



## **Grado en Fisioterapia**

# **Trabajo Fin de Grado**

### **Título:**

Eficacia de tratamiento de ejercicio terapéutico dinámico con y sin electro estimulación para ganancias en valores cinéticos y cinemáticos en una plastia de Ligamento Cruzado Anterior de rodilla en futbolistas de alto rendimiento.

Alumno: Sergio Martínez Benito

Tutora: Adela García González

**Madrid, 03 de Mayo de 2018**



# ÍNDICE

Índice de abreviaturas.....	4
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras.....	6
<b>1. Antecedentes y Estado actual del tema.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Evaluación de la evidencia.....</b>	<b>42</b>
2.1. Resultados.....	42
<b>3. Objetivos del estudio.....</b>	<b>46</b>
3.1. Objetivo principal.....	46
3.2. Objetivos específicos.....	46
<b>4. Hipótesis.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Metodología.....</b>	<b>48</b>
5.1. Diseño.....	48
5.2. Sujetos de estudio.....	49
5.3. Cálculo muestral.....	50
5.4. Variables.....	52
5.5. Hipótesis operativa.....	54
5.6. Recogida, análisis de datos, contraste de hipótesis.....	56
5.7. Limitaciones del estudio.....	58
5.8. Equipo investigador.....	58
<b>6. Plan de trabajo.....</b>	<b>59</b>
6.1. Diseño de la intervención.....	59
6.2. Etapas de desarrollo.....	67
6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador.....	68
6.4. Lugar de realización del proyecto.....	69
<b>7. Listado de referencias.....</b>	<b>70</b>
Anexos.....	76

## Índice de abreviaturas.

Abreviatura	Significado
ATP	Adenosina tri-fosfato
CCC	Cadena cinética cerrada
CMJ	Salto contra movimiento
GH	Hormona de crecimiento
HTH	Hueso-tendón-hueso
HZ	Hercios
LLE	Ligamento lateral externo
LCAE	Ligamento cruzado antero-externo
LLI	Ligamento lateral interno
LCPI	Ligamento cruzado postero-interno
MVC	Contracción máxima voluntaria
MI	Menisco interno
ME	Menisco externo
OTG	Órganos tendinosos de Golgi
PC	Fosfocreatina
PEP	Protocolo de entrenamiento neuromuscular
Q/H	Ratio Cuádriceps/Isquiotibiales
SJ	Squat Jump

## Índice de tablas

Tabla 1. Tabla modificada de Reconstrucción del LCAE.....	24
Tabla 2. Tabla de estrategia de búsqueda PUBMED términos libres.....	43
Tabla 3. Tabla de estrategia de búsqueda PUBMED términos MESH.....	43
Tabla 4. Tabla de estrategia de búsqueda EPSCO términos MESH.....	44
Tabla 5. Tabla de estrategia de búsqueda PEDro.....	44
Tabla 6. Tabla de estrategia de búsqueda Google Académico.....	44
Tabla 7. Tabla de variables del estudio.....	52
Tabla 8. Tabla de variables del estudio.....	52
Tabla 9. Tabla de cronograma del estudio.....	67

## **Índice de figuras.**

Figura 1. Distribución de lesiones en el deporte.....	13
Figura 2. Distribución de lesiones en regiones anatómicas.....	14
Figura 3. Incidencia de lesión de LCAE.....	15
Figura 4. Representación metodológica del estudio.....	49
Figura 5. Sujetos necesarios para la representación del estudio.....	52

## **Resumen.**

### **Antecedentes.**

Una de las lesiones más comunes en la articulación de la rodilla, es la rotura del ligamento cruzado anterior. Esta lesión es muy habitual en deportes en los que se produzcan saltos, aceleraciones, desaceleraciones y giros, como pueden ser baloncesto y voleibol, pero el más común es el fútbol. Además, normalmente se produce más en mujeres que en varones, entre la segunda y tercera década de vida. La sintomatología más común en la rotura del ligamento cruzado anterior es dolor intenso en la rodilla, inflamación, hemartros y posible derrame articular, por lo que será primordial un buen examen físico para su diagnóstico. En la actualidad, existen diferentes protocolos de rehabilitación y métodos de entrenamiento para una rápida recuperación, como es el caso de la electroestimulación, con la que podremos devolver la actividad inicial al cuádriceps y evitar su atrofia, y conseguir un plus de fortalecimiento en estadios finales de rehabilitación.

### **Objetivo.**

Valorar si existe variación en los datos cinéticos y cinemáticos en una fase de fortalecimiento de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años mediante ejercicio terapéutico dinámico con y sin electroestimulación, donde a ambos grupos se les aplica un tratamiento habitual.

### **Metodología.**

Se ha redactado un proyecto de investigación en el que se ha diseñado un estudio experimental, longitudinal prospectivo, en sujetos de fútbol profesional intervenidos de ligamento cruzado anterior con edades entre los 20-25 años. Todos los sujetos recibieron las intervenciones de manera aleatorizadas, ejercicio terapéutico sin electroestimulación y ejercicio terapéutico con electroestimulación. Se realizan dos mediciones con dinamómetro isocinético, una antes y otra después de la intervención, en las que se valorará la FMI, el tiempo de aparición de la FMI, la fuerza isocinética a 240°/s y el ratio Q/H.

Se ha realizado un análisis descriptivo de cada una de las variables de estudio, en el que se realiza un contraste de hipótesis mediante prueba paramétrica T-student. El análisis estadístico se realiza a través del SPSS® versión 21.

### **Palabras clave.**

Ligamento cruzado anterior, rehabilitación, electroestimulación, jugadores de fútbol, fortalecimiento

## **Abstract.**

### **Background.**

One of the most common injuries in the knee joint is the rupture of the anterior cruciate ligament. This is very common in sports where jumps, accelerations, decelerations and turns occur, such as basketball and volleyball, but the most common in football. In addition, it usually happens more in women than in men, between the second and third decade of life. The most common symptomatology in the rupture of the anterior cruciate ligament is severe pain in the knee, inflammation, hemarthrosis and possible joint effusion, so a good physical examination will be essential for its diagnosis. Currently, there are different rehabilitation protocols and training methods for rapid recovery, as is the case of electrostimulation, with which we can return the initial activity to the quadriceps and prevent atrophy, and get a strengthening bonus in the final stages of rehabilitation.

### **Objective.**

To assess whether there is variation in kinetic and kinematic data in a phase of anterior cruciate ligament (ACL) knee strengthening in high-performance footballers aged 20-25 years by dynamic therapeutic exercise with and without electrostimulation, where both groups are given a usual treatment.

### **Methodology.**

A research project has been drafted in which an experimental, prospective longitudinal study has been designed for professional football players operated on from the anterior cruciate ligament with ages between 20-25 years. All the subjects received the interventions in a randomized manner, therapeutic exercise without electrostimulation and therapeutic exercise with electrostimulation. Two measurements are made with isokinetic dynamometer, one before and one after the intervention, in which the FMI, the time of appearance of the FMI, the isokinetic force at 240° / s and the Q / H ratio will be evaluated.

A descriptive analysis of each one of the study variables was carried out, in which a hypothesis test was performed by parametric T-student test. The statistical analysis is done through the SPSS® version 21.

### **Keys words.**

Anterior cruciate ligament, rehabilitation, neuromuscular electrical stimulation, soccer player, resistance training





## 1. Antecedentes y Estado actual del tema.

La rodilla considerada una articulación sinovial tipo gínglimo o bisagra intermedia del miembro inferior, soporta grandes presiones ya sea por fuerzas externas o internas.<sup>1,2</sup>

Tiene dos ejes de movimiento XX “*atravesando horizontalmente los cóndilos femorales*” correspondiendo con la flexo-extensión, el eje YY coincidiendo con la vertical entre la tuberosidad anterior de la tibia y el polo superior de la rótula correspondiendo a la rotación, solo apreciable con ésta en flexión y el hipotético eje ZZ que correspondería a los pequeños movimiento de lateralidad, solo cuando la rodilla se encuentra extendida, ya que si se encontrase una pequeña holgura en flexión, se podría considerar patológico.<sup>1,2,3</sup>

La rodilla está formada tanto por el complejo osteo-capsulo-ligamentoso como por el musculoesquelético:

### Estructuras óseas:

La rótula, hueso sesamoideo que se relaciona en su porción distal con el tendón rotuliano y en la proximal con el tendón cuadriceps. Las funciones principales de ésta son, entre muchas otras; reducir las fuerzas de fricción, punto de apoyo aumentando el momento de fuerza del cuádriceps y por lo tanto del aparato extensor, ayuda a la movilidad en los últimos grados de extensión...

- Cóndilos femorales distales y patillos tibiales proximales articulándose entre sí y divididos por la eminencia intercondilea (la cual es un importante factor lesivo en cuanto al sexo y la anchura de ésta generando mayor riesgo de lesión del LCAE (Ligamento cruzado antero-externo)),<sup>1,4,5</sup> que se relacionan con ambos tubérculos intercondileos y las regiones de inserción de ambos ligamentos cruzados y ambos meniscos.

### Estructuras tendo-ligamentosas extraarticulares:

- La capsula articular la cual sirve de nutrición y reducción de las superficies de contacto
- LLI (ligamento lateral interno) originándose en el cóndilo medial e insertándose en la superficie medial en profundidad a los tendones de la pata de ganso sirviendo como principal estructura ante fuerzas en valgo y el LLE (ligamento lateral externo) el cual se origina en el cóndilo lateral y se inserta en la cabeza del peroné impidiendo el genu varum excesivo.

- Unidades musculo tendinosas que cruzan la articulación como son: el gastrocnemio relacionado con la capsula posterior, el músculo poplíteo, la Pata de ganso cuya principal función es evitar el componente rotatorio y valgo y el músculo cuádriceps formando por sus diferentes fascículos: recto femoral, vasto medial, vasto intermedio y vasto lateral).

#### Estructuras tendo-ligamentosas intraarticulares.

- Como son el MI (menisco interno) con forma de “C”, cuyo cuerno posterior genera un arco reflejo menisomuscular ante la traslación anterior tibial,<sup>6</sup> y el ME (menisco externo) con forma de “O” cuyas funciones pueden ser la correcta distribución del líquido articular, nutrición, amortiguación de choques...
- Ambos ligamentos cruzados (LCAE) que se origina en el cóndilo externo del fémur hasta la superficie preespinal de la tibia en dirección oblicua, hacia arriba, atrás y afuera y el LCPI (ligamento cruzado postero-interno) cuyo origen está en el cóndilo interno hasta la región retroespinal dirección oblicua, hacia arriba, adelante y adentro. La función principal de ambos ligamentos es la estabilidad anteroposterior de la rodilla.<sup>2</sup>

Cabe destacar la función primordial del isquiotibial, sobre todo el bíceps femoral, que tiene menor tiempo de reacción en cuanto a la activación respecto al semimebranoso y semitendinoso cuando se produce un estiramiento del LCAE.<sup>6</sup>

Debido a las diferencias en cuanto a superficies articulares se refiere, existen movimientos de flexo-extensión en el plano sagital y cierto movimiento de rotación interna y externa en un plano frontal, solo cuando la rodilla se encuentra desde los 0-90° de flexión gracias a la relajación de todo el componente cápsulo-ligamentoso.<sup>1,2</sup>

Es importante que en una extensión de rodilla no se encuentre el componente rotatorio, ya que nos podríamos encontrar alguna lesión en el sistema estabilizador (ligamentos).

Según Zahínos, González y Salinero en 2010 establecen el concepto de lesión deportiva, afirmando que es aquella que sucede durante la práctica deportiva, produciendo un cierto deterioro de su práctica, afectando al estado físico y rendimiento, suponiendo en ocasiones el fin de su carrera en algunos deportistas.<sup>7</sup>

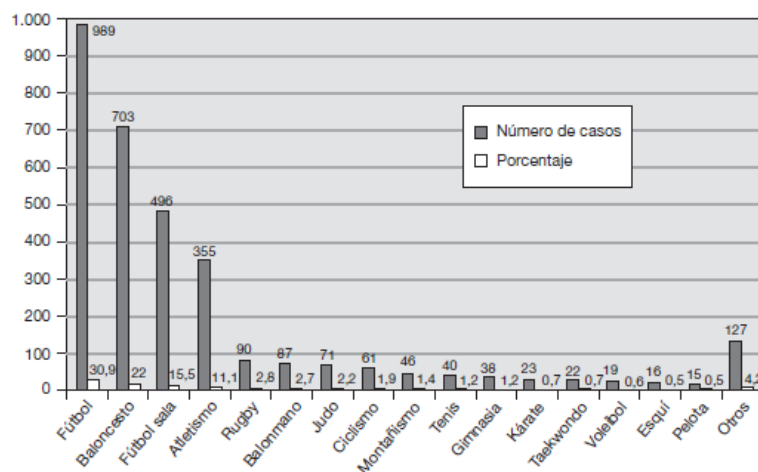
Una lesión en un ligamento dependerá del número de fibras de colágeno afectadas, por lo que, si éstas se ven afectadas tanto funcional como morfológicamente, no podrá realizar acciones como guía de movimiento articulares, ayuda asistida a la propiocepción o actuar como barreras estáticas.<sup>1,3</sup>

Un factor importante para una sólida recuperación de una lesión (desgarro, rotura...) de un ligamento es el proceso de cicatrización el cual se verá afectado en gran medida por su localización, la posible afectación de otras estructuras colindantes y su irrigación sanguínea ya que ésta es limitada.<sup>1,3</sup>

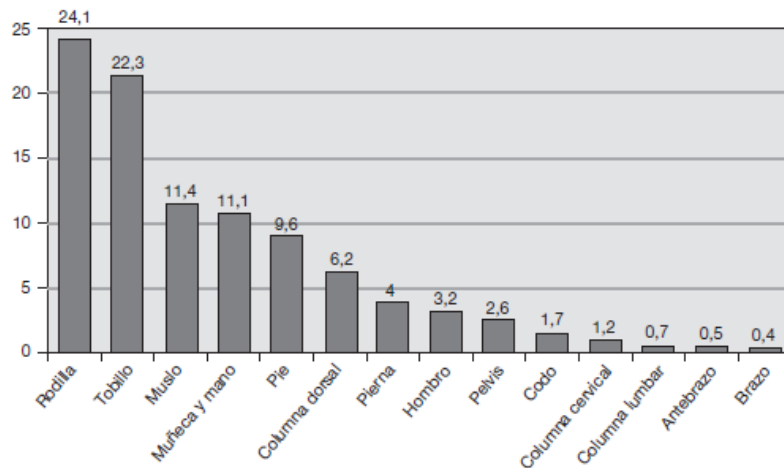
Aunque el tejido cicatricial puede soportar las cargas del antiguo ligamento nativo, solo el 45% de los puentes de colágeno consiguen valores normales al cabo de un año y tan solo el 20% consigue valores viscoelásticos normales.<sup>1,3</sup> Es necesaria una integridad correcta en la biomecánica ligamentosa (sobre todo en el ámbito deportivo) ya que producirá alteraciones en mayor o menor medida en la rodilla produciendo una lesión de ésta.

En estudios previos como el de Moreno Pascual, afirma que las articulaciones que se lesionaban con mayor frecuencia en las extremidades inferiores son; la rodilla 86% y tobillo 50%, siendo precisamente proclives en el futbol, atletismo, baloncesto y rugby.<sup>5</sup>

Éstas lesiones son más frecuentes por la segunda y tercera década de vida cuando la práctica deportiva se hace más evidente.<sup>5,8,9</sup> Cabe destacar que en estudio previos realizados en términos absolutos la mayor incidencia lesional era en hombres, pero haciendo referencia al sexo de los participantes y al número de lesiones, el mayor riesgo de lesión deportiva era en el sexo femenino.<sup>5</sup>



**Figura 1.** Distribución de lesiones en el deporte en una serie de casos de 3202. (Moreno 2008)



**Figura 2.** Distribución de lesiones en regiones anatómicas (Moreno 2008)

Esta diferencia entre sexos se hace más evidente cuando hablamos de la lesión del LCAE donde según Moreno Pascual, era más evidente en mujeres.<sup>5</sup>

Esto se debe principalmente a *factores biomecánicos* entre hombres y mujeres como son:

- Ratio Q/H, (ratio agonista/antagonista) acompañado de mayor porcentaje de activación de la musculatura del cuádriceps respecto a los isquiotibiales en los aterrizajes o frenadas produciendo desequilibrios neuromusculares.

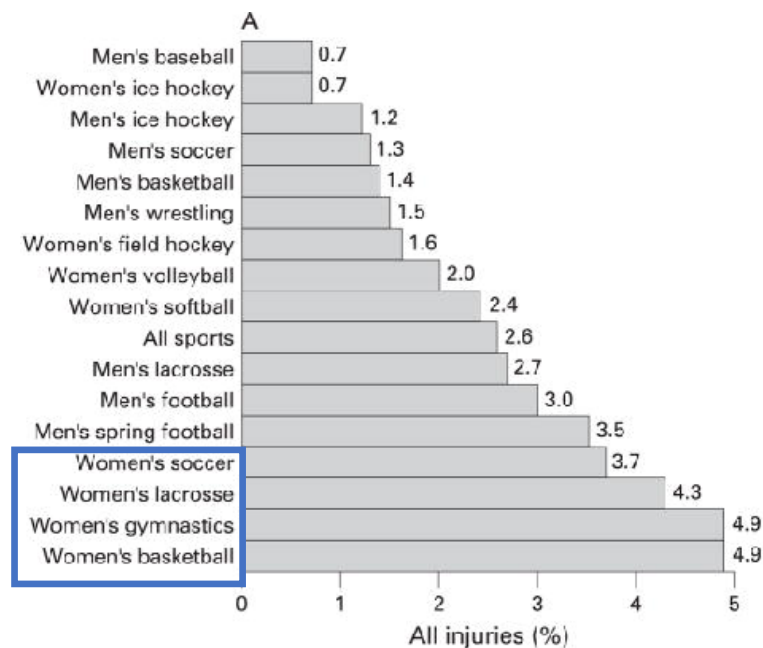
Según un trabajo de Hewett en 2010, establece que los principales factores biomecánicos entre hombres y mujeres vienen dados por estos desequilibrios neuromusculares que aumentan el riesgo de lesión del LCAE. Estos desequilibrios son el resultado de factores hormonales, desarrollo, alteraciones o deficiencias en el entrenamiento y crecimiento. Hewett hace referencia a que éste último motivo por el que ocurren estos desequilibrios se debe no se encuentran diferencias en el miembro inferior en cuanto a género a los 14 años, pero sí a los 16 años, siendo a esta edad, donde el sexo masculino comienza a presentar mayor fuerza respecto a la mujer el cual alcanza su mayor pico de fuerza a esta edad.<sup>10</sup>

Hewett, Afirma que son causantes de estos desequilibrios:

- La dominancia del tronco causada por un retraso o una mala activación de la musculatura lumbopélvica llevando a una menor estabilización de la rodilla.<sup>10</sup>
- Dominancia de activación de miembros inferiores, siendo ésta asimétrica. Esta asimetría conlleva a una menor activación y posterior control en la pierna no dominante produciendo una inclinación de tronco.<sup>10</sup>

- Dominación del cuádriceps produciendo mayor extensión de rodilla en la amortiguación de los aterrizajes causando una menor activación de la musculatura posterior del muslo para evitar el desplazamiento anterior de la tibia.<sup>10</sup>
- Dominancia ligamentosa absorbiendo éstos las fuerzas en lugar de la musculatura, aumentando la translación anterior de la tibia y el valgo de rodilla.<sup>10</sup>

Y *factores anatómicos* entre los que destacar: alteraciones en ángulo Q provocando generalmente un aumento del valgo de rodilla, estrechez de la escotadura intercondilea generando una mayor rigidez en el LCAE, menor longitud de LCAE y menor % fibras de colágeno, alineamiento segmentario y sobre todo el componente hormonal, ya que fluctuaciones de las hormonas estrógeno, progesterona y relaxina durante la fase preovulatoria, producirían mayor laxitud ligamentosa, mayor laxitud articular de la rodilla en la articulación tibiofemoral y por lo tanto mayor laxitud anterior y genu recurvatum de ésta.<sup>1,4,5,10,11,12,13</sup>



**Figura 3.** Incidencia de lesión de LCAE expresado como porcentaje total en todos deportes (Mandelbaum B, Silvers H, Watanabe D, Knarr J, Thomas S, Griffin L 2005)

A pesar de estas diferencias entre regiones anatómicas y sexos, en la literatura científica hay gran controversia a la hora de la epidemiología de las lesiones, ya que hay diferentes posiciones de autores en cuanto a etiología lesional que no ayudan a definir estudios de relevancia epidemiológica al ser la mayoría de éstos series de casos.<sup>5</sup>

Y es que Moreno Pascual afirma que hay dos grupos causantes de lesión deportiva:

- Lesiones agudas (las cuales se producen con mayor frecuencia en aquellos deportes que exigen altas cargas de contacto y carga de trabajo en poco tiempo, como pueden ser el baloncesto, rugby y fútbol).<sup>5</sup>
- Las sobrecargas subagudas y crónicas, pero resulta difícil saber cuál es la mayoritaria.<sup>5</sup>

En función de estos dos grupos causantes de lesión deportiva, se establece la mayoría de información referente al fútbol. La incidencia lesiva mas alta, la encontramos en lesiones de origen muscular 80%, (siendo los isquiotibiales el grupo muscular que más se lesiona), esguinces leves y moderados y lesiones ligamentosas 20%-40%.<sup>4,5</sup>

Esta incidencia lesiva se define como el total de lesiones ocurridas en la práctica deportiva ya sea en competición o entrenamiento, cada 1000 horas de exposición.<sup>14</sup>

Dentro de esta incidencia, se saben que los mecanismos más frecuentes de lesión ligamentosa de la rodilla son en el mundo del fútbol, normalmente sin contacto (70%-84%) y son; el giro, la hiperextensión y el salto, afectando en la mayoría de casos a estructuras como LLI y si la fuerza es suficiente romperá el LCAE pudiendo quedar atrapado el MI entre ambos cóndilos femoro-tibiales.<sup>1,3,4,7,8,9,11</sup>

Podemos considerar la lesión de LCAE una de las más graves en el mundo deportivo y más en el futbol, en el que los mecanismos lesionales más comunes son; la desaceleración brusca de la rodilla bloqueada en extensión con o sin cambio de dirección, la recepción de un salto, pivotar sobre la rodilla quedándose el pie clavado en el suelo tanto en extensión como en flexión o la traslación tibial anterior, produciéndose la mayoría de estos en competición (80%).<sup>1,4,7,8,9,11,13,15,16</sup>

