



**ESCUELA
DE ENFERMERÍA
Y FISIOTERAPIA**



SAN JUAN DE DIOS

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Título:

***Incorporación precoz de ejercicios
excéntricos en el programa de fuerza de
fisioterapia en deportistas operados del
ligamento cruzado anterior.***

Alumno: Elisa Ramos Landré

Tutor: Néstor Pérez Mallada

Madrid, 6 de junio de 2021

ÍNDICE:

Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
GLOSARIO DE TÉRMINOS:	5
1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA	6
2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA.....	22
3. OBJETIVOS DE ESTUDIO:	27
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	27
4. HIPÓTESIS CONCEPTUAL:	28
5. METODOLOGÍA.....	29
5.1 DISEÑO	29
5.2 SUJETOS DEL ESTUDIO	30
5.3 VARIABLES:	33
5.4 HIPÓTESIS OPERATIVAS:.....	35
5.5 RECOGIDA, ANÁLISIS DE DATOS, CONTRASTE DE HIPÓTESIS.	36
5.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	37
5.7 EQUIPO INVESTIGADOR.	37
6. PLAN DE TRABAJO	38
6.1 DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN.	38
6.2 ETAPAS DE DESARROLLO.....	48
6.3 DISTRIBUCIÓN DE TAREAS DEL EQUIPO INVESTIGADOR.	48
6.4 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO.	50
7. LISTADO DE REFERENCIAS.....	52
8. ANEXOS.	56

RESUMEN

Introducción:

Las roturas del ligamento cruzado anterior son lesiones comúnmente deportivas con una prevalencia del 83,4%. Tras la cirugía, se produce un 20% de atrofia muscular y un 30% de pérdida de fuerza del cuádriceps. Es muy importante un buen programa de fortalecimiento muscular y conocer el mecanismo fisiológico de las contracciones musculares para promover un enfoque diferente de recuperación y conseguir resultados positivos en los pacientes. Los programas de intervención acelerada han sugerido durante mucho tiempo como óptimos y seguros para la recuperación del LCA. Por tanto, la incorporación de ejercicios excéntricos de cuádriceps a partir de la 3ª semana postoperatoria es segura. Actualmente, la mayoría de los artículos muestra que el ejercicio excéntrico es más ventajoso que el ejercicio concéntrico.

Objetivo:

Comprobar la efectividad de la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia comparada con los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

Hipótesis:

La incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza de fisioterapia es más efectiva en la fuerza máxima isométrica y en el volumen del cuádriceps que los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

Metodología:

Se propone un estudio experimental y longitudinal con asignación aleatoria de los participantes a dos grupos de tratamiento (programa de fuerza habitual de fisioterapia: ejercicio concéntrico en deportistas operados del ligamento cruzado anterior y programa de fuerza habitual + ejercicio excéntrico). En ambos grupos se medirán la fuerza máxima isométrica del cuádriceps a 60º de flexión de rodilla con un dinamómetro y el volumen del cuádriceps con imágenes de resonancia magnética. Las variables se medirán antes (3ª semana postoperatoria) y después (15ª semana posoperatoria) del tratamiento. La muestra estará compuesta por 156 pacientes operados del ligamento cruzado anterior.

Palabras claves: ligamento cruzado anterior, atletas, ejercicio excéntrico, cuádriceps.

ABSTRACT

Introduction:

Anterior cruciate ligament tears are sports injuries with a prevalence of 83.4%. After surgery, there is 20% muscle atrophy and 30% loss of quadriceps strength. It's very important a good muscle strengthening program and knowing the physiological mechanism of muscle contractions to promote a different approach to recovery and to obtain positive results in patients. Accelerated intervention programs have long been suggested to be optimal and safe for ACL recovery. Therefore, the incorporation of eccentric quadriceps exercises from the 3rd postoperative week is safe. Currently, most articles show that eccentric exercise is more advantageous than concentric exercise.

Objective:

To verify the effectiveness of the early incorporation of eccentric exercises to the physical therapy treatment strength program compared with concentric exercises in post-operative ACL athletes.

Hypothesis:

The early incorporation of eccentric exercises to the physiotherapy strength program is more effective in the maximum isometric strength and in the volume of the quadriceps than concentric exercises in post-operative ACL athletes.

Methodology:

An experimental and longitudinal study with random probability of the participants to two treatment groups is proposed (usual physical therapy strength program: concentric exercise in post-operative ACL athletes and habitual strength program + eccentric exercise). In both groups, the maximum isometric force of the quadriceps at 60° of knee flexion will be measured with a dynamometer and the volume of the quadriceps with magnetic resonance images. The variables will be measured before (3rd week post surgery) and after the treatment (15th week post surgery). The sample will be composed of 156 post-operative patients of the anterior cruciate ligament.

Keywords: anterior cruciate ligament, athletes, eccentric exercise, quadriceps.

GLOSARIO DE TÉRMINOS:

AL	Affected Limb
AM	Anteromedial
AMM	Asociación Médica Mundial
ATP	Adenosín Trifosfato
CCA	Cadena Cinética Abierta
CCC	Cadena Cinética Cerrada
CEIC	Comité Ético de Investigación Clínica
CH	Crossover Hop
CI	Consentimiento Informado
Cm²	Centímetros cuadrados
Con	Concentric
CONCC	Concentric Control group
CONCT	Concentric Training
CON/ECC	Concentric/Eccentric
CON/ECC*	Entrenamiento con sobrecarga excéntrica
Ecc	Eccentric
ECCC	Eccentric Control group
ECCT	Eccentric Training
FPM	Fuerza pico máximo
F8H	Figure-8 Hop
HIP	Hoja de Información al Paciente
ID	Identificación
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
LOPDGDD	Ley Orgánica de Protección de Datos y Garantía de Derechos Digitales
MRI	Magnetic Resonance Imaging
ms	milisegundos
NAL	Non Affected Limb
N/m	Newton/metro
PL	Postero- Lateral
PM	Postero- Medial
PRICE	Protection, Rest, Ice, Compress, Elevate
PTA	Peak Torque Average
RE	Resistencia Excéntrica
RICE	Rest, Ice, Compress, Elevate
RM	Repetición Máxima
ROM	Range Of Movement
SH	Single Hop
SLHT	Single-Leg Hop Test
TDF	Tasa de desarrollo
TH	Triple Hop
VJRT	Vertical Jump and Reach Test

1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) es comúnmente una lesión deportiva. Establecer un concepto para lesión deportiva, es un reto, ya que se puede dar por diversas causas. La *American Orthopaedic Society for Sports Medicine* (1) la define como el daño, percance o contratiempo que tiene lugar durante la competición o los entrenamientos y que conlleva una baja en la competición, en más de dos días de entrenamiento o un descenso en la carga de entrenamiento en sesiones consecutivas. Hay que resaltar que las lesiones deportivas ocurren debido al incremento de la energía musculoesquelética, que aumenta la posibilidad de que se den dichos eventos. Por tanto, las actividades que demandan mayor exigencia en el sistema musculoesquelético exponen a los deportistas a acciones repetitivas, contra resistencia, generando estrés sobre los tejidos, que, junto a la táctica, técnica, forma de entrenamiento y factores de recuperación podrá desencadenar o no la aparición de lesiones.

Según el sexo del paciente, la probabilidad de sufrir una lesión es mayor en las mujeres. Por tanto, tienen una incidencia de hasta cuatro veces más que los hombres de sufrir una rotura en el LCA cuando practican el mismo deporte (2).

Esta lesión afecta aproximadamente a unas 250.000 personas al año en Estados Unidos. Un estudio de Andrew Arjun Sayampanathan determina que un 83.4 % de las roturas de este ligamento tiene que ver con la práctica deportiva, especialmente deportes que implican cambios de direcciones y pivotes multidireccionales como el fútbol, baloncesto, fútbol americano, rugby, balonmano, béisbol, esquí y deportes de raqueta (3, 4).

El fútbol es el deporte más popular del mundo y la rotura del LCA es frecuente en su práctica. Varios estudios afirman que el 87 % de las lesiones en el fútbol afectan a los miembros inferiores. Alrededor de un 20 % de ellas son producidas en la articulación de la rodilla y un 5% concretamente en el LCA, afectando de 2 a 3 veces más a las mujeres. Es un ligamento de tejido conectivo con una media de longitud de 33 mm y 10 mm de anchura situado en una estructura intraarticular y extrasinovial de la rodilla. Se origina en la parte posterior interna del cóndilo femoral externo y sigue oblicuamente hacia la parte anteromedial de la tibia. Forma una X junto con el ligamento cruzado posterior, ambos están cubiertos por una capa sinovial continua y forman lo que se denomina "pivote central" (5). Presenta una estructura miofibrilar formada principalmente por haces de colágeno tipo I. Se divide en dos fascículos desde el punto de vista funcional: anteromedial (AM) y posterolateral (PL). El objetivo del fascículo AM consiste en estabilizar el cajón anterior de rodilla durante la flexión de 0º a 90º. Las fibras del fascículo PL se encuentra más en tensión cuando la rodilla se encuentra en extensión, produciendo una estabilización y un control de la rotación interna. Por tanto, con la rodilla extendida, el fascículo PL controla la traslación anterior de la tibia y en la flexión lo hace el AM. En la extensión de la rodilla, el ligamento tiene forma de abanico chocando con la escotadura que existe entre los cóndilos y en la flexión, los fascículos se enrollan formando un cordón (5, 6).

Según el autor Bencke J (7), a partir de estudios cadavéricos, se ha demostrado que la función anatómica del LCA es proporcionar estabilidad pasiva a la rodilla en los tres planos. En el plano sagital, la traslación anterior está limitada por este ligamento. En el plano frontal, el LCA restringe el movimiento de abducción y aducción de rodilla, se intensifica la tensión cuando se carga la articulación en dirección de valgo o varo. Y en cuanto al plano transversal, se ha comprobado que la rotación interna de la tibia aumenta la carga del LCA.

El principal mecanismo lesional ocurre durante maniobras de aterrizaje de un salto, desaceleración o cambio brusco de dirección con la rodilla en valgo, ligera flexión, rotación interna de la rodilla respecto al fémur y una fuerte contracción excéntrica del cuádriceps provocando una anteriorización de la tibia. Desde una perspectiva biomecánica-anatómica, la gran generación de fuerza en los extensores de la rodilla junto con ángulos más extendidos de la articulación de la rodilla durante el aterrizaje forzoso aumenta la tensión en el ligamento en el plano sagital, por tanto, conlleva a un mayor riesgo de lesión. La rotura del LCA es de causa multifactorial, se ocasiona en un 65-70 % en acciones sin contacto, en un 20% en acciones de contacto indirecto y entre el 10-15 % en acciones de contacto directo (7, 8).

La rodilla recibe la fuerza de reacción del suelo, generándose una compresión articular en valgo, tensando el ligamento colateral medial y produciendo una rotación interna de la tibia, así como una luxación posterior del cóndilo externo que da lugar a la lesión ligamentosa. Una vez roto el LCA, la tibia va hacia delante, el cóndilo interno se luxa hacia posterior con reducción del cóndilo externo, dando lugar a un valgo con rotación externa. La bibliografía confirma que la lesión se produce en extensión completa de la rodilla. Mientras se va flexionando la rodilla, la fuerza de reacción del suelo produce menor vector de traslación anterior de la tibia (rol preventivo) (2,9).

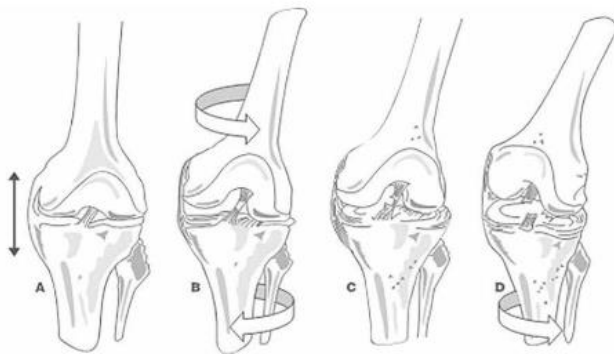


Figura 1. Mecanismo Lesional LCA

Fémur, tibia y LCA izquierdo (9).

Se diagnostica mediante historia clínica (en la que se recoge síntomas y mecanismo lesional), examen físico (se compara la rodilla lesionada con la contralateral, se observa la inflamación y el rango articular). Se utiliza la palpación para comprobar el estado de la rótula, meniscos, ligamentos laterales, mediales y cruzados. La valoración de la estabilidad de la rodilla se lleva a cabo a través de pruebas clínicas específicas (test de Lachmann, test de cajón anterior). La resonancia magnética tiene una fiabilidad del 95 % para conocer el estado del ligamento. También, es necesario que el paciente se someta a una radiografía para descartar posibles avulsiones de la parte ósea donde se inserta el ligamento. Es muy común que junto a la lesión del LCA se produzca una rotura de menisco con una incidencia del 37 % al 86 % (4, 10).



Figura 2. Test de Lachmann (11).

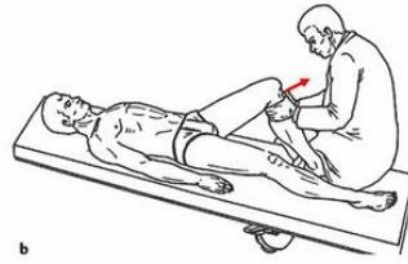
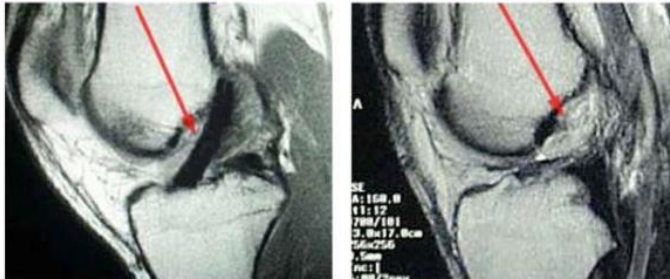


Figura 3. Test de cajón anterior (11).



Resonancia magnética con LCA íntegro

Resonancia magnética con rotura LCA

Figura 4. Resonancia magnética LCA (11).

