

PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE LESIONES DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES DURANTE LA CARRERA DE ALTA VELOCIDAD

FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA, EL
DEPORTE Y FISIOTERAPIA



Universidad
Europea MADRID

Realizado por: Enrique Fernández Luna y Adrien Pocard

Grupo: M41

Año Académico: 2021-2022

Tutor/a: Dr. José Ángel del Blanco Muñiz

Área: Diseño de un estudio experimenta

RESUMEN:

La lesión muscular de los isquiotibiales es una lesión muy común en los deportes con un componente importante de sprint y aceleración. Mediante un análisis anatómico y biomecánico de las fases de la carrera se ha diseñado un ensayo clínico con el objetivo de analizar la efectividad de un protocolo de ejercicios sencillo de ejecutar en la prevención de lesiones en esa zona en atletas de velocidad. En este estudio se propone estudiar durante una temporada a los 30 mejores velocistas juveniles masculinos de la Comunidad de Madrid. Se dividirán en 2 grupos siendo uno el grupo de intervención y otro el grupo control. Se utilizarán tensiomiografía (TMG) y electromiografía de superficie (EMG) para tomar datos cuantitativos de la región isquiotibial, observando su actividad para el posterior análisis. La toma de datos se realizará en 3 momentos diferentes de la temporada con el fin de poder comparar los datos en función del tiempo y/o de los diferentes grupos. Se utilizará un modelo lineal mixto para comparar los resultados.

ABSTRACT:

Hamstring muscle injuries are a very common in sports with a significant sprinting and acceleration component. Based on an anatomical and biomechanical analysis of the phases of running, a clinical trial was designed with the aim of creating a simple and easy-to-implement protocol for athletes to prevent injuries in this area. It is proposed to study the 30 best male junior sprinters of the district of Madrid during the previous season. They will be divided into 2 groups, one being the intervention group and the other the control group. Tensiomyography (TMG) and surface electromyography (EMG) will be used to gather quantitative data of the target musculature, looking the activity for later analysis. The data will be taken at 3 different times during the season to be able to compare data across time and/or different groups. A linear mixed model will be used to compare the results.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Recuerdo anatómico	1
1.2. Fisiología de los isquiotibiales	1
1.3. Las lesiones musculares.....	2
1.4. Clasificación de daños musculares	2
1.5. Diagnóstico y exámenes complementarios	3
1.6. Factores de riesgo	4
1.7. Fases de la carrera.....	4
1.8. Actividad de los músculos isquiotibiales durante la carrera.....	5
1.9. Mecanismo lesional en isquiotibiales durante la carrera de alta velocidad	6
1.10. Métodos de prevención de lesiones en isquiotibiales	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	11
3.1. Hipótesis.....	11
3.2. Objetivos	11
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. Diseño	12
4.2. Sujetos	12
4.3. Criterios inclusión y exclusión	13
4.3.1. Criterios de inclusión.....	13
4.3.2. Criterios de exclusión.....	13
4.4. Muestra	13
4.5. Grupos	13
4.6. Variables.....	14
4.6.1. Variable independiente	14
4.6.2. Variables dependientes	14
4.6.3. Material de medida	14
4.7. Descripción de la intervención	15
4.7.1. Desarrollo de la intervención.....	15
4.7.2. Ejercicios de la intervención.....	16
4.7.3. Pautas de los ejercicios	17
4.8. Análisis de datos	18
4.9. Limitaciones, fortalezas y viabilidad del estudio	18
4.9.1. Las limitaciones del presente estudio son	18
4.9.2. Las fortalezas del presente estudio son.....	19
4.9.3. Viabilidad del estudio	19
5. PLAN DE TRABAJO	20
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	21
7. ANEXO.....	24
Anexo 1: Hoja de Información.....	24
Anexo 2: Consentimiento informado.....	29
Anexo 3: Cronograma de la intervención.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Fase de la carrera (17)	5
Figura 2 : A. anatomía de la musculatura isquitibial. B. Activación de los isquitibiales en las diferentes fases de la carrera (19).....	6
Figura 3 : Activación de la musculatura isquiotibial durante la carrera de baja, media y alta velocidad y valores estándar de activación de dicha musculatura.(28)	8
Figura 4 : Equipamiento para la TMG por números: 1: Estimulador eléctrico; 2: Sensor digital; 3: Trípode y manipulador; 4: Electrodo. (52)	14
Figura 5 : Croquis explicativo de la medición TMG bíceps braquial (52)	14
Figura 6: Electromiografía de superficie de 4 canales de mDurance y su software (53).....	15
Figura 7 : Activación de la musculatura isquitibial según diferentes ejercicios(16)	16
Figura 8 : Ejercicio del puente con TRX. Elaboración propia.	17
Figura 9 : Ejercicio del puente monopodal con slider. Elaboración propia.	17
Figura 10 : Ejercicio de flexiones de rodilla contra un fitball en prono. Elaboración propia	17
Figura 11 : Circuito pautado a los atletas del grupo de intervención. Elaboración propia.....	17

1. INTRODUCCION

1.1. Recuerdo anatómico

Los isquiotibiales son un término común para tres músculos de la parte posterior del muslo(1), de lateral a medial: el bíceps femoral (una cabeza corta y otra larga), el semitendinoso y el semimembranoso (2).

Son músculos bi-articulares que se extienden desde el isquion hasta la cara posterior de la tibia y el peroné. Este grupo muscular puede ser descrito de la siguiente manera (3):

- **Bíceps femoral:** la cabeza larga se origina en la cara posterior de la tuberosidad isquiática. La corta se origina en las fibras musculares de la mitad distal del labio lateral de la línea áspera. Los dos vientres se unen y se fijan a través de un tendón común a la cabeza del peroné y a través de expansiones al cóndilo lateral de la tibia. Su acción principal es la flexión de la rodilla y también permiten la rotación externa de la pierna cuando la rodilla está flexionada. La cabeza larga participa en la extensión de la cadera.
- **El semitendinoso:** se inserta en la tuberosidad isquiática y termina en el lado superior y medial de la tibia. Tiene la acción de flexionar la rodilla y extender la cadera. Cuando la rodilla está flexionada, permite una rotación interna de la pierna.
- **El semimembranoso:** se origina en la tuberosidad isquiática y termina en el lado posterior del cóndilo medial tibial, en la cara medial tibial y en el cóndilo lateral tibial. Tiene por acción la flexión de la rodilla y extensión de cadera. Es un rotador interno de la rodilla y un tensor de la cápsula articular.

Estos tres músculos están inervados por el nervio ciático y por las raíces metaméricas L5, S1 y S2 (2).

1.2. Fisiología de los isquiotibiales

Se trata de músculos estriados esqueléticos que toman sus inserciones en superficie ósea. Las fibras musculares esqueléticas están compuestas por miofibrillas reconocibles por sus vetas transversales: los sarcómeros. Su contracción voluntaria nos permite producir movimiento, mantener la postura, estabilizar una articulación y liberar calor (energía) (4). Los sarcómeros consisten en un conjunto ordenado de filamentos finos de actina y filamentos gruesos de

miosina. Un retículo sarcoplásmico está compuesto por la envoltura de 200 filamentos finos y gruesos. Estos retículos permiten la liberación y reabsorción de calcio. La membrana plasmática de la célula invagina para formar, a nivel de cada sarcómero, dos túbulos T. Estos permiten la conducción de la información nerviosa al sarcómero (5).

Los isquiotibiales están compuestos por un 55% de fibras tipo II (6). Las fibras de tipo II son fibras cuya principal vía de síntesis de ATP es anaeróbica (glucolítica). Su velocidad de contracción es rápida con una fuerza desarrollada significativa, pero tienen una gran fatigabilidad (4).

El tejido conectivo está estrechamente relacionado con el músculo. Envuelve y mantiene las fibras musculares mediante diferentes vainas, sustentando al músculo mediante: epimisio, perimisio y endomisio. También es el punto de unión, por el tendón, entre el músculo y el esqueleto. Las propiedades de la membrana del túbulo T y el funcionamiento de los puentes actina-miosina se ven afectados por la fatiga. Por lo tanto, las fibras de tipo II tienen un mayor riesgo de lesiones (5).

Las uniones miotendinosas son zonas de asiento de muchas lesiones el sitio de muchas lesiones. Es importante desarrollar ejercicios preventivos que involucren el tejido conectivo para reducir el riesgo de daño muscular (7).

1.3. Las lesiones musculares

En la práctica deportiva, los desgarros musculares son comunes y los isquiotibiales son especialmente sensibles a este tipo de lesión (6). Una de las funciones del fisioterapeuta es comprender las razones de estas lesiones, detectarlas e identificar su nivel de gravedad para prevenirlas o proporcionar una rehabilitación adecuada.