Los factores desencadenantes de lesión de LCAE según Zahínos (2010), surgen de un desequilibrio de Q/H, o lo que es lo mismo de agonista/antagonista, seguido de una fatiga (sobre todo muscular), lesión previa (recidiva), irregularidad del terreno de juego (ya sea por factores climatológicos o por mal cuidado de éste) y una mala planificación/adaptación de la carga de trabajo. Debido en gran parte a los factores mencionados anteriormente, el tiempo de recuperación en la lesión de LCAE es acelerada debido a las exigencias del cuerpo técnico, horas de juego y carga del campeonato, dando lugar a recidivas como afirma Nielsen, convirtiéndose en uno de los principales riesgos de lesión en el fútbol.<sup>7,11,17,18</sup>

Numerosos estudios como el de McCall y col... en 2014, establecen el ratio Q/H como uno de los factores de riesgo más importantes ya que debido a la activación de los abductores de cadera junto con la musculatura isquiotibial, realizan un papel fundamental en la flexión de rodilla estabilizando la cadera reduciendo el torque del cuádriceps a la anteriorización de la tibia.<sup>10</sup>

Por lo tanto, será primordial conocer tanto la incidencia como los mecanismos lesionales en el LCAE para lograr protocolos de prevención que consigan reducir la incidencia de éste, como es el caso del protocolo *KLIP Program (Knee Ligament Injury Prevention)*, (FIFA 11+)<sup>10</sup> o PEP (protocolo de entrenamiento neuromuscular) de Mandelbaum et al (2005), que tuvo un alto porcentaje de reducción de lesión de LCAE, en el que se combinan ejercicios de flexibilidad o elasticidad muscular, pliometría (mejorando la biomecánica del aterrizaje), fuerza, equilibrio (mejorando la asimetría y resistencia de miembros inferiores) y agilidad.<sup>11,19</sup>

Zahínos en 2010 recogió que las técnicas para los protocolos de prevención de LCAE eran el 50% la propiocepción y el 23% el trabajo neuromuscular, siendo un dato de importancia que el 47% de esta planificación debería formar parte del equipo médico (entre ellos el fisioterapeuta) y no del preparador físico.<sup>7</sup>

Por lo que es el control neuromuscular una pieza clave para una pronta rehabilitación de LCAE, ya que al lesionarse, se produce una alteración aferente intraligamentosa, pudiendo generarse un arco reflejo entre la capsula articular y los isquiotibiales según Solomonov en 1987 durante el primer año de lesión, como consecuencia de ésta alteración sensitiva aferente.<sup>6</sup>

Dentro de la lesión del LCAE la literatura cita que aún hay desacuerdo a la hora de las lesiones aisladas, pero existen mecanismos de lesión de LCAE que supongan un mínimo daño a las estructuras colindantes como son la hiperextensión, la rotación interna de la tibia sobre el fémur y una desaceleración.<sup>1</sup>

El LCAE es un ligamento intraarticular y se inserta distal, en el área preespinal de la cara superior de la extremidad proximal de la tibia hacia la región proximal en la porción posterior de la superficie interna del cóndilo femoral externo.<sup>20</sup> y en dirección oblicua, hacia arriba, atrás y afuera<sup>2</sup>, formado en su inmensa mayoría por fibras de colágeno las cuales se localizan en mayor proporción en su zona central que en su región distal.<sup>20</sup>



Este ligamento, puede ser considerado un órgano propioceptivo ya que su relación con los isquiotibiales, le permitan formar un arco reflejo con ellos. Rico en mecanorreceptores los cuales se encuentran en mayor proporción en las inserciones óseas, donde se generan mayores tensiones.<sup>6</sup>

Entre otras funciones como es la de información sobre la posición articular de las superficies, la magnitud y dirección de las cargas, limitación de la hiperextensión, estabilizador valgo-varo, su principal cometido es impedir el desplazamiento anterior de la tibia respecto del fémur. En cuanto a su función mecánica, el LCAE se tensa en extensión e impide la hiperextensión, se tensa en rotación interna y se distiende en rotación externa. Durante la flexión conduce el cóndilo hacia delante por lo que es responsable del deslizamiento del cóndilo hacia delante y su posterior rodadura hacia detrás al igual que el LCPI realizará un papel cruzado durante la extensión.<sup>1,2,7,21</sup>

Algunos autores como los hermanos Weber en 1895 afirmaban que el LCAE estaba formado por dos fascículos principales tomando como referencia su inserción tibial, el AM (antero-medial), el cual se tensa en flexión o el PL (postero-lateral), el cual se tensa en extensión. Otros autores toman como referencia la inserción femoral afirmando que tiene 3 fascículos principales, como son el antero-interno, el postero-externo, el cual resiste en las roturas parciales y el intermedio, actuando en el rango de la flexo-extensión.<sup>2,16,20</sup>

En cuanto a la historia natural del LCAE, cuando se produce un traumatismo agudo como en el caso del fútbol y se produce una lesión del LCAE en mayor o menor medida, se genera una insuficiencia de LCAE, con lo que conlleva como lesiones osteocondrales del 21%-31% tras la lesión inicial o edema óseo en el 90% de las resonancias magnéticas realizadas inicialmente. Normalmente en las lesiones del LCAE se ven asociadas roturas meniscales entorno al 50%-70% y si no es así, se generarán a partir del primer año 40%, generalmente del MI, aumentando hasta el 60% a los 5 años y 80% a los 10. A pesar de estos datos de clara degeneración articular de la rodilla, Noyes encontró que el 82% de los pacientes no intervenidos volvieron a practicar deporte tras la rotura, pero en el primer año el 51% de ellos tenían un fallo articular serio y tan sólo el 35% realizaron deporte a los 5 años.<sup>1,21</sup>

Estos datos nos dicen que aquellos pacientes que tengan un nivel de actividad deportiva estándar para realizar una vida diaria normal, podrán optar por el tratamiento sin intervención quirúrgica sabiendo que en un futuro probablemente tengan un alto índice de prevalencia de generar una osteoartritis.<sup>8,11,16,22,23,24</sup> Esto no es igual en el ámbito del deporte, y concretamente en el mundo del fútbol, ya que las exigencias del juego, las altas

cargas de entrenamiento y competición, la necesidad de mantener sus capacidades físicas óptimas para realizar un buen juego y la presión por parte del cuerpo técnico, se verán obligados a pasar por quirófano.<sup>1,23</sup>

La necesidad de intervención se verá influenciada principalmente por el grado de inestabilidad, la edad del deportista, su nivel de actividad física, su nivel de sollicitación de la rodilla o recidivas. Para la realización de la intervención será importante cumplir una serie de requisitos u objetivos mínimos para minimizar las complicaciones intra y post-quirúrgicas como son; disminución del dolor, inflamación y posible derrame y por lo tanto hemartros (gran factor indicativo de rotura de LCAE<sup>1</sup>), conseguir tantos grados en la extensión de rodilla como sea posible, activación muscular o al menos mantenimiento de la musculatura del cuádriceps, ya que déficits en este puede generar una pérdida significativa de fuerza a los 2 años post-intervención,<sup>9</sup> y mantener un patrón de marcha óptimo que pueda alternar con muletas.<sup>9,23,25,26,27</sup>

Por lo tanto, podríamos establecer un protocolo pre-operatorio en la medida de lo posible que pudiera combinar; ROM, ejercicios de mantenimiento de la musculatura de cuádriceps e isquiotibiales y una reeducación específica de la marcha con muletas.

Los resultados del quirófano dependerán en gran medida del tiempo al que se ha acudido a éste tras la lesión ya que algunos autores recomendaban una intervención primaria teniendo buenos resultados a corto plazo, encontrándose que el 50% de éstas fallaban a los 5 años, por lo que se consideraba la intervención a partir de la semana 6-8, del tipo de injerto y su tensión, de la disposición de los túneles, del material para la fijación de éstos y de la afectación del tejido circundante.<sup>1,8,17,22</sup>

Hay dos métodos de reconstrucción autóloga (injerto del propio paciente), y es intraarticular la cual actúa sobre la tibia y la extraarticular a distancia de la inserción del LCAE en la cual normalmente un injerto de la cintilla iliotibial es colocada desde el epífisis femoral hasta el tubérculo de Gerdy, evitando así la falta de vascularización de las intraarticulares.<sup>1,21</sup>

En cuanto a la selección del injerto, el más utilizado es el autoinjerto. Tiene tanto ventajas, como son la poca probabilidad de infección, como desventajas, como es la Necesidad de revascularización y colagenización llegando a producirse hasta una pérdida del 50% de la resistencia del injerto en la fase inicial de estos procesos.<sup>1</sup>

Dentro de la elección del autoinjerto, los que más se suelen realizar son bandas del tendón del musculo semimebranso, grácil, pudiendo ser una sola tira, doble o triple, porción central del tendón rotuliano (HTH) y no tanto la porción del tendón cuadricipital con rótula o tejido blando, pero éste último solo se realiza para lesión ligamentosa múltiple.<sup>1,2,10</sup>

El tendón rotuliano o (HTH) es más idóneos para aquellas personas que mantienen un nivel de actividad física alto, como es el caso de los deportistas, y por lo tanto del fútbol, además también se utiliza para aquellas laxitudes crónicas que comprometen los elementos estabilizadores ya que éste injerto es más rígido. Además, cuenta con la ventaja de que no generará una laxitud anterior en los 2 años posteriores a la intervención ni una disfunción de la musculatura flexora como es en el caso del injerto del tendón del semimembranso-grácil, ya que estos solo tienen el 50% de resistencia del LCAE. Además de una rápida curación debido a su buena calidad de fijación (normalmente con tornillos) y de una rehabilitación más agresiva lo que produce buenos resultados a largo plazo.<sup>1,18,8,26,19,24</sup>

Pero no todo iban a ser ventajas, ya que algunos autores afirman que tiene más desventajas que ventajas debido a mayores hipoestésias, dolor anterior en la región de la rodilla, posible limitación en la extensión completa post-operatorio, tendinitis y fracturas patelares.<sup>1,3,17,21,22,25</sup>

Por lo que, como conclusión, podemos decir que elegiremos un injerto autólogo del tendón rotuliano cuando nuestras actividades físicas sean elevadas, como es el caso de los deportistas y queramos obtener unos resultados seguros a largo plazo.

En cambio, el injerto autólogo del tendón del musculo semimembranso-grácil en los últimos años ha aumentado su morbilidad respecto al HTH. Minimiza la laxitud anterior de rodilla reduciendo el periodo de fijación y junto con el tendón doble o triple consigue ser más rígido que el HTH. En cuanto a sus desventajas, en algunas ocasiones genera un descenso de la fuerza por parte de los flexores de rodilla y tiene dificultades a la hora del proceso de cicatrización dentro de los túneles óseos.<sup>1,22</sup>

Majima et al, en 2002 afirma que tanto un autoinjerto HTH a los 6 meses y un autoinjerto de isquiotibiales a los 3 meses tienen características parecidas al LCAE nativo.<sup>6</sup>

Por tanto podríamos afirmar que, tiene menos desventajas que el injerto HTH, con una banda doble o triple generaríamos mayor rigidez que el HTH y menor laxitud anterior de rodilla a largo plazo y por lo tanto conseguir menor mortalidad del injerto.<sup>1</sup>

Una vez escogido el tipo de injerto, la tensión de éste es necesaria, pero un exceso de tensión podría generar un bloqueo articular en extensión. Sería de gran ayuda la estandarización de un protocolo de tensado, pero no es posible debido a que se desconocen las propiedades viscoelásticas in-situ del injerto, por lo que el tensado dependerá principalmente de su longitud y rigidez.<sup>1</sup>

La colocación del injerto, es uno de los factores más determinantes a la hora de la supervivencia de éste y hace referencia a la realización de los túneles. Y es que la realización del túnel femoral es primordial ya que se encuentra próximo al centro del eje de la movilidad de la rodilla. Y es que, un túnel femoral anterior produce un aumento intraarticular de los túneles durante la flexión de rodilla, bloqueándola y generando una pérdida de flexión y un posible fracaso del injerto. Mientras que un túnel femoral más posterior produce un tensado en extensión pero que se encuentre laxo en flexión, favoreciendo la insuficiencia del LCAE o inestabilidad al producirse cerca del eje del movimiento de extensión completa.<sup>1,17,21</sup>

En función de la colocación de los túneles, en mayor o menor medida dependerá su fijación y es que, según Amiel los ligamentos experimentan un proceso denominado "ligamentización", que consiste en la adaptación funcional que realiza un injerto para convertirse en el ligamento al que sustituía después de 30 semanas.<sup>21</sup>

Y para concluir en cuanto a la intervención quirúrgica, las complicaciones que se generas tras ésta, entre muchos otros, son que no se hayan alcanzado los requisitos mínimos pre-operatorios como ausencia de edema y arco de extensión completo, las intra-operatorias como una longitud del injerto inadecuada, incorrecta colocación de ambos túneles o fractura de la rótula.<sup>1</sup>

Cabe destacar aquellos que han sido intervenidos necesitarán una segunda cirugía a los 5 años (30%) y entre el 11 y 50% de los intervenidos desarrollarán osteoartritis y dolor en la región anterior de la rodilla a largo plazo.<sup>21,23</sup>

Una vez hemos conocido datos sobre anatomía, incidencia/mecanismos lesionales, métodos de intervención, factores desencadenantes, tipos de injerto y sus resultados, debemos ponerlos en práctica, es decir, la realización de la rehabilitación o recuperación funcional.

Toda rehabilitación/recuperación funcional tanto del LCAE como de cualquier otra lesión, comienza con un necesario reconocimiento, exploración y como consiguiente, anamnesis

del paciente, en este caso del jugador lesionado del LCAE.

Los datos mas importantes de su historia clínica deberán ser tanto el mecanismo de lesión, como información de lesiones previas (en este caso de rodilla, o alrededores que influyan en ésta), posición de la rodilla en el momento de lesión y fuerza aplicada directa o indirecta, si es así, determinar el estado de apoyo en carga.<sup>1</sup>

Uno de los signos mas claros que nos puede facilitar la anamnesis, es la aparición de hemartros, indicativo de rotura de LCAE. El derrame de éste deberá evacuarse ya que puede producir el bloqueo del menisco interno siendo una de las causas más frecuentes de incompleta extensión después de la lesión.<sup>1</sup>

Una de las herramientas y de obligada utilización, es la realización de test ortopédicos, los cuales los podremos hacer tanto in-situ, en el momento de lesión del partido (el más recomendado el test de Lachman) o post-lesión.<sup>1</sup>

Los test ortopédicos para valorar la lesión o déficit de LCAE son:

Prueba del cajón anterior. Jugador en supinación con flexo de cadera y rodilla a 45° y 90° respectivamente, fisioterapeuta sentado encima del dorso del pie del jugador, pondrá sus manos de manera que los dedos pulgares queden a la altura de la línea articular de la rodilla y el resto de los dedos queden en la región posterior de la pierna palpando la relajación de la musculatura. Realizará un movimiento de delante hacia atrás (siendo el más importante en desplazamiento posterior) para notar los movimientos de la tibia sobre el fémur. Se realizará la prueba con rotación neutra, con rotación externa de 30° y con rotación interna de 30° (cuidado con esta rotación ya que se podría tensar el LCPI anulando lo que sería una prueba de cajón anterior +). Deberá aparecer un desplazamiento de al menos 6-8mm respecto a la otra pierna siendo indicativo de rotura de LCAE.<sup>1</sup>

El explorador deberá estar seguro en su análisis, ya que puede haber laxitud del LCPI generando así una caída de la tibia, por lo que, en este tipo de rodillas, simplemente la vuelta a la posición inicial o neutra ya dará claro signo de inestabilidad. Cajón anterior no es acompañado de un desplazamiento del pivote, existirá una insuficiencia del LCPI.<sup>1</sup>

La utilización de este test será mejor realizarlo post-lesión, (junto con el cajón posterior) ya que será imposible realizarlo por el tope del cuerno posterior.<sup>1</sup>

Prueba de cajón posterior. La posición será la misma que para el cajón anterior. Hay que tener cuidado ya que cuando se realiza una prueba de cajón anterior y su resultado es positivo puede ser que lo que esté roto sea el LCPI. Esto se podrá resolver mediante una palpación de la tibia/fémur de ambas rodillas a la vez. Hay que colocar ambas rodillas en posición de realización del cajón posterior y colocar y situar un pulgar en la línea articular antero-medial. La ausencia del escalón anterior del platillo tibial medial con el cóndilo femoral medial indicada una rotura del LCPI por rotación de los cóndilos tibiales.<sup>1</sup>

Se podrá valorar la inestabilidad o insuficiencia del LCPI en la misma posición llevando la cadera a flexo de 90° con flexo de rodilla a 90° y con el efecto de la gravedad observar desde una vista lateral la caída de la tibia.<sup>1</sup>

Lachman. Se situará al jugador en supino, colocando la extremidad afectada en ligera rotación externa con la rodilla entre una flexión de 15° y una extensión completa; se estabilizará fémur con una mano mientras la otra sujeta la región mas proximal de la tibia situando el pulgar a la altura de la línea articular. Un desplazamiento de la tibia respecto al fémur será indicativo de Lachman +. Con una rotura del LCAE se anula la ligera concavidad existente entre el polo inferior de la rodilla a la altura del tendón rotuliano. La utilización de este test será la mejor opción en un partido ya que puede realizar con tumefacción y dolor en la rodilla, ya que su sensibilidad es de un 95%.<sup>1</sup>

Una vez diagnosticado la rotura del LCAE y su posterior intervención quirúrgica (en caso de que se necesitare, y el paciente decidiese), será primordial que se comience de inmediato la rehabilitación, ya que una recuperación funcional acelerada permitirá al deportista alcanzar su nivel de actividad para que pueda volver a sus exigencias deportivas.

En toda rehabilitación, en este caso del LCAE, se deberá seguir una progresión con uno objetivos en cada fase bien marcados, basándose en la evidencia científica de actualidad para una recuperación rápida y segura. Shelbourne KD et al, en 1990 fue el primero en revolucionar los protocolos de rehabilitación que pretendía que el deportista pudiese incorporarse a la práctica deportiva a las 8 semanas debido a una rehabilitación acelerada.<sup>6</sup>

Autores como Beynnon BD, Majima o o Roi GS entre otros, afirman el inicio acelerado de la práctica deportiva competitiva en deportistas con reconstrucción del LCAE, en el que factores como la motivación, el cumplimiento de los objetivos preoperatorios sumado a un buen estado físico, una buena colocación, fijación y curación de los túneles e injerto, resistencia del trasplante y una rotura aislada de éste ligamento conseguirían resultados

significativos en la reducción del tiempo de lesión.<sup>6,23</sup>

A parte de los factores anteriormente nombrados, los objetivos más importantes para llevar a cabo una rehabilitación óptima serán entre otros; recuperación tanto de la extensión como de la flexión, trabajo neuromuscular y mejora de su coordinación, comienzo de un trabajo de carga excéntrica para restablecer la fuerza y reestablecer el déficit neurosensorial establecido por el injerto según Osborne et al en 2001.<sup>1,3,6,9,23,28,29</sup>

Hoy en día no hay ningún protocolo estandarizado acerca de la rehabilitación de LCAE, pero si concuerdan en que el proceso de recuperación oscila entre 4-6 meses.<sup>1,3,6,9,23,28,29</sup>

En la fase/estadio I (0-2 semanas) uno de los objetivos más importantes será:

- La extensión completa de la rodilla.<sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Flexión de rodilla a 90°.<sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Conseguir un patrón de marcha normal.<sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Eliminar dolor, inflamación, derrame o hemartros.<sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Evitar atrofia muscular del cuádriceps.<sup>1,6,9,23,28,29</sup>

El uso de un vendaje compresivo podría reducir la el edema y el hemartros pero según Brandsson et al, en 2001 afirma que no hay cambios significativos en reabsorción del edema a largo plazo con el uso de vendajes compresivos o rodillas u órtesis de fijación.<sup>6</sup>

Hay una técnica con la que se han encontrado resultados significativos y es con la electrocrioterapia compresiva simultáneo con co-contracción de la musculatura periarticular de la rodilla. Consiste en la aplicación de corrientes pulsantes de alto voltaje en la que los electrodos estarán mojados con agua congelada, a la vez que se realizar co-contracciones de la musculatura del cuádriceps, produciendo así un bombeo del músculo y a la vez que se reduce el edema, se minimiza la atrofia muscular.<sup>6</sup>

Uno de los motivos de recuperar la extensión completa lo más precozmente posible, se debe a las ventajas que ello conlleva sin poner en riesgo la tensión del injerto. La recuperación total del arco de movimiento generará una buena nutrición del cartílago articular, ayudará a prevenir posibles retracciones de la cápsula articular, y favorecerá la cicatrización de los tuneles.<sup>6,9,23,28,29</sup>

La importancia de mantener el tono del cuádriceps y evitar su atrofia en las primeras semanas serán primordial. Según Lindohoe en 1984, se puede llegar a perder hasta un 17% de fibras musculares en las siguientes 72 horas a la post-inmovilización quirúrgica.<sup>6</sup>

Según Józsa L et al en 1990, se podría llegar a generar adherencias en el tejido conectivo en una atrofia muscular mantenida del cuádriceps. Este déficit o falta de trabajo en el cuádriceps llevará a problemas en la extensión completa, inestabilidad y dolor femoro-patelar por lo que deberá realizarse trabajo de rótula para corregir la marcha antiálgica.<sup>6,23</sup>

Por lo que, en fases iniciales, se podrá comenzar a realizar ejercicios en CCC con apoyo parcial en carga, ya que una de sus ventajas es la realización de acciones concéntricas, isométricas y excéntrica, siendo éstas importantes en estadios iniciales ya que según Yoon et al en 2000, existe una relación entre el déficit de fuerza excéntrica de los extensores de rodilla y la inestabilidad y mayor funcionalidad de estos respecto a los ejercicios en CCA (cadena cinética abierta). La realización de los ejercicios en CCC permitirán frenar el avance de la atrofia del cuádriceps y su recuperación, como la de la musculatura isquiosural, la cual a los 2 meses, presenta un 80% de fibras tipo I recuperadas.<sup>6</sup>

La realización de los ejercicios de CCC frente a los de CCA se debe a que en la mayoría de los estudios, independientemente de que el injerto sea HTH o de isquiotibiales, los ejercicios de CCA generaban mayor laxitud anterior y mayor tensión en el injerto. Henning en 1985 realizó un estudio in vivo indicando que tipo de ejercicios generaban mayor tensión en el injerto del LCAE, afirmando que un simple isométrico 0-20° (121% de elongación del injerto) generaba un 100% más de elongación que un ejercicio en CCC unipodal (21% de elongación del injerto).<sup>6,28,29,30,31,32,33</sup>

Actividades de la vida diaria	% Elongación del injerto
<b>Bicicleta</b>	7
<b>Marcha con bastón/muleta</b>	14
<b>CCC unipodal</b>	21
<b>Marcha</b>	36
<b>Carrera lenta</b>	61
<b>Carrera rápida</b>	89
<b>Test de Lachman</b>	100
<b>Carrera en descenso</b>	125
<b>Isométrico 0-20°</b>	121

**Tabla 1.** Tabla modificada de Amis;1989, Henning;1985, Lewis 1989, Bylski-Austrow 1990. Reconstrucción del LCAE. Fisioterapia acelerada en sobrecarga excéntrica. (Ibáñez Sánchez JM, 2008)



En la fase/estadio II (2-9 semanas) los objetivos más importantes serán:

- Amplitud de movimiento de 0-120°. <sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Apoyo en carga total sin muletas ni cojera. <sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Trabajo neuromuscular. Sistema vestibular y somatosensorial. <sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Trabajo excéntrico progresivo. <sup>1,6,9,23,28,29</sup>
- Inicio de carrera progresiva. <sup>1,6,9,23,28,29</sup>

Según Cascio et al en 2004, a partir de la 6<sup>a</sup>-8<sup>o</sup> semana los túneles ya se han fijado, generando menos tensión en el injerto por lo que a partir de la 4-5 semana se podrá comenzar a realizar ejercicios en CCA. <sup>1,6,9,23,28,29,30,31,32,33</sup>

En esta fase, el entrenamiento mediante cargas excéntricas, entre otras, será fundamental, ya que Gerber JP et al en 2007, realizó un estudio en el que comparó a un grupo de rehabilitación de LCAE mediante trabajo con cargas excéntricas próximas a la post-intervención, frente a otro grupo que realizó una rehabilitación convencional. Obtuvo cambios significativos en el volumen y sección transversal del cuádriceps, produciendo mejores resultados de fuerza a corto plazo frente al grupo que realizó una rehabilitación convencional. El trabajo neuromuscular será también uno de los objetivos más importantes a cumplir ya que la lesión de LCAE supone un déficit en los receptores propioceptivos de la plastia.<sup>6</sup>

En la fase/estadio III (9-16 semanas) los objetivos más importantes consistirán en continuar con la carga progresiva del trabajo excéntrico, ejercicio de alto impacto como la pliometría en la que intervienen fuerzas reactivas y explosivas, progresión en carrera con posibilidad de tocar césped cambiando así la superficie de impacto y continuar con el trabajo del control neuromuscular. <sup>23,28,34</sup>

Por último, en la fase/estadio IV (16-25 semanas) en la que se comenzará a preparar al deportista a la vuelta deportiva combinado con la realización de ejercicios específicos de su actividad, trabajo de resistencia, fuerza muscular y agilidad. <sup>9,23</sup>

Uno de los requisitos necesarios para la incorporación a la práctica deportiva será entre otros; alcanzar una fuerza en el cuádriceps de al menos un 80% respecto de la pierna contralateral y cumplir una serie de criterios de pruebas para volver a la realización del deporte como pueden ser Internacional Knee Documentation Commite Store: IKDCS, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score: KOOS en la que los pacientes deberán obtener al menos un 90% para la incorporación al deporte.<sup>6</sup>

El primer año de la vuelta al deporte es en el que los atletas corren mayores riesgos de recaídas o nuevas lesiones, destacando que un 25% se lesiona la extremidad contralateral a la operada y un 15% la extremidad intervenida. Durante el primer año solo el 67% de los pacientes consiguieron realizar la práctica deportiva anterior a la intervención.<sup>19,28,29,36</sup>

Para evitar estas recaídas y reforzar esos déficits sensoriales y neuromusculares tanto de control, como de fuerza, una de las herramientas más eficaces y a la vez controvertidas para maximizar los resultados que se consiguen en el entrenamiento es la electroestimulación.