Existen dos tipos de factores de riesgo que desencadenan la rotura del LCA: (2)

- Factores intrínsecos:

- Sexo femenino: Algunos autores definen tres teorías relacionadas con los factores internos para explicar la diferencia de incidencia de las lesiones de rodilla entre hombres y mujeres deportistas:
 - Teoría anatómica: una de las teorías está relacionada con el Ángulo-Q. Explica que hay diferencias entre géneros en la estructura pélvica y la alineación de las extremidades inferiores. Otra teoría hace referencia a la escotadura intercondílea. En las mujeres, es más estrecha y se hipotetiza un LCA más pequeño que en los hombres.
 - Teoría neuromuscular: especula que las diferencias existen debido a los diferentes niveles de entrenamiento, pero hay poca evidencia para apoyar esta conclusión.
 - Teoría hormonal: valora los efectos de estrógeno, progesterona y relaxina en el sistema musculoesquelético y neuromuscular de la mujer. Aumenta el riesgo de lesión durante la fase preovulatoria del ciclo menstrual debido a los efectos hormonales del estrógeno, como la reducción de la resistencia ligamentosa. En la fase anterior a la ovulación, se produce una alta concentración de la hormona relaxina colagenolítica que produce un aumento de laxitud de rodilla y una disminución de la acción del estradiol afectando directamente sobre la fuerza tensional del ligamento (10, 12).

- Edad (biológica, madurez): cambia la fuerza y la resistencia de los tejidos. Así la fuerza empieza a disminuir a la edad aproximadamente de los 30 a los 40 años, mientras que la elasticidad se reduce a partir de los 30 años. La capacidad ósea disminuye desde la quinta década y la capacidad física alcanza el punto máximo entre la edad de los 20 y 40 años (1).
- Deporte profesional: estrés, fatiga y exigencia de la competición (jugadores profesionales de fútbol, baloncesto u otros deportes que supongan el mecanismo lesional del LCA tienen una incidencia anual de 0,15 %-3,7 %) (4).
- Composición corporal: una dorsiflexión limitada del tobillo (<10º) produce una reducción de la fase de apoyo plantar disminuyendo la capacidad de contracción de los gastrocnemios y aumentando el estrés articular de la rodilla. Un área intercondílea pequeña (<17mm) favorece la aparición de un pinzamiento ligamentoso (4). Tener pie plano provoca una rotación interna de la tibia colocando al ligamento en tensión (10). También son factores de riesgo: la presencia de valgo excesivo y al mantenerlo en la caída de un salto, la pronación del pie junto a la caída del astrágalo, el aumento de la rotación interna de cadera junto con una rotación externa de la tibia (12).

-Factores extrínsecos: (2)

- Tipo de calzado: el calzado deportivo con mayor número y mayor longitud de tacos aumenta la resistencia a la torsión y la probabilidad de lesión del LCA.
- Interacción con el terreno: se ha demostrado que, en deportes de interior, hay mayor riesgo de lesión en suelos sintéticos que en suelos de madera y en cuanto a los deportes de exterior, hay mayor exposición a la lesión en césped artificial que en el natural.
- Condiciones climáticas: Dos estudios realizados por Orchard determinaron que altas tasas de evaporación (humedad ambiental) y la escasez de lluvias durante los 28 días previos a la fecha del partido aumentan las lesiones (13).

Para tratar a un atleta con una lesión deportiva, debe haber una buena organización, con un programa idóneo para asegurar una recuperación óptima. Hay que destacar que una recuperación deportiva es mucho más estricta que una convencional, partiendo de la exigencia requerida por la competición. Por lo tanto, es necesario comprender el comportamiento de las estructuras en el proceso de curación: (1)

- Fase aguda/inflamatoria: se produce cuando hay una lesión directa en los tejidos. Es característica por la aparición de edema, rubor, calor y dolor a la palpación. Esta fase dura entre 2 y 4 días. Si dura más de 4 semanas, se denomina inflamación subaguda y cuando se extiende por meses o incluso años, se llama inflamación crónica.
- Fase reparativa/intermedia: se caracteriza por la formación de la cicatriz y la reparación del tejido lesionado, sigue los procesos de vascularización y exudativos de la inflamación. Este proceso puede durar entre 4 y 6 semanas.
- Fase de remodelación: es un proceso largo. El tejido adopta gradualmente su aspecto normal y su función. Al cabo de 3 semanas, la cicatriz ya es resistente y avascular.

La reconstrucción del LCA es conveniente en atletas que tienen como objetivo regresar a la competición lo antes posible, con el mismo nivel anterior a la rotura. Se ha demostrado que el 82 % de los deportistas vuelven a practicar cualquier deporte, el 65 % consiguen su nivel de actividad anterior, solo el 55 % a nivel competitivo y el 30 % vuelven a sufrir una segunda rotura en los primeros años después de la reconstrucción (3).

Existen dos vías de actuación frente a la rotura del LCA: tratamiento conservador (trabajo de reeducación sensitivo perceptivo motriz y fortalecimiento en fisioterapia) y tratamiento quirúrgico (reconstrucción del ligamento mediante injerto). Hay dos opciones de plastia: (4)

- Aloinjertos: utiliza tejidos de otros individuos, por ejemplo: tendón de Aquiles, tendón del tibial posterior o tendón de los peroneos. Tiene inconvenientes como el riesgo de transmitir enfermedades y mayor demora en la incorporación.
- Autoinjerto: los injertos más populares son aquellos que utilizan el tejido del tendón rotuliano o tendones de la pata de ganso con mayor resistencia que un LCA normal. El injerto del tendón isquiotibial es aproximadamente un 91 % más fuerte que el LCA nativo y un 39 % más fuerte que el injerto rotuliano. Cada tipo de injerto presenta específicos inconvenientes funcionales. Sin embargo, independientemente de la técnica quirúrgica, restaurar la fuerza muscular de la rodilla y volver a la competición siguen siendo un reto (4, 13, 14, 15).

La restauración de la función previa a la lesión es el objetivo principal. Los programas de recuperación deben ser específicos para las necesidades de cada usuario. En cambio, todos comparten objetivos básicos: (1)

- Disminuir o eliminar el dolor.
- Reducir o eliminar la inflamación.
- Restaurar el rango de movimiento.
- Recuperar la fuerza necesaria para volver a competir al deporte específico.
- Mejorar el patrón de la marcha.
- Minimizar los riesgos de una nueva lesión.
- Realizar ejercicios de agilidad específicos para el deporte que desempeñe el sujeto.
- Mantener la aptitud cardiovascular.

El proceso de recuperación del LCA se puede dividir en dos fases:

1. Periodo preoperatorio: cuyo objetivo es mantener y mejorar las capacidades funcionales de la rodilla para que el paciente acceda en las mejores condiciones a las primeras fases postquirúrgicas (16). Se considera necesario conseguir un rango articular completo en la extensión de rodilla y solo perder un 20 % de la fuerza muscular del cuádriceps. Para ello, se debe controlar la inflamación y el dolor con el método RICE, restaurar la activación muscular voluntaria, trabajar la fuerza del cuádriceps en cadena cinética cerrada en rangos de 0-90º y con ejercicios de flexión de cadera junto con la extensión de rodilla. A esto se le puede añadir electroestimulación. Suele durar 3 semanas. Se realiza la intervención quirúrgica a las 6 semanas del diagnóstico (5, 15).

2. Periodo postoperatorio: es la fase más larga, dura alrededor de 6-12 meses. Comienza entre la 2ª y la 4ª semana tras la intervención. Todavía existe vulnerabilidad en el injerto y se puede dividir en tres o cuatro etapas progresivas, dependiendo de diferentes autores: la 1ª incluye el 1º mes, la 2ª se extiende al 3º mes, la 3ª fase del 3º al 6º mes y la 4ª fase del 6º mes hacia delante (4,16). Tienen como objetivo: disminuir la inflamación, aumentar la movilidad rotuliana, restaurar la extensión pasiva completa y mejorar la flexión de rodilla, ganar control y fuerza muscular del cuádriceps (realizando isométricos, ejercicios en CCC, CCA y trabajo isocinético), equilibrio y mejorar patrones de movimiento de la extremidad afectada (15, 16). A partir de la última fase, comienza la “readaptación” en la que se lleva a cabo un trabajo de resistencia y se intenta restablecer las habilidades motrices básicas. La finalidad de estas semanas es conseguir niveles óptimos de fuerza, velocidad y flexibilidad. Se debe poner en práctica el trabajo específico del deporte, incluyendo la coordinación y gestos deportivos (5). Para la vuelta a la actividad deportiva, es necesario alcanzar el 85-90 % de fuerza isocinética de los isquiotibiales y cuádriceps, en la pierna lesionada con respecto a la sana. En los hombres, debe ser un valor superior a 40-80% de su peso corporal y en las mujeres está entre 35-70 % (17).

En todo momento de la recuperación, se tiene en cuenta la individualización del paciente y el seguimiento de unos correctos criterios para ir avanzando en cada fase. Por tanto, la duración de estas fases es aproximada dada la subjetividad y variedad de cada persona (5).

El fisioterapeuta considerará la necesidad de someter carga de forma progresiva en el tratamiento. Esto podría ser más beneficioso que una intervención movilizador. La inmovilización de los ligamentos produce consecuencias negativas. Éstos se remodelan en respuesta a las demandas mecánicas impuestas. Si el ligamento está sometido a estrés, se produce un ligamento más rígido y fuerte, mientras que la inactividad produce una estructura débil. En la literatura médica, se ha descrito que, en la recuperación de un ligamento, se debe practicar la movilización y la inmovilización. Hay que proporcionar estímulos progresivos que sobrecarguen el ligamento para estimular la regeneración, pero la carga debe estar controlada para no producir microtraumatismos. Los ligamentos sometidos a inmovilizaciones pueden sufrir: disminución del estrés lineal y estrés máximo; reducción del tamaño y densidad de la fibrilla del ligamento; disminución de la carga y la capacidad de absorción de energía del complejo hueso-ligamento; aumento de la síntesis de degradación del colágeno, lo que provoca una mayor tasa de rotación (1). Hay mucha controversia con el uso de la ortesis después de la operación. Su función es restringir el ROM, proveer estabilidad, proteger la articulación y resistir la tensión medial y lateral. Revisiones bibliográficas de Tolga Saka y L.M Kruse afirman que el uso de ortesis quirúrgica diseñada para limitar o mejorar el rango de movimiento y proteger contra el estrés en valgo y varo, no asegura mejores resultados ni protección antirecaída, sino que confiere una sensación subjetiva de seguridad (4, 18).

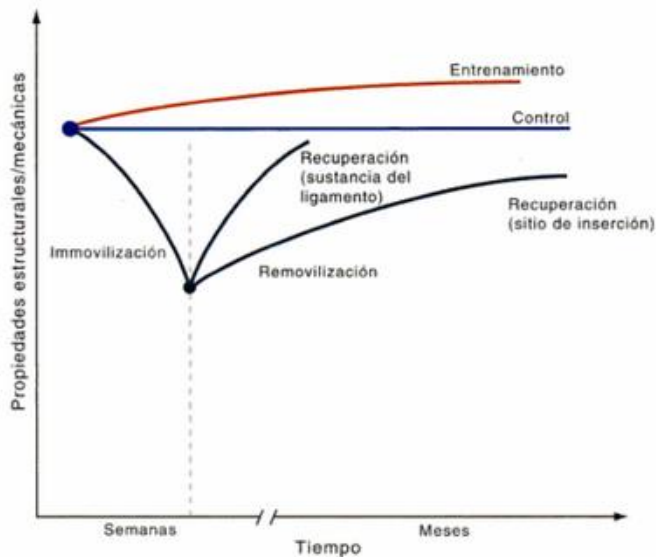


Figura 5: Relación entre entrenamiento, inmovilización y removilización de los ligamentos. (19)

Es importante un buen programa de fortalecimiento muscular para reducir las diferencias entre ambos miembros y conseguir volver a los niveles preoperatorios de actividad, facilitando el retorno de la competición deportiva. Cuanta más simetría de fuerza y biomecánica haya en ambos miembros, más se reduce la probabilidad de recaída (4). El entrenamiento de fuerza aumenta la fortaleza tensional del ligamento en un 10 % a un 20 % (19).

Hay que tener en cuenta el tiempo aproximado para retornar a la fuerza normal de las diferentes estructuras: Hueso (12 semanas); Ligamento (40-50 semanas); Músculo (6 semanas a 6 meses); Tendón (40-50 semanas) (4). Los ligamentos tardan más respecto a otras estructuras debido a que presentan poca vascularización y un metabolismo lento. No se regenera, su recuperación consiste en la cicatrización, por lo que el tejido no vuelve a su estado original al 100 % (20).

En el ejercicio muscular, existen dos modalidades de contracción: estática (isométrica) y dinámica (isotónica: excéntrica y concéntrica; isocinética). La contracción estática es aquella donde la fuerza producida por el músculo y la fuerza a resistir son iguales y no se produce ningún cambio en la longitud del músculo ni un desplazamiento de la carga. La contracción isotónica ocurre cuando un músculo cambia su longitud al mover una carga. Dentro de esta contracción se encuentran dos tipos de fuerza: (21)

- Fuerza concéntrica: la fuerza producida por el músculo es mayor a la fuerza de resistencia, produciéndose un acortamiento muscular (fase positiva).
- Fuerza excéntrica: la fuerza que ejerce el músculo es menor que la fuerza de resistencia, generando un alargamiento muscular (fase negativa).

Cuando un músculo desarrolla el máximo esfuerzo para toda la amplitud del movimiento, contrayéndose a una velocidad constante, se denomina contracción isocinética. La contracción auxotónica aumenta progresivamente con el acortamiento del músculo. Mientras que la contracción pliométrica consiste en una contracción concéntrica explosiva, inmediatamente precedida de una contracción excéntrica. Estas diferencias tienen impacto en varias funciones musculoesqueléticas, determinando distintos niveles de tensión. Es muy importante conocer el mecanismo fisiológico de las contracciones musculares para promover un enfoque diferente de recuperación y conseguir resultados positivos en los pacientes (21).

Por ello, se debe realizar diversos tipos de ejercicios en determinados tiempos de la readaptación deportiva: los ejercicios pasivos de flexo-extensión de rodilla inmediatamente después de la cirugía producen un crecimiento en la longitud del injerto de 1mm. Cuando la rodilla se extiende completamente, existe una tensión máxima en el ligamento. En los 90º de flexión no hay tensión; Los ejercicios isométricos de cuádriceps producen tensión de 0º a 30º, como ángulos superiores a 90º; Los ejercicios de cadena cinética cerrada del cuádriceps provocan menor estrés en el ligamento que los de cadena abierta, ya que no se produce una gran traslación anterior de la tibia. Además, producen una co-contracción de cuádriceps e isquiotibiales (balance muscular flexo-extensión); Los ejercicios de contracción concéntrica y excéntrica involucran diferentes mecanismos de generación de fuerza a nivel de proteína contráctil. Esto es una de las razones que evidencia que la mayor producción de fuerza se realiza durante el alargamiento activo en comparación con el acortamiento. Se demostró que, para la misma velocidad de movimiento, el coste de energía del trabajo positivo (concéntrico) es aproximadamente seis veces mayor que el del trabajo negativo (excéntrico) (23).