1.4. Clasificación de daños musculares

La clasificación desarrollada por Chanussot y Danowski, que diferencia entre dos tipos de lesiones musculares (8):

- Las de causa extrínseca, como la contusión, la hernia o el hematoma, que se deben a choques externos (una entrada de fútbol, una caída por las escaleras, etc.).
- Las de causa intrínseca, como la elongación, la distensión o el desgarro muscular, que se dan sobre todo durante la práctica deportiva.

Esta clasificación es la más utilizada para determinar los tipos de lesiones en los deportistas y en las personas sedentarias. Dentro de las causas intrínsecas, se pueden distinguir dos categorías (8):

- Los que no tienen lesiones anatómicas: calambres, dolores musculares y contracturas.
- Los que tienen lesiones anatómicas: distensiones, desgarros y roturas.

La elongación muscular se describe como la primera etapa y representa un sobreestiramiento de las capacidades elásticas del músculo. Así, cuando el músculo se somete a un esfuerzo repentino y excesivo, algunas de las miofibrillas se desgarran, lo que provoca la aparición de un dolor agudo y "punzante", que causa molestias durante la práctica deportiva. Este dolor es relativamente moderado, el estiramiento pasivo es doloroso sin que la movilización activa del músculo lo sea (8).

Un desgarro es la siguiente etapa y se define como una lesión de varias fibras o incluso de todo un haz muscular. Como el músculo está muy dañado, la impotencia funcional se define como total. A la palpación, hay un dolor local importante con puntos exquisitos frente a la lesión. Los estiramientos y la movilización activa son especialmente dolorosos, mientras que la observación de la zona puede revelar un hematoma (8).

La ruptura es la etapa final. Se caracteriza por un desgarro completo del músculo. El movimiento muscular es inexistente, la contracción es imposible y aparece un gran hematoma en el trayecto del músculo (8).

1.5. Diagnóstico y exámenes complementarios

El examen clínico, que incluye la observación, la palpación, los estiramientos, la movilización y la cuantificación del dolor, sigue siendo una detección sencilla, poco costosa y relativamente eficaz. Permite diferenciar las lesiones leves, medias y graves. Para completar este examen, se suele prescribir la realización de una ecografía en la zona de la lesión en los días siguientes. Aunque es eficaz para localizar una lesión, no proporciona información sobre su gravedad (9).

La resonancia magnética (RM) es la más fiable (Gold Standard). La evaluación de la gravedad y el tiempo de inactividad del jugador pueden ser conocidos mediante sus resultados. Sin embargo, su coste y disponibilidad siguen siendo un obstáculo para su uso generalizado (10).

La medición de la creatín quinasa (CK) es un método invasivo. Tras la lesión, el músculo segrega CK. Por lo tanto, un aumento del nivel de esta proteína en la sangre está relacionado con el daño muscular. Sin embargo, una concentración elevada de CK no indica la gravedad de la lesión (10).

1.6. Factores de riesgo

Una revisión de varios artículos muestra que son muchos los factores que influyen en el riesgo de sufrir una lesión en los isquiotibiales, que pueden agruparse en cuatro categorías (6,11–15):

- Causas externas: incluyen todos los factores ambientales, como la calidad del suelo (suelo duro), el clima (frío o humedad), golpes y traumas externos (picos, tacos, etc.).
- Factores personales: uno de los factores más importantes sigue siendo el historial de una primera lesión. La edad también parece desempeñar un papel importante, al igual que la calidad de la rehabilitación/recuperación de lesiones pasadas (11).
- Factores fisiológicos: una gran predisposición de las fibras musculares tipo II (6), debilidad muscular de los isquiotibiales (12), desequilibrio en la relación de fuerza isquiotibiales / cuádriceps (13). El cansancio muscular parece estrechamente relacionado con la incidencia de lesiones deportivas (15). La hipotensibilidad muscular sigue siendo un factor de riesgo muy controvertido en la literatura (14).
- Factores de comportamiento: la calidad y la regularidad del entrenamiento, el calentamiento, el estrés, la fatiga, la alimentación (14).

La corrección de estas anomalías puede reducir significativamente el riesgo de lesiones. Durante la temporada, el fisioterapeuta puede proponer diferentes tipos de ejercicios de fortalecimiento para subsanar estos déficits (13,16).

1.7. Fases de la carrera

La carrera es una forma de locomoción bípeda, utilizada en la mayoría de las actividades físicas y deportivas, en las que se requiere un rápido desplazamiento del cuerpo. Se caracteriza por una fase de apoyo unipodal (35-50% del tiempo de zancada) y una fase de vuelo. Las fases de la carrera pueden clasificarse de la siguiente forma(17):

Fase de apoyo: Contacto (t_1) (primer instante en el que cualquier parte del pie apoya en el suelo); apoyo plantar (t_2) (instante en el que se apoya toda la planta); apoyo del centro de gravedad (t_{cdg-ap}) (proyección del centro de gravedad pasa por la articulación de Lisfranc); despegue talón (t_3) (instante en el que el talón despegue); despegue de la punta del pie (t_4) (instante en el que el pie abandona el suelo). *Subfases:* Fases de recepción o frenado: Incremento del tiempo entre t_1 y

t_2 ; fase de transición: Incremento del tiempo entre t_2 y t_3 ; fase de impulso o propulsiva: Incremento del tiempo entre t_3 y t_4 .

Fase de vuelo: Altura máxima del centro de gravedad ($t_{Z\text{máx}}$) (instante en el que el centro de gravedad alcanza su máxima altura); velocidad máxima del muslo ($t_{Vm.\text{máx}}$) (momento de máxima velocidad anteroposterior del muslo); contacto del pie contrario (t_5) (instante en el que el pie contrario contacta con el suelo).
Subfases: Fase de recobro: Incremento del tiempo entre t_4 y $t_{Z\text{máx}}$; fase de avance: Incremento del tiempo entre $t_{Z\text{máx}}$ y t_5 . En la figura 1 podemos observar las fases de la carrera planteadas:

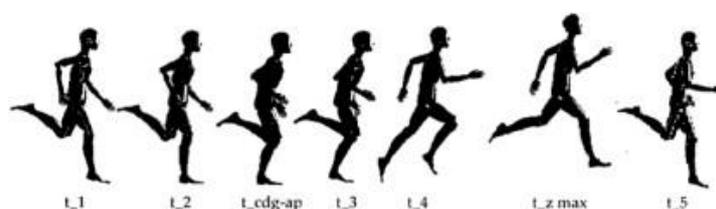


Figura 1 : Fase de la carrera (17).

1.8. Actividad de los músculos isquiotibiales durante la carrera

En la carrera, la actividad de los isquiotibiales tiene sus mayores picos en la fase final de la oscilación y durante el apoyo hasta que empieza a elevar el talón, fases t_1 y t_3 , con actividades muy similares en los primeros en las fases t_1 y t_3 y mayores en la fase t_3 que en la t_1 en el Bíceps Femoral (18).

Este último músculo tiene una actuación más tardía en el apoyo y de mayor intensidad, sufriendo el mayor estiramiento en la oscilación. Su actuación durante la oscilación es, en la primera parte, flexionar la rodilla, y en la segunda, mediante una potente contracción excéntrica, decelerar el miembro inferior y mantener también la rodilla en un cierto grado de flexión para acceder al nuevo apoyo (18). Esta musculatura es vulnerable a las lesiones en los instantes finales de la fase de oscilación durante la carrera, donde hay un rápido cambio de la función concéntrica a la excéntrica cuando la pierna está desacelerando para impactar contra el suelo. Los isquiotibiales se activan estirándose y actuando excéntricamente para desacelerar la cadera al mismo tiempo que se extiende la rodilla para preparar el contacto del talón con el suelo (19).

Cuando la lesión se produce por un sobreestiramiento, la localización más común es el tendón proximal del semimembranoso. La figura 2 muestra los tres músculos

que componen el grupo isquiotibial, así como las fases de la carrera y su relación con la tensión que se genera sobre esta musculatura (19).

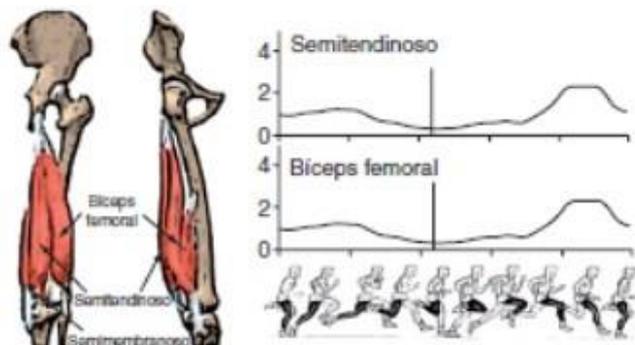


Figura 2 : A. anatomía de la musculatura isquiotibial. B. Activación de los isquiotibiales en las diferentes fases de la carrera (19).