La electroestimulación según Lago (1992) y Lake (1992), ésta consiste en la contracción involuntaria inducida por la aplicación de una corriente eléctrica en el nervio periférico en el músculo (placa motora).<sup>34,36</sup>

Su uso lleva extendiéndose desde 1970, donde Kots empleó la electroestimulación como complemento al entrenamiento de fuerza clásico o convencional. En los Juegos Olímpicos de Montreal (1967) donde el estandarte ruso consiguió mejoras del 40% en fuerza. Es en el año 1972 donde Kots consigue con el uso de electroestimulación que el atleta olímpico Borzov se proclamase campeón en las olimpiadas en la prueba de 100 metros en atletismo.<sup>36,37,38,39,40,41,42</sup>

El uso principal de la electroestimulación por parte de Kots, se dirigió a aquellos sujetos sanos o atletas que buscaban una mejora de su fuerza muscular con el fin de mejorar su rendimiento deportivo, a pesar de que en sus inicios Osborne en 1951, entre otros, establecería su uso para aquellos pacientes lesionados que no fueran capaces de realizar una contracción voluntaria.<sup>34,36,37,38,39,40,41,42,43</sup>

Hoy en día se sabe con exactitud el uso de la aplicación de la electroestimulación, los cuales, entre otros, pueden ser: la facilitación de la contracción voluntaria para aquellos pacientes con déficits musculares, fortalecimiento muscular en fases de rehabilitación (más en fases tempranas que en tardías), prevención de la atrofia después de un periodo de inmovilización o cirugía, recuperación de la funcionalidad después de lesión ortopédicas, reducción de edemas, mantenimiento de ROM...<sup>40,44</sup>

Desde la década de los 70, han sido numerosos los estudios acerca de la electroestimulación y sus resultados. Se han obtenido estudios con mejoras en la FMI como es el caso de Coarasa y cols en 2000, hipertrofia muscular como el de Pierre y cols en 1986,

mejoras de la fuerza en la superposición de la electroestimulación junto con el ejercicio voluntario como el de Poumarat y cols en 1992 y la mejora de la fuerza máxima en contracciones dinámicas como es el caso de Westing y cols en 1990.<sup>37</sup>

Una de las principales ventajas del uso de la electroestimulación son los resultados fisiológicos conseguidos con su aplicación y son:

- Consigue aumentar las demandas metabólicas debido a que la contracción con la electroestimulación no es asincrónica como es en el caso del ejercicio voluntario, sino que es sincrónica, esto significa que se contraen todas a la vez, tanto fibras lentas como fibras rápidas IIA, IIB y M.<sup>41,42</sup>
- Se consigue un cambio en la orden de reclutamiento respecto al ejercicio voluntario ya que, en éste, se reclutan primero las fibras lentas y después las rápidas IIA y IIB y con la aplicación de la electroestimulación se comienzan reclutando primero las fibras rápidas y luego las lentas.<sup>41,42</sup>
- Se produce un aumento del lactato generando un aumento de la hormona de crecimiento GH hasta un 6% en las 2 horas posteriores a la aplicación de la electroestimulación ya que se continúa el gasto calórico.<sup>41,42</sup>
- Mc Neil en 2003, afirma que se produce un aumento de la hemoglobina en los descansos entre series con la aplicación de la electroestimulación favoreciendo la expulsión de las sustancias de desecho generadas.<sup>41,42</sup>

Sin embargo, toda aplicación de una corriente tiene sus desventajas por lo que:

- Al generarse un cambio en el reclutamiento de las fibras, se genera más cansancio o fatiga, suponiendo un cambio en la entrada de las rutas metabólicas.<sup>41,42</sup>
- Paillard en 2005 dice que se produce un aumento de ATP (adenosina tri-fosfato) y PC (fosfocreatina) creando mayores sustancias de desecho dentro de la célula.<sup>41,42,43</sup>
- Posibles desequilibrios musculares por su única utilización y mala programación de parámetros, aunque se puede contraer la musculatura antagonista como mecanismos de defensa ante la ausencia del reflejo miotático bloqueado por una corriente contracción inducida.<sup>36,41,45</sup>
- Inhibición del reflejo miotático y los OTG (órganos tendinosos de Golgi) debido a que la contracción con la electroestimulación es máxima y aunque los OTG estén activados el reflejo miotático puede no actuar debido a esa contracción inducida llegando a producir, roturas musculares.<sup>36,41,45,47</sup>

Cuando entrenamos ya sea con electroestimulación o ejercicio voluntario se produce un desequilibrio en nuestro organismo al que el cuerpo se debe de adaptar, produciendo un incremento de la cualidad/capacidad física que hayamos entrenado consiguiendo la supercompensación. Ésta se genera con mayor facilidad con la electroestimulación, ya que su aplicación favorece una mayor producción de fuerza muscular por el cambio en el orden de reclutamiento anteriormente nombrado en la que las fibras rápidas, tanto las fibras IIa y IIb, incluyendo las M se contraen primero y las lentas después a diferencia del ejercicio voluntario en el que el reclutamiento será al revés.<sup>41,42</sup>

Principalmente el origen de la contracción con la electroestimulación será externa frente a interna con el ejercicio voluntario. La activación del músculo con electroestimulación será dirigida frente a sinérgica en caso del ejercicio voluntario. La activación del musculo antagonista con la electroestimulación es no coordinada frente a coordinada con el ejercicio voluntario. La intensidad de la contracción será submáxima con la electroestimulación frente a máxima con la contracción voluntaria y la activación de la unidad motora con la electroestimulación será no selectiva frente a ordenada por parte de la contracción voluntaria.<sup>41,42,48</sup> Por lo que sabiendo esto el proceso de fortalecimiento muscular no puede ser igual con la aplicación de la electroestimulación y con la realización del ejercicio voluntario.

Son muchos estudios los que afirman que estos procesos de fortalecimiento muscular mediante la aplicación de electroestimulación y la realización del ejercicio voluntario vienen dados entre otros, por adaptaciones neuronales.<sup>48,49</sup> Por lo que las mejoras de fuerza en una MVC (contracción máxima voluntaria) y la aplicación de electroestimulación son dadas por adaptaciones del sistema nervioso central.<sup>50</sup>

Sin embargo se consiguen mayores adaptaciones neuronales en la electroestimulación debido a que se produce una mayor tolerancia al dolor por la administración de una corriente mayor en cada sesión de entrenamiento aumentando el reclutamiento, estimulando así la plasticidad cortical, siendo una de las adaptaciones más plausibles el aumento de fuerza de MVC en el musculo de la extremidad contralateral.<sup>48,49</sup> Por lo que estas ganancias de fuerza se deben también a una aumento de la efectividad de la sincronización de las unidades motoras y no solo de los cambios intracelulares.<sup>50</sup>

Estos aumentos en la fuerza muscular no se deben solo a adaptaciones neuronales, sino también vienen acompañadas de adaptaciones estructurales afirmando que protocolos de entrenamiento superiores a 4 semanas conseguían un aumento en la masa muscular. La realización de ejercicio voluntario lleva a que la musculatura esquelética se contraiga de manera asincrónica minimizando la demanda metabólica, sin embargo el mismo protocolo de entrenamiento con electroestimulación, el cambio de reclutamiento eleva el consumo metabólico, generando mayor estrés metabólico a medio plazo, produciendo hipertrofia manteniendo los niveles de fuerza.<sup>50</sup>

Sabiendo que la fuerza es conseguida mediante adaptaciones neuronales y estructurales, es necesario establecer cuál de los dos protocolos de entrenamiento consigue mayores ganancias de fuerza, ya sea de FMI, fuerza máxima o isocinética, velocidad, potencia...

Hay gran diversidad acerca de si un protocolo de entrenamiento con electroestimulación puede ser considerado como un método más de entrenamiento como el ejercicio voluntario, ya que hay estudios que afirman que con la electroestimulación hay resultados significativos y otros tantos que no. Esta disparidad de opiniones entre profesionales se debe al gran número de protocolos de entrenamiento y a los diferentes corrientes, anchos de impulso, muestras, posología de sesiones y el resto de parámetros utilizados en cada estudio.<sup>24,34,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,47,48,49,50,51,52,53</sup>

La mayoría de autores afirman que tanto en el entrenamiento de fuerza voluntario como en el de electroestimulación se rigen por los principios de sobrecarga, principio de progresión en las cargas, principio de continuidad, individualización de las cargas, principio de frecuencia, especificidad de las cargas y principio de variedad.<sup>37,42</sup>

Maffiuletti y cols en 2000 obtuvo resultados significativos en la fuerza máxima dinámica tanto concéntrica como excéntrica en un grupo de jugadores de baloncesto en los que se combinó su protocolo de entrenamiento con una rutina habitual de electroestimulación de los extensores de rodilla en salto vertical SJ (squat jump) y CMJ (salto contra movimiento).<sup>48</sup> Sin embargo en 2002, Sánchez y Pablos no obtuvieron resultados significativos sobre la fuerza explosiva con el entrenamiento de la electroestimulación afirmando que por sí sola no mejoraría aquellas acciones que conlleven coordinación intermuscular como son los saltos verticales, coincidiendo con Herrero que afirma que no se consiguen ganancias de fuerza explosiva y velocidad por sí sola.<sup>37,46</sup>

En programas de entrenamiento con electroestimulación inferiores a 5 o 6 semanas tienen los mismos resultados que el entrenamiento voluntario en ganancias de fuerza, afirmando que el entrenamiento voluntario en personas sanas será más eficaz en ganancias de fuerza y por el contrario para personas lesionadas la electroestimulación consigue ser más eficiente que el entrenamiento de fuerza voluntario en atrofas musculares durante la denervación o periodos largos de inmovilización, siempre y cuando sean capaces de generar contracciones voluntarias de como mínimo entre el 20-35% de fuerza de una MVC.<sup>39,40,50</sup>

Cabe destacar que como se ha nombrado anteriormente, la electroestimulación actúa sobre las fibras rápidas o fibras tipo II mientras que el entrenamiento voluntario es capaz de reclutar mayor número de unidades motoras y generar menor fatiga. Por lo que si su utilización es para sujetos sanos con el objetivo de ganancia de fuerza será más eficaz combinar la electroestimulación y el entrenamiento voluntario. Para pacientes patológicos será mejor la utilización de la electroestimulación por su actuación en las fibras tipo II.

En estudios como el de Kots y Hvilon en 1975 afirman que la fuerza de la contracción y por lo tanto las ganancias en fuerza eran mayores en la electroestimulación que con entrenamiento voluntario pero otros estudios como el de Kramer y Mendryk en 1982 afirmaban que la fuerza provocada por la electroestimulación era significativamente menor o igual que el entrenamiento voluntario. La mayoría de los autores que afirmaban que no conseguían mejoras significativas en la fuerza con la aplicación de la electroestimulación pudo deberse a que no fueron capaces de reproducir los parámetros reportados por Kots.<sup>39,40</sup>

Malatesta et al obtuvo mejoras significativas en rendimiento de salto vertical en un protocolo de entrenamiento mediante electroestimulación de 4 semanas en jugadores de voleibol. Maffiuletti et al después de un protocolo de entrenamiento con electroestimulación de 4 semanas obtuvo mejores en SJ en jugadores de baloncesto. Babault et al consiguió cambios significativos en sentadilla después de un protocolo de entrenamiento con electroestimulación de 6-12 semanas en cuádriceps en jugadores de rugby.<sup>53</sup>

Otro estudio como el de Billot M en 2010, consiguió beneficios en atributos específicos como el golpeo con y sin carrera en jugadores de futbol al cabo de 5 semanas. Afirma que 3 semanas de entrenamiento con electroestimulación son suficientes para conseguir ganancias de fuerza isométrica y excéntrica en los extensores de rodilla de jugadores de futbol, pero que estos cambios se hacían más evidentes al paso de 5 semanas.<sup>53</sup>

Lepley en 2015 afirmaba que el uso de electroestimulación era eficaz en la mejora de activación del cuádriceps en pacientes intervenidos de LCAE.<sup>24</sup> Otros autores como Delitto et al, afirmaban que se conseguían mayores ganancias de fuerza en el cuádriceps respecto al entrenamiento voluntario ya que este les causaba mayor dolor.<sup>40</sup>

Selkowitz revisó diferentes estudios y concluyó que había suficiente evidencia acerca de que las ganancias de fuerza eran resultado de la aplicación de la electroestimulación pero poca evidencia acerca de cual de los dos métodos de entrenamiento era más efectivo.

Ward y Shkuratova afirmaban que ambos procedimientos deberían ser utilizados en el mismo tratamiento, de manera intercalada, ya que diferentes artículos afirman que su uso de manera aislada consiguen las mismas mejoras en fuerza pero que juntos no consiguen cambios significativos que cuando se aplica de manera individual. Según Mohr y Kots afirmaban que no se debería de depender de un solo protocolo de entrenamiento para las ganancias de fuerza muscular si no alternan la electroestimulación y el entrenamiento voluntario y otras variantes del control neuromuscular.<sup>40,54</sup>

Muchos otros artículos dejan la controversia sobre la eficacia del entrenamiento con electroestimulación y entrenamiento voluntario y hablan sobre el protocolo de electroestimulación superpuesto, es decir, combinado a la misma vez con ejercicio voluntario.

Un estudio de Herrero en 2007, establecía que la electroestimulación superpuesta con ejercicio voluntario conseguiría reclutar mayor número de fibras motrices que ambas técnicas aisladas. Esta superposición se podría realizar mediante la técnica twitch interpolation la cual es una técnica de evaluación donde el estímulo eléctrico se aplica sobre el nervio y la técnica de superposición es una técnica de entrenamiento donde el estímulo eléctrico se aplicaría sobre los electrodos en el vientre muscular. De esta misma manera, Herrero afirmaba que no se conseguían mejoras significativas tanto en contracciones isométricas como concéntricas debido a la co-activación de la musculatura antagonista. Si encontró cambios significativos en contracciones excéntricas obteniendo mayores niveles de fuerza aunque estas ganancias podrían estar limitadas por un mecanismo de inhibición neural como mecanismo de defensa ante tensiones altas.<sup>50</sup>

Maffiuletti en 2002 afirma que el uso combinado de ambas podría obtener beneficios en el rendimiento sobre pruebas como SJ y CMJ pero no en aquellas acciones explosivas como puede ser la velocidad según Herrero et al en 2008.<sup>36</sup>

Más tarde un estudio de Herrero et al en 2010, afirma que la superposición de la electroestimulación con un trabajo combinado sobre pliometría conducía a mejoras significativas en el cuádriceps en acciones como el salto vertical solo en periodos de desentrenamiento de 2 semanas, es decir, después del final de sesiones de entrenamiento, a diferencia de un protocolo clásico de entrenamiento voluntario. No hay estudios que hayan encontrado cambios significativos en otras cualidades o actividades como en aumentos de fuerza, ya algunos estudios afirman que la superposición de la electroestimulación con el entrenamiento voluntario no obtenía ningún beneficio en comparación del entrenamiento voluntario realizado de manera individual.<sup>44,51,52</sup>

Por lo tanto podríamos decir como conclusión que, para sujetos sanos, el entrenamiento voluntario consigue mayores resultados que la electroestimulación. Ésta sería efectiva para pacientes patológicos en características de periodos de inmovilización o denervación para conseguir una mayor activación del cuádriceps de fibras II siempre y cuando sean capaces de generar contracciones voluntarias de como mínimo entre el 20-35% de fuerza de una MVC o para atletas que necesiten un plus de efectividad en sus entrenamientos.<sup>39,40,50</sup>

Además, la electroestimulación no debe considerarse como un método de entrenamiento aislado si no como complementario al entrenamiento voluntario ya que resultados con protocolos de entrenamiento voluntario han conseguido los mismos, incluso mayores resultados que en características similares a un protocolo de electroestimulación. Es cierto que ésta combinada con Pliometría, es un método eficaz de aumento tanto de FMI como dinámica, como en mejoras de actividades como el sprint o el golpeo en el fútbol. Por estas razones, la electroestimulación se considera un método de entrenamiento complementario a los métodos tradicionales.<sup>24,36,37,39,40,42,44,46,50,51,52,53,</sup>

La mayoría de estudios existentes muestran los protocolos de entrenamiento en el músculo cuádriceps ya que se muestra como uno de los grupos musculares más proclives a presentar cuadros como de inhibición refleja secundario debido a una lesión que llevará acompañada una atrofia muscular en situaciones de reducción de la actividad, acompañada de disminución de la fuerza y aumento de la fatiga muscular.<sup>24,40,52,53</sup>

En cuanto a la población deportiva, existen diferentes metodologías para la aplicación de la electroestimulación según Basas (2001), las cuales variarán dependiendo de los objetivos o las fases de rehabilitación/readaptación funcional en la que nos encontremos.<sup>45</sup>



*Electroestimulación estática en acortamiento muscular.* Esta técnica se utilizará en aquellas patologías que busquemos un mantenimiento del tono muscular como puede ser el caso de preoperatorios, postoperatorios o como periodos de inmovilización, siempre que los isométricos no estén contraindicados. Uno de los cuantos objetivos que consigue esta técnica es la de prevención atrofias musculares en periodos largo de inmovilización.<sup>45</sup>

*Electroestimulación dinámica.* Esta técnica se llevará a cabo para aquellas situaciones en las que ya haya una base de fuerza, pero se necesita un suplemento para la recuperación deportiva. No podremos conseguir un fortalecimiento máximo ya que al haber movimiento articular, el músculo no podrá soportar altas intensidades en los últimos grados. Uno de los principales objetivos de esta técnica es la de una mejor readaptación deportiva ya que existe un cierto nivel de fuerza. Dentro de esta técnica podemos probar con FNP combinada con electroestimulación y extensión de rodilla en CCC monopodal.<sup>45</sup>

*Electroestimulación estática en acortamiento.* Está técnica consigue mayor intensidad que el resto reclutando mas fibras, por lo que es un método ideal para conseguir un extra de fuerza.<sup>45</sup>

En todo protocolo de entrenamiento con electroestimulación que determine la influencia de este sobre la fuerza muscular, será importante cada uno de los parámetros y el tipo de corriente elegida como el ancho de impulso, tipo de onda, tiempo de contracción y reposo, número de sesiones, frecuencia...

