

**Grado en Fisioterapia**

## **Trabajo Fin de Grado**

**Título:**

***Evaluar la eficacia de la electroestimulación  
neuromuscular para la rotura del ligamento cruzado  
anterior en futbolistas.***

Alumno: Celeste Sánchez García - Esteban

Tutor: Elisa María Benito Martínez

**Madrid, mayo de 2021**

## INDICE:

1.	Antecedentes y estado actual del tema.....	6
3.	Objetivos del estudio .....	29
4.	Hipótesis.....	30
5.	Metodología.....	31
a)	Diseño.....	31
b)	Sujetos de estudio .....	32
c)	Variables .....	34
d)	Hipótesis operativa .....	35
e)	Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis .....	36
f)	Limitaciones del estudio.....	38
g)	Equipo investigador .....	38
6.	Plan de trabajo .....	38
a)	Diseño de la intervención.....	38
b)	Etapas de desarrollo .....	44
c)	Distribución de tareas de todo el equipo investigador .....	45
d)	Lugar de realización del proyecto .....	45
7.	Listado de referencias .....	46

## **Resumen**

### Antecedentes:

El ligamento cruzado anterior es una estructura de colágeno que se encuentra en el interior de la articulación. Las lesiones producidas en el ligamento cruzado anterior son unas de las lesiones más comunes, suelen afectar con mayor frecuencia a jóvenes que practican deportes que impliquen saltos, pivotajes y cambios de dirección.

Algunos estudios han observado que deportistas femeninas tienen de dos a ocho veces mayores posibilidades de sufrir lesiones del ligamento cruzado anterior, practicando ambos sexos deportes de aterrizaje y pivotaje.

En cuanto al mecanismo de lesión por el que se suele dar más frecuentemente la rotura del ligamento cruzado anterior es un cambio de pivote que conlleva un valgo de rodilla y una rotación interna de la tibia.

El paciente puede sentir un crujido en la rodilla además de incapacidad para apoyar sobre la pierna lesionada, inflamación de la articulación y dolor que genera impotencia funcional.

### Objetivo:

Evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para la recuperación de la rotura de ligamento cruzado anterior en futbolistas.

### Metodología:

El estudio que realizaremos será un estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo. Respecto al enmascaramiento, habrá una evaluación ciega, es decir, la persona que evalúa las variables es la única que podrá cegarse. Se extraerán dos grupos de pacientes de forma aleatoria, manera que a un grupo se empleará la electroestimulación durante la recuperación del ligamento cruzado anterior y con el otro grupo, no se empleará. En ambos grupos se realizarán mediciones de las variables fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad.

### Palabras clave:

Ligamento cruzado anterior, electroestimulación, fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad.

## **Abstract**

### Background:

The anterior cruciate ligament is a collagen structure found inside the joint. The injuries produced in the anterior cruciate ligament are one of the most common injuries, they tend to affect more frequently young people who practice sports that involve jumping, pivoting and changes of direction.

Some studies have observed that female athletes are two to eight times more likely to suffer ACL injuries, practicing both landing and pivoting sports.

Regarding the mechanism of injury that tends to occur most frequently, a tear of the anterior cruciate ligament is a pivot change that involves knee valgus and internal rotation of the tibia.

The patient may feel a crunch in the knee as well as an inability to lean on the injured leg, swelling of the joint, and pain resulting in functional impotence.

### Objective:

To evaluate the efficacy of neuromuscular electrostimulation for the recovery of the anterior cruciate ligament tear in footballers.

### Methodology:

The study that we will carried out will be an analytical, experimental, longitudinal and prospective study. Regarding masking, there will be a blind evaluation, that is, the person who evaluates the variables is the only one who can be blinded. Two groups of patients will be extracted at random, so that one group will be used electrostimulation during the recovery of the anterior cruciate ligament and with the other group, it will not be used. In both groups, measurements of the variables maximum force, maximum power and elasticity index will be carried out.

### Keywords:

Anterior cruciate ligament, electrostimulation, maximum strength, maximum power and elasticity index.

## Tabla de abreviaturas

LCA	Ligamento cruzado anterior
CI	Consentimiento informado
NMES	Electroestimulación neuromuscular
SJ	Squat jump
CMJ	Counter movement jump
ROM	Rango de movimiento
PTS	Pendiente tibial posterior
RTP	Return to play
LSI	Índice de asimetría

## **1. Antecedentes y estado actual del tema**

Las lesiones producidas en el ligamento cruzado anterior son una de las lesiones más comunes, suelen afectar con mayor frecuencia a jóvenes que practican deportes que impliquen saltos, pivotajes y cambios de dirección, como son el fútbol, baloncesto, balonmano y voleibol. (1)

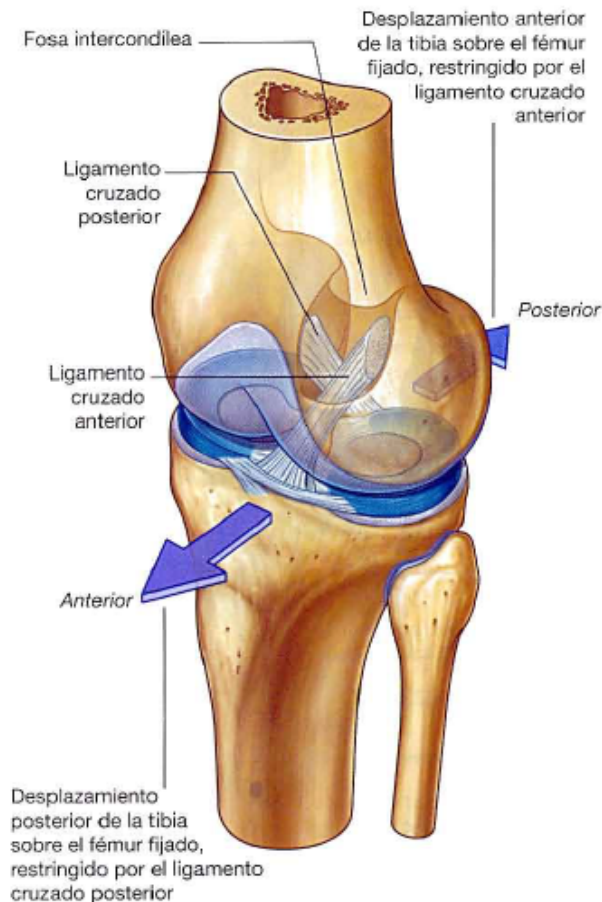
El ligamento cruzado anterior es una estructura de colágeno que se encuentra en el interior de la articulación, es decir, es intraarticular y a su vez, extrasinovial. Existen dos ligamentos cruzados en la articulación de la rodilla, más específicamente en la región intercondílea, conectando el fémur y la tibia.

- El ligamento cruzado anterior se inserta en una carilla de la parte anterior del área intercondílea de la tibia, y asciende en sentido posterior para insertarse en una carilla de la porción posterior de la pared lateral de la fosa intercondílea del fémur. El ligamento cruzado anterior está formado por dos haces, el haz anteromedial y el haz posterolateral.
- El ligamento cruzado posterior se inserta en la cara posterior del área intercondílea de la tibia y asciende en sentido anterior para insertarse en la pared medial de la fosa intercondílea del fémur.

La función del ligamento cruzado anterior es evitar la translación anterior de la tibia respecto al fémur, el haz anteromedial se tensa en flexión, entre los 60 y 90 grados, y el haz posterolateral se tensa en extensión completa y controla los movimientos de rotación. Posee otras funciones como limitar el valgo y el varo cuando la rodilla se encuentra en extensión completa. (1)

La posición en la que el ligamento cruzado anterior se encuentra con mayor tensión es en hiperextensión o en los últimos 30 grados de extensión, junto con fuerzas en rotación interna de tibia y valgo de rodilla. (1)

La función del ligamento cruzado posterior es evitar la translación hacia posterior de la tibia respecto al fémur. (2)



**Imagen 1:** anatomía de la rodilla. (2)

Imagen obtenida del libro Anatomía Gray para estudiantes.

En cuanto a la inervación, el ligamento cruzado anterior está inervado por una rama del nervio tibial que proporciona mecanorreceptores que participan en la propiocepción. (3)

En la articulación de la rodilla, existen otras estructuras que dan estabilidad y que ayudan a prevenir lesiones. Estas estructuras son los ligamentos colaterales de la rodilla, la cápsula articular, meniscos, tendones periarticulares y los músculos que intervienen en los movimientos de la articulación.

- Ligamento colateral peroneo, tiene forma de cordón y se inserta en el epicóndilo femoral lateral y en la cabeza del peroné.
- Ligamento colateral tibial, ancho y plano, se inserta en el epicóndilo femoral medial y en la superficie medial de la tibia. (2)

Los músculos que participan en la estabilidad de la articulación de la rodilla son: cuádriceps (vasto medial, intermedio y lateral) y recto anterior del cuádriceps, sartorio, grácil, aductores (largo, corto y mayor), isquioperoneotibiales (bíceps femoral, semitendinoso y

semimembranoso), tensor de la fascia lata, poplíteo y gastrocnemios (medial y lateral).

Las lesiones de ligamento cruzado anterior son más comunes en mujeres frente a los hombres, estudios han observado que deportistas femeninas tienen de dos a ocho veces mayor posibilidades de sufrir lesiones del ligamento cruzado anterior, practicando ambos sexos deportes de aterrizaje y pivotaje. (1)

Un estudio observó durante 14 años y en 78 clubes de fútbol diferentes el número de jugadores que se lesionaba del ligamento cruzado anterior. Se dieron un total de 140 roturas totales y 17 roturas parciales, siendo las edades medias de 24'7 años para la rotura total y 26'6 años para la rotura parcial. Respecto al momento de la lesión, la tasa de lesiones del LCA fue 20 veces mayor durante los partidos frente a los entrenamientos. (4)

Un 98'6% de los futbolistas con rotura total se sometieron a reconstrucción del LCA. Tras la cirugía y su posterior recuperación, pudieron volver al entrenamiento, un 6'7% sufrieron complicaciones. (3,5)

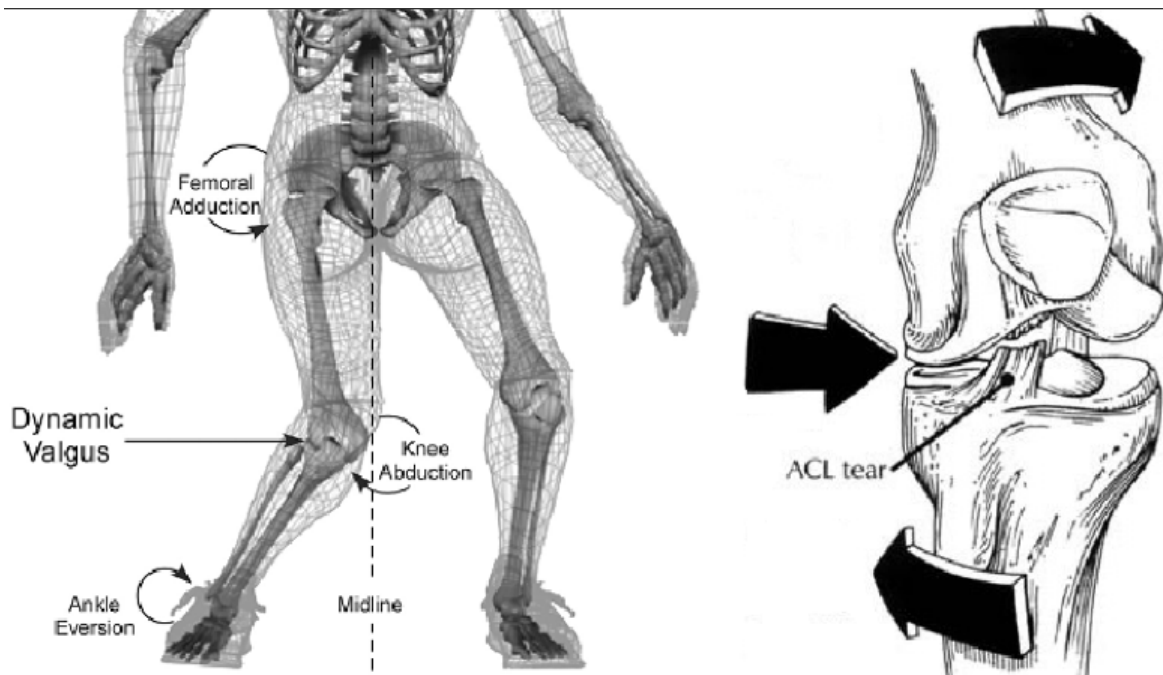
El periodo de recuperación medio tras la reconstrucción del LCA fue de 6'6 meses para volver al entrenamiento y de 7'4 meses para jugar partidos. Se hizo un seguimiento durante 3 años de los futbolistas lesionados, un 87'1% seguía jugando al fútbol, de los cuales, un 64'5% de los futbolistas con reconstrucción del LCA jugaban al mismo nivel y un 22'6% en un nivel inferior, tan solo un 12'9% de los jugadores finalizaron su carrera deportiva. (4)

