sprint, por lo que los ejercicios de fortalecimiento excéntrico de este grupo muscular son un componente crucial para mejorar el rendimiento y la prevención de lesiones en deportes como el fútbol (J. B. Morin et al., 2015). En este sentido, hay autores que apoyaron la idea de que los ejercicios de fuerza de la musculatura isquiosural deben estar orientados a las demandas específicas del deporte (Lee et al., 2018). Por lo tanto, la selección de ejercicios debe reproducir las altas demandas de acciones a alta intensidad y muy alta intensidad que se producen durante los partidos y "simular" su función durante el sprint (Lee et al., 2018; Jurdan Mendiguchia et al., 2020).

Además de observar la EMG, también hay que tener en cuenta cómo se integra este músculo en relación con otros músculos sinérgicos implicados en el patrón de movimiento concreto o específico (Vigotsky et al., 2018).

**Figura 8.** Magnitud de la activación muscular del bíceps femoral durante la realización de ejercicios de fuerza de la musculatura isquiosural.

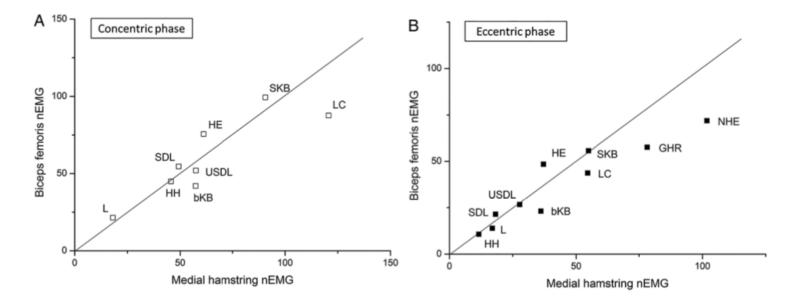


Figura extraída de Bourne et al. 2020

Relación de nEMG entre el bíceps femoral (BF) y el isquiosural medial (MH) para las fases (A) concéntrica y (B) excéntrica de cada ejercicio. Los ejercicios a la izquierda y por encima de la línea de 45° mostraron niveles más altos de nEMG de BF que de MH, y los ejercicios a la derecha y por debajo de la línea mostraron niveles más altos de nEMG de MH que de BF. bKB: puente unilateral de rodilla doblada; GHR: puente de gúteos; HE: extensión de cadera a 45°; HH: bisagra de cadera; L: lunge; LC: flexión de piernas; nEMG: electromiografía normalizada; NHE: ejercicio nórdico de isquiosurales; SDL: peso muerto bilateral pierna rígida; SKB: puente unilateral con rodilla recta; USDL: peso muerto unilateral de pierna rígida.

# 7.7.2 Imágenes de Resonancia Magnética Funcional (IRMf) de la musculatura isquiosural

El uso de la IRMf para estimar la activación muscular en el ejercicio se ha hecho cada vez más popular (Ono et al., 2011; Matthew N. Bourne et al., 2017), bajo la premisa de que la activación muscular está asociada a un aumento transitorio del tiempo de relajación transversal (T2) del agua tisular, que puede medirse a partir de los cambios de intensidad de la señal en las imágenes de IRMf (Fleckenstein et al., 1988; Fisher et al., 1990).

Este sistema de valoración de la activación muscular es más costoso a nivel económico y presenta varios inconvenientes:

- No se puede comparar la magnitud de los desplazamientos de T2 entre los diferentes modos de contracción (concéntrico y excéntrico), ya que son sensibles a la glucólisis (Fleckenstein et al., 1988).
- La medida en que aumenta el tiempo de relajación de T2 durante el ejercicio puede verse influida por la composición de las fibras musculares y la capacidad metabólica (Jenner et al., 1994).
- Es inadecuado comparar la magnitud absoluta de los desplazamientos de T2 entre individuos, ya que un aumento mayor de T2 en un sujeto respecto a otro no puede interpretarse como una activación más efectiva (Matthew N. Bourne et al., 2018).

#### 7.8 Selección de Ejercicios de la Musculatura Isquiosural

A la hora de seleccionar los ejercicios para trabajar la musculatura isquiosural debemos tener en cuenta que al ser un músculo biarticular, van a influir en él la articulación de la cadera de manera proximal y la articulación de la rodilla de

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

manera distal (Kumazaki et al., 2012). Por ello, la activación de los diferentes grupos musculares que engloban la musculatura isquiosural, va a ser diferente en función del ejercicio que realicemos (Ono et al., 2011; Matthew N. Bourne et al., 2017) y va a producir adaptaciones musculares heterogéneas (Potier et al., 2009; Matthew N. Bourne et al., 2017).

Por ello, los ejercicios que implican la musculatura isquiosural se pueden dividir en dos grupos, según la articulación implicada (Matthew N. Bourne et al., 2018):

- Dominantes de rodilla
- Dominantes de cadera

Dentro de los ejercicios dominantes de rodilla los que mayor activación EMG, del bíceps femoral y la parte medial de la musculatura isquiosural (80% CVM), presentan son:

- Flexión de rodilla con deslizamiento del peso corporal en posición supina (sliding bodyweight leg curls) (Zebis et al., 2013; Malliaropoulos et al., 2015).
- Flexión de rodilla en posición sentada y en decúbito prono (seated and prone leg curls) (Zebis et al., 2013; Jakobsen et al., 2014).

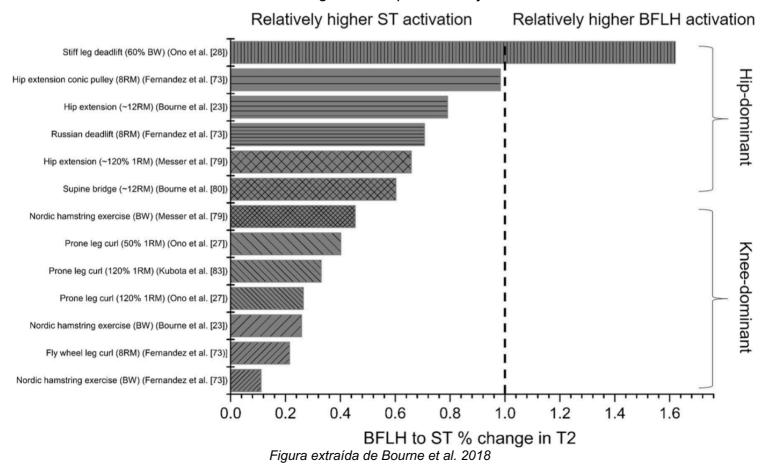
Por otro lado, dentro de los ejercicios dominantes de cadera los que mayor activación EMG, del bíceps femoral y la parte medial de la musculatura isquiosural (80% CVM), presentan son:

 Extensión de cadera con carga y sin carga (loaded and unloaded hip extensión) (Zebis et al., 2013).

- Balanceos con kettlebell (kettlebell swings) (Zebis et al., 2013).
- Puente de glúteo con piernas extendidas en posición supina (supine straight leg bridge) (Zebis et al., 2013; Malliaropoulos et al., 2015; Matthew N. Bourne et al., 2017).

Los estudios que utilizan la IRMf coinciden generalmente con los resultados de las investigaciones de la EMG; sin embargo, la mayor claridad espacial de esta técnica permite hacer inferencias sobre la actividad metabólica relativa de cada vientre muscular de los isquiosurales (Matthew N. Bourne et al., 2018) (Figura 9). Dentro de la literatura científica nos encontramos diferentes estudios que nos muestran el nivel de activación de cada porción musucular de la musculatura isquiosural. Según Ono et al., (2010, 2011) el semitendinoso se activa de forma selectiva durante el curl excéntrico de prono (eccentric prone-leg Curl), dominante de rodilla, mientras que el semimembranoso y el bíceps femoral se reclutan preferentemente durante el peso muerto con piernas extendidas (stiffleg deadlift), dominante de cadera. Sin embargo, estudios posteriores observaron que el semitendinoso se recluta preferentemente durante el NHE y durante el curl de isquio prono (prone-leg Curl) (M. N. Bourne et al., 2016; Matthew N. Bourne et al., 2017; Fernandez-Gonzalo et al., 2016; Mendiguchia, Arcos, et al., 2013; Mendiguchia, Garrues, et al., 2013). En cambio, un estudio más reciente de Matthew N. Bourne et al., (2017) mostró que la cabeza larga del bíceps femoral se activaba más durante un ejercicio dominante de cadera como la extensión de cadera a 45°, que con un ejercicio dominante de rodilla como el NHE. Además, la cabeza larga del bíceps femoral parece ser significativamente más activa que su cabeza corta durante un ejercicio de puente supino con una sola pierna (single-leg supine bridge). Por otro lado, durante los ejercicios excéntricos, se han observado niveles muy altos de EMG del bíceps femoral (72-91% CVM) y de la porción medial de los los isquiosurales (EMG; 82-102% CVM) durante el NHE (Matthew N. Bourne et al., 2017; Delahunt et al., 2016; Zebis et al., 2013).

**Figura 9.** Selección de ejercicios en función de la *magnitud de la activación* muscular de la cabeza larga del bíceps femoral y del semitendinoso.



Debido a que la cabeza larga del bíceps femoral, la cabeza corta del bíceps femoral, el semitendinoso y el semimembranoso muestran patrones distintos de activación muscular durante diferentes tareas, no es coherente basarse en un único método para diseñar programas de prevención y optimización de la

musculatura isquiosural (Matthew N. Bourne et al., 2017). Mientras que los resultados de las investigaciones de la EMG son variables, la mayor claridad espacial de la IRMf sugiere que los movimientos orientados a la flexión de la rodilla (el NHE y el curl de isquios) parecen activar selectivamente el semitendinoso, mientras que los movimientos que están orientados a la extensión de cadera (el peso muerto con piernas extendidas y la bisagra de cadera o hip hinge) parecen activar en mayor medida la cabeza larga del bíceps femoral y el semimembranoso (Matthew N. Bourne et al., 2017, 2018).

### 7.9 Valoración de la Fuerza en la Musculatura Isquiosural

Para evaluar los diferentes tipos de contracción muscular encontramos los dinamómetros isocinéticos angulares (AID), los cuales están reconocidos como el gold standard para evaluar la fuerza excéntrica de la musculatura flexora de la rodilla, pero carecen de utilidad práctica en comparación con otros dispositivos (Dvir et al., 2019; Opar et al., 2013; van Dyk et al., 2018). Esta crítica puede ser menos relevante para los tests de valoraciones, ya que los principales objetivos de las pruebas isocinéticas son determinar las diferencias bilaterales de los músculos homólogos, pero para el acondicionamiento muscular, los AID ofrecen una opción menos que óptima (Dvir et al., 2019). Este inconveniente junto con la de de movimiento funcionales importancia los patrones multiarticulares/musculares han sido los principales impulsores del desarrollo y la aplicación de los dinamómetros isocinéticos multiarticulares (MID) (Dvir et al., 2019) (Figura 10).

Dinamómetros Isocinéticos Multiarticulares

Restringidos

No Restringidos

Accionados por cable

Barra

Figura 10. Clasificación de los dispositivos isocinéticos multiarticulares.

Figura adaptada de Dvir et al. 2019

El uso de dispositivos iso-inerciales como las poleas cónicas o los dispositivos Flywheel, ha aumentado exponencialmente en los últimos años, ya que tiene una importante utilidad práctica para optimizar el rendimiento deportivo (Gual et al., 2016.; Tous-Fajardo et al., 2016). Estos dispositivos han demostrado ganancias superiores para el entrenamiento con sobrecarga excéntrica en comparación con el entrenamiento de resistencia tradicional con respecto a la fuerza y la potencia muscular (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Además de su utilidad práctica, una de las principales ventajas de estos dispositivos iso-inerciales, es que no están limitadas por una velocidad angular predeterminada, la cual las acerca más al movimiento real de la práctica deportiva (Bollinger et al., 2018).

Aunque los dispositivos iso-inerciales y los AID han demostrado ser válidos y fiables para la realización de tests de fuerza (Maroto-Izquierdo et al., 2017;Bollinger et al., 2018; Sabido et al., 2018; Tous-Fajardo et al., 2016; van

Dyk et al., 2018), los dispositivos con motor eléctrico tienen mayores beneficios potenciales para el entrenamiento excéntrico ya que permiten modificar de manera independiente las cargas y la velocidades concéntricas y excéntricas, característica fundamental del DEMF (Maroto-Izquierdo et al., 2019).

El DEMF, además de ser fiable para ejercicios de tren superior y tren inferior (Chamorro et al., 2017, 2018; Rodriguez-Perea et al., 2019), es un tipo de dispositivo multi-articular que permite el control electrónico del movimiento, modulando el recorrido, la intensidad, la velocidad, la carga de trabajo y el modo, permitiéndonos replicar gestos específicos y funcionales generando movimientos en diferentes planos y ángulos (Jerez-Mayorga et al., 2021; Martinez-Garcia et al., 2020). Este tipo de dispositivos permiten realizar ejercicios y patrones de movimiento que se asemejan a los mecanismos realizados durante la práctica deportiva, aspecto importante a tener en cuenta cuando realizamos programas de prevención optimización, ya que sería conveniente introducir también ejercicios multiarticulares y con un mayor nivel de aproximación con respecto al mecanismo lesional (Suarez-Arrones et al., 2019).

# Aproximación al Problema de Investigación

# 8 Aproximación al Problema de Investigación

Como se ha evidenciado en el marco conceptual, las lesiones de la musculatura isquiosural en los jugadores de fútbol es un problema que acarrea graves consecuencias para los jugadores y sus clubes. Dentro de los factores de riesgo modificables, una menor fuerza en este tipo de musculatura está asociada a un aumento del riesgo de lesión. Pero la mayoría de ejercicios que se realizan dentro de los programas de prevención y optimización, son poco funcionales y están alejados del mecanismo lesional.

Del mismo modo ocurre con los sistemas de evaluación y de entrenamiento de la fuerza. Para evaluar la fuerza muscular en la práctica deportiva, hay diferentes metodologías que permiten un diagnóstico preciso, como los dinamómetros isocinéticos angulares, pero carecen de utilidad práctica ya que es importante utilizar dispositivos de medición que permitan replicar movimientos similares al gesto deportivo.

Al mismo tiempo, las demandas y las exigencias de la competición no paran de aumentar. Cada vez el ritmo de partido es más alto, se realizan más carreras a alta intensidad y a sprint, lo que provoca el aumento progresivo de lesiones de este tipo de musculatura ya que es más propensa a lesionarse durante estas accione a muy alta intensidad. A su vez, la congestión de partidos semanales también es un factor importante a tener en cuenta, ya que hay una asociación directa entre los periodos de congestión de partidos y las lesiones musculares.

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

Por todo esto, como se ha mencionado anteriormente, los diferentes programas de prevención optimización están empezando a introducir carreras de sprint como ejercicio preventivo para las lesiones de la musculatura isquiosural. Ya que realizan el mismo patrón de movimiento que se produce durante el mecanismo lesional.

Por otra parte, recientemente en el mercado de la tecnología aplicada al deporte y la actividad física un nuevo dinamómetro electromecánico de características funcionales (DEMF) que permite la evaluación de movimientos funcionales controlados como el SEHE se encuentra disponible, pero la fiabilidad y el estudio del comportamiento de las contracciones excéntricas durante el SEHE no ha sido descrita a través del DEMF.

Estos antecedentes permiten investigar en primera instancia la fiabilidad del DEMF y el comportamiento excéntrico del SEHE y su relación con el rendimiento del salto y el sprint.

# Objetivos Generales y Específicos

# 9 Objetivo General

- Determinar la fiabilidad del SEHE utilizando un Dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) mediante un test de fuerza con control cinético en jugadores de fútbol federados.

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo general de la tesis esta se divide en tres estudios con sus respectivos objetivos específicos e hipótesis.