En función del tipo de corriente elegida, para una buena excitabilidad del tejido, será necesario llevarlo a situaciones críticas de estabilidad superando el umbral de estimulación para que pueda reaccionar de manera adecuada a la corriente inducida. Las corrientes que han sido más utilizadas y tienen mayor evidencia en la literatura científica son la monofásica, las interferenciales, farádicas y Kots.<sup>40</sup>

En la década de los 80 según Wong, a las corrientes monofásicas se le podían atribuir ciertos beneficios como mayor penetración o una mayor potencia en las contracciones, pero se dejaron de utilizar por su riesgo de quemadura. Las farádicas solo consiguen mantener los niveles de fuerza próximo a los niveles de intolerancia y las interferenciales no permiten el fortalecimiento muscular, pero si son capaces de minimizar la atrofia con intensidades cercanas al umbral de dolor. Las Kots o corrientes rusas son utilizadas para programas de fortalecimiento muscular por sus beneficios en aumento de fuerza y contracción muscular entre otros, siendo capaz de estimular las fibras más profundas según Andrianova. Pero las

corrientes más eficaces en cuanto a fuerza se refieren, son las bifásicas, ya que son capaces de llegar a niveles máximo de estimulación motora tanto en músculo patológico como en el sano.<sup>40</sup>

Basas en 2001 afirma que la rectangular bifásica simétrica es la idónea para obtener un efecto excitomotor reduciendo al máximo el componente galvánico. En cambio estudios afirman que la polifásica es la corriente que menor fuerza y fatiga genera. Herrero afirma que en el entrenamiento con la electroestimulación se distinguen las corrientes de baja frecuencia que son aquellas <40Hz (hercios) utilizadas principalmente para la recuperación tras un esfuerzo o para la mejora en actividades aeróbicas y las de altas frecuencia, aquellas superiores a 40Hz utilizadas principalmente para la ganancia de fuerza muscular. Pero fue en 1992 donde Lake, estableció que la corriente bifásica simétrica provocaba mayor % de fuerza isométrica.<sup>34,41,45,47,50</sup>

Otra gran controversia en los protocolos de entrenamiento con electroestimulación ha sido con la frecuencia (Hz)

Basas en 2001 afirma que, en función de la fisiología de cada uno, para la estimulación de fibras lentas frecuencias por debajo de 50Hz y para la estimulación de fibras rápidas frecuencias de + 50Hz, concretamente entre, 30-60Hz (contra más altas sean las frecuencias, mayor fatiga y daño muscular generado). Pero finalmente Maffielluetti entre otros, estableció que los parámetros de frecuencia entre 70-120Hz consiguen mejores resultados en fuerza explosiva y aquellas entre 120-150Hz para fuerza explosiva-reactiva. Concretamente para el cuádriceps el espectro de frecuencias idóneo para que se desarrolle su máxima fuerza deberá encontrarse entre 50-120Hz.<sup>34,45,47</sup>

En cuanto al ancho de impulso, Montes y Martin, indican que cuanto más largo es el impulso más posibilidad hay de sobrepasar el umbral de despolarización de un mayor número de unidades motoras, pero se corre el riesgo de la acomodación a la corriente. Para conseguir en un protocolo de electroestimulación ganancias de fuerza según Coarasa y cols en 2000, pudo establecer que los anchos de impulsos deben de ser iguales al menos o superiores a la cronaxia del músculo que se esté estimulando ya que a mayor cronaxia muscular mayor intensidad de esfuerzo, afirmando que el ancho de impulso más eficaz para la producción de fuerza en el cuádriceps oscila entre 230-300ms. Según Lake y Holcomb los resultados más significativos que se producían en fuerza en aquellos anchos de impulso de entre 300-400ms. Basas en 2001, establece que para las fibras rápidas alrededor de 300ms y para las lentas será superior a 300ms.<sup>34,37,40,45</sup>

No se puede hablar de ancho de impulso sin hacer referencia a la intensidad, la mayoría de autores sitúan la intensidad alrededor de un 60% de una contracción isométrica máxima obtenida mediante dinamómetro como acordaron Maffiuletti en 2002, Holcomb en 2005 o Babault en 2007. La aportación de Alon en 1999 y es que conforme se aumentada la intensidad se pasaban diferentes umbrales; el sensitivo, el motor, el doloroso y el de máximo dolor por lo que la intensidad de dependía de la cantidad de masa magra o muscular y no del sexo. Alon afirma que los sujetos conseguían mejoras de fuerza entre los umbrales dolorosos y el de máximo dolor determinando por lo tanto la intensidad máxima tolerable del músculo.<sup>34,41,47</sup>

La intensidad no determina la eficacia del protocolo de electroestimulación si no la respuesta generada, por lo que cuando se pretenda fijar una determinada carga de trabajo se deberá considerar la fuerza producida por la contracción, siendo la mínima intensidad tolerable por una persona para que produzca un aumento de la fuerza deberá ser entre el 33-35% de una MVC. Debido a esto los sujetos toleran cada vez mayores intensidades en cada sesión de entrenamiento por lo que se deberá ajustar en cada sesión.<sup>47</sup>

Cabe destacar como se ha nombrado anteriormente, cuando se alcanza la máxima intensidad tolerable con el entrenamiento de electroestimulación se generará agujetas la primera semana de entrenamiento desapareciendo estas en la segunda. Además, de la electroestimulación de la musculatura agonista, se contraerá también la antagonista como método de defensa ante la inhibición del reflejo miotático teniendo también agujetas en ésta.<sup>47</sup>

En cuanto a la tiempo del impulso/reposo y su relación, el tiempo de reposo duplicará al de la contracción como norma general. Teniendo esto en cuenta, se analizaron estudios con tiempo de contracción de 15 segundos en los que vieron que a partir de 12,5 segundos la contracción no era eficaz según Kots y Xvilon. Se observó que en estudios que utilizaban tiempo de reposo por debajo de 30 segundos, la segunda contracción de dos consecutivas generaba menor fuerza.<sup>41,44,47</sup> Matheson et al, investigó como afectabas los tiempo de impulso y reposo en las ganancias de fuerza muscular durante un protocolo de electroestimulación. Uno de los grupos tenía tiempo de impulso y reposo de 10/10 respectivamente, mientras que el otro tenía tiempo de impulso y reposo de 10/50 respectivamente. Se concluyó que cuanto más corto es el tiempo de reposo, mayor fatiga generada por una posible acidosis intracelular, afirmando que este protocolo sería idóneo para el entrenamiento de la hipertrofia. Sin embargo con el tiempo de impulso/reposo de

10/10 sería más eficaz enfocarlo al trabajo de fuerza. Por lo que como conclusión afirmó que el depósito de energía disponible para cada contracción dependía del tiempo de reposo permitiendo la refosforilación del ATP y PC, además de que el ciclo útil fuera de un 20%.<sup>47</sup>

Por lo que autores como Maffiuletti utilizan relaciones de 1:3, en cambio Linares et al en 2004 establece relaciones de 1:5, siendo esta relación la más utilizada por la ventaja que tiene de retrasar la fatiga.<sup>34,40,41</sup>

En cuanto a la distribución de días/semana, la mayoría de los autores como Meañes et en 2002, afirma que será necesarias 72 horas de recuperación para aumentar la fuerza muscular explosiva para la reposición de los depósitos de energía, por lo que no resultaría eficaz hacer entrenamiento con electroestimulación diarios. Babault et al en 2007, entre otros, establece tiempo de aplicación de entre 10 y 15 minutos.<sup>34,40,41</sup>

En una revisión bibliográfica de los parámetros mas efectivos en la electroestimulación en 2004, Escalante entre otros afirma que el número de sesiones de entrenamiento con electroestimulación idóneas son entre 12-15 y si se combinan con ejercicio voluntario las mejoras en fuerza se generan a partir de la 10ª sesión.

Herrero y Billot en 2010 entre otros, afirman que para la obtención de mejoras en actividades isométricas y excéntricas en el músculo cuádriceps en el futbol, serían necesarias 3 semanas de entrenamiento con electroestimulación. Sin embargo 2 semanas más, conducirían mejoras significativas en actividades como el golpeo de balón.<sup>53</sup>

Y por último, pero no menos importante la colocación de los electrodos, ya que una mala colocación de esto podría producir disipaciones del estímulo eléctrico y no ser eficaz.

En una revisión sobre los parámetros en la electroestimulación, Herrero afirma que la colocación de los electrodos sería mas eficaz de manera longitudinal ya que se alcanzaron mejoras en fuerza de hasta un 64% respecto a la colocación transversal. Basas afirma que la forma más eficaz de colocación de los electrodos sería cerca del nervio del grupo muscular a estimular y dispersar los canales hacia los puntos motores, ya que Coarasa et al en 2000 concluyeron que la excitabilidad del vasto interno y externo eran diferentes y que la utilización de uno podría suponer desequilibrios musculares. Para el cuádriceps deberían ser electrodos de 10x5 cm el proximal a nivel del nervio crural y otros de 5x5 cm para vasto medial, vasto lateral y recto femoral, sobre sus puntos motores.<sup>45,47,51</sup>

Teniendo en cuenta todo esto, como conclusión acerca de los parámetros podríamos decir que:

- Dentro de los parámetros con más controversia: La frecuencia idónea para aumentos de fuerza explosiva 70-120Hz y para fuerza explosiva reactiva 120-150Hz.<sup>34,45,47</sup> anchos de impulso de entre 300-400 mseg para aumentos en la fuerza y el espectro de frecuencia para cuádriceps entre 230-300 mseg.<sup>34,37,40,45</sup> Intensidades de un 60% de una contracción máxima isométrica medida mediante dinamómetro.<sup>34,41,47</sup> Tiempo de impulso no mayores de 12,5 segundos ya que se producían pérdida de fuerza, y tiempos de reposo del doble del impulso, al menos del 20%, estableciendo una relación eficaz de 1:5 respectivamente.<sup>34,40,41,44,47</sup>
- Tiempo de descanso de al menos 72 horas entre sesiones, 10-15 minutos de aplicación de corriente, 12-15 sesiones de electroestimulación siendo eficaz a partir de la 10ª y mínimo 3 semanas de entrenamiento conseguían mejoras en actividades isométricas y excéntricas y 2 semanas más adicionales conseguían mejoras en la fuerza dinámica.<sup>34,40,41,53</sup>
- Colocación de electrodos, proximal a nivel del nervio crural, del que saldrían un canal hacia vasto externo y otro canal a los electrodos distales de vasto medial y recto anterior para evitar diferencias de excitabilidad entre vastos.<sup>45,47,51</sup>

En muchos de los estudios que hablan de una intervención de electroestimulación o bien de ejercicio terapéutico voluntario, las herramientas más utilizadas para las mediciones de las variables de los diferentes estudios varían desde SJ, CMJ, Single Leg Squat test, Single Leg Hop test, Double hop test, Squat test o saltos verticales. Estos, son test estandarizados y por ello son fáciles de aplicar a las diferentes disciplinas deportivas, pero la necesidad de datos cada vez más objetivos impulsan el uso de diferentes herramientas más fiables como puede ser el dinamómetro isocinético.

El dinamómetro isocinético es una herramienta de medición utilizada para la obtención de datos objetivos cuantitativos. Su finalidad es cuantificar el movimiento en datos de fuerza pico, velocidad, potencia, fatiga, ratio agonista/antagonista, trabajo... Uno de sus principales inconvenientes es su elevado coste y su dificultad de transporte lo que le convierte en una herramienta inaccesible clínicamente para muchos profesionales...<sup>55,56</sup>

Una de las variables medida con esta herramienta, está tomando mayor importancia en los ámbitos de recuperación/rehabilitación físico-deportivos como método de prevención y/o fortalecimiento, como es el ratio Q/H y los ratios de fuerza isocinética de la articulación de la rodilla, pudiendo identificar posibles riesgos de lesión de LCAE, lesiones de la musculatura isquiosural o determinar si el atleta puede volver al entrenamiento e identificar desequilibrios musculares unilateral o bilaterales.<sup>55,56,57</sup>

Fueron Klein y Allman en 1969 los primeros en establecer un criterio normativo de movimientos de flexo-extensión concéntricos de 0,60, sugiriendo que la fuerza de la flexión y extensión en movimientos concéntricos de rodilla debería de ser igual o superior a 60%. Esta proporción normativa posiblemente se vea afectada por la asimetría en jugadores de fútbol, principalmente por su lado dominante a la hora de la ejecución de acciones como el golpeo, el inicio del sprint o el salto. Aquí es donde entran los desequilibrios bilaterales, de una pierna con su homónima. Rahnama et al, se encontró que de 48 jugadores, 28 tenían al menos una anomalía musculoesquelética que generaría un desequilibrio muscular de fuerza contralateral respecto de su homónimo del 10%, el cual se consideraría normal, sugiriendo que siempre habría sesgos. Por ello, autores cuestionan que los desequilibrios unilaterales serían mas funcionales, ya que podrían expresar con mayor precisión patrones de movimientos donde la musculatura flexora actuase “frenando” la traslación anterior de la tibia en ejecuciones en las que el cuádriceps necesitase ejercer una potente contracción como podría ser durante el salto o el golpeo de balón.<sup>56,57,58</sup>

Por lo que podríamos decir que desequilibrios de fuerza bilaterales mayores del 10-15% y desequilibrios unilaterales menores de 0,60 podría ser entendido como un riesgo de lesión del LCAE o de la musculatura isquiosural o que no se han completado los objetivos de rehabilitación y no podrá incorporarse al entrenamiento. Debería haber mas información acerca de los valores de corte para estos desequilibrios y establecer la mayor sensibilidad y especificidad posible a cada uno de ellos.<sup>57</sup>

Los test anteriormente nombrados, son aplicables como método de intervención por su variabilidad de incorporación a los diferentes ámbitos deportivos, como es el caso del Single Leg Squat o Double squat. El Single leg Squat es una variante del ejercicio comúnmente conocido como sentadilla, caracterizado porque su apoyo es unipodal. En los últimos años, se ha introducido como variante terapéutica para formar parte de cualquier tratamiento de rehabilitación ya sea como método de propiocepción o de fortalecimiento gracias a que en estudios previos se han observado ganancias de fuerza en la extremidad contralateral por la realización de ejercicios de fuerza con la extremidad homolateral, y menos atrofia en

aquellos músculos lesionados, lo que se conoce como educación cruzada, término acuñado por Walter W. Davis en 1899.<sup>59</sup>

Este modelo de educación cruzada es explicado por diferentes teorías como la teoría de “activación cruzada” que afirma que adaptaciones al ejercicio unilateral son reproducidas en la mitad opuesta o el “acceso bilateral”. Estas diferentes teorías pueden explicarse por el Sistema de neuronas espejo ya se producen adaptaciones corticales debido al aprendizaje motor y a la simple visualización del movimiento según Howatson et al y Zult et al en 2013 y 2014 respectivamente, explicado así la teoría de acceso bilateral.<sup>59</sup>

A pesar de su gran aplicabilidad, como todo ejercicio, surgen desventajas como es el caso de las estrategias asimétricas que se generan durante la realización del ejercicio o la inhibición artrogénica del cuádriceps en la que éste es incapaz de contraerse en lesiones articulares, (también producidas en la Double squat, o sentadilla tradicional) , como es en el caso de pacientes con intervención del LCAE, siendo necesaria la desaparición de estas estrategias al comienzo de la rehabilitación.<sup>60,61</sup>

La sentadilla es uno de los ejercicios más utilizados hablando en términos de fuerza, caracterizado principalmente por sus ganancias en la musculatura del miembro inferior. Su correcta realización será primordial para una mayor eficacia y prevención de lesiones, ya que no todo el mundo podrá realizar una sentadilla por limitaciones articulares o por desconocimiento de la técnica correcta.

Hay factores articulares y técnicos, pero en su mayoría genéticos, que nos impedirán o nos dificultarán la realización tanto de una sentadilla tradicional, y más, si se trata de una sentadilla profunda, debido a la profundidad acetabular, ángulo cuello-epifisis distal del fémur o ángulo del cuello.

Muchos son los estudios que han mantenido que solo una sentadilla profunda produciría unas mayores ganancias de musculatura/fuerza en la musculatura de la cadera-rodilla, o al menos, es lo que se creía hasta hace bien poco. Y es que estudios que comparan la eficacia electromiográfica de una sentadilla profunda y una sentadilla tradicional a 90°, radica en que solo se consiguen mayores activaciones del glúteo mayor en aquellas que son profundas, consiguiendo los mismos resultados de activación en la musculatura del muslo (vasto medial y lateral, recto anterior, semitendinoso, y bíceps femoral), ninguna otra variable consigue datos significativos a la hora de la profundidad de ésta.<sup>62,63</sup>

Los estudios que han logrado manifestar mejoras significativas en la activación muscular y fuerza a posterior, en aquellos pacientes intervenidos de LCAE, afirman que la sentadilla a 90° consigue mejores ratios de activación muscular de la musculatura del muslo y glúteo mayor por encontrarse en ventaja mecánica, respecto a una sentadilla más profunda 140° que conseguía los valores mas bajos en toda la musculatura principal de la sentadilla (vasto lateral, intermedio y medial, recto anterior, semitendinoso, bíceps femoral, glúteo mayor y gastrocnemio). Por el contrario, para ángulos de 45°-60° se producen desventajas mecánicas produciendo mayores déficits de control neuromuscular.<sup>62,63,64,65</sup>

Ahora bien, la anchura a la que se colocan los pies para la realización de ésta, se creía que conseguirían diferentes resultados de activación muscular. McCaw y Melrose compararon la electromiografía generada en una sentadilla a diferentes anchos de postura teniendo como referencia el ancho de los hombros obteniendo que no había mejoras significativas de activación muscular en la musculatura del muslo a excepción del glúteo mayor.<sup>62,63,64,65,66</sup>

Otro de los factores, a analizar se encuentra en la altura de la barra, lo que conocemos como Low-Bar colocándose ésta sobre la espina de la escápula, y High-Bar, la cual se apoya en la parte mas alta del trapecio superior, por debajo de la apófisis espinosa de C7. La sentadilla Low-Bar se caracteriza por una mayor inclinación hacia delante, produciendo mayores fuerzas de cizalla en la cadera generando mayor activación de los erectores espinales, una anchura mayor de la de los hombros produciendo activaciones musculares mayores en el glúteo mayor y, por lo tanto, mayor peso levantado. En cambio, la High-Bar una mayor flexión de rodilla y menor flexión de cadera generando así una mayor activación de la musculatura del cuádriceps en la fase ascendente y una sentadilla más profunda, por ellos es utilizada para levantamiento olímpicos.<sup>67</sup>

Y, por último, uno de los factores que incluyen mas a la hora de la colocación de la barra en la sentadilla, es la sentadilla frontal o trasera. La sentadilla trasera genera mayores inclinaciones de tronco generando así una mayor activación de la actividad isquiotibiales en la fase ascendente según Escamilla et al en 2000, es técnicamente más fácil y permite levantar más peso. En cambio, la sentadilla frontal, debido a su verticalidad es muy difícil de realizar para aquellos que tengan limitaciones articulares, en cadera, rodilla o tobillo, a parte de poder levantar menor peso.<sup>68</sup>

Por lo tanto, la sentadilla trasera a 90°, con barra alta y anchura de pies a la altura de los hombros, podría generar cambios significativos de fuerza y ratios Q/H mayores de 0,6 y cercanos a 1 en paciente intervenidos de LCAE.<sup>58,62,63,64,65,66,67,68,69,70</sup>



Por todo esto, en este estudio, se propone valorar si existen diferencias significativas en aumentos de datos cinéticos y cinemáticos, medidos a partir del test lineal de fuerza máxima isométrica y el test isocinético a 240°/s de flexo-extensión de rodilla tras la realización de la sentadilla con y sin electroestimulación en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años.

## 2. Evaluación de la evidencia.

Se realiza una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos: EBSCO, MEDLINE (Pubmed), PEDro, Google académico y libros.

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda basadas en la pregunta PICO de investigación han sido: *neuromuscular electrical stimulation, anterior cruciate ligament, resistance training, exercise therapy, rehabilitation, reconstruction, bone-patellar-tendon, protocol, quadriceps, co-activation, athletes, soccer player, kinetic, kinematic, squat*

### 2.1. Resultados.

En MEDLINE (Pubmed) se ha realizado la búsqueda a partir de unos filtros, los cuales han sido: *published in the last 5 years* y *humans*. Se han combinado con términos MESH con operador booleano AND. Se encontraron 666 artículos de los cuales se utilizaron 35 (Tabla 2 y 3).

En EBSCO se ha realizado la búsqueda a partir de unos filtros, los cuales han sido: *published in the last 5 years, humans*. Se han combinado con términos MESH con operador booleano AND. Se encontraron 70 artículos de los cuales se utilizaron 1 (tabla 4).

En PEDro se ha realizado la búsqueda mediante búsqueda simple y búsqueda avanzada con filtros, los cuales han sido: *fitness training* y *strength training*. Se han combinado con términos MESH con operador booleano AND. Se encontraron 93 artículos de los cuales se utilizaron 3 (tabla 5).

En Google académico se ha realizado la búsqueda sin filtro y las búsquedas han sido: *Maffioletti, Nicolas Babault, Herrero, rehabilitación de ligamento cruzado anterior, electroestimulación en cuádriceps y dinamómetro isocinético*. Se utilizaron 18 artículos (tabla 6).

Además, se han revisado 6 libros y se han incorporado 7 artículos como búsqueda guiada

Los criterios de no inclusión de referencias a incluir en el estudio han sido: estudios realizados con poblaciones sedentarias.