En la fase de oscilación aparece la posibilidad de que surja una lesión por distensión de los isquiotibiales. Las velocidades máximas de contracción excéntrica del músculo bíceps femoral fueron significativamente mayores durante la última fase de balanceo que en la última fase de apoyo, lo que podría explicar por qué el 90 % de las lesiones por distensión de los isquiotibiales ocurren en el vientre del músculo (20).

La identificación temprana de los riesgos de lesiones en los atletas resaltarán la posibilidad de desequilibrios musculares o biomecánica de carrera incorrecta. Esto, a su vez, puede ayudar a prevenir el riesgo de una lesión más grave o que vuelva a ocurrir debido a una biomecánica de carrera o métodos de entrenamiento no óptimos (20).

1.9. Mecanismo lesional en isquiotibiales durante la carrera de alta velocidad

Hay muchos deportes que ponen en riesgo los isquiotibiales. Todos ellos tienen en común la ejecución de movimientos rápidos y amplios, asociando la flexión de la cadera con la extensión de la rodilla. Cuanto mayor sea la velocidad de estiramiento, más fácilmente se producirá la lesión (21).

Los músculos isquiotibiales generan grandes fuerzas opuestas y desempeñan un papel en la producción de estabilidad dinámica en la rodilla durante la carrera de alta velocidad. Existe la posibilidad de que aparezcan fallos de coordinación muscular que puedan causar que uno o más músculos isquiotibiales se activen de manera desproporcionada dando lugar a la adopción de un patrón de carrera alterado, posiblemente aumentando la demanda metabólica y, por lo tanto, fatigando prematuramente los músculos hiperactivos. Esto combinado con el aumento de la inclinación pélvica anterior durante la carrera pueden ocasionar que

los isquiotibiales adquieran una longitud que pueda dar lugar a una lesión. Por lo tanto, las fases de swing tardío y stance temprano parecen ser puntos críticos (22).

1.10. Métodos de prevención de lesiones en isquiotibiales

En relación con el ejercicio:

Con la evidencia científica actual se puede afirmar que la incorporación de ejercicios excéntricos de isquiotibiales como parte del entrenamiento de rutina reduce sustancialmente la incidencia de lesiones por distensión de isquiotibiales. Se recomienda encarecidamente un aumento gradual de la carga y la intensidad del entrenamiento para minimizar efectos de dolor muscular tardío (23).

Se han sugerido ejercicios de control neuromuscular y equilibrio dirigidos a las extremidades inferiores y la región lumbopélvica para incluirlos en los programas de prevención de lesiones en isquiotibiales. Ejemplos de tales movimientos incluyen marcha con la rodilla alta, ejercicios de carrera con apoyo rápido, ejercicios de carrera con caída hacia adelante y salidas explosivas, con el enfoque en el control postural y el desarrollo de la potencia (23).

Un programa que enfatizaba los movimientos variables del tronco durante la carrera (p. ej., postura erguida, flexión hacia adelante, flexión hacia adelante y rotaciones) redujo la ocurrencia de lesiones en los isquiotibiales en un 70 % en promedio durante un período de 2 años, por lo que puede ser interesante añadirlos en un programa de prevención (23).

El ejercicio de isquiotibiales nórdicos o el ejercicio de extensión de cadera desde parado estuvieron relacionados con la producción de fuerza horizontal durante el sprint, por lo que pueden suponer una estrategia importante de prevención. Sin embargo, con ninguno de estos ejercicios fue posible alcanzar niveles similares de actividad EMG a los inducidos por las actividades de velocidad. Las actividades de velocidad máxima parecen ser la única forma de lograr una alta actividad muscular (24).

En relación con las pruebas complementarias o métodos y tests de medición de la carga de entrenamiento:

La Tensiomiografía (TMG) es un método que se utiliza para evaluar el tonomuscular (rigidez) y el balance entre estructuras musculares, cadenas musculares (flexora-extensora) o extremidades (derecha e izquierda), a través del análisis de las características mecánicas y de la capacidad contráctil de los músculos superficiales mediante la medición del desplazamiento radial de las fibras

transversales del vientre muscular, en función del tiempo en que se produce la contracción (25). Ha sido identificado como un método confiable para la identificación de asimetrías musculares laterales, por lo que puede ser muy interesante para prevenir lesiones (26).

La electromiografía de superficie es una herramienta no invasiva que analiza la actividad muscular para comprender el papel de los músculos esqueléticos tanto en reposo como en movimiento (27). Los electrodos detectan una onda de potencial de acción suspendida por el músculo a causa de la despolarización de la membrana del mismo debida a un estímulo que aplica la máquina. Con esto se puede llegar a observar qué nivel de coordinación intermuscular tiene el deportista de manera rápida, lo que puede ayudarnos a prevenir lesiones y ajustar la carga de entrenamiento (27). En las siguientes figuras se puede observar la activación normal de la musculatura isquiotibial (concretamente del bíceps femoral y el semitendinoso) durante la carrera de baja, media y alta velocidad. En la gráfica se pueden apreciar los valores estándar de activación de bíceps femoral y semitendinoso, lo que nos dará mucha información a la hora de comparar los resultados después(28).

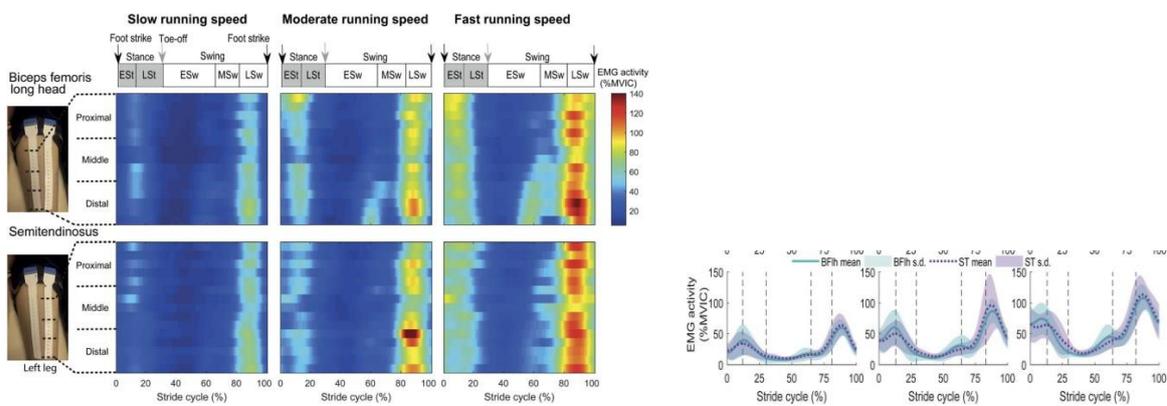


Figura 3 : Activación de la musculatura isquiotibial durante la carrera de baja, media y alta velocidad y valores estándar de activación de dicha musculatura.(28).

La prueba de elevación de pierna recta estima la flexibilidad de la musculatura isquiotibial a través del ángulo de la flexión de cadera con la rodilla extendida, medida con goniometro(29). Existen diferentes pruebas de fuerza como el Counter Movement Jump (CMJ), el Squat Jump (SJ) o el Single Hop Test que revelan el rendimiento neuromuscular y las posibles asimetrías del deportista, por lo que puede ser interesante evaluarlos para prevenir lesiones (30). También pueden llevarse a cabo test isométricos o excéntricos. Esto puede revelarnos posibles

asimetrías o niveles bajos de fuerza sobre los que haya que trabajar para prevenir lesiones (31). Se puede usar un encoder lineal, herramienta en la que se pueden observar los cambios existentes en la fuerza de los miembros inferiores que se van dando a lo largo de la temporada (32). Hoy en día existen apps móviles con las que se puede evaluar la fuerza de manera objetiva mediante la cámara y un sistema de fotogramas por segundo (FPS) (33).

Otros métodos de control de la carga de entrenamiento como el GPS (Global Position System) (34), la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) (35), la medición del lactato (36), la observación del nivel de creatín kinasa (CK) en una analítica (37), el monitoreo del sueño (38), la evaluación del ROM (rango de movimiento) port-ejercicio (39) o la termografía infrarroja (40) pueden ayudar en definir información sobre el estado general y muscular del deportista. Existen cuestionarios de evaluación subjetiva del estado general del deportista como el RPE (escala de esfuerzo percibido) (41) o el cuestionario Wellness (42) que nos ayudan a hacernos una idea del estado muscular del deportista.