Según el libro de *Lesiones deportivas* (19), para las patologías de rodilla, es necesario entrenar la fuerza y una de las maneras es llevando a cabo un entrenamiento excéntrico de la parte posterior y anterior del muslo durante dos o tres veces por semana. El ejercicio más común para trabajar los isquiotibiales que se realiza en equipos de fútbol europeo y fútbol americano es el llamado “nordic hamstring”: sujeto de rodillas con las piernas fijadas, debe inclinar el cuerpo hacia delante lentamente, con la cadera y espalda extendidas. Hay que hacer el recorrido completo, hasta que el pecho toque el suelo y note la tensión de la musculatura posterior de la rodilla. Adopta la posición inicial con la ayuda de sus manos. El objetivo de este ejercicio es lograr una carga excéntrica máxima en los isquiotibiales, esto se consigue descendiendo lo más lejos posible (24). Este ejercicio también se puede hacer para trabajar la parte anterior de la pierna (cuádriceps). “The reverse nordic hamstring” se lleva a cabo de la misma forma que el anterior, pero inclinando el cuerpo hacia atrás lenta y controladamente. Se debe volver rápidamente a la posición de partida (25).



Figura 6: Caída nórdica (19).



Figura 7: curl nórdico invertido (26).

En los últimos 15 años, la incorporación de ejercicios de contracción excéntrica en la recuperación de lesiones ha ganado cada vez más fama en la literatura como una modalidad de entrenamiento específica. Sin embargo, el concepto de ejercicio excéntrico no es nuevo. La primera investigación sobre el ejercicio concéntrico versus excéntrico se publicó en 1938. La contracción excéntrica se ha utilizado principalmente para tendinopatías. Recientemente, se han encontrado más pruebas que respaldan su uso como parte de la recuperación del LCA. Tras reconstruir el LCA se ha demostrado que se produce más de un 20 % de atrofia muscular y un 30 % de pérdida de fuerza, persistiendo estos valores durante varios años después de la cirugía. Estos síntomas clínicos se han convertido en un desafío que requiere protocolos de fortalecimientos específicos que abarquen todos los componentes de las funciones de las extremidades inferiores. Por eso, los programas de intervención acelerada y de alta intensidad se han sugerido durante mucho tiempo como óptimos y seguros para la recuperación del LCA. En la tabla 1 se muestra la incorporación del entrenamiento excéntrico en la 3ª semana (27).

Proposed Eccentric Training Implementation during Post-operative Isolated Unilateral ACL Rehabilitation Program
(based on studies by gerber et al. 2006, 2007, 2009, and Mikkelsen et al. 2000)

Phase	Description	Intensity (Rate of Perceived Exertion)
Phase I (Weeks 0-3)	Level I: CKC: Initiation of non-involved leg eccentric training for contralateral effect as early as day 2 post-operative unless restrictions or contraindicated.	Level I: Somewhat hard
Phase II (Weeks 3-12)	Level I: CKC: Initiation of eccentric training on total gym at lowest level. Subject lowers themselves down in limited ROM (initially 0-40°) with surgery leg and raises themselves back up to full knee extension with assistance from non-involved leg. ROM (to 90°) and resistance level is progressively increased dependent on patient tolerance and ability.	Level I: progressed from very light-fairly light-somewhat hard-hard
	Level II: OKC: Approximately 6 weeks post-operatively strengthening initiated from 90° - 45° flexion either isokinetically with low resistance (30°- 90°/sec) or light weight (at mid shin) and	Level II: progressed from very, very light-fairly light-somewhat hard-hard if tolerated

Tabla 1: Entrenamiento excéntrico para la recuperación del LCA. (27)

Se han investigado numerosos aspectos del tratamiento después de la cirugía del LCA. Muchos de los estudios incluidos en las revisiones sistemáticas de Nicky Van Melick y L.M kruse defienden que la recuperación acelerada no muestra efectos nocivos y es seguro para los pacientes comenzar a cargar peso en postoperatorio, mover la rodilla hasta los 90° de flexión y realizar ejercicios de fortalecimiento de cadena cinética cerrada. La incorporación del ejercicio excéntrico de cuádriceps e isocinético de isquiotibiales en cadena cinética cerrada, a partir de la tercera semana después de la cirugía son seguros (18, 28). Actualmente, la mayoría de los estudios muestran que el ejercicio de fuerza excéntrica es más ventajoso que el ejercicio concéntrico cuando se considera el consumo de ATP, las concentraciones de lactato y la producción de fuerza muscular (29).

Durante la contracción voluntaria de un músculo, la capacidad de ejercer tensión y la velocidad de contracción son inversamente proporcionales. Cuando se alargan las fibras del músculo, existe más tensión que cuando se acortan. Por tanto, la contracción excéntrica produce un alejamiento de sus inserciones, siendo más lenta y generando mayor tensión. En el trabajo negativo, el consumo de oxígeno no duplica el valor de reposo y el requerimiento de energía disminuye en comparación con las contracciones concéntricas, debido a que la producción de calor y la descomposición de ATP se ralentizan. Finalmente, se llegó a la conclusión de que se requería menos fibras musculares, menor consumo de oxígeno y menor actividad muscular para mantener la misma fuerza durante la contracción excéntrica. Además, en la concéntrica se produce un incremento de temperatura generándose un aumento del metabolismo celular, lo que provoca más productos de desecho favoreciendo la irritación química de los nervios y la aparición del dolor (27).

Un estudio de Mariana O.Gois (29) dividió a participantes jóvenes (18-30 años) sanos en cuatro grupos para comparar el efecto de entrenamiento de resistencia que se realiza con énfasis concéntrico versus excéntrico en la fuerza muscular: los dos grupos control se sometieron a una sola sesión de ejercicio de resistencia excéntrica (RE). El grupo control concéntrico (CONCC) realizó RE, pero con predominio de la fase concéntrica y el grupo control excéntrico (ECCC) realizó RE con predominio de la fase excéntrica. Los otros dos grupos de entrenamiento realizaron un entrenamiento de RE. El grupo de entrenamiento concéntrico (CONCT) llevó a cabo un entrenamiento con énfasis en la fase concéntrica y el grupo de entrenamiento excéntrico (ECCT) siguió un entrenamiento excéntrico con énfasis en la fase excéntrica. Para todos los grupos se utilizó el grupo de músculos extensores de la rodilla para realizar los ejercicios. Los individuos de CONCC y ECCC tuvieron que hacer 3 series de 1 repetición al 100% de la repetición máxima (RM). Los otros individuos de CONCT y ECCT hicieron 10 sesiones de entrenamiento. La tabla 2 presenta las variables: la edad y la fuerza de los participantes. La prueba repetición máxima (1 RM) reveló un aumento en la fuerza muscular en el grupo ECCT.

Participant characteristics.

	Control		Training	
	CONCC (19)	ECCC (20)	CONCT (21)	ECCT (20)
Age (years)	22±3	21±2	20±3	21±2.5
Weight (kg)	70±11	76±11	70±9	74±12
Height (cm)	173±6	177±9	173±6	176±8
BMI (kg/m ²)	23.3±3.9	24.4±2.7	23.4±2.8	23.7±3.5
IPAQ (min/week)	360±25	362±21	358±19	359±24
Initial 1MR (kg)	47±16	47±13	46±10	50±11
Final 1MR (kg)	45±17	46±15	48±11	55±11 [*]

[Open in a separate window](#)

CONCC: concentric control; ECCC: eccentric control; CONCT: concentric training; ECCT: eccentric training. 1MR: one maximum repetition; BMI: body mass index; min: minutes.

^{*} significantly different than the initial 1MR of the ECCT group.

Tabla 2: Características de los pacientes (29).

Para la evaluación de la fuerza muscular, se utiliza un dinamómetro convencional, que permite cuantificar la fuerza muscular que es capaz de soportar un grupo muscular en un determinado momento (30). Mide la fuerza muscular ejercida dinámica o isométricamente en un rango de movimiento o en ángulo específico. Solo permite evaluar articulaciones como el hombro, el codo, la cadera y la rodilla. Además, el coste, la disponibilidad y la dificultad de implementación pueden limitar su uso dando lugar a otros métodos más asequibles como la electromiografía y las plataformas de fuerza. Una de sus grandes ventajas es la obtención de fuerza pico máximo (FPM) y la tasa de desarrollo (TDF), que permiten establecer un buen seguimiento de la recuperación, identificar posibles factores de riesgos para el LCA y determinar el índice de asimetría de los miembros inferiores, revelando el desequilibrio de fuerza. Es muy importante la valoración de la fuerza muscular de la rodilla para el diagnóstico. Es imprescindible el uso de técnicas más objetivas como el método de dinamometría, ya que utiliza tecnología informática y robotizada para hacer un rastreo de los cambios en el rendimiento funcional, evolución del paciente y para reorientar el tratamiento en caso de ser necesario (31).

Según el estudio de Slazar (30), se afirma que el balance muscular entre la musculatura extensora y flexora de la rodilla produce lesiones del LCA. Al realizar el análisis de los datos, se obtuvo un balance muscular con predominio de fuerza extensora (cuádriceps) con el 61 % de las 18 participantes, en relación con la flexora (isquiotibiales) y tan solo el 16,6 % presentaron un equilibrio de dichas fuerzas. Se encontró en las mujeres una contracción predominante del cuádriceps respecto a los isquiotibiales, lo que aumenta la probabilidad de riesgo de lesión del LCA, generando un desplazamiento anterior de la tibia. En este estudio, el 33.3 % de las atletas presentaron distensión de ligamento cruzado anterior con predominio de la fuerza extensora, el 5,5 % con predominio de la fuerza flexora y solo el 27,7 % de las deportistas no presentaban desequilibrio, ni lesiones en el miembro inferior.

Fase de contacto	Predominio de fuerza muscular en pierna dominante		
	Extensora Porcentaje	Flexora Porcentaje	Indiferente Porcentaje
Empeine	0%	0%	22.2%
Puntera	0%	0%	5.5 %
Borde Int.	44.4%	0%	0%
Borde Ext.	0%	27.7%	0%
Total	44.4%	27.7%	27.7%

Tabla 3: Resumen del tipo de balance muscular en la pierna dominante y su respectiva fase de contacto al ejecutar el chute de balón (30).

Se observa en la tabla 3 que hay 16,7 % de diferencia entre la musculatura extensora (cuádriceps) y flexora (isquiotibiales) a la hora de chutar el balón. En la siguiente tabla se muestra que hay un dominio de la fuerza extensora respecto a la flexora con un 27,7 % de diferencia en cada tipo de lesión (30).

Tipo de lesión	Predominio de fuerza en la pierna dominante		
	Extensora Porcentaje	Flexora Porcentaje	Indiferente Porcentaje
Distensión de LCA	33.3%	5.55%	0%
Esquince de tobillo	0%	11.1%	0%
Tendinitis	0%	16.6%	0%
Desgarro muscular	5.5%	0%	0%
Ninguna	0%	0%	27.7%
Total	38.8%	33.3%	27.7%

Tabla 4: Resumen del predominio de fuerza en la pierna dominante y la prevalencia en el tipo de lesión (30).

En la revisión sistemática de Milandri G. (32), afirma que existen dos artículos pilotos que demostraron que agregar 6 semanas de entrenamiento excéntrico a la recuperación del LCA aumenta los ángulos de flexión de la rodilla (+2,1°; p=0,022) e incrementa la fuerza del miembro afectado entre un 33 % y un 70 % más que en el grupo concéntrico. Sin embargo, los datos son muy limitados.

El autor Çınar-Medeni Ö (33) midió la fuerza concéntrica y excéntrica de los cuádriceps e isquiotibiales de las piernas afectadas y no afectadas, para estudiar si los torques máximos flexores y extensores de rodilla son determinantes del rendimiento en la prueba de salto con una sola pierna (SLHT) y la prueba de salto y alcance vertical (VJRT). Se usó un dinamómetro. Después de un calentamiento de 5 minutos en una cinta rodante, los 26 hombres a analizar, se les indicó que se sentaran en el dinamómetro, con flexión de cadera y rodilla de 90°, con las correas de estabilización en el tronco, cintura y en el fémur distal para evitar compensaciones. Para valorar la fuerza concéntrica y excéntrica del músculo cuádriceps se pidió que empujaran la palanca del brazo con tanta fuerza como sea posible y luego resistir la flexión para la excéntrica 5 veces. Para los isquiotibiales, se pidió tirar del brazo de palanca del dinamómetro con tanta fuerza como fuese posible y resistir el momento de extensión excéntricamente, 5 veces. El rango de movimiento de la prueba se limitó a 30°-90° de flexión de rodilla a una velocidad de 90°/s para no causar una tensión excesiva en el injerto del LCA. Finalmente, los resultados revelaron que, en las extremidades afectadas, la fuerza de los extensores concéntricos de la rodilla a 90° fue un determinante del rendimiento en la prueba SLHT y la fuerza extensora de rodilla concéntrica a 60° fue determinante en VJRT. Por tanto, este estudio evidencia que, los mejores ángulos a utilizar para la evaluación de la fuerza de los extensores son los 60° y 90°.

Según Santos en su artículo (34), el entrenamiento excéntrico y las pruebas de salto son muy utilizadas para valorar el déficit de fuerza y funcionalidad de la rodilla después de la reconstrucción del LCA. El objetivo del estudio era correlacionar el torque flexor y extensor de la rodilla, generados por el entrenamiento isocinético excéntrico, con pruebas funcionales de salto en sujetos con reconstrucción del LCA. Se evaluaron 16 hombres con el LCA reconstruido de forma unilateral, durante 12 semanas de entrenamiento isocinético de extensores y flexores de rodilla. El torque extensor y flexor de la rodilla fue evaluado de la misma manera que en el estudio anterior con un dinamómetro, valorando primero el miembro no afectado. Después de 5 minutos de calentamiento en una bicicleta estática a 20 km/h, los sujetos se sentaron en el dinamómetro con tronco y rodillas flexionados a 90°. La prueba consistió en tres contracciones isométricas con un minuto de intervalo entre ellas. De 6 a 60° para extensores y 30° para flexores. Los ensayos concéntrico y excéntricos consistió en cinco contracciones voluntarias máximas consecutivas con tres minutos de descanso entre pruebas. Después de 72 horas de las pruebas realizadas, los sujetos realizaron 5 minutos de calentamiento, corriendo a baja velocidad, seguida de cuatro pruebas de salto: single hop (SH), triple hop (TH), crossover hop (CH) y saltos en forma de 8 (F8H). Se registró el tiempo empleado en realizar el circuito. Finalmente, se mostró un aumento significativo en el rendimiento en todas las pruebas (SH y TH: $p < 0,05$; CH y F8H: $p < 0,01$) en el miembro afectado al comparar el pre y post- entrenamiento. Se observa un déficit en el par extensor del miembro afectado previo al entrenamiento que se puede atribuir a dos factores: disminución de la activación de la motoneurona gamma lo que lleva a debilidad y discinesia en el cuádriceps que persiste durante años con hasta un 20% de pérdida de fuerza a pesar de los esfuerzos del tratamiento (Tabla 5). Se obtuvo, una ganancia significativa en el torque de extensión y flexión ($p < 0.01$) en las diferentes categorías de prueba. En el miembro no afectado, solo ocurrió en la categoría excéntrica, en los torques de extensión ($p < 0.01$) y flexión ($p < 0.05$ y $P < 0.01$). En general, el programa de formación tuvo el efecto deseado, ya que los resultados actuales mostraron que el entrenamiento de resistencia excéntrica es más eficiente en la torsión de la rodilla, pruebas de ganancia y salto funcional que el entrenamiento concéntrico y el isométrico, en las respectivas velocidades (30°/s y 120°/s) (Tabla 6).