En cuanto a las características del jugador, la mayoría de los jugadores lesionados, un 43%, jugaban de defensas, un 31% eran mediocampistas, un 20% delanteros y un 6% porteros. Se observó que el número de incidencia de lesiones del LCA era mayor en aquellos equipos que se encontraban en las cuatro primeras posiciones en comparación con los equipos que se clasificaron entre la quinta y la vigésima posición. (5)

La rotura del ligamento puede darse por diferentes causas, ya sea por contacto directo o por contacto indirecto, como aterrizar después de un salto, una parada brusca o un cambio de dirección repentino en el que se incluye el movimiento de la rodilla. Aproximadamente, entre un 70% y un 80% de las lesiones del ligamento cruzado anterior se dan por contacto indirecto. (6)

El mecanismo de lesión por el que se suele dar más frecuentemente la rotura del ligamento cruzado anterior es un cambio de pivote que conlleva un valgo de rodilla y una rotación interna de la tibia, en el caso de que sea en un aterrizaje, el deportista se lesiona tras caer con la cadera y rodilla extendidas, rodilla en valgo, tibia en rotación interna y pie en pronación. (1)





**Imagen 2:** mecanismo de lesión del LCA.

Imagen 2 obtenida de la página web: <https://globalphysio.es/rotura-del-ligamento-cruzado-anterior/>

En la mayoría de los casos, los atletas en el momento de la lesión, se encuentran en apoyo monopodal y el centro de gravedad del cuerpo por detrás de la rodilla. En esta posición, la contracción del cuádriceps cursa con una translación anterior de la tibia generando alta tensión en el LCA, en cambio, los músculos isquioperoneotibiales, no pueden proteger suficientemente el LCA contra la fuerza realizada por los cuádriceps hacia anterior. Por lo que, se produce una descompensación en la contracción del músculo cuádriceps frente a los isquioperoneotibiales. (7)

CAUSAS	
Sin contacto, rotación interna/rotación externa	El cambio brusco de dirección produce una rotación de la tibia generando una rotura del LCA. El 80% de las lesiones de LCA son generadas por este mecanismo.
Contracción del cuádriceps	La contracción del cuádriceps aumenta la fuerza en el LCA. Posición del jugador durante la lesión: cuerpo flexionado hacia anterior, cadera en abducción, rodilla en rotación interna/externa con valgo, tobillo en pronación. Los isquiotibiales se activan de forma tardía y no evitan la rotura del LCA.
Por contacto directo	Traumatismo directo en la parte externa de la rodilla cuando ésta se encuentra flexionada y rotada. Primero hay lesión del ligamento colateral medial, y posteriormente, del LCA.

**Tabla 1:** causas más comunes de rotura del ligamento cruzado anterior. (8)

En alguna ocasión, el deportista no se lesiona únicamente el LCA, sino que la lesión viene acompañada de la lesión del ligamento interno y menisco. Cuando se encuentran dañados más elementos de la articulación, hay un mayor riesgo de que el deportista sufra de osteoartritis. (9)

Respecto a la clínica que presenta el paciente, puede aparecer sensación de crujido en la rodilla, incapacidad para apoyar sobre la pierna lesionada, inflamación de la articulación y dolor que genera impotencia funcional. (10)

Para diagnosticar una rotura del ligamento cruzado anterior se realiza la prueba de cajón anterior de la rodilla o la prueba de Lachman. La prueba de cajón anterior se realiza con el paciente en decúbito supino y con la rodilla flexionada aproximadamente 90 grados, en esa posición se realiza una tracción hacia delante la tibia en su extremo proximal. El test es positivo si hay una translación anterior anormal de la tibia. (8)



**Imagen 3:** prueba de cajón anterior

Imagen obtenida de la página web: <https://practicafisio.wordpress.com/2016/01/26/somos-conscientes-realmente-de-la-gravedad-de-la-rotura-del-ligamento-cruzado-anterior-lca-2/>



**Imagen 4:** prueba de Lachman

Imagen obtenida de la página web:

<https://raulromerodelrey.wordpress.com/2015/08/11/exploracion-clinica-de-la-rodilla/>

Como ambas pruebas pueden ser positivas por una hiperlaxitud capsular, se le realiza al paciente una resonancia magnética (RM).



**Imagen 5:** RM de LCA normal



**Imagen 6:** RM de rotura de LCA

Imagen 5 obtenida de la página web:

[http://www.cirugiadeldeporte.es/\\_rm\\_y\\_la\\_rotura\\_del\\_ligamento\\_cruzado\\_anterior\\_\(lca\)-f-2-c-2329-sc-61-a-760049.html](http://www.cirugiadeldeporte.es/_rm_y_la_rotura_del_ligamento_cruzado_anterior_(lca)-f-2-c-2329-sc-61-a-760049.html)

Imagen 6 obtenida de la página web:

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-93082008000100004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082008000100004)

Los factores de riesgo no modificables de sufrir una rotura del LCA son la laxitud ligamentosa generalizada, la edad, el sexo, antecedentes de lesiones musculotendinosas en rodilla o tobillo y la anatomía de la rodilla, pues un valgo mayor al fisiológico se considera un factor de riesgo para la rotura del LCA. Existen otros factores de riesgo en relación con el deporte que son el tipo de deporte y el suelo o césped en el que se realiza dicho deporte. (9)

En cuanto a los factores de riesgo que se pueden modificar son la inestabilidad de la rodilla por una descompensación de los flexores – extensores de rodilla y aductores – abductores de la articulación coxofemoral, la fatiga muscular y los déficits propioceptivos. (11)

Otro estudio observó que entre los numerosos factores de riesgo en la rotura del ligamento cruzado anterior se incluían: una disminución del volumen del LCA, muesca intercondilar femoral estrecha, ancho bicondilar más estrecho y un aumento en la pendiente tibial posterior lateral. (12)

Los atletas con un predominio de la musculatura extensora de rodilla frente a la musculatura flexora tienen mayor riesgo de sufrir rotura del LCA, pues si los músculos isquioperoneotibiales no se activan rápidamente como reacción al estímulo de lesión, se

produce una translación anterior de la tibia generando la rotura del LCA. (11)

Referente al fútbol, la calidad del juego y del entrenamiento tiene un papel muy importante con el riesgo de sufrir una lesión del LCA. Se ha estudiado que los futbolistas que juegan dos partidos a la semana tienen mayor riesgo de sufrir una rotura del LCA. Además, los equipos que compiten por conseguir clasificaciones más altas tienen mayor riesgo, pues emplean tácticas de presión y un estilo de juego de alta velocidad que tiene una correlación importante con los mecanismos de lesión del LCA. (5)

La rotura del ligamento cruzado anterior puede ocasionar consecuencias a corto plazo, como son una nueva ruptura del LCA durante la fase de rehabilitación o previo a la competición, rupturas tempranas en los tres primeros meses de la vuelta a los partidos o, incluso, en el primer partido tras salir de la rehabilitación. La rotura posterior del injerto ipsolateral tras la reconstrucción suele ser una lesión frecuente en los jugadores más jóvenes que regresan al deporte. (4)

La lesión del ligamento cruzado anterior también puede tener consecuencias a largo plazo, como son subluxaciones repetitivas que conllevan lesiones de meniscos y cartílagos. Como consecuencia, la rotura del LCA aumenta la incidencia de osteoartritis. La reconstrucción del LCA reduce el riesgo de sufrir osteoartritis. Un estudio determinó que sólo un 50% de los deportistas vuelven al mismo nivel de actividad previo a la lesión, de los cuales, entre un 7% y un 24% de los pacientes a los que se les reconstruyó el ligamento, sufrieron posteriormente una rotura del LCA de la rodilla contralateral. (11)

La reconstrucción del LCA se suele realizar utilizando un injerto del mismo paciente, es decir, un autoinjerto. La mayoría de las veces ese injerto suele ser de los isquiperoneotibiales. Un estudio determinó que los autoinjertos de tendón rotuliano generan un riesgo significativamente menor de revisión en comparación con los pacientes que recibieron un autoinjerto de los isquiperoneotibiales. (13)

Los injertos de isquiperoneotibiales suelen realizarse más específicamente del tendón de la corva, es decir, un tendón común posteromedial de la cabeza larga del bíceps y del semitendinoso en su unión con la tuberosidad isquiática.

Se comparó la diferencia de fuerza máxima en los isquiotibiales en la pierna lesionada, en relación con el injerto utilizado; se observó que hay mayor fuerza máxima con un injerto de isquiperoneotibiales en comparación con un injerto realizado con tendón rotuliano. (14)

Tras la reconstrucción del LCA, se realizará un tratamiento rehabilitador para que el jugador vuelva a tener la misma capacidad de esfuerzo y se recupere completamente lo antes posible. El tratamiento que se realizará en los jugadores comenzará desde el momento de la lesión,

previo a la operación y tras la operación.

El tratamiento previo a la operación se realiza para preparar a la articulación para la cirugía y conseguir un máximo rendimiento de la rehabilitación. El tratamiento fisioterapéutico preoperatorio intenta aumentar la fuerza muscular del paciente y su capacidad funcional, facilitando la recuperación postquirúrgica. La media de sesiones preoperatorias será aproximadamente 27, recibiendo entre 2 y 4 sesiones a la semana. (15)

Tras la cirugía, se recomienda movilizar lo más temprano posible la articulación, así como el entrenamiento neuromuscular y de la fuerza según tolerancia del paciente. (16)

Uno de los factores más importantes en la rehabilitación tras la cirugía de reconstrucción del LCA es recuperar la fuerza en los cuádriceps e isquiotibiales. Asimismo, se ha observado que tener una fuerza simétrica en ambos cuádriceps se asocia a una disminución del riesgo de que el jugador sufra una nueva lesión. Por ello, desde el primer día tras la operación, se le recomienda al jugador realizar activaciones musculares isométricas. (17,18)

Para valorar el índice de simetría de las extremidades (LSI), es decir, la fuerza entre ambos cuádriceps e isquiotibiales, se calculará:

$$LSI = \frac{\text{fuerza máxima de la pierna lesionada}}{\text{fuerza máxima de la pierna no lesionada}} \cdot 100$$

Tras la reconstrucción del LCA se emplean otras técnicas como crioterapia, compresión, termoterapia y electroterapia, siendo la electroestimulación neuromuscular uno de los métodos más recurrentes para evitar la atrofia y recuperar adecuadamente al músculo. (18)

El Colegio Americano de Medicina Deportiva aconsejó realizar entrenamiento de fuerza tras la reconstrucción del LCA de dos a tres veces por semana, realizando de dos a cuatro series al 60% - 80% de esfuerzo máximo con descansos de aproximadamente 3 minutos, para trabajar la hipertrofia muscular y, así, mejorar la fuerza muscular y evitar toda secuela de atrofia tras la lesión. (17)

El protocolo de entrenamiento de fuerza tras la reconstrucción, se distribuye en cuatro fases. Para pasar a la siguiente fase, el jugador debe cumplir los criterios necesarios que le solicita su médico deportivo.

<p>FASE 1 (2 semanas)</p>	<p>Se recomienda a los jugadores realizar elevaciones de piernas, caminar con muletas, descansar y curar las heridas.</p>	<p>Objetivos: Conseguir la extensión completa de la rodilla, reducir el dolor del paciente y realizar ejercicios para activar la musculatura del cuádriceps.</p>
<p>FASE 2 (14 semanas)</p>	<p>Se incluyen ejercicios de resistencia muscular, 2 series máximo de 15 repeticiones a &lt;50% de 1RM, descansando aproximadamente 3 minutos. Únicamente se realizaron ejercicios de cadena cinética cerrada (CCC) y de cadena cinética abierta (CCA) sin carga.</p>	<p>Objetivos: Mejorar la resistencia muscular de cuádriceps e isquiotibiales. Importante que los ejercicios se realicen sin derrame o dolor articular.</p>
<p>FASE 3 (14 semanas)</p>	<p>Se trabaja la fuerza y la resistencia muscular realizando ejercicios de 2 series de 25 repeticiones a 50% de 1RM con 3 minutos de descanso. Además, se incluyen ejercicios de equilibrio, carrera, técnica de salto, aterrizaje.  Se emplean ejercicios de CCC y CCA con resistencia.</p>	<p>Objetivos: Mejorar la fuerza muscular para normalizar la simetría de fuerza entre ambas piernas.  Recuperar el rango completo de movimiento.</p>
<p>FASE 4 (16 semanas)</p>	<p>Se abordaron ejercicios con mayor número de series, más de 5 series de 3 repeticiones, con una intensidad &gt;80% de 1RM para trabajar la fuerza muscular. Asimismo, la resistencia se trabajó realizando 2 series de 25 repeticiones con una intensidad &lt;50% de 1RM.</p>	<p>Objetivos: Normalizar la asimetría de fuerza y resistencia muscular entre ambas piernas.  Posteriormente, se realizó la rehabilitación en el campo.</p>

**Tabla 2:** protocolo de entrenamiento de fuerza. (14)

En la fase 2, algunos de los ejercicios de CCA que se pueden realizar con el jugador son flexión y extensión de pierna, sin resistencia y sin realizar el rango completo de movimiento. En cuanto a los ejercicios de CCC más comunes son diferentes tipos de sentadilla, peso muerto, step-ups, puentes de glúteos... (17)

Se ha demostrado que realizar ejercicios excéntricos tras la reconstrucción del LCA mejora notablemente la fuerza muscular en comparación con los ejercicios concéntricos tradicionales, por ello, se incluirán este tipo de ejercicios en la rehabilitación del jugador tan pronto como éste se encuentre preparado. (19,20)

Se conoce que un entrenamiento adecuado del equilibrio, un entrenamiento neuromuscular, de fuerza y de flexibilidad puede reducir el riesgo de lesión del LCA. El objetivo de este programa de entrenamiento se basaba en modificar los patrones de movimiento evitando posiciones articulares que conlleven a la lesión, evitando, a su vez, movimientos bruscos. Este programa de entrenamiento enseña a los jugadores a desarrollar estrategias de prevención ante el estímulo que genera la lesión.