2. JUSTIFICACIÓN

Los estudios muestran que el desgarro en los isquiotibiales son el diagnóstico más común en atletismo, suponiendo entre el 16-26% de todas las lesiones registradas (14,43). Con mayor prevalencia en las disciplinas de corta duración, en un estudio con velocistas japoneses se encontró una incidencia de 20% anual (44). En un estudio escocés del fútbol, el desgarro de los isquiotibiales es también la lesión más común (24% de las lesiones) (45). En el rugby, aparte de los hematomas del muslo debido a golpes, los desgarros de los isquiotibiales son las lesiones más frecuentemente encontradas durante los partidos (15% de las lesiones) (46). En el béisbol, es la segunda causa de ausencia entre los jugadores de campo (14% de las lesiones) (47). En el fútbol general, los desgarros de los isquiotibiales representan el 12% de todas las lesiones (15,48). Durante las temporadas 1997-1998 y 1998-1999 esta lesión representó de media unos 15 partidos perdidos para cada jugador por club y temporada entre todos los clubes profesionales ingleses. Cada club sufrió, en promedio, cinco desgarros por temporada (15).

Además, existe una incidencia significativa durante la práctica deportiva, de una recidiva importante que afecta al 25% de los atletas profesionales. Esta recidiva

ocurre para el 33% de los casos dentro de las dos semanas posteriores a la reanudación de los deportes (23). En estos dos casos, el fisioterapeuta debe establecer un programa de prevención adecuado para compensar la aparición de estas lesiones.

El Fútbol Club Barcelona publicó un documento resumen de los diversos avances médicos en epidemiología, diagnóstico, tratamiento y prevención de daños musculares. Ofrece un protocolo para mejorar la condición física de sus jugadores y prevenir lesiones. El contenido de este último consiste en una serie de 10 ejercicios a realizar tras un calentamiento adecuado y una serie de estiramientos. Cada ejercicio es específico para un grupo muscular o a un área del cuerpo. El tiempo total de ejecución del programa es de unos 15 minutos (49).

Esto tiene dos ventajas (49):

- Se integra fácilmente en las sesiones de entrenamiento diarias, sin limitar las fases de los ejercicios específico al deporte.
- No requiere ningún material especial, lo que permite a los jugadores poder ejecutarlo en cualquier circunstancia, de forma autónoma o colectiva.

Un estudio muestra que la implementación de este programa ha reducido significativamente la incidencia de lesiones musculares en jugadores amateurs de los Países Bajos (50). Así, diferentes estudios muestran la eficacia preventiva de un programa en todas las lesiones musculares que pueden estar sujetas a deportistas de alto nivel. Además, observamos que la recurrencia de las lesiones en los isquiotibiales hace que sean uno de los principales objetivos de cualquier programa de prevención (50). Encontrar ejercicios que activan los músculos isquiotibiales de manera aislada con el fin de fortalecerlos (en términos de fuerza y actividades EMG), en relación con la biomecánica de la carrera del sprint, es de gran interés desde el punto de vista del rendimiento, la prevención primaria y el regreso al deporte (24).

Se necesita más investigación para determinar qué ejercicio o combinación de ejercicios podría reducir las lesiones de los músculos isquiotibiales o aumentar el rendimiento del sprint (24).

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

Conceptual:

- Un protocolo de ejercicio específico de los músculos isquiotibiales es efectivo para la prevención de lesiones de dicha musculatura durante el sprint en atletas de pruebas de velocidad de 100 y 200 metros lisos a medio y largo plazo.

Nula:

- Un protocolo de ejercicio específico de los músculos isquiotibiales no reducirá de forma estadísticamente significativa la incidencia lesional de la musculatura isquiotibial en atletas de pruebas de velocidad de 100 y 200 metros lisos a medio y largo plazo.

Alternativa:

- Un protocolo de ejercicio específico de los músculos isquiotibiales es más efectivo que la no realización de este para reducir la incidencia lesional en dicha musculatura atletas de pruebas de velocidad de 100 y 200 metros lisos a medio y largo plazo.

3.2. Objetivos

Principal:

- Evaluar las adaptaciones y mejoras causadas en los músculos isquiotibiales tras llevar a cabo un protocolo de ejercicio terapéutico y específico para dicha musculatura en atletas de pruebas de velocidad de 100 y 200 metros lisos a medio y largo plazo.

Secundarios:

- Analizar la prevalencia e incidencia de lesiones en los músculos isquiotibiales en la muestra tras haber llevado a cabo el protocolo propuesto en comparación al grupo control.
- Analizar las mejoras en el tiempo de contracción (conocer tipo de fibras predominante) y el desplazamiento radial (rigidez muscular) en la muestra mediante tensiomiografía tras haber llevado a cabo el protocolo.
- Analizar la mejora de la flexibilidad de la musculatura isquiosural mediante la prueba EPR tras haber llevado a cabo el protocolo propuesto

- Analizar las mejoras en la actividad electromiográfica en bíceps femoral y semitendinoso durante la carrera de alta velocidad en la muestra tras haber realizado el protocolo propuesto.
- Concienciar a los deportistas de la importancia del ejercicio como método de prevención de lesiones.

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño

Se llevará a cabo el diseño de un ensayo clínico longitudinal. El diseño del estudio ha seguido las normas del protocolo Spirit (Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials) para conocer la viabilidad del estudio ((51). Se utilizará un modelo lineal mixto para comparar los resultados de tensiomiografía (TMG) y electromiografía de superficie (EMG) de las tomas de datos. Existirá un grupo que se subdividirá en 2, siendo uno el grupo control. Se tomarán datos en diferentes momentos (uno en pretemporada, uno en mitad de temporada justo en el cambio entre pista cubierta y al aire libre, y otro al final de la temporada) con el objetivo de observar la eficacia del protocolo de prevención propuesto. Se escogerán atletas en los 70 mejores clasificados de la prueba de 100 metros lisos (categoría juvenil) con ayuda de la Federación Madrileña de Atletismo para llevar a cabo el estudio. Se calculará el intervalo de confianza (IC) del 95% para identificar la magnitud del cambio. Se estimarán correlaciones y regresiones lineales. Los datos serán analizados mediante el software SPSS V21.0.

4.2. Sujetos

Se reclutarán los atletas de los clubes de atletismo de la Real Federación Española de Atletismo (REFA). Se incluirá a los participantes que haya logrado una de las 70 mejores marcas de los 100 metros de la temporada pasada. Se informará a todos los sujetos de cómo se va a llevar a cabo el procedimiento y de qué finalidad tiene. Habrá un acto inicial en el que se informará a todos y se intentará concienciar a los atletas sobre la importancia de seguir correcta y estrictamente el protocolo. Se informará a los entrenadores, que tendrán un papel importante en la intervención. Se les invitarán a la reunión inicial y estarán al corriente de todo. Su papel puede llegar a ser fundamental para que todo se lleve a cabo de manera eficaz. Los atletas seleccionados deberán no haber sufrido de una lesión en los miembros inferiores

durante los 2 años anteriores.

4.3. Criterios inclusión y exclusión

4.3.1. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión en el presente estudio son:

- Atleta masculino especializado en 100 y 200 metros lisos.
- Edad juvenil, concretamente de categoría SUB20. Los que cumplen durante el año 18 o 19 años.
- Federado en la Real Federación Española de Atletismo en las temporadas 2021/2022- 2022/2023.
- Atleta en dinámica de entrenamiento y competición con un mínimo de 8h/semana.
- Atleta que tenga una de las 70 mejores marcas de la temporada anterior en el 100m liso de la comunidad de Madrid.

4.3.2. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión en el presente estudio son:

- Atletas que hayan sufrido alguna lesión en el miembro inferior en las 2 últimas temporadas.
- Atletas con carga de entrenamiento muy sesgada (menos de 4h/semana).
- Atletas que compita en otras pruebas que las de velocidad o salto de longitud.

4.4. Muestra

Se utilizará la calculadora de tamaño muestral Survey Monkey (51) para calcular el tamaño de la muestra. Con un valor de significancia de 0.05, se calculó que 30 sujetos para este estudio es un tamaño ideal de muestra.

4.5. Grupos

Los atletas estarán divididos en 2 grupos de manera equitativa:

- Grupo intervención: Realizarán el protocolo de ejercicios propuesto por los investigadores.

Integrantes: 15 atletas masculinos.

- Grupo control: No realizarán los ejercicios ni ninguna intervención de parte de los investigadores.

Integrantes: 15 atletas masculinos.

4.6. Variables

4.6.1. Variable independiente

La variable independiente del presente estudio será la propuesta de 3 ejercicios específicos de la musculatura isquiotibial.

4.6.2. Variables dependientes

Las variables dependientes del presente estudio son cuantitativas y serán:

- Resultados de Tensiomiografía (TMG) basados en el porcentaje de tipo de fibra existente y rigidez muscular.
- Resultados de Electromiografía (EMG) basados en los valores de activación normal según el electromiograma y la gráfica.
- Resultados del test de flexibilidad EPR (elevación pierna recta) medido con goniómetro.
- Resultados de la incidencia lesional en dicha musculatura tras observar la muestra.

