



**ESCUELA  
DE ENFERMERÍA  
Y FISIOTERAPIA**



**SAN JUAN DE DIOS**

**Grado en Fisioterapia**

## **Trabajo Fin de Grado**

**Influencia de la electroestimulación en la fuerza y  
activación muscular en postoperatorio del ligamento  
cruzado anterior.**

Alumno: Luis Javier Sopeña Cueto

Tutor: Néstor Pérez Mallada

**Madrid, 16 de abril de 2021**

## **ÍNDICE**

TABLA DE ABREVIATURAS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	6
1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	8
2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA.....	23
3. OBJETIVOS DE ESTUDIO.....	32
4. HIPÓTESIS DE ESTUDIO.....	35
5. METODOLOGÍA.....	36
a) Diseño.....	36
b) Sujetos de estudio.....	37
c) Variables.....	39
d) Hipótesis operativas.....	40
e) Recogida, análisis de datos, contraste de hipótesis.....	45
f) Limitaciones del estudio.....	48
g) Equipo investigador.....	49
6. PLAN DE TRABAJO.....	50
a) Diseño de la intervención.....	50
b) Etapas del desarrollo.....	55
c) Distribución de las tareas de todo el equipo investigador.....	56
d) Lugar de realización del trabajo.....	57
e) Presupuesto.....	58
7. LISTADO DE REFERENCIAS.....	59
8. ANEXOS.....	65
9. AUTORIZACIÓN PARA REPOSITORIO.....	74

## TABLA DE ABREVIATURAS

Tabla de Abreviaturas	
<b>C.C.A</b>	Cadena cinética abierta
<b>C.C.C</b>	Cadena cinética cerrada
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>EMS</b>	Electroestimulación
<b>Hz</b>	Hercios
<b>IAM</b>	Inhibición Músculo Iatrogénico
<b>LCA</b>	Ligamento Cruzado Anterior
<b>mA</b>	Miliamperios
<b>Ms</b>	Milisegundos
<b>Mv</b>	Microvoltios
<b>N</b>	Newton
<b>ROM</b>	Rango de Movimiento Articular
<b>Seg</b>	Segundos

Tabla 1: Abreviaturas. Elaboración Propia

## **RESUMEN**

### Antecedentes

La lesión de ligamento cruzado anterior de rodilla es una de las más comunes en deportes de salto, con implicaciones de cambios bruscos de dirección o una hiperextensión forzada de rodilla. A pesar de la intervención quirúrgica y su posterior tratamiento, la debilidad muscular del cuádriceps es uno de los signos más característicos y difíciles de recuperar que se traslada a un menor rendimiento deportivo y un aumento del riesgo de recaída o de nueva lesión.

El protocolo tradicional establece ejercicios isométricos y concéntricos, aunque, se desconoce qué tipo de ejercicio es el más efectivo para lograr la máxima fuerza y activación muscular pasados 6 meses de recuperación.

### Objetivo

Determinar la influencia de la electroestimulación en el cuádriceps junto a ejercicios isométricos y concéntricos en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### Hipótesis

El ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación es más eficaz frente al ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### Metodología

Se realiza un estudio analítico experimental, consecutivo, con 461 sujetos con lesión del ligamento cruzado anterior entre edades comprendidas entre 18-40 años. Se establecen 4 grupos de intervención, dos de ellos son grupos de control que corresponden al ejercicio aislado en una carga específica, y otros dos grupos experimentales que juntan el ejercicio con carga y la electroestimulación. Las variables de medición en los 4 grupos son la fuerza y activación máxima.

## Palabras clave

Ligamento cruzado anterior, electroestimulación, cuádriceps, fuerza, activación.

# **ABSTRACT**

## Background

Anterior cruciate ligament knee injuries are one of the most common injuries in jumping sports, with implications for sudden changes of direction or knee forced hyperextension. Despite surgical intervention and subsequent treatment, quadriceps muscle weakness is one of the most difficult damages to recover from, which might lead to reduced athletic performance and increased risk of relapse or re-injury.

The traditional protocol establishes isometric and concentric exercises, although it is not known which type of exercise is the most effective in order to achieve maximum strength and muscle activation after a 6-month recovery.

## Objective

To determine the influence of electrostimulation on the quadriceps in combination with isometric plus concentric exercises on the knee extension movement in patients who have undergone ACL surgery after a 6-month recovery.

## Hyphotesis

Concentric exercise combined with electrostimulation is more effective than isolated concentric exercise, isometric exercise plus isolated concentric exercise and, on the other hand, isometric exercise plus concentric exercise combined with quadriceps electrostimulation in the knee extension movement for patients who have undergone ACL surgery after the sixth month of recovery.

## Methodology

An experimental, consecutive, analytical study was carried out with 461 people with anterior cruciate ligament injury between 18-40 years. Four intervention groups were established, two of them were control groups corresponding to isolated exercise at a specific load, and two experimental groups combining exercise with load and electrostimulation. The variables measured in the 4 groups are strength and maximum activation.

## Keywords

Anterior Cruciate Ligament, electrostimulation, quadriceps, muscular strength, muscle activation.

## 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

La rotura del Ligamento Cruzado Anterior (LCA) es una de las lesiones del miembro inferior más frecuentes, representando un 50% de incidencia de lesiones de ligamento de rodilla (1-3).

Las lesiones de LCA se aprecian entre los 15-40 años, sin embargo, en los últimos años ha aumentado mayormente en jóvenes (1,4). Por lo general, las lesiones en el LCA ocurren durante la actividad deportiva, como en saltos con aterrizajes o malos gestos biomecánicos. Tiene una incidencia de un 3% por año en deportistas aficionados y hasta un 15% en deportistas de élite. Además, las mujeres presentan 8 veces más de posibilidades de padecer esta lesión (1). Se conoce que las mujeres sometidas a una cirugía de LCA presentan un 40% menos de posibilidades de volver al estado previo a la lesión en comparación con los hombres (5). Además, presentan mayores límites para recuperar el rango de movimiento articular (ROM) frente a los hombres; Quelard explicó que el género femenino presenta un ROM limitado hasta pasados más de los 3 meses de recuperación (1).

Una lesión en el LCA puede ser abordada de manera quirúrgica o conservadora, con una garantía de resultados más o menos similares, sin embargo, pacientes deportistas y con un nivel de vida muy activa, eligen la opción quirúrgica (2). Cuando un paciente es operado después de una rotura del LCA, se le realiza una artroscopia. Cuya finalidad es reformar el ligamento roto y estabilizar la rodilla para que posteriormente pueda reestablecer sus movimientos fisiológicos sin inestabilidad, además de prevenir futuras lesiones de estructuras colindantes. Cabe destacar que el 65% de pacientes operados de reconstrucción del LCA, vuelven al estado previo a la lesión (6).

Los tendones autólogos de semitendinoso y rotuliano son el tipo de injerto más frecuente en las reconstrucciones de LCA, con una incidencia del 80% (7). El empleo del injerto del semitendinoso reduce el dolor en la parte anterior de la rodilla, favorece una mejor extensión de rodilla y previene atrofias y pérdidas de funcionalidad del cuádriceps (8). No obstante, incrementan el riesgo de problemas como el aumento laxitud o la pérdida de fuerza y atrofia en flexores de rodilla,

además de un mayor riesgo de lesión en los isquiotibiales (7).

Los pacientes operados con injerto de semitendinoso presentan mayor déficit en los isquiotibiales de hasta un 15% frente a los operados con tendón rotuliano que cursan con una mayor debilidad en el cuádriceps. La debilidad del cuádriceps es más perjudicial, ya que se prolonga más a largo plazo hasta un 28% tras 12 semanas de recuperación (8).

Durante las primeras semanas, el injerto es débil y se encuentra en un proceso de cicatrización, por lo que lo que hay que incidir en el tipo de carga. El empleo de excesiva carga puede poner en peligro la morfología y estructura del injerto. Una vez pasada la intervención quirúrgica y su posterior recuperación del LCA, muchos pacientes informan de una menor funcionalidad a lo largo de los años. Hay que destacar, que en los pacientes que se les han realizado una artroscopia en dicho ligamento presentan una probabilidad 5 veces superior de padecer osteoartritis de la rodilla operada entre los 12-14 años posteriores a la intervención (9,10). También tienen entre un 20-40% más posibilidades de recaída o de lesión en el lado contralateral respecto a un sujeto sano. El riesgo de recaída está relacionado con la asimetría de fuerza y movilidad articular entre ambas extremidades (11).

Tras diversos estudios recopilados en los últimos 25 años, se ha reproducido los "Programas de Rehabilitación", los cuales, son protocolos que implementan una rápida movilización articular, soporte de peso y trabajo de fuerza con sesiones intensas de recuperación tras la cirugía, con la finalidad de obtener la menor "laxitud residual anteroposterior de la rodilla" y una pronta reincorporación tanto a lo deportivo como a la actividad diaria. Este tipo de seguimientos se utilizan mayoritariamente en pacientes operados con injertos de tendón rotuliano o semitendinoso (7).

Los protocolos de recuperación de LCA están orientados para reestablecer la fuerza muscular del cuádriceps (12). Los límites de contracción voluntaria de dicho músculo es un problema habitual que se encuentra en la recuperación a pesar de que no exista daño ni en el músculo ni en su raíz nerviosa (2).

## Protocolo de Rehabilitación de LCA 12 Primeras Semanas

Semanas	Protocolo
<b>Semanas 1-3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimulación eléctrica del cuádriceps.</li> <li>• Configuración isométrica de cuádriceps 3x10.</li> <li>• Inicio de la restauración del rango de movimiento. Flexo-Extensión 5 minutos.</li> <li>• Fortalecimiento de cuádriceps, glúteos y aductores 2x10.</li> <li>• Fortalecimiento de isquiotibiales.</li> <li>• Fortalecimiento del gastrocnemio, tibial anterior y peroneo con banda elástica.</li> <li>• Restauración del ciclo de la marcha asistida.</li> <li>• Terapia manual: Tratamiento de tejido cicatricial; disminuir hinchazón.</li> <li>• Movilización rotuliana.</li> </ul>
<b>Semanas 3-5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta estacionaria. Flexión hasta 100°.</li> <li>• Paso deambulación retirando muletas.</li> <li>• Ejercicios de soporte de peso y trabajo propioceptivo suave: ejercicios con dos piernas, ejercicios con una sola pierna con bola, con ojos cerrados, etc...</li> </ul>
<b>Semanas 5-8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deambulación independiente</li> <li>• Trabajo de compensación de fuerza del miembro sano.</li> <li>• Incrementar el nivel de las tareas de propiocepción.</li> <li>• Sentadillas bilaterales.</li> <li>• Sube y baja con la extremidad lesionada.</li> <li>• Ejercicios de soporte de peso consiguiendo últimos grados de extensión</li> </ul>
<b>Semanas 8-12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salto a dos piernas.</li> <li>• Salto hacia delante con una sola pierna.</li> <li>• Inicio de funcionamiento suave.</li> </ul>

*Tabla 2: Protocolo de recuperación de 12 semanas tras reconstrucción de LCA (2).*

Tras la reconstrucción del LCA con injerto rotuliano, la frecuente la debilidad del músculo cuádriceps va a afectar con una limitación funcional (13). Por lo general, el músculo tiene una restauración de su fuerza y volumen de aproximadamente 18 meses tras haber pasado la intervención quirúrgica (1,14). Un componente de la debilidad es la atrofia muscular, cuya consecuencia directa es un déficit de fuerza del cuádriceps, principalmente de las fibras tipo I y II. Otro componente es la falta de activación que va a impedir realizar una contracción total voluntaria debido a una situación de no uso e inmovilización o por una falta de comunicación neural (13,15,16). La alteración de la señalización neural se debe a una disminución de la captación de neuronas alfa motoras. Estas dos causas tienen una influencia del 60% en la fuerza muscular después de la lesión (13). La ausencia de activación hace que el músculo se encuentre en una situación de atrofia (16). Otro aspecto de la debilidad del cuádriceps es la inhibición del músculo artrogénico (IAM), la cual se debe a “la alteración de los impulsos aferentes del dolor, la inflamación, la hinchazón y los mecanorreceptores dañados” (9). El déficit de masa muscular del cuádriceps es causado por las alteraciones neuromusculares (15).