- Entrenamiento de equilibrio

El entrenamiento de equilibrio mejora la propiocepción del jugador, es decir, la información proporcionada a través de los mecanorreceptores que se encuentran en músculos, elementos de las articulaciones y piel.

El control neuromuscular entre los músculos flexores y extensores de rodilla es imprescindible para equilibrar la tensión en el LCA. El entrenamiento de equilibrio puede realizarse con diferentes ejercicios y materiales, un estudio determinó que el entrenamiento unilateral sobre una tabla de equilibrio reduce significativamente el riesgo de sufrir rotura del LCA.

- Entrenamiento neuromuscular

El entrenamiento neuromuscular busca incrementar la activación de los músculos glúteos e isquiotibiales, reduciendo el desequilibrio entre cuádriceps e isquiotibiales que desencadena la rotura del LCA.

El estudio de Hewett demostró que ejercicios de salto específicos son beneficiosos para mejorar el equilibrio entre flexores y extensores de rodilla. (21)

- Entrenamiento de fuerza

El trabajo de fuerza sobre los músculos que intervienen en la articulación de la rodilla, abductores de cadera y estabilizadores de tronco se considera crucial para la reducción del riesgo de lesión. Se observó que los jugadores no sólo tienen que realizar ejercicios de fuerza estáticos, sino incluir en el entrenamiento ejercicios dinámicos.



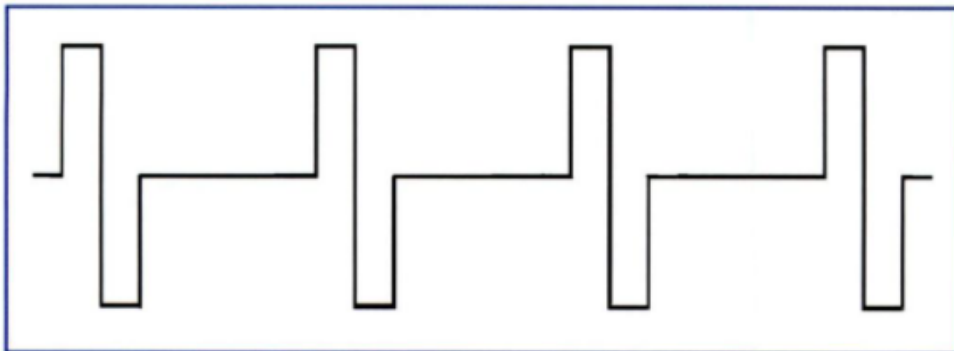
En el ejercicio, el jugador debe prestar atención al movimiento en excéntrico, realizándolo lento y de manera controlada. Asimismo, el jugador debe realizar ejercicios pliométricos que mejoren la potencia muscular. (9)

- Ejercicios de running y flexibilidad

Ejercicios de carrera, como son, correr hacia delante, pasos laterales, correr hacia atrás, correr con rotaciones de cadera... son ejercicios adecuados para la prevención de lesión de LCA. Se debe tener cuidado para que el jugador no realice un valgo durante la ejecución del ejercicio. (11)

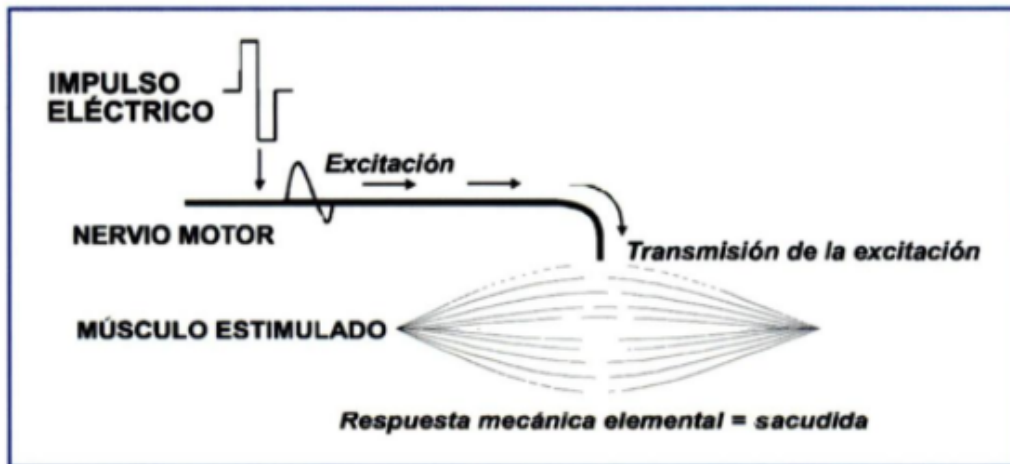
La electroestimulación es una técnica que produce potenciales de acción en las células nerviosas y musculares, a través de impulsos eléctricos.

Para reclutar mayor número de fibras, emplearemos parámetros que podremos modificar (ancho del impulso, frecuencia, intensidad eléctrica), en cuanto a la forma de impulso, está será compensada, pues la contracción muscular es mayor cuando la corriente del impulso tiene la misma duración y forma en la fase positiva y en la fase negativa. Es decir, emplearemos una onda bifásica simétrica.



*Imagen 7: forma del impulso (22)*

El impulso eléctrico es un parámetro esencial que provocará la excitación de las motoneuronas, mandando éstas la orden a las fibras, a través de la placa motora, que generarán una respuesta denominada sacudida.



*Imagen 8: sacudida muscular tras impulso eléctrico (22)*

En el tratamiento con electroestimulación neuromuscular, los parámetros que modificaremos para la rehabilitación del LCA son:

- Frecuencia de impulso

La frecuencia de impulso es el número de veces que se repite un impulso en un segundo. Se expresa en hercios (Hz). Este parámetro va a variar según los objetivos principales que tengamos en nuestro paciente.

En el caso de la rehabilitación tras reconstrucción del LCA, nuestro objetivo principal es devolver al futbolista la fuerza y potencia muscular, para conseguir así una recuperación más rápida y eficaz, consiguiendo mejores resultados a corto y largo plazo.

Frecuencias (Hz)	Efectos
1 a 10 Hz	Relajación, aumento del riego sanguíneo y de la segregación de endorfinas
10 a 20 Hz	Mejora de la resistencia aeróbica muscular
20 a 50 Hz	Mejora del tono muscular y definición muscular
40 a 70 Hz	Mejora de las capacidades elásticas del músculo y aumento del volumen muscular
70 a 120 Hz	Mejora de la fuerza máxima
90 a 150 Hz	Mejora de la fuerza explosiva, elástica y reactiva

**Tabla 3:** efecto de la electroestimulación según la frecuencia empleada. (22)

- o Tiempo de contracción y reposo

Frecuencias (Hz)	Tiempo de contracción (s)
30 a 70	5 a 8
70 a 100	2 a 6
100 a 150	1 a 5

**Tabla 4:** tiempo de contracción según frecuencia de impulso. (22)

Objetivos principales	Tiempo de reposo (s)	Tiempo de tratamiento (min)
Fuerza y fuerza explosiva	15 a 35	15 a 20
Fuerza de resistencia	4 a 8	12 a 20
Resistencia aeróbica	2 a 5	35 a 45

**Tabla 5:** tiempo de reposo según objetivos principales en el paciente y tiempo de tratamiento. (22)

- Intensidad de corriente

La intensidad de corriente se debe adaptar a la fase de recuperación que se encuentre nuestro paciente. El fisioterapeuta programa la intensidad según tolerancia del paciente, pero cuanto mayor intensidad y tolerancia tenga el jugador, mayor reclutamiento de unidades motoras musculares. (23)

Tras la cirugía, puede estar alterado el tono muscular, generando una debilidad muscular que causa impotencia funcional. A su vez, puede estar alterada la capacidad de activar las fibras musculares, impidiendo la función normal de la articulación y el trabajo muscular voluntario. (24)

Por ello, incluir la ENMS en la rehabilitación del LCA junto con ejercicios activos por parte del futbolista, mejora la fuerza muscular y el rendimiento funcional. Se aplicará NMES en la musculatura del cuádriceps e isquiotibiales, especialmente en cuádriceps, previo a la operación hasta la completa recuperación de la fuerza muscular. (24,25)

Con ello evitaremos la atrofia y el debilitamiento muscular causado por la incapacidad del jugador de realizar con normalidad la actividad física, inclusive movilizar activamente la articulación de la rodilla. (25)

La electroestimulación neuromuscular previamente a la cirugía se aplicará únicamente en el cuádriceps, una sesión con descanso de 48 horas sin aplicar NMES. Postoperatorio, se aplicará NMES, en cuádriceps e isquiotibiales, en días simultáneos, para dejar a cada musculo su correspondiente descanso de 48 horas.

Según el deportista vaya pudiendo realizar ejercicios activos de CCC o CCA, según la fase del entrenamiento de fuerza que se encuentre, se realizarán los ejercicios junto con la terapia de electroestimulación neuromuscular.

- 🚩 Parámetros durante la fase preoperatoria

La frecuencia de impulso que emplearemos será entre 40 Hz, con un ancho de impulso de 380  $\mu$ s, la intensidad del impulso será según tolerancia del paciente. El ciclo de trabajo que se empleará será 6 segundos de contracción, es decir, de encendido, y 18 segundos de relajación, es decir, de apagado.

Las sesiones de NMES durarán 25 minutos, siendo 5 de calentamiento antes de iniciar, 15 minutos de trabajo y, para finalizar, 5 minutos de enfriamiento. Se emplearán electrodos adhesivos que se colocarán en el vasto interno y en el vasto externo del cuádriceps a nivel proximal y a nivel distal.

El calentamiento se realizará junto el fisioterapeuta mediante movimientos activos y pasivos

de la articulación de la rodilla.

#### Parámetros durante la fase postoperatoria

Los parámetros empleados tras la operación variarán según en qué fase del protocolo de fuerza se encuentre el jugador.

- Fase 1 postcirugía

La frecuencia de impulso que emplearemos será de 30 Hz, donde se reclutarán fibras lentas o fibras tipo I, con un ancho de impulso de 350  $\mu$ s en cuádriceps y 330  $\mu$ s en isquiotibiales, en ambos músculos emplearemos la intensidad dependerá de la tolerancia del paciente. El ciclo de trabajo que emplearemos en esta primera fase será de 5 segundos de encendido y 20 segundos de apagado.

- Fase 2 postcirugía

La frecuencia de impulso que emplearemos será de 50 Hz, donde se estimulan las fibras intermedias tipo IIa, con un ancho de impulso de 340  $\mu$ s en cuádriceps y 320  $\mu$ s en isquiotibiales, en ambos músculos emplearemos la intensidad dependerá de la tolerancia del paciente. El ciclo de trabajo que emplearemos en esta primera fase será de 6 segundos de encendido y 18 segundos de apagado.

- Fase 3 postcirugía

La frecuencia de impulso que emplearemos será de 70 Hz, con un ancho de impulso de 330  $\mu$ s en cuádriceps y 310  $\mu$ s en isquiotibiales, en ambos músculos emplearemos la intensidad dependerá de la tolerancia del paciente. El ciclo de trabajo que emplearemos en esta primera fase será de 6 segundos de encendido y 16 segundos de apagado.