4.6.3. Material de medida

- Tensiomiografía (TMG)(52): El estudio se llevará a cabo con un dispositivo de medición de TMG patentado, el TMG S2. Fue desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica Biomédica y Muscular de la Universidad de Ljubljana, en Eslovenia. Hay que ponerse en contacto con el fabricante para conocer el precio de este (TMG™, 2019). En la Figura 3 se puede observar un croquis del procedimiento de la TMG en el bíceps braquial. En la Figura 4 se puede apreciar un equipo completo de tensiomiografía (TMG), con todos los materiales que lo integran numerados.



Figura 4 : Equipamiento para la TMG por números: 1: Estimulador eléctrico; 2: Sensor digital; 3: Trípode y manipulador; 4: Electrodo. (52).

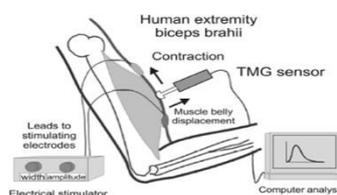


Figura 5 : Croquis explicativo de la medición TMG bíceps braquial (52).

- mDurance (EMG)(53): Para medir la actividad muscular de los isquiotibiales durante los ejercicios planteados vamos a utilizar la electromiografía de superficie. Para ello, vamos a escoger el equipo mDurance Premium. Este equipo es pequeño, cómodo y portable, por lo que se pueden llevar a cabo pruebas funcionales y dinámicas en cualquier escenario junto al paciente. Cuenta con una interfaz fácil e intuitiva para trabajar, lo que podrá facilitarnos las cosas. Además, se trata de un equipo accesible económicamente y moderno. Nos proporcionará el índice de simetría muscular, el reclutamiento de fibras, las ratios de sinergia, el timing de activación, el tono basal o la fatiga muscular, pudiendo exportar todo fácilmente en PDF.



Figura 6: Electromiografía de superficie de 4 canales de mDurance y su software (53).

- Goniómetro(29): Utensilio de medición de movilidad articular típico de la fisioterapia que nos permite saber los grados en los que se puede mover la articulación

4.7. Descripción de la intervención

4.7.1. Desarrollo de la intervención

El procedimiento que llevaremos a cabo será (Anexo 3):

Fase 1:

En primer lugar, los potenciales sujetos (más o menos se citarán los 70 mejores tiempos) y sus respectivos entrenadores serán citados a un acto inicial que se llevará a cabo en el auditorio del edificio A de la Universidad Europea de Madrid a las 9:00 a.m., en pretemporada. En este acto se informará a todos de cómo se va a llevar a cabo la intervención y de qué finalidad tiene. Será en este momento en el que los sujetos se comprometerán a la participación en el presente estudio firmando el Consentimiento Informado (los menores deberán llevarlo a casa y mandarlo firmado por su tutor legal). Se repartirá una ficha en la cual los sujetos deberán compartir sus datos para que podamos clasificarlos. La reunión durará aproximadamente una hora y media. En esta fase escogeremos los sujetos que participarán en el estudio y que estén dentro de los criterios acordados. Una vez escogidos los sujetos se les irá citando para llevar a cabo las mediciones en la misma mañana en el laboratorio de fisioterapia de la Universidad Europea de

Madrid. Se recogerán los datos pertinentes y se explicará a cada uno de ellos y a sus entrenadores cómo se hacen los ejercicios de la manera más técnica y correcta posible. También habrá un taller de técnica de carrera ese mismo día para el que le interese. Se hará un grupo de WhatsApp en el cuál se irán compartiendo recordatorios a los atletas y entrenadores. Además, tendremos una comunicación telefónica 1 vez al mes para que todo el procedimiento se lleve a cabo sin excepciones. Estaremos en contacto con ellos en todo momento.

Fase 2:

La semana después del Campeonato de España de Pista Cubierta se volverá a citar a los atletas para que vayan al laboratorio de fisioterapia de la Universidad Europea de Madrid, donde se llevará a cabo la segunda recogida de datos. Aprovecharemos este momento para preguntar a los atletas qué tal están experimentando el protocolo que les hemos propuesto y en el caso en el que alguien tuviera algún problema, intentaremos solucionárselo.

Fase 3:

La semana después del Campeonato de Madrid al aire libre se volverá a citar a los atletas para que vayan al laboratorio de fisioterapia de la Universidad Europea de Madrid, donde se llevará a cabo la tercera recogida de datos. Aprovecharemos este momento para preguntar a los atletas qué tal están experimentando el protocolo que les hemos propuesto y en el caso en el que alguien tuviera algún problema, intentaremos solucionárselo. Se juntarán los datos para su análisis, que será llevado a cabo mediante un programa informático con el fin de confirmar nuestra hipótesis. Se sacarán las principales conclusiones y se volverá a organizar un acto con todos los participantes para exponer los resultados y conclusiones del estudio.

4.7.2. Ejercicios de la intervención

En la Figura (7) se puede observar una tabla que clasifica varios ejercicios en los que se presupone una activación isquiotibial comparando la activación del bíceps femoral y el semitendinoso con electromiografía (16). Por ello, se eligieron los siguientes ejercicios para el estudio:

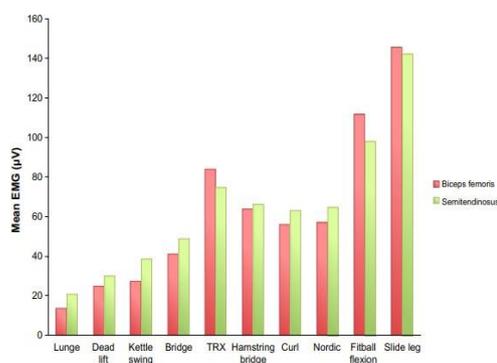


Figura 7 : Activación de la musculatura isquiotibial según diferentes ejercicios(16).

Puente con TRX: El atleta se colocará en decúbito supino, con las rodillas y caderas flexionadas a 90° y con los pies sobre un TRX, que dando la cinta a la altura del talón aproximadamente. Deberá elevar su pelvis apretando mucho sus glúteos y flexionar y extender las rodillas 8 veces, 4 con cada pierna. En la Figura (8) se puede observar un ejemplo de la ejecución del ejercicio.



Figura 8 : Ejercicio del puente con TRX. Elaboración propia.

Puente monopodal con slider: El atleta se colocará en decúbito supino. Una cadera la tendrá extendida junto con la rodilla. La otra se colocará sobre un slider con el apoyo en el talón. Deberá elevar su pelvis y deslizar con el talón hacia delante y hacia atrás. Deberá hacerlo 8 veces, 4 con cada pierna.



Figura 9 : Ejercicio del puente monopodal con slider. Elaboración propia.

Flexiones de rodilla contra fitball en prono: El atleta se colocará en decúbito prono. Tendrá un fitball sobre su zona lumbar, que estará sujeto por la barra o por el entrenador. Deberá realizar flexiones de rodilla a alta velocidad enérgicamente hasta golpear el fitball con el talón, alternando durante un periodo de 30 segundos.

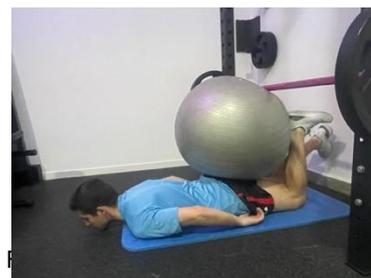


Figura 10 : Ejercicio de flexiones de rodilla contra un fitball en prono. Elaboración propia.

4.7.3. Pautas de los ejercicios

Los ejercicios expuestos anteriormente estarán pautados en forma de circuitos donde se realizará de la siguiente manera, dos veces por semana:



Figura 11 : Circuito pautado a los atletas del grupo de intervención. Elaboración propia.

Durante el segundo encuentro se efectuará una encuesta para valorar la percepción que tienen los atletas al realizar los ejercicios. Para los deportistas que perciben las tareas muy fáciles se irá subiendo el número de repeticiones de manera gradual añadiendo 2 repeticiones cada 2 semanas hasta un máximo de 16 repeticiones y 50" en las flexiones de rodilla contra fitball.

4.8. Análisis de datos

El análisis de los datos se realizará mediante la plataforma de software IBM SPSS V21.0 (26), que ofrece un análisis estadístico avanzado. Su facilidad de uso, flexibilidad y escalabilidad hacen que SPSS sea accesible para usuarios con cualquier nivel de conocimiento. El presente estudio tiene 5 variables dependientes y todas son cuantitativas discretas. Se describirán mediante media y mediana (tendencia central) desviación estándar (dispersión), apuntamiento y normalidad (distribución). Para estudiar la normalidad muestral se recurrirá a la prueba Kolmogorov Smirnov ($N > 30$). Si la muestra presenta una distribución normal se llevará a cabo el T-Student para muestras independientes, si no, se usará el Mann Whitney U test. Será necesario un p valor < 0.05 para observar diferencias estadísticamente significativas. Una vez se haya conocido la normalidad de la muestra se llevará a cabo la prueba de Pearson para el análisis relacional. Se estimarán regresiones y correlaciones lineales y se llevará a cabo un modelo lineal mixto. Las conclusiones las sacará el equipo investigador al completo de manera ciega, es decir, que no estarán al tanto de la intervención que recibe el atleta que van a medir.