La IAM provocará una limitación a la hora de realizar ejercicios propioceptivos y terapéuticos de manera correcta para fortalecer dicha musculatura, es decir, la activación del cuádriceps no es máxima lo que implica riesgo de agravar o generar una lesión (12).

Las deficiencias de fuerza muscular se manifiestan una vez pasada la artroscopia o incluso una vez acabada la rehabilitación; esto último se aprecia en la incapacidad de volver a su actividad tanto deportiva como laboral previa a la lesión, y en el incremento de porcentaje de recaída (17). Se conoce que la fuerza del cuádriceps tiene una influencia de hasta el 20% de ganancia en el ROM de la articulación de la rodilla (18); por ello, el tratamiento de recuperación del cuádriceps debe de comenzar lo más pronto posible, debido a que, a mayor tiempo de atrofia muscular, mayor duración y dificultad de revertir la misma (16). Es importante conseguir restaurar la fuerza del cuádriceps ya que va a suponer un mayor soporte sobre el ligamento (14). Un déficit de fuerza máxima cuando el paciente se ha incorporado a la actividad, lo puede notar en gestos como un salto,

carrera, patada o apoyo (19). Diversos estudios han demostrado limitaciones de fuerza de hasta un 10% del cuádriceps pasado los 7-9 años de la cirugía (20).

La afectación del cuádriceps supone un problema en la marcha (17). Dicho músculo se encarga de absorber el impacto durante la fase de respuesta a la carga (9). En esta fase, la pierna carga el peso del cuerpo que se va a compensar con una pequeña flexión de rodilla, esto produce que el cuádriceps trabaje en modo excéntrico, lo que puede suponer una pérdida de estabilidad y una asimetría comparado con la pierna contralateral (17). Algunos estudios han demostrado pérdidas de fuerza y deterioros tras 4 meses desde la operación en la musculatura flexo-extensora de la rodilla contralateral (19). Hay que tener precaución a la hora de comparar una pierna operada con la sana, porque esta última puede tener también limitaciones de fuerza y potencia máxima (21). Además, puede suponer una alteración de la biomecánica de la rodilla lesionada en relación con la movilidad (16). También se ha demostrado, que los pacientes pierden ciertos grados de flexión máxima en movimientos como caminar, correr, o aterrizaje tras el salto (11).

El LCA se encarga de mantener la estabilidad de la rodilla mediante mecanorreceptores, los cuales, tienen gran importancia en el control neuromuscular. La lesión del LCA provoca una mala señal del control motor espinal y supraespinal que provoca fallos en “la propiocepción, control postural, fuerza muscular patrones de movimiento y reclutamiento” (1).

El comienzo de la fisioterapia se inicia lo antes posible después de la cirugía; entre las primeras 12-24 semanas, vamos a favorecer la regeneración tendinosa y muscular. A partir de los 3-4 meses, nuestro plan de tratamiento se va a centrar en recuperar la masa y fuerza muscular (15).

Para disminuir lo más posible la posible lesión del LCA, debemos estudiar los factores de riesgo que se pueden modificar y abordarlos con sesiones de tratamientos en base al ejercicio y la propiocepción (14).

Una buena valoración de los déficits musculares y la sincronización de la reacción agonista-antagonista previo al ejercicio nos ayuda a prevenir la lesión (22). Para determinar la correcta evaluación de la función del LCA, se realizan pruebas de

fuerza, control motor y propiocepción. Todo ello se puede describir en diversas pruebas como isocinéticas, salto, cuclillas o carreras en ocho (3).

La realización de ejercicios propioceptivos y de impacto (salto), incluidos en ejercicios de resistencia aumenta las condiciones de fuerza y rendimiento, los cuales, inciden en las disfunciones biomecánicas y aumentan el rendimiento físico. Sin embargo, cargas excesivas de entrenamiento durante las 4 semanas previas al regreso de actividad incrementan el riesgo de lesión (10). Es importante incluir en nuestro tratamiento de recuperación “principios de aprendizaje motor” en fase temprana de la recuperación ya que son un factor importante propioceptivo y son el inicio de la recuperación de fuerza muscular (16).

Uno de los objetivos en la recuperación es que el paciente logre entre el 85-90% de fuerza máxima del cuádriceps con respecto a la otra pierna. No obstante, esta información no es aplicable a tareas físicas que requieren un buen control neuromuscular y movimientos imprevistos (9).

En deportistas, entre el 50-75% que han sido sometidos a una reconstrucción del LCA, regresan al mismo rendimiento deportivo y entre un 13,9-29,5% su nivel de recaída es alto (21).

El índice de riesgo de padecer una recaída es significativamente superior en personas adolescentes en comparación con los adultos, debido a que, durante los 12 meses iniciales tras la lesión, la contracción muscular del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla presenta déficits en el reclutamiento de todas sus fibras (5).

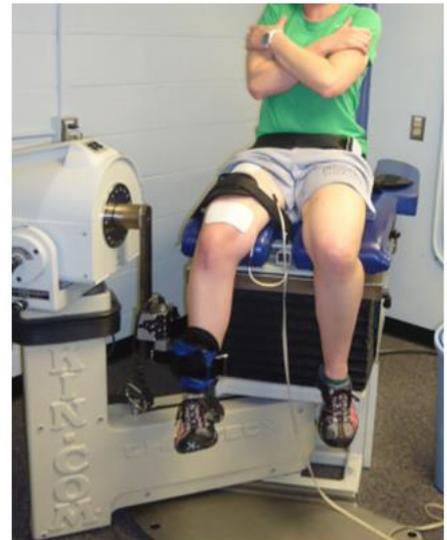
Se estima que el tiempo aproximado de recuperación e incorporación a la actividad deportiva es aproximadamente de 9 meses. Sin embargo, los beneficios de aumentar los tiempos de recuperación son evidentes y disminuyen el porcentaje de recaída. Diversos estudios han sugerido un retraso de hasta 2 años en personas que realizan deportes de alto riesgo. Fallos en la recuperación como la fuerza, estabilidad, salto o programas incompletos de ejercicios, aumentan el riesgo de recaída en un 400% (10). Entre el 24-30% de personas jóvenes que realizan actividad deportiva, sufren riesgos de nueva lesión de LCA tanto en la pierna

ipsilateral como contralateral durante los 2 primeros años posteriores a la recuperación (5).

La electroestimulación neuromuscular (EMS) es una modalidad de fisioterapia que aplica estímulos eléctricos a través de polos adheridos a la piel que trata la fuerza y activación muscular, además de una recuperación motora (17). Con la EMS, provocamos la activación del potencial de acción en las ramas nerviosas intramusculares con el objetivo de provocar una contracción involuntaria del cuádriceps, lo cual, actúa directamente sobre la atrofia muscular (13,17). Además, nos ayuda a combatir la inhibición muscular y generar unos niveles de fuerza superiores a la propia activación (23). Esta modalidad de electroterapia se puede emplear con o sin ejercicio como manera de recuperación (16). También es empleada como medio de recuperación posterior al ejercicio (24).

La musculatura activada de forma temporal puede tolerar unos niveles de potencia continuos transformados de forma isométrica o dinámica sin llegar al episodio de la fatiga en comparación con la activación de forma repetitiva que no solo aumenta el inicio de la fatiga, sino que retrasa y reduce la activación de las fibras musculares. Sin embargo, dicha potencia puede ser mejorada e incrementada, a medida que aumentamos los valores de la EMS (25).

El dinamómetro computarizado es el instrumento más utilizado para medir los momentos de fuerza de manera objetiva tanto dinámicos (isocinéticos) a una velocidad constante, (isotónicos) a una carga constante, como estático (isométrico) a distintos niveles de angulación; es frecuente el empleo de esta herramienta para plantear un tratamiento de la región corporal lesionada. La resonancia magnética nos ayuda a obtener una visión clara de la reconstrucción del LCA (7).



*Imagen 1: Dinamómetro (7).*

Los valores de torsión son útiles para evaluar la fuerza muscular que el sujeto es capaz de realizar y reproducir el momento de fuerza sobre la articulación. El

momento de fuerza es empleado en ejercicios neuromusculares que impliquen potencia y fuerza máxima. No obstante, debemos observar tanto la longitud como la actividad muscular ya que pueden influirnos tanto en la torsión como en el retraso electromecánico (27). Los resultados de torsión nos indican la capacidad del cuádriceps en realizar su máximo torque. El torque máximo en el movimiento de extensión de rodilla está ligado a un máximo movimiento de flexión, en ejercicios como el apoyo monopodal tras el aterrizaje. Durante la contracción muscular, entre los primeros 100 milisegundos (ms) se produce el momento de máxima fuerza (28).

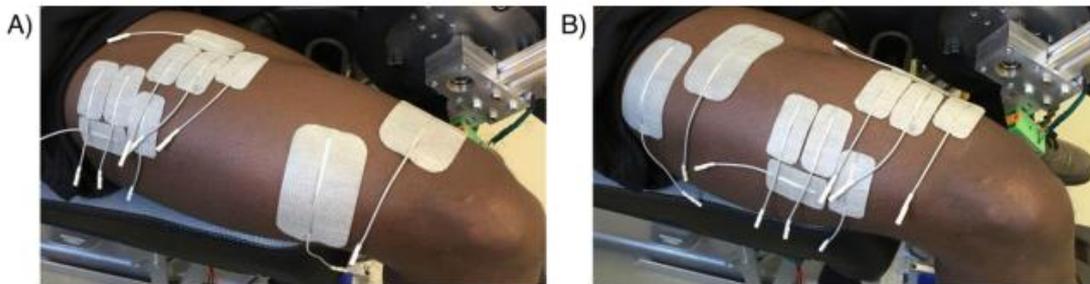
El resultado de obtener una mayor fuerza muscular provocado por ejercicios se encuentra estrechamente ligado al grado de tensión de las contracciones del músculo que se encarga de reclutar el mayor número de fibras debido a la EMS. Todo ello depende de dos factores fundamentales como la intensidad de onda y el grado de incomodidad que puede tolerar el paciente (26).

La relación agonista-antagonistas del cuádriceps e isquiotibiales se emplea primordialmente para calcular la fuerza de forma activa o dinámica y el nivel de estabilidad de la propia rodilla (14).

Al aplicar la EMS debemos valorar que tipo de corriente vamos a implementar al ejercicio terapéutico. Las corrientes más utilizadas en el ámbito de la recuperación son los "TENS de baja frecuencia (1-200 Hercios (Hz)) y las corrientes alternas (1.000-10.000Hz)". Dentro de las corrientes alternas, se diferencian las corrientes rusas y corrientes australianas. En un estudio con 21 mujeres sanas se dividieron en 4 grupos según el tipo de onda para evaluar el máximo torque del cuádriceps en contracción isométrica. Los grupos 1 y 2 correspondían a las corrientes de baja frecuencia, las cuales intentaron igualar la duración de fase y la frecuencia a los grupos de corriente alterna. Sin embargo, la duración de la fase en el grupo 1 ha sido de 500ms y el grupo 2 de 200ms. Para el grupo 3 se empleó la corriente australiana, con una frecuencia de 1000Hz, un ciclo de trabajo del 20% y la duración de fase de 500ms. El grupo 4 se trataba de corrientes rusas, con una frecuencia de 2500Hz, un ciclo de trabajo del 50% y la duración de impulso de 200ms. En el estudio se ha demostrado que la corriente australiana junto a la corriente de baja frecuencia con su misma duración de fase son las más

beneficiosas para conseguir el máximo torque del cuádriceps. No hubo diferencias significativas en los resultados entre ambas corrientes (29).