**Tabla 2.** Búsqueda Pubmed en términos libres. Elaboración propia

Palabras clave búsqueda	Artículos encontrados	Artículos utilizados
Anterior cruciate ligament AND rehabilitation AND protocol	72	10
Anterior cruciate ligament AND reconstruction AND bone-patellar tendon	179	1
Exercise therapy AND anterior cruciate ligament AND rehabilitation	153	3
Resistance training AND anterior cruciate ligament AND kinetic	2	1
Resistance training AND back squat AND kinematic	21	2
Anterior cruciate ligament AND athletes AND rehabilitation AND cuadriceps	72	5
Anterior cruciate ligament AND soccer player	20	1
Neuromuscular electrical stimulation AND anterior cruciate ligament	21	3
Back squat AND kinematic	45	4
Anterior cruciate ligament AND back squat	1	1
Quadriceps AND co-activation	24	3
<b>TOTAL</b>	<b>610</b>	<b>34</b>

**Tabla 3.** Búsqueda Pubmed en términos MESH. Elaboración propia

Palabras clave búsqueda	Artículos encontrados	Artículos utilizados
Anterior cruciate ligament injury / Rehabilitation	56	1
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>1</b>

**Tabla 4.** Búsqueda EBSCO en términos MESH. Elaboración propia.

Palabras clave búsqueda	Artículos encontrados	Artículos utilizados
Anterior cruciate ligament AND rehabilitation AND protocol	70	1
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>	<b>1</b>

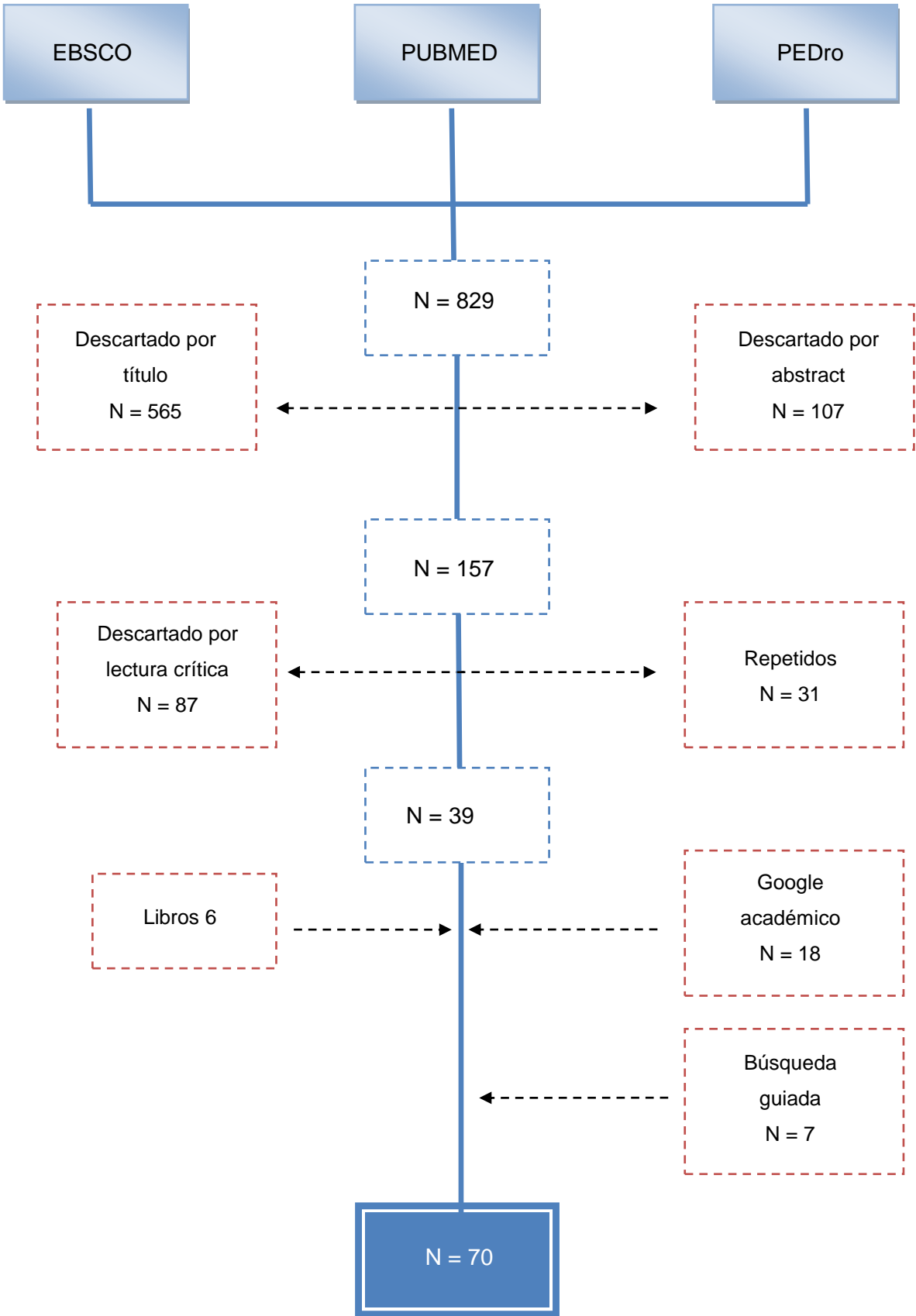
**Tabla 5.** Búsqueda PEDro. Elaboración propia

Palabras clave búsqueda	Artículos encontrados	Artículos utilizados
Rehabilitation of anterior cruciate ligament/ Strength training	93	3
<b>TOTAL</b>	<b>93</b>	<b>3</b>

**Tabla 6.** Búsqueda Google Académico. Elaboración propia.

Palabras clave búsqueda	Artículos utilizados
Maffiuletti Nicola	2
Herrero Alonso	6
Babault Nicolas	1
Rehabilitación de ligamento cruzado anterior	4
Electroestimulación en cuádriceps	2
Dinamómetro isocinético	3
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>

Flujograma.



### **3. Objetivos del estudio.**

#### **3.1. Objetivo principal**

Valorar si existe variación en los datos cinéticos y cinemáticos en una fase de fortalecimiento de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años mediante ejercicio terapéutico dinámico con y sin electroestimulación, donde a ambos grupos se les aplica un tratamiento habitual.

#### **3.2. Objetivos específicos.**

- Valorar si existe alguna variación en datos de FMI obtenida a partir del test isométrico realizado con el dinamómetro isocinético del movimiento de extensión de rodilla tras la realización de ejercicio terapéutico dinámico combinado con la aplicación de electroestimulación rectangular bifásica simétrica contra ejercicio terapéutico dinámico en una fase de fortalecimiento en una plastia de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años
- Valorar si existe alguna variación en el tiempo de aparición de la FMI medida con el dinamómetro isocinético en el movimiento de extensión de rodilla tras la realización de ejercicio terapéutico dinámico combinado con la aplicación de electroestimulación rectangular bifásica simétrica contra ejercicio terapéutico dinámico en una fase de fortalecimiento en una plastia de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años.
- Valorar si existe alguna variación en datos de Fuerza isocinética 240° medido con test isocinético a 240° con el dinamómetro isocinético en el movimiento de extensión de rodilla tras la realización de ejercicio terapéutico dinámico combinado con la aplicación de electroestimulación rectangular bifásica simétrica contra ejercicio terapéutico dinámico en una fase de fortalecimiento en una plastia de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años.
- Valorar si existe variación en el coeficiente de activación Q/H medido con dinamómetro isocinético en el movimiento de flexo-extensión de rodilla tras la realización de ejercicio terapéutico dinámico combinado con la aplicación de electroestimulación rectangular bifásica simétrica contra ejercicio terapéutico dinámico en una fase de fortalecimiento en una plastia de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años.

#### **4. Hipótesis.**

El ejercicio terapéutico dinámico combinado con electroestimulación bifásica simétrica es más eficaz que el ejercicio terapéutico dinámico en fase de fortalecimiento en una plastia de ligamento cruzado anterior (LCAE) de la rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años en ganancias de coeficiente de activación Q/H y fuerza, ambas medidas por dinamómetro isocinético siendo ésta última medida mediante test isométrico e isocinético a 240°, donde las variables obtenidas serán: FMI, FI a 240° y tiempo de aparición de FMI.

## 5. Metodología.

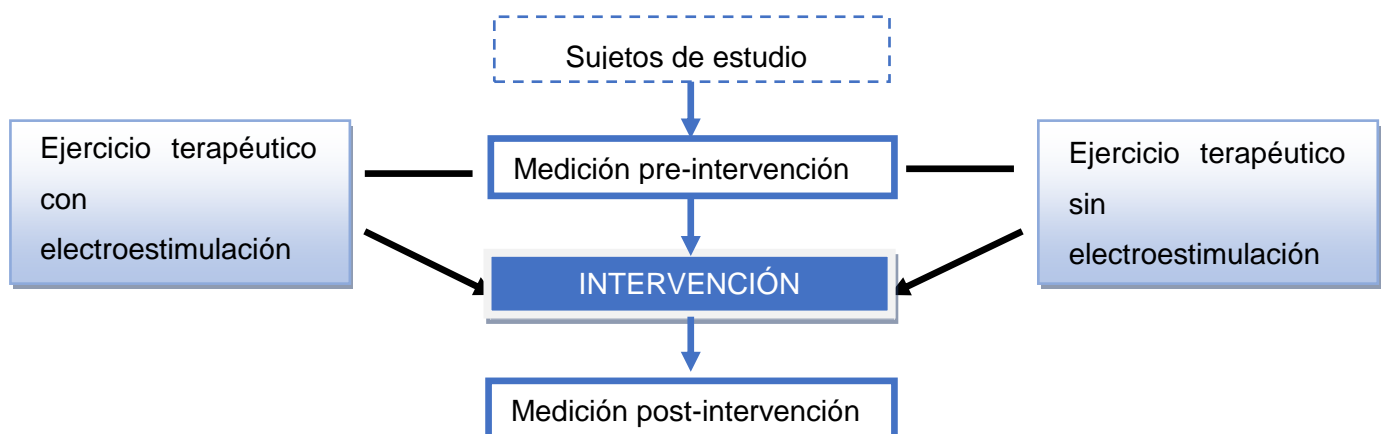
### 5.1. Diseño.

Se va a diseñar un estudio analítico experimental, longitudinal prospectivo en el que se va a evaluar la eficacia de un tratamiento mediante dos intervenciones diferentes aplicadas cada una de ellas en un grupo diferente, habiendo por tanto en nuestro estudio un grupo control y un grupo experimental. Se llevará a cabo un protocolo de tratamiento durante 6 semanas en el que ambos grupos tendrán en común una rehabilitación estándar, en el que un grupo realizará un ejercicio terapéutico con electroestimulación y el otro grupo realizará el mismo ejercicio terapéutico sin electroestimulación.

Además, se respetarán recomendaciones éticas como la Declaración de Helsinki aprobada por la Asamblea Médica Mundial y la declaración de Tokio de la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Los sujetos del estudio recibirán tanto una hoja de información al paciente como un consentimiento informado, del que se informarán aquellas características principales del estudio, para que los pacientes puedan conocer la intervención a realizar, objetivos, métodos, beneficios, inclusive posibles peligros potenciales. Una vez ha sido el sujeto informado, según el principio de autonomía, decidirá si desea participar en el proyecto o no. Además, se respetará la información personal del paciente, asegurando así su anonimato respetando la intimidad del paciente a través de la aplicación de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Para llevar a cabo la anonimización de la información, se realizarán dos bases de datos. En una de ellas estarán los datos personales de los sujetos de estudios, a los cuales se les asignará un código, al cual solo puede acceder el investigador principal del proyecto. En la otra base de datos se encontrarán el código de cada uno de los sujetos de estudio seguido de las variables a estudiar en el proyecto, pudiendo ser vista esta última base de datos por el resto del equipo investigador.



**Figura 4.** Representación metodológica del estudio. Elaboración propia



## 5.2. Sujetos de estudio.

El estudio se realizará en la Comunidad de Madrid, dirigido a jugadores de fútbol profesionales de alto rendimiento intervenidos de LCAE. Se podrá proponer colaboraciones con cada una de las instituciones deportivas de donde provengan los jugadores.

La población diana serán sujetos intervenidos quirúrgicamente de LCAE en edades de 20-25 años.

La muestra del estudio vendrá determinada por:

### Criterios de inclusión:

- Jugadores intervenidos quirúrgicamente de LCAE con injerto HTH.<sup>1</sup>
- Edad entre 20-25 años.<sup>5</sup>
- Jugadores que no hayan tenido ninguna lesión de miembros inferiores que haya supuesto una intervención quirúrgica en los últimos 2 años.<sup>10</sup>
- Jugadores que hayan realizado entrenamiento de fuerza.<sup>44</sup>
- Jugadores que conozcan el ejercicio terapéutico a realizar y lo lleven a cabo con buena técnica.<sup>60</sup>
- Jugadores que firmen el consentimiento informado.
- Jugadores de alto rendimiento/profesionales de la Comunidad de Madrid.

### Criterios de exclusión:

- Jugadores intervenidos quirúrgicamente de LCAE con injerto de semitendinoso o grácil.<sup>1</sup>
- Jugadores con algún tipo de alergia a los materiales que se utilizarán en el estudio y que dificulten la intervención.
- Jugadores que cumplan con algún tipo de las contraindicaciones mencionadas en la hoja de información al paciente.
- Jugadores cuya rotura de LCAE haya supuesto afectación del tejido periarticular y peri-muscular como, por ejemplo: Triada de O'Donoghue
- Jugadores con miedo a la corriente eléctrica.

### 5.3. Cálculo muestral

Se ha realizado un muestreo no probabilístico consecutivo de los sujetos de estudio, ya que se dependerá de que cada jugador se vaya lesionando y pueda acudir a nosotros. Mediante este tipo de muestreo ninguno de los sujetos de estudio tiene la misma posibilidad de ser seleccionados ya que se irán seleccionando los casos si cumplen los criterios de inclusión y exclusión según vayan apareciendo en un tiempo determinado. La muestra deberá ser lo más representativa posible.

Para la realización del cálculo muestral, teniendo en cuenta que nuestro estudio es de muestras independientes en el que se van a comparar medias, se utilizará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{2K * SD^2}{d^2}$$

Los valores reflejados en esta fórmula son:

- N: Hace referencia al nº de sujetos de la muestra.
- K: Parámetro que depende del nivel de significación.
- SD: Desviación típica.
- d: Precisión.

Teniendo en cuenta los valores de esta fórmula, el cálculo de la muestra se llevo a cabo a través del software libre GRANMO® Versión 7.12 abril 2012.

Para la obtención de los datos se han utilizado diferentes artículos para cada variable, obteniendo de ellos, datos como la desviación típica y precisión.

Para la obtención de datos acerca la de variable FMI, se ha escogido el artículo: "Effects o fan electrostimulation training program on strenght, jumping and kicking capacities in soccer players" en el cual la desviación típica es de 21,3 y la precisión de 10,8.

*"Por lo que aceptando un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta de 0,2 en un contraste bilateral, se precisan 69 sujetos en el primer grupo y 75 en el segundo para detectar una diferencia igual o superior a 10,8 unidades. Se asume que la desviación estándar común es de 21,3 estimando una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%".*

Para la obtención de datos acerca de fuerza isocinética a 240°/s se ha escogido el artículo anteriormente nombrado: “Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping and kicking capacities in soccer players” en el cual la desviación típica es de 18,9 y la precisión de 9,9.

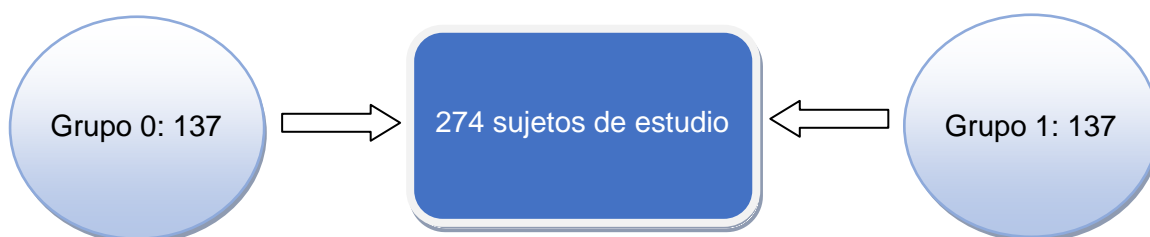
*“Por lo que aceptando un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta de 0,2 en un contraste bilateral, se precisan 78 sujetos en el primer grupo y 85 en el segundo para detectar una diferencia igual o superior a 9 unidades. Se asume que la desviación estándar común es de 18,9 estimando una tasa de pérdida de seguimiento del 15%”.*

Para la obtención de datos acerca de ratio Q/H de rodilla, se han escogido el artículo: “Discussion about different cut-off values of conventional hamstring to-quadriceps ratio used hamstring injury prediction among professional male football player” en el que la desviación típica es de 12,5 y la precisión es de 4,6.

*“Por lo que aceptando un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta 0,2 en un contraste bilateral, se precisan 131 sujetos en el primer grupo y 144 en el segundo grupo para detectar una diferencia igual o superior a 4,6 unidades. Se asume que la desviación estándar común es de 12,5 estimando una tasa de pérdida de seguimiento de 15%”.*

Acerca de la variable; aparición de la FMI, tras una exhaustiva búsqueda no se han encontrado datos relevantes que pudieran ser utilizados en este estudio.

Teniendo todos estos datos en cuenta, se elige la muestra más representativa y acorde con las variables que se pretenden medir en este estudio, siendo aquella en la que, en ambos grupos, aparecerán 137 sujetos de estudio.



**Figura 5.** Sujetos necesarios para la representación del estudio. Elaboración propia

#### 5.4. Variables.

Independiente	TIPO	ESCALA	MÉTODO DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>Tipo de intervención</b>	Cualitativa dicotómica nominal	Nominal	0 = Grupo control. 1 = Grupo intervención	
<b>Momento de medición</b>	Cualitativa dicotómica nominal	Nominal	0 = Pre-intervención. 1 = Post-intervención	

**Tabla 7.** Variables del estudio. Elaboración propia

Tipo de intervención y momento de medición. Variable dicotómica nominal

Tipo de intervención hace referencia al tipo de tratamiento que va a realizar cada uno de los sujetos del estudio, en función de la pertenencia de un grupo u otro. En función al grupo al que pertenezca, realizarán un protocolo de rehabilitación (común en ambos grupos) + el ejercicio terapéutico sin electroestimulación o bien el mismo protocolo de rehabilitación + el ejercicio terapéutico con electroestimulación.

Momento de intervención hace referencia al momento en el que se mide cada variable del estudio. Las mediciones se llevarán a cabo a ambos grupos al que pertenezcan los sujetos de estudio siendo una medición antes del inicio de la realización del plan de trabajo y otro al terminar éste.

Dependiente	TIPO	ESCALA	MÉTODO DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>Fuerza máxima isométrica</b>	Cuantitativa continua	Razón	Dinamómetro isocinético	Newton (N)
<b>Fuerza isocinética a 240°</b>	Cuantitativa continua	Razón	Dinamómetro isocinético	Newton/metro (Nm)
<b>Tiempo de aparición de FMI</b>	Cuantitativa continua	Razón	Dinamómetro isocinético	Segundos
<b>Coefficiente de activación Q/H</b>	Cuantitativa continua	Razón	Dinamómetro isocinético	%

**Tabla 8.** Variables del estudio. Elaboración propia

FMI y tiempo de aparición de la FMI: Variable cuantitativa continua.

Ambas variables se llevarán a cabo su medición de manera objetiva mediante el dinamómetro isocinético mediante el test de fuerza máxima isométrica en línea, independientemente del grupo al que pertenezca cada uno de los sujetos de estudio. Se realizará una medición antes de la realización del Plan de Trabajo y otra al terminar para poder establecer si hay diferencias significativas en los resultados de la media obtenida de la diferencia entre el pre y post de un grupo con los resultados de la media de la diferencia entre pre y post del otro grupo.

Fuerza isocinética a 240/s: Variable cuantitativa continua.

Se llevará a cabo su medición de manera objetiva mediante el dinamómetro isocinético mediante el test isocinético a 240°/s, independientemente del grupo al que pertenezca cada uno de los sujetos de estudio. Se realizará una medición antes de la realización del Plan de Trabajo y otra al terminal para poder establecer si hay diferencias significativas en los resultados pre y post de un grupo con los resultados pre y post del otro grupo.

Coefficiente de activación Q/H: Variable cuantitativa continua.

Se llevará a cabo su medición de manera objetiva mediante el dinamómetro isocinético independientemente del grupo al que pertenezca cada uno de los sujetos de estudio. Se realizará una medición antes de la realización del Plan de Trabajo y otra al terminal para poder establecer si hay diferencias significativas en los resultados pre y post de un grupo con los resultados pre y post del otro grupo.

## **5.5. Hipótesis operativa.**

### **Fuerza máxima isométrica. (FMI)**

- Hipótesis nula (Ho): No hay diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en datos de FMI medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de una plastia de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.
- Hipótesis alternativa (H1): Existen diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en datos de FMI medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de una plastia de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.

### **Fuerza isocinética a 240°.**

- Hipótesis nula (Ho): No hay diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en datos de Fuerza isocinética a 240° medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de una plastia de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.
- Hipótesis alternativa (H1): Existen diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica combinada y el ejercicio terapéutico dinámico en datos de Fuerza isocinética a 240° medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de un LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.

### **Tiempo de aparición de FMI.**

- Hipótesis nula (Ho): No hay diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en el tiempo de aparición de FMI medido con dinamómetro isocinético en una plastia de LCAE de rodilla en fase de fortalecimiento con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años
- Hipótesis alternativa (H1): Existen diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en tiempo de aparición de FMI medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.

### **Coefficiente de activación Q/H.**

- Hipótesis nula (Ho): No hay diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en el coeficiente de activación Q/H medido con dinamómetro isocinético en fase de fortalecimiento de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.
- Hipótesis alternativa (H1): Existen diferencias estadísticamente significativas entre la realización del ejercicio terapéutico dinámico combinado con la electroestimulación bifásica simétrica y el ejercicio terapéutico dinámico en el coeficiente de activación Q/H en fase de fortalecimiento de LCAE de rodilla con futbolistas de alto rendimiento con edades comprendidas entre los 20 y 25 años.

## **5.6. Recogida, análisis de datos, contraste de hipótesis.**

Una vez se haya obtenido la firma del consentimiento informado (ANEXO I) y se hayan cumplido y respetado tanto los criterios de inclusión como de exclusión anteriormente mencionados, se llevará a cabo la entrega de una hoja a completar sobre datos personales para cada uno de los sujetos de estudio (ANEXO II).

Para llevar a cabo el respeto a la intimidad del paciente a través de la aplicación de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal se realizarán dos Excel® correspondiente a cada una de las bases de datos anteriormente nombradas. En un Excel estarán los datos personales de los sujetos de estudios, a los cuales se les asignará un código, al cual solo puede acceder el investigador principal del proyecto. El otro Excel contendrá los códigos de cada uno de los sujetos de estudio seguido de las variables a estudiar en el proyecto, pudiendo ser vista esta última base de datos por el resto del equipo investigador.

Toda hoja de datos sobre los sujetos de estudio será transcrita a un formato Excel® (ANEXO II) para poderse utilizar en la plataforma SPSS® versión 21.

El software empleado para la realización del análisis de los datos será el IBM SPSS Statistics versión 21 (Windows).

Análisis descriptivo: Con el fin de describir la población para las variables cuantitativas, (FMI, Fuerza isocinética a 240°, tiempo de aparición de la FMI y coeficiente Q/H) se utilizarán medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y medidas de dispersión (desviación típica y rango (máximo y mínimo)) mostrándose así la variabilidad de las características de muestra en cada una de las variables.

En cuanto a la representación gráfica de las variables, al ser cuantitativas continuas, se realizará un diagrama de cajas.

Análisis inferencial: Se realizará un contraste de hipótesis bilateral para muestras independientes, en el que compararan la diferencia de las medias de la medición pre-intervención y post-intervención de cada uno de los grupos y para cada una de las variables. En esta fase tendremos que decidir qué tipo de prueba realizar si una paramétrica o una no paramétrica teniendo en cuenta el criterio de normalidad y el de homogeneidad.



Por lo tanto, como nuestra muestra es mayor de 30 sujetos se procederá a la aplicación del test Kolmogorov-Smirnov, para determinar si los valores de cada variable del estudio se ajustan según una distribución normal o no y determinar, por lo tanto, si se realiza una prueba paramétrica o no paramétrica. El segundo paso por realizar será la aplicación del test de Lévene para determinar la homogeneidad de varianza.

Suponiendo que en el test de homogeneidad nuestra p valor fuera  $>0,05$ , asumiríamos que los datos siguen una distribución normal, por lo que se deberá de realizar una prueba paramétrica como es en el caso de la T-Student. Teniendo en cuenta esto y utilizando un nivel de confianza del 95%, si se considera que en los resultados ha habido cambios significativos en todos aquellos valores que tengan un  $p < 0,05$  se procedería a rechazar la hipótesis nula, aceptando la alternativa. Si, por el contrario, en los resultados no se hubieran considerado cambios significativos para todos aquellos valores que tengan una  $p > 0,05$ , se procedería a aceptar la hipótesis nula, rechazando la alternativa.

En el caso de que el test de homogeneidad haya dado una p valor  $< 0,05$ , asumiríamos que los datos no siguen una distribución normal, por lo que se deberá de realizar una prueba no paramétrica como es el caso de la prueba de U Man-Whitney. Teniendo en cuenta esto y utilizando un nivel de confianza del 95%, si se considera que en los resultados ha habido cambios significativos en todos aquellos valores que tengan un  $p < 0,05$  se procedería a rechazar la hipótesis nula, aceptando la alternativa. Si, por el contrario, en los resultados no se hubieran considerado cambios significativos para todos aquellos valores que tengan una  $p > 0,05$ , se procedería a aceptar la hipótesis nula, rechazando la alternativa.