4.9. Limitaciones, fortalezas y viabilidad del estudio

4.9.1. Las limitaciones del presente estudio son

- Tiempo de la investigación
- El plan de entrenamiento de los atletas (ejercicios, horas/semanas, lugar)
- Calificación necesaria del cuerpo de investigación (experto en la medición con Tensiomiografía)

4.9.2. Las fortalezas del presente estudio son

- Siendo una investigación en colaboración con la Federación Madrileña de Atletismo es probable tener un alto porcentaje de seguimiento debido al interés que puedan tener los diferentes involucrados en la investigación.
- La presencia de dos investigadores con el título de fisioterapeuta y de CAFyD.
- Realizar esta investigación sobre la categoría juvenil, siendo ellos los futuros atletas profesionales.

4.9.3. Viabilidad del estudio

El estudio será sometido a la aprobación por el Comité de Ética de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias, que vela por la calidad científica de los proyectos de investigación que se llevan a cabo en el centro. El Comité vela por el cumplimiento de lo establecido en la Declaración de Helsinki y la normativa legal vigente sobre investigación biomédica (ley 14/2007, de junio) y ensayos clínicos (R.D. 223/2004 del 6 de febrero, modificado por el R.D 1276/2011, del 16 de septiembre).

Esta investigación proporciona una alta viabilidad en el campo real gracias a la colaboración de la Real Federación de Atletismo y de las diferentes personas implicadas en ella (clubes, entrenadores y atletas). Por ello, se llevará a cabo un proceso de concienciación desde el primer momento para difundir la importancia y la utilidad de este estudio para cada uno de los integrantes. Pondremos un número de contacto para resolver cualquier duda que puedan encontrar los atletas o sus entrenadores. Financiaremos los gastos gracias a becas que pediremos a la Universidad Europea de Madrid y a la Real Federación Española de Atletismo. Plantearemos nuestra participación en diferentes concursos de proyectos, como el concurso nacional de investigación organizado por el Ministerio de Ciencia y Innovación. La medición se hará de manera rápida y no invasiva suponiendo una ventaja en la recogida de datos. Además, los aparatos necesarios para la recogida de datos están presentes en nuestra universidad, por lo que no supondrá dificultad acceder a ellos. Al escoger los sujetos mediante el ranking de la federación nos aseguramos una alta probabilidad de poder captar a los atletas ya que les vamos a hablar de un protocolo para disminuir el riesgo de lesionarse. Además, el seguimiento de este protocolo no conlleva mucho tiempo y material por parte de los atletas y entrenadores, pudiendo llevarse a cabo en cualquier espacio. No hay que

olvidar que la muestra inicial puede variar de la muestra final debido al no seguimiento de atletas por factores ajenos tal como lesiones, desinterés o abandono de la práctica de atletismo. Debido a la situación de pandemia en la cual se encuentra el mundo actualmente será primordial respetar las diferentes normas de prevención establecidas por la sanidad pública a la hora de realizar las diferentes jornadas previstas en esta investigación. Siendo una investigación sobre una temporada es primordial estar alerta ante cualquier dificultad que pueda surgir en el equipo de investigación. Se les pedirá un resumen mensual de los diferentes avances en la investigación. En conclusión, este estudio es factible y se ve realizable en las condiciones establecidas mediante el protocolo diseñado sin mayores problemas. No obstante, el investigador principal se reunirá con cada uno de los miembros del equipo de investigación para siempre poder resolver las diferentes dudas que puedan surgir.

5. PLAN DE TRABAJO

El organigrama del equipo investigador de este estudio será:

- Investigador y director del estudio: Graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y graduado en Fisioterapia. Director del estudio. Encargado de seguir todas las fases del estudio y mantener el contacto con los sujetos y sus respectivos entrenadores.
- Investigador principal: Graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y graduado en Fisioterapia. Organizador de los encuentros y de proporcionar el taller sobre la técnica de carrera.
- Experto en Tensiomiografía (TMG): Encargado en controlar la toma de datos con el TMG proporcionando su conocimiento y supervisando el registro de datos del TMG.
- Experto en mDurance (EMG): Graduado en Ciencias de la Actividad física y el deporte. Encargado en la toma de datos con el EMG. Supervisara el registro de datos con el EMG.
- Investigador análisis de datos: Graduado en Ciencias de la actividad física y el deporte. Analizará los datos de las diferentes variables que se evalúa en este estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Lavignolle B, Gille O, Gangnet N. Anatomie descriptive et topographique du membre pelvien. 2008.
2. Hansen JT, Netter FH,, Machado CAG. Netter's Clinical Anatomy. 2019.
3. Kapandji I. The physiology of the joints. Churchill Livingstone, editor. 2011.
4. Tortora G, Derrickson B. Manuel d'anatomie et de physiologie humaines. de Boeck supérieur, editor. 2017.
5. Jones D, Round J, de Haan A. Physiologie du muscle squeletique : De la structure au mouvement. 4th ed. Elsevier, editor. 2005.
6. Garrett WE, Califf JC, Bassett FH. Histochemical correlates of hamstring injuries. Am J Sports Med. 1984;12(2):98–103.
7. Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. Clin Orthop Relat Res. 1986 Jul;(208):65–8.
8. Chanussot J, Danowski R. Rééducation en traumatologie du sport. Masson. 2005.
9. Manara M, Manari D, Past G. Diagnostic Imaging in Muscle Injury. In: Muscle Injuries in Sport Medicine. InTech; 2013.
10. Connell DA, Schneider-Kolsky ME, Hoving JL, Malara F, Buchbinder R, Koulouris G, et al. Longitudinal study comparing sonographic and MRI assessments of acute and healing hamstring injuries. AJR Am J Roentgenol. 2004 Oct;183(4):975–84.
11. Orchard JW. Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in Australian football. Am J Sports Med. 2001;29(3):300–3.
12. Agre JC. Hamstring injuries. Proposed etiological factors, prevention, and treatment. Sports Med. 1985;2(1):21–33.
13. Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. Am J Sports Med. 2008 Aug;36(8):1469–75.
14. Opar DA, Drezner J, Shield A, Williams M, Webner D, Sennett B, et al. Acute hamstring strain injury in track-and-field athletes: A 3-year observational study at the Penn Relay Carnival. Scand J Med Sci Sports. 2014 Aug;24(4):e254-9.
15. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. Br J Sports Med. 2004 Feb;38(1):36–41.
16. Tsaklis P, Malliaropoulos N, Mendiguchia J, Korakakis V, Tsapralis K, Pyne D, et al. Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. Open Access J Sports Med. 2015;6:209–17.
17. Ferro S A. La Carrera de Velocidad: Metodología Del Análisis Biomecánico. 2001.
18. Nerín B S, Villarroya A A, Marco S C, Moros G T. Actividad eléctrica muscular en la marcha a distintas velocidades y en la carrera. Biomecánica. 2004;12(1).
19. de Hoyo M, Naranjo-Orellana J, Carrasco L, Sañudo B, Jiménez-Barroca J, Domínguez-Cobo S. Revisión sobre la lesión de la musculatura isquiotibial en el deporte: factores de riesgo y estrategias para su prevención. Rev Andal Med Deporte . 2013;6(1):30–7.
20. Howard RM, Conway R, Harrison AJ. Muscle activity in sprinting: a review. Sports Biomechanics. 2018 Jan 2;17(1):1–17.