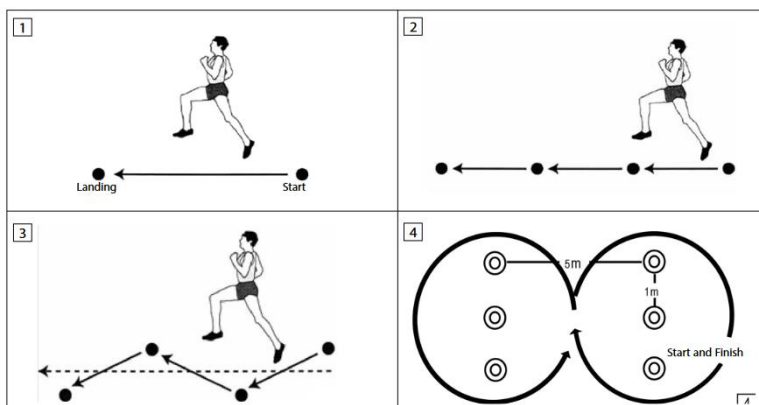


Figura 8: Funcional tests: single hop (1), triple hop (2), crossover hop (3), figure-8 hop (4) (34).

Hop kinds	Pre-training			Post-training		
	AL	NAL	P Valor	AL	NAL	P Valor
Single hop (m)	1.71±0.29	1.90±0.20	<0.01†	1.84±0.21	1.98±0.19	<0.01†
Triple hop (m)	5.36±0.81	5.83±0.63	<0.01†	5.63±0.68	5.97±0.63	<0.01†
Crossover hop (s)	2.61±0.59	2.44±0.48	0.06†	2.21±0.37	2.16±0.27	0.23†
Figure-8 hop (s)	7.49±0.73	7.16±0.50	<0.05†	6.85±0.56	6.76±0.48	0.13†
	AL			NAL		
	Pre-training	Post-training	P Valor	Pre-training	Post-training	P Valor
Single hop (m)	1.71±0.29	1.84±0.21	<0.05†	1.90±0.20	1.98±0.19	0.06†
Triple hop (m)	5.36±0.81	5.63±0.68	<0.05†	5.83±0.63	5.97±0.63	0.13†
Crossover hop (s)	2.61±0.59	2.21±0.37	<0.01†	2.44±0.48	2.16±0.27	<0.05†
Figure-8 hop (s)	7.49±0.73	6.85±0.56	<0.01†	7.16±0.50	6.76±0.48	<0.01†

Tabla 5: Comparación de las medias de las pruebas funcionales pre y post del entrenamiento isocinético excéntrico de extensores y flexores de rodilla. (AL= affected limb/ miembro afectado); NAL= non affected limb/ miembro no afectado) (34).

PTA Extensors X Hop tests	Limbs				PTA Flexors X Hop tests	Limbs			
	AL		NLA			AL		NLA	
	Pre	Post	Pre	Post		Pre	Post	Pre	Post
Isom X SH	0.47	0.47	0.36	0.25	Isom X SH	0.27	0.26	0.21	0.11
Con 30°/s X SH	0.57	0.58	0.30	0.31	Con 30°/s X SH	0.19	0.39	0.13	0.13
Con 120°/s X SH	0.66	0.63	0.17	0.42	Con 120°/s X SH	0.41	0.51	0.21	0.27
Ecc 30°/s X SH	0.40	0.29	0.32	0.36	Ecc 30°/s X SH	0.27	0.29	0.41	0.27
Ecc 120°/s X SH	0.59	0.52	0.48	0.31	Ecc 120°/s X SH	0.23	0.38	0.48	0.15
Isom X TH	0.42	0.28	0.27	0.09	Isom X TH	0.34	0.22	0.30	0.09
Con 30°/s X TH	0.45	0.40	0.27	0.17	Con 30°/s X TH	0.28	0.40	0.31	0.08
Con 120°/s X TH	0.51	0.42	0.33	0.27	Con 120°/s X TH	0.24	0.54	0.33	0.21
Ecc 30°/s X TH	0.40	0.08	0.22	0.23	Ecc 30°/s X TH	0.39	0.25	0.37	0.20
Ecc 120°/s X TH	0.40	0.39	0.29	0.19	Ecc 120°/s X TH	0.29	0.31	0.37	0.05
Isom X CH	-0.06	0.20	0.05	0.14	Isom X CH	0.07	-0.15	-0.28	0.01
Con 30°/s_CH	-0.03	0.32	0.31	0.13	Con 30°/s_CH	0.26	0.03	-0.07	0.11
Con 120°/s_CH	-0.20	0.14	0.26	0.06	Con 120°/s_CH	-0.02	0.08	0.14	-0.01
Exc 30°/s_CH	0.18	0.38	0.48	0.09	Exc 30°/s_CH	-0.12	0.26	-0.19	0.06
Exc 120°/s_CH	0.07	0.30	0.47	0.16	Exc 120°/s_CH	0.07	-0.01	0.21	0.07
Isom X F8H	-0.27	0.14	-0.19	-0.02	Isom X F8H	-0.18	-0.18	-0.46	-0.09
Con 30°/s X F8H	-0.39	0.02	-0.29	-0.13	Con 30°/s X F8H	-0.28	-0.35	-0.42	-0.10
Con 120°/s X F8H	-0.35	-0.07	-0.21	-0.16	Con 120°/s X F8H	-0.03	-0.41	-0.28	-0.13
Ecc 30°/s X F8H	-0.47	0.23	-0.21	-0.12	Ecc 30°/s X F8H	-0.40	-0.11	-0.56	-0.18
Ecc 120°/s X F8H	-0.34	-0.11	-0.14	-0.11	Ecc 120°/s X F8H	-0.21	-0.18	-0.35	-0.05

Tabla 6: Correlaciones entre el pico de torque y saltos en el miembro afectado y el miembro no afectado en el entrenamiento isocinético excéntrico pre y post de los extensores y flexores de rodilla. (PTA= peak torque average/ promedio de par máximo; Con= concentric/ concéntrico; Ecc= eccentric/ excéntrico) (34).

El objetivo del estudio de Harput G. (35) fue investigar los efectos de la educación cruzada concéntrica y excéntrica de los cuádriceps en la recuperación de la fuerza y funcionalidad de la rodilla después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Se estudiaron a 48 pacientes con autoinjerto de tendón de la corva. Los sujetos se dividieron en tres grupos aleatoriamente: (a) concéntrico y rehabilitación postquirúrgica del LCA; (b) excéntrico y rehabilitación postquirúrgica del LCA; (c) rehabilitación postquirúrgica de LCA. Todos los pacientes recibieron el mismo tratamiento de recuperación (4-12 semanas), donde se incluyó entrenamiento neuromuscular progresivo, equilibrio y ejercicios de fortalecimiento del cuádriceps. En la cuarta semana, después de la cirugía, se les valoró la fuerza isométrica como de punto de referencia, seguida de una intervención durante 8 semanas y luego fueron reevaluados al final de la intervención y nuevamente a las 12 semanas después. Para valorar la contracción máxima isométrica del cuádriceps se utilizó un dinamómetro. A las 24 semanas después de la operación, se les pidió a los participantes que realizaran tres saltos unilaterales con las dos piernas para valorar la funcionalidad de la rodilla. Los resultados del estudio evidencian que realizar tres veces a la semana un entrenamiento isocinético concéntrico y excéntrico durante la 4ª y 12ª semana después de la cirugía, aumentaron entre un 28% y un 31% la fuerza del cuádriceps de los miembros afectados en comparación con el grupo control. Por tanto, deben integrarse en las primeras fases de rehabilitación para maximizar la fuerza del cuádriceps.

Existe otro estudio de Brasileiro JS. (36) que evidencia que el ejercicio excéntrico tiene gran efectividad en el tratamiento postoperatorio del LCA. El objetivo era investigar las contribuciones funcionales y morfológicas en la recuperación del cuádriceps después de la reconstrucción del ligamento. El procedimiento es similar a los anteriores artículos. Nueve sujetos se sometieron a un entrenamiento excéntrico dos veces por semana durante 12 semanas. La función del cuádriceps se evaluó mediante un dinamómetro y electromiografía. Los cambios morfológicos se valoraron a través de imágenes de resonancia magnética. En la evaluación inicial se mostró un déficit significativo en el torque extensor de la rodilla involucrada y una atrofia muscular a lo largo del cuádriceps. El entrenamiento excéntrico aumento de manera significativa la isocinética (199 ± 51 a 240 ± 63 , $p > 0.05$) y también se produjo hipertrofia en la región proximal del muslo (169 ± 27 a $189 \pm 25,8$ cm², $p < 0,01$). El vasto medial creció después de las primeras seis semanas de entrenamiento excéntrico.

Gerber JP (37) habla sobre un entrenamiento de resistencia excéntrica durante las primeras 15 semanas después de la operación del LCA el cual indujo cambios a corto plazo en el volumen, fuerza y función del músculo (resonancia magnética, ergómetro y test de distancia de salto). Cuarenta pacientes fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos: tratamiento progresivo temprano con ejercicio excéntrico y un grupo que recibió un tratamiento estándar. Se hizo un seguimiento de un año. Finalmente, en el grupo de resistencia excéntrica se produjo un aumento mayor del 50% en el volumen del cuádriceps y del glúteo mayor. Se llegó a la conclusión de que estos hallazgos se consiguen sobrecargando al músculo añadiendo un entrenamiento excéntrico de manera progresiva en la tercera semana después de la reconstrucción del LCA.

El objetivo del autor Vidmar MF (38) es comparar los efectos del entrenamiento excéntrico convencional con carga constante y el entrenamiento excéntrico isocinético valorando la fuerza, la masa muscular y el rendimiento funcional del cuádriceps en atletas operados del LCA. Se incluyeron treinta deportistas masculinos de 25 años, a los que se sometieron a un programa de rehabilitación estándar. Se dividieron en dos grupos: grupo convencional y grupo isocinético, debían participar en un programa de entrenamiento excéntrico de cuádriceps de 6 semanas (2 sesiones a la semana). Realizaron mediciones antes y después de los programas de entrenamiento. La masa muscular se midió a través de resonancias magnéticas, la fuerza con un dinamómetro y el rendimiento a través de la prueba de salto de una pierna. Para la evaluación de la fuerza, los pacientes ejecutaron un calentamiento de 10 repeticiones concéntricas a 90°/s, se evaluó el par máximo isométrico a través de tres contracciones isométricas máximas de 5 segundos de los músculos extensores de la rodilla a 60° de flexión de rodilla. Luego se midió los pares máximos concéntricos y excéntricos a través de tres contracciones máximas a 60°/s con rango de movimiento entre 90° y 10°. El grupo isocinético mejoró significativamente en cuanto al otro grupo en todos los aspectos: masa muscular (+17-23% vs +5-9%), así como los pares máximos isométricos (+34% vs +20%) y excéntricos (+85% vs +23%); fuerza y rendimiento. No hubo diferencia entre los grupos para el par máximo concéntrico. A la conclusión que llega este artículo es el siguiente: los estudios que sometieron a pacientes con postcirugía del LCA a realizar ejercicios excéntricos, encontraron aumentos en el área transversal del cuádriceps del 9-28%, aumentos del 20-28% en la fuerza concéntrica máxima de extensión de rodilla, del 12-20% en la fuerza excéntrica y del 15-16% en la fuerza isométrica. El entrenamiento de fuerza tradicional se lleva a cabo con la misma carga externa durante las fases excéntricas y concéntricas de los ejercicios. La literatura sugiere que la sobrecarga en los ejercicios excéntricos optimiza la hipertrofia y la fuerza muscular.

La finalidad de Friedmann- Bette B. (39) es disminuir la atrofia del cuádriceps después de la reconstrucción del LCA a través de un entrenamiento de fuerza con sobrecarga excéntrica comparándolo con un entrenamiento de fuerza concéntrico/ excéntrico convencional. Sesenta y ocho atletas (55= hombres; 13= mujeres) que se sometieron al estudio que se basó en un programa de entrenamiento de 12 semanas. Fueron asignados al azar a ambos entrenamientos: entrenamiento convencional de prensa de piernas concéntrico/excéntrico (CON/ECC) y entrenamiento de prensa guiado por ordenador con sobrecarga excéntrica (CON/ECC*) (dispositivo isocinético). Para evaluar la fuerza máxima en la extensión de rodilla se utilizó el IsoMed 2000. También se valoró el volumen de los cuádriceps a través de resonancias magnéticas. En cuanto a los resultados, después de 12 semanas de entrenamiento se produjo hipertrofia muscular de cuádriceps en ambos grupos. En el grupo CON/ECC aumentó un 4% el volumen del cuádriceps, mientras que en el otro grupo (CON/ECC*) se observó incremento significativo del 11% en las fibras tipo I y un aumento de la fuerza muscular del cuádriceps ($p < 0.05$).