El tamaño de los electrodos empleado para transmitir la corriente eléctrica al cuádriceps va a ser comparado con el torque que el paciente puede realizar. Además, se ha demostrado que aumentan los niveles de torque en la colocación de los electrodos de forma longitudinal frente a la transversal. También se concluyó la importancia del tamaño de los electrodos en proporción al efecto de la intensidad de onda (30). Para valorar los niveles de fuerza y fatiga del cuádriceps con electrodos colocados de forma proximal o distal en el músculo cuádriceps en un movimiento isocinético de extensión han participado 7 sujetos varones sin antecedentes de lesión previos. Las mediciones fueron realizadas mediante un dinamómetro. Los electrodos fueron colocados en el vasto lateral y medial aplicando una corriente bifásica rectangular con una amplitud constante de 40 miliamperios (mA), la frecuencia empleada ha sido de 35Hz y el ancho de impulso se empleó el 80%; la intensidad se fue graduando por la capacidad de tolerancia del paciente. Los resultados concluyeron que los pacientes que se les aplicaron los electrodos en la parte distal presentaban mayores valores de fuerza y activación (25).



*Imagen 2: A) Electrodos a nivel proximal. B) Electrodos a nivel distal (25).*

La EMS inducida con ejercicios isométrico es más efectiva en la longitud de músculos cortos, llegando a alcanzar niveles de fuerza superiores en comparación con los largos. Esto nos da una información de la posición de flexo-extensión de la rodilla para alcanzar los máximos niveles de fuerza de extensión posible, situados entre los 60-70° de angulación en el parámetro de flexión (31).

Cuando comparas la contracción muscular implementada por corrientes eléctricas

tanto en reposo como en contracción máxima voluntaria del cuádriceps, podremos estudiar también la activación voluntaria muscular (32).

Tras la realización de diferentes estudios se ha demostrado que la realización de un ejercicio excéntrico combinado con EMS induce un aumento significativo de la fuerza del cuádriceps tras 12 semanas de recuperación después de la lesión de LCA, lo que produce también una mayor simetría de dicho parámetro con respecto a la contralateral (18).

Se realizó una medición del cuádriceps para valorar las diferencias entre una corriente de onda ascendente de modo exponencial en comparación con las ondas rectangulares tradicionales para valorar la fuerza de modo isométrico en la extensión de rodilla. Los sujetos han sido un total de 30 personas, divididos mitad hombre y mitad mujeres. Para la realización del estudio se posicionó al paciente en un dinamómetro con la rodilla a 60° de flexión. Los electrodos en ambos grupos se colocaron “proximalmente a 3 centímetros (cm) distal al punto medio del ligamento inguinal y distalmente 3cm proximal al margen superior de la rótula”. El tipo de onda empleado ha sido la rectangular con un ancho de impulso de 250  $\mu$  y una frecuencia de 20 Hz. El tiempo de contracción ha sido de 5 de actividad frente a 2 de descanso. Una vez conseguido la máxima intensidad que el paciente podía soportar, se procedió a medir el movimiento de extensión en un periodo de 5 segundos (Seg). Tras la realización del estudio se obtuvo unos mayores niveles en las ondas ascendentes exponenciales, además de obtener el paciente un mayor valor de fuerza del cuádriceps con dicha onda (30).

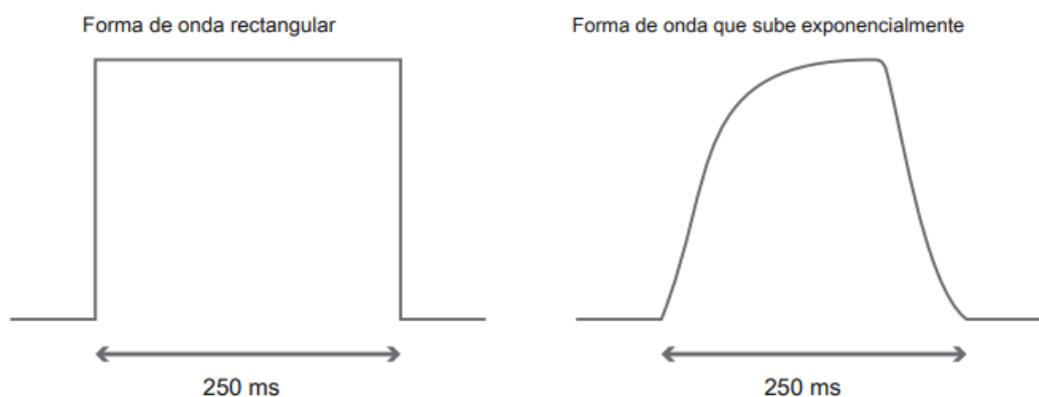


Imagen 3: Ondas rectangulares y exponenciales (30).

Se ha planteado un estudio para evaluar la fuerza muscular entre ejercicios excéntricos aislados y ejercicios excéntricos combinados con EMS bifásica simétrica durante 6 semanas en pacientes comprendidos entre 18-35 años. Los electrodos fueron colocados en el vasto medial y lateral del cuádriceps en su parte distal, la corriente empleada ha sido una pulsada bifásica rectangular, con un ancho de impulso de  $400\mu$  y una frecuencia de 80Hz (Corriente de baja frecuencia). El tiempo de contracción-descanso se estableció a los 5seg. La intensidad se fue graduando por la tolerancia del paciente al tipo de corriente. Las conclusiones tras haber realizado las mediciones fueron que la combinación de ejercicio excéntrico aplicado a EMS en pacientes sanos no obtuvo diferencias significativas de fuerza y grosor del músculo en comparación con ejercicios excéntricos aislados (33).

Snyder-Mackler concluyó que la EMS produce un mayor efecto favorable en “el ejercicio voluntario de alto nivel” para la rehabilitación del cuádriceps. No obstante, se queda por valorar si dicha afirmación es equivalente para la musculatura periférica o en la estimulación sensorial compensatoria. Posteriores investigaciones han apreciado un cambio de excitación de la corteza motora tras la aplicación de electroterapia en la musculatura periférica (32).

Diversos estudios han concluido que la EMS tiene una influencia mayor en la fuerza, capacidad física y activación muscular frente a los ejercicios sin su uso (13,17). Uno estudio pretendió valorar la fuerza del cuádriceps entre pacientes con una lesión de LCA que siguen un tratamiento de recuperación estándar frente a otro con EMS. Se emplearon cargas isocinéticas a través del dinamómetro. El estudio no detalló los parámetros empleados en la EMS, sin embargo, se apreció aumentos significativos de fuerza en las primeras 6 semanas en el grupo con EMS (2).

En una lesión de LCA debemos tener en cuenta el tipo de pacientes y el injerto implantado, ya que van a reproducirse factores que supongan varianzas en la recuperación tanto a la hora de abordar un tratamiento como los propios plazos de tiempo. Sobre ello habla el siguiente estudio que ha investigado la fuerza en el movimiento de extensión entre los diferentes factores como el tipo de injerto, los plazos de recuperación, la edad y sexo de los pacientes de estudio sometidos a

una artroscopia de LCA. Los pacientes del estudio se encuentran entre los 13-40 años, todos ellos entre los 4-6 meses de recuperación tras la cirugía. Fueron evaluados de su máximo torque a través de un dinamómetro en una contracción isométrica voluntaria máxima, en el movimiento de extensión bilateral. El estudio ha demostrado que los hombres con autoinjertos del semitendinoso consiguen unos mayores niveles de contracción isométrica voluntaria máxima en la extensión de rodilla que las mujeres. Durante los primeros 12 meses los pacientes con autoinjertos del tendón rotuliano obtuvieron valores de contracción significativamente inferiores a los pacientes con autoinjertos del semitendinoso, sin embargo, entre el 1-5 año las fuerza en ambos grupos se igualó. Se concluyó que las mujeres jóvenes operadas de LCA y con autoinjerto del tendón rotuliano son las más propensas de recaída a una nueva lesión (5).

Para el siguiente estudio, se planteó valorar un protocolo de recuperación de LCA diferenciando los tiempos de recuperación y el sexo. En este, se realizaron ejercicios del cuádriceps de cadena cinética cerrada (C.C.C) en comparación con la cadena cinética abierta (C.C.A); además. Se observó una mayor funcionalidad de la pierna lesionada de LCA tras 1 año en los hombres frente a las mujeres; además, pacientes que mostraron mayores niveles de fuerza del cuádriceps en la fase preoperatoria obtuvieron unos niveles mayores de la misma en la fase postoperatoria. Se detalló la influencia de los ejercicios en C.C.A y C.C.C; pacientes operados con autoinjerto del tendón rotuliano presentaron un dolor más leve, mayor laxitud y funcionalidad de la articulación de la rodilla frente a los ejercicios en C.C.C (1).

La fuerza máxima en isométrico tanto en cuádriceps como en isquiotibiales se desarrolla a partir de los 300 ms. Debido a que en la fase inicial se utilice el torque isométrico, nos va a proporcionar cierta información sobre el nivel de estabilidad de la articulación y el reclutamiento de las fibras neuromusculares (14). Pacientes operados de LCA con autoinjerto de semitendinoso en las semanas 4-12 posteriores a la cirugía participaron en un estudio con la finalidad de valorar la fuerza isométrica tanto en cuádriceps como en. Pasados 3 meses de recuperación se observaron valores de fuerza del cuádriceps del 83% frente al 76% de

isquiotibiales, lo que nos proporciona un ligero déficit en los flexores de rodilla (8).

Kannus desarrollo las diferencias entre la relación cuádriceps-isquiotibiales entre el lado lesionado con el contralateral entre el tiempo, ángulo de activación y su posterior contracción voluntaria. Se conoce que esto se produce aproximadamente entre los 20-60° de flexión de rodilla. Como argumento, se desarrolló un estudio para evaluar el momento de fuerza correspondiente con el ángulo de la articulación entre los primeros 80° de flexión empleando contracciones isocinéticas, con el fin de ver las posibles diferencias entre la musculatura flexo-extensora de rodilla. Se escogieron 46 varones todos ellos presentaban una rotura unilateral de LCA. En los primeros 40° de flexión, la rodilla lesionada obtuvo mayores limitaciones de fuerza muscular en contracción concéntrica e isométrica en comparación con la no lesionada. El índice de mayor fuerza tanto en actividades dinámicas isocinéticas como isométricas se apreciaron en los primeros 30°. Los niveles de mayor coactivación agonista-antagonista entre el cuádriceps e isquiotibiales se obtuvo a los 30, 40 y 50° (34).

Se conoce que los entrenamientos empleando fuerzas concéntricas o excéntricas si lo unimos a sobrecargas excéntricas, los beneficios de fuerza y potencia son mayores en comparación a una sesión convencional de ejercicios concéntricos y excéntricos. No obstante, debemos de tener en cuenta la activación de las células satélite, las cuales, dependiendo del tipo de contracción nos van a proporcionar un mayor o menor tipo de información. Se produce una mayor información de estas “células satélites en las fibras musculares de tipo II”, después de realizar una actividad en contracción excéntrica. Para poder determinarlo, se realizó un estudio que pretendía investigar los entrenamientos de fuerza para la regeneración muscular del cuádriceps durante 12 semanas después de una lesión de LCA, comparando una sesión de ejercicios convencionales frente a ejercicios combinados con sobrecarga excéntrica. Para el estudio participaron 55 hombres y 13 mujeres, todos ellos presentaban autoinjerto del músculo semitendinoso. Las pruebas se realizaban dos veces por semana. Tras 12 semanas se obtuvo un aumento mayor de volumen y fuerza del cuádriceps en los ejercicios combinados con sobrecarga excéntrica (15).

Las diferencias de simetría y fuerza entre una rodilla operada de LCA y una normal suponen un problema de rendimiento ante cualquier actividad deportiva. Una revisión sistemática ha tratado de estudiar las diferencias de fuerza en el movimiento de flexo-extensión entre ambas piernas. Para ello, han participado 60 personas en una edad comprendida entre 18-40 años, todos ellos, recuperados de la lesión sufrida. Se aplicó fuerzas de contracción isométrica e isocinéticas en diferentes ángulos para la valorar la fuerza en las dos piernas a través de un dinamómetro. El estudio observó déficits en pruebas isocinéticas en el 45% de los pacientes frente al 25% de pacientes con déficits tras la realización de pruebas isométricas comparando ambas piernas, lo que nos da a entender que la fuerza isométrica máxima es el primer modo de mayor reclutamiento de fibras en la recuperación de LCA (22).