9.1 Estudio I: Efectividad del Entrenamiento de la Musculatura Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: Una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios Controlados Aleatorizados.

### 9.1.1 Objetivos específicos

- Analizar, resumir y sintetizar la evidencia científica actual sobre la efectividad del entrenamiento de la musculatura isquiosural en la incidencia lesional y el rendimiento en jugadores de fútbol.
- Conocer la metodología de entrenamiento existente para prevenir y proteger la musculatura isquiosural
- Analizar y seleccionar los mejores ejercicios para elaborar una metodología de entrenamiento efectiva para prevenir y optimizar la musculatura isquiosural.

9.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en Jugadores de Fútbol Utilizando un Dinamómetro Electromecánico Funcional

#### 9.2.1 Objetivos específicos

- Determinar la fiabilidad absoluta y relativa del SEHE en la fuerza y velocidad de la fase excéntrica en jugadores de fútbol.
- Comparar la fiabilidad absoluta y relativa de la fuerza media, fuerza pico, velocidad media y pico del SEHE utilizando tres velocidades de contracción excéntrica diferentes.
- Determinar la velocidad isocinética más fiable para la realización del SEHE en su fase excéntrica.

9.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE)

### 9.3.1 Objetivos específicos

 Determinar la relación entre el SEHE y la capacidad del salto vertical y sprint en jugadores de fútbol federados.

Hipótesis

# 10 Hipótesis

10.1 Estudio I: Efectividad del Entrenamiento de la Musculatura Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: Una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios Controlados Aleatorizados.

**H1:** Los ejercicios que implementan la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural reducen la incidencia lesional.

**H2:** La mejora de la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural está relacionada con una mejora del rendimiento del salto y del sprint.

**H3**: Los programas de prevención y optimización de la musculatura isquiosural en jugadores de fútbol incluyen ejercicios que mejoran la fuerza excéntrica.

10.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en Jugadores de Fútbol utilizando un Dinamómetro Electromecánico Funcional.

H1: La fuerza pico presenta una mayor fiabilidad que la fuerza media para las tres velocidades isocinéticas durante la contracción excéntrica del SEHE.

**H2:** El SEHE es un ejercicio altamente fiable a las tres velocidades isocinéticas en su fase de contracción excéntrica.

**H3:** Las velocidades bajas presentan una mayor fiabilidad absoluta y relativa que las velocidades altas para el SEHE.

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

10.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE).

**H1:** Las velocidades isocinéticas altas tienen una mayor correlación con la mejora del rendimiento del salto y el sprint.

**H2:** La fuerza pico presenta mayor correlación que la fuerza media con la mejora del salto y el sprint.

**H3**: Las velocidades isocinéticas bajas no producen mejoras en el rendimiento del salto y el sprint.

# Metodología de la Investigación

# 11 Metodología de la investigación

### 11.1 Diseño de Investigación

La siguiente investigación es de carácter cuantitativo y responde a un diseño desde su clasificación espacio-tiempo como transversal.

En la tabla 6 se resumen los tres estudios con su diseño y los participantes correspondientes.

**Tabla 6.-** Diseño del estudio y características de los participantes.

N°	Estudio	Tipo de estudio	Participantes
1	Efectividad del entrenamiento de la musculatura isquiosural en la incidencia lesional y el rendimiento en jugadores de fútbol: Una revisión sistemática y Meta-análisis de estudios controlados aleatorizados.	Revisión Sistemática y Meta- análisis	n = 2506
2	Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en jugadores de fútbol utilizando un dinamómetro electromecánico funcional	Transversal	n = 19 (edad = 20.74 ± 4.04 años, altura = 176.00 ± 5.41 cm, peso = 73.35 ± 8.91 kg, IMC = 23.76 ± 2.41 kg/m² y experiencia de juego = 11.37 ± 2.71 años)
3	Comportamiento excéntrico de la musculatura isquiosural y su relación con el sprint y el salto en jugadores de fútbol utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE)	Transversal	n=19 (edad 20.74 ± 4.04, altura 176.00 ± 5.41, peso 73.35 ± 8.91 y experiencia de juego 11.37 ± 2.71 años)

Figura de elaboración propia

Los estudios y protocolos incluidos en esta tesis doctoral siguieron la declaración de Helsinki 2013 y el estudio fue aprobado por el Comité de Ética Científico de la Universidad de Granada, España (No 822 / CEIH / 2019).

#### 11.1.1 Participantes

El tamaño de la muestra se determinó usando el software estadístico (G\*Power versión 3.0.10), basado en una potencia del test al 90% y un nivel de significancia estadística al 5%, tamaño del efecto 0,8 (Bonett, 2002). La muestra estimada para los estudios II y III corresponde a 13 sujetos. Con el fin de anticiparse a posibles abandonos el estudio II y III comenzará con 19 sujetos. Cada participante fue informado acerca del propósito y procedimientos de esta investigación y de todos los riesgos posibles durante las mediciones. Todos los participantes entregaron su consentimiento informado antes de ser partícipe del estudio (Anexo 1).

#### 11.1.1.1 Criterios de inclusión

#### Estudio I:

- Ser jugadores de fútbol federados, sin exclusión por género ni edad.
- Evaluar la incidencia lesional o al menos un parámetro de la fuerza de los isquiosurales (fuerza máxima, ángulo de torque máximo y ratio H:Q).
- Ser estudios controlados aleatorizados (ECA) con grupo control para la comparación, con una duración superior a 4 semanas de intervención.
- Tener disponible el artículo completo de la revista en inglés.

#### Estudio II y III:

- Tener una experiencia competitiva y consecutiva de al menos 5 años antes de las mediciones.
- No tener lesiones previas de cadera, rodilla o muslo en los últimos 6 meses.

Ser mayor de 18 años.

#### 11.1.1.2 Criterios de exclusión

#### Estudio I:

- No ser jugadores de fútbol (atletas, jugadores de rugby, jugadores de baloncesto...)
- No ser estudios controlados aleatorizados (ECA) con grupo control, con una duración inferior a 4 semanas de intervención.
- No tener disponible el artículo completo de la revista en inglés
- Revisiones, resúmenes de congresos, estudios de series / casos.

# Estudio II y III:

- Participar en cualquier programa adicional de entrenamiento de fuerza durante las semanas que se ejecutó el estudio.
- No asistir a una o más sesiones de valoración durante todo el proceso de recogida de datos.

# 11.2 Material y Métodos

#### 11.2.1 Procedimientos

La recolección de datos se desarrolló en el primer semestre del año 2019 en las dependencias de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de

Granada, Andalucía, España. El tiempo de evaluación de cada sujeto depende del tipo de prueba desarrollada, aproximadamente para cada evaluación se estimó un tiempo de ejecución de 30 - 45 minutos por sujeto.

#### 11.2.2 Estudio I

Se llevó a cabo una revisión sistemática y meta-análisis para buscar la evidencia científica y conocer la metodología de entrenamiento de la musculatura isquiosural en jugadores de fútbol para: I) prevención de lesiones, II) optimización del rendimiento. Se siguieron las directrices de elementos de informes para revisiones sistemáticas y meta-análisis (PRISMA) durante todas las etapas de recopilación, síntesis y presentación de informes (Moher et al., 2009, Informe Prisma).

# 11.2.2.1 Búsqueda bibliográfica

Se identificaron ensayos clínicos mediante la búsqueda en las principales bases de datos electrónicas incluyendo: Web of Sciences, SCOPUS, SportDiscus, MedLine y PubMed. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo combinando, con los Booleanos (AND, OR), los diferentes términos MeSH acordes con los objetivos de investigación (Tabla 7). Las referencias recuperadas se importaron a EndNote X9 (Thomson Reuters, Nueva York, Nueva York, EE. UU.), y se eliminaron los duplicados posteriormente.

La búsqueda estuvo limitada desde el 1 de Enero de 2000 hasta el 1 de Junio de 2019. Además se examinaron las bibliografías de otras revisiones previas

relacionadas y de los trabajos finalmente seleccionados, para la búsqueda de nuevos estudios. Se intentó identificar otras posibles evidencias científicas relacionadas con el tema, mediante el contacto por medio de correo electrónico con los autores de los artículos publicados.

**Tabla 7.** Resumen de la agrupación de palabras clave empleada durante las búsquedas en la base de datos.

Grupo muscular	Lesión	Deporte
Musculatura isquiosural	Programa de prevención	Fútbol
	de lesiones	
Isquiosural	Prevención y control	
Bíceps femoral	Lesión muscular	
Semimembranoso	Intervención	
Semitendinoso	Recuperación	
	Lesión	
	Terapia preventiva	
	Rehabilitación terapéutica	
* El término booleano OR se u	tilizó dentro de las categorías, mient	ras que AND se utilizó entre
las categorías.		

Tabla de elaboración propia

Los títulos y resúmenes de cada artículo fueron evaluados por un autor (AS) y eliminados si la información era claramente inapropiada. Los criterios de selección fueron aplicados independientemente a los artículos restantes por tres autores (AS, ICR y LCR). Se obtuvo el texto completo para los artículos restantes, con criterios de selección aplicados por un autor (AS) y referencia cruzada por otro autor (ICR).

#### 11.2.2.2 Análisis

# Evaluar el sesgo y la calidad metodológica.

Dos revisores seleccionaron de forma independiente los títulos y los resúmenes.

Los artículos potencialmente relevantes se seleccionaron en texto completo, seguidos de una evaluación adicional para su elegibilidad por parte del tercer revisor.

La calidad del estudio fue evaluada por dos autores utilizando la Escala PEDro (Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials, 2003) que evalúa la calidad de los estudios en base a una escala de diez niveles (Tabla 8). Los estudios con puntajes de 9-10 se consideraron como "excelente", 6 - 8 como "bueno", 4 - 5 como "regular" y menos de 4 como "mala".

**Tabla 8.** Resumen de la agrupación de palabras clave empleada durante las búsquedas en la base de datos.

Primer autor, año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Askling, C. 2003	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
Ayala, F.2017	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
Ishoi, L. 2018	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	8
Krommes, K. 2017	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Mendiguchia, J. 2014	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Petersen, J. 2011	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Sabelien, C. 2014	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Van der Horst, N. 2014	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7

Tabla de elaboración propia

#### 11.2.2.3 Extracción de datos

Se extrajeron los datos más relevantes para la investigación, incluidos el número de participantes, los detalles de la población (edad, peso, estatura, sexo, IMC)

la metodología de entrenamiento, las variables investigadas (fuerza, salto y sprint) y los datos de resultados de los estudios seleccionados.

#### 11.2.3 Estudio II

#### 11.2.3.1 Diseño de la investigación

Una semana antes del comienzo de la fase experimental, todos los participantes fueron sometidos a dos sesiones de familiarización con el propósito de conocer la correcta ejecución técnica del procedimiento a ejecutar. Mediante la realización práctica de acciones de flexión y extensión de rodilla empleando diferentes velocidades isocinéticas y contracciones musculares (concéntrica y excéntrica). Para evaluar la fiabilidad del SEHE se utilizó un DEMF en su modalidad isocinética (DynaSystem®, modelo research, Granada. España) (Jerez-Mayorga et al., 2021; Rodriguez-Perea et al., 2019; Vega et al., 2018).

Estas evaluaciones se llevarán a cabo en cuatro sesiones, dos de familiarización y dos de registro a tres velocidades isocinéticas diferentes (20-40-60 cm/s), pidiéndoles que realicen un esfuerzo máximo durante cada una de las repeticiones. Para evitar cualquier señal de fatiga, se dejó una semana entre cada sesión de registro de datos.

#### 11.2.3.2 **Sujetos**

Diecinueve jugadores de fútbol masculinos federados (n = 19, edad =  $20.74 \pm 4.04$  años, altura =  $176.00 \pm 5.41$  cm, peso =  $73.35 \pm 8.91$  kg, IMC =  $23.76 \pm 2.41$  kg/m² y experiencia de juego =  $11.37 \pm 2.71$  años) participaron de manera voluntaria en este estudio. Los criterios de inclusión fueron (I) tener una

experiencia competitiva y consecutiva de al menos 5 años antes de las mediciones; y (II) no tener lesiones previas de cadera, rodilla o muslo en los últimos 6 meses. Los criterios de exclusión fueron (I) participar en cualquier programa adicional de entrenamiento de fuerza durante las semanas que se ejecutó el estudio; y (II) no asistir a una o más sesiones de valoración durante todo el proceso de recogida de datos. Todos los participantes fueron invitados a mantener sus niveles regulares de práctica de actividad físico-deportiva durante todo el proceso exploratorio. Aunque se les recomendó evitar las prácticas vigorosas durante las 24h previas a cada sesión de evaluación. Los jugadores entrenaron tres veces por semana durante 90 minutos y jugaron un partido oficial el fin de semana.

Todos los sujetos fueron informados de los riesgos potenciales asociados con los procedimientos experimentales antes de dar su consentimiento informado por escrito para participar. El estudio se ajustó a los estándares éticos establecidos por la Declaración de Helsinki. La aprobación de ética fue otorgada por el Comité de Ética de investigación Humana de la Universidad de Granada, España (Aprobación del CEIH: 822/CEIH/2019).

#### 11.2.3.3 Procedimiento

Las pruebas isocinéticas se evaluaron después de realizar un protocolo de calentamiento aeróbico y ejercicios de activación de la cadena posterior. El calentamiento aeróbico consistió en 5 minutos en cicloergómetro, a una resistencia de 100 watt (W) y con una cadencia de 70-80 r/min. Posteriormente, se realizaron 3 ejercicios de movilización y activación de la cadena posterior (10

repeticiones con cada pierna): Hip Extension, Puente unilateral y Swing de carrera con banda elástica en el tobillo (Figura 11). Una vez finalizado el calentamiento, el sujeto realizó una serie de aproximación de 5 repeticiones en el DEMF a una velocidad isocinética constante en la fase concéntrica y excéntrica de 20 cm/s con la pierna dominante.

Figura 11. Flujograma del calentamiento durante las semanas de familiarización y tests.



Figura de elaboración propia

Todos los participantes adoptaron una posición vertical, con el pie de apoyo (pierna no dominante) colocado encima de un cajón, al cual se le colocó una cinta métrica para medir la distancia a la que el sujeto situaba el pie de apoyo con respecto al instrumento de sujeción. Para que siempre se situase en la misma posición de partida y evitar así cualquier sesgo en la ejecución. Mientras tanto, la pierna de ejecución (pierna dominante) se situó fuera, unido al DEMF a través de una tobillera. El sujeto mantuvo una posición cómoda durante toda la ejecución del movimiento, donde la rodilla de la pierna dominante se situó en

paralelo al instrumento de sujeción para mantener el equilibrio y simular el gesto de swing de carrera.

Antes de la ejecución del movimiento se midió y se registró con el DEMF la distancia de recorrido de la pierna. El investigador llevó la pierna de ejecución del jugador hacia atrás totalmente extendida, hasta colocarla en paralelo con la pierna de apoyo y realizar una flexión de 30° de rodilla (J. B. Morin et al., 2015), medida mediante un goniómetro. Una vez medida la distancia del pie de apoyo con respecto al instrumento de sujeción y el rango de recorrido de la pierna de ejecución, el sujeto realizó 3 series del SEHE a tres velocidades isocinéticas diferentes (20-40-60 cm/s) en la fase excéntrica, ejecutando 5 repeticiones para cada velocidad, mientras que la fase concéntrica se mantenía estable a 20 cm/s (Figura 12). Para evitar cualquier sesgo metodológico el sujeto descansó 3 minutos entre cada serie, evitando así la aparición de la fatiga.