2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA

A raíz del título inicial del trabajo (*Efectos de un estiramiento pasivo tipo I respecto a un estiramiento excéntrico de cuádriceps en pacientes operados del LCA*), se han extraído las siguientes palabras clave para realizar la estrategia de búsqueda:

Término libre en español	Término libre en inglés	MeSH	DeCS
Fisioterapia	Physiotherapy	Physical therapy modalities	Physical therapy modalities
Ligamento cruzado anterior	Anterior cruciate ligament	Anterior cruciate ligament	Anterior cruciate ligament injuries
Rehabilitación	Rehabilitation	Rehabilitation	Rehabilitation
Procedimientos quirúrgicos reconstructivos	Reconstructive surgical procedures	Reconstructive surgical procedures	Reconstructive surgical procedures
Quirúrgico	Surgical	Surgical procedures, operative	Diagnostic techniques, surgical
Atletas	Athletes	Athletes	Athletes
Ejercicio excéntrico	Eccentric exercise	-	-
Estiramientos	Stretching	Muscle stretching exercises	Muscle stretching exercises
Cuádriceps	Quadriceps	Quadriceps muscle	Quadriceps muscle
Estiramiento pasivo	Passive stretching	Passive stretching	-
Rango de movimiento	Range of motion	Range of motion, articular	-
Dinamometría	Dynamometer	Muscle strength dynamometer	-

Tabla 7: Terminología MeSH y DeCS. (Elaboración propia).

Para la revisión bibliográfica del trabajo, se han realizado las búsquedas el día 23/10/2021 en las bases de datos de EBSCO, PubMed y Google académico a través de la biblioteca de UPC.

- PubMed: se han llevado a cabo búsquedas en inglés utilizando los términos MESH y los siguientes filtros: “last 5 years” y “full text”.
- EBSCO: se han hecho búsquedas en inglés con las bases de datos Academic Search Complete, E-Journals, CINAHL Complete, MEDLINE Complete, ebook nursing collection utilizando los términos DeCS con los límites “desde 2016” y “texto completo”.
- Google Académico: se han desempeñado búsquedas manuales utilizando términos libres con los filtros: “desde 2016” y “buscar solo páginas en español”, debido a su alto número de resultados en inglés.

Las estrategias de búsquedas y el número de artículos obtenidos:

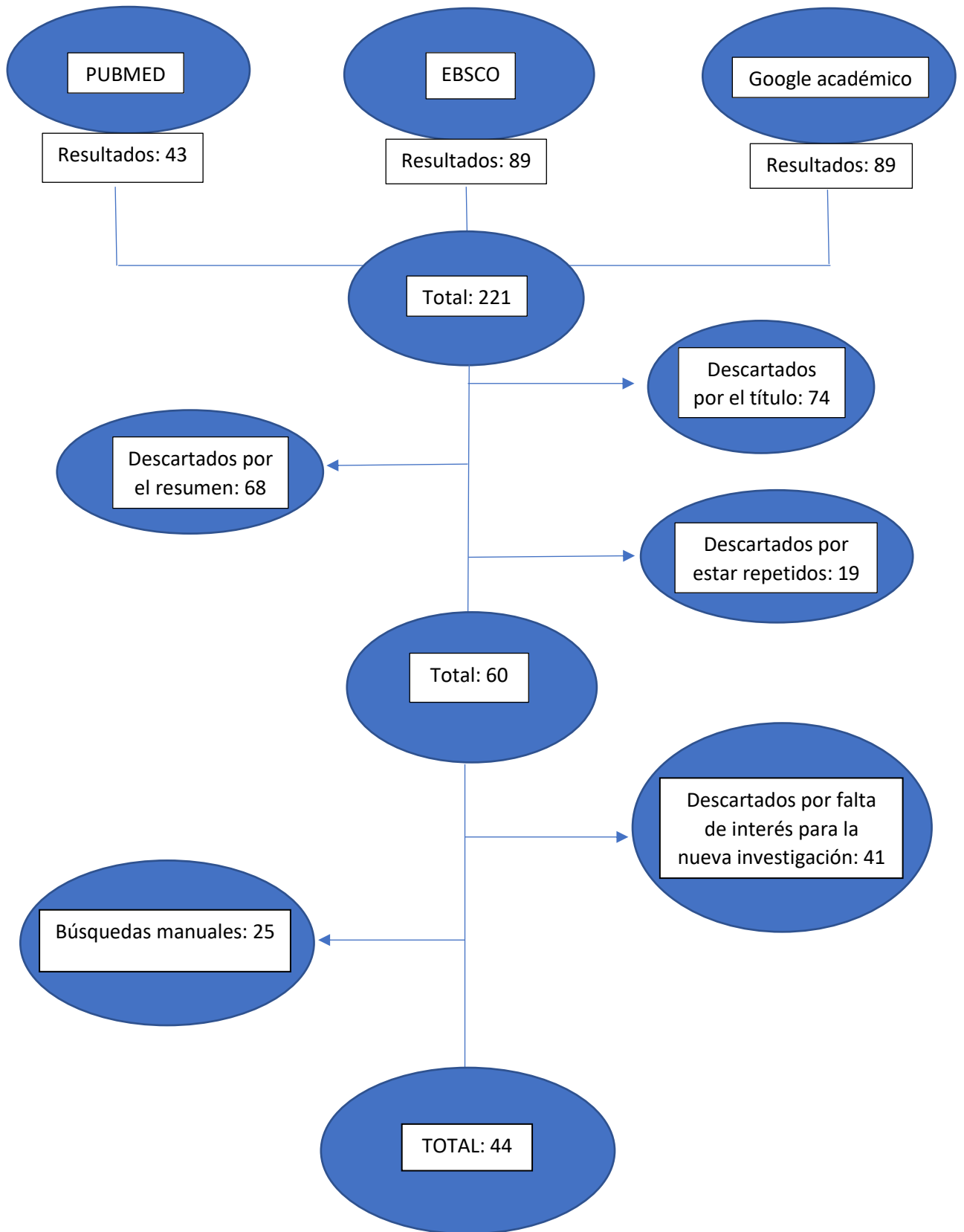
- 1º búsqueda: Physiotherapy modalities AND anterior cruciate ligament AND muscle stretching exercises, con los siguientes filtros: menos de 5 años, full text y en castellano e inglés.
 - Pubmed: se han encontrado 4 resultados.
 - EBSCO: 3 resultados.
 - Google académico: 15 resultados.

- 2º búsqueda: anterior cruciate ligament OR surgical procedures AND muscle stretching:
 - Pubmed: 27 resultados.
 - EBSCO: 9 resultados.
 - Google académico: 39 resultados. Se ha añadido la palabra: quadriceps muscle para reducir los resultados.

- 3º búsqueda: anterior cruciate ligament – athletes - eccentric exercises – quadriceps muscle:
 - Pubmed: 11 resultados.
 - EBSCO: 72 resultados.
 - Google académico: 31 resultados. Se ha añadido la palabra: muscle strength dynamometer.

- 4º búsqueda: anterior cruciate ligament – eccentric exercises – muscle strength dynamometer:
 - Pubmed: 1 resultado.
 - EBSCO: 5 resultados.
 - Google académico: 4 resultados.

FLUJOGRAMA:



Al realizar la lectura del título y del resumen se han hallado 60 artículos, de los cuales 12 son de real interés para la primera investigación: *Efectos de un estiramiento pasivo tipo I respecto a un estiramiento excéntrico de cuádriceps en pacientes operados del LCA*. A consecuencia de haber obtenido pocas referencias y de no haber encontrado nada sobre estiramientos pasivos para la rehabilitación de LCA, se ha decidido reconducir el título inicial del trabajo por el siguiente: *Incorporación precoz de ejercicios excéntricos en el programa de fuerza de fisioterapia en deportistas operados del ligamento cruzado anterior*.

Por tanto, se vuelve a tener en cuenta los 60 artículos encontrados anteriormente para la nueva investigación, ya que se sigue utilizando las mismas palabras claves. Finalmente, de los 60 artículos iniciales se han repescado 19 artículos, debido a la falta de contenido se han realizado búsquedas manuales, obteniendo 25 artículos más y sumando en total 44 artículos utilizados.

3. OBJETIVOS DE ESTUDIO:

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Comprobar la efectividad de la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia comparada con los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Comprobar la efectividad de la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en la fuerza máxima isométrica del cuádriceps comparada con los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

Comprobar la efectividad de la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en el volumen del cuádriceps comparada con los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

4. HIPÓTESIS CONCEPTUAL:

La incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza de fisioterapia es más efectiva en la fuerza máxima isométrica y en el volumen del cuádriceps que los ejercicios concéntricos en deportistas operados del LCA.

5. METODOLOGÍA

5.1 DISEÑO:

Se va a realizar un estudio experimental, analítico, prospectivo y longitudinal, donde se comprobará si la incorporación temprana de ejercicios excéntricos al tratamiento de fisioterapia del LCA supone un aumento de fuerza y volumen de cuádriceps, mayor que los ejercicios concéntricos en deportistas.

Los sujetos se distribuirán al azar en dos grupos de tratamiento: grupo control (tratamiento habitual de fisioterapia: ejercicio concéntrico) y grupo experimental (tratamiento habitual de fisioterapia: ejercicio concéntrico + ejercicio excéntrico). Para la aleatorización se asignará a cada paciente un código de identificación (ID) y se sorteará su participación en ambos grupos, mediante la asignación de números aleatorios en el programa Excel MS Office.

El estudio tendrá una evaluación ciega por terceros, debido a que no se puede cegar al fisioterapeuta ya que conoce el funcionamiento del dinamómetro y tiene que asegurarse de su buen funcionamiento. Además, debe controlar que los ejercicios se realicen correctamente. Tampoco se puede cegar a los pacientes porque cada uno de ellos será informado a que grupo pertenecen una vez tengan que firmar el consentimiento informado (Anexo III), donde aparecen los detalles, los protocolos y los riesgos de intervención. El analista de resultados no conocerá a que grupo pertenece cada participante, para disminuir el riesgo de sesgos.

Como se ha dicho antes, el estudio es longitudinal, por tanto, se tomará una medida pre-tratamiento y otra medida post-tratamiento de las variables definidas anteriormente (fuerza máxima isométrica y volumen del cuádriceps).

Se respeta los criterios éticos de la Declaración de Helsinki (1964) aprobada por la Asociación Médica Mundial (AMM) como una propuesta de regular la ética en la investigación clínica basándose en la integridad moral. Están respaldados por el Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) (Anexo I).

A los pacientes que quieran inscribirse al estudio se les administrará una Hoja de Información al Paciente (HIP) (Anexo II) y un Consentimiento Informado (CI) (Anexo III) que deberán firmar. En estos documentos estarán expuestos los detalles de la investigación, las condiciones de participación y los derechos como participantes.

Conforme con la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos y Garantía de Derechos Digitales (LOPDGDD) se asegura la privacidad y anonimato de los pacientes que hayan participado en el estudio, así como la libertad de abstenerse, oponerse o anular su intervención en cualquier momento.

5.2 SUJETOS DEL ESTUDIO:

La población diana de la investigación estará formada por deportistas de la comunidad de Madrid entre los 18 y 30 años, ya que aproximadamente a partir de los 30 años la fuerza empieza a disminuir, siguiendo la información del libro *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva tomo I* del autor Calero. (1)

La muestra del estudio deberá estar compuesta por sujetos que cumplan los criterios de inclusión y exclusión. (Tabla 8)

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Tener entre 18 y 30 años.	Personas que no cumplan los criterios de inclusión.
Deportistas que hayan sido intervenidos quirúrgicamente del LCA sin importar el tipo de injerto.	Sujetos que no hayan firmado el consentimiento informado.
Realizar actividad física 5 veces por semana antes de la lesión.	Historial de cirugía en el miembro inferior contralateral.
Rotura unilateral del LCA.	Lesión meniscal, lesión muscular en los seis meses anteriores o síndrome de dolor patelofemoral.
Poder acudir 2 veces al entrenamiento.	Consumidores de esteroides, creatina o anabólicos para ganar masa muscular.

Tabla 8: Criterios de inclusión y de exclusión para los sujetos del estudio. (Elaboración propia).

Para conseguir la muestra, es necesario realizar un tipo de muestreo no probabilístico. Se calcula con la siguiente fórmula:

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

El significado de las variables que aparecen en la fórmula:

- n: número de sujetos de la muestra.
- SD: desviación típica.
- d: precisión.
- K: es una constante dependiente del valor de significación y de la potencia estadística. Este estudio establece el valor de K en 7,8, utilizando un nivel de confianza del 5% y una potencia estadística del 80%.

El nivel de significación 5% quiere decir que se acepta un 5% de posibilidad de error al rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Esto se usa para disminuir el error Tipo I, falso positivo.

La potencia estadística se emplea como probabilidad de no cometer un error Tipo II, falso negativo: no rechazar la hipótesis nula siendo falsa.

PODER ESTADÍSTICO (1- β)	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (α)		
	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 9: Nivel de significación y poder estadístico. Cálculo muestral. (Elaboración propia).

Se debe realizar el cálculo de la muestra de cada variable dependiente. Se escogerá la muestra con mayor número de sujetos, ya que será la más representativa de ambas variables. Cuando se obtiene la n, hay que añadir un 10% por las pérdidas de participantes que abandonen el estudio.

El valor de K es 7,8; el nivel de confianza es 0,05 (probabilidad de error) y el poder estadístico es 80% .

Los datos de la variable fuerza máxima isométrica del cuádriceps y de la variable volumen muscular del cuádriceps se obtienen del estudio *“Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial”*: (38)

Fuerza máxima isométrica cuádriceps a 60º de flexión de rodilla:

$n = 2 \times 7,8 \times 30,3^2 / (215,5 - 181,2)^2 = 12,17$ sujetos + 10% de 12,7 = 13,44 → 13 sujetos por grupo.

N total= 26 sujetos.

	CG (n = 15)			IG (n = 15)		
	Pre	Post	ES	Pre	Post	ES
Isometric PT	181.2 ± 30.3	215.5 ± 33.5	1.11 ^c	197.7 ± 45.2	256.0 ± 32.2	1.54 ^c

Tabla 10: Fuerza máxima isométrica del cuádriceps en miembro con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (38).

Volumen muscular cuádriceps:

$n = 2 \times 7,8 \times 10^2 / (72,8 - 68,1)^2 = 70,62$ sujetos + 10% de 70,62 sujetos = 77,68 → 78 sujetos por grupo.

N total = 156 sujetos.

	CG (n = 15)			IG (n = 15)		
	Pre	Post	ES	Pre	Post	ES
Muscle mass (cm ²)						
ACSA _{QUAD}	68.1 ± 10.0	72.8 ± 9.6	0.50 ^b	58.0 ± 8.1	69.0 ± 7.7	1.44 ^c

Tabla 11: Masa muscular del cuádriceps en miembro con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (38).

Tras realizar el cálculo muestral de cada variable, se escoge la muestra más amplia. De esta forma, la muestra estaría compuesta por 78 sujetos en cada grupo, siendo un total de 156 sujetos a estudiar.