Las actividades dinámicas en concéntrico son el tipo de ejercicio más utilizado para la recuperación de fuerza y ROM en una lesión de LCA. El uso de este tipo de contracción frente a ejercicios excéntricos se debe a que el paciente no presenta tanto dolor, además de ser un ejercicio más agresivo para fases tempranas de recuperación que podría repercutir en una recaída. Sin embargo, el ejercicio excéntrico proporciona “adaptaciones morfológicas y neurológicas más beneficiosas en el músculo” que otro tipo de actividades. Además, es conocido que una sesión de entrenamiento planificado de 6 a 8 semanas con ejercicios específicos excéntricos presenta un “aumento de la longitud de fibra, masa muscular y número de sarcómeros” frente a las actividades en concéntrico, además (35).

En un ensayo controlado aleatorio se determinó la mejoría de fuerza en el cuádriceps mediante ejercicios isocinéticos en modo concéntrico y excéntrico durante la semana 8 y posteriormente en la semana 12 en pacientes operados de LCA. En el estudio, se han elegido a 48 participantes en edades comprendidas entre 17 y 45 años. La introducción de ejercicios isocinéticos produjo en beneficio en el aumento de fuerza de modo isométrico. No obstante, no se observaron diferencias significativas tras 12 semanas en los niveles de fuerza entre ejercicios concéntricos y excéntricos. Sin embargo, se apreció que los ejercicios excéntricos

en primeras fases de recuperación en carga inferior a la fuerza máxima aumentan notoriamente la fuerza y disminuyen la atrofia del cuádriceps, mientras que los ejercicios concéntricos producían una mejoría en la activación voluntaria muscular (36).

Aunque en la recuperación, pongamos énfasis en recobrar la fuerza muscular agonista-antagonista, no debemos de dejar de prestar atención al LCA, ya que todos los ejercicios que realizamos requieren de una cierta tensión y actividad funcional de este. Por ello, una revisión sistemática pretendió identificar la tensión del LCA entre diversas actividades y ejercicios comparando una pierna normal frente a una reconstrucción del LCA con autoinjerto. Participaron 82 sujetos (52 hombres, 11 mujeres y 19 restantes sin identificar sexo). Se emplearon actividades en C.C.C y C.C.A. Los mayores niveles de tensión en modo isométrico se apreciaron a los 15º de flexión. Tanto los ejercicios en C.C.A como C.C.C sin carga produjeron una tensión del LCA muy similar. No obstante, al introducir carga al ejercicio se observó que los ejercicios de C.C.A implicaban una mayor tensión del ligamento frente a la C.C.C (37).

Los déficits musculares se pueden apreciar pasados los 6 meses de recuperación de LCA, lo cual, puede ser debido a una alteración de las fibras intrafusales gamma unida a una limitación para generar la activación muscular voluntaria. Además, este tipo de lesiones no solo influyen factores como fuerza y potencia, sino que se ha demostrado que el volumen de la musculatura flexo-extensora sufre una importante reducción bilateral. Cuando la unión de fuerza, potencia, activación y volumen se encuentra limitada, se desarrolla el concepto de debilidad muscular. Sin embargo, debemos tener precaución a la hora de evaluar la tasa de desarrollo de fuerza, ya que nos podemos encontrar con déficits musculares que proviene de la fase preoperatoria, con posible causa de anomalías neurofisiológicas (19).

## 2. VALUACIÓN DE LA EVIDENCIA

Para hacer mi estrategia de búsqueda, utilizo las palabras clave de mi pregunta PICO, dónde describo a la población de estudio, la intervención con los métodos a utilizar, la comparación y los objetivos de la búsqueda.

Una vez que obtenemos nuestras palabras clave, vamos a realizar una búsqueda en MeSH, DeCS y término libre.

<b>Nombre</b>	<b>Palabra en Ingles</b>	<b>Término Libre</b>	<b>DeCS</b>	<b>MeSH</b>
<b>Ligamento Cruzado</b>	Anterior Cruciate	Si	Si	Si
<b>Anterior</b>	Ligament			
<b>Rodilla</b>	Knee	Si	Si	Si
<b>Electroestimulación</b>	Electrostimulation	Si	Si	Si
<b>Cuádriceps</b>	Quadriceps	Si	Si	Si
<b>Pasivo</b>	Passive	Si	Si	Si
<b>Contracción</b>	Muscle	Si	Si	Si
<b>Muscular</b>	Contraction			
<b>Isométrico</b>	Isometric	Si	Si	Si
<b>Concéntrico</b>	Concentric	Si	No	Si
<b>Tratamiento</b>	Treatment	Si	Si	Si
<b>Fisioterapia</b>	Physical Theraphy	Si	Si	Si
<b>Fuerza Muscular</b>	Muscular Strength	Si	Si	Si
<b>Activación</b>	Muscle Activation	Si	No	Si
<b>Muscular</b>				
<b>Movimiento</b>	Movement	Si	Si	Si
<b>Extensión</b>	Extension	Si	Si	Si

Tabla 3: Términos libres, DeCS y MeSH. Elaboración Propia

Se ha realizado una búsqueda hasta el día 16/10/2020 de las palabras clave en las bases de datos Pubmed y Ebsco. Se ha añadido un filtro de los últimos 5 años

Pubmed		
	Combinaciones	Resultados
1	((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))) AND (Physical Theraphy AND (y_5[Filter]))	2
2	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Treatment AND (y_5[Filter]))) AND (physical theraphy AND (y_5[Filter]))) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter])))	16
3	(((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) OR (Break AND (y_5[Filter]))) AND (Treatment AND (y_5[Filter]))) AND (physical therapy AND (y_5[Filter]))) AND (Passive AND (y_5[Filter]))) AND (Movement AND (y_5[Filter]))) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	1
4	((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))) AND (Treatment AND (y_5[Filter]))) AND (physical therapy AND (y_5[Filter])))	2
5	(((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter]))) AND (Isometric AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))	1
6	(((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter]))) OR (electric flow AND (y_5[Filter]))) AND (Passive AND (y_5[Filter]))) AND (Movement AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))	4
7	((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Isometric AND (y_5[Filter]))) AND (Knee AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter])))	5

<b>8</b>	(((((Muscle Contraction AND (y_5[Filter]))) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter]))) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))) AND (Knee AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	2
<b>9</b>	((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Knee AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter]))	3
<b>10</b>	((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Isometric AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	2
<b>11</b>	(((((Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))) OR (TENS AND (y_5[Filter]))) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))) AND (Movement AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	1
<b>12</b>	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) OR (break AND (y_5[Filter]))) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter]))	1
<b>13</b>	(((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (physical therapy AND (y_5[Filter]))) AND (Treatment AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	8
<b>14</b>	(((((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Isometric AND (y_5[Filter]))) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))) AND (Knee AND (y_5[Filter]))) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	0
<b>15</b>	((((Knee AND (y_5[Filter])) AND (Extension AND (y_5[Filter]))) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))) AND (physical therapy AND (y_5[Filter]))	2
<b>16</b>	((Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))	4
<b>17</b>	(((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) OR	

	(Sprain AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	2
<b>18</b>	(((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Knee AND (y_5[Filter])) AND (Extension AND (y_5[Filter])) AND (Passive AND (y_5[Filter])) AND (Movement AND (y_5[Filter]))	2
<b>19</b>	(((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) OR (break AND (y_5[Filter])) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	5
<b>20</b>	((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) AND (Passive AND (y_5[Filter])) AND (Movement AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))	11
<b>21</b>	(((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) OR (Break AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Isometric AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	6
<b>22</b>	(((((Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Movement AND (y_5[Filter])) OR (Motor Control AND (y_5[Filter])) AND (Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter]))	1
<b>23</b>	(((((Anterior Cruciate Ligament AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Physical Therapy AND (y_5[Filter])) OR (Therapeutic Exercise AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter]))	3
<b>24</b>	((Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter]))	1
<b>25</b>	((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND	

	(Concentric AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter])) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	3
<b>26</b>	(((((Quadriceps AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	1
<b>27</b>	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	3
<b>28</b>	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Contraction AND (y_5[Filter])) AND (Concentric AND (y_5[Filter])) AND (Muscle Activation AND (y_5[Filter]))	5
<b>29</b>	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Physical Therapy AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter])) AND (Extension AND (y_5[Filter]))	4
<b>30</b>	((((anterior cruciate ligament AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Passive AND (y_5[Filter])) AND (Movement AND (y_5[Filter]))	1
<b>31</b>	((((Knee AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Passive AND (y_5[Filter])) AND (Movement AND (y_5[Filter]))	2
<b>32</b>	((Knee AND (y_5[Filter])) AND (Electrostimulation AND (y_5[Filter])) AND (Muscular Strength AND (y_5[Filter]))	1

Tabla 4: Pubmed. Elaboración Propia

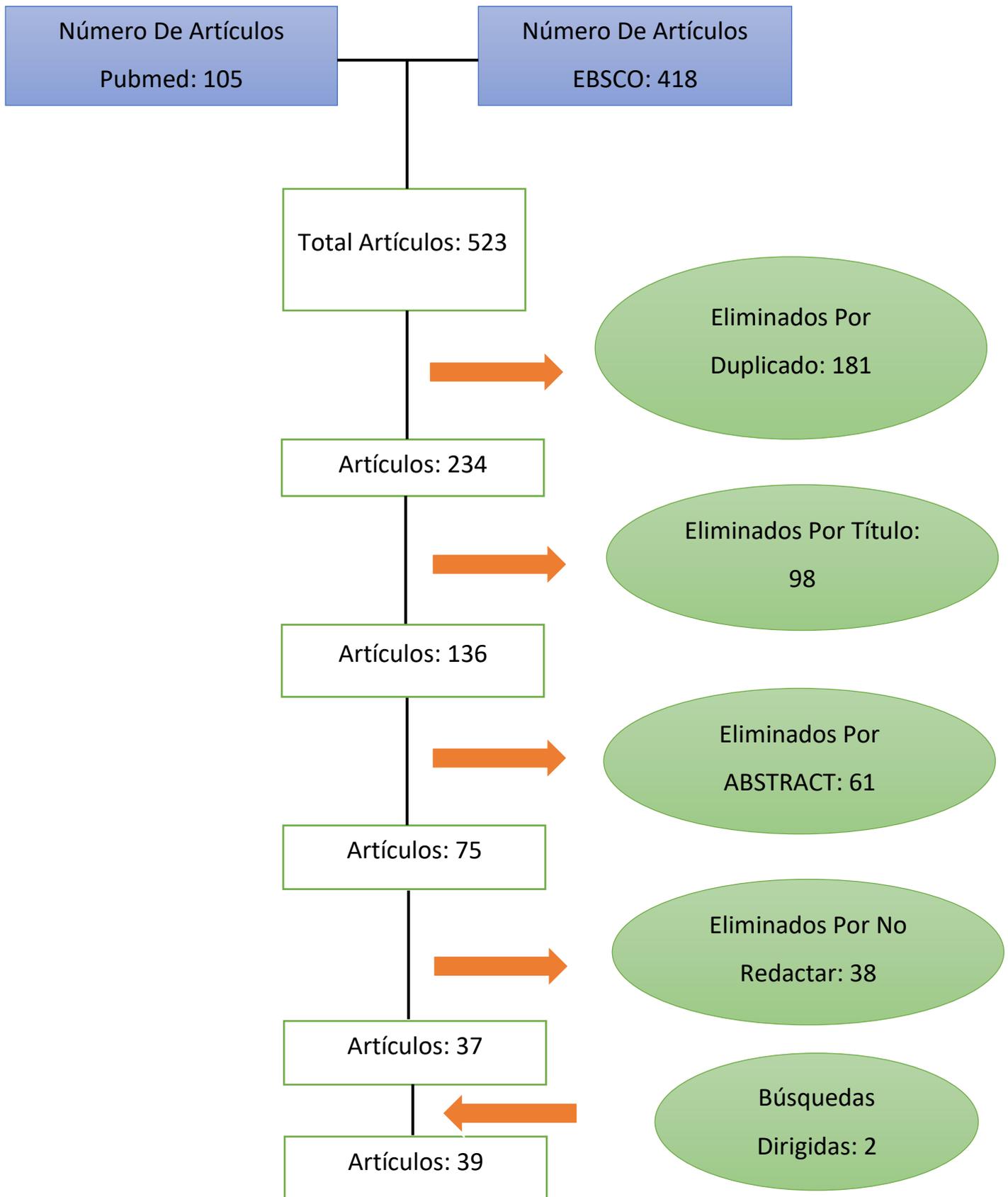
<b>EBSCO</b>		
<b>Términos Clave</b>		
<b>S1</b>	Anterior Cruciate Ligament	
<b>S2</b>	Knee	
<b>S3</b>	Electrostimulation	
<b>S4</b>	Quadriceps	
<b>S5</b>	Passive	
<b>S6</b>	Muscle Contraction	
<b>S7</b>	Isometric	
<b>S8</b>	Concentric	
<b>S9</b>	Treatment	
<b>S10</b>	Physical Theraphy	
<b>S11</b>	Muscular Strength	
<b>S12</b>	Muscle Activation	
<b>S13</b>	Movement	
<b>S14</b>	Extension	
<b>Términos Relacionados</b>		
<b>S15</b>	Break	
<b>S16</b>	Sprain	
<b>S17</b>	Motor Control	
<b>S18</b>	TENS	
<b>S19</b>	Therapeutic Exercise	
<b>S20</b>	Electric Flow	
<b>Combinaciones</b>		<b>Resultados</b>
1	S1 AND S3 AND S10	4
2	S1 AND S9 AND S10 AND S11	21
3	S5 AND S9 AND S10 AND S11 AND S13 AND S1 OR S15	0