- Fase 4 postcirugía

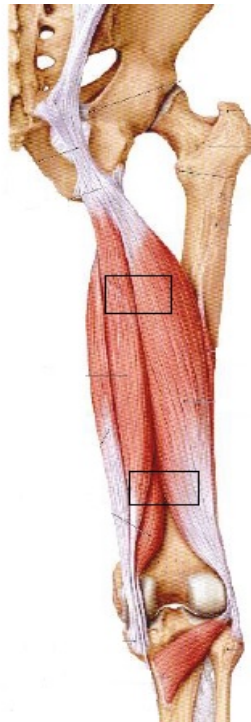
La frecuencia de impulso que emplearemos será de 90 Hz, donde se reclutarán fibras intermedias tipo IIb, con un ancho de impulso de 320  $\mu$ s en cuádriceps y 300  $\mu$ s en isquiotibiales, en ambos músculos emplearemos la intensidad dependerá de la tolerancia del paciente. El ciclo de trabajo que emplearemos en esta primera fase será de 6 segundos de encendido y 15 segundos de apagado.

Cuando el paciente se encuentre en el final de la recuperación, se le podría aumentar la frecuencia de impulso a 100 Hz, donde conseguiremos una supertetanización de las fibras IIm. (26)

Las sesiones de NMES durarán 25 minutos, siendo 5 de calentamiento antes de iniciar, 15 minutos de trabajo y, para finalizar, 5 minutos de enfriamiento. Se emplearán electrodos

adhesivos que se colocarán, en el cuádriceps, en el vasto interno y en el vasto externo del cuádriceps a nivel proximal y a nivel distal, y en los isquiotibiales, colocaremos el electrodo proximal lo más cerca posible de la tuberosidad isquiática y el electrodo distal a nivel del semitendinoso/bíceps femoral distal.

Los electrodos deben estar colocados y alineados de forma longitudinal al músculo, ya que así se alcanzará la máxima contracción. (26)



*Imagen 9: posición de los electrodos para NMES en isquiotibiales. (27)*

Las variables, altura, potencia máxima e índice de elasticidad se evaluarán previo a la cirugía y, a los 9 y 12 meses tras la operación.

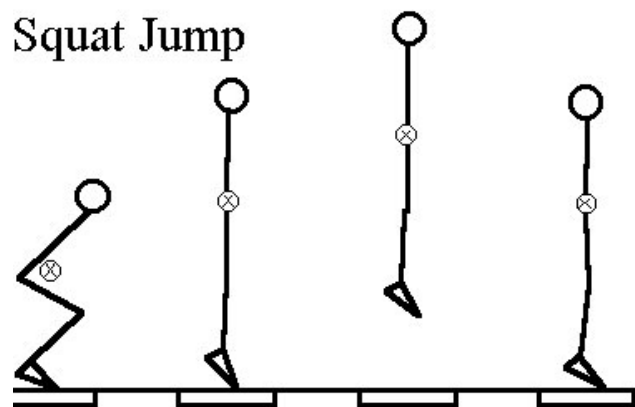
Para evaluar las variables de nuestro estudio, emplearemos una serie de pruebas. Estas pruebas son:

➤ Squat Jump test (SJ)

El test de squat jump consiste en evaluar la altura del salto, el tiempo de vuelo, velocidad máxima y trabajo concéntrico, realizando un salto vertical. El jugador parte desde una posición inicial de flexión de rodilla a 90 grados, desde esta posición, manteniendo la posición durante 2 segundos, realiza un único salto vertical.

Para evitar el sesgo, todos los pacientes deberán colocar las manos sobre sus caderas en el momento del test, evitando el impulso con los miembros superiores. (28)

Con el test squat jump mediremos la fuerza máxima del jugador.



*Imagen 10: Squat Jump Test*

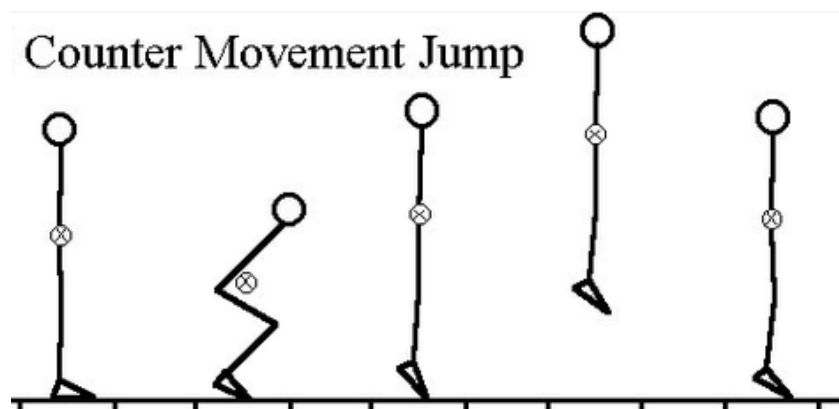
Imagen 10 obtenida de la página web:

<https://www.hawkindynamics.com/blog/squat-jump-test-best-practices>

➤ Counter movement jump (CMJ)

La medición se realizará en una plataforma de fuerza. En el test counter movement jump se evaluará la fatiga muscular en el miembro inferior. Para ello, el jugador partirá desde una posición inicial con las rodillas en extensión y manos sobre sus caderas. Se le pedirá que flexione hasta los 90 grados, es decir, realice una concentración excéntrica de cuádriceps y, posteriormente, salte y extienda el miembro inferior intentando alcanzar la máxima altura. (29)

Con el test CMJ se evaluará la altura máxima del salto, potencia máxima y duración total del salto. (30)



*Imagen 11: Counter Movement Jump Test*

Imagen 11 obtenida de la página web:

<https://www.runnersworld.com/training/a20811000/simple-jump-test-might-predict-race-performance/>

➤ Índice de elasticidad

El índice de elasticidad se calculará mediante la siguiente ecuación: (22)

$$\text{Índice de elasticidad} = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \cdot 100$$

➤ Volumen de los músculos de ambos muslos

En algunos estudios para valorar si el jugador aumenta el volumen de musculatura del cuádriceps e isquiotibiales, se le valora el volumen del muslo. Para ello, en algunos casos emplean la resonancia magnética nuclear (RMN) que a partir de imágenes captadas y programas informáticos se les valora el volumen de los tejidos blandos, es decir, volumen muscular y volumen adiposo. (31)

Sin embargo, otros autores valoran el volumen de masa muscular con una cinta métrica. Se realiza colocando la cinta perpendicular al eje largo del fémur, aproximadamente en la mitad del muslo. Se mide con la rodilla en extensión completa, y se debe realiza en ambas piernas. (32)



## 2. Evaluación de la evidencia

La información ha sido obtenida tras realizar una búsqueda sistemática en las bases de datos: Pubmed, EBSCO y PEDro.

### Búsquedas en Pubmed

PUBMED	#1	Anterior cruciate ligament	2047
	#2	ACL tear	1477
	#3	ACL injury	1571
	#4	ACL rehabilitation	602
	#5	Strenght explosive	141
	#6	Neuromuscular electrical stimulation	193
	#7	ACL soccer	96
	#8	Squat jump	327
	#9	Counter movement jump	72
	#10	Strenght	4
	#11	physioterapy	
	#1 AND #6		2
	#1 AND #5		1
	#1 AND #8		22
	#1 AND #8		9
	#1 AND #9		2
	#5 AND #10		22
	#2 AND #11		163
	#1 AND #6 AND #10		1

Los filtros empleados en PUBMED han sido: últimos 5 años y young adult: 19-24 años.

## Búsqueda en EBSCO

Las bases de datos que he empleado han sido: MEDLINE Complete, CINAHL Complete y Academic Search Complete.

EBSCO	#1	Anterior cruciate ligament	2246
	#2	ACL tear	253
	#3	ACL injury	1511
	#4	ACL rehabilitation	81
	#5	Strenght explosive	65
	#6	Neuromuscular electrical stimulation	341
	#7	ACL soccer	26
	#8	Squat jump	331
	#9	Counter movement jump	94
	#10	Strenght	12547
	#1 AND #6		5
	#1 AND #5		6
	#1 AND #8		10
	#1 AND #9		3
	#5 AND #10		65
#1 AND #6 AND #10		0	

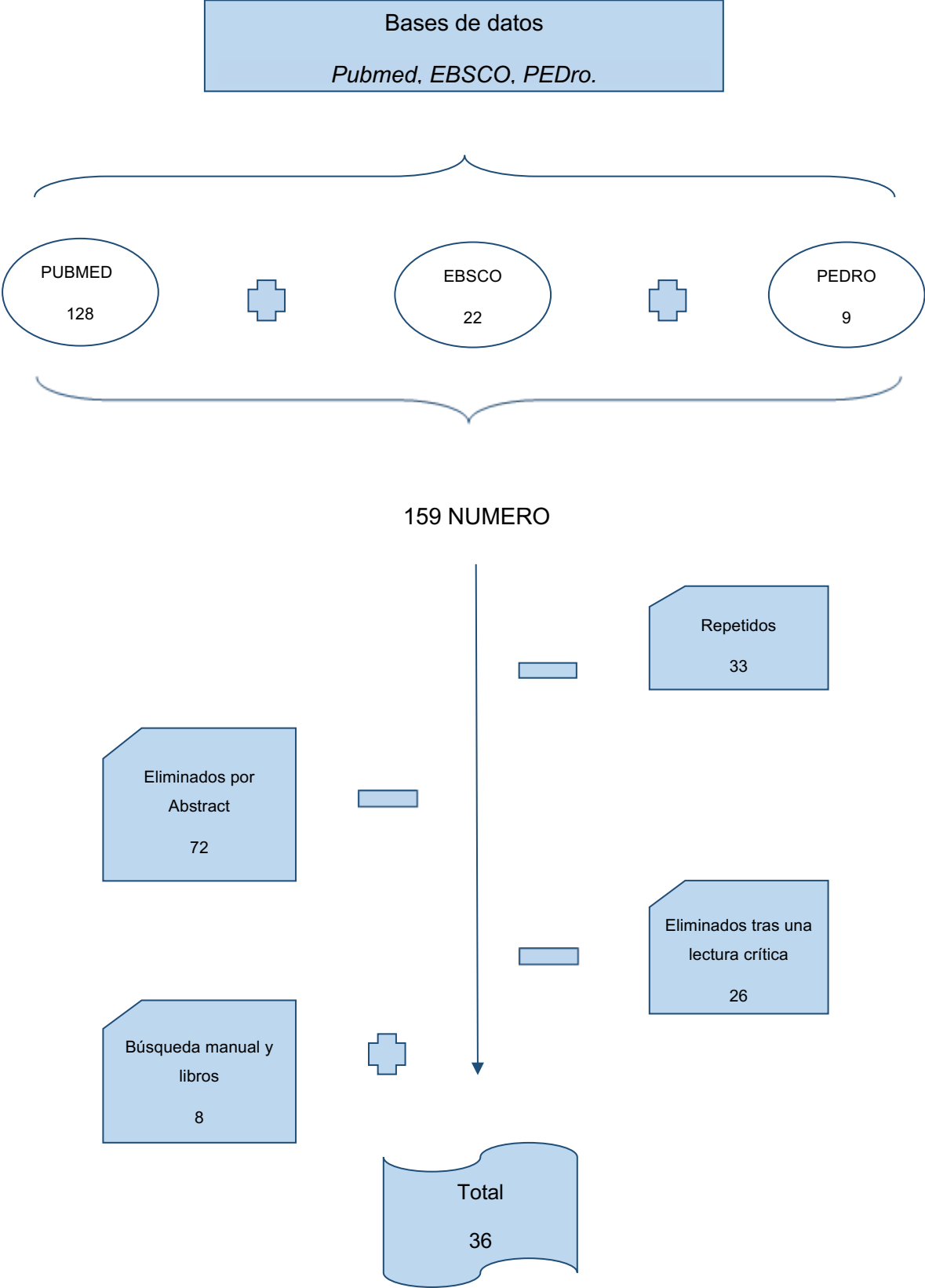
Los filtros empleados en EBSCO han sido: desde 2015 y young adult: 19-24 años.

## Búsqueda en PEDro

<i>PEDro</i>	#1	Anterior cruciate ligament	63
	#2	Neuromuscular electrical stimulation	157
	#3	Rehabilitation ACL	122
	#4	Counter movement jump	11
	#5	Squat jump	18
	#6	Side hop test	9

El único filtro usado en PEDro es “últimos cinco años”.

Diagrama de flujos



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

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular en la recuperación de la rotura de ligamento cruzado anterior en futbolistas.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Dentro de los objetivos específicos debemos destacar:

- Evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para el aumento de la potencia muscular en la rotura del ligamento cruzado anterior en futbolistas.

La potencia que voy a medir será la potencia máxima muscular y la evaluaremos con el test mencionado anteriormente, es decir, el counter movement jump.

- Evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para el aumento de la fuerza máxima en la rotura del ligamento cruzado anterior en futbolistas.

La fuerza máxima la evaluaré con el test squat jump empleando una plataforma de fuerza.

- Evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para la variación del índice de elasticidad en la rotura del ligamento cruzado anterior en futbolistas.

#### **4. Hipótesis**

La electroestimulación neuromuscular junto con el entrenamiento de fuerza mejora la potencia muscular y la fuerza máxima en futbolistas tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Con el test Counter Movement Jump se evaluará la altura máxima del salto, potencia máxima, y duración total del salto. El test de Squat Jump consiste en evaluar la altura del salto, el tiempo de vuelo, velocidad máxima, fuerza máxima y trabajo concéntrico. En ambas pruebas utilizaremos una plataforma de fuerza que nos dará los resultados de cada paciente.

Y en cuanto al índice de elasticidad, es importante valorarlo en deportes que impliquen saltos, pues nos ofrece información acerca de la capacidad elástica de los tejidos.

La fórmula empleada es la siguiente:

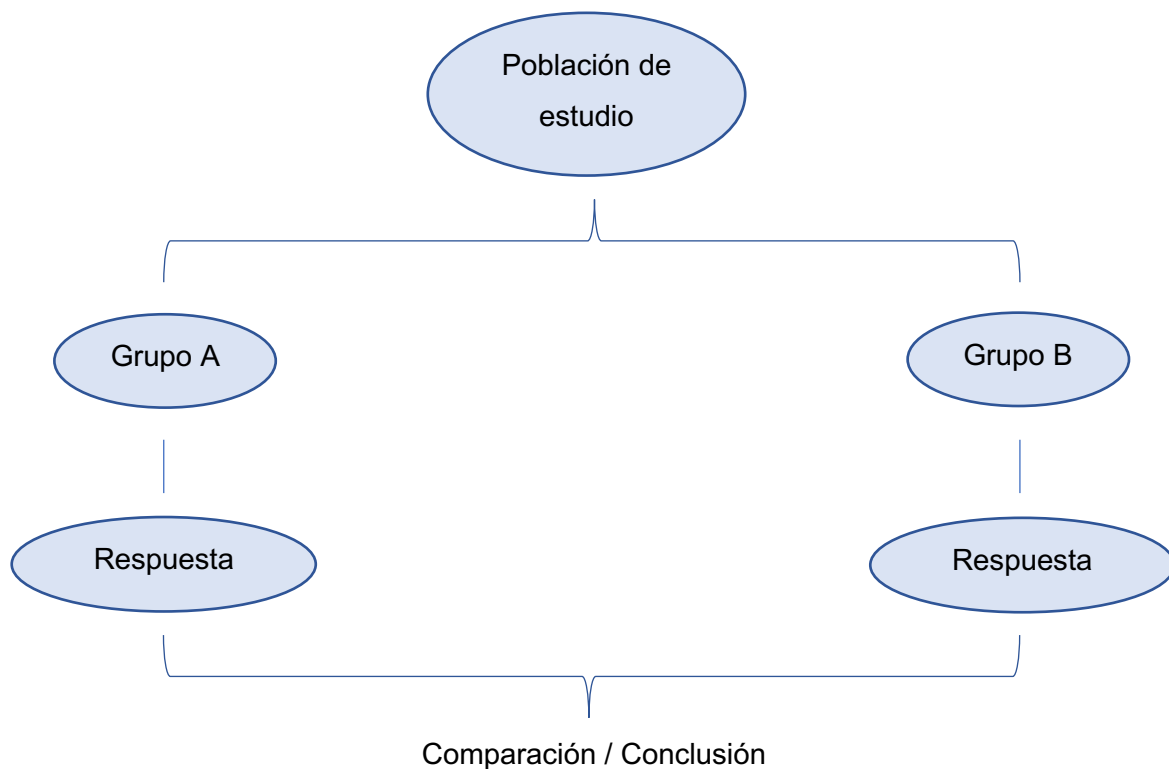
$$\text{Índice de elasticidad} = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \cdot 100$$

## 5. Metodología

### a) Diseño

El estudio que realizaremos será un estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo. Respecto al enmascaramiento, habrá una evaluación ciega, es decir, las personas que evaluarán las variables son las únicas que podrán cegarse.

Realizaremos un estudio experimental, pues se extraerán dos grupos de pacientes de forma aleatoria, de manera que a un grupo se empleará la electroestimulación durante la recuperación del ligamento cruzado anterior y con el otro grupo, no se empleará. Todos los participantes en el estudio, pertenezcan a un grupo u otro, deben cumplir los criterios de inclusión y no presentar ningún criterio de exclusión.



Grupo A: grupo de pacientes en los que emplearemos electroestimulación en el tratamiento.

Grupo B: grupo control, no utilizaremos electroestimulación en su tratamiento.

El estudio es analítico ya que se realiza para evaluar la eficacia de la electroestimulación para la recuperación en la rotura del ligamento cruzado anterior. Además, será longitudinal pues evaluaremos la fuerza máxima y potencia máxima previamente a la intervención y posteriormente, a los 9 y 12 meses.

El estudio prospectivo ya que los resultados se obtendrán después de la intervención, comparándola con los resultados previos a la intervención y comparando los resultados entre

ambos grupos. El objetivo principal es evaluar la eficacia de la electroestimulación tras la rotura y reconstrucción del LCA.

El estudio se llevará a cabo en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia de “San Juan de Dios” que pertenece a la Universidad Pontificia de Comillas. Allí contaremos con una plataforma de fuerza que nos permitirá evaluar los resultados del estudio.

Los pacientes realizarían el tratamiento explicado previamente desde el momento de la lesión hasta su definitiva recuperación, a los 9 y 12 meses deberán acudir para realizar las mediciones sobre la potencia máxima y fuerza máxima, así como evaluar la atrofia y el índice de elasticidad. Previo a la intervención quirúrgica deberán acudir para realizar las mediciones.

Tanto los fisioterapeutas que tratan al paciente durante la lesión como los pacientes, conocerán el tratamiento realizado, así como cuál son los objetivos que queremos llevar a cabo, para que los resultados no estén sesgados por parte de ellos, habrá 3 evaluadores que no conocerán ni la lesión ni el tratamiento ni los objetivos que tenemos con el paciente, simplemente medirán las variables.

El estudio se realizará respetando la Declaración de Helsinki además de los del Comité Ético de la universidad y del Comité Ético de Investigación Clínica. Así como se respetarán las leyes de protección de datos y garantizaremos la anonimización de todos ellos. (Ley orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal).

Antes de comenzar el tratamiento con los pacientes, éstos deberán firmar un consentimiento informado de forma obligatoria para poder participar en el estudio, así como, de forma voluntaria, pueden firmar una hoja de información al paciente que también se les ofrecerá para darles toda la información necesaria.

En ambos documentos se les informará de cuáles son los objetivos, tratamiento y métodos, beneficios y riesgos del estudio. Asimismo, otorgarles la información sobre el seguimiento que deben realizar y las molestias que puede ocasionar.

### **b) Sujetos de estudio**

Población: mujeres y hombres diagnosticados con rotura del ligamento cruzado anterior entre 18 y 30 años.

Población diana: mujeres y hombres futbolistas diagnosticados con rotura del ligamento cruzado anterior entre 18 y 30 años.

He seleccionado entre los 18 y 30 años ya que en equipos de fútbol las edades varían en ese rango de edad.

Población de estudio: la población de estudio estará formada por pacientes que cumplan los



criterios de inclusión y no presenten ningún criterio de exclusión que pueda eliminarle del estudio.

- Criterios de inclusión:
  - Pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior
  - Futbolistas varones y mujeres
  - Edad: entre 18 y 30 años
  - Sin haber sido intervenidos y con fecha de intervención
  - Pacientes que puedan realizar CMJ y SJ previamente a la cirugía
- Criterios de exclusión:
  - Pacientes que no cumplan todos los criterios de inclusión
  - Con lesión del ligamento colateral interno o menisco
  - Pacientes que hayan recibido algún tratamiento previo
  - Pacientes con lesión de otras articulaciones de miembro inferior
  - Pacientes que no firmen el consentimiento informado

### **Cálculo muestral**

Para calcular el tamaño muestral que necesitamos, emplearemos la siguiente fórmula de comparación de medias:

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

Sabiendo que:

- K es una constante que la sacaremos de la siguiente tabla. El valor de K en este caso es de 10,50, por lo que tiene un poder estadístico  $(1 - \beta)$  de un 85%, y un 5% que corresponde al nivel de significación  $(\alpha)$ .

	Nivel de significación ( $\alpha$ )		
Poder estadístico ( $1 - \beta$ )	5%	1%	0,1%
80%	7,8	11,7	17,1
85%	10,5	14,9	20,9
95%	13	17,8	24,3
99%	18,4	24,1	31,6

**Tabla 6:** nivel estadístico y de significación

- Las siglas SD refieren a la desviación estándar común ( $SD^2$  es la varianza).
- d: es la precisión.

Para el cálculo del tamaño muestral del proyecto hemos empleado los artículos “*Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery*”, “*Electroestimulación. Aumento de la fuerza muscular medida por el test de Bosco*” y “*Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes*”. (33,34,35)

- Cálculo del tamaño muestral para CMJ:

La desviación estándar (SD) para la variable Counter Movement Jump es de 7,7, y la precisión (d) de 1,5.

$$n = \frac{2 \cdot 10,50 \cdot 7,7^2}{(47,2 - 45,7)^2} = 553,3$$

- Cálculo del tamaño muestral para SJ:

La desviación estándar (SD) para la variable Squat Jump es de 1,80, y la precisión (d) de 4,57.

$$n = \frac{2 \cdot 10,50 \cdot 1,80^2}{(31,67 - 27,10)^2} = 3,25$$

- Cálculo del tamaño muestra para índice de elasticidad:

La desviación estándar (SD) para la variable índice de elasticidad es de 0,02, y la precisión (d) de 0,036.

$$n = \frac{2 \cdot 10,50 \cdot 0,02^2}{0,36^2} = 0,06$$

Para hacer el estudio necesitaríamos un total de 1108 participantes, es decir, 554 participantes por grupo. Añadiremos un 10% más de participantes por si existiesen pérdidas a lo largo de la investigación. Es decir, un total de 110 sujetos más, 55 por grupo.

Necesitaremos un total de 1218 pacientes para realizar la investigación.

### **c) Variables**

Las variables que se evalúan en este estudio son: fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad.

Tanto la fuerza máxima como la potencia máxima se evaluarán mediante los test SJ y CMJ. En cuanto al índice de elasticidad, se evaluará mediante la fórmula:

$$\text{Índice de elasticidad} = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \cdot 100$$

Variable	Tipo	Clase/escala	Herramienta utilizada	Unidad de medida
Fuerza máxima	Dependiente	Cuantitativa continua	SJ	Newton (N)
Potencia máxima	Dependiente	Cuantitativa continua	CMJ	Vatios (W)
Índice de elasticidad	Dependiente	Cuantitativa continua	Fórmula (CMJ/SJ)	Porcentaje (%)
Sexo	Independiente	Cualitativa binaria	0: hombres 1: mujeres	

**Tabla 7:** variables del estudio

He decidido analizar la variable sexo ya que es una patología más común en el sexo femenino y podremos establecer relaciones y observar las diferencias entre hombres y mujeres.

#### **d) Hipótesis operativa**

Hipótesis sobre la variable 1 (fuerza máxima):

- Hipótesis nula: no existen diferencias estadísticamente significativas en el aumento de la fuerza máxima entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.
- Hipótesis alternativa: existen diferencias estadísticamente significativas en el aumento de la fuerza máxima entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.

Hipótesis sobre la variable 2 (potencia máxima):

- Hipótesis nula: no existen diferencias estadísticamente significativas en el aumento de la potencia máxima entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.
- Hipótesis alternativa: existen diferencias estadísticamente significativas en el aumento de la potencia máxima entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.

Hipótesis sobre la variable 3 (índice de elasticidad):

- Hipótesis nula: no existen diferencias estadísticamente significativas en la mejora del índice de elasticidad entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.
- Hipótesis alternativa: existen diferencias estadísticamente significativas en la mejora del índice de elasticidad entre los pacientes que reciben electroestimulación y los que no, en la recuperación de rotura del ligamento cruzado anterior.

### e) Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis

Los sujetos incluidos en el estudio han de estar diagnosticados de rotura del ligamento cruzado anterior.

Para la evaluación de la fuerza y potencia máxima utilizaremos una plataforma de fuerza en la que le pediremos al paciente que realice los test de CMJ y SJ.

Para la evaluación del índice de elasticidad emplearemos su fórmula correspondiente:

$$\text{Índice de elasticidad} = \frac{CMJ - SJ}{SJ} \cdot 100$$

Todos los pacientes serán informados sobre el estudio y deberán firmar una hoja de información al paciente (ANEXO I) y otra hoja donde recoge todos los datos personales que podrían ser analizados en futuros trabajos (ANEXO II). Los datos obtenidos en las variables, fuerza máxima y potencia máxima e índice de elasticidad se introducirán en el programa estadístico SPSS para analizarlos, la medición se hará previo a la cirugía y a los 9 y 12 meses tras ella. Es importante que todos los pacientes que participen en el estudio firmen un consentimiento informado (ANEXO III).