5.3 VARIABLES:

- **VARIABLES DEPENDIENTES:** se medirán antes y después de la intervención:
 - Volumen del cuádriceps: es una variable dependiente cuantitativa continua. Se medirá tomando imágenes transversales a través de resonancia magnética ponderadas en T2 al 50% de la distancia entre el trocánter menor y el cóndilo femoral lateral. Las imágenes se analizarán con el software Image-J. El perímetro de cada músculo del cuádriceps (recto femoral, vasto medial, vasto lateral e intermedio) se evaluará por el investigador correspondiente que estará cegado. Finalmente, el área transversal anatómica del cuádriceps se calculará sumando los perímetros de estos músculos.
 - Fuerza máxima isométrica: es una variable dependiente cuantitativa continua. Se medirá con el dinamómetro Primus RS BTE. Los pacientes se colocarán en sedestación con 90° de flexión de cadera y 60° de flexión de rodilla. Realizaran 3 contracciones isométricas máximas de 5 segundos, con 2 minutos de descanso entre repetición. Se cogerán los tres picos máximos de fuerza isométrica de cada repetición y se hará la media.

VARIABLES DEPENDIENTES	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	DE	FORMA DE MEDIDA
Volumen del cuádriceps	Cuantitativa continua	Cm ²		Resonancia magnética
Fuerza máxima isométrica	Cuantitativa continua	Newton/metro (N/m)		Dinamómetro Primus RS BTE

Tabla 12: Variables dependientes. (Elaboración propia).

– **VARIABLES INDEPENDIENTES:**

- Tipo de tratamiento: es una variable independiente cualitativa nominal dicotómica que hace referencia a los dos tipos de intervenciones que se llevan a cabo en función de cada grupo: tratamiento habitual de fisioterapia: ejercicio concéntrico (1= grupo control), tratamiento habitual de fisioterapia: ejercicio concéntrico + ejercicio excéntrico (2= grupo experimental).
- Momento de medición: es una variable independiente cualitativa nominal dicotómica que hace referencia a los momentos de medición pre (3º semana postoperatoria) y post tratamiento (15º semana postoperatoria).

VARIABLES INDEPENDIENTES	TIPO DE VARIABLE	FORMA DE MEDIDA
Tipo de tratamiento	Independiente, cualitativa nominal dicotómica.	1= Grupo control 2= Grupo experimental
Momento de medición	Independiente, cualitativa nominal dicotómica	Pre Post

Tabla 13: Variables independientes. (Elaboración propia).

5.4 HIPÓTESIS OPERATIVAS:

Fuerza máxima isométrica del cuádriceps:

- H. nula (H_0): no hay diferencias estadísticamente significativas en fuerza máxima isométrica del cuádriceps tras la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del LCA frente a los ejercicios concéntricos.
- H. Alternativa (H_1): hay diferencias estadísticamente significativas en fuerza máxima isométrica del cuádriceps tras la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del LCA frente a los ejercicios concéntricos.

Volumen del cuádriceps:

- H. nula (H_0): no hay diferencias estadísticamente significativas en el volumen del cuádriceps tras la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del LCA frente a los ejercicios concéntricos.
- H. Alternativa (H_1): hay diferencias estadísticamente significativas en el volumen del cuádriceps tras la incorporación precoz de ejercicios excéntricos al programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del LCA frente a los ejercicios concéntricos.

5.5 RECOGIDA, ANÁLISIS DE DATOS, CONTRASTE DE HIPÓTESIS.

Recogida de datos:

En primer lugar, se realizará la recogida de datos personales (Anexo IV) una vez que los pacientes hayan cumplido los criterios de inclusión (Tabla 8) y hayan firmado el CI (Anexo III) y la HIP (Anexo II). A medida que irán accediendo al estudio, se les asignará un número de identificación (ID) y se incluirán de manera aleatoria en dos grupos.

Análisis de datos:

Al obtener los resultados pre y post, se realizará el análisis de datos con el programa estadístico IBM SPSS STATISTICS v.26.0 para Windows.

Los dos tipos de análisis que se lleva a cabo son los siguientes:

– **Análisis descriptivo:**

- Variables independientes (momento de medición y tipo de tratamiento): se añadirán datos porcentuales y de frecuencia absoluta y relativa. Los resultados de las variables serán representados en un diagrama de barras.
- Variables dependientes (volumen y fuerza máxima isométrica del cuádriceps): se calculará la media, mediana, moda, desviación típica, rango, cuartil, percentil, asimetría y curtosis de las variables pre y post. Si la distribución es normal, los resultados se representarán en un diagrama de barras y si no hay normalidad, en un diagrama de cajas y bigotes.

- **Análisis interferencial:** Se debe evaluar la diferencia de las medias de pre-post tratamiento. Para ello, hay que calcular la variedad entre las mediciones pre y post en cada variable dependiente, dando lugar a la variable resultado en los dos grupos. Es necesario saber si la muestra se distribuye de manera normal y si es homogénea. Para conocer la distribución normal, se usará la prueba Kolmogorov-Smirnov y para la homogeneidad se utilizará la prueba Levene. Si los datos obtenidos tienen un p-valor > 0.05 indicará que son varianzas homogéneas y distribuciones muestrales normales, por lo que se debería utilizar una prueba de contraste de medias paramétricas: t-student para muestras independientes, mientras que, si no se cumple la normalidad, se utilizaría pruebas no paramétricas: Wilcoxon.

Independientemente de la prueba realizada, se analizará el resultado:

- Si se obtiene $p > 0,05$: se aceptará la hipótesis nula, asumiendo que no hay diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos.
- Si se obtiene $p < 0,05$: se rechazará la hipótesis nula, asumiendo que si existen diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos.

Los datos se deberían representar con un gráfico de cajas y bigotes comparando ambos grupos.

5.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

Para llevar a cabo este estudio, se han encontrado algunas limitaciones como:

- La única utilización del dinamómetro de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad Pontificia de Comillas, debido a su alto coste no se encuentra en otros centros de Madrid.
- Los participantes deben acudir al entrenamiento 2 veces por semana, por tanto, tienen que estar disponibles para el estudio.

5.7 EQUIPO INVESTIGADOR.

El equipo investigador estará formado por un conjunto de profesionales coordinados para la investigación principal. Deberán ser profesionales cualificados en el ámbito deportivo, radiológico y estadístico. Estará compuesto por:

- **Investigadora principal (fisioterapeuta):** Elisa Ramos Landré, graduada en fisioterapia por la Universidad Pontificia de Comillas en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios”.
- **Investigador/a 2 (fisioterapeuta):** graduado/a en fisioterapia con Máster de Fisioterapia del Deporte y Readaptación a la práctica deportiva o Máster en Biomecánica Deportiva y 5 años de experiencia clínica.
- **Investigador/a 3 (Radiólogo):** graduado/a en medicina especializado/a en Radiología Musculoesquelética y 5 años de experiencia clínica.
- **Investigador/a 4 (analista):** graduado en estadística y experto en análisis estadístico e investigación operativa con 5 años de experiencia.
- **Colaboradores:** profesores de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia “San Juan De Dios” para la utilización de su laboratorio y su herramienta dinamométrica. Médicos rehabilitadores y traumatólogos del Hospital Universitario de Getafe para la realización de las resonancias magnéticas.

6. PLAN DE TRABAJO.

6.1 DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN.

Una vez terminada la redacción del proyecto de investigación y tras obtener la aprobación del comité ético de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan De Dios" y del Hospital Universitario de Getafe, la investigadora principal reunirá a todo el equipo investigador para llevar a cabo el estudio con una buena gestión de la metodología y para la obtención de resultados objetivos.

Para la selección de los sujetos, en primer lugar, se enviará un correo al médico rehabilitador del Hospital Universitario de Getafe, para que, a través de él, se informe a los pacientes que acudan a consulta tras una cirugía del LCA la posibilidad de participar en el estudio. Todos aquellos que estén interesados en formar parte de la investigación, se deberán poner en contacto por vía email con la investigadora principal, la cual junto con el investigador 3 les citará en el laboratorio de Biomecánica en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan De Dios" (Avenida de San Juan de Dios, 1. 28350 Ciempozuelos, Madrid) para realizarles una primera valoración para confirmar si cumplen con los criterios de selección. Si los sujetos los cumplen, se les proporcionará la HIP (Anexo II) y el CI (Anexo III), se recogerán sus datos personales (Anexo IV), firmando la documentación sobre protección de datos. Una vez, recogido todos los datos se les asignará un ID a cada paciente y de manera aleatoria se les divide en los dos grupos de tratamiento.

Se realizarán dos mediciones para cada grupo: una medición inicial en la 3ª semana postoperatoria (pretratamiento) donde se recogerán los datos de la fuerza máxima isométrica y el volumen del cuádriceps y otra medición después de 12ª semanas de tratamiento en la 15ª semana postquirúrgica (postratamiento), la cual se comparará con la primera medición y se observará los cambios en las variables medidas. Después, el analista analizará todos los datos con el programa IBM SPSS Statistics, el cual desconoce los datos personales y el tratamiento que ha recibido cada paciente. Finalmente, se realizará una discusión y una conclusión a partir de los resultados obtenidos. Se resolverá la hipótesis y el estudio se publicará con el objetivo de aportar información.

Para medir la fuerza máxima isométrica se citará a los sujetos en el laboratorio de Biomecánica de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, donde se utilizará el dinamómetro BTE Primus RS. Se deberá verificar antes de cada evaluación y los participantes se colocarán según la descripción del artículo de Harput G. (35): en sedestación con las caderas flexionadas a 90º con correas de estabilización en el tronco, cintura y fémur distal de la extremidad. El eje del dinamómetro estará alineado con el epicóndilo femoral lateral. La rodilla se posicionará a una flexión de 60º. El ángulo de la rodilla está dentro del rango que se ha determinado en otros estudios (33,35,38) como el más adecuado para reducir tensión en el injerto. Además, se seguirá el protocolo de evaluación de fuerza máxima isométrica de Harput G. El brazo de fuerza se asegurará 2cm por encima del maléolo lateral. Antes del registro de fuerza muscular, todos los sujetos llevarán a cabo una sesión de familiarización, en la que se les permitirá ensayos de tres contracciones máximas voluntarias isométricas del cuádriceps de 5 segundos y 1 minuto de descanso entre repetición. Después de un minuto de descanso, se realizará la prueba formal, se realizará tres contracciones isométricas de 5 segundos del cuádriceps a 60º de flexión de la rodilla (0º= extensión completa) con periodo de descanso de 2 minutos entre repetición. Por la instrucción y el estímulo verbal, realizará la prueba solo una

persona (investigador 2). Se les pedirá a los sujetos que empujen lo más fuerte posible contra el brazo del dinamómetro. Se calculará el promedio de los 3 picos de fuerza máxima (35).



Figura 9: Dinamómetro Primus RS BTS. (40)



Figura 10: Colocación del paciente en el dinamómetro. (41)

El área transversal anatómica del cuádriceps se evaluará en el Hospital Universitario de Getafe (Carr. Madrid- Toledo, Km 12,500, 28905 Getafe, Madrid) utilizando imágenes tomadas del muslo de los pacientes a través de imágenes de resonancia magnética (RM) (tiempo de repetición 4260ms, eco tiempo 95ms, medios: 3, campo de visión de 200x200, espesor de corte de 4 mm). Se tomarán imágenes transversales al 50% de la distancia entre el trocánter menor y el cóndilo femoral lateral. Se va a medir el perímetro de cada músculo (recto femoral, vasto interno, vasto externo y vasto intermedio) mediante las imágenes de la RM que se analizarán con el software Image-J por un solo investigador cegado (investigador 3). El área transversal anatómica del cuádriceps se estimará sumando los perímetros de estos músculos (38).

El protocolo de intervención que se llevará a cabo es el siguiente:

GRUPO 1 (Control):

Este grupo recibirá el tratamiento habitual de fisioterapia para la recuperación postquirúrgica del ligamento cruzado anterior. Una vez firmado todo el papeleo y realizadas las primeras mediciones de las variables, finalmente se les citará en el Hospital Universitario de Getafe, para el tratamiento.

El fisioterapeuta encargado (Investigador 2) realizará a los pacientes dos sesiones de fisioterapia a la semana de una hora con un intervalo mínimo de 72 horas entre ellas durante 12 semanas (37,38,39).

Programa habitual de recuperación del LCA: (29,35,27,38)

El tratamiento habitual para la recuperación postquirúrgica del LCA, va a consistir en lo siguiente: aplicación de PRICE, cinesiterapia, ejercicios de actividad neuromuscular, ejercicios de propiocepción, reeducación de la marcha y ejercicio de extensión de rodilla con predominio de la fase concéntrica.

- (0^o-3^o semanas): esta etapa se centrará en controlar el dolor, reducir la hemartrosis, el edema y conseguir un ROM de rodilla completo.
 - PRICE: (38)

Este método se inicia de inmediato postcirugía, abarcando las primeras 24 horas y 48 horas. Las siglas consisten en proteger (Protection) al paciente de nuevos daños, reposo (Rest), hielo (Ice) sobre la lesión, compresión y elevación (Compress, Elevate) para controlar y reducir el edema y el dolor: (42)

- ✓ P: conlleva el uso de vendajes para cubrir las heridas.
- ✓ R: reposo no significa inactividad. Se propone el reposo durante dos días, evitando la inmovilización prolongada, debido a sus efectos perjudiciales.
- ✓ I: la crioterapia es un procedimiento que utiliza el frío, con el objetivo de la reducción de temperatura del organismo, metabolismo tisular, produce vasoconstricción disminuyendo la inflamación. Su aplicación durará entre 5-10 minutos.
- ✓ C: se utilizará un vendaje funcional, para limitar movimientos que producen dolor, dejando los demás movimientos libres. Se llevará durante 48 horas.
- ✓ E: consiste en la elevación del miembro 15-30 cm por encima del nivel del corazón.

– Cinesiterapia: (35,37,38)

Es el conjunto de procedimientos terapéuticos que utilizan el movimiento para el tratamiento y recuperación del aparato locomotor. Los objetivos generales son los siguientes: disminuir el dolor, preservar la función muscular, recuperar la actividad articular normal y prevenir la aparición de la atrofia (43).

Se realizarán ejercicios de cinesiterapia activa, pasiva y resistida (flexo-extensión) progresivamente según la evolución del paciente para ganar un rango articular completo de rodilla.

- (3^o-15^o semanas): el objetivo será evitar la atrofia muscular y mejorar la actividad neuromuscular (ejercicio de elevación de la pierna estirada y ejercicios dinámicos de CCC unilateral), mejorar el equilibrio y la propiocepción (desde apoyos bípedos a unipodales y desde el suelo a planos inestables), restaurar la marcha (desplazamiento anterior, posterior y lateral) y realizarán el ejercicio de extensión de rodilla con predominio concéntrico en una máquina de pesas. (leg extension).