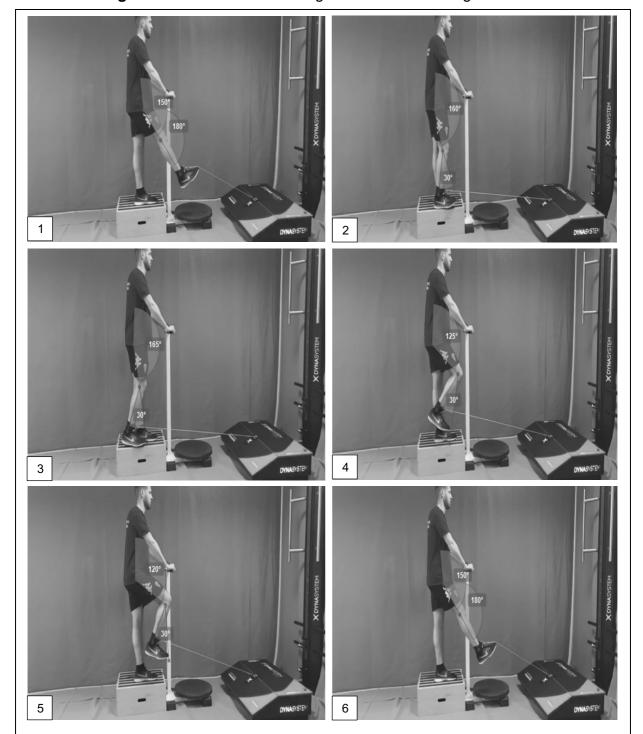


Figura 12. Protocolo del Swing Eccentric Hamstring Exercise.

Fig. 12. Protocolo de realización del Swing Eccentric Hamstrings Exercise: 1) Posición de inicio 2) Initial contact Stance phase 3) Take off Stance phase 4) Initial Swing phase 5) Middle-Swing phase 6) Terminal-Swing phase y posición de inicio del movimiento.

# 11.2.3.4 Variables de investigación

De la realización de la siguiente investigación se obtienen las siguientes variables expresadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Variables de investigación independientes y dependientes.

N°	Estudio	Variable	Variable Dependiente				
13	Estadio	Independiente	variable Dependiente				
2	Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en jugadores de fútbol utilizando un dinamómetro electromecánico funcional.	SEHE	<ol> <li>Composición Corporal: Peso (kg), Talla (Cm), IMC (kg/m²), Grasa corporal (%), masa muscular (Kg), masa muscular pierna derecha (Kg) y masa muscular pierna izquierda (Kg)</li> <li>Edad (años)</li> <li>Experiencia de juego (años)</li> <li>Perímetro del muslo</li> <li>Perímetro del gemelo</li> </ol>				
3	Comportamiento excéntrico de la musculatura isquiosural y su relación con el sprint y el salto en jugadores de fútbol utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE)	SEHE	<ol> <li>Composición Corporal: Peso (kg), Talla (Cm), IMC (kg/m²), Grasa corporal (%), masa muscular pierna derecha (Kg) y masa muscular pierna izquierda (Kg)</li> <li>Sprint 30 metros</li> <li>CMJ bilateral</li> <li>CMJ unilateral (CMJ Dom y CMJ No Dom)</li> <li>SJ</li> <li>Salto Horizontal</li> </ol>				

Tabla de elaboración propia

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

#### 11.2.4 Estudio III

# 11.2.4.1 Diseño de la investigación

A partir de la medición de la fuerza isocinética del SEHE se realizó la comparación con el rendimiento del tiempo de sprints, a diferentes distancias (10, 20 y 30 metros), y con el salto, mediante el test de Bosco (Counter Movement Jump, Squat Jump, unilateral Squat Jump y salto horizontal).

Previamente, se realizó un análisis de composición corporal, para conocer el estado de los jugadores y poder compararlo con el rendimiento. Estas evaluaciones tuvieron una duración de dos semanas, llevándose a cabo en dos sesiones diferentes, una para la realización del test de sprint y otra para la realización de los diferentes test de salto. Para evitar cualquier señal de fatiga, se dejó una semana entre cada sesión de registro de datos.

#### 11.2.4.2 **Sujetos**

Las características de los sujetos son iguales que las del Estudio II.

# 11.2.4.3 Composición Corporal

La estatura fue determinada usando un estadiómetro portátil (modelo 213; marca SECA; Hamburgo; Alemania a 0.1 cm). Las mediciones de composición corporal fueron realizadas utilizando una impedancia bioeléctrica de análisis tetrapolar (Marca Tanita, Modelo BC 330; Tokyo; Japan).

# **11.2.4.4** Test de sprint

La prueba de Sprint a 30 metros se realizó en un campo de césped artificial. Los investigadores colocaron cuatro pares de fotocélulas (DSD Laser System, León, España) enfrentadas con sus receptores y sincronizadas para la toma del tiempo cada 10 metros con un total de 30 metros. Los sujetos realizaron un calentamiento dirigido estandarizado, con una primera parte de 5 minutos de carrera continua alrededor del campo, y una segunda parte, de 10 minutos de movilidad articular por filas. Una vez realizado el calentamiento, el participante se colocó por detrás de la primera fotocélula en una posición estática e iniciaba la carrera. Las fotocélulas estaban colocadas a una distancia de diez metros conformando un recorrido total de treinta metros (Figura 13). Al pasar el participante por cada fotocélula se registraba el tiempo de paso realizado y se anotaba para la obtención de datos. Cada sujeto realizó tres series de sprint, con un descanso entre serie de más de tres minutos para evitar cualquier signo de fatiga. Para el análisis de datos se tuvo en cuenta el mejor tiempo de las tres repeticiones, así como la media de las mismas.



Figura 13. Representación de la prueba de Sprint con las fotocélulas.

Fuente de elaboración propia

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

#### 11.2.4.5 Test de Bosco

La prueba de salto se realizó con zapatillas dentro del pabellón deportivo de la instalación. La batería de test de Bosco se realizó mediante el instrumento OptoJump, con una separación de un metro y medio entre cada placa (Figura 14).

Los sujetos realizaron la batería de test de Bosco siguiendo el siguiente orden:

- 1. Counter Movement Jump (CMJ),
- 2. Squat Jump (SJ)
- 3. Counter Movement Jump con pierna dominante (CMJ Dom)
- 4. Counter Movement Jump con pierna no dominante (No Dom)
- 5. Salto Horizontal (SH)

La prueba de salto horizontal se medió a través de la aplicación My Jump 2. Los sujetos entraban por detrás de las células, realizaban un salto con un descanso intrarepetición de 30 segundos e interrepetición de 4 minutos. Cada sujeto realizó cada tipo de salto tres veces, donde se tuvo en cuenta el mejor salto de las tres repeticiones, así como la media de los mismos.

Figura 14. Realización del salto CMJ y SJ mediante el instrumento OptoJump.



Fuente de elaboración propia

#### 11.3 Análisis Estadístico

#### 11.3.1 Estudio I

El análisis de los datos se ha realizado mediante el software de gestión bibliográfica y meta-análisis Review Manager<sup>TM</sup> (Version 5.3, Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, The Cochrane Collaboration, 2014). Todos los estudios seleccionados son ensayos controlados aleatorizados en los que se han seleccionado las medias y desviaciones típicas de las variables de resultado en el grupo que ha recibido NHE y en el grupo control, así como el número de lesiones en cada grupo. Se ha aplicado, por lo tanto, un meta-análisis de comparación de medias o de Odds ratio mediante el modelo de efectos aleatorios. El análisis de la heterogeneidad se ha realizado mediante el coeficiente  $l^2$  y el coeficiente Q de Cochran. Se ha analizado el sesgo de publicación a través del coeficiente de regresión lineal de Egger. Se ha aplicado un nivel de significación del 5% (p  $\leq$  0.05).

#### 11.3.2 Estudio II

Los datos descriptivos se presentan como media ± DE. La distribución normal de los datos se confirmó mediante la prueba de Shapiro-Wilk (P > 0,05). Para comparar la magnitud de la carga entre ambas sesiones de pruebas se utilizó la prueba t de muestras pareadas y las diferencias medias estandarizadas (tamaño del efecto de Cohen [ES]). Los criterios para interpretar la magnitud del ES fueron los siguientes: trivial (< 0,20), pequeño (0,2-0,59), moderado (0,60-1,19), grande (1,20-2,00) y muy grande (> 2,00) (Hopkins et al., 2009). La fiabilidad absoluta se evaluó mediante el error estándar de medición (SEM) y el coeficiente de variación (CV), mientras que la fiabilidad relativa se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC). La fiabilidad aceptable se definió como un CV < 10% (Cormack et al., 2008). El ICC se describió como sigue: bajo (0,10), moderado (0,30), alto (0,50), muy alto (0,70) y extremadamente alto (0,9) (Hopkins et al., 2009). Para todos los estadísticos se incorporó al análisis el correspondiente intervalo de confianza del 95%. La significación estadística se aceptó a P < 0,05. Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins et al., 2009) (Hopkins, 2017), mientras que los demás análisis estadísticos se realizaron con el software JASP (versión 0.9.1.0, http://www.jasp-stats.org).

#### 11.3.3 Estudio III

Los datos descriptivos se presentan como media ± DE. La distribución de los datos se verificó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. El

coeficiente de correlación de Pearson fue calculado para examinar la asociación entre las variables. El coeficiente de correlación fue interpretado a través de la clasificación descrita por (Mukaka, 2012), donde (0.9 a 1.0) era una correlación muy alta, (0.7 a 0.9) alta, (0.5 a 0.7) moderada, (0.3 a 0.5) baja y (0.0 a 0.3) insignificante. Se utilizó el paquete de software JASP (versión 0.9.1.0, http://jasp-stats.org) para todos los análisis. La significación estadística se estableció en p ≤ 0.05.



# 12 Resultados

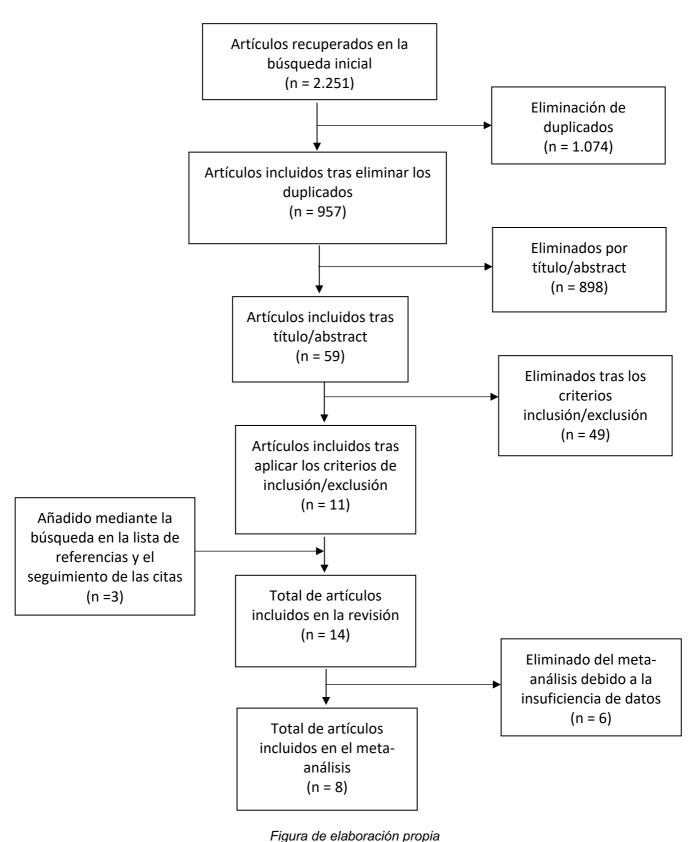
Los resultados de la presente investigación se agrupan en 3 partes en relación con cada estudio realizado:

12.1 Estudio I: Efectividad del Entrenamiento de la Musculatura Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: Una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios Controlados Aleatorizados.

# 12.1.1 Resultado de búsqueda

La estrategia de búsqueda consistió en seis pasos (figura 1). La búsqueda inicial identificó 2031 artículos (SCOPUS = 475; PubMed = 48; SPORTDiscus = 325; Web of Science = 876; MEDLINE = 307) de todas las bases de datos. Después de eliminar los duplicados, quedaron 957 artículos. Los títulos y abstract fueron evaluados según su relevancia para la revisión. De esta evaluación fueron excluidos 898 artículos, quedando como resultado 59 artículos potencialmente idóneos para ser incluidos en el estudio. Se obtuvieron los textos completos de esta muestra y se aplicaron los criterios de inclusión, quedando 11 artículos para ser incluidos en la revisión. Además, se encontraron 3 estudios mediante el cribado de las listas de referencias de las revisiones sistemáticas actuales. Por lo tanto, nuestro meta-análisis incluyó 8 estudios en total, de los 14 artículos seleccionados (Figura 15).

**Figura 15.** Diagrama de flujo a través de la estrategia de búsqueda bibliográfica.



Se ha aplicado la técnica de meta-análisis a la incidencia lesional, al par máximo excéntrico y concéntrico del isquiotibial (Hecc-Hcon), par máximo concéntrico del cuádriceps (Qcon), ratio isquiotibial/cuádriceps concéntrico (Hcon-Qcon), ratio isquiotibial excéntrico/cuádriceps concéntrico (Hecc-Qcon), tiempo de sprint de 10 m y salto vertical con contramovimiento (CMJ). En todos los casos se ha utilizado el modelo de efectos aleatorios. Las características de los estudios seleccionados para el meta-análisis se resumen en la tabla 10.

**Tabla 10.** Características de los estudios seleccionados para el meta-análisis.

Puntuación escala PEDro	Características	Método de recogida de datos	Intervención	Intervención progresiva	Frecuencia semanal
Askling et al. 2003 (PEDro = 5)	30 jugadores de fútbol profesionales: - 15 futbolistas EG (edad = 24 ± 2,6; estatura = 182 ± 6 cm; masa corporal = 78 ± 5 kg) - 15 futbolistas CG (edad = 26 ± 3,6; estatura = 181 ± 7 cm; masa corporal = 77 ± 6 kg)	Registrado por el médico del equipo.	10 semanas	No	16 sesiones en 10 semanas
Ayala et al. 2017 (PEDro = 5)	- 16 jugadores de fútbol amateur:  - 8 hombres (edad = 19,1 ± 1,3 ; estatura = 177,2 ± 6,4 cm; masa corporal = 71,4 ± 8,8 kg)  - 8 mujeres (edad = 20,1 ± 1,8 ; estatura = 164,9 ± 6,9 cm; masa corporal = 60,1 ± 6,6 kg)	Registrado por el médico del equipo.	8 semanas	No	1 sesión cada 2 semanas, durante 8 semanas.
Ishoi et al. 2018 (PEDro = 8)	25 futbolistas masculinos aficionados de la misma zona geográfica y nivel competitivo: - 11 futbolistas EG (19,1 ± 1,8 años; 76,2 ± 11,9 kg; 180,7 ± 7,3 cm) - 14 jugadores de fútbol CG (19,4 ± 2,1 años; 77 ± 8,7 kg; 180,7 ± 6,5 cm)	Registrado por fisioterapeutas y preparadores físicos.	10 semanas	No	27 sesiones en 10 semanas

# Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

Krommes et al. 2017 (PEDro = 7)	19 futbolistas profesionales masculinos: - 9 futbolistas EG (23,0 ± 3,9 años; 73,1 ± 5,8 kg; 183 ± 5 cm) - 10 futbolistas CG (25,1 ± 4,9 años; 77,9 ± 9,9 kg; 181 ± 7 cm).	Registrado por diferentes investigadores.	10 semanas	No	27 sesiones en 10 semanas
Maher et al. 2014 (PEDro = 7)	27 futbolistas masculinos semiprofesionales: - 16 futbolistas EG (18-29 años) - 11 futbolistas CG (20-36 años)	Registrado por diferentes investigadores y preparadores físicos.	10 meses	Si	27 sesiones en 10 semanas
Mendiguchia et al. 2015 (PEDro = 6)	51 futbolistas masculinos aficionados de la misma zona geográfica y nivel competitivo: - 27 futbolistas EG (22,7 ± 4,8 años; 71,6 ± 8,7 kg; 175,2 ± 6,3 cm) - 24 jugadores de fútbol CG (21,8 ± 2,5 años; 71,0 ± 7,7 kg; 176,9 ± 6,3 cm)	Registrado por diferentes investigadores, preparadores físicos y fisioterapeutas.	7 semanas	No	2 sesiones por semana durante 7 semanas
Petersen et al. 2011 (PEDro= 7)	50 equipos de fútbol masculino juegan en las 5 primeras divisiones de fútbol danesas: - 461 futbolistas EG (23,0 ± 4,0 años) - 481 jugadores de fútbol CG (23,5 ± 4,0 años)	Registrado por el fisioterapeuta o el personal médico del equipo y el preparador físico.	10 semanas	Si	27 sesiones de la NHE en un periodo de 10 semanas durante la pausa de mitad de temporada
Van der Horst et al. 2015 (PEDro= 7)	579 jugadores de fútbol amateur: - 292 futbolistas EG (24,5 ± 3,6 años; 77,6 ± 7,8 kg; 183,4 ± 6,4 cm) - 287 jugadores de fútbol CG (24,6 ± 4,1 años; 78,4 ± 8,2 kg; 183,5 ± 6,4 cm)	Registrado por el fisioterapeuta o el personal médico del equipo y el preparador físico.	13 semanas	Si	25 sesiones en 13 semanas

Tabla de elaboración propia

Tabla 10. Características de los estudios seleccionados para el meta-análisis.

					os seleccionados para el meta-analisis.
Puntuación escala PEDro			ercicio lumen		Resultados
Askling et al. 2003 (PEDro = 5)		es x 8 excér	repetici	ones de on máquina	Un programa de entrenamiento excéntrico disminuye el número de lesiones en los isquiosurales a lo largo de una temporada.
Ayala et al. 2017 (PEDro = 5)		1 F 2 Ha	IFA 11∹ armokne		No hubo diferencias significativas en el rendimiento entre el calentamiento dinámico y el programa FIFA 11+ o Harmoknee.
Ishoi et al. 2018 (PEDro = 8)	2 E forta progr	sprints jercicio lecimio esivo o	o: Progr ento exc de los m	os de 10 m ama de céntrico núsculos do el NHE Rep. 5 6 6-8 8-10 12,10,8	El NHE dio lugar a una mejora no significativa (p = 0,056), pero probable, en el rendimiento del sprint repetido (+ 1,8%).
Krommes et al. 2017 (PEDro = 7)	- 6- 2 Ej fortal progre	30 m s 8 repe jercicio lecimio esivo o	ticiones o: Progr ento exc de los m	ama de	El NHE produjo una ligera pero no significativa mejora en el rendimiento del sprint y el salto vertical (CMJ).
Maher et al. 2014 (PEDro = 7)	- 3 x 5 s isométr  2 E fortal progre	40 m s 60°s- má egund ica má jercicio lecimio esivo o	1 concé áximos os de co áxima a 60°. o: Progr ento exc de los m	náximos entricos ontracción 20°, 40° y ama de	<ul> <li>El NHE redujo significativamente el número de lesiones durante una temporada.</li> <li>El NHE no mostró cambios significativos en la fuerza y el rendimiento del sprint.</li> </ul>

Mendiguchia et al. 2015 (PEDro = 6)	entro	enamie 1 E 2 Pli	nto que xcéntric ométric	_	Un programa de entrenamiento neuromuscular puede aumentar la fuerza muscular y mantener el rendimiento del sprint.
	Sem.	<u>S/S</u>	<u>Ser</u>	Rep.	
	1	1	2	5	
Petersen et al. 2011	2	2	2	6	El NHE disminuyó la tasa de lesiones agudas, nuevas y
(PEDro= 7)	3	3	3	6-8	recurrentes de los isquiosurales en general.
	4	3	3	8-10	
	5-10	3	3	12,10,8	
	Sem.	<u>S/S</u>	<u>Ser</u>	Rep.	
	1	1	2	5	
Van der Horst et al.	2	2	2	6	El NHE redujo significativamente el riesgo de lesión a lo
2015 (PEDro= 7)	3	3	3	6-8	largo de una temporada (riesgo relativo, 3,384; IC 95%, 1,362-8,409) (odds ratio, 0,282; IC 95%, 0,110-0,721).
	4	3	3	8-10	.,552 5, 155, (5225 1225, 5,262, 10 5676, 5,116 6,121).
	5-10	3	3	12,10,8	

Tabla de elaboración propia

#### 12.1.2 Incidencia de lesiones

Se incluyeron cuatro estudios (Askling et al., 2003; Maher et al., 2014; Petersen et al., 2011; Van Der Horst et al., 2015) en el meta-análisis de la incidencia de lesiones tras la aplicación del programa NHE. Según el índice I2, la heterogeneidad entre los estudios es moderada (I2 = 39%), siendo el valor Q de Cochrane 4,94 (p = 0,180). El coeficiente de regresión lineal de Egger = 2,29 (p = 0,149) indica que no hay sesgo de publicación. La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 1574 participantes. La OR global para la probabilidad de lesión en el grupo de control es de 3,95 (IC del 95%: 2,00-7,81), que es estadísticamente significativa, lo que indica que esta intervención reduce significativamente la probabilidad de lesión (Figura 16).

**Odds Ratio** Experimental Control **Odds Ratio** Total Events Total Weight M-H, Random, 95% CI M-H, Random, 95% CI Study or Subgroup Events Askling et al, 2003 13 10 13 11.6% 0.09 [0.01, 0.56] 3 Maher et al, 2014 15 461 52 481 45.3% 0.28 [0.15, 0.50] 0.03 [0.00, 0.53] Petersen et al. 2011 16 4.7% 0 6 11 Van der Horst et al, 2015 292 287 38.4% 0.41 [0.20, 0.85] Total (95% CI) 782 792 100.0% 0.25 [0.13, 0.50] 93 Total events 29 Heterogeneity:  $Tau^2 = 0.18$ ;  $Chi^2 = 4.94$ , df = 3 (P = 0.18);  $I^2 = 39\%$ 0.001 1000 0.1 10 Test for overall effect: Z = 3.95 (P < 0.0001) Experimental Control

Figura 16. Incidencia lesional.

Figura de elaboración propia

# 12.1.3 Par máximo excéntrico isquiosural

Se utilizaron cuatro estudios para este parámetro (Askling et al., 2003; Ishøi et al., 2018; Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015), lo que incluye cinco comparaciones ya que el estudio de J. Mendiguchia et al., (2015) evaluó ambas piernas. El coeficiente I2 indica que la heterogeneidad entre estos estudios es muy baja (I2 = 37%), con un valor Q de Cochrane de 4,38 (p = 0,180). Además, no se detectó ningún sesgo de publicación según el coeficiente de regresión lineal de Egger = -1,08 (p = 0,361). La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 180 personas. La diferencia media global entre la NHE y el control es superior a 0 (Z = 3,55; p <0,001), lo que muestra un efecto global significativo de esta intervención sobre el par excéntrico máximo de los isquiosurales (Figura 17).

#### 12.1.4 Par máximo concéntrico isquiosural

Se recogieron y evaluaron los datos de las piernas dominantes y no dominantes para el par concéntrico máximo de los isquiosurales (N/kg) en dos estudios de investigación (Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015), que incluyeron tres comparaciones debido al estudio de J. Mendiguchia et al., (2015). Según el coeficiente I2, la heterogeneidad entre los exámenes es muy baja (I2 = 0%), con

un valor Q de Cochrane de 0,11 (p = 0,790). No se detectó ningún sesgo de publicación según el coeficiente de regresión lineal de Egger = -6,20 (p = 0,102). La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 129 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 11,79, con un efecto global significativo de esta intervención sobre el par concéntrico máximo de los isquiosurales (Figura 17).

Experimental Control Std. Mean Difference Std. Mean Difference SD Total Weight IV, Random, 95% CI Study or Subgroup Mean SD Total Mean IV, Random, 95% CI 1.1.1 Eccentric Askling et al. 2003 176 22 156 23 16.1% 0.86 [0.05, 1.67] 13 13 Ishoi et al, 2018 372.7 62.1 14 383.2 68.6 11 16.6% -0.16 [-0.95, 0.63] Maher et al, 2014 147.6 24.6 16 145.5 61.4 11 17.3% 0.05 [-0.72, 0.81] Mendiguchia et al, 2015 288.5 41.6 27 250.7 44.4 24 24.6% 0.87 [0.29, 1.44] Mendiguchia et al, 2015 25.4% 0.56 [-0.00, 1.12] 268.5 43.5 243 46.6 0.48 [0.09, 0.86] Subtotal (95% CI) 97 83 100.0% Heterogeneity:  $Tau^2 = 0.07$ ;  $Chi^2 = 6.34$ , df = 4 (P = 0.18);  $I^2 = 37\%$ Test for overall effect: Z = 2.41 (P = 0.02) 1.1.2 Concentric 118 20.4 16 110.1 42.3 0.25 [-0.52, 1.02] Maher et al. 2014 20.9% 11 Mendiguchia et al, 2015 158.8 21.9 27 147.2 21.4 39.7% 0.53 [-0.03, 1.09] 24 Mendiguchia et al, 2015 27 138.3 23.4 24 39.4% 0.57 [0.01, 1.13] 151.1 21 Subtotal (95% CI) 59 100.0% 0.48 [0.13, 0.84] Heterogeneity:  $Tau^2 = 0.00$ ;  $Chi^2 = 0.47$ , df = 2 (P = 0.79);  $I^2 = 0\%$ Test for overall effect: Z = 2.69 (P = 0.007) -0.5 0.5 Control Experimental

Figura 17. Par máximo excéntrico y concéntrico del isquiosural.

Test for subgroup differences: Chi<sup>2</sup> = 0.00, df = 1 (P = 0.97), I<sup>2</sup> = 0%

Figura de elaboración propia

# 12.1.5 Par máximo concéntrico del cuádriceps

En los mismos estudios (Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015), se evaluó el par máximo concéntrico del cuádriceps (N/kg). Según el coeficiente I2, la heterogeneidad entre los estudios es muy baja (I2 = 0%), con un valor Q de Cochrane de 0,89 (p = 0,650). No se detectó ningún sesgo de publicación según el coeficiente de regresión lineal de Egger = -4,52 (p = 0,138). La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 129 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 2,85, que no es estadísticamente

significativa, lo que indica que esta intervención no produce un efecto global superior al del control sobre el par máximo concéntrico del cuádriceps (Figura 18).

Control Std. Mean Difference Std. Mean Difference Experimental SD Total Mean SD Total Weight IV, Random, 95% CI IV, Random, 95% CI Study or Subgroup Mean 2.1.2 Concentric Maher et al. 2014 203.9 30.9 16 182.7 64.6 11 20.0% 0.43 [-0.34, 1.21] Mendiguchia et al, 2015 286.1 28.5 27 286.4 34.8 40.0% -0.01 [-0.56, 0.54] 27 280.9 31.5 0.07 [-0.48, 0.62] Mendiguchia et al, 2015 283.5 38.8 24 40.0% 70 59 0.11 [-0.24, 0.46] Subtotal (95% CI) 100.0% Heterogeneity:  $Tau^2 = 0.00$ ;  $Chi^2 = 0.87$ , df = 2 (P = 0.65);  $I^2 = 0\%$ Test for overall effect: Z = 0.63 (P = 0.53) -1 -0.5 0.5 0 Control Experimental

Figura 18. Par máximo concéntrico del cuádriceps

Test for subgroup differences: Not applicable

Figura de elaboración propia

# 12.1.6 Ratio isquiosural/cuádriceps concéntrico

La evaluación de la relación de fuerza concéntrica entre los isquiosurales y el cuádriceps se ha recopilado a partir de dos estudios (Ayala 2017 et al., 2017.; J. Mendiguchia et al., 2015) que incluyeron cuatro comparaciones, ya que J. Mendiguchia et al., (2015) evaluaron ambas piernas, mientras que el estudio de Ayala et al.(29) incluyó dos grupos de control (calentamiento dinámico y harmoknee). Según el índice I2, la heterogeneidad entre los estudios es media (I2 = 47%), con un valor Q de Cochrane de 5,90 (p = 0,190). El coeficiente de regresión lineal de Egger = -7,13 (p = 0,19) indica que existe un posible sesgo de publicación. La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 166 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 0,02, que no es estadísticamente significativa, lo que indica que esta intervención no produce un efecto global superior al del control sobre la relación isquiosurales/cuádriceps en la fuerza concéntrica (Figura 19).

# 12.1.7 Ratio isquiosural excéntrico/cuádriceps concéntrico

La evaluación de la relación entre la fuerza excéntrica de los isquiosurales y la fuerza concéntrica del cuádriceps se recopiló a partir de dos estudios (Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015), que incluyen tres comparaciones porque J. Mendiguchia et al., (2015) evaluaron ambas piernas. Según el índice I2, la heterogeneidad entre los estudios es alta (I2 = 83%), siendo el valor Q de Cochrane 14,34 (p <0,003). El coeficiente de regresión lineal de Egger = -2,59 (p = 0,234) indica que no hay sesgo de publicación. La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 129 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 0,05, que no es estadísticamente significativa, lo que indica que esta intervención no produce un efecto global superior al del control sobre la relación isquiosurales excéntricos/cuádriceps concéntrico (Figura 19).

**Figura 19.** Ratio isquiosural/cuádriceps concéntrico e isquiosural excéntrico/cuádriceps concéntrico.

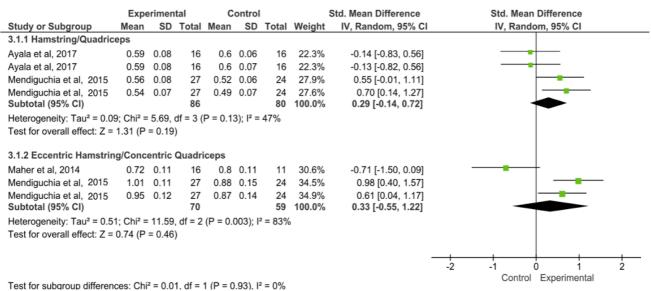


Figura de elaboración propia

# 12.1.8 Tiempo de sprint de 10 metros

Tres investigaciones en el meta-análisis del sprint de 10 m (s) (Maher et al., 2014; Ayala et al., 2017; Ishøi et al., 2018), incluyen cuatro comparaciones porque Ayala et al., (2017) investigaron con dos grupos de control (calentamiento dinámico y harmoknee). Según el índice I2, la heterogeneidad entre estos estudios es alta (I2 = 67%), siendo el valor Q de Cochrane de 10,73 (p = 0,03). El coeficiente de regresión extendida de Egger = -2,61 (p = 0,121) indica que no hay sesgo de publicación. La población total para el meta-análisis estaba formada por 116 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 0,03, que no es estadísticamente significativa, lo que indica que esta intervención no produce un efecto global superior al control sobre el tiempo de sprint a 10 m (Figura 20).

**Experimental** Control Std. Mean Difference Std. Mean Difference Study or Subgroup SD Total Mean SD Total Weight IV, Random, 95% CI IV, Random, 95% CI Mean Ayala et al, 2017 1.99 0.17 16 2.12 0.18 16 25.8% -0.72 [-1.44, -0.01] Ayala et al, 2017 2.07 0.15 16 2.12 0.18 16 26.3% -0.29 [-0.99, 0.40] Ishoi et al. 2018 1.725 0.05 11 1.659 0.08 23.2% 0.93 [0.09, 1.77] 14 Maher et al, 2014 1.59 0.66 11 1.65 0.54 16 24.7% -0.10 [-0.87, 0.67] Total (95% CI) 62 100.0% -0.07 [-0.72, 0.58] 54 Heterogeneity:  $Tau^2 = 0.29$ ;  $Chi^2 = 8.99$ , df = 3 (P = 0.03);  $I^2 = 67\%$ Test for overall effect: Z = 0.22 (P = 0.83) Control Experimental

Figura 20. Tiempo de Sprint 10 metros.