Finalmente, los resultados obtenidos se reflejarán mediante la realización de diagrama de cajas, ya que todas nuestras variables de estudio son cuantitativas continuas mediante el software informático IBM SPSS Statistics versión 21 (Windows).

### **5.7. Limitaciones del estudio.**

La muestra de este estudio será demasiado amplia lo que conllevará una larga duración del proyecto.

No se tiene en cuenta dominancias de miembro inferior.

No se tiene en cuenta la posición en la que el jugador desarrolla su juego.

El protocolo de rehabilitación utilizado en este estudio no tiene el nivel suficiente de evidencia científica.

### **5.8. Equipo investigador**

Para llevar a cabo el proyecto, se necesitará la participación de 5 profesionales de entre 2-4 años de experiencia profesional e investigadora en el ámbito deportivo:

- El investigador principal: Sergio Martínez Benito, quien realizará; El planteamiento y redacción del proyecto, junto con las hojas de consentimiento informado, información al paciente y recogida de datos, la entrevista inicial (respetando ambos criterios de inclusión/exclusión) y aleatorización de la muestra.
- 3 fisioterapeuta encargado de la aplicación de la electroestimulación y de la explicación del ejercicio.
- Un bioestadístico al cual se le enmascarará o cegará y se encargará del estudio y análisis estadístico de los datos.

## **6. Plan de trabajo.**

### **6.1. Diseño de la intervención.**

Este proyecto comienza a desarrollarse en septiembre de 2017 para ser finalizado en abril de 2018. Durante este tiempo, se planteará de forma exhaustiva y detalla el diseño del proyecto, llevando a cabo tanto la búsqueda bibliográfica acerca de nuestros estudios de interés y la ciencia del momento, planeando así tanto los objetivos como las hipótesis y la posterior intervención a realizar. Tras finalizar el planteamiento de este proyecto, será enviado al Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) de la clínica CEMTRO (ANEXO III) para su posterior evaluación y aprobación.

Una vez aprobado el proyecto por (CEIC), se convocará una reunión con los diferentes cuerpos médicos de los equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid para plantearles la idea de proyecto y proponerles colaboración.

Una vez aceptada la propuesta de colaboración con los diferentes cuerpos médicos de los equipos, se llevará a cabo el proceso de reclutamiento y recogida de la muestra respetando los criterios de inclusión y exclusión. Para la realización de éste, se llevará a cabo un muestreo no probabilístico consecutivo de los sujetos de estudio, ya que se dependerá de que cada jugador se vaya lesionando y pueda acudir a nosotros. Mediante este tipo de muestreo ninguno de los sujetos de estudio tiene la misma posibilidad de ser seleccionados ya que se irán seleccionando los casos si cumplen los criterios de inclusión y exclusión según vayan apareciendo en un tiempo determinado. Uno de los requisitos mínimos para la participación en el estudio es que los jugadores se hayan intervenido quirúrgicamente del LCAE con un injerto del tendón rotuliano. Para la comprobación de esto, el investigador principal del proyecto pedirá colaboración con los diferentes profesionales del cuerpo médico acerca de la historia clínica de los diferentes jugadores.

Según vayan reclutándose sujetos de estudio, se les irá citando a las instalaciones de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios" para corroborar ambos criterios de inclusión y exclusión y comenzar a repartir las hojas de información al paciente sobre el planteamiento y desarrollo de este proyecto (ANEXO IV), la firma del consentimiento informado de forma voluntaria (ANEXO I), manifestando la conformidad de someterse a un acto de intervención sobre el que ha recibido la información adecuada previamente.

De la misma manera, se entregará una hoja a completar sobre los datos personales de cada jugador, en el que vendrá información deportiva, acerca de sus lesiones (ANEXO II). En esta misma hoja vendrán datos de cada una de las mediciones en ambos grupos de intervención. Esta hoja de datos (ANEXO II) será transcrita en un formato Excel® (ANEXO II) para que estos puedan ser analizados mediante el software informático IBM SPSS Statistics versión 21 (Windows). Si el sujeto tiene alguna duda acerca de cualquiera fase del procedimiento de este proyecto, será el investigador principal quien le proporcione la información necesaria de manera detallada.

Una vez entregada toda la documentación a los sujetos de estudio que vayan acudiendo a nosotros, se procederá a la aleatorización de los grupos mediante Excel®.

Previamente, antes de la realización de la primera medición (Pre-intervención), cada jugador intervenido de LCAE, habrá tenido que pasar la rehabilitación pertinente (ANEXO V), la cual será una rehabilitación convencional para ambos grupos (grupo 0 y grupo 1), hasta encontrarse en la fase en la que el investigador principal deba realizar la primera medición (10º semana).

El protocolo de fisioterapia llevado a cabo comenzó nada más terminar la intervención quirúrgica en la que se instruyó al paciente a que en su hogar de residencia realizase un programa de ejercicios que incluyeran elevación del miembro intervenido, hielo (2 a 3 veces al día durante 20 minutos) y descanso, además de ejercicios de ROM activos y pasivos y electroestimulación del cuádriceps con la rodilla en extensión completa. Una vez terminados estos ejercicios, al 8º día, el jugador se incorporó a la supervisión de rehabilitación y fisioterapia. La frecuencia de ésta fue 2 veces al día durante los 5 días a la semana + 1 sesión de fin de semana los sábados por la mañana.

En general, se realizan ejercicios que abordan hinchazón, analgesia, ROM, fuerza, propiocepción y la aptitud aeróbica en cada sesión de rehabilitación. Después de retirar las suturas, el paciente comenzó a realizar ejercicios en agua la mitad de las sesiones durante las semanas 3-5. En las primeras 4 semanas, la musculatura isquiosural fue tratada como si hubiera sufrido una rotura de fibras al ser el injerto de semitendinoso. Se permitieron ejercicios de masaje, flexibilidad y solo ejercicios isométricos para la ganancia de fuerza en esta musculatura.

Este es un protocolo a propósito de un caso, en el que el jugador pudo volver a jugar un partido entero de fútbol tras 90 días de rehabilitación, y este se componía de: (ANEXO V).

Una vez cumplido el protocolo de rehabilitación convencional hasta la 10<sup>o</sup> semana para ambos grupos de estudio, se procederá a realizar la primera medición en las instalaciones del laboratorio de biomecánica de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios”.

La medición constará de dos pruebas que llevarán aproximadamente entre 10-15 minutos realizarlas.

Primero se comenzará con una prueba familiarización en el dinamómetro isocinético (PRIMUS) (ANEXO VI). La prueba de familiarización consistirá en un test isocinético a 120°/s en línea sentado con la articulación de la rodilla a 60° en la que el sujeto de estudio se encontrará cinchado a nivel del tórax con las manos cruzadas sobre el tórax con las manos apoyadas en hombro contrarios. Una vez terminada la colocación del paciente, el sujeto de estudio realizará entre 5 y 10 repeticiones de flexo-extensión de rodilla a 120°/s, en la cual el investigador principal dará una serie de estímulos verbales.

Una vez terminada la familiarización con la herramienta de medición, se llevará a cabo la primera medición de las diferentes variables.

Para la variable de FMI, se realizará el test de fuerza máxima isométrica en línea en el dinamómetro isocinético (PRIMUS) (ANEXO VI) en la que el sujeto de estudio se colocará sentado con la articulación de la rodilla a 60° por encontrarse en ventaja mecánica para generar mayor fuerza y un cinchaje alrededor del tórax en el que ambos brazos estarán cruzados sobre éste, teniendo las manos apoyadas en hombros contrarios. El test constará de 3 repeticiones de 6 segundos de duración y 12 segundos de descanso, en el que se reflejarán datos del pico de fuerza máxima, de la fuerza media y del coeficiente de variación, siendo los datos de pico de fuerza máxima los utilizados en este estudio. Los valores del coeficiente de variación deben de ser menores del 15% para que sean válidas. Durante el desarrollo de la prueba, el investigador principal dará una serie de estímulos verbales durante los 6 segundos de contracción. Después de estas 3 repeticiones, se realizará una media, la cual será el dato reflejado en la hoja de recogida de datos. (ANEXO II).

Los datos acerca de la variable de tiempo de aparición de la FMI saldrán de este mismo test de fuerza máxima isométrica en línea, en el que habrá que determinar el tiempo en el que se ha tardado en alcanzar el pico de fuerza más alto en cada una de las 3 repeticiones, para posteriormente, realizar una media, la cual saldrá reflejada en la hoja de recogida de datos (ANEXO II).

Para la variable de fuerza isocinética a 240°/s se realizará el test de fuerza isocinética en el dinamómetro isocinético (PRIMUS) (ANEXO VI) en la que el sujeto de estudio se colocará sentado con la articulación de la rodilla a 60° y un cinchaje alrededor del tórax en el que los brazos se encontraran cruzadas sobre éste apoyando las manos en hombro contrarios. El test constará de entre 5 y 10 repeticiones a 240°/s en el que se reflejará la fuerza isocinética de la flexo-extensión de rodilla a 240°/s. Durante el desarrollo de la prueba el investigador principal dará una serie de estímulos verbales durante el movimiento de flexo-extensión.

Los datos acerca de la variable ratio Q/H saldrán de este test de fuerza isocinética a 240°/s, en el que se obtendrá un máximo y un mínimo de la fuerza realizada en todo el recorrido de la flexo-extensión de rodilla. Se realizará una diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo y el dato obtenido saldrá reflejado en la hoja de recogida de datos (ANEXO II).

Al terminar la medición de cada una de las variables, los datos obtenidos de cada una de ellas saldrán reflejados en la hoja de recogida de datos (ANEXO II).

Una vez terminada la primera medición de cada una de las variables, se llevará a cabo el comienzo de la intervención al día siguiente.

El proceso de intervención se llevará a cabo al día siguiente de la primera medición. Será un protocolo que durará 6 semanas, el cual se compondrá de 3 sesiones/semana separándose en 72 h. Durante la duración de este, los jugadores continuarán con la rehabilitación convencional que se les ha propuesto.

Cada una de las intervenciones de este estudio se llevará a cabo en cada una de las ciudades deportivas de los diferentes equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid, en la que el investigador principal junto con 3 fisioterapeutas más, quien será el encargado de la aplicación de la corriente.

La intervención tendrá una duración aproximada de 30 minutos y constará de:

**Grupo 0: Grupo control.**

Este grupo será el grupo control, en el que se llevará a cabo la rehabilitación convencional y común con el otro grupo, combinado con el ejercicio terapéutico a realizar (Progresión excéntrica de sentadilla teniendo en cuenta el grado de flexión de rodilla siendo a 45°, 60° y 90°) sin electroestimulación.

- La sesión de intervención de este grupo será una vez terminada la sesión de rehabilitación de ese mismo día, por lo que no hará falta ningún tipo de calentamiento ya que habrá realizado movilidad articular y bicicleta estática en dicha rehabilitación.
- Los 3 fisioterapeutas adicionales en este estudio serán los encargados, entre otras funciones, de la explicación del ejercicio en caso de que no se conociese y las posteriores correcciones.

La realización de la sentadilla será de la siguiente manera: (ANEXO VII)

**Colocación del punto de partida.**

- La mirada de los diferentes sujetos de estudio buscará la horizontalidad
- Los sujetos de estudio se colocarán sobre un balón fitball, el cual estará a la altura de la columna lumbar, apoyado sobre una pared.
- El tórax se encontrará vertical, y sobre el descansarán ambos brazos, los cuales estarán cruzados apoyando las manos en hombros contrarios.
- Los pies estarán colocados a 90 cm de la pared en la que están apoyados (contando los 90 cm desde la pared hasta el talón) a la altura de los hombros-caderas, de manera que los sujetos de estudio estén apoyados sobre el fitball con los pies separados de la pared relajados con extensión de rodilla.

**Realización del ejercicio.**

Los sujetos de estudio comenzarán en la posición de partida anteriormente nombrada, en la que irán realizando más o menos flexión de rodilla deslizándose sobre el fitball en el que se encuentran apoyados hasta los grados de flexión de rodilla que marquen los fisioterapeutas siendo hasta 45° de flexión de rodilla las 2 primeras semanas, 60° de flexión de rodilla de la 2ª a la 4ª semana y hasta 90° de flexión de rodilla desde la 4ª a 6ª semana de intervención. Los fisioterapeutas darán la señal de inicio y llevarán un tanteo de las repeticiones que llevan. Avisarán dando una señal de descanso a la 10ª repetición, dejando 1' de descanso entre series en la misma posición de partida. Una vez cumplido el tiempo de descanso entre series, el fisioterapeuta hará una cuenta atrás los últimos 5" de descanso para comenzar.

- Se realizarán 3 series de 10 repeticiones en las que los diferentes fisioterapeutas encargados de la correcta realización del ejercicio podrán dar comandos de voz y estímulos verbales. Se dejará un descanso 1' entre series.
- Los sujetos de estudio de este grupo realizarán 18 sesiones del ejercicio terapéutico a realizar (sentadilla) sin electroestimulación.
- Las primeras dos semanas se realizarán la progresión excéntrica hasta 45° de flexión de rodilla, las dos semanas siguientes a 60° y las dos últimas semanas a 90° de flexión de rodilla hasta completar el protocolo de 6 semanas.

### **Grupo 1: Grupo intervención).**

- Este grupo será el grupo intervención, en el que se llevará a cabo la rehabilitación convencional y común con el otro grupo, combinado con el ejercicio terapéutico a realizar (Progresión excéntrica de sentadilla teniendo en cuenta el grado de flexión de rodilla siendo a 45°, 60° y 90°) con electroestimulación.
- La sesión de intervención de este grupo será una vez terminada la sesión de rehabilitación de ese mismo día, por lo que no hará falta ningún tipo de calentamiento ya que habrá realizado movilidad articular y bicicleta estática en dicha rehabilitación.
- Los 3 fisioterapeutas adicionales en este estudio serán los encargados, entre otras funciones, de la explicación del ejercicio en caso de que no se conociese y las posteriores correcciones.
- Una vez explicada la técnica del ejercicio, el investigador principal junto con la ayuda de otro fisioterapeuta, pasarán a explicar la aplicación de la corriente eléctrica, así como de la sensación que van a percibir los sujetos de estudio, las indicaciones, las contraindicaciones y las posibles consecuencias a corto-medio y largo plazo.
- El equipo de electroestimulación utilizado para el estudio será electroestimulador Megasonic 313P-4 Sport de Medicarim.
- Los parámetros utilizados para la intervención con electroestimulación serán: Anchos de impulso de 350 mseg en el que el tiempo de contracción de estos será de 3 segundos de contracción y tiempo de descanso de 10 segundos, siendo una relación ancho de impulso-tiempo de descanso de 1:3. Frecuencia de 90Hz a máxima intensidad tolerable. No se superará los 10 minutos de aplicación de la corriente. La colocación de electrodos, se pondrán solo sobre la rodilla con el LCAE intervenido, proximal a nivel del nervio crural, del que saldrían un canal hacia vasto externo y otro canal a los electrodos distales de vasto medial y recto anterior para evitar diferencias de excitabilidad entre vastos. (ANEXO VIII)



Una vez conocida la técnica, la posición que deben de adoptar para la realización de la sentadilla y la correcta colocación de los electrodos, se procederá a realizar el ejercicio simultáneo con la corriente eléctrica.

La realización de la sentadilla será de la siguiente manera: (ANEXO VII)

#### **Colocación del punto de partida**

- La mirada de los diferentes sujetos de estudio buscará la horizontalidad
- Los sujetos de estudio se colocarán sobre un balón fitball, el cual estará a la altura de la columna lumbar, apoyado sobre una pared.
- El tórax se encontrará vertical, y sobre el descansarán ambos brazos, los cuales estarán cruzados apoyando las manos en hombros contrarios.
- Los pies estarán colocados a 90 cm de la pared en la que están apoyados (contando los 90 cm desde la pared hasta el talón) a la altura de los hombros-caderas, de manera que los sujetos de estudio estén apoyados sobre el fitball con los pies separados de la pared relajados con extensión de rodilla.

#### **Realización del ejercicio.**

Los sujetos de estudio comenzarán en la posición de partida anteriormente nombrada, en la que irán realizando más o menos flexión de rodilla deslizándose sobre el fitball en el que se encuentran apoyados hasta los grados de flexión de rodilla que marquen los fisioterapeutas siendo hasta 45° de flexión de rodilla las 2 primeras semanas, 60° de flexión de rodilla de la 2ª a la 4ª semana y hasta 90° de flexión de rodilla desde la 4ª a 6ª semana de intervención. Los fisioterapeutas darán la señal de inicio y llevarán un tanteo de las repeticiones que llevan. Además del tanteo de las repeticiones, contarán tanto los segundos de contracción mientras se aplica la corriente, como de los segundos de descanso avisando los dos últimos segundos para que sean conscientes de que comienza de nuevo la corriente. De manera que, cuando el fisioterapeuta dé el inicio del ejercicio, contará 1,2,3 (segundos de contracción mientras pasa la corriente) mientras el sujeto de estudio realiza los diferentes ángulos de flexión de rodilla, siendo al acabar el segundo 3, en el que deberán subir a la posición de inicio. Avisarán dando una señal de descanso a la 10ª repetición, dejando 1' de descanso entre series en la misma posición de partida. Una vez cumplido el tiempo de descanso entre series, el fisioterapeuta hará una cuenta atrás los últimos 5" de descanso para comenzar de nuevo la siguiente serie.

- Se realizarán 3 series de 10 repeticiones en las que los diferentes fisioterapeutas encargados de la correcta realización del ejercicio podrán dar comandos de voz y

estímulos verbales. Se dejará un descanso de 1' entre series.

- Los sujetos de estudio de este grupo realizarán 18 sesiones de ejercicio terapéutico (sentadilla) con electroestimulación.
- Las primeras 2<sup>o</sup> semanas se realizarán la progresión excéntrica hasta 45<sup>o</sup> de flexión de rodilla, las 2<sup>o</sup> semanas siguientes a 60<sup>o</sup> y las 2<sup>o</sup> últimas semanas a 90<sup>o</sup> de flexión de rodilla hasta completar el protocolo de 6 semanas.

Una vez finalizada la fase de intervención, al día siguiente se procederá a las citaciones de los diferentes sujetos de estudio para la segunda y última medición de este estudio en las instalaciones del laboratorio de biomecánica de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios".

Una vez realizada la segunda medición, se podrá recoger los datos pertinentes de ambas mediciones para que el bioestadístico del estudio, el cual estará cegado, pueda realizar el análisis estadístico de los datos a través del software informático IBM SPSS Statistics versión 21 (Windows), indicando por lo tanto si hay cambios significativos o no. Estos resultados se representarán en diagrama de cajas, para la interpretación de estos y de cada variable.

Finalmente, el investigador principal del estudio junto con el resto del equipo investigador se reunirá y extraerán las conclusiones pertinentes de este estudio, siendo el investigador principal el encargado de la redacción final del mismo.

Los resultados obtenidos en este estudio se pondrán a disposición del cuerpo médico de los diferentes equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid que hayan participado en el estudio.

## 6.2. Etapas de desarrollo.

TAREAS	TIEMPO DE REALIZACIÓN
Aprobación por parte de la Comisión de Investigación y Comité Ético de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios perteneciente a la Universidad Pontificia Comillas.	Septiembre
Búsqueda bibliográfica	Octubre-Enero
Diseño y redacción del Proyecto	Octubre – hasta completar muestra y análisis de datos.
Reunión con el cuerpo médico de los equipos profesionales de fútbol de la Comunidad de Madrid y propuesta de proyecto y colaboración.	Noviembre
Recogida de la muestra y selección de sujetos	Enero - Dependerá de completar la muestra
Recogida de datos de los sujetos de estudio, hoja de información al paciente y firma del consentimiento informado	Dependerá de completar la muestra
1º Medición: Pre-tratamiento	Dependerá de completar la muestra
Intervención de tratamiento	Dependerá de completar la muestra
2º Medición: Post-tratamiento	Dependerá de completar la muestra, pero al día siguiente de acabar la intervención.
Análisis de datos.	1 mes después de haber acabado las mediciones
Redacción final de las conclusiones	1 mes

**Tabla 9.** Cronograma del estudio. Elaboración propia

### **6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador**

Toda tarea de este proyecto será llevada a cabo por los diferentes miembros del equipo investigador.

El investigador principal será el encargado de realizar el planteamiento y redacción del proyecto, junto con las hojas de consentimiento informado, información al paciente y recogida de datos, la entrevista inicial (respetando ambos criterios de inclusión/exclusión) y aleatorización de la muestra, y mediciones pre y post. Además, éste se desplazará con el resto de los fisioterapeutas a las diferentes ciudades deportivas para la realización de la intervención, por si caso hubiera dudas acerca del procedimiento del estudio y su intervención.

Según vayan incorporándose los diferentes sujetos de estudio se procederá a la fase del proyecto en la que se realizarán tanto las mediciones pre y post como la intervención.

Después de la 1<sup>o</sup> medición realizada por el investigador principal, será necesaria el comienzo de la intervención. Para ello será necesaria la participación de 3 fisioterapeutas adicionales con experiencia en el ámbito deportivo de al menos 2 años, los cuales serán los encargados de la colocación de los electrodos en los sujetos de estudio y de la aplicación de la corriente a posteriori.

Una vez terminada la intervención de cada jugador, se realizará la segunda medición para la obtención de resultados finales y el posterior análisis.

Posteriormente, el bioestadístico del estudio, el cual estará cegado, llevará a cabo las funciones de realizar el análisis de los datos estadísticos a través del software informático IBM SPSS Statistics versión 21 (Windows).

Finalmente, el investigador principal, junto con el resto del equipo investigador, se reunirán para la extracción de conclusiones del estudio, en la que se realizará la redacción final del proyecto por parte del investigador principal en los meses siguientes.

#### **6.4. Lugar de realización del proyecto**

El lugar de realización de este proyecto se compondrá de:

- Ambas mediciones (pre y post) y reclutamiento se realizarán en el laboratorio de biomecánica de la Escala de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios” (ANEXO XI) ubicada en la Avenida San Juan de Dios, 1, (28350) Ciempozuelos, Madrid.
- La intervención de este proyecto se realizará en las diferentes ciudades deportivas de los equipos profesionales de fútbol de la Comunidad de Madrid, con la colaboración del equipo médico de los mismos.