21. Pandy MG, Lai AKM, Schache AG, Lin YC. How muscles maximize performance in accelerated sprinting. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Oct;31(10):1882–96.
22. Huygaerts S, Cos F, Cohen DD, Calleja-González J, Guitart M, Blazevich AJ, et al. Mechanisms of Hamstring Strain Injury: Interactions between Fatigue, Muscle Activation and Function. *Sports (Basel)*. 2020 May 18;8(5).
23. Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010 Feb;40(2):67–81.
24. Prince C, Morin JB, Mendiguchia J, Lahti J, Guex K, Edouard P, et al. Sprint Specificity of Isolated Hamstring-Strengthening Exercises in Terms of Muscle Activity and Force Production. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021 Jan 21;2.
25. García-Manso J, Vaamonde D, Rodríguez-Ruiz D, da Silva-Gricoletto E. La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. 2010;3(3):98–102.
26. Sánchez-Sánchez J, Bishop D, García-Unanue J, Ubago-Guisado E, Hernando E, López-Fernández J, et al. Effect of a Repeated Sprint Ability test on the muscle contractile properties in elite futsal players. *Nature Scientific Reports*. 2018 Dec 23;8(1):17–24.
27. Juan-García F. Utilidad de la electromiografía de superficie en rehabilitación [Internet]. *Research Gate*. Research Gate ; 2017 [cited 2022 May 19]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/316588275>
28. HEGYI A, GONÇALVES BAM, FINNI T, CRONIN NJ. Individual Region- and Muscle-specific Hamstring Activity at Different Running Speeds. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2019 Nov;51(11):2274–85.
29. Ayala F., Sainz de Baranda P., Cejudo A. SF, Santonja F. Pruebas angulares de estimación de la flexibilidad isquiosural: descripción de los procedimientos exploratorios y valores de referencia. *Andal Med Deporte*. 2013;6(3):120–8.
30. Muñoz-López A. Cuantificación de la carga de entrenamiento en fútbol a través de una escala subjetiva pre-entrenamiento y de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. [Sevilla]: Universidad Pablo Olavide; 2017.
31. Greco CC, da Silva WL, Camarda SRA, Denadai BS. Fatigue and rapid hamstring/quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2013 Jan;33(1):18–23.
32. González-Millán C, del Coso J, Abián-Vicén J, López R, Gutiérrez D, Salinero J. Cambios en la fuerza de miembros inferiores tras un mesociclo de pretemporada en futbolistas semiprofesionales. *Retos Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*. 2014;52–5.
33. Balsalobre C. My Jump 2 [Aplicación móvil].
34. Buchheit M, Gray A, Morin JB. Assessing Stride Variables and Vertical Stiffness with GPS-Embedded Accelerometers: Preliminary Insights for the Monitoring of Neuromuscular Fatigue on the Field. *J Sports Sci Med*. 2015 Dec;14(4):698–701.
35. Recuenco D, Juárez D. Heart rate variability: Observations on its application in the analysis of load and performance in football. *Journal of sport and health research*. 2017;9(1):1–14.
36. Gómez-Carmona CD, Gamonales-Puerto JM, Feu S, Ibáñez SJ. Estudio de la carga interna y externa a través de diferentes instrumentos. Un estudio de casos en

- fútbol formativo. *Sportis Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity*. 2019 Aug 14;5(3):444–68.
37. Vilamitjana J, Vaccari JC, Toedtli M, Navone D, Rodríguez-Buteler JM, Verde PEGGJ, et al. Monitorización de biomarcadores sanguíneos en jugadores profesionales de fútbol durante la fase preparatoria y competitiva. *RICYDE Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 2017;13(49):211–24.
 38. Irwin MR, Wang M, Capella O, Campomayor M. Sleep Deprivation and Activation of Morning Levels of Cellular and Genomic Markers of Inflammation. *Archives of Internal Medicine*. 2006 Sep 18;166(16):1756.
 39. Paul DJ, Nassis GP, Whiteley R, Marques JB, Kenneally D, Chalabi H. Acute responses of soccer match play on hip strength and flexibility measures: potential measure of injury risk. *Journal of Sports Sciences*. 2014 Aug 9;32(13):1318–23.
 40. Marins JCB, Fernández-Cuevas I, Arnaiz-Lastras J, Fernandes A, Sillero-Quintana M. Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte: una revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*. 2015;15(60):805–24.
 41. Marynowicz J, Kikut K, Lango M, Horna D, Andrzejewski M. Relationship Between the Session-RPE and External Measures of Training Load in Youth Soccer Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020 Oct;34(10):2800–4.
 42. McLean BD, Coutts AJ, Kelly V, McGuigan MR, Cormack SJ. Neuromuscular, Endocrine, and Perceptual Fatigue Responses During Different Length Between-Match Microcycles in Professional Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2010 Sep;5(3):367–83.
 43. Alonso JM, Edouard P, Fischetto G, Adams B, Depiesse F, Mountjoy M. Determination of future prevention strategies in elite track and field: analysis of Daegu 2011 IAAF Championships injuries and illnesses surveillance. *Br J Sports Med*. 2012 Jun;46(7):505–14.
 44. Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K, Suzuki E. Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008 Aug;38(8):457–64.
 45. Murphy JC, O'Malley E, Gissane C, Blake C. Incidence of injury in Gaelic football: a 4-year prospective study. *Am J Sports Med*. 2012 Sep;40(9):2113–20.
 46. Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med*. 2006 Aug;34(8):1297–306.
 47. Posner M, Cameron KL, Wolf JM, Belmont PJ, Owens BD. Epidemiology of Major League Baseball injuries. *Am J Sports Med*. 2011 Aug;39(8):1676–80.
 48. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med*. 2011 Jun;45(7):553–8.
 49. Futbol Club Barcelona SM. Guía de Práctica Clínica de las lesiones musculares. Epidemiología, diagnóstico, tratamiento y prevención Versión 4.5 (9 de febrero de 2009). *Apunts Sports Medicine [Internet]*. 2009 Oct 1 [cited 2022 Mar 21];44(164):179–203. Available from: <http://www.apunts.org/es-guia-practica-clinica-las-lesiones-articulo-X0213371709460323>

50. van Beijsterveldt AMC, Krist MR, Schmikli SL, Stubbe JH, de Wit GA, Inklaar H, et al. Effectiveness and cost-effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players: design of a cluster-randomised controlled trial. *Inj Prev*. 2011 Feb;17(1).
51. Moher D, Chan AW. SPIRIT (Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials). In: *Guidelines for Reporting Health Research: A User's Manual*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2014. p. 56–67.
52. Đorđević S, Rozman S, Zupet P, Dopsaj M, Maffulli N. Tensiomyography Allows to Discriminate between Injured and Non-Injured Biceps Femoris Muscle. *Biology (Basel)*. 2021;11(5):746.
53. Jové C, Diaz I, Granados S. MDurance: La actividad muscular controlada [Internet]. 2022 [cited 2022 May 19]. Available from: <https://mdurance.eu/>

7. ANEXO:

Anexo 1: Hoja de Información

HOJA DE INFORMACIÓN

Título del estudio: PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE LESIONES PARA LAS LESIONES DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES DURANTE LA CARRERA DE ALTA VELOCIDAD

Promotor: Universidad Europea de Madrid.

Investigadores: Enrique FERNANDEZ LUNA y Adrien POCARD

Centro: Universidad Europea de Madrid.

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación que se va a realizar en la Universidad Europea de Madrid, en el cuál se le invita a participar. Este documento tiene por objeto que usted reciba la información correcta y necesaria para evaluar si quiere o no participar en el estudio. A continuación, le explicaremos de forma detallada todos los objetivos, beneficios y posibles riesgos del estudio. Si usted tiene alguna duda tras leer las siguientes aclaraciones, nosotros estaremos a su disposición para aclararle las posibles dudas. Finalmente, usted puede consultar su participación con las personas que considere oportuno.

¿Cuál es el motivo de este estudio?

Los estudios muestran que el desgarró en los isquiotibiales son el diagnóstico más común en atletismo, suponiendo entre el 16-26% de todas las lesiones registradas. Con mayor prevalencia en las disciplinas de corta duración, en un estudio con velocistas japoneses se encontró una incidencia de 20% anual. En definitiva, se trata de una lesión común en la que hay que tratar de prevenir de manera correcta y efectiva.

RESUMEN DEL ESTUDIO:

La lesión muscular de los isquiotibiales es una lesión muy común en los deportes con un componente importante de sprint y aceleración. Mediante un análisis anatómico y biomecánico de las fases de la carrera se ha diseñado un ensayo clínico con el objetivo de analizar la efectividad de un protocolo de ejercicios sencillo de ejecutar en la prevención de lesiones en esa zona en atletas de velocidad. En este estudio se propone estudiar durante una temporada a los 30 mejores velocistas juveniles masculinos de la Comunidad de Madrid. Se dividirán en 2 grupos siendo uno el grupo de intervención y otro el grupo control. Se utilizarán tensiomiografía (TMG) y electromiografía de superficie (EMG) para tomar datos cuantitativos de la región isquiotibial, observando su actividad para el posterior análisis. La toma de datos se realizará en 3 momentos diferentes de la temporada con el fin de poder comparar los datos en función del tiempo y/o de los diferentes grupos. Se utilizará un modelo lineal mixto para comparar los resultados.

PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA Y RETIRADA DEL ESTUDIO:

La participación en este estudio es voluntaria, por lo que puede decidir no participar. En caso de que decida participar, puede retirar su consentimiento en cualquier momento, sin que por ello se altere la relación con su fisioterapeuta ni se produzca perjuicio alguno en su temporada. En caso de que usted decidiera abandonar el estudio, puede hacerlo permitiendo el uso de los datos obtenidos hasta ese momento para la finalidad del estudio, o si fuera su voluntad, todos los registros y datos serán borrados de los ficheros informáticos.

¿Quién puede participar?

- Atleta masculino especializado en 100 y 200 metros lisos.
- Edad juvenil, concretamente de categoría SUB20. Los que cumplen durante el año 18 o 19 años.