- Ejercicio de elevación de la pierna estirada: el paciente se coloca encima de una esterilla o camilla en decúbito prono con las piernas estiradas. Deberá activar el transverso del abdomen y mantener la lumbar pegada al suelo, evitado un arqueamiento de la espalda. Después llevará acabo una elevación con la pierna afectada estirada hasta donde pueda (38).



Figura 11: Posición inicial: decúbito prono. (Elaboración propia).



Figura 12: Posición final: Elevación de la pierna estirada. (Elaboración propia).

- Ejercicio dinámico de CCC unilateral de extensores de rodilla: (38)
 - **ZANCADA FRONTAL:** Paciente en bipedestación con los pies separados a la anchura de caderas. Tendrá que adelantar una pierna sin que la rodilla sobrepase la punta del pie, mientras que la pierna de atrás se debe mantener fija. Deberá bajar la cadera poco a poco, intentando llegar a una flexión de rodilla de 90º, manteniendo el tronco firme y erguido. Con el impulso de la pierna de delante, se vuelve a la posición inicial. Dependiendo de la respuesta individual al ejercicio y a medida que el paciente vaya progresando sin dolor, se aumentará la intensidad del ejercicio, añadiendo peso.



*Figura 13: Posición inicial:
Bipedestación. (Elaboración propia).*



Figura 14: Posición final: Zancada frontal. (Elaboración propia).

- Ejercicios de equilibrio y propiocepción: ejercicios desde bípedos a unipodales y desde planos estables a planos inestables (35,38).

- Apoyo bípedo:

- ✓ PLANO ESTABLE: el paciente deberá colocarse un fitball en la zona lumbar contra la pared y realizar una sentadilla, colocando los pies a ancho de caderas. Tendrá que bajar hasta llegar a una flexión de 90º (44).



Figura 15: Posición inicial: Bipedestación con fitball detrás de la espalda. (Elaboración propia).



Figura 16: Posición final: Sentadilla (Elaboración propia).

- ✓ PLANO INESTABLE: el sujeto se subirá a un bosu al revés. El objetivo de este ejercicio es mantener el equilibrio. A medida que el sujeto vaya progresando se complicará cada vez más (ojos cerrados, empujes...). Otra variación, sería la que se muestra en las fotos 18 y 19: el paciente cambia la carga de un pie a otro (44).



Figuras 17, 18, 19: Mantener el equilibrio en un bosu. (Elaboración propia).

- Apoyo unipodal:
 - ✓ PLANO ESTABLE: Paciente en bipedestación con apoyo unipodal (pierna lesionada). Flexionará el tronco y la rodilla para tocar con la mano contraria la pierna de apoyo como se muestra en la figura 21 (44).



Figura 20: Posición inicial: Bipedestación con apoyo unipodal. (Elaboración propia).

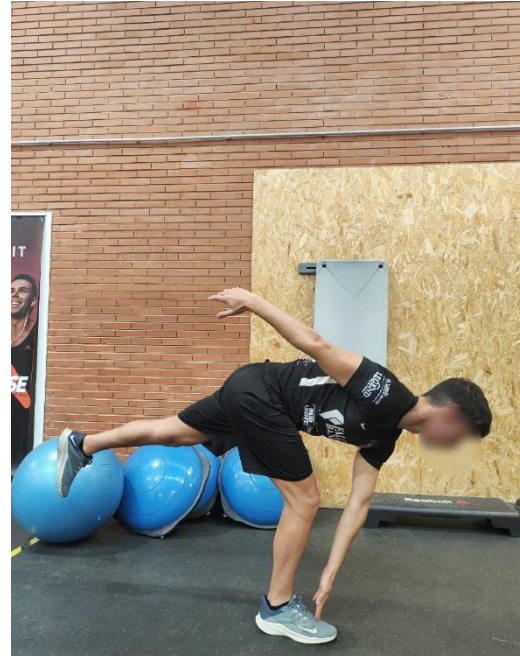


Figura 21: Posición final: Flexión de tronco y de rodilla. (Elaboración propia).

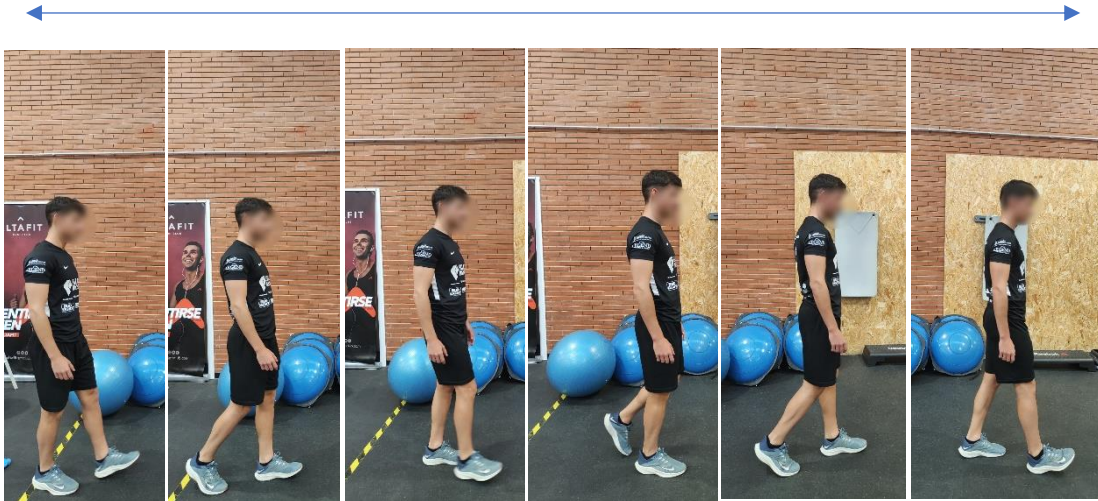
- ✓ PLANO INESTABLE: Paciente encima del bosu por la parte plana, manteniendo el equilibrio con la pierna lesionada. Se podrá complicar más el ejercicio con los ojos cerrados, empujes... (44)



Figura 22: Apoyo unipodal en bosu. (Elaboración propia).

– Marcha: (35,38)

- **MARCHA ANTERIOR Y POSTERIOR:** Paciente se desplaza hacia delante o hacia atrás mientras mantiene una postura estable. Se podrá realizar diferentes tipos de marcha: rodillas hacia arriba, de puntillas, de talones...



Figuras 23-28: Marcha anterior. (Elaboración propia).

- **MARCHA LATERAL:** el paciente se desplaza lateralmente de izquierda a derecha mientras mantiene una posición estable.



Figuras 29-34: Marcha lateral. (Elaboración propia).

– Ejercicio de extensión de rodilla con predominio en la fase concéntrica: (29,38)

Para que predomine la fase concéntrica, los sujetos realizarán una contracción del cuádriceps a diferente velocidad que la fase excéntrica. Se colocarán en una posición inicial de 90º de flexión de rodilla y harán una extensión de 0º. La contracción de flexión a extensión deberá ocurrir durante 3 segundos, hasta que se complete el rango completo de movimiento. El regreso de la extremidad a su posición inicial ocurrirá en 1 segundo.

Los participantes llevarán a cabo 3 o 4 series de 10 contracciones de extensión de rodilla de máxima intensidad con ajustes incrementales de carga. Con 1 minuto de descanso entre serie y serie. Se escogerá la carga para causar agotamiento después de las 10 repeticiones y se irá aumentando 5Kg de peso, progresivamente a lo largo del programa de entrenamiento de acuerdo con la respuesta de la fuerza muscular del paciente. Es decir, si el paciente es capaz de realizar 11 repeticiones en una serie sin ningún problema, se le incrementará la carga en la siguiente serie o en la siguiente sesión.

Fase concéntrica: de 90º de flexión a 0º de extensión de rodilla → 3 segundos.



Figura 35: Posición inicial de la fase concéntrica: Flexión de rodilla de 90º. (Elaboración propia).



Figura 36: Posición final de la fase concéntrica: 0º de extensión de rodilla. (Elaboración propia).

GRUPO 2 (Experimental):

Los pacientes del grupo 2 recibirán el mismo tratamiento que el grupo 1 y en la 3ª semana después de la cirugía, comenzarán un ejercicio de trabajo negativo progresivo, inducido excéntricamente.

- Ejercicio de extensión de rodilla con predominio en la fase excéntrica: (29,38)

Para que predomine la fase excéntrica se realizará el ejercicio a diferente velocidad de contracción excéntrica que el anterior. Los pacientes partirán de 90º de flexión y harán una extensión de rodilla en 1 segundo. La contracción excéntrica que se lleva a cabo desde la extensión a la flexión de rodilla se hará en 3 segundos. El número de series, las repeticiones, la elección de cargas y el tiempo de descanso entre serie y serie son los mismos que en el grupo control.

La evidencia sugiere que los ejercicios con sobrecarga excéntrica optimizan la hipertrofia y el fortalecimiento muscular. Por tanto, se realizará una progresión de carga en el ejercicio. Se tendrá en cuenta la aparición de dolor y la respuesta de la fuerza muscular del paciente. Si no hay dolor, se procederá a un aumento de 5kg de peso. Esto se deberá ir aumentando de forma progresiva a lo largo del programa de fuerza, de acuerdo con la retroalimentación individual del paciente (la autopercepción de la capacidad) y la respuesta de la fuerza muscular (capaz de realizar 11 repeticiones en una serie), siempre y cuando se esté ejecutando el ejercicio de manera adecuada.

Fase excéntrica: de 0º de extensión a 90º de flexión de rodilla → 3 segundos.



Figura 37: Posición inicial de la fase excéntrica: 0º de extensión de rodilla. (Elaboración propia).



Figura 38: Posición final de la fase excéntrica: 90º de flexión de rodilla. (Elaboración propia).

6.2 ETAPAS DE DESARROLLO.

ETAPAS DE DESARROLLO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1. Redacción del proyecto.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Solicitud CEIC				X					
3. Información al equipo investigador					X				
4. Reclutamiento de la muestra, recogida de datos personales, HIP, CI y asignación de grupos.						X			
5. Primera medición.						X			
6. Intervención							X		
7. Segunda medición								X	
8. Análisis de datos								X	
9. Redacción y publicación de la investigación.									X

Tabla 14: Etapas de desarrollo del proyecto de investigación. (Elaboración propia).

6.3 DISTRIBUCIÓN DE TAREAS DEL EQUIPO INVESTIGADOR.

– **Investigadora principal:**

Encargada de diseñar el proyecto de investigación, reclutar al equipo y de realizar la solicitud al CEIC del Hospital Universitario de Getafe y de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios. Es aquella que tiene el primer contacto con los pacientes, les asigna un ID y los distribuyen en los dos grupos de intervención. Debe realizar reuniones periódicas con el equipo para el buen funcionamiento del estudio, también debe resolver posibles incidencias. Analiza los resultados, elaborando un informe final.

– **Investigador 2 (Fisioterapeuta deportivo):**

Experto en realizar los tratamientos de ambos grupos. Se encargará de enseñar y corregir a los pacientes para la buena elaboración de los ejercicios. Además, es el que llevará a cabo las mediciones de la fuerza máxima isométrica con el dinamómetro.

– **Investigador 3 (Radiólogo):**

Médico especializado en técnicas de diagnóstico de radiología musculoesquelética, será el que realizará con la investigadora principal la primera valoración para saber si los sujetos cumplen con los criterios del estudio. Después se encargará de realizar las resonancias magnéticas y las mediciones manuales de cada músculo del cuádriceps.

– **Investigador 4 (Analista):**

Recopilará los datos de las mediciones del dinamómetro y de las resonancias magnéticas. Los analizará con el programa estadístico SPSS Statistics y dará los resultados a la investigadora principal, elaborando un informe.

– **Colaboradores:**

Ayudaran a la recopilación de la muestra, informando a los pacientes en la posible colaboración del estudio. También permitirán el uso de sus instalaciones para la realización de las resonancias magnéticas y la dinamometría.

6.4 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

Los pacientes operados del ligamento cruzado anterior serán informados de participar en el estudio por los médicos rehabilitadores y los traumatólogos del Hospital Universitario de Getafe. Se les citará en el laboratorio de Biomecánica de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios” donde se les realizará una primera valoración para saber si cumplen con los criterios de inclusión. Si esto fuera así, se les realizará la primera medición de la fuerza máxima isométrica del cuádriceps con la herramienta dinamométrica. Después, los pacientes deberán acudir al Hospital Universitario de Getafe para las resonancias magnéticas y las mediciones de los músculos del cuádriceps. Una vez completado todos los pasos, empezarán con los tratamientos que se llevarán a cabo en el mismo hospital.

Ubicaciones de ambas instalaciones:

HOSPITAL UNIVERSITARIO DE GETAFE:

Situado en Carretera Madrid-Toledo, Km, 12500, Código postal: 28905, Getafe.



Figura 9: Localización en mapa del Hospital Universitario de Getafe. (Elaboración propia).

Se dispondrá de las instalaciones del hospital para la realización de las imágenes de resonancia magnética en el servicio de radiodiagnóstico y para la puesta en marcha de los tratamientos en el gimnasio de rehabilitación.

ESCUELA UNIVERSITARIA DE SAN JUAN DE DIOS (UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS):

Avenida San Juan de Dios, 1, código postal: 28350, Ciempozuelos, Madrid.



Figura 10: Localización en mapa de La Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia "San Juan de Dios". (Elaboración propia).

Se utilizará las instalaciones de la escuela para la primera valoración y para la evaluación inicial y final de la fuerza máxima isométrica del cuádriceps en el laboratorio de Biomecánica.