## 7. Listado de referencias.

1. Canale S, Beaty J. Cambell cirugía ortopédica. Madrid: Marbán; 2013.
2. Kapandji A. Fisiología articular. [Place of publication not identified]: Editorial Medica Panameri; 2007.
3. Nordin M, Frankel V. Bases biomecánicas del sistema musculoesquelético. España: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
4. Romero Rodríguez D, Tous Fajardo J. Prevención de lesiones en el deporte. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2011.
5. Moreno Pascual C, Rodríguez Pérez V, Seco Calvo J. Epidemiología de las lesiones deportivas. *Fisioterapia*. 2008;30(1):40-48.
6. Reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Fisioterapia acelerada en sobrecarga excéntrica [Internet]. eFisioterapia. 2017 [acceso 09 Diciembre 2017]. Disponible en: <https://www.efisioterapia.net/articulos/reconstruccion-del-ligamento-cruzado-anterior-lcafisioterapia-acelerada-sobrecarga-excentrica>.
7. Zahínos Sánchez J.I, González C, Salinero J et al. Epidemiological study of the injuries, the processes of readaptation and prevention of the injury of anterior cruciate ligament in the professional football. *Journal of sport and Health Research*. 2010;2(2):139-150.
8. van Grinsven S, van Cingel R E, Holla C J, van Loon C J. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: oficial journal of the ESSKA*. 2010;18(8):1128-1144.
9. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 2016 Dec;50(24):1506-1515.
10. Romero-Moraleda B, Cuellar Á, González J, Bastida N, Echarri E, Jana Gallardo J et al. Revisión de los factores de riesgo y los programas de prevención de la lesión del ligamento cruzado anterior en fútbol femenino: propuesta de prevención. [Review risk factors and prevention programs of the anterior cruciate ligament injury in female football: prevention proposal]. *RICYDE Revista internacional de ciencias del deporte*. 2017;13(48):117-138.
11. Mandelbaum B, Silvers H, Watanabe D, Knarr J, Thomas S, Griffin L et al. Effectiveness of a Neuromuscular and Proprioceptive Training Program in Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*. 2005;33(7):1003-1010.
12. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T et al. c. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement.2008;42(6):394-412.

13. Alentorn-Geli E, Myer G, Silvers H, Samitier G, Romero D, Lázaro-Haro C et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2009;17(7):705-729.
14. Mohammadi F, Salavati M, Akhbari B, Mazaheri M, Mohsen Mir S, Etemadi Y. Comparison of Functional Outcome Measures After ACL Reconstruction in Competitive Soccer Players. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*. 2013;95(14):1271-1277.
15. Alanís, L.M., Zamora, P. y Cruz, M. Ruptura de ligamento cruzado anterior en mujeres deportistas. *Asociación Médica ABC*. 2012;57(2): 93-97.
16. van Eck C, Widhalm H, Murawski C, Fu F. Individualized anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *The Physician and Sportsmedicine*. 2015;43(1):87-92.
17. Markatos K, Kasetta M, Lалlos S, Korres D, Efsthathopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*. 2012;23(7):747-752.
18. López Martínez J. Traumatología deportiva en el fútbol. Actualizaciones en Medicina del Deporte, Cirugía Ortopédica y Traumatología en el fútbol. España: Editorial Paidotribo; 2016.
19. White K, Di Stasi SL, Smith AH, Snyder-Mackler L. Anterior cruciate ligament-specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2013 Mar 23;14:108.
20. Forriol F, Maestro A, Vaquero Martin J. El ligamento cruzado anterior: morfología y función. Majadahonda: *Fundación MAPFRE*; 2008.
21. Vaquero Martin J, Calvo Haro J A, Forriol Campos F. Reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Majadahonda: *Fundación MAPFRE*; 2008.
22. Kautzner J, Kos P, Hanus M, Trc T, Havlas V. A comparison of ACL reconstruction using patellar tendon versus hamstring autograft in female patients: a prospective randomised study. *International Orthopaedics*. 2014;39(1):125-130.
23. Herrington L, Myer G, Horsley I. Task based rehabilitation protocol for elite athletes following Anterior Cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary. *Physical Therapy in Sport*. 2013;14(4):188-198.
24. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee* 2015 Jun;22(3):270-277.
25. M Pereira, S Vieira Nde, R Brandao Eda, J A Ruaro, R J Grignet and A R Frez. Physiotherapy after reconstruction of anterior cruciate ligament. *Acta ortopedica Brasileira*. 2012;20(6):372-375.

26. Ordahan B, Kucuksen S, Tuncay I, Salli A, Ugurlu H. The effect of proprioception exercises on functional status in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2015;28(3):531-537.
27. Alshewaier S, Yeowell G, Fatoye F. The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Clin Rehabil* 2017 Jan;31(1):34-44.
28. Roi GS, Creta D, Nanni G, Marcacci M, Zaffagnini S, Snyder-Mackler L. Return to official Italian First Division soccer games within 90 days after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report. *J Orthop Sports Phys Ther* 2005 Feb;35(2):6.
29. Cascio BM, Culp L, Cosgarea AJ. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med* 2004 Jul;23(3):408, ix.
30. Hooper DM, Hill H, Drechsler WI, Morrissey MC. Range of motion specificity resulting from closed and open kinetic chain resistance training after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res* 2002 Aug;16(3):409-415.
31. Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC, Camarini PMF, Scodeller NF, Duarte A, et al. Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Am J Sports Med* 2013 Apr;41(4):788-794.
32. Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. *Am J Sports Med* 1995;23(4):401-406.
33. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc* 1998 Apr;30(4):556-569.
34. Martínez Benito E, Amador Sánchez L, López-Martínez Emilio J. Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical. *International Journal Of sports Science RICYDE*. 2010;21(6): 322-334.
35. Bien DP, Dubuque TJ. Considerations for late stage acl rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance. *Int J Sports Phys Ther* 2015 Apr;10(2):256-271.
36. Benito-Martínez E, Lara-Sánchez AJ, Berdejo-del-Fresno D, Martínez-López EJ. Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed tests. *Journal of Human Sport & Exercise*. 2011;6(4): 603-615.
37. Herrero, J.A, García-López, J. Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular. *Rendimientodeportivo.com*. 2002. Nº3
38. Martínez Benito E. Electroestimulación. Aumento de la fuerza muscular medida por el test de Bosco. 2008;11(1): 27-33.



39. Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med* 1992 Aug;14(2):100-113.
40. Linares M, Escalante K, Touche La R. Bibliographical review of the currents and parameters more effective in the electrostimulation of the cuadriceps. *Elsevier*. 2004;26(4):235-244.
41. Electroestimulación en el tratamiento de deportistas- Parámetros y técnicas más relevantes [Internet]. Fisiocampus.com. 2017 [acceso 02 Noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.fisiocampus.com/articulos/electroestimulacion-en-el-tratamiento-de-deportistas-parametros-y-tecnicas-mas-relevantes>.
42. Boschetti G. ¿Qué es la electroestimulación? Teoría, practica y metodología del entrenamiento. 2ªed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004.
43. Eriksson E, Haggmark T, Kiessling KH, Karlsson J. Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *Int J Sports Med* 1981 Feb;2(1):18-22.
44. Herrero AJ, Martin J, Martin T, Abadia O, Fernandez B, Garcia-Lopez D. Short-term effect of plyometrics and strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance: A randomized controlled trial. Part II. *J Strength Cond Res* 2010 Jun;24(6):1616-1622.
45. Garcia Basas A. Metodología de la electroestimulación en el deporte. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*. 2001;4(1): 00-00.
46. Herrero AJ, López García D, Vicente Villa GJ, Rábago Morante CJ, López García J. Influencia del entrenamiento con electroestimulación neuromuscular en la fuerza y la velocidad.
47. Herrero AJ, García de Vicuña Abadía O, Rábago Morante JC, López García J. Parámetros del entrenamiento con electroestimulación y efectos cónicos sobre la función muscular (I). *Archivos de Medicina del Deporte*. 2006;23(16): 455-462.
48. Hortobagyi T, Maffiuletti NA. Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct;111(10):2439-2449.
49. Maffiuletti NA, Zory R, Miotti D, Pellegrino MA, Jubeau M, Bottinelli R. Neuromuscular adaptations to electrostimulation resistance training. *Am J Phys Med Rehabil* 2006 Feb;85(2):167-175.
50. Herrero AJ, García-Vicuña Abadía O, Rábago Morante CJ, López García J. Parámetros del entrenamiento con electroestimulación y efectos cónicos sobre la función muscular (II). *Archivos de Medicina del Deporte*. 2007;24(117): 45-53.
51. Benito E, Lara Sanchez AJ, Moral-García JE, Martínez-López EJ. Efecto del orden de aplicación de la electroestimulación neuromuscular y la pliometría sobre el entrenamiento de la prueba de 100 metros lisos. *Journal of Sport and Health Research*. 2012;4(2): 167:180.

52. Herrero AJ, Martin J, Martin T, Abadia O, Fernandez B, Garcia-Lopez D. Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *J Strength Cond Res* 2010 Jun;24(6):1609-1615.
53. Billot M, Martin A, Paizis C, Cometti C, Babault N. Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res* 2010 May;24(5):1407-1413.
54. Risberg MA, Holm I, Myklebust G, Engebretsen L. Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *Phys Ther* 2007 Jun;87(6):737-750.
55. Huesa F, García J, Vargas J. Dinamómetro isocinético. Elsevier 2005 Nov;39(6):288-296
56. Tlatoa MH. Torque máximo absoluto e índice convencional isocinético de rodilla en futbolistas profesionales del 2007 al 2012. *Elsevier* 2014 Jul;2(2):154-162.
57. Ayala F, Sainz de Baranda P, Ste Croix M, Santonja F. Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la estimación de desequilibrios musculares. *Apunts Med Esport.* 2012;47(176):131-142.
58. Grygorowicz M, Michalowska M, Walczak T, Owen A, Grabski JK, Pyda A, et al. Discussion about different cut-off values of conventional hamstring-to-quadriceps ratio used in hamstring injury prediction among professional male football players. *PLoS One* 2017 Dec 7;12(12):e0188974.
59. Cirer-Sastre R, Beltran-Garrido JV, Corbi F. Contralateral Effects After Unilateral Strength Training: A Meta-Analysis Comparing Training Loads. *J Sports Sci Med* 2017 Jun 1;16(2):180-186.
60. Roos PE, Button K, van Deursen RW. Motor control strategies during double leg squat following anterior cruciate ligament rupture and reconstruction: an observational study. *J Neuroeng Rehabil* 2014 Feb 28;11:19.
61. Trulsson A, Miller M, Hansson GA, Gummesson C, Garwicz M. Altered movement patterns and muscular activity during single and double leg squats in individuals with anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet Disord* 2015 Feb 13;16.
62. Schoenfeld BJ. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *J Strength Cond Res* 2010 Dec;24(12):3497-3506.
63. Caterisano A, Moss RF, Pellingier TK, Woodruff K, Lewis VC, Booth W, et al. The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *J Strength Cond Res* 2002 Aug;16(3):428-432.
64. Krishnan C, Theuerkauf P. Effect of knee angle on quadriceps strength and activation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Appl Physiol* (1985) 2015 Aug 1;119(3):223-231.

65. Marchetti PH, Jarbas da Silva J, Jon Schoenfeld B, Nardi PS, Pecoraro SL, D'Andrea Greve JM, et al. Muscle Activation Differs between Three Different Knee Joint-Angle Positions during a Maximal Isometric Back Squat Exercise. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)* 2016;2016:3846123.
66. Paoli A, Marcolin G, Petrone N. The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. *J Strength Cond Res* 2009 Jan;23(1):246-250.
67. Glassbrook DJ, Helms ER, Brown SR, Storey AG. A Review of the Biomechanical Differences Between the High-Bar and Low-Bar Back-Squat. *J Strength Cond Res* 2017 Sep;31(9):2618-2634.
68. Yavuz HU, Erdag D, Amca AM, Aritan S. Kinematic and EMG activities during front and back squat variations in maximum loads. *J Sports Sci* 2015;33(10):1058-1066.
69. Dedinsky R, Baker L, Imbus S, Bowman M, Murray L. Exercises that Facilitate Optimal Hamstring and Quadriceps Co-Activation to Help Decrease Acl Injury Risk in Healthy Females: A Systematic Review of the Literature. *Int J Sports Phys Ther* 2017 Feb;12(1):3-15.
70. Pamukoff DN, Pietrosimone BG, Ryan ED, Lee DR, Blackburn JT. Quadriceps Function and Hamstrings Co-Activation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* 2017 May;52(5):422-428.

## Anexos.

### Anexo I.



#### DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.

##### ***ESTUDIO CLÍNICO***

##### **SUJETO.**

D/ \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_

Se me ha informado sobre la terapia que me van a realizar, y ha sido explicada en cuanto al consentimiento informado la importancia de la firma que este documento posee. He tenido la oportunidad de hacer preguntas sobre los procedimientos e intervenciones del estudio. Firmando abajo consiento que se me apliquen los procedimientos que se me ha explicado de forma suficiente y comprensible.

Entiendo que tengo el derecho de rehusar en cualquier momento. Entiendo mi plan de trabajo y consiento en ser tratado por un fisioterapeuta colegiado.

Declaro no encontrarme en ninguna de los casos de las contraindicaciones específicas en este documento.

Declaro haber facilitado de manera leal y verdadera los datos sobre estado físico y salud de mi persona que pudiera afectar a los procedimientos que se me van a realizar. Así mismo, decido dar mi conformidad, libre, voluntaria y consciente a los procedimientos que se me han informado.

Firma:

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Tiene derecho a prestar consentimiento para ser sometido a los procedimientos necesarios para la realización del presente estudio, previa información, así como retirar su consentimiento en cualquier momento previo a la realización de los procedimientos o durante ellos.

INVESTIGADOR.

D/ Sergio Martínez Benito con DNI 47304631W Fisioterapeuta e investigador de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios" declaro haber facilitado al sujeto y/o persona autorizada, toda la información necesaria para la realización de los procedimientos explicados en el presente documento y declaro haber confirmado, inmediatamente antes de la aplicación de los mismos, que el sujeto no incurre en ninguno de los casos contraindicados relacionados anteriormente, así como haber tomado todas las precauciones necesarias para que la aplicación de los procedimiento sea correcta.

Firma:

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**REVOCACIÓN.**

SUJETO.

D/ \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_

El día \_\_\_\_\_ del mes \_\_\_\_\_ y año \_\_\_\_\_ revocó el consentimiento informado firmado el \_\_\_\_\_ en virtud de mi propio derecho. Para que conste y haga efecto, firmo el presente documento.

Firma:

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## Anexo II.



### HOJA DE RECOGIDA DE DATOS.

DATOS PERSONALES		
Nombre y apellidos		
Edad		
Teléfono de contacto		
Código de identificación		
Medición y resultados	<b>1º Medición</b> <i>dd/mm/aa</i>	<b>2º Medición</b> <i>dd/mm/aa</i>
	FMI. Tiempo de aparición FMI Ratio Q/H Fuerza isocinética a 240º/s	FMI. Tiempo de aparición FMI Ratio Q/H Fuerza isocinética a 240º/s
Intervención	<input type="checkbox"/> Grupo control <input type="checkbox"/> Grupo intervención	
Diagnóstico médico		
Historial médico		
Historial deportivo		

### Transcripción de los datos en formato Excel®

Código de identificación	Edad	Tipo de intervención	Tiempo de medición

## Anexo III.



### SOLICITUD AL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA de la Clínica CEMTRO. (CEIC)

Don Sergio Martínez Benito con DNI 47304631W colegiado número\_\_\_\_\_ en calidad de fisioterapeuta e investigador de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios) con domicilio social en Paseo de las Artes, 21, Portal 7, Bajo A.

#### **EXPLONE:**

Que desea llevar a cabo el estudio *“Eficacia de tratamiento de ejercicio terapéutico dinámico con y sin electroestimulación para ganancias en valores cinéticos y cinemáticos en una plastia de Ligamento Cruzado Anterior de rodilla en futbolistas de alto rendimiento”* que será realizado en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios” ubicada en la Avenida San Juan de Dios 1, (28350) Ciempozuelos, Madrid, por Sergio Martínez Benito que trabaja como fisioterapeuta e investigador de la misma. Que el estudio se realizará tal y como se ha planteado, respetando la normativa legal aplicable para los ensayos clínicos que se realicen en España y siguiendo las normas éticas internacional aceptadas (Declaración de Helsinki).

Por lo expuesto.

#### **SOLICITA:**

Le sea autorizada la relación de este ensayo clínico cuyas características son las que se indican en la hoja de resumen del ensayo y en el protocolo:

- Primer ensayo clínico con un PEI
- Ensayo clínico posterior al primero autorizado con un PEI (indicar nº de PEI)
- Primer ensayo clínico referente a una modificación de PEI en trámite (indicar nº de PEI)
- Ensayo clínico con una especialidad farmacéutica en una nueva indicación (respecto a las autorizadas en la Ficha Técnica)
- Ensayo clínico con una especialidad farmacéutica en nuevas condiciones de uso (nuevas poblaciones, nuevas pautas posológicas, nuevas vías de administración...)

- Ensayo clínico con una especialidad farmacéutica en las condiciones de uso autorizadas
- Ensayo de bioequivalencia con genéricos
- Otros**

Para la cual se adjunta la siguiente documentación:

- 4 copias del protocolo de ensayo clínico.
- 3 copias del Manual del Investigador.
- 3 copias de los documentos referentes al consentimiento informado, incluyendo la hoja de información para el sujeto del ensayo.
- 3 copias de la Póliza de Responsabilidad Civil.
- 3 copias de los documentos sobre la idoneidad del investigador principal y sus colaboradores.
- Propuesta de compensación económica para los sujetos, el centro y los investigadores

Firmado:

El Promotor.  
D/ SERGIO MARTÍNEZ BENITO

En Madrid, a..... de.....del 201....



## ANEXO IV.



### HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE.

Este documento se ha realizado según lo dispuesto en la Ley General de Sanidad (14/1986, 25 de abril) y la Ley básica reguladora de autonomía del paciente (41/2002, 14 de noviembre) respetando los derechos y deberes en materia de documentación clínica.

Usted tiene derecho a conocer el procedimiento al que va a ser sometido como participante en este estudio y las complicaciones más frecuentes que puedan ocurrir. En caso de duda, deberá consultar las mismas en este documento. Le recordamos que, por imperativo legal, tendrá que firmar usted o su representante legal, el consentimiento informado para que podamos realizar dicho procedimiento.

#### **Datos del investigador.**

Nombre del investigador principal: Sergio Martínez Benito.

Número de teléfono: 628917\*\*\*

Email: [Sergio.martinez.bnt2mail.com](mailto:Sergio.martinez.bnt2mail.com)

Centro: Escuela Universitaria San Juan de Dios (Universidad Pontificia de Comillas)

Avda. San Juan de Dios, 1, (28350) Ciempozuelos, Madrid.

#### **Datos de la investigación.**

##### *Título del estudio.*

Eficacia de tratamiento de ejercicio terapéutico dinámico con y sin electroestimulación para ganancias en valores cinéticos y cinemáticos en una plastia de Ligamento Cruzado Anterior de rodilla en futbolistas de alto rendimiento.

Este es un estudio de participación voluntaria, en el que, en cualquier momento, se podrá revocar del consentimiento informado firmado y dar por finalizada su participación en dicho estudio.

## **Descripción del procedimiento del Estudio.**

Tras la reunión con los diferentes cuerpos médicos de los equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid para plantearles la idea de proyecto y proponerles colaboración.

Una vez aceptada la propuesta de colaboración con los diferentes cuerpos médicos de los equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid para plantearles la idea de proyecto, se llevará a cabo el proceso de reclutamiento y recogida de la muestra respetando los criterios de inclusión y exclusión.

Solo podrán participar en este estudio aquellos jugadores que cumplan con los criterios de inclusión que son:

- Jugadores intervenidos quirúrgicamente de LCAE con injerto HTH.
- Edad entre 20-25 años.
- Jugadores que no hayan tenido ninguna lesión de miembros inferiores que haya supuesto una intervención quirúrgica en los últimos 2 años.
- Jugadores que hayan realizado entrenamiento de fuerza.
- Jugadores que conozcan el ejercicio terapéutico a realizar y lo lleven a cabo con buena técnica.
- Jugadores que firmen el consentimiento informado.
- Jugadores de alto rendimiento/profesionales de la Comunidad de Madrid.

A su vez, no podrán participar en este estudio, aquellos jugadores que:

- Jugadores intervenidos quirúrgicamente de LCAE con injerto de semitendinoso o grácil.<sup>1</sup>
- Jugadores con algún tipo de alergia a los materiales que se utilizarán en el estudio y que dificulten la intervención.
- Jugadores que cumplan con algún tipo de las contraindicaciones mencionadas en la hoja de información al paciente.
- Jugadores cuya rotura de LCAE haya supuesto afectación del tejido periarticular y peri-muscular como, por ejemplo: Triada de O'Donoghue
- Jugadores con miedo a la corriente eléctrica.

Habiendo respetado ambos criterios, los jugadores de fútbol profesional serán distribuidos en los diferentes grupos de manera aleatoria. Una vez perteneciente a un grupo, realizarán un protocolo de rehabilitación común en ambos grupos, y realizarán la práctica del ejercicio terapéutico sin electroestimulación (en el caso del grupo 0 o control) y con electroestimulación (en el caso del grupo 1 o intervención).

Los diferentes jugadores de fútbol profesional pertenecientes en este estudio, deberán haber alcanzado la 10ª semana del protocolo de rehabilitación tanto para el comienzo de la 1ª medición, como el comienzo del Plan de trabajo al día siguiente de ésta.

Antes de la realización del Plan de trabajo y de la 1ª medición, se llevará a cabo un ejercicio de familiarización con la herramienta de evaluación. Una vez terminada la prueba de familiarización, se llevará a cabo la 1ª medición de las variables de interés de este estudio (FMI, tiempo de aparición de la FMI, ratio Q/H y fuerza isocinética a 240º/s). La cual durará en torno a los 15 minutos. Realizada ya ésta medición, el comienzo del Plan de trabajo será al día siguiente.

El plan de trabajo consta de un protocolo de fortalecimiento que durará 6 semanas, el cual se compondrá de 3 sesiones/semana separándose en 72 h. Durante las 2ª semanas el ejercicio terapéutico a realizar (sentadilla) se hará a 45º de flexión de rodilla, de la 2ª a 4ª semana, se realizará a 60º de flexión de rodilla y de la 4ª a 6ª y última semana, se realizará a 90º de flexión de rodilla. Durante la duración de este, los jugadores continuarán con la rehabilitación convencional que se les ha propuesto. Cada una de las intervenciones de este estudio se llevará a cabo en cada una de las ciudades deportivas de los diferentes equipos de fútbol profesional de la Comunidad de Madrid.

La intervención en ambos grupos tendrá una duración aproximada de 30 minutos. También se realizará el mismo ejercicio terapéutico (sentadilla) en ambos grupos, partiendo de la misma posición de partida y posición final, salvo que el grupo intervención lo realizará con la aplicación de una corriente eléctrica (rectangular bifásica simétrica) en la rodilla del LCAE intervenido. Los parámetros más importantes de esta corriente eléctrica son: Anchos de impulso de 350 mseg en el que el tiempo de contracción de estos será de 3 segundos de contracción y tiempo de descanso de 10 segundos, siendo una relación ancho de impulso-tiempo de descanso de 1:3. Frecuencia de 90Hz a máxima intensidad tolerable. No se superará los 10 minutos de aplicación de la corriente. La colocación de electrodos, se pondrán solo sobre la rodilla con el LCAE intervenido, proximal a nivel del nervio crural, del que saldrían un canal hacia vasto externo y otro canal a los electrodos distales de vasto medial y recto anterior para evitar diferencias de excitabilidad entre vastos.

Una vez terminadas las 6 semanas del protocolo de fortalecimiento, al día siguiente de este, se realizará la 2ª medición de las variables de interés de este estudio, la cual tendrá una duración aproximada de 15 minutos.

Una vez obtenida la información tanto de las mediciones como de la intervención de los jugadores que van acudiendo a la realización de este estudio, se irá recogiendo y analizando dicha información para la redacción final de este proyecto.

Una vez alcanzado la muestra necesaria para la consecución de este estudio, y por lo tanto los datos de toda la muestra, con su posterior recogido, análisis y redacción final, estos datos se pondrán a disposición de los diferentes cuerpos médicos que han participado en dicho estudio.

### **Objetivos del estudio**

El objetivo principal de este proyecto es comprobar si hay ganancias en valores cinéticos y cinemáticos en una plastia de LCAE de rodilla en futbolistas de alto rendimiento, valorando los resultados de la intervención que se realiza determinando si existen o no están mejoras. La participación es voluntaria, pudiendo abandonar el proyecto en cualquier momento.

### **Beneficios y riesgos.**

Este proyecto no supone ningún riesgo para ninguno de los jugadores. Se pretende realizar un protocolo de entrenamiento en una fase avanzada de rehabilitación y conseguir la pronta recuperación y ganancias de fuerza necesaria para poder reincorporarse con el resto del equipo.

### **Confidencialidad de los datos e imágenes.**

Según la Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, los datos que se recojan en este estudio serán estrictamente utilizados con fines de investigación y uso científico. Ninguno de estos datos podrá ser revelado a personas ajenas, aunque serán guardados en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios". De acuerdo con la Ley vigente usted tendrá derecho a acceder a sus datos personales, así como la rectificación o cancelación de estos. Los resultados obtenidos en este estudio podrán ser comunicados a la comunidad científica por medio de publicaciones y/o congresos.

Los diferentes sujetos de estudio gozarán de los derechos pertinentes en relación al proyecto de estudio.

- El participante podrá revocar en cualquier momento el consentimiento en el momento que crea oportuno sin alegar cualquier tipo de explicación
- Se le garantizará la protección de sus datos de carácter personal indicándole la finalidad y el uso de los mismos y la rectificación o cancelación de los mismos.

### **Medición de las variables.**

- Fuerza máxima isométrica, ratio Q/H y tiempo de aparición de la fuerza máxima isométrica medidas mediante el test lineal de fuerza máxima isométrica.
- Fuerza isocinética a 240°/s medida mediante el test isocinético a 240°/s

### **Tratamiento.**

Ambos grupos en este estudio Grupo control (0) y grupo Intervención (1) realizarán el mismo protocolo estándar de rehabilitación + el ejercicio terapéutico CON o SIN corriente eléctrica.

Grupo 0: Realizará protocolo de rehabilitación + ejercicio terapéutico sin electroestimulación.

Grupo 1: Realizará protocolo de rehabilitación + ejercicio terapéutico con electroestimulación.

### **Riesgos en electroterapia.**

Son muy escasos y normalmente leves, siempre y cuando la aplicación de los mismos sea la correcta. Sin embargo, pueden producirse desde ligera irritación de la piel hasta aparición de quemaduras eléctricas y úlceras.

### *Contraindicaciones.*

- Procesos inflamatorios o agudos o dolores no diagnosticados
- Problemas cutáneos
- Tromboflebitis
- Tumores
- Oseosíntesis: prótesis u órtesis
- Marcapasos
- Área cardíaca
- Embarazo
- Fiebre
- Zonas de crecimiento óseo en niños
- Tratamiento con anticoagulantes o antiinflamatorios.
- Roturas musculares.

### **Riesgos derivados del uso de equipos isocinéticos.**

No se conocen riesgos específicos del uso de dispositivos isocinéticos, salvo los derivados de cualquier actividad física como pueden ser la fatiga, dolores articulares y la aparición de dolor muscular posterior al ejercicio (DOMS).

## Anexo V.



### PROTOCOLO DE REHABILITACIÓN UTILIZADO EN EL ESTUDIO.

#### Días 8-17.

- *ROM*: Movimientos de extensión de rodilla.
- *Fuerza*: Contracciones activas de flexo-extensores de rodilla (10x45" + 15" de descanso), flexores y abductores de cadera (2kg 6x15 repeticiones + 15" de descanso), isométricos de adductores de cadera (10x45" + 15" de descanso), CCA en extensión de rodilla de 45° a 0° (2kg 6x15 repeticiones + 15" de descanso) y excéntrico de press de piernas.
- *Masaje*: 30' de masaje en MMII.
- *Hielo*: 15' al final de cada sesión.
- *Trabajo aeróbico*: 10' de bicicleta estática con sillín bajo

#### Días 18-29.

- *ROM*: Movimientos de extensión de rodilla.
- *Fuerza*: Contracciones activas de flexo-extensores de rodilla (10x45" + 15" de descanso), flexores y abductores de cadera (3kg 6x15 repeticiones + 15" de descanso), isométricos de adductores de cadera (10x45" + 15" de descanso), CCA en extensión de rodilla de 45° a 0° (4kg 6x15 repeticiones + 15" de descanso) y excéntrico de press de piernas.
- *Propiocepción*: 10' de apoyos mono y bipodales en superficies inestables.
- *Masaje*: 30' de masaje en MMII.
- *Hielo*: 15' al final de cada sesión.
- *Trabajo aeróbico*: 10' de bicicleta estática + 5' andando a 4km/h con una pendiente del 6% (en cinta).
- *Ejercicio en agua*: Caminar 10' + movilidad articular (movimientos de flexo-extensión, abducción y adducción de cadera) + correr en la zona profunda de la piscina.

### **Días 30-42.**

- *ROM:* Movimientos de flexión de rodilla. Activos y activo-asistidos
- *Fuerza:* Flexores de rodilla (2kg 2x15 repeticiones), extensión de rodilla sentado (4kg 6x15 repeticiones) y press de piernas a una pierna (50Kg 6x15 repeticiones)
- *Propiocepción:* 10' de apoyos mono y bipodales en superficies inestables.
- *Masaje:* 30' de masaje en MMII.
- *Hielo:* 15' al final de cada sesión.
- *Trabajo aeróbico:* (En cinta) caminar 10' a 5.5km/h sin pendiente + correr 10' a 7km/h con una pendiente de 3%
- *Ejercicio en agua:* correr en zona profunda + pliometría en zona poco profunda.

### **Días 43-59.**

- *ROM:* Ejercicios de estiramiento.
- *Fuerza:* Flexores de rodilla (2kg 2x15 repeticiones), rotadores de rodilla (8x40 repeticiones), extensión de rodilla sentado (progresión con 40kg desde los 90° a extensión completa 0°, 8x10 repeticiones), extensión isocinética de rodilla a 300°/s (6x10 repeticiones) y Electroestimulación 20' de vasto medial y lateral.
- *Propiocepción:* 10' de apoyos mono y bipodales en superficies inestables.
- *Masaje:* 30' de masaje en MMII.
- *Hielo:* 15' al final de cada sesión.
- *Trabajo aeróbico:* (En cinta) Caminar 10' a 5,5km/h sin pendiente + 10 minutos a 7,5Km/h con un 6% de pendiente.
- *Rehabilitación en campo:* Correr a ritmo de trote + ejercicios para corregir patrones de marcha + cambios de dirección, sprint y deceleraciones, arrancadas y paradas
- *Entrenamiento con el equipo:* Habilidades técnicas según intensidad.

### **Días 60-72.**

- *ROM:* Ejercicios de estiramiento.
- *Fuerza:* Flexores de rodilla (3kg 2x15 repeticiones), rotadores internos de rodilla (8x40 repeticiones), extensión de rodilla sentado (40kg de 90° a extensión completa 0°, 8x15 repeticiones), extensión isocinética de rodilla a 300°/s (4x20 repeticiones) y electroestimulación 20' de vasto medial y lateral.
- *Propiocepción:* 10' de apoyos mono y bipodales en superficies inestables.
- *Masaje:* 30' de masaje en MMII.
- *Trabajo aeróbico:* (En cinta) caminar 10' a 5,5km/h con una pendiente de 3%
- *Rehabilitación en campo:* Correr + técnica individual y grupal con balón, golpees

submáximos de balón + correr a trote 20'

- *Entrenamiento con el equipo:* Habilidades técnicas según intensidad.

### **Días 73-90.**

- *ROM:* Ejercicios de estiramiento.
- *Fuerza:* Flexores de rodilla (4kg 2x15 repeticiones), rotadores internos de rodilla (8x40 repeticiones), press de pierna (70kg 6x10 repeticiones lentas), extensión de rodilla (40kg de 90° a extensión completa 0°, 6x15 repeticiones)
- *Propiocepción:* 10' de apoyos mono y bipodales en superficies inestables.
- *Masaje:* 30' de masaje en MMII.
- *Trabajo aeróbico:* (En cinta) caminar 10' a 5,5km/h con una pendiente de 3%
- *Rehabilitación en campo:* Correr + sprint + cambios de dirección + deceleraciones + técnica individual con balón + habilidades técnicas en equipo + mini-partidos 2 contra 2, 4 contra 4 + saltos + golpeo de balón + correr a trote 20'
- *Entrenamiento con el equipo:* Habilidades técnicas según intensidad.



**TABLE 2.** Details of the rehabilitation program. Knee rotators are exercised while seated.

Postoperative Days/Treatment Categories	Regimen
Days 8-17	
ROM	Extension: prone leg hang and pendulum
Strength	Active cocontractions of knee extensors and flexors (10 x 45 s, 15 s recovery); hip flexors and hip abductors (2 kg, 6 x 15 rep, 15 s recovery); isometric hip adductors (10 x 45 s, 15 s recovery); knee extension from 45° to 0° (2 kg, 6 x 15 rep, 6 x 15 s); leg press (elastic) eccentric modality
Proprioception	-
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	15 min at the end of the session
Warming-up and Aerobic	Stationary bicycling with low seat position 10 min
Indoor Pool	-
On-Field Rehabilitation	-
Training With the Team	-
Days 18-29	
ROM	Extension: prone leg hang and pendulum
Strength	Active cocontractions of knee extensors and flexors (10 x 45 s, 15 s recovery); hip flexors and hip abductors (3 kg, 6 x 15 rep, 15 s recovery); isometric hip adductors (10 x 45 s, 15 s recovery); seated knee extension with tubing and with load from 45° to full extension (4 kg, 6 x 15 rep, 6 x 15 s); leg press (elastic) eccentric modality
Proprioception	Unstable surfaces, bipodal and monopodal for 10 min
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	15 min at the end of the session
Warming-up and Aerobic	Stationary bicycling 10 min; stepper 5 min (level 1); treadmill walk 4 km/h 6% grade
Indoor Pool	Walking 10 min, hip extension, flexion, abduction and adduction without and with float flipper; leg press with floats; running in deep water without body weight
On-Field Rehabilitation	-
Training With the Team	-
Days 30-42	
ROM	Flexion: heel slide, active assisted flexion
Strength	Knee flexors (2 kg, 2 x 15 rep); wall slide (6 x 10 rep); seated knee extension (4 kg, 6 x 15 rep, 6 x 15 s); leg press (elastic) with 1 leg (6 x 10 rep); leg press with 1 leg (50 kg, 6 x 15 rep)
Proprioception	Unstable surfaces monopodal, bouncer for 10 min
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	15 min at the end of the session
Warming-up and Aerobic	Treadmill walk 10 min at 5.5 km/h 0% grade; running 10 min at 7 km/h, 0%-3% grade; stepper, 10 min (level 6)
Indoor Pool	Back swimming, stretching, crawl swimming with small board; exercises with small and long flippers; forward, lateral skips; running in deep water without body weight, running in low water with weight bearing; jumps, headings; free swimming
On-Field Rehabilitation	-
Training With the Team	-
Days 43-59	
ROM	Stretching exercises
Strength	Knee flexors (2 kg, 2 x 15 rep); wall slide (6 x 10 rep); knee rotators (tubing, 8 x 40 rep); seated leg extension (progressively up to 40 kg, from 90° to full extension, 8 x 10 rep; progressively up to 45 kg, from 45° to full extension, 6 x 15 rep); isokinetic knee extension (300°/s, 6 x 10 rep), NMES 20 min vastus lateralis and medialis
Proprioception	Bouncer 10 min
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	15 min at the end of the session
Warming-up and Aerobic	Treadmill walk 10 min at 5.5 km/h 0% grade; running 10 min at 7.5 km/h, 0-6% grade
Indoor Pool	-
On-Field Rehabilitation	Slow running, exercises for a correct running pattern; circular running, bends, changing directions, sprint, decelerations, stop and go; anaerobic threshold running for 8 min
Training With the Team	Tactical skills at game intensity

**Figura 6.** Return to official Italian First Division soccer games within 90 days after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report. (Roi GS, Creta D, Nanni G, Marcacci M, Zaffagnini S, Snyder-Mackler L. 2005)

TABLE 2 (continued)

Postoperative Days/Treatment Categories	Regimen
Days 60-72	
ROM	Stretching exercises
Strength	Knee flexors (3 kg, 2 x 15 rep); knee internal rotators (tubing, 8 x 40 rep); seated leg extension (40 kg from 90° to full extension, 8 x 10 rep; 45 kg from 45° to full extension, 6 x 15 rep); isokinetic knee extension (300°/s, 4 x 20 rep), NMES 20 min vastus lateralis and medialis
Proprioception	Bouncer and proprioception exercises for 10 min
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	-
Warming-up and Aerobic	Treadmill walking 10 min at 5.5 km/h, 0%-3% grade
Indoor Pool	-
On-Field Rehabilitation	Running, individual and collective technique with soccer ball; dribbling, submaximal shooting; anaerobic threshold running for 20 min
Training With the Team	Tactical skills at game intensity
Days 73-90	
ROM	Stretching exercises
Strength	Knee flexors (4 kg, 2 x 15 rep); hip internal rotators (tubing, 8 x 40 rep); leg press (70 kg, 6 x 10 rep slow); leg extension (40 kg from 90° to full extension, 8 x 10 rep; 45 kg from 45° to full extension, 6 x 15 rep)
Proprioception	Bouncer and proprioception exercises for 10 min
Massage	Lower limbs 30 min
Ice	-
Warming-up and Aerobic	Treadmill walking 10 min at 5.5 km/h, 0%-3% grade
Indoor Pool	-
On-Field Rehabilitation	Running, sprinting, changing direction, decelerations; individual technique with ball, team drills; small- to large-sided soccer matches (2 to 2; 4 to 4), jumping, shooting, tackling; anaerobic threshold running 20 min
Training With the Team	Tactical skills at game intensity

Abbreviations: NMES, neuromuscular electrical stimulation; rep, repetitions.

**Figure 7.** Return to official Italian First Division soccer games within 90 days after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report. (Roi GS, Creta D, Nanni G, Marcacci M, Zaffagnini S, Snyder-Mackler L. 2005)

## ANEXO VI.



**Figura 8.** Dinamómetro isocinético. Elaboración propia



**Figura 9.** Dinamómetro isocinético. Elaboración propia



**Figura 10.** Herramienta de medición de dinamómetro isocinético. Herramienta 701.  
Elaboración propia



**Figura 11.** Herramienta de medición de dinamómetro isocinético. Sujeción tobillo.  
Elaboración propia



**Figura 12.** Cinchaje para medición en dinamómetro isocinético. Elaboración propia



**Figura 13.** Posición para medición en dinamómetro isocinético. Elaboración propia

## ANEXO VII.

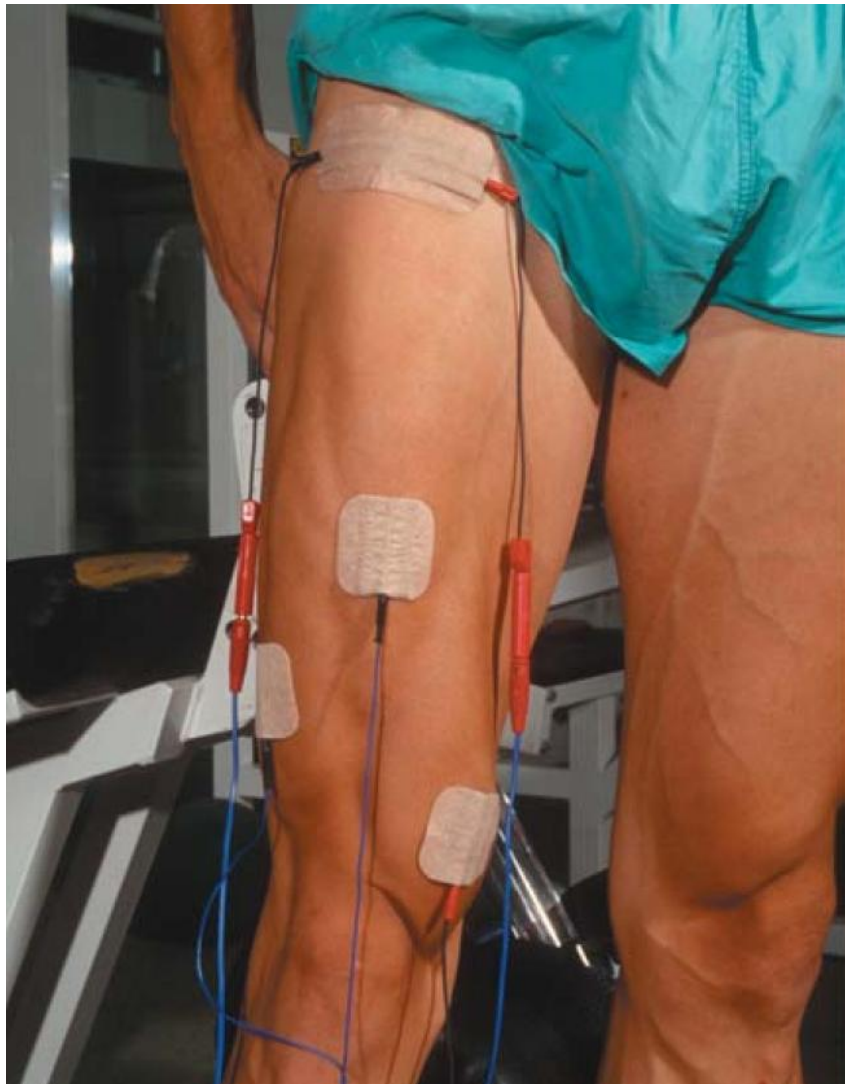


**Figura 14.** Realización del ejercicio terapéutico del estudio. Sentadilla con autocarga.

Elaboración propia.



## ANEXO VIII.



**Figura 15.** Metodología de la electroestimulación en el deporte. (Garcia Basas A. 2001)

## ANEXO XI.



### SOLICITUD DE COLABORACIÓN DE LA ESCUELA EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA PROYECTOS PROPIOS Y NO PROPIOS.

(Modelo CINV-01)

*(Aprobado por la Comisión de Investigación con fecha de 5 de abril de 2016).*

**Nombre del solicitante.** Sergio Martínez Benito

**¿El proyecto está integrado en un grupo de investigación aprobado por la universidad?**

SI.

**Título del proyecto.** Eficacia de tratamiento de ejercicio terapéutico dinámico con y sin electro estimulación para ganancias en valores cinéticos y cinemáticos en una plastia de Ligamento Cruzado Anterior de rodilla en futbolistas de alto rendimiento.

#### **Justificación.**

Una de las lesiones más comunes en la articulación de la rodilla, es la rotura del ligamento cruzado anterior. Está lesión es muy común en deportes en los que se produzcan saltos, aceleraciones, desaceleraciones y giros, como pueden ser baloncesto y voleibol, pero el más común es el fútbol. Además, normalmente se produce más en mujeres que en varones, entre la segunda y tercera década de vida. La sintomatología más común en la rotura del ligamento cruzado anterior es dolor intenso en la rodilla, inflamación, hemartros y posible derrame articular, por lo que será primordial un buen examen físico para su diagnóstico. En la actualidad, existen diferentes protocolos de rehabilitación y métodos de entrenamiento para una rápida recuperación, como es el caso de la electroestimulación, con la que podremos devolver la actividad inicial al cuádriceps y evitar su atrofia, y conseguir un plus de fortalecimiento en estadios finales de rehabilitación.

## **Resumen.**

*(Se presentará un breve resumen del estudio previsto, con un máximo de 150 palabras, reflejando objetivo general y aspectos principales de la metodología).*

*Objetivo:* Valorar si existe variación en los datos cinéticos y cinemáticos en una fase de fortalecimiento de ligamento cruzado anterior (LCAE) de rodilla en futbolistas de alto rendimiento con una edad comprendida entre los 20-25 años mediante ejercicio terapéutico dinámico con y sin electroestimulación, donde a ambos grupos se les aplica un tratamiento habitual.

*Metodología:* Se ha redactado un proyecto de investigación en el que se ha diseñado un estudio experimental, longitudinal prospectivo, en sujetos de futbol profesional intervenidos de ligamento cruzado anterior con edades entre los 20-25 años. Todos los sujetos recibieron las intervenciones de manera aleatorizadas, ejercicio terapéutico sin electroestimulación y ejercicio terapéutico con electroestimulación. Se realizan dos mediciones con dinamómetro isocinético, una antes y otra después de la intervención, en las que se valorará la FMI, el tiempo de aparición de la FMI, la fuerza isocinética a 240°/s y el ratio Q/H.

## **Recursos que solicita a la Escuela.**

Uso del dinamómetro isocinético del laboratorio de biomecánica de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios”.

## **Aspectos Éticos del estudio.**

Respecto al tratamiento de los datos de los participantes, señale la opción que corresponda:

- El investigador tendrá acceso a los datos de carácter personal y/o clínico.
- Se recogerán datos de forma anónima o los datos procederán de registros anonimizados en los que el investigador no tendrá acceso a datos personales.

Fecha.....

Firma del solicitante.....

**Dictamen de la Comisión de Investigación de la Escuela.**

- Aprobación: en caso pertinente, el solicitante debe adjuntar el informe favorable del Comité Ético de Investigación Clínica del centro sanitario donde se llevará a cabo el estudio, u otro con competencias para la evaluación del proyecto:
- Comité Ético de Investigación Clínica.
- Se deniega la solicitud.

Fecha de la reunión de la Comisión.....

Firma del Presidente/a de la Comisión.....