- Federado en la Real Federación Española de Atletismo en las temporadas 2021/2022- 2022/2023.
- Atleta en dinámica de entrenamiento y competición con un mínimo de 8h/semana.
- Atleta que tenga una de las 70 mejores marcas de la temporada anterior en el 100m liso de la comunidad de Madrid.

¿En qué consiste el estudio y mi participación?

Se llevará a cabo un protocolo que consistirá en tres ejercicios específicos que se deberán incluir en la planificación normal del entrenamiento. Se tendrá que acudir a la Universidad Europea de Madrid en 3 ocasiones, la primera durará toda la mañana, las siguientes serán más breves. Se concretarán las citas vía WhatsApp en base a la disponibilidad. El atleta debe estar dispuesto a ser sometido a pruebas de Tensiomiografía (TMG) y Electromiografía de Superficie (EMG) en estas tres ocasiones.

¿Cuáles son los posibles beneficios y riesgos derivados de mi participación? Es posible que usted no obtenga ningún beneficio directo por participar en el estudio. No obstante, se prevé que la información que se obtenga pueda beneficiar en un futuro a otros pacientes y pueda contribuir a realizar un cambio de pensamiento en el profesional a la hora de prevenir lesiones. Al finalizar la investigación podrá ser informado, si lo desea, sobre los principales resultados y conclusiones generales del estudio. El estudio no supone ningún riesgo para su salud ya que para la toma adicional de los registros necesarios no se incurre en ninguna acción nociva ni perniciosa.

¿Quién tiene acceso a mis datos personales y como se protegen?

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. De acuerdo con lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual deberá dirigirse a su médico del estudio. Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código y solo su fisioterapeuta del estudio/colaboradores podrá relacionar dichos datos con usted y con su historia

clínica. Por lo tanto, su identidad no será revelada a persona alguna salvo excepciones, en caso de urgencia médica o requerimiento legal. Sólo se transmitirán a terceros y a otros países los datos recogidos para el estudio que en ningún caso contendrán información que le pueda identificar directamente, como nombre y apellidos, iniciales, dirección, etc. En el caso de que se produzca esta cesión, será para los mismos fines del estudio descrito y garantizando la confidencialidad como mínimo con el nivel de protección de la legislación vigente en nuestro país. El acceso a su información personal quedará restringido al fisioterapeuta del estudio/colaboradores, autoridades sanitarias (Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios), al Comité Ético de Investigación Clínica y personal autorizado por el promotor, cuando lo precisen para comprobar los datos y procedimientos del estudio, pero siempre manteniendo la confidencialidad de estos de acuerdo con la legislación vigente.

¿Recibiré algún tipo de compensación económica?

No se prevé ningún tipo de compensación económica durante el estudio. Si bien, su participación en el estudio no le supondrá ningún gasto.

¿Quién financia esta investigación?

La Universidad Europea de Madrid.

OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE:

Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, ningún dato nuevo será añadido a la base de datos y puede exigir la destrucción de sus datos y/o de todos los registros identificables, previamente retenidos, para evitar la realización de otros análisis. También debe saber que puede ser excluido del estudio si los investigadores del estudio lo consideran oportuno, ya sea por motivos de seguridad, por cualquier acontecimiento adverso que se produzca o porque consideren que no está cumpliendo con los procedimientos establecidos. En cualquiera de los casos, usted recibirá una explicación adecuada del motivo que ha ocasionado su retirada del estudio.

CALIDAD CIENTÍFICA Y REQUERIMIENTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO:

Este estudio ha sido sometido a aprobación por el Comité de Ética de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias, que vela por la calidad científica de los

proyectos de investigación que se llevan a cabo en el centro. Cuando la investigación se hace con personas, este Comité vela por el cumplimiento de lo establecido en la Declaración de Helsinki y la normativa legal vigente sobre investigación biomédica (ley 14/2007, de junio de investigación biomédica) y ensayos clínicos (R.D. 223/2004 de 6 de febrero, por el que se regulan los ensayos clínicos con medicamentos, modificado por Real Decreto 1276/2011, del 16 de septiembre).

PREGUNTAS:

Llegando este momento le damos la oportunidad de que, si no lo ha hecho antes, haga las preguntas que considere oportunas. El equipo investigador le responderá lo mejor que sea posible.

INVESTIGADORES DEL ESTUDIO:

Si tiene alguna duda sobre algún aspecto del estudio o le gustaría comentar algún aspecto de esta información, por favor no deje de preguntar a los miembros del equipo investigador: Enrique Fernández/689024531 y Adrien Pocard/645890234. En caso de que una vez leída esta información y aclaradas las dudas decida participar en el estudio, deberá firmar su consentimiento informado. Este estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias.

Anexo 2: Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO:

D./D^a. _____, de _____ años, con DNI _____ y domicilio en _____.

He recibido una explicación satisfactoria sobre el procedimiento del estudio, su finalidad, riesgos, beneficios y alternativas. He quedado satisfecho/a con la información recibida, la he comprendido, se me han respondido todas mis dudas y comprendo que mi participación es voluntaria. Presto mi consentimiento para el procedimiento propuesto y conozco mi derecho a retirarlo cuando lo desee, con la única obligación de informar sobre mi decisión al fisioterapeuta responsable del estudio.

En Madrid, a día _____ de _____ de _____.

Firma y N^o de colegiado del investigador _____

Firma y N^o de DNI del paciente _____

CONSENTIMIENTO INFORMADO(menor de edad):

D./D^a. _____, de _____ años, con DNI _____, representante legal de D./D^a. _____, de _____ años, con DNI _____.

He recibido una explicación satisfactoria sobre el procedimiento del estudio, su finalidad, riesgos, beneficios y alternativas. He quedado satisfecho/a con la información recibida, la he comprendido, se me han respondido todas mis dudas y comprendo que la participación de mi representado es voluntaria. Presto mi consentimiento para que mi representado lleve a cabo el procedimiento propuesto y conozco mi derecho a retirarlo cuando lo desee, con la única obligación de informar sobre mi decisión al fisioterapeuta responsable del estudio.

En Madrid, a día _____ de _____ de _____.

Firma y N^o de colegiado del investigador _____

Firma y N^o de DNI del paciente _____

Anexo 3: Cronograma de la intervención

Calendario del Estudio 2022/23

Agosto 2022							Septiembre 2022							Octubre 2022							Noviembre 2022										
Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do
31	1	2	3	4	5	6	7	35				1	2	3	4	39						1	2	44							
32	8	9	10	11	12	13	14	36	5	6	7	8	9	10	11	40	3	4	5	6	7	8	9	45	7	8	9	10	11	12	13
33	15	16	17	18	19	20	21	37	12	13	14	15	16	17	18	41	10	11	12	13	14	15	16	46	14	15	16	17	18	19	20
34	22	23	24	25	26	27	28	38	19	20	21	22	23	24	25	42	17	18	19	20	21	22	23	47	21	22	23	24	25	26	27
35	29	30	31					39	26	27	28	29	30			43	24	25	26	27	28	29	30	48	28	29	30				
																44	31														

Diciembre 2022							Enero 2023							Febrero 2023							Marzo 2023										
Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do
48				1	2	3	4	52						1		5							9								
49	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	10	6	7	8	9	10	11	12	
50	12	13	14	15	16	17	18	2	9	10	11	12	13	14	15	7	13	14	15	16	17	18	19	11	13	14	15	16	17	18	19
51	19	20	21	22	23	24	25	3	16	17	18	19	20	21	22	8	20	21	22	23	24	25	26	12	20	21	22	23	24	25	26
52	26	27	28	29	30	31		4	23	24	25	26	27	28	29	9	27	28						13	27	28	29	30	31		
								5	30	31																					

Abril 2023							Mayo 2023							Junio 2023							Julio 2023											
Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	Sem.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do	
13						1	2	18	1	2	3	4	5	6	7	22							26									
14	3	4	5	6	7	8	9	19	8	9	10	11	12	13	14	23	5	6	7	8	9	10	11	27	3	4	5	6	7	8	9	
15	10	11	12	13	14	15	16	20	15	16	17	18	19	20	21	24	12	13	14	15	16	17	18	28	10	11	12	13	14	15	16	
16	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	28	25	19	20	21	22	23	24	25	29	17	18	19	20	21	22	23	
17	24	25	26	27	28	29	30	22	29	30	31					26	26	27	28	29	30			30	24	25	26	27	28	29	30	
																									31	31						

FASE 1	
09:00	Reunión inicial
11:00-14:00	Citas individuales (1ª recogida de datos)
16:00	Taller Técnica de carrera
19:00	Reunión Final

Entrevista telefónicas
Día Festivos
Competición
Fase 1
Fase 2
Fase 3
Exp. de los Resultados

FASE 2	
Citas individuales (2ª recogida de datos)	

FASE 3	
Citas individuales (3ª recogida de datos)	
Análisis de datos	