El análisis de todos los datos se realizará en dos fases. En la primera fase se realizará un análisis descriptivo donde se analizará la media, la moda, la mediana, la desviación típica y coeficiente de variación.

La segunda fase consiste en un análisis inferencial en el cual se realizará una comparación de medias para muestras que no estén relacionadas, comparando los resultados de ambos grupos, donde se comparará los resultados previos a la intervención quirúrgica, los resultados a los 9 meses tras la intervención y los resultados a los 12 meses tras la intervención.

#### Análisis descriptivo:

- Media: es una medida de tendencia central que se calculará sumando todos los datos obtenidos y dividiendo el resultado entre el número de ellos.

$$\text{Media } (X) = \bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n X_i}{N}$$

- Moda: es el valor que más se repite en los resultados.
- Mediana: es el valor que ocupa el lugar central de los resultados estando éstos ordenados de menor a mayor.
- Desviación típica: es un dato estadístico de variabilidad o dispersión. Nos da información de dispersión de los datos con respecto a la media.
- Coeficiente de variación: es un dato de variabilidad o dispersión.

#### Análisis inferencial:

En el estudio analizaremos tres variables cuantitativas continuas: la fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad. Se recogerán los resultados tras la lesión y previo a la cirugía (semana 0), y a los 9 y 12 meses tras la cirugía, en ambos grupos.

Se establecerán dos grupos de forma aleatoria, un grupo al que se aplicará electroestimulación en el tratamiento y otro grupo en el que no se aplicará electroestimulación en el tratamiento. Evaluando los resultados de ambos grupos compararemos las diferencias entre los tratamientos.

En cada grupo se evaluarán los resultados con las medias de las variables resultado de las variables de estudio que vamos a estudiar: fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad, que las obtendremos de la diferencia entre la medición realizada previa a la cirugía y la medición realizada tras el tratamiento.

El programa estadístico que vamos a emplear es *IBM SPSS Statistics Desktop 22.0*. En el programa introduciremos los datos que hayamos recogido de las mediciones.

Primeramente, comprobaremos la normalidad entre las variables por medio de el *Test Kolmogorov-Smirnov*. Por otra parte, la homogeneidad de las varianzas la comprobaremos con el *Test Lèvene*.

Una vez realizadas las pruebas previas, debemos entender los siguientes conceptos:

- Si el resultado es  $p > 0,05$  diríamos que se está cumpliendo el principio de normalidad y homogeneidad; sin embargo, si  $p < 0,05$ , no se estará cumpliendo el principio de normalidad y homogeneidad.
- Si el resultado de  $p > 0,05$ , realizaremos un análisis de varianza - ANOVA de medidas repetidas. Si  $p < 0,05$  se realizará el test no paramétrico para muestras independientes, *Test de Kruskal - Wallis*.

Una vez realizadas ambas pruebas, si  $p < 0.05$  diremos que sí existen diferencias significativas, en cambio, si  $p > 0.05$  diremos que no existen diferencias significativas o que estas diferencias se deban a errores o al azar.

Para saber si hay diferencias significativas entre la variable sexo, se separa la muestra en el programa estadístico SPSS en sólo hombres o mujeres, y se repetirá de nuevo el ANOVA.

Los resultados extraídos de las variables cuantitativas (fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad) las representaremos con un diagrama de barras, respecto a la variable cualitativa (sexo) será representada con un diagrama de sectores.

#### **f) Limitaciones del estudio**

Una de las limitaciones del estudio ha sido la dificultad de encontrar a pacientes que tras romperse el ligamento cruzado anterior, sean capaces de realizar CMJ y SJ, pues muchos de ellos se veían incapaces de realizarlo por demasiada inestabilidad y falta de fuerza, además de presentar dolor.

El estudio se realiza en pacientes deportistas entre 18 y 30 años, por lo que los resultados obtenidos no podremos extrapolarlos para el resto de la población.

#### **g) Equipo investigador**

El equipo que forma parte de este estudio está formado por:

- Dos fisioterapeutas que realizarán las mediciones y tengan experiencia en la investigación, así como, conozcan y hayan realizado ya CMJ y SJ.
- Fisioterapeutas de cada equipo formados en electroestimulación y fisioterapia deportiva.
- Un estadístico encargado de realizar el proceso de aleatorización, recoger y analizar los datos.

## **6. Plan de trabajo**

### **a) Diseño de la intervención**

Los sujetos que participarán en el estudio serán juradores/as diagnosticados/as con rotura del ligamento cruzado anterior.

Para que se lleve a cabo el proyecto será necesario que lo apruebe el Comité Ético de Investigación Clínica y el Comité Ético de la Universidad. Además, es necesario que cumpla todos los requisitos recogidos en la Declaración de Helsinki.

Los sujetos que seleccionaremos para formar parte del estudio tendrán entre 18 y 30 años, además, deben cumplir todos los requisitos de inclusión y no presentar ningún criterio de exclusión.

Para participar en el estudio, los participantes han de firmar un consentimiento informado y completar con los datos necesarios una hoja que nos aportará información sobre el paciente.

De manera voluntaria podrán leer una hoja de información al paciente dónde les aportará información sobre los objetivos, métodos, tratamientos y efectos secundarios posibles.

Todos los fisioterapeutas que participen en el estudio deben conocer los tratamientos que se realizarán en los pacientes, ambos tratamientos han de ser iguales únicamente discernirán en que a un grupo se le aplicará electroestimulación y al otro grupo no, las demás técnicas se emplearán al igual en ambos grupos. Para ello, los fisioterapeutas se reunirán previamente para llegar a un acuerdo y explicar todos estos aspectos.

Una vez que se hayan seleccionado a los participantes del estudio, se realizarán en cada sujeto dos test, Counter Movement Jump y Squat Jump, con los que valoraremos la fuerza máxima, potencia máxima y el índice de elasticidad. Por ello, todos los sujetos que participen en la investigación, previo a la cirugía, han de ser capaces de realizar estos test.

Tras realizar los test y obtener los datos, un programa estadístico dividirá a los pacientes en dos grupos, de forma aleatoria. Todos ellos, realizarán el mismo tratamiento de fisioterapia en cuanto a las técnicas, sólo se diferenciará en que un grupo incluirá en el tratamiento la electroestimulación.

Se seguirá a los participantes del estudio tras un año después de la cirugía, pues volveremos a evaluar la fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad a los 9 y 12 meses. Se evaluará con los mismos test.

Con ello, podremos evaluar si el empleo de la electroestimulación en la recuperación de la rotura del ligamento cruzado anterior es eficaz en cuanto a la mejora de las variables fuerza máxima y potencia máxima.

#### Grupo 1: tratamiento habitual y electroestimulación

En ambos grupos y a todos los participantes se les realizará un tratamiento común basado en los tratamientos habituales encontrados, aunque no existe un protocolo estandarizado del programa de rehabilitación. (36)

- FASE 1 (2 semanas aproximadamente)

Los objetivos principales postoperatorios que buscamos para los pacientes son la reducción del dolor, reducción de la inflamación, la recuperación del rango de movimiento tanto en extensión como flexión, recuperación de la fuerza y el control neuromuscular.

- ◆ Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- ◆ Crioterapia
- ◆ Entrenamiento de fuerza muscular
- ◆ Electroterapia: TENS

Principalmente con ejercicios isométricos y concéntricos y excéntricos de cadena cinética cerrada sin ninguna carga externa.

El fisioterapeuta durante las primeras semanas hasta la recuperación del ROM completo debe realizar movilizaciones de la rótula en todas sus direcciones.

Se debe iniciar la recuperación de la marcha normal sin ayudas pues que el paciente realice un patrón de la marcha normal mejora notablemente la función del cuádriceps y la estabilidad de la rodilla y evita el dolor femorrotuliano.

- FASE 2 (hasta semana 10 aproximadamente)

Los objetivos principales en la fase 2 es recuperación completa del rango de movimiento en extensión y la movilidad rotuliana, mientras que el rango de movimiento en flexión se puede recuperar gradualmente.

- Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- Crioterapia
- Entrenamiento de la fuerza muscular
- Entrenamiento neuromuscular

Para el entrenamiento de la fuerza muscular es recomendable realizar ejercicios isocinéticos en un rango seguro. En cuanto a los ejercicios de propiocepción se comenzará por caminar sin muletas, ejercicios no complejos que supongan mantener un equilibrio estático y posteriormente, dinámico. Una vez que se valore que el jugador este preparado, se introducirán ejercicios pliométricos adaptados al fútbol para entrenar la agilidad.

Si el paciente tiene alterado el patrón de marcha esté deberá entrenarse hasta recuperar el patrón de marcha normal. Se incluirán ejercicios como andar en cinta, subir escaleras, bicicleta estática, y a partir de la semana 8 se podrá incluir trotar en línea y bicicleta en aire libre.

- FASE 3 (hasta semana 18)

A partir de esta semana los objetivos se focalizarán en el aumento de la masa muscular mejorando la fuerza y la potencia en todos los estabilizadores de rodilla. La progresión dependerá de la sensación del paciente, así como el dolor e hinchazón que tenga.

Se introducirán ejercicios pliométricos más complejos y se entrenará el equilibrio dinámico funcional. Es crucial el entrenamiento de patrones de movimiento que se emplean en el fútbol, además de fortalecer todas las estructuras estabilizadoras como son el tronco, cadera, rodilla y tobillo.



Los ejercicios se dificultarán mediante la variación de la visibilidad del paciente, la estabilidad de la superficie de apoyo, la velocidad del ejercicio, la resistencia y la complejidad del ejercicio. En cuanto a la carrera, se irá aumentando la velocidad y la duración, a partir de la semana 14 el paciente podrá comenzar a trotar por el aire libre.

- FASE 4 (hasta semana 25)

Se buscará aumentar tanto la fuerza como la resistencia de todos los músculos encargados de estabilidad de la rodilla así como mejorar el control neuromuscular. A partir de la semana 25 se comenzará a incluir ejercicios más complejos adaptados al fútbol, que incluyan maniobras de carrera, giros, frenadas, aceleración, saltos para la preparación del futbolista a la vuelta al juego.

En todas las fases, los pacientes realizarán los mismos ejercicios. Estos serán seleccionados en consenso por los fisioterapeutas en las reuniones que habrán realizado previamente.

En este grupo se aplicará la electroestimulación, por lo que, previo a la cirugía en estos pacientes se empleará la electroestimulación en cuádriceps con descanso de 48 horas.

Tras la operación, la electroestimulación se empleará tanto en cuádriceps como isquiotibiales, en días simultáneos, para dejar a cada musculo su correspondiente descanso de 48 horas. En ambas fases, preoperación y postoperación, se le pedirá al paciente, en la medida de lo posible, la contracción del musculo con un ejercicio adaptado para cada fase.

	Frecuencia de impulso	Ancho de impulso	Ciclo de trabajo	Intensidad
FASE PRECIRUGÍA	40 Hz	380µs	6 ON / 18 OFF	Según tolerancia del paciente
FASE 1	30 Hz	350 µs cuádriceps	5 ON / 20 OFF	Según tolerancia del paciente
		330 µs isquiotibiales		
FASE 2	50 Hz	340 µs cuádriceps	6 ON / 18 OFF	Según tolerancia del paciente
		320 µs isquiotibiales		
FASE 3	70 Hz	330 µs cuádriceps	6 ON / 16 OFF	Según tolerancia del paciente
		310 µs isquiotibiales		
FASE 4	90 Hz	320 µs cuádriceps	6 ON / 15 OFF	Según tolerancia del paciente
		300 µs isquiotibiales		

Las sesiones de NMES durarán 25 minutos, siendo 5 de calentamiento antes de iniciar, 15 minutos de trabajo y, para finalizar, 5 minutos de enfriamiento.

 Grupo 2: tratamiento habitual

- FASE 1 (2 semanas aproximadamente)

Los objetivos principales postoperatorios que buscamos para los pacientes son la reducción del dolor, reducción de la inflamación, la recuperación del rango de movimiento tanto en

extensión como flexión, recuperación de la fuerza y el control neuromuscular.

- ◆ Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- ◆ Crioterapia
- ◆ Entrenamiento de fuerza muscular
- ◆ Electroterapia: TENS

Principalmente con ejercicios isométricos y concéntricos y excéntricos de cadena cinética cerrada sin ninguna carga externa.

El fisioterapeuta durante las primeras semanas hasta la recuperación del ROM completo debe realizar movilizaciones de la rótula en todas sus direcciones.

Se debe iniciar la recuperación de la marcha normal sin ayudas pues que el paciente realice un patrón de la marcha normal mejora notablemente la función del cuádriceps y la estabilidad de la rodilla y evita el dolor femororrotuliano.