Figura de elaboración propia

#### 12.1.9 Salto vertical con contramovimiento

Dos estudios del meta-análisis del salto vertical con contramovimiento (Ayala et al., 2017; Krommes et al., 2017) incluyen tres comparaciones debido a la investigación realizada por Ayala et al., (2017), con dos grupos de control

(calentamiento dinámico y harmoknee). Según el índice I2, la heterogeneidad entre los estudios es alta (I2= 75%), con un valor Q de Cochrane de 9,02 (p = 0,02). El coeficiente de regresión lineal de Egger = -0,19 (p = 0,881) indica que no hay sesgo de publicación. La población total para el meta-análisis estaba compuesta por 83 participantes. La diferencia media global entre la NHE y el control es de 0,07, que no es estadísticamente significativa, lo que indica que esta intervención no produce un efecto global superior al del control sobre la altura de salto en contramovimiento (Figura 21).

Figura 21. Salto vertical con contramovimiento.

	Experimental Contro			ontro	I	;	Std. Mean Difference	Std. Mean Difference	
Study or Subgroup	Mean	SD	Total	Mean	SD	Total	Weight IV, Random, 95% CI		IV, Random, 95% CI
Ayala et al, 2017	27.1	3.1	16	24.6	2.9	16	34.5%	0.81 [0.09, 1.54]	-
Ayala et al, 2017	22.9	2.6	16	24.6	2.9	16	34.8%	-0.60 [-1.31, 0.11]	<del></del>
Krommes et al, 2017	43.48	5.85	10	44.97	3.9	9	30.6%	-0.28 [-1.19, 0.62]	-
Total (95% CI)			42			41	100.0%	-0.02 [-0.91, 0.88]	
Heterogeneity: Tau <sup>2</sup> = 0.46; Chi <sup>2</sup> = 7.95, df = 2 (P = 0.02); l <sup>2</sup> = 75%							1 1 1		
Test for overall effect:	Z = 0.03	(P = 0)	.97)						Control Experimental

Figura de elaboración propia

12.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en Jugadores de Fútbol Utilizando un Dinamómetro Electromecánico Funcional.

Las características descriptivas de los participantes se aprecian en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Características descriptivas de los participantes en el estudio.

Variables	(n=19)
Edad (años)	20.74 ± 4.04
Experiencia (años)	11.37 ± 2.71
Peso (Kg)	73.35 ± 8.91
Altura (cm)	176.00 ± 5.41
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	23.76 ± 2.41
Perímetro del muslo (cm)	57.71 ± 3.74
Perímetro del gemelo (cm)	38.21 ± 2.53
Grasa corporal (%)	13.66 ± 4.07
Total de Masa muscular (kg)	59.89 ± 5.27
Masa muscular pierna derecha (kg)	10.52 ± 0.96
Masa muscular pierna izquierda (kg)	10.52 ± 0.95

Tabla de elaboración propia

En la evaluación de la carga media durante el SEHE se encontraron diferencias significativas en la condición de 20 cm/s (p = 0,032) y 40 cm/s (p = 0,001) con un tamaño del efecto pequeño (ES = 0,32 y 0,34 respectivamente). Por otro lado, en la carga máxima hay diferencias significativas en las tres condiciones entre el test-retest (p < 0,05), con un tamaño del efecto pequeño para 20 cm/s (ES= 0,28), 40 cm/s (ES= 0,31) y 60 cm/s (ES= 0,28). La fiabilidad absoluta proporcionó una repetibilidad estable para los protocolos de carga media y máxima, con un CV inferior al 10% en todos los casos (Tabla 12).

La fiabilidad relativa fue "muy alta" para la carga media en las tres condiciones, presentando el mayor valor de ICC (0,94) a 40 cm/s. Para la carga máxima, la

fiabilidad relativa fue "muy alta" en todas las condiciones. La manifestación de la carga más fiable fue la fuerza máxima (ICC 0,91-0,87).

**Tabla 12.** Fiabilidad del DEMF utilizando diferentes velocidades de ejecución isocinética durante el SEHE.

	Condición	Sesión 1ª (N)	Sesión 2ª(N)	p value	ES (95% CI)	CV (95% CI)	SEM (95% CI)	ICC (95% CI)
	20 (cm/s)	336.2 ± 42.3	350.8 ± 47.5	0.032*	0.32 (- 0.581, 1.23)	5.67 (4.28, 8.38)	19.47 (14.71,28.79)	0.83 (0.61, 0.93)
Carga Media	40 (cm/s)	388.2 ± 43.7	402.2 ± 39.3	0.001*	0.34 (- 0.569, 1.243)	2.80 (2.12, 4.14)	11.07 (8.31,6.37)	0.94 (0.84, 0.98)
	60 (cm/s)	412.9 ± 58.0	429.3 ± 61.5	0.067	0.27 (- 0.629, 1.178)	6.17 (4.66,9.13)	25.99 (19.64, 38.44)	0.83 (0.61 ,0.93)
	20 (cm/s)	490.2 ± 75.6	510.5 ± 69.3	0.015*	0.28 (- 0.624, 1.184)	4.66 (3.52,6.89)	23.32 (17.62, 34.49)	0.91 (0.78, 0.96)
Carga Máxima	40 (cm/s)	544.3 ± 87.9	569.8 ± 78.1	0.022*	0.31 (- 0.598, 1.211)	5.68 (4.29,8.39)	31.62 (23.89, 46.76)	0.87 (0.69, 0.95)
	60 (cm/s)	597.6 ± 101.3	624.7 ± 92.1	0.030*	0.28 (- 0.624, 1.184)	5.85 (4.42, 8.65)	35.76 (27.02, 52.89)	0.88 (0.71, 0.95)

ES: Cohen's d effect size; CV: coeficiente de variación; SEM: error estándar de medición; ICC: coeficiente de correlación intraclase; 95% CI: 95% interval de confianza; N: Newton

La fiabilidad relativa fue "muy alta" para la fuerza media en las 3 condiciones, presentando el valor ICC más alto (0,94) a 40 cm/s. Para la fuerza máxima, la fiabilidad relativa fue "muy alta" en todas las condiciones. La manifestación de la fuerza más fiable fue la fuerza pico (ICC 0,91-0,88).

<sup>\*</sup> P < 0.005

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> Valores indicados como media ± desviación estándar.

12.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE).

A continuación, en la tabla 13 se muestran las características descriptivas en cuanto a los antecedentes antropométricos y composición corporal de los jugadores.

Tabla 13. Características descriptivas de los sujetos.

Variables	Total (n=20)			
Edad (años)	20.74 ± 4.04			
Experiencia (años)	11.37 ± 2.71			
Peso (Kg)	73.35 ± 8.91			
Altura (cm)	176.00 ± 5.41			
IMC (Kg/altura <sup>2</sup> )	23.76 ± 2.41			
Circunferencia Muslo (cm)	57.71 ± 3.74			
Circunferencia Gastrocnemio (cm)	38.21 ± 2.53			
Grasa Corporal (Kg)	13.66 ± 4.07			
Grasa Pierna Derecha (Kg)	11.42 ± 3.06			
Grasa Pierna Izquierda (Kg)	11.37 ± 3.45			
Grasa Tronco (Kg)	15.63 ± 5.29			
Masa Muscular Corporal (Kg)	$59.89 \pm 5.27$			
Masa Muscular Pierna Derecha (Kg)	10.52 ± 0.96			
Masa Muscular Pierna Izquierda (Kg)	10.52 ± 0.95			
Masa Muscular Tronco (Kg)	31.72 ± 2.61			
IMC: Índice de Masa Corporal				

Tabla de elaboración propia

La tabla 14 muestra las características descriptivas de los niveles de fuerza media y pico en condiciones excéntricas a través del ejercicio SEHE, además del comportamiento de la variable de sprint y de salto de los futbolistas.

Tabla 14. Características descriptivas de fuerza media y pico, sprint y salto.

Variables	Total (n=20)	
Fuerza Media 20 (N)	350.80 ± 47.50	
Fuerza Media 40 (N)	402.20 ± 39.30	
Fuerza Media 60 (N)	402.20 ± 39.30	
Fuerza Pico 20 (N)	510.50 ± 69.30	
Fuerza Pico 40 (N)	569.80 ± 78.10	
Fuerza Pico 60 (N)	624.70 ± 92.10	
CMJ Media Altura (cm)	32.89 ± 4.16	
CMJ Media RSI (m/s)	0.075 ± 0.025	
SJ Media Altura (cm)	31.89 ± 4.03	
SJ Media RSI (m/s)	0.051 ± 0.016	
Sprint Media 10 m (s)	1.70 ± 0.08	
Sprint Media 20 m (s)	2.94 ± 0.14	
Sprint Media 30 m (s)	4.13 ± 0.16	
CMJ= Counter Movement Jump; SJ= Jump Squat		

Tabla de elaboración propia

El resultado del análisis de las variables de fuerza pico y sprint media y pico, nos reveló que existe una relación "moderada" entre la fuerza pico a una velocidad isocinética de 60 (cm/s) comparándolo con el valor medio del sprint de 10 metros (r= 0.492, p= 0.032) y junto al valor media de Sprint en 20 metros (r=0.4621, p=0.047) mostrada en la tabla 15.

**Tabla 15.** Coeficiente de Correlación de Pearson entre la Fuerza Pico excéntrica y el tiempo medio y pico del sprint (n=20)

	Fuerza pico (N)		
	FP (N)20	FP (N)40	FP (N)60
	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)
Sprint Media 10 (m)	0.21	0,22	0.49*
Sprint Media 20 (m)	0.12	0.08	0.46*
Sprint Media 30 (m)	0,15	0.15	0.41
Sprint Pico 10 (m)	0.16	0.27	0.03
Sprint Pico 20 (m)	0.05	-0.03	0.32
Sprint Pico 30 (m)	0.06	0.16	0.36
*p<0.005			

Tabla de elaboración propia

La Fuerza Pico (N) a 60 (cm/s) presenta una correlacion "alta" (r=-0.59, p=0.008) con el RSI (m/s) del CMJ (Tabla 16)

**Tabla 16.** Coeficiente de correlación de Pearson entre la fuerza pico excéntrica y la altura y el RSI del CMJ (n=20).

	Fuerza	Fuerza Pico (N)			
	FP (N)20 (cm/s)	FP (N)40 (cm/s)	FP (N)60 (cm/s)		
CMJ Media Altura	0.01	-0.12	0.045		
(cm) CMJ Media RSI	-0.28	-0.39	-0.59**		
CMJ Pico Altura (cm)	0.06	-0.11	0.07		
CMJ Media RSI (m/s)	-0.09	-0.18	-0.40		

CMJ= Salto con contramovimiento; RSI= Índice de fuerza reactiva \*p<0.005 \*\*p<0.001

Tabla de elaboración propia

En el salto SJ se observó que existente una relación "moderada" entre la fuerza pico (N) a 60 (cm/s) y la media del SJ en la variable RSI (r=-0.51, p= 0.027) (Tabla 17).

**Tabla 17.** Coeficiente de correlación de Pearson entre la fuerza pico excéntrica y la altura y el RSI del SJ (n=20).

	Fuerza Pico (N)		
	FP (N)20	FP (N)40	FP (N)60
	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)
SJ Media Altura (cm)	-0.02	-0.11	-0.04
SJ Media RSI (m/s)	-0.31	-0.31	-0.51*
SJ Pico Altura (cm)	-0.02	-0.10	-0.09
SJ Pico RSI (m/s)	-0.03	-0.02	-0.36

SJ= Squat Jump; RSI= Índice de fuerza reactiva \*p<0.005

Tabla de elaboración propia.

### Discusión

#### 13 Discusión

La presente investigación ha querido determinar la fiabilidad del SEHE utilizando un Dinamómetro electromecánico funcional isocinético (DEMF) mediante un test de fuerza con control cinético.

Siguiendo la división establecida en el apartado de resultados la discusión se ha dividido en 3 apartados: (I) La efectividad del entrenamiento de la musculatura isquiosural en la incidencia lesional y el rendimiento en jugadores de fútbol, (II) la fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en jugadores de fútbol utilizando un dinamómetro electromecánico funcional y (III) el comportamiento excéntrico de la musculatura isquiosural y su relación con el sprint y el salto en jugadores de fútbol utilizando el SEHE.

13.1 Estudio I: Efectividad del Entrenamiento de la Musculatura Isquiosural en la Incidencia Lesional y el Rendimiento en Jugadores de Fútbol: Una Revisión Sistemática y Meta-análisis de Estudios controlados Aleatorizados.

El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática y meta-análisis para analizar la evidencia científica actual sobre la efectividad del entrenamiento de la musculatura isquiosural en la incidencia lesional y el rendimiento en jugadores de fútbol. Este meta-análisis incluyó ocho ensayos controlados aleatorizados, los cuales reportaron datos estadísticamente significativos de la reducción del número de lesiones de la musculatura isquiosural en jugadores de fútbol, al aplicar programas de fortalecimiento excéntrico. Del mismo modo que

no afectó de manera significativa a la mejora del rendimiento en el salto y el sprint.

#### 13.1.1 Incidencia lesional

Nuestros resultados mostraron que la implementación de un programa de entrenamiento de fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural, que incluía el NHE y el eccentric flywheel en jugadores de fútbol, mejoraba la relación de fuerza Hecc-Hcon, disminuyendo el número de lesiones de isquiosurales y la gravedad de las mismas de manera significativa a lo largo de una temporada (Askling et al., 2003; Petersen et al., 2011; Van Der Horst et al., 2015). Del mismo modo, Clark et al., (2005) afirmó que el entrenamiento del NHE puede producir adaptaciones neuromusculares favorables para la posible prevención de lesiones en los isquiosurales.

Nuestros resultados están de acuerdo con las revisiones previas de Al Attar et al., (2017) y Vatovec et al., (2019), quienes informaron que las intervenciones, incluido el NHE, disminuyen con éxito el riesgo de sufrir una lesión en los músculos isquiosurales. Aunque según un estudio reciente de Jurdan Mendiguchia et al., (2020) con jugadores de fútbol de élite, el entrenamiento de sprint es superior al NHE para proporcionar un estímulo preventivo (aumentar la longitud de los fascículos) y al mismo tiempo mejorar el rendimiento y la mecánica del sprint.

A la hora de seleccionar los ejercicios para un programa de prevención y readaptación de lesiones es importante tener en cuenta la anatomía de la

musculatura isquiosural. Ya que al ser un músculo biarticular, influirán en él la articulación de la rodilla y la articulación de la cadera (Ahmad et al., 2013; Ali & Leland, 2012; Kumazaki et al., 2012). Por lo general, se han observado niveles más altos de actividad en la cabeza larga del bíceps femoral (BFlh) y el semimembranoso (SM) durante los movimientos orientados a la extensión de la cadera, destacando el stiff leg deadlift (Matthew N. Bourne et al., 2018). mientras que los movimientos orientados a la flexión de rodilla reportan una mayor activación de la cabeza corta del bíceps femoral (BFsh) y el semitendinoso (ST), siendo el NHE el más recomendado (Matthew N. Bourne et al., 2018).