4	S3 AND S9 AND S10 AND S11	30
5	S3 AND S4 AND S6 AND S7 AND S12 AND S14	4
6	S4 OR S20 AND S3 AND S5 AND S12 AND S13	0
7	S2 AND S3 AND S7 AND S14	42
8	S2 AND S3 AND S4 AND S6 AND S14	29
9	S2 AND S3 AND S4 AND S14	49
10	S3 AND S7 AND S12 AND S14	8
11	S4 AND S11 AND S13 AND S14 AND S23	8
12	S3 AND S4 AND S1 OR S15	9
13	S1 AND S9 AND S10 AND S11 AND S12	1
14	S2 AND S3 AND S7 AND S11 AND S14	10
15	S2 AND S3 AND S10 AND S14	16
16	S3 AND S11 AND S12	10
17	S6 AND S8 AND S11 AND S12 AND S1 OR S16	0
18	S1 AND S2 AND S4 AND S5 AND S13 AND S14	2
19	S4 AND S6 AND S11 AND S14 AND S1 OR S15	15
20	S1 AND S5 AND S12 AND S13	3
21	S6 AND S7 AND S11 AND S1 OR S15	38
22	S3 AND S4 AND S6 AND S13 OR S17	13
23	S1 AND S3 AND S8 AND S10 OR S19	0
24	S3 AND S4 AND S8	2
25	S1 AND S8 AND S12 AND S14	1
26	S3 AND S4 AND S6 AND S8 AND S11 AND S12	0
27	S1 AND S6 AND S8 AND S11	16
28	S1 AND S6 AND S8 AND S12	0
29	S1 AND S10 AND S11 AND S14	23
30	S1 AND S3 AND S5 AND S13	0
31	S2 AND S3 AND S5 AND S13	5
32	S2 AND S3 AND S11	59

Se escogen las estrategias de búsqueda de 1-32. El total de artículos encontrados entre las dos bases de datos es de 523.

El día 17/10/2020 eliminamos los artículos duplicados y aquellos que descartamos porque el título no concuerda con nuestro proyecto de investigación, quedándonos con 136 artículos. De estos 136, eliminamos por el abstract 61, por lo que mantenemos 75 artículos.

### Diagrama de Flujo:



### 3. OBJETIVOS DE ESTUDIO

Objetivo General:

Determinar la influencia de la electroestimulación en el cuádriceps junto a ejercicios isométricos y concéntricos en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Objetivos Específicos:

Variable dependiente Fuerza Máxima Concéntrica:

Cambios de la fuerza máxima concéntrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Variable dependiente Fuerza Máxima Isométrica:

Cambios de la fuerza máxima isométrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Variable dependiente Activación Máxima en Fuerza Concéntrica:

Cambios de la activación máxima en fuerza concéntrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### Variable dependiente Activación Máxima en Fuerza Isométrica:

Cambios de la activación máxima en fuerza isométrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### Variable independiente Sexo:

- Cambios entre hombres y mujeres en la fuerza máxima concéntrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Cambios entre hombres y mujeres en la fuerza máxima isométrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Cambios entre hombres y mujeres en la activación máxima en fuerza concéntrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Cambios entre hombres y mujeres en la activación máxima en fuerza isométrica entre el ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados, el ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación y los ejercicios

isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

## 4. HIPÓTESIS DE ESTUDIO

Hipótesis Conceptual:

El ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación es más eficaz frente al ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

## 5. METODOLOGÍA

### a) Diseño

Se aplica un estudio analítico experimental, realizado a través de un muestreo no probabilístico de tipo consecutivo, sin enmascaramiento.

Es un estudio experimental debido a que los sujetos de estudio serán seleccionados en determinados grupos de manera aleatoria y homogénea.

El muestreo no probabilístico consecutivo se aplica para seleccionar a los sujetos después de valorar que cumplen los criterios de inclusión y exclusión.

El diseño está formado por 4 grupos de estudio:

- Grupo 1: Ejercicio concéntrico aislado.
- Grupo 2: Ejercicios isométrico más concéntrico aislados.
- Grupo 3: Ejercicio concéntrico con electroestimulación.
- Grupo 4: Ejercicios isométrico más concéntrico con electroestimulación.

Los momentos de la medición serán 2, una primera previa a la intervención, y una segunda posterior a la intervención.

Durante todo el estudio se respetará la Declaración de Helsinki, introducida y aprobada en 1964 por la Asamblea Médica Mundial, con el fin de asegurar los aspectos éticos en la investigación clínica en base a conceptos como la integridad moral y responsabilidades médicas.

No obstante, el proyecto de ser aprobado inicialmente por el Comité Ético (ANEXO III).

Además, se proporciona al paciente una hoja informativa (ANEXO I) donde se especifica el tipo de estudio, los objetivos planteados, los posibles peligros o daños en la intervención y el consentimiento informado (ANEXO II) donde se garantiza la protección de datos personales, el anonimato y la posibilidad de abandonar el tratamiento de intervención libremente.

## **b) Sujetos de estudio**

La población diana corresponde a deportistas federados con reconstrucción del LCA.

Población de estudio, son los deportistas federados de la Comunidad de Madrid con reconstrucción de LCA.

A pesar de delimitar la población, los sujetos deben cumplir unos criterios de inclusión y exclusión para poder participar en el estudio (17,19,22,36):

Criterios de inclusión:

- Sujetos con una edad entre 18-45 años.
- Deportistas federados.
- Pacientes con autoinjerto del tendón rotuliano.
- Lesión unilateral del LCA.
- Tiempo tras la operación con un mínimo de 6 meses.
- Limitación de la fuerza máxima de más de un 10%.
- Limitación de la activación máxima.

Criterios de exclusión:

- Antecedentes de lesiones previas en la rodilla.
- Lesión del LCA junto con menisco o cartílago articular de la rodilla.
- Problemas neurológicos que cursen con espasmo o rigidez del miembro inferior.
- Personas con problemas cardíacos.
- Problemas articulares degenerativos.

Una vez seleccionado a los sujetos para el estudio que cumplen los criterios de inclusión y exclusión, se entregará a cada sujeto una hoja informativa con el consentimiento informado, donde se especificará los métodos de intervención y los derechos de cada participante sobre la confidencialidad de los datos personales. Estas hojas deberán ser firmadas para poder participar en el estudio.

Para el cálculo del tamaño muestral, se empleará la ecuación del contraste de

hipótesis para la comparación de dos medias:

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

Se ha empleado un nivel de confianza del 95%, por lo que el nivel de significación ( $\alpha$ ) es del 5%. El poder estadístico es del 80%, lo cual, el valor K será de 7,8.

Nivel de Significación ( $\alpha$ )			
Poder estadístico (1- $\beta$ )	5%	1%	0,10%
80%	7,8	11,7	17,1
90%	10,5	14,9	20,9
95%	13	17,8	24,3
99%	18,4	24,1	31,6

Tabla 6: Tabla de Significación y Poder estadístico.

Se llevan a cabo las ecuaciones de las variables para el tamaño muestral una vez obtenidos los datos de desviación típica (SD) y precisión (D):

- Fuerza máxima en isométrico (22):  $\frac{2*7.8*32.11^2}{15.24^2} = 69,25$
- Fuerza máxima en concéntrico (22):  $\frac{2*7.8*32.30^2}{14.30^2} = 78,65$
- Activación máxima en isométrico (9):  $\frac{2*7.8*84,1^2}{80^2} = 17,23$
- Activación máxima en concéntrico (23):  $\frac{2*7.8*110,4^2}{42^2} = 104,78$

Una vez obtenidos los datos, se escoge el número de sujetos para la activación máxima en concéntrico. Se aplican este número de sujetos a los cuatro grupos de intervención, además, se le suma el 10% de posibles pérdidas en el estudio, quedando un total de 461 sujetos en total.

### c) Variables

#### Variables Dependientes:

	Tipo de Variable	Escala	Método de Medida	Unidad de Medida
<b>Fuerza Isométrica</b>	Cuantitativa Continua	Escalar	Dinamómetro Computarizado	Newton (N)
<b>Fuerza Concéntrica</b>	Cuantitativa Continua	Escalar	Dinamómetro Computarizado	N
<b>Activación muscular concéntrico</b>	Cuantitativa Continua	Escalar	Electromiografía de Superficie	Microvoltios (Mv)
<b>Activación muscular isométrico</b>	Cuantitativa Continua	Escalar	Electromiografía de Superficie	Microvoltios (Mv)

Tabla 7: Variables Dependientes. Elaboración Propia.

#### Variables Independientes:

	Tipo de Variable	Escala	Método de Medida	Unidad de Medida
<b>Sexo</b>	Cualitativa Dicotómica	Nominal	0= Hombre 1= Mujer	
<b>Tipo de Intervención</b>	Cualitativa Politómica	Nominal	1= Electroestimulación y ejercicio isométrico 2= Ejercicio Isométrico 3= Electroestimulación y ejercicio concéntrico 4= Ejercicio Concéntrico	
<b>Momento de Intervención</b>	Cualitativa Dicotómica	Nominal	0= Pre-Intervención 1= Post-Intervención	

Tabla 8: Variables Independientes. Elaboración Propia.

## d) Hipótesis operativas

### Variable dependiente fuerza máxima concéntrica:

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas en la fuerza máxima concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas en la fuerza máxima concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### Variable dependiente fuerza máxima isométrica:

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas en la fuerza máxima isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas en la fuerza máxima isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del

LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Variable dependiente activación máxima en fuerza concéntrica:

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas en la activación voluntaria máxima en fuerza concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas en la activación voluntaria máxima en fuerza concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Variable dependiente activación máxima en fuerza isométrica:

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas en la activación máxima en fuerza isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas en la activación máxima en fuerza isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del

ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

Variable independiente sexo:

*Fuerza Máxima Concéntrica*

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas entre mujeres y hombres significativas en la fuerza máxima concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la fuerza máxima concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

*Fuerza Máxima Isométrica*

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la fuerza máxima isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico

más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la fuerza máxima isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

#### *Activación Máxima en Fuerza Concéntrica*

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la activación máxima en fuerza concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la activación máxima en fuerza concéntrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

### *Activación Máxima en Fuerza Isométrica*

- Hipótesis Nula (Ho): No existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la activación máxima en fuerza isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas entre mujeres y hombres en la activación máxima en fuerza isométrica entre el grupo con ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación frente a los grupos del ejercicio concéntrico aislado, los ejercicios isométrico más concéntrico aislados y los ejercicios isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación del cuádriceps en el movimiento de extensión de rodilla para pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

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

### Recogida de datos:

En la valoración y medición de las variables de estudio, la fuerza y activación voluntaria máxima tanto en concéntrico como isométrico, emplearemos los equipos biomecánicos dinamómetro computarizado y electromiografía de superficie.

Se producirán dos mediciones a los cuatro grupos de tratamiento en las cuatro variables que representan el estudio, un primer momento pre-intervención y uno segundo post-intervención.

Una vez obtenidos los resultados de los dos momentos, se restarán las mediciones de ambos momentos para concluir las diferencias entre las dos variables.

Tanto los resultados de las dos mediciones como las diferencias de las variables entre los grupos de estudio serán proyectados en una tabla Excel ®.

### Análisis de datos:

El análisis estadístico de los datos obtenidos en las mediciones, se representarán en el programa IBM SPSS Statistics 24.0 donde se analizarán las diferencias encontradas en las variables de estudio entre los grupos de tratamiento.

Primero se realizará un análisis descriptivo de los resultados obtenidos en los momentos pre y post intervención. Para las variables dependientes de fuerza máxima concéntrica, fuerza máxima isométrica, activación máxima en fuerza concéntrica y activación máxima en fuerza isométrica, se describirá los datos de frecuencias (Absoluta y relativa), estadísticos de tendencia centralizada (Moda, media y mediana), forma (Asimetría y curtosis), medidas de dispersión (Rango y desviación típica) y medidas de posición (Percentil y cuartil).

Una vez obtenido y valorado los datos de la estadística descriptiva, procederemos realizar un análisis interferencial para valorar el contraste de

hipótesis.

### Contraste de Hipótesis:

El primer paso es evaluar la normalidad de la muestra de estudio a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas mediante el Test de Levene.

En el Test de Levene los datos obtenidos se diferenciarán entre valores mayores o menores de 0,05:

- $p \geq 0,05$ : Existe homogeneidad de varianzas.
- $p \leq 0,05$ : No existe homogeneidad de varianzas.

Para las variables dependientes cuantitativas fuerza máxima concéntrica, fuerza máxima isométrica, activación máxima en fuerza concéntrica y activación máxima en fuerza isométrica en los cuatro grupos de intervención, si en la prueba del Test de Levene, la P nos da como resultado un número superior a 0,05, asumimos homogeneidad de varianzas y aceptamos la normalidad de las variables, por lo que utilizaremos la prueba de ANOVA de medias repetidas y se acepta la hipótesis nula.

Si el resultado de la P nos da un número inferior a 0,05, nos indicará que no hay homogeneidad de varianzas y las variables no siguen una distribución normal, por lo que utilizaremos la Prueba de Friedman y se acepta la hipótesis alternativa.

En la variable independiente cualitativa dicotómicas (Sexo) se aplicará el test estadístico Chi cuadrado. Una vez obtenido, se realizará un estudio estadístico de hombres y mujeres entre las cuatro variables dependientes cuantitativas fuerza máxima concéntrica, fuerza máxima isométrica, activación máxima en fuerza concéntrica y activación máxima en fuerza isométrica. Se realizará la prueba del Test de Levene, la cual, si la P nos da como resultado un número superior a 0,05, asumimos homogeneidad de varianzas y aceptamos la normalidad de las variables, por lo que utilizaremos la prueba de ANOVA de medias repetidas y se acepta la hipótesis nula.

Si el resultado de la P nos da un número inferior a 0,05, nos indicará que no hay homogeneidad de varianzas y las variables no siguen una distribución normal, por lo que utilizaremos la Prueba de Friedman y se acepta la hipótesis alternativa.

Las variables cuantitativas representarán los datos obtenidos a través del diagrama de cajas y patillas e histograma, mientras que las variables cualitativas serán representadas a través de un diagrama circular o de barras.

## **f) Limitaciones del estudio**

- Falta de artículos sobre la activación máxima con el equipo de electromiografía de superficie tras 6 meses de tratamiento en reconstrucciones de LCA.
- Falta de sujetos que superen todos los criterios de inclusión-exclusión.
- Ausencia de más variables de tratamiento por falta de financiación.
- Incapacidad de extrapolar los resultados al resto de población que no sea deportista federado.

## **g) Equipo investigador**

El equipo investigador está compuesto por 5 profesionales titulados con una experiencia clínica y profesional de al menos 5 años:

- Investigador Principal: Luis Javier Sopeña Cueto. Encargado del diseño y redacción del estudio, elección de pacientes con la administración de sus datos, informarles del tipo de estudio y obtener el consentimiento informado.
- Fisioterapeuta experto en biomecánica y ejercicio terapéutico.
- Fisioterapeuta experto en electroestimulación: Encargado de realizar los tratamientos de los diferentes grupos de investigación.
- Fisioterapeuta con conocimientos estadísticos para evaluar y valorar los resultados de estudio.
- Médico: Responsable de derivar a los sujetos al proyecto de investigación planteado.

## **6. PLAN DE TRABAJO**

### **a) Diseño de la intervención**

El estudio dará comienzo con el planteamiento y redacción del proyecto, posteriormente se desarrollarán los objetivos y las hipótesis de estudio para tener una clara visión del propósito del estudio.

Una vez pasada esta primera fase, se planteará la solicitud del proyecto ante el comité ético internacional (ANEXO III) y la colaboración de la “Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan De Dios” para la realización del tratamiento en su laboratorio con los equipos biomecánicos correspondientes (Dinamómetro computarizado y electromiografía de superficie).

Tras la aprobación del Comité ético, el investigador principal, mantendrá una reunión con el resto del equipo investigador donde detallará el procedimiento del estudio, los objetivos y establecerá la derivación a cada componente.

En primera instancia, se pondrá en contacto con los médicos de la junta deportiva de la Comunidad de Madrid para proceder a un acuerdo con nuestro proyecto de investigación y que nos deriven a deportistas federados con 6 recuperación tras una intervención del LCA. Posteriormente, los sujetos se pondrán en contacto con el investigador principal, quien le realizará una entrevista para detallar una anamnesis completa, recogida de datos (ANEXO IV), y dónde se cerciorará si el participante cumple todos los criterios de inclusión y exclusión planteados.

Tras realizar la primera entrevista presencial con el paciente y asegurarnos que es apto para el estudio, se le proporcionará una hoja informativa (ANEXO I) donde se detallará el tipo de estudio y lo que se pretende investigar, y el consentimiento informado (ANEXO II) donde se asegura la protección de datos personales del paciente y la necesidad de que sea firmado para poder participar.

Para mantener el anonimato, se les entregó un código identificativo a cada paciente y a través de un programa de aleatorización, se derivó a los pacientes a uno de los grupos de intervención:

- Grupo 1: Ejercicio concéntrico de cuádriceps aislado.
- Grupo 2: Ejercicios isométrico más concéntrico de cuádriceps aislados.
- Grupo 3: Ejercicio concéntrico de cuádriceps con empleo de electroestimulación.
- Grupo 4: Ejercicios isométrico más concéntrico de cuádriceps con empleo de electroestimulación.

Los grupos 1 y 2 son los grupos control, mientras que los grupos 3 y 4 son los experimentales.

Una vez designados los grupos de intervención, se solicita un día correspondiente a cada sujeto para comenzar con el primer momento de medición (Pre-Intervención).

Para valorar la fuerza máxima se colocará al sujeto de estudio en sedestación, paralelo al dinamómetro y con los brazos cruzados, tocando sus hombros. Además, se aplica una cincha a nivel del tercio distal de la pierna donde se colocará la carga.

El sujeto se situará en sedestación con una flexión de cadera de  $85^{\circ}$ , con el eje del dinamómetro simétrico al cóndilo lateral de la rodilla a medir. La rodilla estará con un ángulo de flexión de  $90^{\circ}$  (34).



*Imagen 4: Elaboración Propia.*

En la primera medición, para la prueba de fuerza máxima concéntrica se realizará un primer movimiento pasivo de extensión para introducir el límite de extensión (hasta donde se va a producir la fuerza concéntrica). Se fijará en el dinamómetro una velocidad constante de 60 grados por segundo. Posteriormente, el sujeto realizará 5 repeticiones a fuerza máxima del movimiento de extensión entre los 90° y su máximo límite y con la vuelta de forma pasiva. Nos quedaremos con las 3 últimas mediciones debido a que las 2 primeras son de calentamiento. Para valorar la fuerza máxima isométrica; el paciente realiza la fuerza en los 90° sin producir movimiento; se realizarán 5 repeticiones con el rango de 5seg de trabajo y 10seg de descanso. Al igual que los dos grupos anteriores, se evaluarán las 3 últimas mediciones (22).

Para valorar la activación máxima, se empleará la electromiografía de superficie, se colocarán electrodos de superficie bipolar de 2cm; el electrodo de referencia se situará en la rótula y otros 3 electrodos en el vasto medial, vasto lateral y recto femoral entre la parte media-distal (32). Las mediciones se producirán simultáneamente a la evaluación de la fuerza máxima. Como en la fuerza máxima, en los 4 grupos valoraremos los 3 últimos resultados de las 5 repeticiones.



*Imagen 5: Elaboración Propia.*

### Tratamiento:

El tratamiento tendrá una duración de 6 semanas intensivas, con una incidencia de 3 sesiones por semana con los mismos tratamientos previos entre los grupos de intervención. Dependiendo del grupo se realizará:

- Grupo 1 o Grupo Control: Se utilizará el ejercicio concéntrico (ANEXO V) (Rafael Baptista, 2016) durante 6 semanas.
- Grupo 2 o Grupo Control: El ejercicio será a través de una carga isométrica (ANEXO VI) (Luis Gerardo Domínguez Carrillo, 2011) durante las primeras 2 semanas y el ejercicio concéntrico (ANEXO V) (Rafael Baptista, 2016) durante las otras 4 semanas.
- Grupo 3 o Grupo Experimental: Se empleará el ejercicio en modo concéntrico (ANEXO V) (Rafael Baptista, 2016) durante 6 semanas. Además, fue unido la aplicación de electroestimulación. Se aplicará una corriente alterna australiana, mediante una onda exponencial. Se emplearon electrodos pequeños (4,5 x 2,5cm) y grandes (9 x 5cm) aplicados de forma longitudinal en los vastos lateral y medial del cuádriceps. Los parámetros utilizados fueron 1000Hz de frecuencia, el ancho de impulso del 80%, 500ms de duración de fase y un tiempo de 3s de contracción frente a 6s de relajación; la intensidad se graduó en función de la tolerancia del paciente (25,29,30).
- Grupo 4 o Grupo Experimental: Para este grupo se empleará el ejercicio isométrico (ANEXO VI) (Luis Gerardo Domínguez Carrillo, 2011) durante las 2 primeras semanas y el ejercicio concéntrico (ANEXO V) (Rafael Baptista, 2016) en las siguientes 4 semanas. Ambos ejercicios se realizarán junto a la electroestimulación. Se aplicará una corriente alterna australiana, mediante una onda exponencial. Se emplearon electrodos pequeños (4,5 x 2,5cm) y grandes (9 x 5cm) aplicados de forma longitudinal en los vastos lateral y medial del cuádriceps. Los parámetros utilizados fueron 1000Hz de frecuencia, el ancho de impulso del 80%, 500ms de duración de fase y un tiempo de 5s de contracción frente a 10s de relajación; la intensidad se graduó en función de la tolerancia del paciente (25,29,30).

Una vez finalizado el tratamiento, se realizará la segunda medición (Post-intervención) con el mismo procedimiento que la primera. Posteriormente los

datos obtenidos de ambas mediciones serán introducidos en el programa estadístico IBM SPSS 24.0, dónde se analizarán los resultados, valoraremos si existen diferencias significativas entre los dos momentos de medición y sacaremos las conclusiones de nuestro estudio de investigación.

## b) Etapas del desarrollo

	Septiembre (2020)- Abril (2021)	Mayo 2021	Junio 2021	Julio – Agosto - septiembre 2021	Octubre 2021	Noviembre 2021	Diciembre 2021
Planificación y diseño del proyecto							
Aprobación del Comité ético internacional							
Selección de sujetos y muestra del estudio							
Anamnesis, recogida de datos y tratamiento							
Análisis de resultados							
Conclusiones del estudio							
Publicación y exposición del estudio							

Tabla 9: Cronograma Visual. Elaboración Propia.

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

El médico rehabilitador, es el encargado conocer la historia clínica, evaluar y cerciorar el estado de la lesión de LCA; además e informar al investigador principal de cualquier tipo de riesgo tras realizar una valoración física de la rodilla.

El investigador principal va a llevar a cabo el desarrollo y valoración del estudio de investigación, analizará que los sujetos de estudio cumplen los criterios de inclusión y exclusión, además de realizar una valoración y recogida de datos de cada participante. Además, realizará la hoja informativa y el consentimiento informado.

Cuando obtenemos a la población de estudio, se procederá a la realización del tratamiento, con dos momentos de intervención, pre-intervención y post-intervención. Los encargados de la realización del tratamiento son:

- El fisioterapeuta experto en biomecánica y ejercicio terapéutico llevará a cabo la utilización de los equipos de fisioterapia (Dinamómetro computarizado y electromiografía de superficie), además de ser el encargado de supervisar los grupos de intervención 2 y 4.
- El fisioterapeuta experto en electroestimulación es el responsable de la utilización las corrientes y supervisión de los grupos 1 y 3.

En todo momento el desarrollo del tratamiento o intervención va a estar coordinado y supervisado por el investigador principal.

Una vez finalizada la intervención y obtenido los resultados, el fisioterapeuta con conocimientos estadísticos llevará a cabo la valoración y análisis de los resultados obtenidos en la intervención a través de la aplicación de SPSS.

Finalmente, el investigador principal llevará a cabo la redacción y sacará las conclusiones del estudio.

#### **d) Lugar de realización del trabajo**

El lugar y desarrollo del proyecto será llevado a cabo en el laboratorio de la “Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios”.

## **e) Presupuesto**

Se ha establecido el presupuesto necesario para abordar de forma correcta el estudio de investigación:

- Sueldo de todos los componentes del equipo de investigación.
- Alquiler de la sala junto a los equipos (Dinamómetro y equipo de electromiografía de superficie) empleados.
- Desplazamiento al lugar de estudio.

## 7. LISTADO DE REFERENCIAS

(1) Van Melick N, Van Cingel, Robert E. H., 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.

(2) Annette V Hauger, M. P. Reiman, J M Bjordal, C Sheets, L Ledbetter, A P Goode. Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018 Feb;26(2):399-410.

(3) 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 05 06;87(1):76-80.

(4) Milos Petrovic, Haraldur B Sigurðsson, Hjálmar J Sigurðsson, Thorarinn Sveinsson, Kristín Briem. Effect of Sex on Anterior Cruciate Ligament Injury-Related Biomechanics During the Cutting Maneuver in Preadolescent Athletes. *Orthop J Sports Med* 2020 Jul 23;8(7):2325967120936980

(5) Christopher Kuenze, Brian Pietrosimone, Caroline Lisee, Margaret Rutherford, Tom Birchmeier, Adam Lepley, Joseph Hart. Demographic and surgical factors affect quadriceps strength after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019 Mar;27(3):921-930.

(6) Ian J Dempsey, Grant E Norte, Matthew Hall, John Goetschius, Lindsay V Slater, Jourdan M Cancienne, Brian C Werner, David R Diduch, Joseph M Hart. Relationship Between Physical Therapy Characteristics, Surgical Procedure, and Clinical Outcomes in Patients After ACL Reconstruction. *J Sport Rehabil* 2019 Feb 1;28(2):171-179

(7) Igor Setuain, Mikel Izquierdo, Fernando Idoate, Eder Bikandi, Esteban M Gorostiaga, Per Aagaard, Eduardo L Cadore, Jesús Alfaró-Adrián. Differential Effects

of 2 Rehabilitation Programs Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Randomized Controlled Trial 2017 Nov;26(6):544-555.

(8) Gulcan Harput , H Erkan Kilinc, Hamza Ozer, Gul Baltaci, Carl G Mattacola. Quadriceps and Hamstring Strength Recovery During Early Neuromuscular Rehabilitation After ACL Hamstring-Tendon Autograft Reconstruction. J Sport Rehabil 2015 Nov;24(4):398-404.

(9) Derek N Pamukoff , Brian G Pietrosimone , Eric D Ryan, Dustin R Lee, J Troy Blackburn. Quadriceps Function and Hamstrings Co-Activation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Athl Train 2017 May;52(5):422-428.

(10) Joshua Robert Zadro , Evangelos Pappas. Time for a Different Approach to Anterior Cruciate Ligament Injuries: Educate and Create Realistic Expectations. Sports Med 2019 Mar;49(3):357-363.

(11) Sarah H Ward, J Troy Blackburn, Darin A Padua, Laura E Stanley, Matthew S Harkey, Brittney A Luc-Harkey, Brian Pietrosimone. Quadriceps Neuromuscular Function and Jump-Landing Sagittal-Plane Knee Biomechanics After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Athl Train 2018 Feb;53(2):135-143.

(12) Cody B Bremner, William R Holcomb, Christopher D Brown, Melanie E Perreault. The Effectiveness of Neuromuscular Electrical Stimulation in Improving Voluntary Activation of the Quadriceps: A Critically Appraised Topic. J Sport Rehabil 2017 Jul;26(4):316-323.

(13) Lindsey K Lepley, Edward M Wojtys , Riann M Palmieri-Smith. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. Knee 2015 Jun;22(3):270-7.

(14) Matthew J Jordan, Per Aagaard, Walter Herzog. Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers. Med Sci Sports Exerc 2015 Jan;47(1):109-19.

- (15) Luciana Labanca, Jacopo Emanuele Rocchi, Luca Laudani, Rita Guitaldi, Alessandro Virgulti, Pier Paolo Mariani, Andrea Macaluso. Neuromuscular Electrical Stimulation Superimposed on Movement Early after ACL Surgery. Randomized Controlled Trial 2018 Mar;50(3):407-416.
- (16) Friedmann-Bette B, Profit F, Gwechenberger T, Weiberg N, Parstorfer M, Weber M, et al. Strength Training Effects on Muscular Regeneration after ACL Reconstruction. Med Sci Sports Exerc 2018 06;50(6):1152-1161.
- (17) 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 07 12;16(1):89.
- (18) Lindsey K Lepley, Edward M Wojtys, Riann M Palmieri-Smith. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve biomechanical limb symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2015 Aug;30(7):738-47.
- (19) Dragan M Mirkov, Olivera M Knezevic, Nicola A Maffiuletti, Marko Kadija, Aleksandar Nedeljkovic, Slobodan Jaric. Contralateral limb deficit after ACL-reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. J Sports Sci 2017 Mar;35(5):435-440.
- (20) Erik Hohmann, Adam Bryant, Kevin Tetsworth. Strength does not influence knee function in the ACL-deficient knee but is a correlate of knee function in the and ACL-reconstructed knee. Clinical Trial 2016 Apr;136(4):477-83.
- (21) Edwenia O'Malley, Chris Richter, Enda King, Siobhán Strike, Kieran Moran, Andrew Franklyn-Miller, Ray Moran. Countermovement Jump and Isokinetic Dynamometry as Measures of Rehabilitation Status After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Athl Train 2018 Jul;53(7):687-695.
- (22) Rodrigo Antunes de Vasconcelos, Débora Bevilaqua-Grossi, Antonio Carlos Shimano, Cleber Jansen Paccola, Tânia Fátima Salvini, Christiane Lanatovits Prado, Wilson A Mello Junior. Reliability and validity of a modified isometric

dynamometer in the assessment of muscular performance in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Rev Bras Ortop* 2015 Nov 16;44(3):214-24

(23) Fukunaga T, Johnson CD, Nicholas SJ, McHugh MP. Muscle hypotrophy, not inhibition, is responsible for quadriceps weakness during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019 Feb;27(2):573-579.

(24) Milan Pantović, Boris Popović, Dejan Madić, Jelena Obradović. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Resistance Training on Knee Extensor/Flexor Muscles. *Randomized Controlled Trial* 2015 Jul;39 Suppl 1:153-7.

(25) Marco Laubacher, Efe A Aksöz, Stuart Binder-Macleod, Kenneth J Hunt. Comparison of proximally versus distally placed spatially distributed sequential stimulation electrodes in a dynamic knee extension task. *Eur J Transl Myol* 2016 Jun 13;26(2):6016.

(26) Mathew I B Debenham<sup>1</sup>, Geoffrey A Power. The influence of preceding activity and muscle length on voluntary and electrically evoked contractions. *Appl Physiol Nutr Metab* 2019 Mar;44(3):301-308.

(27) Flávia V A Medeiros, Amilton Vieira, Rodrigo L Carregaro, Martim Bottaro, Nicola A Maffiuletti, João L Q Durigan. Skinfold thickness affects the isometric knee extension torque evoked by Neuromuscular Electrical Stimulation. *Braz J Phys Ther* Nov-Dec 2015;19(6):466-72.

(28) Caroline Lisee, Thomas Birchmeier, Arthur Yan, Christopher Kuenze. Associations between isometric quadriceps strength characteristics, knee flexion angles, and knee extension moments during single leg step down and landing tasks after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2019 Dec;70:231-236.

(29) Lucas Ogura Dantas<sup>1</sup>, Amilton Vieira, Aristides Leite Siqueira Jr, Tania Fatima Salvini, João Luiz Quagliotti Durigan. Comparison between the effects of 4 different electrical stimulation current waveforms on isometric knee extension torque and

perceived discomfort in healthy women. Randomized Controlled Trial 2015 Jan;51(1):76-82.

(30) Tanino, Genichi, Tomita, Yutaka, Orand, Abbas, Takeda, Kotaro, Tomida, Ken, Miyasaka, Hiroyuki, Ohno, Kensuke, Okamoto, Sayaka, Sonoda, Shigeru. Effect of rectangular and exponentially climbing waveforms on knee extension torque during neuromuscular electrical stimulation. Research Article vol. 28, no, 4, pp. 139-144, 2016.

(31) Fouré A, Ogier AC, Guye M, Gondin J, Bendahan D. Muscle alterations induced by electrostimulation are lower at short quadriceps femoris length. Eur J Appl Physiol 2020 Feb;120(2):325-335.

(32) Wen-Tzu Tang, Miao-Ju Hsu, Yi-Ming Huang, Yu-Ting Hsu, Li-Ling Chuang, Ya-Ju Chang. Low-Intensity Electrical Stimulation to Improve the Neurological Aspect of Weakness in Individuals with Chronic Anterior Cruciate Ligament Lesion. Biomed Res Int 2020 Mar 23;2020:7436274.

(33) Gomes da Silva, Claudia Ferreira, Lima E Silva, Felipe Xavier de, Vianna KB, Oliveira GDS, Vaz MA, Baroni BM. Eccentric training combined to neuromuscular electrical stimulation is not superior to eccentric training alone for quadriceps strengthening in healthy subjects: a randomized controlled trial. Braz J Phys Ther 2018 Nov - Dec;22(6):502-511.

(34) Hongshi Huang, Jianqiao Guo, Jie Yang, Yanfang Jiang, Yuanyuan Yu, Steffen Müller, Gexue Ren, Yingfang Ao. Isokinetic angle-specific moments and ratios characterizing hamstring and quadriceps strength in anterior cruciate ligament deficient knees. Sci Rep 2017 Aug 4;7(1):7269.

(35) Lindsey K Lepley, Timothy A Butterfield. Shifting the Current Clinical Perspective: Isolated Eccentric Exercise as an Effective Intervention to Promote the Recovery of Muscle After Injury. J Sport Rehabil 2017 Apr;26(2):122-130.