- FASE 2 (hasta semana 10 aproximadamente)

Los objetivos principales en la fase 2 es recuperación completa del rango de movimiento en extensión y la movilidad rotuliana, mientras que el rango de movimiento en flexión se puede recuperar gradualmente.

- Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- Crioterapia
- Entrenamiento de la fuerza muscular
- Entrenamiento neuromuscular

Para el entrenamiento de la fuerza muscular es recomendable realizar ejercicios isocinéticos en un rango seguro. En cuanto a los ejercicios de propiocepción se comenzará por caminar sin muletas, ejercicios no complejos que supongan mantener un equilibrio estático y posteriormente, dinámico. Una vez que se valore que el jugador este preparado, se introducirán ejercicios pliométricos adaptados al fútbol para entrenar la agilidad.

Si el paciente tiene alterado el patrón de marcha esté deberá entrenarse hasta recuperar el patrón de marcha normal. Se incluirán ejercicios como andar en cinta, subir escaleras, bicicleta estática, y a partir de la semana 8 se podrá incluir trotar en línea y bicicleta en aire libre.

- FASE 3 (hasta semana 18)

A partir de esta semana los objetivos se focalizarán en el aumento de la masa muscular mejorando la fuerza y la potencia en todos los estabilizadores de rodilla. La progresión

dependerá de la sensación del paciente, así como el dolor e hinchazón que tenga.

Se introducirán ejercicios pliométricos más complejos y se entrenará el equilibrio dinámico funcional. Es crucial el entrenamiento de patrones de movimiento que se emplean en el fútbol, además de fortalecer todas las estructuras estabilizadoras como son el tronco, cadera, rodilla y tobillo.

Los ejercicios se dificultarán mediante la variación de la visibilidad del paciente, la estabilidad de la superficie de apoyo, la velocidad del ejercicio, la resistencia y la complejidad del ejercicio. En cuanto a la carrera, se irá aumentando la velocidad y la duración, a partir de la semana 14 el paciente podrá comenzar a trotar por el aire libre.

- FASE 4 (hasta semana 25)

Se buscará aumentar tanto la fuerza como la resistencia de todos los músculos encargados de estabilidad de la rodilla así como mejorar el control neuromuscular. A partir de la semana 25 se comenzará a incluir ejercicios más complejos adaptados al fútbol, que incluyan maniobras de carrera, giros, frenadas, aceleración, saltos para la preparación del futbolista a la vuelta al juego.

### **b) Etapas de desarrollo**

El estudio constará de cinco fases o etapas:

En la primera fase se promocionará el proyecto de investigación para buscar pacientes interesados en participar. La elección de los sujetos se realizará en un máximo de tres meses. Los profesionales que llevarán a cabo la investigación seleccionarán a aquellos que cumplan todos los criterios de inclusión y no tengan ningún criterio de exclusión.

En la segunda fase se realizarán los test y se obtendrán todos los datos sobre los sujetos participantes del estudio. Los datos serán guardados por el estadístico y el fisioterapeuta de la investigación.

La tercera fase consistirá en realizar el tratamiento, el tratamiento de cada jugador lo realizará el fisioterapeuta de cada equipo que se habrá reunido previamente y será conocedor del tratamiento que ha de realizar en el paciente.

En la cuarta y quinta fase se realizarán nuevas mediciones para evaluar, de nuevo, la fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad. Estas mediciones se realizarán a los 9 y 12 meses tras la cirugía. Entre esos meses, ha de seguir el tratamiento de fisioterapia.

Tras finalizar las mediciones a los 12 meses, se analizarán los datos obtenidos de todos los pacientes de ambos grupos comparando las diferencias para así poder sacar las conclusiones del estudio.

### c) Distribución de tareas de todo el equipo investigador

- Dos fisioterapeutas realizarán las mediciones de los test CMJ y SJ. Estos profesionales han de conocer y tener experiencia en ellos. Antes de realizar las mediciones, los participantes han de firmar la hoja de consentimiento informado.
- Los fisioterapeutas de cada equipo realizarán en cada jugador el tratamiento adecuado según formen parte del grupo 1 o 2, han de estar formados en fisioterapia deportiva y electroestimulación.
- Un estadístico encargado de realizar el proceso de aleatorización, recoger y analizar los datos.

### d) Lugar de realización del proyecto

El estudio se llevará a cabo en el laboratorio de biomecánica de la Universidad Pontificia de Comillas, Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios”, dónde se realizarán las mediciones y las reuniones necesarias a lo largo del estudio.

El tratamiento lo realizarán en cada club de fútbol al que pertenezcan, lo llevará a cabo su fisioterapeuta que ha de haberse reunido previamente con el equipo de investigación para conocer cómo ha de ser el tratamiento.



## 7. Listado de referencias

- (1) Sepúlveda F, Sánchez L, Amy E, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: return to play, function and long-term considerations. *Curr Sports Med Rep*. 2017;16(3):172-178.
- (2) Richard L. Drake, Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell. Anatomía Gray para estudiantes. 1ª edición ed.: Elsevier; 2005.
- (3) Bisciotti GN, Chamari K, Cena E, Bisciotti A, Bisciotti A, Corsini A, et al. Anterior cruciate ligament injury risk factors in football. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(10):1724-1738.
- (4) Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med*. 2016;50(12):744-750.
- (5) Grassi A, Macchiarola L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players. *Sports Health*. 2020;12(3):279-288.
- (6) Figueroa D, Figueroa F, Calvo R, Vaisman A, Figueroa M, Putnis S. Trends in total knee arthroplasty in a developing region: a survey of Latin American orthopaedic surgeons. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020;28(5):189-193.
- (7) Pinto MD, Blazeovich AJ, Andersen LL, Mil-Homens P, Pinto RS. Hamstring-to-quadriceps fatigue ratio offers new and different muscle function information than the conventional non-fatigued ratio. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(1):282-293.
- (8) Don Johnson MD. ACL Made Simple. New York: Springer; 2004.
- (9) Petushek EJ, Sugimoto D, Stoolmiller M, Smith G, Myer GD. Evidence-based best-practice guidelines for preventing anterior cruciate ligament injuries in young female athletes: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2019;47(7):1744-1753.
- (10) Musahl V, Karlsson J. Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med*. 2019;380(24):2341-2348.
- (11) Mehl J, Diermeier T, Herbst E, Imhoff AB, Stoffels T, Zantop T, et al. Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(1):51-61.
- (12) DePhillipo NN, Cinque ME, Chahla J, Geeslin AG, LaPrade RF. Anterolateral ligament reconstruction techniques, biomechanics, and clinical outcomes: A Systematic Review. *Arthroscopy* 2017;33(8):1575-1583.
- (13) Jaecker V, Zapf T, Naendrup J, Kanakamedala AC, Pfeiffer T, Shafizadeh S. Differences between traumatic and non-traumatic causes of ACL revision surgery. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;09;138(9):1265-1272.

- (14) Welling W, Benjaminse A, Lemmink K, Dingenen B, Gokeler A. Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Phys Ther Sport*. 2019;40:10-18.
- (15) 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;31(1):34-44.
- (16) Andrade R, Pereira R, van Cingel R, Staal JB, Espregueira-Mendes J. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med*. 2020;54(9):512-519.
- (17) Welling W, Benjaminse A, Lemmink K, Dingenen B, Gokeler A. Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Phys Ther Sport*. 2019;40:10-18.
- (18) Patrick W, Shady EM, Christoph T, Ramin K, Xaver F. Advanced anterior cruciate ligament repair and reconstruction techniques for different rupture types. *Arthrosc Tech*. 2020;9(7):e969-e977.
- (19) Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, et al. Neuromuscular electrical stimulation superimposed on movement early after ACL surgery. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(3):407-416.
- (20) Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee*. 2015;22(3):270-277.
- (21) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE, Hewett TE. Review TITLE: mechanisms, prediction & prevention of ACL injuries: cut risk with 3 sharpened & validated tools † RUNNING TITLE: ACL Injury Prevention Accepted Article.
- (22) Manuel Pombo Fernández, Joan Rodríguez Barnada, Xavier Brunet Pàmies, Bernardo Requena Sánchez. *Electroestimulación: entrenamiento y periodización, aplicación práctica al fútbol y 45 deportes*. 1ª edición ed. Barcelona; 2004.
- (23) Moran U, Gottlieb U, Gam A, Springer S. Functional electrical stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(1):89.
- (24) Hauger AV, Reiman MP, Bjordal JM, Sheets C, Ledbetter L, Goode AP. Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(2):399-410.
- (25) Kim K, Croy T, Hertel J, Saliba S. Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: a systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(7):383-391.
- (26) M<sup>a</sup> Elisa Benito Álvarez, Dr. Emilio J. Martínez López. *Electroestimulación neuromuscular en el deporte. Programación en el entrenamiento*. Wanceulen, S.L; 2013.

- (27) Schünke, Schulte, Schumacher, Voll, Wecker. Prometheus texto y atlas de anatomía. Anatomía general y aparato locomotor. 3ª edición ed: Panamericana; 2015.
- (28) Jacopetti M, Pasquini A, Costantino C. Evaluation of strength muscle recovery with isokinetic, squat jump and stiffness tests in athletes with ACL reconstruction: a case control study. *Acta Biomed.*2016;87(1):76-80.
- (29) Wright M, Chesterton P, Wijnbergen M, O'Rourke A, Macpherson T. The Effect of a Simulated Soccer Match on Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factors. *Int J Sports Med.* 2017;38(8):620-626.
- (30) Maté-Muñoz JL, Lougedo JH, Barba M, García-Fernández P, Garnacho-Castaño MV, Domínguez R. Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS One.* 2017;12(7):0181855.
- (31) Laborde A, Rebai H, Coudeyre L, Boisgard S, Eyssette M, Coudert J. [Comparison of two electrical stimulation protocols on quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. Feasibility study]. *Ann Readapt Med Phys.* 2004;47(2):56-63.
- (32) Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, et al. Neuromuscular electrical stimulation superimposed on movement early after ACL Surgery. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(3):407-416.
- (33) Hildebrandt C, Müller L, Zisch B, Huber R, Fink C, Raschner C. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(5):1273-1281.
- (34) Martínez-López EJ, Benito-Martínez E, Hita-Contreras F, Lara-Sánchez A, Martínez-Amat A. Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of sports science & amp; medicine.* 2012;11(4):727-735.
- (35) Tejero NP, Benito E, Fisioterapeuta M, N° C, Martínez EB. EL TÍTULO DEL ARTICULO Plectrostimulation. Improvement of muscular force controlled by the Bosco's test Dirección para correspondencia. 2008;11(1):27.
- (36) van Grinsven S, van Grinsven S, van Cingel R, van Cingel R, Holla C, Holla C, et al. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):1128-1144.



## **ANEXOS**

## **ANEXO I: Hoja de información y consentimiento informado para el paciente**

### Hoja de información para el paciente

Se le invita a participar en este estudio de investigación clínica. Antes de decidir si participa o no en el estudio, le entregamos este documento para informarle sobre los posibles riesgos y beneficios para que usted pueda tomar una decisión, el cual es necesario que firme en el caso de que desee participar en el estudio de investigación. Léelo atentamente y consultar todas las dudas que se le planteen.

#### Datos del investigador

- Nombre y Apellidos: Celeste Sánchez García – Esteban
- Centro: Unidad de Investigación Clínica en Biomecánica y Fisioterapia de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios”, Universidad Pontificia Comillas
- Dirección de contacto: Avenida de San Juan de Dios, 1, 28350, Ciempozuelos, Madrid

#### Datos de la investigación

El estudio consiste en evaluar la eficacia de la electroestimulación en el tratamiento de la rotura de ligamento cruzado anterior para el aumento de la fuerza máxima muscular y potencia máxima muscular. Este proyecto ha pasado el Comité de Investigación de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios.

El objetivo de este estudio es evaluar la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para la rotura de ligamento cruzado anterior en cuanto la fuerza y potencia máxima.

#### Criterios de inclusión:

- Pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior
- Futbolistas varones y mujeres
- Edad: entre 18 y 30 años
- Sin haber sido intervenidos y con fecha de intervención
- Pacientes que puedan realizar CMJ y SJ previamente a la cirugía

#### Criterios de exclusión:

- Pacientes que no cumplan todos los criterios de inclusión
- Con lesión del ligamento colateral interno o menisco
- Pacientes que hayan recibido algún tratamiento previo
- Pacientes con lesión de otras articulaciones de miembro inferior
- Pacientes que no firmen el consentimiento informado

### Procedimiento del estudio

Los sujetos serán citados un día en concreto y se realizará la primera valoración, dónde valoraremos la fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad con los test Squat Jump y Counter Movement Jump.