Teniendo en cuenta todos estos datos, el NHE parece ser el mejor ejercicio para prevenir lesiones en la musculatura isquiosural, aunque desde el punto de vista anatómico y fisiológico presenta varias limitaciones. En primer lugar, al ser un ejercicio tan analítico, no tiene transferencia a las acciones reales de juego que se dan durante el mecanismo lesional en jugadores de fútbol. Ya que el movimiento se centra únicamente en la articulación de la rodilla mientras que la cadera permanece estática durante todo el recorrido (Matthew N. Bourne et al., 2018). Y en segundo lugar, es un ejercicio muy exigente y fatigante, por lo que podría exacerbar el riesgo de lesión si no se planifica de manera correcta dentro de un programa de prevención y optimización de la musculatura isquiosural (Lovell et al., 2016). Ya que la fatiga está considerada como uno de los factores de riesgo más determinantes que afectan al mecanismo lesional debido a su implicación en la reducción de la fuerza excéntrica del isquiosural (Small et al., 2010; Marshall et al., 2015).

#### 13.1.2 Fuerza y Ratio H:Q

Se observaron diferencias significativas de la fuerza para el par máximo excéntrico y concéntrico (Hecc-Hcon) del isquiosural (Askling et al., 2003; Maher et al 2014; J. Mendiguchia et al., 2015; Ishøi et al., 2018). Del mismo modo, se apreciaron diferencias leves a favor del grupo experimental, aunque no fueron estadísticamente significativas con respecto al grupo control, para el par máximo concéntrico del cuádriceps (Qcon) (Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015), el ratio isquiosural/cuádriceps concéntrico (Hcon-Qcon) (J. Mendiguchia et al., 2015; Ayala et al., 2017) y el ratio isquiosural excéntrico/cuádriceps concéntrico funcional (Hecc-Qcon) (Maher et al., 2014; J. Mendiguchia et al., 2015).

El aumento de la fuerza excéntrica de los isquiosurales es interesante desde el punto de vista del mecanismo lesional, ya que esta musculatura es más propensa a sufrir una lesión durante las acciones a alta velocidad y los sprints, más concretamente durante la última fase del swing de carrera, justo antes de que el pie entre en contacto con el suelo (Ahmad et al., 2013; Chumanov et al., 2011, 2012; Schache et al., 2009). Durante esta fase del ciclo de carrera los isquiosurales tienen que soportar una gran carga de trabajo negativo (sobre todo el BF), aumentando la influencia de la musculatura de la región lumbo-pélvica en el estiramiento de la musculatura isquiosural (Chumanov et al., 2007; Liu et al., 2012; J.-B. Morin et al., 2015). Por ello, realizar un programa de entrenamiento neuromuscular de fuerza excéntrica podría prevenir lesiones en la musculatura isquiosural debido a que, mantiene el rendimiento del sprint y del salto vertical al

mismo tiempo que aumenta los niveles de fuerza excéntrica de los mismos (Krommes et al., 2017; J. Mendiguchia et al., 2015).

Según Mjølsnes et al., (2004) un programa entrenamiento NHE durante 10 semanas desarrolla con mayor eficacia la fuerza excéntrica máxima de los isquiosurales en jugadores de fútbol bien entrenados que un programa comparable basado en la hamstring curl (HC) tradicional, aunque no todos los jugadores están capacitados para realizarlo. Por ello Rey et al. (Rey et al., 2017) planteó el ejercicio Russian belt (RB) como una buena alternativa viable al NHE para desarrollar la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural, puesto que es un ejercicio menos exigente a nivel de fatiga y daño muscular y no presentó diferencias significativas entre la realización de un ejercicio y otro.

## 13.1.3 Rendimiento del tiempo de sprint y del salto vertical con contramovimiento (CMJ)

En cuanto a la mejora del rendimiento, no se encontraron diferencias significativas con respecto al grupo control en el sprint ni en el salto vertical con contramovimiento (CMJ) (Maher et al., 2014; Krommes et al., 2017; Ayala et al., 2017; Ishøi et al., 2018) al realizar un programa de fortalecimiento excéntrico utilizando el NHE y diferentes rutinas de calentamiento neuromuscular (Fifa 11+, Harmoknee y Dynamic warm-up). Estos resultados coinciden con la investigación actual de Suarez-Arrones et al., (2019), el cual afirmó que no existía relación directa entre el NHE y el rendimiento en el sprint tras realizar un programa de entrenamiento de 17 semanas en jugadores semiprofesionales. Del mismo modo, Ayala et al., (2017) observó que ni el FIFA 11+ ni las rutinas

Harmoknee eran superiores a las rutinas dinámicas de calentamiento de cara al rendimiento que actualmente realizan la mayoría de los jugadores de fútbol antes de las sesiones de entrenamiento y los partidos. Sin embargo, si se deben implementar dentro de la parte principal de las sesiones debido a los efectos positivos superiores demostrados en las tasas de prevalencia de lesiones en comparación con las prácticas tradicionales.

13.2 Estudio II: Fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Excercise (SEHE) en Jugadores de Fútbol Utilizando un Dinamómetro Electromecánico Funcional.

El objetivo de este estudio fue determinar la fiabilidad del Swing Eccentric Hamstring Exercise utilizando un DEMF. Los principales resultados de esta investigación fueron: (I) Existió una fiabilidad muy alta en la fuerza media para las 3 velocidades de contracción excéntrica, presentando el coeficiente de variación más bajo la velocidad de 40 cm/s (CV = 2.80), (II) La fiabilidad fue muy alta en la fuerza máxima a las tres velocidades isocinéticas en su fase excéntrica, siendo la velocidad de 20 cm/s la que tiene un menor coeficiente de variación (CV = 4.66), y (III) La manifestación de la fuerza más fiable del SEHE fue la fuerza máxima (CV = 4.66 a 5.85). Estos resultados sugieren que el DEMF es un dispositivo fiable en la evaluación de la fuerza media y pico excéntrica durante la ejecución del SEHE.

Nuestros resultados están de acuerdo con la revisión actual de Dvir et al., (2019) el cuál afirma que los MID pueden aplicarse de forma válida y eficaz para la evaluación y el acondicionamiento de patrones musculares de acciones

específicas, como en este caso, el SEHE. En investigaciones sobre el uso de nuevas tecnologías para la evaluación de la fiabilidad de gestos funcionales se han utilizado dispositivos iso-inerciales, cómo poleas cónicas o Flywheel, y dispositivos con motor eléctrico, las cuales presentan resultados de fiabilidad inferiores a los nuestros para la producción de la fuerza media y la fuerza máxima en la fase excéntrica (ICC = 0.49 - 0.87; CV = 8 - 16.6) (Sabido et al., 2018). Del mismo modo, Bollinger et al., (2018) observó altos valores de confiabilidad testretest para la fuerza media (r = 0.90) y la fuerza máxima excéntrica (r = 0.92) durante la realización de un ejercicio excéntrico de la musculatura isquiosural (Rumanian Deadlift) utilizando un dispositivo Flywheel. Según Maroto-Izquierdo et al., (2019) aunque los dispositivos inerciales producen adaptaciones de sobrecarga excéntrica similares, los dispositivos con motor eléctrico tienen mayores beneficios potenciales para el entrenamiento excéntrico ya que permiten modificar de manera independiente las cargas y la velocidades concéntricas y excéntricas, característica fundamental del DEMF utilizado en nuestro estudio (Maroto-Izquierdo et al., 2019).

Tras dos sesiones de familiarización, los valores obtenidos (N) en la sesión 2 fueron ligeramente superiores a la sesión 1 para la fuerza media a 20 y 40 cm/s, y para la fuerza máxima a las tres velocidades isocinéticas (20-40-60 cm/s). Aunque podría argumentarse que dos sesiones son suficientes para obtener una medida confiable, según Tous-Fajardo et al., (2016) en un estudio realizado con jugadores de fútbol y de rugby, los jugadores que tenían experiencia previa en el uso de dispositivos iso-inerciales mostraron mayores fuerzas pico excéntricas que aquellos que eran novatos, debido a que se necesita cierta coordinación

para ejecutar el ejercicio de manera correcta. Estos resultados están de acuerdo con Sabido et al., (2018) los cuáles sugieren que incluso en atletas altamente entrenados pero sin experiencia de entrenamiento de sobrecarga excéntrica, el período de aprendizaje del movimiento se completa en tres sesiones. Dichos autores realizaron un estudio donde compararon el número de sesiones de familiarización requeridas para obtener una medida estable y confiable durante el ejercicio de squat con 4 cargas inerciales diferentes (0,025 – 0,050 – 0,075 – 0,100 kg · m2). Los cuáles establecieron la estabilización de los datos entre la 3ª y 4ª sesión (ICC = 0.68 - 0.87; CV = 8 - 15.6). Estos antecedentes apoyan la fiabilidad y la estabilización de los valores del SEHE establecidos con el DEMF.

Debido a que la musculatura isquiosural es más propensa a sufrir lesiones durante los sprints y las acciones a alta velocidad (Chumanov et al., 2011, 2012; Schache et al., 2009), se hace imprescindible la aplicación de ejercicios funcionales que sean transferibles al movimiento real que se produce durante el mecanismo lesional. El SEHE, además de ser fiable a todas las velocidades isocinéticas (carga media y carga máxima), cumple con el patrón de movimiento que se produce durante el sprint. Esto podría traducirse en una mejora de la aplicación de fuerzas en la misma dirección y sentido que se producen durante el gesto de carrera. El cuál podría mejorar el rendimiento del jugador en el sprint y fortalecer el mecanismo lesional de la musculatura isquiosural. Por ello, realizar el SEHE a velocidades bajas (20 cm/s) podría mejorar la producción de fuerza máxima excéntrica de la musculatura isquiosural, la cual está considerada como uno de los principales factores de riesgo de lesión (Lee et al., 2018).

Los programas de entrenamiento que aumentan la fuerza excéntrica disminuyen el número de lesiones en los isquiosurales y su gravedad a lo largo de una temporada de fútbol (Askling et al., 2003; Petersen et al., 2011). El NHE es actualmente el ejercicio más utilizado dentro de estos programas, ya que reduce el riesgo de lesión hasta en un 51% (van Dyk et al., 2018) y produce mejoras de leves a moderadas en el rendimiento de saltos y sprints (Bautista et al., 2021). Coincidiendo con este autor, según Ishøi et al., (2018) la realización de NHE en jugadores amateurs produciría pequeñas y medianas mejoras en el rendimiento de sprint. Aunque existe cierta controversia, ya que Suarez-Arrones et al., (2021) afirman que la mejora en el rendimiento del sprint no está asociada a la NHE tras la aplicación de un programa de intervención de 15-17 semanas al inicio de la temporada en jugadores de fútbol profesional. Según Wiesinger et al., (2020) el AID y el NHE no reflejan la contracción excéntrica de los músculos isquiosurales de la misma manera, ya que obvian la influencia de la articulación de la cadera y conducen a estimaciones divergentes de la fuerza excéntrica de la articulación de la cadera. Por lo tanto, dentro de los programas de prevención y optimización, sería conveniente introducir ejercicios multiarticulares con un mayor nivel de aproximación respecto al mecanismo de la lesión (Suarez-Arrones et al., 2021).

13.3 Estudio III: Comportamiento Excéntrico de la Musculatura Isquiosural y su Relación con el Sprint y el Salto en Jugadores de Fútbol Utilizando el Swing Eccentric Hamstring Excersice (SEHE).

El principal objetivo de este estudio fue analizar la relación entre los niveles de fuerza excéntrica del SEHE con el rendimiento en sprint y salto. Los principales resultados de esta investigación fueron: (I) Existe una correlación moderada entre la Fuerza Pico (PF) a 60 cm/s comparándolo con el Sprint Media (SM) 10 metros (r= 0.492, p= 0.032) y al Sprint Media 20 metros (r=0.4621, p=0.047), (II) Del mismo modo, se observó una correlación moderada entre PF(N) 60 cm/s y CMJ (r=0.59, p=0.008), CMJ No Dom (r=0.56, p=0.013) y SJ (r=0.51, p=0.027), tomando la variable del índice de fuerza reactiva (RSI) (m/s) y (III) Se observó una baja correlación a las tres velocidades de ejecución para el salto horizontal.

Debido a que los programas de entrenamiento que aumentan la fuerza excéntrica de la musculatura isquiosural, disminuyen el número de lesiones y mejoran el rendimiento (Askling et al., 2003; Petersen et al., 2011), el ejercicio por excelencia es el NHE, ya que reduce el riesgo de lesión hasta en un 51% (van Dyk et al., 2018) y produce mejoras de leves a moderadas en el rendimiento del salto y del sprint (Bautista et al., 2021). Aunque existe cierta controversia, ya que hay estudios actuales que afirman que el rendimiento del salto y del sprint no está asociado a la mejora del NHE (Krommes et al., 2017; Suarez-Arrones et al., 2021). Del mismo modo, según Jurdan Mendiguchia et al., (2020) el entrenamiento de sprint es superior al NHE para proporcionar un estímulo preventivo (aumentar la longitud de los fascículos) y al mismo tiempo mejorar el rendimiento y la mecánica del sprint. En esta misma línea, Van Den Tillaar et al.,

(2017) observaron una mayor actividad electromiográfica de la musculatura de la cadera y la rodilla durante el sprint en comparación con el NHE.

Debido a que la musculatura isquiosural es más propensa a sufrir lesiones durante las acciones a alta velocidad y los sprints (Schache et al., 2009; Chumanov et al., 2012; Chumanov et al., 2011; Ahmad et al., 2013; J.-B. Morin et al., 2015) y el número de este tipo de acciones en competición se ha visto incrementado hasta en un 50% (Bush et al., 2015), se hace interesante realizar ejercicios funcionales que reproduzcan el mecanismo lesional de la musculatura isquiosural, como el caso del SEHE. Como se muestra en esta investigación, el SEHE realizado a velocidades isocinéticas altas presenta una correlación moderada con el rendimiento en el salto vertical con contramovimiento (CMJ), el salto vertical con contramovimiento en la pierna no dominante (CMJ No Dom) y el squat jump (SJ), movimientos que están directamente relacionados con las acciones reales de juego que realizan los jugadores de fútbol como el salto de cabeza desde parado (CMJ y SJ) y el salto de cabeza en carrera (CMJ No Dom). La prueba de salto vertical se utiliza ampliamente para evaluar la potencia del tren inferior del cuerpo en los deportistas y se correlaciona con el rendimiento de fuerza y velocidad (Cronin & Hansen et al., 2005; Nuzzo et al., 2008; Lockie et al., 2011; Yanci et al., 2014; Loturco et al., 2015).

En esta misma línea, según Barker et al., (2018) el RSI parece ser una medida de rendimiento de salto más adecuada que la altura del mismo cuando la tarea de salto implica un componente excéntrico, ya que es de gran importancia que los jugadores de fútbol produzcan picos de fuerza excéntrica para la producción

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

de energía de salida elástica con el fin de reducir el coste energético para una mejora del rendimiento e incluso una reducción del riesgo de lesión.

Aunque por el contrario, no hubo ninguna relación con la mejora del salto horizontal a ninguna de las velocidades de ejecución. Por otro lado, hubo una correlación moderada con la mejora del rendimiento en el sprint a 10 y 20 metros, acciones que se corresponden con la fase de postura inicial, segundo momento crítico de las lesiones de la musculatura isquiosural (entre el 0% y el 15% del ciclo de carrera), donde se produce una gran extensión de cadera y momentos de flexión de rodilla (Schache et al., 2009; Chumanov et al., 2011, 2012).

## Conclusiones

#### 14 Conclusiones

El análisis de la fiabilidad del SEHE utilizando un Dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) mediante un test de fuerza con control cinético en jugadores de fútbol federados, nos ha permitido alcanzar los objetivos establecidos al comienzo de la presente tesis doctoral. En respuesta al objetivo general de esta investigación nos permite comprobar que el SEHE es un ejercicio fiable a las diferentes velocidades isocinéticas durante la fase de contracción excéntrica.

En relación con los objetivos específicos, se determinan las siguientes conclusiones:

- Los programas preventivos que incluyen el NHE y el eccentric flywheel disminuyen el riesgo de lesiones y la gravedad de las mismas en jugadores de fútbol.
- El NHE solo o combinado con un programa de prevención y optimización de la musculatura isquiosural aumenta la fuerza excéntrica de manera significativa.
- El NHE no mejoró ni empeoró el rendimiento del sprint ni del salto vertical (CMJ)
- El DEMF es un dispositivo fiable para evaluar la fuerza excéntrica de los músculos isquiosurales a través del SEHE en las tres velocidades isocinéticas (20-40-60 cm/s) en jugadores de fútbol mostrando una fiabilidad aceptable y alta.
- La fiabilidad fue alta para la carga media en la condición de 40 cm/s,
   presentando el mayor valor de ICC (0,94).
- Para la carga máxima, la fiabilidad fue alta en la condición de 20 cm/s.

- La manifestación de la carga más fiable fue la carga máxima (ICC = 0,91-0,87).
- El SEHE realizado a velocidades isocinéticas altas presenta una correlación moderada con el rendimiento en el salto vertical con contramovimiento (CMJ), el salto vertical con contramovimiento en la pierna no dominante (CMJ No Dom) y el squat jump (SJ).
- Del mismo modo, hubo una correlación moderada entre el SEHE y el rendimiento en el sprint a 10 y 20 metros.
- Por el contrario, no hubo ninguna relación entre el SEHE y el rendimiento del salto horizontal.

## Limitaciones

#### 15 Limitaciones

Una vez ejecutada la presente investigación, a continuación, se plantean las principales limitaciones que se han podido encontrar en el desarrollo de esta:

- Al ser los criterios de inclusión tan estrictos, solo ocho artículos fueron incluidos para la realización del meta-análisis, por lo que las variables del rendimiento Hecc-Qcon, sprint y el salto vertical con contramovimiento presentan una alta heterogeneidad.
- Tres de los ocho estudios seleccionados realizaban programas de prevención y optimización que incluían más ejercicios (a parte del NHE), por lo que es posible que otras partes de estos programas hayan tenido algún efecto en los resultados de alguna variable analizada.
- La muestra, al ser jugadores amateurs no profesionales, podría afectar a un menor nivel técnico y de coordinación, lo que influiría en la ejecución y fluidez del movimiento del SEHE.
- Por esta razón, en segundo lugar, el estudio requirió dos sesiones de familiarización por jugador. De hecho, algunos jugadores necesitaron tres sesiones, ya que la coordinación adecuada es necesaria para ejecutar el gesto correctamente.
- Por otro lado, el instrumento, el gesto técnico y sus variables no se pueden comparar con otros estudios de manera directa porque no existen, siendo nosotros los primeros en realizarlo y cuantificar la fuerza a través del DEMF.

# Futuras Líneas de Investigación

#### 16 Futuras Líneas de Investigación

Una vez realizada esta investigación nos surgen diferentes líneas de desarrollo que pueden aportar al conocimiento en esta área:

- Validez de un dinamómetro electromecánico funcional durante la realización del SEHE utilizando electromiografía en jugadores de fútbol federados.
- Efectos de un programa de entrenamiento de 4 semanas utilizando el SEHE para la mejora del rendimiento del salto y el sprint.
- Implementación de un programa de entrenamiento de la fuerza utilizando un DEMF y sus efectos sobre la longitud de los fascículos y ángulos de penación.
- Análisis cinético y electromiográfico del SEHE y su comparación con el Nordic Hamstring para la prevención y optimización de la musculatura isquiosural
- Estrategias dinamométricas para modular la carga excéntrica en el SEHE: análisis cinético de diferentes protocolos excéntricos de evaluación.

Bibliografía

#### 17 Bibliografía

- Ahmad, C. S., Redler, L. H., Ciccotti, M. G., Maffulli, N., Longo, U. G., & Bradley, J. (2013). Evaluation and Management of Hamstring Injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(12), 2933–2947. https://doi.org/10.1177/0363546513487063
- Al Attar, W. S. A., Soomro, N., Sinclair, P. J., Pappas, E., & Sanders, R. H. (2017).

  Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring

  Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review

  and Meta-Analysis. Sports Medicine, 47(5), 907–916.

  https://doi.org/10.1007/s40279-016-0638-2
- Ali, K., & Leland, J. M. (2012). Hamstring Strains and Tears in the Athlete. In *Clinics in Sports Medicine*. https://doi.org/10.1016/j.csm.2011.11.001
- Arnason, A., Andersen, T. E., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2008).

  Prevention of hamstring strains in elite soccer: An intervention study.

  Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 18(1), 40–48.

  https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x
- 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. 2003 Aug;13(4):244-50. doi: 10.1034/j.1600-0838.2003.00312.x. PMID: 12859607.
- Ayala F, Calderón-López A, Delgado-Gosálbez JC, Parra-Sánchez S, Pomares-Noguera C, Hernández-Sánchez S, López-Valenciano A, De Ste Croix M. Acute Effects of Three Neuromuscular Warm-Up Strategies on Several Physical Performance Measures in Football Players. PLoS One. 2017 Jan

- 6;12(1):e0169660. doi: 10.1371/journal.pone.0169660. PMID: 28060927; PMCID: PMC5218464.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krustrup, 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
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (2018). Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 248. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000160
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the english premier league. *International Journal of Sports Medicine*, *35*(13), 1095–1100. https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695
- Bautista, I. J., Vicente-Mampel, J., Baraja-Vegas, L., Segarra, V., Martín, F., & Van Hooren, B. (2021). The effects of the Nordic hamstring exercise on sprint performance and eccentric knee flexor strength: A systematic review and meta-analysis of intervention studies among team sport players. In *Journal of Science and Medicine in Sport* (Vol. 24, Issue 9, pp. 931–938). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.009
- Bengtsson, H., Ekstrand, J., & Hägglund, M. (2013). Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 743–747. https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092383

- Bollinger LM, Brantley JT, Tarlton JK, Baker PA, Seay RF, Abel MG. Construct Validity, Test-Retest Reliability, and Repeatability of Performance Variables Using a Flywheel Resistance Training Device. J Strength Cond Res. 2020 Nov;34(11):3149-3156. doi: 10.1519/JSC.00000000000002647. PMID: 33105365.
- Bonett, D. G. (2002). Sample size requirements for estimating intraclass correlations with desired precision. *Statistics in Medicine*, *21*(9), 1331–1335. https://doi.org/10.1002/sim.1108
- Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., Al Najjar, A., & Shield, A. J. (2016). Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *26*(6), 666–674. https://doi.org/10.1111/sms.12494
- Bourne, Matthew N., Timmins, R. G., Opar, D. A., Pizzari, T., Ruddy, J. D., Sims, C., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2018). An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. In *Sports Medicine*. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0796-x
- Bourne, Matthew N., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., Kerr, G. K., & Shield, A. J. (2017). Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(13), 1021–1028. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095739
- Brooks, J. H. M., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T., & Reddin, D. B. (2006). Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union.

  \*American Journal of Sports Medicine, 34(8), 1297–1306.\*

  https://doi.org/10.1177/0363546505286022

- Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Predicting hamstring strain injury in elite athletes. Med Sci Sports Exerc. 2004 Mar;36(3):379-87. doi: 10.1249/01.mss.0000117165.75832.05. PMID: 15076778.
- Brughelli, M., Mendiguchia, J., Nosaka, K., Idoate, F., Arcos, A. L., & Cronin, J. (2010). Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Physical Therapy in Sport*, *11*(2), 50–55. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.12.002
- Bush, M., Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., & Bradley, P. S. (2015). Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Human Movement Science*, 39, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.003
- Chamorro, C., Armijo-Olivo, S., De La Fuente, C., Fuentes, J., & Javier Chirosa, L. (2017). Absolute reliability and concurrent validity of hand held dynamometry and isokinetic dynamometry in the hip, knee and ankle joint: Systematic review and meta-analysis. *Open Medicine (Poland)*, 12(1), 359–375. https://doi.org/10.1515/med-2017-0052
- Chamorro, C., De La Fuente, C., Jerez, D., Campos, C., & Chirosa, L. J. (2018).

  Reliability of shoulder rotators isometric strength test using a novel pulley electromechanical dynamometer. Influence of the assessment position.

  Asian Journal of Sports Medicine, 9(2). https://doi.org/10.5812/asjsm.60406
- 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., 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*. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f23fe8
- 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. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 46, Issue 2, p. 90). https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090176
- Clark, R., Bryant, A., Culgan, J.-P., & Hartley, B. (2005). The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 67–73. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.02.003
- Cohen, D. D., Zhao, B., Okwera, B., Matthews, M. J., & Delextrat, A. (2015).

  Angle-Specific Eccentric Hamstring Fatigue After Simulated Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 325–331. https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0088
- Coratella, G., Bellin, G., Beato, M., & Schena, F. (2015). Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *Journal of Sports Sciences*. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.986185
- Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, and Doyle TL. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International journal of sports physiology and performance* 3: 131-144, 2008.

- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008).

  Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.1177/0363546508316764
- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). STRENGTH AND POWER PREDICTORS

  OF SPORTS SPEED. In *Journal of Strength and Conditioning Research*(Vol. 19, Issue 2).
- Dauty, M., Menu, P., & Fouasson-Chailloux, A. (2018). Cutoffs of isokinetic strength ratio and hamstring strain prediction in professional soccer players.
  Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 28(1), 276–281.
  https://doi.org/10.1111/sms.12890
- Delahunt, E., McGroarty, M., De Vito, G., & Ditroilo, M. (2016). Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(4), 663–672. https://doi.org/10.1007/s00421-015-3325-3
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. https://doi.org/10.1055/s-2006-924294
- Dorn, T. W., Schache, A. G., & Pandy, M. G. (2012). Erratum: Muscular strategy shift in human running: Dependence of running speed on hip and ankle muscle performance (Journal of Experimental Biology 215 (1944-1956)). In *Journal of Experimental Biology* (Vol. 215, Issue 13, p. 2347). https://doi.org/10.1242/jeb.075051

- Dvir Z, Müller S. Multiple-Joint Isokinetic Dynamometry: A Critical Review. J Strength Cond Res. 2020 Feb;34(2):587-601. doi: 10.1519/JSC.00000000000002982. PMID: 30789571.
- Edouard, P., Lahti, J., Nagahara, R., Samozino, P., Navarro, L., Guex, K., Rossi, J., Brughelli, M., Mendiguchia, J., & Morin, J. B. (2021). Low horizontal force production capacity during sprinting as a potential risk factor of hamstring injury in football. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(15). https://doi.org/10.3390/ijerph18157827
- Ekstrand, J., Waldén, M., & Hägglund, M. (2004). A congested football calendar and the wellbeing of players: Correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performers during that World Cup. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 493–497. https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.009134
- Ekstrand, Jan, 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*. 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. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(6), 1147–1153.

  https://doi.org/10.1177/0363546509358381
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2015). Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function. In *Journal of Applied Physiology* (Vol.

- 119, Issue 12, pp. 1516–1518). American Physiological Society. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00280.2015
- Evangelidis, P. E., Massey, G. J., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2016). Strength and size relationships of the quadriceps and hamstrings with special reference to reciprocal muscle balance. *European Journal of Applied Physiology*. https://doi.org/10.1007/s00421-015-3321-7
- Farina, D., Merletti, R., & Enoka, R. M. (2004). The extraction of neural strategies from the surface EMG. In *Journal of Applied Physiology* (Vol. 96, Issue 4, pp. 1486–1495). https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01070.2003
- Fernandez-Gonzalo, R., Tesch, P. A., Linnehan, R. M., Kreider, R. B., Di Salvo, V., Suarez-Arrones, L., Alomar, X., Mendez-Villanueva, A., & Rodas, G. (2016). Individual Muscle use in Hamstring Exercises by Soccer Players Assessed using Functional MRI. *International Journal of Sports Medicine*, 37(7), 559–564. https://doi.org/10.1055/s-0042-100290
- Fisher MJ, Meyer RA, Adams GR, Foley JM, Potchen EJ. Direct relationship between proton T2 and exercise intensity in skeletal muscle MR images. Invest Radiol. 1990 May;25(5):480-5. doi: 10.1097/00004424-199005000-00003. PMID: 2345077.
- Fleckenstein, J. L., Canby2, R. C., Parkey1, R. W., & Peshock3, R. M. (1988).

  Acute Effects of Exercise on MR Imaging of Skeletal Muscle in Normal Volunteers. www.ajronline.org
- 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. https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.077560
- Freeman, B. W., Young, W. B., Talpey, S. W., Smyth, A. M., Pane, C. L., & Carlon, T. A. (2019). The effects of sprint training and the Nordic hamstring exercise on eccentric hamstring strength and sprint performance in adolescent athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(7), 1119–1125. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08703-0
- Gabbe, B. J., Bennell, K. L., Finch, C. F., Wajswelner, H., & Orchard, J. W. (2006). Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 16(1), 7–13. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00441.x
- Garrett, W. E., Califf, J. C., & Bassett, F. H. (1984). Histochemical correlates of hamstring injuries. *American Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.1177/036354658401200202
- Greco, C. C., Da Silva, W. L., Camarda, S. R. A., & Denadai, B. S. (2013). Fatigue and rapid hamstring/quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01160.x
- Green, B., Bourne, M. N., Van Dyk, N., & Pizzari, T. (2020). Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-Analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 54, Issue 18, pp. 1081–1088). BMJ Publishing Group. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100983

- Greig, M., & Siegler, J. C. (2009). Soccer-specific fatigue and eccentric hamstrings muscle strength. *Journal of Athletic Training*. https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.2.180
- Gual G, Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodríguez D, Tesch PA. Effects of In-Season Inertial Resistance Training With Eccentric Overload in a Sports Population at Risk for Patellar Tendinopathy. J Strength Cond Res. 2016 Jul;30(7):1834-42. doi: 10.1519/JSC.000000000001286. PMID: 26670989.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003).
  Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*. https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2003.01121.x
- 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/bjsm.35.1.43
- Hegyi, A., Csala, D., Péter, A., Finni, T., & Cronin, N. J. (2019). High-density electromyography activity in various hamstring exercises. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(1), 34–43. https://doi.org/10.1111/sms.13303
- Henderson, G., Barnes, C. A., & Portas, M. D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.003

- Higashihara, A., Nagano, Y., Takahashi, K., & Fukubayashi, T. (2015). Effects of forward trunk lean on hamstring muscle kinematics during sprinting. *Journal of Sports Sciences*. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.990483
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009).
  Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. In
  Medicine and Science in Sports and Exercise (Vol. 41, Issue 1, pp. 3–12).
  https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Hopkins W. Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *J Sportscience* 21, 2017.
- Ishøi, L., Hölmich, P., Aagaard, P., Thorborg, K., Bandholm, T., & Serner, A. (2018). Effects of the Nordic Hamstring exercise on sprint capacity in male football players: a randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 36(14), 1663–1672. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1409609
- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Andersen, C. H., Persson, R., Zebis, M. K., & Andersen, L. L. (2014). Effectiveness of hamstring knee rehabilitation exercise performed in training machine vs. elastic resistance: Electromyography evaluation study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(4), 320–327. https://doi.org/10.1097/PHM.00000000000000003
- Jenner G, Foley JM, Cooper TG, Potchen EJ, Meyer RA. Changes in magnetic resonance images of muscle depend on exercise intensity and duration, not work. J Appl Physiol (1985). 1994 May;76(5):2119-24. doi: 10.1152/jappl.1994.76.5.2119. PMID: 8063675.
- Jerez-Mayorga, D., Huerta-Ojeda, Á., Chirosa-Ríos, L. J., Guede-Rojas, F.,

- Guzmán-Guzmán, I. P., Intelangelo, L., Miranda-Fuentes, C., & Delgado-Floody, P. (2021). Test–retest reliability of functional electromechanical dynamometer on five sit-to-stand measures in healthy young adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(13). https://doi.org/10.3390/ijerph18136829
- Jones, A., Jones, G., Greig, N., Bower, P., Brown, J., Hind, K., & Francis, P. (2019). Epidemiology of injury in English Professional Football players: A cohort study. *Physical Therapy in Sport*, 35, 18–22. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.10.011
- Kellis, E., Galanis, N., Kapetanos, G., & Natsis, K. (2012). Architectural differences between the hamstring muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.03.012
- Krommes, K., Petersen, J., Nielsen, M. B., Aagaard, P., Hölmich, P., & Thorborg,
  K. (2017). Sprint and jump performance in elite male soccer players following
  a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: A randomised pilot study.
  BMC Research Notes, 10(1). https://doi.org/10.1186/s13104-017-2986-x
- Kumazaki, T., Ehara, Y., & Sakai, T. (2012). Anatomy and Physiology of Hamstring Injury. *International Journal of Sports Medicine*, 33(12), 950–954. https://doi.org/10.1055/s-0032-1311593
- Lee, J. W. Y., Mok, K. M., Chan, H. C. K., Yung, P. S. H., & Chan, K. M. (2018). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *21*(8), 789–793. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.017

- 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
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Knight, T. J., & De Jonge, X. A. K. J. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2704–2714. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820d9f17
- Loturco I, Pereira LA, Cal Abad CC, D'Angelo RA, Fernandes V, Kitamura K, Kobal R, Nakamura FY. Vertical and Horizontal Jump Tests Are Strongly Associated With Competitive Performance in 100-m Dash Events. J Strength Cond Res. 2015 Jul;29(7):1966-71. doi: 10.1519/JSC.0000000000000849. PMID: 25627643.
- Lovell, R., Siegler, J. C., Knox, M., Brennan, S., & Marshall, P. W. M. (2016).

  Acute neuromuscular and performance responses to Nordic hamstring exercises completed before or after football training. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2286–2294.

  https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1191661
- Maher, S. F. 2014. Effects of implementing Nordic hamstring exercises for semiprofessional soccer players in Norway Cultural competency among DPT students View project. https://www.researchgate.net/publication/314299457
- Malliaropoulos, N., Panagiotis, T., Jurdan, M., Vasilis, K., Debasish, P., Peter, M., & Tsapralis, K. (2015). Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise

- selection during rehabilitation. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 209. https://doi.org/10.2147/oajsm.s79189
- 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 and Medicine*.
- Maroto-Izquierdo, S., Fernandez-Gonzalo, R., Magdi, H. R., Manzano-Rodriguez, S., González-Gallego, J., & De Paz, J. a. (2019). Comparison of the musculoskeletal effects of different iso-inertial resistance training modalities: Flywheel vs. electric-motor. *European Journal of Sport Science*, 19(9), 1184–1194. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1588920
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. In *Journal of Science and Medicine in Sport* (Vol. 20, Issue 10, pp. 943–951). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.03.004
- Marshall PW, Lovell R, Knox MF, Brennan SL, Siegler JC. Hamstring Fatigue and Muscle Activation Changes During Six Sets of Nordic Hamstring Exercise in Amateur Soccer Players. J Strength Cond Res. 2015 Nov;29(11):3124-33. doi: 10.1519/JSC.000000000000000066. PMID: 25886019.
- Martinez-Garcia, D., Rodriguez-Perea, A., Barboza, P., Ulloa-Díaz, D., Jerez-Mayorga, D., Chirosa, I., & Ríos, L. J. C. (2020). Reliability of a standing isokinetic shoulder rotators strength test using a functional electromechanical dynamometer: Effects of velocity. *PeerJ*, 8.

https://doi.org/10.7717/peerj.9951

- 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. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(6), e621–e629. https://doi.org/10.1111/sms.12388
- Mendiguchia J, Arcos AL, Garrues MA, Myer GD, Yanci J, Idoate F. The use of MRI to evaluate posterior thigh muscle activity and damage during nordic hamstring exercise. J Strength Cond Res. 2013 Dec;27(12):3426-35. doi: 10.1519/JSC.0b013e31828fd3e7. PMID: 23524362.
- Mendiguchia, Jurdan, Conceição, F., Edouard, P., Fonseca, M., Pereira, R., Lopes, H., Morin, J. B., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players. *PLoS ONE*, 15(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228283
- Mendiguchia J, Garrues MA, Cronin JB, Contreras B, Los Arcos A, Malliaropoulos N, Maffulli N, Idoate F. Nonuniform changes in MRI measurements of the thigh muscles after two hamstring strengthening exercises. J Strength Cond Res. 2013 Mar;27(3):574-81. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825c2f38. PMID: 23443215.
- Mjølsnes R, Arnason A, Østhagen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. Scand J Med Sci Sports. 2004 Oct;14(5):311-7. doi:

10.1046/j.1600-0838.2003.367.x. PMID: 15387805.

- Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. Phys Ther. 2003 Aug;83(8):713-21. PMID: 12882612.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins,
  D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D.,
  D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst,
  E, Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and
  meta-analyses: The PRISMA statement. In *PLoS Medicine* (Vol. 6, Issue 7).
  https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097
- Mohr, M., Krustrup, 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
- Morin, J.-B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino,
  P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint Acceleration Mechanics:
  The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. *Frontiers in Physiology*, 6. https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00404
- Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Malawi Med J. 2012 Sep;24(3):69-71. PMID: 23638278; PMCID: PMC3576830.
- Norton, K., & Olds, T. (2001). Morphological evolution of athletes over the 20th century: Causes and consequences. In *Sports Medicine* (Vol. 31, Issue 11,

- pp. 763–783). Adis International Ltd. https://doi.org/10.2165/00007256-200131110-00001
- Noya, J., & Sillero, M. (2012). Incidencia lesional en el fútbol profesional español a lo largo de una temporada: días de baja por lesión. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 47(176), 115–123. https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.10.001
- Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. J Strength Cond Res. 2008 May;22(3):699-707. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816d5eda. PMID: 18438251.
- Ono, T., Higashihara, A., & Fukubayashi, T. (2011). Hamstring functions during hip-extension exercise assessed with electromyography and magnetic resonance imaging. *Research in Sports Medicine*, *19*(1), 42–52. https://doi.org/10.1080/15438627.2011.535769
- Ono, T., Okuwaki, T., & Fukubayashi, T. (2010). Differences in activation patterns of knee flexor muscles during concentric and eccentric exercises. *Research in Sports Medicine*, 18(3), 188–198. https://doi.org/10.1080/15438627.2010.490185
- Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). A novel device using the nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength:

  A reliability and retrospective injury study. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(9), 636–640. https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4837
- Petersen, J., Thorborg, K., Nielsen, M. B., Budtz-Jørgensen, E., & Hölmich, P. (2011). Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in Men's soccer: A cluster-randomized controlled trial. *American Journal of*

- Sports Medicine, 39(11), 2296–2303. https://doi.org/10.1177/0363546511419277
- Potier, T. G., Alexander, C. M., & Seynnes, O. R. (2009). Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *European Journal of Applied Physiology*, *105*(6), 939–944. https://doi.org/10.1007/s00421-008-0980-7
- Rey E, Paz-Domínguez Á, Porcel-Almendral D, Paredes-Hernández V, Barcala-Furelos R, Abelairas-Gómez C. Effects of a 10-Week Nordic Hamstring Exercise and Russian Belt Training on Posterior Lower-Limb Muscle Strength in Elite Junior Soccer Players. J Strength Cond Res. 2017 May;31(5):1198-1205. doi: 10.1519/JSC.0000000000001579. PMID: 27467517.
- Rodriguez-Perea, A., Ríos, L. J. C., Martinez-Garcia, D., Ulloa-Díaz, D., Rojas, F. G., Jerez-Mayorga, D., & Rios, I. J. C. (2019). Reliability of isometric and isokinetic trunk flexor strength using a functional electromechanical dynamometer. *PeerJ*, 2019(10). https://doi.org/10.7717/peerj.7883
- Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., & Pereyra-Gerber, G. T. (2018). Influence of different inertial loads on basic training variables during the flywheel squat exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(4), 482–489. https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0282
- Schache, A. G., Lai, A. K. M., Brown, N. A. T., Crossley, K. M., & Pandy, M. G. (2019). Lower-limb joint mechanics during maximum acceleration sprinting.

  \*\*Journal of Experimental Biology, 222(22).\*\*

  https://doi.org/10.1242/jeb.209460

- Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., & Pandy, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait and Posture*, 29(2), 332–338. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.054
- 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. (2014). Biceps femoris and semitendinosus—teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *British Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094017
- Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Danneels, L., & Witvrouw, E. (2016).

  Susceptibility to Hamstring Injuries in Soccer. *The American Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.1177/0363546515626538
- Schuermans, J., Van Tiggelen, D., & Witvrouw, E. (2017). Prone Hip Extension Muscle Recruitment is Associated with Hamstring Injury Risk in Amateur Soccer. *International Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.1055/s-0043-103016
- 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

- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer:

  An update. In *Sports Medicine* (Vol. 35, Issue 6, pp. 501–536).

  https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004
- Suarez-Arrones, L., Lara-Lopez, P., Rodriguez-Sanchez, P., Lazaro-Ramirez, J. L., Salvo, V. Di, Guitart, M., Fuentes-Nieto, C., Rodas, G., & Mendez-Villanueva, A. (2019). Dissociation between changes in sprinting performance and Nordic hamstring strength in professional male football players. *PLoS ONE*, 14(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213375
- Suarez-Arrones, L., Nakamura, F. Y., Maldonado, R. A., Torreno, N., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2021). Applying a holistic hamstring injury prevention approach in elite football: 12 seasons, single club study. 

  Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 31(4), 861–874. 
  https://doi.org/10.1111/sms.13913
- Tous-Fajardo, J., Gonzalo-Skok, O., Arjol-Serrano, J. L., & Tesch, P. (2016). Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 66–73. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0010
- Van Den Tillaar, R., Asmund, J., Solheim, B., & Bencke, J. (2017).

- COMPARISON OF HAMSTRING MUSCLE ACTIVATION DURING HIGH-SPEED RUNNING AND VARIOUS HAMSTRING STRENGTHENING EXERCISES. *The International Journal of Sports Physical Therapy* |, *12*(5). https://doi.org/10.16603/ijspt20170718
- 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. American Journal of Sports Medicine, 43(6), 1316–1323. https://doi.org/10.1177/0363546515574057
- van Doormaal, M. C. M., van der Horst, N., Backx, F. J. G., Smits, D.-W., & Huisstede, B. M. A. (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., Witvrouw, E., & Bahr, R. (2018). Interseason variability in isokinetic strength and poor correlation with Nordic hamstring eccentric strength in football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(8), 1878–1887. https://doi.org/10.1111/sms.13201
- Vatovec, R., Kozinc, Ž., & Šarabon, N. (2019). Exercise interventions to prevent hamstring injuries in athletes: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 1–13. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1689300
- Vega, E. C., Jerez-Mayorga, D., Payer, R. M., Jara, C. C., Guzman-Guzman, I., Ponce, A. R., & Chirosa, L. J. (2018). Validity and reliability of evaluating hip

- abductor strength using different normalization methods in a functional electromechanical device. *PLoS ONE*, *13*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202248
- Vigotsky, A. D., Halperin, I., Lehman, G. J., Trajano, G. S., & Vieira, T. M. (2018).

  Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 8, Issue JAN).

  Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00985
- Wallace, J. L., & Norton, K. I. (2014). Evolution of World Cup soccer final games 1966-2010: Game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(2), 223–228. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.016
- Wiesinger, H. P., Gressenbauer, C., Kösters, A., Scharinger, M., & Müller, E. (2020). Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength assessments. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 30(2), 217–226. https://doi.org/10.1111/sms.13569
- Yanci, J., Los Arcos, A., Mendiguchia, J., & Brughelli, M. (2014).

  RELATIONSHIPS BETWEEN SPRINTING, AGILITY, ONE-AND TWO-LEG

  VERTICAL AND HORIZONTAL JUMP IN SOCCER PLAYERS. In

  RELATIONSHIPS BETWEEN SPRINTING, AGILITY (Vol. 46).
- Yu, B., Queen, R. M., Abbey, A. N., Liu, Y., Moorman, C. T., & Garrett, W. E. (2008). Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *Journal of Biomechanics*. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.005
- Zebis, M. K., Skotte, J., Andersen, C. H., Mortensen, P., Petersen, H. H., Viskær,

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

T. C., Jensen, T. L., Bencke, J., & Andersen, L. L. (2013). Kettlebell swing targets semitendinosus and supine leg curl targets biceps femoris: An EMG study with rehabilitation implications. *British Journal of Sports Medicine*, 47(18), 1192–1198. https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090281

## **Anexos**

## 18 Anexos

**ANEXO I.** Hoja de consentimiento informado

## HOJA DE INFORMACION AL PACIENTE.

PROYECTO:

"Validación del Swing Eccentric Hamstring Excersice (S.E.H.E) para la prevención de la musculatura isquiotibial".

Estimado señor:

Este documento constituye su aceptación formal para colaborar de forma voluntaria en el siguiente proyecto de investigación. Además de ser, requisito indispensable para participar en él.

A continuación, se explicaran los tratamientos a los que el sujeto de estudio se someterá, con la intención de que pueda decidir libremente su incorporación al proyecto.

En el estudio, "Validación del Swing Eccentric Hamstring Excersice (S.E.H.E) para la prevención de la musculatura isquiotibial" se llevaran a cabo las siguientes mediciones:

- Se cumplimentará, previo al estudio, un cuestionario para conocer la posición del jugador, edad, pierna dominante y años de experiencia en el deporte.
- Se llevará a cabo un análisis previo al tratamiento experimental de la composición corporal de los sujetos, para establecer el peso y el IMC (Índice de Masa Corporal), mediante una bioimpedancia (Tanita BC-601).
   Así como, mediciones de altura mediante un tallímetro.
- Se realizarán mediciones de los perímetros del muslo y el gemelo (en estado de reposo), así como, la longitud de los dos segmentos (Cadera-Rodilla y Rodilla-Tobillo).
- Se someterá a los participantes del estudio a 2 sesiones (1 por semana) de familiarización gesto, para posteriormente realizar un Test-Re test del gesto a 3 velocidades diferentes, separados con 1 semana de diferencia.
- Se obtendrán todos los valores de fuerza excéntrica en la pierna dominante del sujeto, para valorar la validez y fiabilidad del ejercicio, a través de un dinamómetro electromecánico funcional isocinético (DEMF).

Comprendido todo lo anterior:		
Yo, D	con	DNI
acepto participar en el estudio "Valida	ación del	Swing
Eccentric Hamstring Excersice (S.E.H.E) para la prevención de	e la musc	ulatura
isquiotibial" que se lleva a cabo en la Facultad de Ciencias de	el Deporte	e de la
Universidad de Granada.		
Si decido participar en dicho experimento, comprendo que du	rante el p	roceso
deberé comprometerme a:		

1. Asistir a los entrenamientos y mediciones planificadas.

Efecto del Entrenamiento Funcional de la Fuerza en la Musculatura Isquiotibial en Jugadores de Fútbol

- 2. Permitir el uso de los datos recogidos en las evaluaciones y entrenamientos del estudio para la elaboración de dicha investigación.
- 3. Indicar cualquier problema, o patología que sea relevante y que pueda afectar directamente a mi seguridad o desempeño tanto en las mediciones previas o posteriores, así como durante el tratamiento experimental del estudio.

Por todo lo anterior hago constar, que he recibido información clara y concisa sobre la participación en este proyecto, habiéndose resuelto todas las dudas y preguntas que hayan surgido acerca del mismo. Igualmente certifico que he sido informado de los siguientes puntos:

- 1. Comprendo que mi participación es voluntaria.
- 2. Comprendo que puedo retirarme del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta de ninguna manera en mí.
- 3. Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.
- 4. Las muestras obtenidas en este estudio sólo serán utilizadas para los fines específicos del mismo.

	Granada, a	de	, del 2019.
Firma:			



UNIVERSIDAD DE GRANADA