(36) Gulcan Harput, Burak Ulusoy, Taha Ibrahim Yildiz, Serdar Demirci, Leyla Eraslan, Egemen Turhan, Volga Bayrakci Tunay. Cross-education improves

quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. Randomized Controlled Trial 2019 Jan;27(1):68-75

(37) Luque-Seron JA, Medina-Porqueres I. Anterior Cruciate Ligament Strain In Vivo: A Systematic Review. Sports Health 2016 Sep;8(5):451-455.

(38) Rafael Baptista, Eduardo Onzi, Natália Goulart, Luis Dos Santos, Gabriel Makarewicz, Marco Vaz. Efectos del entrenamiento de la fuerza concéntrica versus excéntrica en la estructura y función del extensor de la rodilla en adultos. JEPonline 2016;19(3):120-132.

(39) Luis Gerardo Domínguez Carrillo, José Gregorio Arellano Aguilar, Héctor Leos-Zierold, Luis Gerardo Domínguez Casas. Diferencias en fuerza isométrica del cuádriceps usando estimulación eléctrica más isométricos vs isométricos simples en pacientes con gonartrosis. Artículo Original, Vol. 9, No. Julio-septiembre 2011.

## 8. ANEXOS

### ANEXO I: HOJA INFORMATIVA

“Influencia de la electroestimulación en la fuerza y activación muscular en postoperatorio del ligamento cruzado anterior”.

Usted tiene el derecho de conocer el objetivo y procedimiento del presente estudio al que va a ser sometido, junto a las posibles complicaciones que puede conllevar el mismo.

Con la firma de esta hoja, consta que ha sido informado del procedimiento y los riesgos; además, se consultó las dudas o cuestiones que pudieran surgir.

#### Objetivo del estudio:

Determinar la influencia de la electroestimulación en el cuádriceps junto a ejercicios isométricos y concéntricos en el movimiento de extensión de rodilla en pacientes operados del LCA a partir de 6 meses de recuperación.

#### Procedimiento:

Las variables de medición son la fuerza y activación máxima con una carga isométrica y concéntrica:

- Fuerza máxima en concéntrico: Se colocará al sujeto de estudio en sedestación, paralelo al dinamómetro y con los brazos cruzados, tocando sus hombros. Además, se aplica una cincha a nivel abdominal y otra en el tercio distal de la pierna donde se colocará la carga.

El sujeto se situará en sedestación con una flexión de cadera de 85°, con el eje del dinamómetro simétrico al cóndilo lateral de la rodilla a medir. La rodilla estará con un ángulo de flexión de 90°.

Se realizará un primer movimiento pasivo de extensión para introducir el límite de extensión (hasta donde se va a producir la fuerza concéntrica). Se fijará una velocidad constante a 60 grados por segundo. Posteriormente, el sujeto realizará 5 repeticiones a fuerza máxima del movimiento de extensión entre los

90° y su máximo límite y con la vuelta de forma pasiva. Nos quedaremos con las 3 últimas mediciones debido a que las 2 primeras son de calentamiento.

- Fuerza máxima en isométrico Se colocará al sujeto de estudio en sedestación, paralelo al dinamómetro y con los brazos cruzados, tocando sus hombros. Además, se aplica una cincha a nivel abdominal y otra en el tercio distal de la pierna donde se colocará la carga.

El sujeto se situará en sedestación con una flexión de cadera de 85°, con el eje del dinamómetro simétrico al cóndilo lateral de la rodilla a medir. La rodilla estará con un ángulo de flexión de 90°.

El paciente realiza la fuerza en los 90° sin producir movimiento; se realizarán 5 repeticiones con el rango de 5seg de trabajo y 10seg de descanso. Además, se evaluarán las 3 últimas mediciones.

- Activación máxima en fuerza concéntrica: Se empleará la electromiografía de superficie, se colocarán electrodos de superficie bipolar de 2cm; el electrodo de referencia se situará en la rótula y otros 3 electrodos en el vasto medial, vasto lateral y recto femoral entre la parte media-distal. Las mediciones se producirán simultáneamente a la evaluación de la fuerza máxima de modo concéntrico. Como en la fuerza máxima, se escogerán los 3 últimos resultados de las 5 repeticiones.
- Activación máxima en fuerza isométrica: Se empleará la electromiografía de superficie, se colocarán electrodos de superficie bipolar de 2cm; el electrodo de referencia se situará en la rótula y otros 3 electrodos en el vasto medial, vasto lateral y recto femoral entre la parte media-distal. Las mediciones se producirán simultáneamente a la evaluación de la fuerza máxima de modo isométrico. Como en la fuerza máxima, se escogerán los 3 últimos resultados de las 5 repeticiones.

## Tratamiento

- Protocolo ejercicio concéntrico aislado: El entrenamiento concéntrico consistirá en la extensión concéntrica de rodilla con una sobrecarga durante un periodo

de 3seg seguida de una pausa de 0,5seg para que el investigador sostuviera completamente la carga y, luego, una flexión de rodilla sin carga hasta los 90°. La carga será ajustada durante el programa de entrenamiento cuando los sujetos podían ejecutar más de 10RM.

- Protocolo ejercicio isométrico más concéntrico aislado: En el ejercicio isométrico se solicitará la extensión de rodilla que partía de posición de 90° de flexión de rodilla hacia la extensión completa, sosteniendo la posición en dicha contracción durante 5seg y el terapeuta le ayudará al descenso. En este procedimiento se efectuará en una serie de 10 repeticiones contra el 50% de la carga máxima, calculada para cada paciente como calentamiento; posteriormente, se agregará una serie de 10 repeticiones con las mismas características, pero contra el 90% de la carga máxima.

El ejercicio concéntrico consistirá en la extensión concéntrica de rodilla con una sobrecarga durante un periodo de 3seg seguida de una pausa de 0,5seg para que el investigador sostuviera completamente la carga y, luego, una flexión de rodilla sin carga hasta los 90°. La carga será ajustada durante el programa de entrenamiento cuando los sujetos puedan ejecutar más de 10RM.

- Protocolo ejercicio concéntrico unido a la electroestimulación: El entrenamiento concéntrico consistirá en la extensión concéntrica de rodilla con una sobrecarga durante un periodo de 3seg seguida de una pausa de 0,5seg para que el investigador sostuviera completamente la carga y, luego, una flexión de rodilla sin carga hasta los 90°. La carga será ajustada durante el programa de entrenamiento cuando los sujetos podían ejecutar más de 10RM. Además, será unido la aplicación de electroestimulación. Se aplicará una corriente alterna australiana, mediante una onda exponencial. Se emplearán electrodos pequeños (4,5 x 2,5cm) y grandes (9 x 5cm) aplicados de forma longitudinal en los vastos lateral y medial del cuádriceps. Los parámetros utilizados serán 1000Hz de frecuencia, el ancho de impulso del 80%, 500ms de duración de fase y un tiempo de 3s de contracción frente a 6s de relajación; la intensidad se graduó en función de la tolerancia del paciente.

- Protocolo ejercicio isométrico más concéntrico unido a la electroestimulación: En el ejercicio isométrico se solicitará la extensión de rodilla que partirá de posición de 90° de flexión de rodilla hacia la extensión completa, sostendrá la posición en dicha contracción durante 5seg y el terapeuta le ayudó al descenso. En este procedimiento se efectuará en una serie de 10 repeticiones contra el 50% de la carga máxima, calculada para cada paciente como calentamiento; posteriormente, se agregará una serie de 10 repeticiones con las mismas características, pero contra el 90% de la carga máxima.

El ejercicio concéntrico consistirá en la extensión concéntrica de rodilla con una sobrecarga durante un periodo de 3seg seguida de una pausa de 0,5seg para que el investigador sostuviera completamente la carga y, luego, una flexión de rodilla sin carga hasta los 90°. La carga será ajustada durante el programa de entrenamiento cuando los sujetos podían ejecutar más de 10RM.

Además, en ambos ejercicios se aplicará una corriente alterna australiana, mediante una onda exponencial. Se emplearon electrodos pequeños (4,5 x 2,5cm) y grandes (9 x 5cm) aplicados de forma longitudinal en los vastos lateral y medial del cuádriceps. Los parámetros utilizados serán 1000Hz de frecuencia, el ancho de impulso del 80%, 500ms de duración de fase y un tiempo de 5s de contracción frente a 10s de relajación; la intensidad se graduará en función de la tolerancia del paciente.

Contraindicaciones de la electroestimulación:

- Heridas en la piel o quemaduras.
- Procesos inflamatorios.
- Tendencia al sangrado.
- Problemas circulatorios.
- Hipertensión arterial.
- Problemas neurológicos.
- Enfermedades musculares metabólicas.
- Epilepsia.
- Marcapasos.

## **ANEXO II: CONSENTIMIENTO INFORMADO**

### SUJETO

D/Dña. \_\_\_\_\_ 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 ninguno de los casos de las contraindicaciones especificadas en este documento.

Declaro haber facilitado de manera leal y verdadera los datos sobre el estado físico y salud de mi persona que pudiera afectar a los procedimientos que se me van a realizar.

Asimismo, 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 a retirar su consentimiento en cualquier momento previo a la realización de los procedimientos o durante ellos.

### ANEXO III: SOLICITUD AL COMITÉ ÉTICO INTERNACIONAL

D/Dña. \_\_\_\_\_ (nombre y apellidos del Promotor) en calidad de \_\_\_\_\_ (relación con la entidad promotora) con domicilio social en \_\_\_\_\_

EXPONE Que desea llevar a cabo el estudio

\_\_\_\_\_ (título código y fecha de versión). Que será realizado en el Servicio de

\_\_\_\_\_ por

\_\_\_\_\_ (nombre y apellidos) que trabaja en el

Área (Servicio) \_\_\_\_\_ como investigador principal

\_\_\_\_\_.

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 internacionalmente aceptadas. (Helsinki última versión).

Por lo expuesto,

SOLICITA:

Le sea autorizada la realización de este ensayo cuyas características son las que se indican en la hoja de resumen del ensayo y en el protocolo. Para lo 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 de 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/Dña

En

\_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

## ANEXO IV: HOJA DE DATOS PERSONALES

Nombre y apellidos:

Fecha de nacimiento:

Correo electrónico:

Número de teléfono:

Grupo de Intervención:

- Grupo 1 o Grupo experimental
- Grupo 2 o Grupo control
- Grupo 3 o Grupo experimental
- Grupo 4 o Grupo control

Posicionamiento del Dinamómetro:

- Altura asiento:
- Altura respaldo:
- Altura halo:

Fecha medición pre-intervención:

Fecha medición post-intervención:

Variable	Pre-intervención	Post-intervención
Fuerza máxima		
Activación máxima		

## **ANEXO V: PROTOCOLO EJERCICIO CONCÉNTRICO**

Título: “Efectos del entrenamiento de la fuerza concéntrica versus excéntrica en la estructura y función del extensor de la rodilla en adultos”. (Rafael Baptista, 2016)

El entrenamiento concéntrico consistió en la extensión concéntrica de rodilla con una sobrecarga durante un periodo de 3seg seguida de una pausa de 0,5seg para que el investigador sostuviese completamente la carga y, luego, una flexión de rodilla sin carga hasta los 90°. La carga fue ajustada durante el programa de entrenamiento cuando los sujetos podían ejecutar más de 10RM.

## **ANEXO VI: PROTOCOLO EJERCICIO ISOMÉTRICO**

Título: “Diferencias en fuerza isométrica del cuádriceps usando estimulación eléctrica más isométricos vs isométricos simples en pacientes con gonartrosis” (Luis Gerardo Domínguez Carrillo, 2011).

Se solicitó la extensión de rodilla que partía de posición de 90° de flexión de rodilla hacia la extensión completa, sostuvo la posición en dicha contracción durante 5seg y el terapeuta le ayudó al descenso. En este procedimiento se efectuó en una serie de 10 repeticiones contra el 50% de la carga máxima, calculada para cada paciente como calentamiento; posteriormente, se agregó una serie de 10 repeticiones con las mismas características, pero contra el 90% de la carga máxima.