7. LISTADO DE REFERENCIAS.

1. Calero Saa PA, Universidad Santiago de Cali, editores. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva tomo I. Editorial Universidad Santiago de Cali; 2018.
2. Castillejo Jiménez M. Diseño y evaluación de un protocolo preventivo para la lesión del Ligamento Cruzado Anterior en jugadoras de baloncesto: Entrenamiento del valgo dinámico a través del entrenamiento específico del Glúteo Medio. [Barcelona]: Universidad Pompeu Fabra; 2021.
3. Marion: Bayle. Análisis de la efectividad del Vertimax en deportistas de alto nivel tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior: serie de casos. [Zaragoza]: Universidad San Jorge; 2019.
4. Cáceres Romero E. Eficacia de la electroestimulación neuromuscular en deportistas durante la fase de fortalecimiento en la recuperación postquirúrgica de ligamento cruzado anterior. [Madrid]: Universidad Pontificia de Comillas; 2017.
5. Berenguer Dobato M. Efectividad del ejercicio pliométrico en arena en la lesión del LCA en futbolistas: Protocolo de estudio. [Lleida]: Universitat de Lleida; 2017.
6. Arrese AC. Plan de Intervención en Fisioterapia post intervención ligamento cruzado anterior y meniscectomía externa; A propósito de un caso. [Zaragoza]: Universidad de Zaragoza; 2017.
7. Bencke J, Aagaard P, Zebis MK. Muscle activation during ACL injury risk movements in young female athletes: A narrative review. *Front Physiol* [Internet]. 2018;9:445. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.00445>
8. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med* [Internet]. 2015;49(22):1452–60. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>
9. Álvarez R, Gómez G, Pachano A. Actualización bibliográfica del mecanismo de lesión sin contacto del LCA. *Sport Med*. 2018;
10. Pérez Saz M. Valorar las diferencias de fuerza y estabilidad tras un ejercicio co-contracción de cuádriceps e isquiotibiales con electroestimulación en futbolistas operados de ligamento cruzado anterior. [Madrid]: Universidad Pontificia de Comillas; 2020.
11. Bahr R, Maehlum S. Lesiones deportivas: diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. *Ed Médica Panamericana*. 2007;460.

12. Rubio RC. Prevención de la rotura del LCA en fútbol. [Murcia]: Universidad Católica San Antonio; 2018.
13. Pfeifer CE, Beattie PF, Sacko RS, Hand A. Risk factors associated with non-contact anterior cruciate ligament injury: A systematic review. *Int J Sports Phys Ther*. 2018;13(4):575–87.
14. Rogowski I, Vigne G, Blache Y, Thaunat M, Fayard J-M, Monnot D, et al. Does the graft used for acl reconstruction affect the knee muscular strength ratio at six months postoperatively? *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2019;14(4):546–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26603/ijspt20190546>
15. Wilk KE, Macrina LC, Cain EL, Dugas JR, Andrews JR. Recent advances in the rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2012;42(3):153–71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2012.3741>
16. Díez Ballarín A. Efectividad de un programa de ejercicios en Cadena Cinética Cerrada basado en posturas de Yoga terapéutico en fase de Entrenamiento Funcional en la rehabilitación de ligamento cruzado anterior. A propósito de un caso. [Zaragoza]: Universidad San Jorge; 2019.
17. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte / International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport, vol. 8, núm. 29, 2008, pp. 62-92 Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
18. Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review: A systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(19):1737–48.
19. García-Pérez F, Bahr S. Lesiones deportivas. Diagnóstico tratamiento y rehabilitación. Editorial Médica Panamericana; 2007.
20. Sangüesa HB. Lesión y tiempo de recuperación. Clínica Corpore Sano. [citado el 1 de abril de 2022]; Disponible en: <https://clinica-corporesano.com/lesion-y-tiempo-de-recuperacion>
21. Montesano P, Palermi S, Massa B, Mazzeo F. From “sliding” to “winding” filaments theory: A narrative review of mechanisms behind skeletal muscle contraction. 2020.
22. Caleta EJ. Reconstrucción de LCA: Rehabilitación conservadora o acelerada. *Rev Arg Artroscop*. 1998;5(1):49–59.
23. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. Concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol*. 2017; 8:447.
24. Álvarez-Ponce D, Guzmán-Muñoz E. Efectos de un programa de ejercicios excéntricos sobre la musculatura isquiotibial en futbolistas jóvenes. *Camp d*. 2019;19.

25. CyMO. Curl nórdico invertido: efectos en la arquitectura muscular [Internet]. Check your motion. 2019 [citado el 1 de abril de 2022]. Disponible en: <https://checkyourmotion.com/curl-nordico-invertido-efectos-en-la-arquitectura-muscular/>
26. Paralimpicos.es. [citado el 1 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.paralimpicos.es/sites/default/files/inline-files/Potenciacion%20excéntrica%20de%20miembros%20inferiores.pdf>
27. Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2011; 6(1):27–44.
28. van Melick N, van Cingel REH, 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; 50(24):1506–15.
29. Gois MO, Campoy FAS, Alves T, Avila RP, Vanderlei LCM, Pastre CM. The influence of resistance exercise with emphasis on specific contractions (concentric vs. eccentric) on muscle strength and post-exercise autonomic modulation: a randomized clinical trial. *Braz J Phys Ther.* 2014;18(1):30–7.
30. Salazar P. Ejecución del chute de balón y su relación con los desbalances musculares del tren inferior, en mujeres futbolistas amateur de la ciudad de Ambato (Bachelor's thesis); 2019.
31. Bautista Hernández, Laura Daniela Casalins González, Linda Marcela Jiménez Alvarado, Yessica Paola. Descripción y Análisis de una Prueba Para Medir Fuerza Isométrica de Extensión de Rodilla Unilateral con Plataformas de Fuerza en Estudiantes Universitario. [Colombia]: Universidad de Santander; 2020.
32. Milandri G, Sivarasu S. A randomized controlled trial of eccentric versus concentric cycling for anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. *Am J Sports Med.* 2021; 49(3):626–36.
33. Çınar-Medeni Ö, Harput G, Baltacı G. Angle-specific knee muscle torques of ACL-reconstructed subjects and determinants of functional tests after reconstruction. *J Sports Sci.* 2019; 37(6):671–6.
34. Santos HH, Sousa CDO, Medeiros CLP, Barela JA, Barela AMF, Salvini TDF. CORRELACIÓN ENTRE ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO Y PRUEBAS FUNCIONALES EN SUJETOS CON LCA RECONSTRUIDO. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte.* 2018;24(6):471–6.

35. Harput G, Ulusoy B, Yildiz TI, Demirci S, Eraslan L, Turhan E, et al. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2019;27(1):68–75. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-018-5040-1>
36. Brasileiro JS, Pinto OMSF, Ávila MA, Salvini TF. Functional and morphological changes in the quadriceps muscle induced by eccentric training after ACL reconstruction. *Braz J Phys Ther*. 2011;15(4):284–90.
37. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Phys Ther*. 2009;89(1):51–9.
38. Vidmar MF, Baroni BM, Michelin AF, Mezzomo M, Lugokenski R, Pimentel GL, et al. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther* [Internet]. 2020;24(5):424–32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.07.003>
39. Friedmann-Bette B, Profit F, Gwechenberger T, Weiberg N, Parstorfer M, Weber M-A, et al. Strength training effects on muscular regeneration after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(6):1152–61.
40. Díaz CM. Valorar la eficacia del ejercicio terapéutico en la prevención de la luxación rotuliana en bailarinas de ballet entre 10 y 17 años. [Madrid]: Universidad Pontificia Comillas; 2020.
41. Researchgate.net. [citado el 1 de junio de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Primus-RS-BTE-Physical-therapy-equipment-for-multi-joint-testing-orthopedic-rehab_fig2_269758479
42. P.L.T.F Luz Mabel Álvarez Domínguez. Conocimiento y aplicación de PRICE de los maestros, promotores y entrenadores de cultura física de la Universidad Autónoma del Estado de México en el Valle de Toluca en 2013. [México]: Universidad Autónoma del Estado de México; 2013.
43. De Las Penas CF, Ortiz AM. Cinesiterapia: bases fisiológicas y aplicación práctica. Elsevier; 2019.
44. Comillas.edu. [citado el 6 de junio de 2022]. Disponible en: https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2907730/mod_folder/content/0/BASES%20DEL%20TRABAJO%20%20DE%20RSPM%20DE%20MMII%20PRACTICA%20.pdf?forcedownload=1

8. ANEXOS.

ANEXO I: SOLICITUD CEIC:

Dña. Elisa Ramos Landré, investigadora principal, con DNI.....
y nº de colegiada.....

EXPONE:

Su interés en desarrollar el estudio *“Incorporación precoz de ejercicios excéntricos en el programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del ligamento cruzado anterior”* que se realizará en el Hospital Universitario de Getafe y en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios y cuyo diseño y características se detallan en la memoria del proyecto, respetando la normativa legal y ética internacional para el desarrollo de investigaciones recogida en la Declaración de Helsinki. Ambos centros mencionados anteriormente pondrán a disposición del estudio los recursos necesarios para su realización.

SOLICITA:

La autorización para el desarrollo del proyecto de investigación, adjuntando la siguiente documentación:

- Memoria del proyecto de investigación.
- Hojas de Consentimiento e Información al Paciente.
- CV de los miembros del equipo investigador.

Firma:

En Madrid, a de..... de 2022.

ANEXO II: HOJA DE INFORMACIÓN DEL PACIENTE:

“Incorporación precoz de ejercicios excéntricos en el programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del ligamento cruzado anterior.”

PROMOTOR DE EL ESTUDIO:

Nombre:

Teléfono:

Correo:

Usted tiene el derecho de ser informado del procedimiento del estudio al que va a ser sometido y las complicaciones que pueden surgir como participante.

Este documento intenta explicarle las características principales de la investigación y responderemos a todas sus dudas. Le recordamos que, por imperativo legal, tendrá que firmar el consentimiento informado para que podamos realizarle dicho procedimiento. Por favor, lea atentamente la información que se expone a continuación.

OBJETIVO:

El objetivo del estudio es comprobar si la incorporación precoz de ejercicios excéntricos es más efectiva que no incluirla al tratamiento habitual de fisioterapia en deportistas con una cirugía del ligamento cruzado anterior para mejorar la fuerza y el volumen del cuádriceps.

PROCEDIMIENTO:

Los sujetos que participen en la investigación serán divididos aleatoriamente en dos grupos: Grupo 1 (control) y Grupo 2 (experimental).

El estudio tendrá una duración de 12 semanas para ambos grupos, desde la 3ª semana a la 15ª semana postquirúrgica. Los participantes deberán acudir dos horas a la semana al Hospital Universitario de Getafe.

Los pacientes del Grupo 1 recibirán el tratamiento de fisioterapia habitual en operados del LCA, el cual incluirá técnicas de cinesiterapia, reeducación de la marcha, propiocepción, ejercicios dinámicos de CCC unilaterales y ejercicio de extensión de rodilla con predominio en la fase concéntrica.

Los pacientes del Grupo 2 recibirán el tratamiento experimental, el cual es la incorporación de un ejercicio de extensión de rodilla con predominio en la fase excéntrica, además del tratamiento de fisioterapia habitual en reconstrucciones de LCA.

Antes y después del tratamiento se harán mediciones de las variables a estudiar (fuerza máxima isométrica y volumen del cuádriceps). Para ello se utilizará un dinamómetro e imágenes de resonancia magnética.

PARTICIPANTES:

Podrán participar en el estudio personas de ambos sexos entre 18 y 30 años, con reconstrucción reciente del LCA unilateral. Además, antes de la cirugía debían practicar deporte cinco veces a la semana.

No podrán participar sujetos que no cumplan con los criterios anteriormente mencionados, que consuman esteroides, anabólicos o creatina para ganar masa muscular, que se hayan sometido a una cirugía del miembro contralateral o que hayan sufrido una lesión en el miembro a estudiar en los últimos seis meses.

RIESGOS Y CONTRAINDICACIONES:

Los tratamientos del estudio no suponen ningún riesgo para la salud de los participantes.

DERECHOS:

Usted tiene derecho a:

- Abandonar el estudio en cualquier momento sin ningún tipo de perjuicio.
- Contactar con la investigadora cuando quiera.
- Se garantiza la protección de datos personales según la Ley Orgánica 3/2018 LOPDGDD. Los datos de los pacientes serán custodiados por una base de datos anónima y los resultados del estudio serán difundidos de manera anónima, no se difundirá ningún tipo de información personal vinculada a la identificación de los sujetos.

Si está interesado en realizar preguntas con relación a lo leído anteriormente, le responderemos lo mejor y lo antes posible a través de sus datos de contacto:

Teléfono:

Correo:

Firma del participante:

Firma de la investigadora principal:

ANEXO III: CONSENTIMIENTO INFORMADO:

CONSENTIMIENTO INFORMADO

ESTUDIO CLÍNICO

Incorporación precoz de ejercicios excéntricos en el programa de fuerza del tratamiento de fisioterapia en deportistas operados del ligamento cruzado anterior.

SUJETO

D/Dña. _____ con
DNI _____

He leído y comprendido lo que se ha explicado en la hoja de información del paciente. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y resolver mis dudas sobre los procedimientos e intervenciones del estudio. Firmando abajo consiento que se me apliquen los tratamientos que se han explicado adecuadamente y claramente.

Entiendo que tengo el derecho de abandonar el estudio en cualquier momento y consiento ser tratado por un/a fisioterapeuta colegiado/a.

Declaro no encontrarme con las contraindicaciones especificadas en este documento.

Declaro haber proporcionado fielmente mis datos sobre el estado físico y salud de mi persona que pudiera afectar a los procedimientos que se van a realizar. Comprendo que se respetará la confidencialidad expuesta en la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos y Garantía de Derechos digitales.

Asimismo, decido dar mi conformidad, libre, voluntaria y consciente a los tratamientos que se me han informado.

Firma:

En Madrid, a _____ de _____ de 2022.

INVESTIGADOR:

Yo, Dña _____ con DNI _____,
Fisioterapeuta graduada con número de colegiado _____,
declaro haber facilitado al/la paciente, toda la información necesaria para la realización de los
procedimientos explicados en los presentes documentos, así como afirmo haber resuelto todas
las dudas expuestas por el/la participante. Declaro haber tomado las precauciones adecuadas
para que la aplicación de los tratamientos sea la correcta.

En Madrid, a _____ de _____ de 2022.

Firma de la investigadora principal:

DOCUMENTO DE REVOCACIÓN:

D/Dº. _____ con
DNI _____ y número de paciente _____, declaro mi voluntad
de rescindir el documento de consentimiento informado y por tanto, de participación en el
estudio.

En Madrid, a _____ de _____ de 2022.

Firma:

ANEXO IV: HOJA DE RECOGIDA DE DATOS PERSONALES:

CUESTIONARIO DE RECOGIDA DE DATOS:

NOMBRE: _____ APELLIDOS: _____

DNI: _____

Código de identificación (ID): _____ Grupo de tratamiento: _____

Fecha de nacimiento: _____

Sexo: _____

Teléfono de contacto: _____

Correo electrónico: _____

Fecha de intervención quirúrgica: _____

Miembro inferior intervenido: D I

Actividad deportiva: _____ Días/semana: _____

Observaciones/ Otra información de interés:

ANEXO V: HOJA DE MEDICIONES (ANALISTA):

TABLA DE MEDICIONES

	MOMENTO DE FUERZA MÁXIMA ISOMÉTRICA DE CUÁDRICEPS		VOLUMEN DEL CUÁDRICEPS	
	PRE	POST	PRE	POST
ID				