Tras realizar las mediciones, un programa estadístico dividirá a los sujetos de forma aleatoria en dos grupos. En un grupo se aplicará electroestimulación junto al tratamiento habitual de recuperación de la rotura del ligamento cruzado anterior en deportistas, y al otro grupo únicamente se le realizará el tratamiento habitual.

Los sujetos tendrán cinco sesiones de una hora de tratamiento a lo largo de la semana. Cada sujeto será tratado por el fisioterapeuta de su equipo.

El estudio es sobre la electroestimulación que es una técnica complementaria que produce potenciales de acción en las células nerviosas y musculares, a través de impulsos eléctricos, consiguiendo una mayor contracción del músculo en el que se aplique. Su aplicación puede tener algunos efectos secundarios, como rotura fibrilar.

A los 9 meses tras la cirugía evaluaremos de nuevo las variables, fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad, de cada uno de los sujetos. Tres meses más tarde, se volverá a evaluar nuevamente, es decir, 12 meses tras la cirugía.

Tiene derecho a abandonar el estudio en cualquier momento y sin ninguna justificación, sin perjuicio de su atención sanitaria y puede decidir el destino de sus datos personales en caso de decidir retirarse del estudio. Tiene la posibilidad de contactar con el investigador en cualquier momento.

### Se le adjunta el plan de trabajo completo del estudio

Los sujetos que participarán en el estudio han de estar diagnosticados previamente de rotura del ligamento cruzado anterior.

El proyecto ha de ser aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica y el Comité Ético de Universidad para poder realizar el estudio (ANEXO III). Asimismo, es necesario que se cumpla todos los requisitos de la Declaración de Helsinki.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los sujetos que participen en el estudio serán pacientes diagnosticados con rotura del ligamento cruzado anterior. De todos los sujetos, seleccionaremos a aquellos que tengan entre 18 y 30 años, siendo obligatorio que cumplan todos los sujetos de inclusión y no pueden presentar ningún criterio de exclusión.

Todos los fisioterapeutas que participen en el estudio deben conocer los tratamientos que se realizarán en los pacientes, ambos tratamientos han de ser iguales únicamente discernirán en que a un grupo se le aplicará electroestimulación y al otro grupo no, las demás técnicas se emplearán al igual en ambos grupos. Para ello, los fisioterapeutas se reunirán previamente para llegar a un acuerdo y explicar todos estos aspectos.

Una vez que se hayan seleccionado a los participantes del estudio, se realizarán en cada sujeto dos test, Counter Movement Jump y Squat Jump, con los que valoraremos la fuerza máxima, potencia máxima y el índice de elasticidad. Por ello, todos los sujetos que participen en la investigación, previo a la cirugía, han de ser capaces de realizar estos test.

Tras realizar los test y obtener los datos, un programa estadístico dividirá a los pacientes en dos grupos, de forma aleatoria. Todos ellos, realizarán el mismo tratamiento de fisioterapia en cuanto a las técnicas, sólo se diferenciará en que un grupo incluirá en el tratamiento la electroestimulación.

Se seguirá a los participantes del estudio tras un año después de la cirugía, pues volveremos a evaluar la fuerza máxima, potencia máxima e índice de elasticidad a los 9 y 12 meses. Se evaluará con los mismos test.

#### Grupo 1: tratamiento habitual y electroestimulación

- FASE 1 (2 semanas aproximadamente)

Los objetivos principales postoperatorios que buscamos son la reducción del dolor, reducción de la inflamación, la recuperación del rango de movimiento tanto en extensión como flexión, recuperación de la fuerza y el control neuromuscular.

- ◆ Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- ◆ Crioterapia
- ◆ Entrenamiento de fuerza muscular
- ◆ Electroterapia: TENS

Principalmente con ejercicios isométricos y concéntricos y excéntricos de cadena cinética cerrada sin ninguna carga externa.

El fisioterapeuta durante las primeras semanas hasta la recuperación del ROM completo realizará movilizaciones de la rótula en todas sus direcciones.

Se iniciará la recuperación de la marcha normal sin ayudas para mejorar notablemente la función del cuádriceps y la estabilidad de la rodilla y evita el dolor femorrotuliano.

- FASE 2 (hasta semana 10 aproximadamente)

Los objetivos principales en la fase 2 es recuperación completa del rango de movimiento en extensión y la movilidad rotuliana, el rango de movimiento en flexión se puede recuperar gradualmente.

- Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- Crioterapia
- Entrenamiento de la fuerza muscular
- Entrenamiento neuromuscular

Para el entrenamiento de la fuerza muscular se realizarán ejercicios isocinéticos en un rango seguro. En cuanto a los ejercicios de propiocepción se comenzará por caminar sin muletas, ejercicios no complejos que supongan mantener un equilibrio estático y posteriormente, dinámico. Una vez el jugador este preparado, se introducirán ejercicios pliométricos adaptados al fútbol para entrenar la agilidad.

Si el paciente tiene alterado el patrón de marcha esté deberá entrenarse hasta recuperar el patrón de marcha normal. Se incluirán ejercicios como andar en cinta, subir escaleras, bicicleta estática, y a partir de la semana 8 se podrá incluir trotar en línea y bicicleta en aire libre.

- FASE 3 (hasta semana 18)

A partir de esta semana los objetivos se focalizarán en el aumento de la masa muscular mejorando la fuerza y la potencia en todos los estabilizadores de rodilla. La progresión dependerá de la sensación del paciente, así como el dolor e hinchazón que tenga.

Se introducirán ejercicios pliométricos más complejos y se entrenará el equilibrio dinámico funcional. Es crucial el entrenamiento de patrones de movimiento que se emplean en el fútbol, además de fortalecer todas las estructuras estabilizadoras como son el tronco, cadera, rodilla y tobillo.

Los ejercicios se dificultarán mediante la variación de la visibilidad del paciente, la estabilidad de la superficie de apoyo, la velocidad del ejercicio, la resistencia y la complejidad del ejercicio. En cuanto a la carrera, se irá aumentando la velocidad y la duración, a partir de la semana 14 el paciente podrá comenzar a trotar por el aire libre.

- FASE 4 (hasta semana 25)

Se buscará aumentar tanto la fuerza como la resistencia de todos los músculos encargados de estabilidad de la rodilla así como mejorar el control neuromuscular. A partir de la semana 25 se comenzará a incluir ejercicios más complejos adaptados al fútbol, que incluyan

maniobras de carrera, giros, frenadas, aceleración, saltos para la preparación del futbolista a la vuelta al juego.

En este grupo se aplicará la electroestimulación, por lo que, previo a la cirugía en estos pacientes se empleará la electroestimulación en cuádriceps con descanso de 48 horas.

Tras la operación, la electroestimulación se empleará tanto en cuádriceps como isquiotibiales, en días simultáneos, para dejar a cada musculo su correspondiente descanso de 48 horas. En ambas fases, preoperación y postoperación, se le pedirá al paciente, en la medida de lo posible, la contracción del musculo con un ejercicio adaptado para cada fase.

	Frecuencia de impulso	Ancho de impulso	Ciclo de trabajo	Intensidad
FASE PRECIRUGÍA	40 Hz	380µs	6 ON / 18 OFF	Según tolerancia del paciente
FASE 1	30 Hz	350 µs cuádriceps	5 ON / 20 OFF	Según tolerancia del paciente
		330 µs isquiotibiales		
FASE 2	50 Hz	340 µs cuádriceps	6 ON / 18 OFF	Según tolerancia del paciente
		320 µs isquiotibiales		
FASE 3	70 Hz	330 µs cuádriceps	6 ON / 16 OFF	Según tolerancia del paciente
		310 µs isquiotibiales		
FASE 4	90 Hz	320 µs cuádriceps	6 ON / 15 OFF	Según tolerancia del paciente
		300 µs isquiotibiales		

Las sesiones de NMES durarán 25 minutos, siendo 5 de calentamiento antes de iniciar, 15 minutos de trabajo y, para finalizar, 5 minutos de enfriamiento.

### Grupo 2: tratamiento habitual

#### ○ FASE 1 (2 semanas aproximadamente)

Los objetivos principales postoperatorios que buscamos son la reducción del dolor, reducción de la inflamación, la recuperación del rango de movimiento tanto en extensión como flexión, recuperación de la fuerza y el control neuromuscular.

- ◆ Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- ◆ Crioterapia
- ◆ Entrenamiento de fuerza muscular
- ◆ Electroterapia: TENS

Principalmente con ejercicios isométricos y concéntricos y excéntricos de cadena cinética cerrada sin ninguna carga externa.

El fisioterapeuta durante las primeras semanas hasta la recuperación del ROM completo realizará movilizaciones de la rótula en todas sus direcciones.

Se iniciará la recuperación de la marcha normal sin ayudas para mejorar notablemente la función del cuádriceps y la estabilidad de la rodilla y evita el dolor femorrotuliano.

#### ○ FASE 2 (hasta semana 10 aproximadamente)

Los objetivos principales en la fase 2 es recuperación completa del rango de movimiento en extensión y la movilidad rotuliana, el rango de movimiento en flexión se puede recuperar gradualmente.

- Cinesiterapia: pasiva, activa asistida, activa y activa resistida.
- Crioterapia
- Entrenamiento de la fuerza muscular
- Entrenamiento neuromuscular

Para el entrenamiento de la fuerza muscular se realizarán ejercicios isocinéticos en un rango seguro. En cuanto a los ejercicios de propiocepción se comenzará por caminar sin muletas, ejercicios no complejos que supongan mantener un equilibrio estático y posteriormente, dinámico. Una vez el jugador este preparado, se introducirán ejercicios pliométricos adaptados al fútbol para entrenar la agilidad.

Si el paciente tiene alterado el patrón de marcha esté deberá entrenarse hasta recuperar el patrón de marcha normal. Se incluirán ejercicios como andar en cinta, subir escaleras, bicicleta estática, y a partir de la semana 8 se podrá incluir trotar en línea y bicicleta en aire libre.

- FASE 3 (hasta semana 18)

A partir de esta semana los objetivos se focalizarán en el aumento de la masa muscular mejorando la fuerza y la potencia en todos los estabilizadores de rodilla. La progresión dependerá de la sensación del paciente, así como el dolor e hinchazón que tenga.

Se introducirán ejercicios pliométricos más complejos y se entrenará el equilibrio dinámico funcional. Es crucial el entrenamiento de patrones de movimiento que se emplean en el fútbol, además de fortalecer todas las estructuras estabilizadoras como son el tronco, cadera, rodilla y tobillo.

Los ejercicios se dificultarán mediante la variación de la visibilidad del paciente, la estabilidad de la superficie de apoyo, la velocidad del ejercicio, la resistencia y la complejidad del ejercicio. En cuanto a la carrera, se irá aumentando la velocidad y la duración, a partir de la semana 14 el paciente podrá comenzar a trotar por el aire libre.

- FASE 4 (hasta semana 25)

Se buscará aumentar tanto la fuerza como la resistencia de todos los músculos encargados de estabilidad de la rodilla así como mejorar el control neuromuscular. A partir de la semana 25 se comenzará a incluir ejercicios más complejos adaptados al fútbol, que incluyan maniobras de carrera, giros, frenadas, aceleración, saltos para la preparación del futbolista a la vuelta al juego.



**ANEXO II: Hoja de recogida de datos personales**

Nombre: .....

Apellidos: .....

DNI: .....

Edad: .....

Sexo: .....

Teléfono: .....

A rellenar por el investigador:

Número de identificación: .....

Marcar con una X:

- Grupo control
- Grupo experimental

Variables:

- Fuerza máxima: .....
- Potencia máxima: .....
- Índice de elasticidad: .....

Firma del participante:

Fecha:

Firma del investigador:

Fecha:

### **ANEXO III: Consentimiento informado**

Yo, Don/ña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ he leído la hoja de información al paciente detenidamente y soy consciente de cada punto importante del estudio “Evaluación la eficacia de la electroestimulación neuromuscular para la rotura del ligamento cruzado anterior en futbolistas”.

Tengo una copia de este consentimiento informado y de la hoja de información al paciente, dónde se ha explicado los objetivos y las características del proyecto, y me hago responsable de haber realizado toda pregunta o duda que haya tenido en la lectura de este, las cuales se me han resuelto adecuadamente.

Toda la información personal que haya proporcionado será guardada y adecuadamente administrada, de tal forma que guarde la máxima confidencialidad.

Entrego esta hoja de forma totalmente voluntaria, teniendo en cuenta que puedo retirarme en cualquier momento del estudio por el motivo que sea.

Por ello, doy mi consentimiento para participar en el siguiente proyecto, firmando por duplicado por quedarme con una copia:

Firma del participante:

Fecha:

Firma del investigador:

Fecha:

SÓLO rellenar en caso de abandono del estudio.

Comunico mediante este escrito y mi posterior firma, la decisión de abandono del proyecto de investigación en el que estaba participando.

Firma del participante:

Fecha:

Firma del investigador:

Fecha: