



**RIDUNAJ**  
Repositorio Institucional  
Digital UNAJ



Universidad Nacional  
**ARTURO JAURETCHE**

Tesinas de Grado

Roman Esteban Rojas Salinas

# El método de restricción del flujo sanguíneo como instrumento en la rehabilitación kinésica en pacientes con lesión de ligamento cruzado anterior

2023

*Instituto de Ciencias de la Salud*

*Carrera: Licenciatura en Kinesiología y*

*Fisiatría*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – No comercial – Compartir igual 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Rojas Salinas, RE. El método de restricción del flujo sanguíneo como instrumento en la rehabilitación kinésica en pacientes con lesión de ligamento cruzado anterior [Tesis de grado]. Florencio Varela: Universidad Nacional Arturo Jauretche; 2023. 93 p. Disponible en: <https://rid.unaj.edu.ar/handle/123456789/3005>



**Instituto de Ciencias de la Salud – Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría**

**“El método de restricción del flujo sanguíneo como instrumento en la  
rehabilitación kinésica en pacientes con lesión de ligamento cruzado  
anterior”**

**Autor:**

Rojas Salinas, Roman Esteban

**N° de Legajo:** 28741

**Director/a:**

Cozzi, Gerardo Sergio

**Fecha de Presentación:**

02/03/2023

**Firma de Autor**

## Agradecimientos

La realización de este proyecto marca el fin de una etapa muy linda y fructífera, en la cual aprendí, me formé y crecí tanto en lo profesional como en lo personal. Esto no hubiese sido posible sin el apoyo, el amor, el acompañamiento y el sacrificio de mis amigos y mi familia.

Quiero hacer una mención especial a aquellas personas que aprecio mucho y que me acompañaron en gran parte de la carrera y en este último tiempo: Ana Laura, Antonella, Daniela, Florencia, Josefina, Juan Manuel, Laura, Lourdes, Nicolas, Rodrigo y Santiago.

También, quiero agradecerle a mi mamá Fabiana Segovia, la mujer más importante en mi vida, la cual me dio el amor y la seguridad para avanzar siempre. ¡Gracias mamá!

Por último, quiero agradecerle a la Universidad Nacional Arturo Jauretche por darme la posibilidad de poder estudiar, de poder crecer y de poder perfeccionarme. Y también, muchas gracias a mi tutor Gerardo, que estuvo desde el primer día para guiarme y aconsejarme con la elaboración de este trabajo.

Rojas Salinas, Roman Esteban.

## Índice

I.	Introducción.....	4
II.	Problema de investigación.....	6
III.	Objetivos.....	6
III.1	Objetivo general.....	6
III.2	Objetivos específicos.....	6
IV.	Marco teórico.....	6
IV.1	Reseña anatómica de la articulación de la rodilla.....	6
IV.2	Elementos de estabilidad de la rodilla.....	8
IV.3	Ligamento cruzado anterior.....	11
IV.3.1	Reseña anatómica del ligamento cruzado anterior.....	11
IV.3.2	Biomecánica del LCA.....	13
IV.3.3	Epidemiología.....	13
IV.3.4	Factores de riesgo de la lesión del LCA.....	14
IV.3.5	Mecanismo de lesión del ligamento cruzado anterior.....	15
IV.3.6	Lesiones asociadas al ligamento cruzado anterior.....	16
IV.3.7	Cuadro clínico.....	17
IV.3.8	Diagnóstico clínico lesión.....	17
V.	Tratamiento.....	20
V.1	Tratamiento conservador.....	20
V.2	Tratamiento quirúrgico.....	22
V.2.1	Rehabilitación postoperatoria.....	24
V.2.2	Alteraciones morfológicas postoperatorias.....	26
VI.	Restricción flujo sanguíneo (BFR).....	28
VI.1	¿Qué es?.....	28
VI.2	Historia BFR.....	29
VI.3	Beneficios del BFR.....	30

VI.4	Mecanismos fisiológicos .....	30
VI.5	Modo de uso .....	35
VI.6	Efectos secundarios .....	37
VI.7	Contraindicaciones .....	39
VI.8	Consideraciones.....	40
VI.9	Modalidades de uso .....	41
VII.	Metodología .....	42
VIII.	Contexto de análisis .....	44
IX.	Resultados .....	63
IX.1	Dolor.....	63
IX.2	Fuerza de extensión de rodilla.....	63
IX.3	Fuerza de flexión de rodilla.....	63
IX.4	Función autoinformada.....	63
IX.5	Morfología del muslo .....	64
IX.6	Prueba de equilibrio.....	64
X.	Conclusión .....	64
XI.	Referencia bibliográfica .....	65
XII.	Anexo .....	72

## Índice de abreviaturas

- ACLR: Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior.
- ACL: Ligamento Cruzado Anterior.
- BFR: Blood Flow Restriction.
- IMC: Índice de Masa Corporal.
- H-TR-H: Hueso Tendón Rotuliano Hueso.
- B-TB-B: Hueso Tendón Rotuliano Hueso.
- IKDC: Clasificación del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla.
- PT: Torque Máximo.
- RTD: Tasa de Desarrollo del Torque.
- EMG: Electromiografía.
- CAR: Relación de Actividad Central.
- RM: Repetición Máxima.
- FT: Fibras de contracción rápida.
- ST: Fibras de contracción lenta.
- NOS: Óxido Nítrico Sintasa.
- LOP: Limb Occlusion Pressure.
- DOMS: Dolor Muscular de Aparición Tardía.
- ACSA: Área de Sección Transversa Anatómica.
- SEM: Standard Error of the Mean.
- HL-RT: Entrenamiento de resistencia a cargas pesadas.
- ROM: Rango de movimiento.
- SEBT: Prueba de equilibrio de excursión de estrella modificada.
- KOOS: Knee Lesión and Osteoarthritis Outcome Score.
- PRE: Preoperatoria.
- PO: Postoperatoria.

## I. Introducción

El ligamento cruzado anterior (LCA) es uno de los 2 ligamentos cruzados que ayudan a estabilizar la articulación de la rodilla. La función del LCA es limitar la traslación anterior de la tibia y proporcionar estabilidad rotacional a la rodilla. (1) Los esguinces y desgarros de ligamento cruzado anterior son lesiones comunes de rodilla, con una incidencia reportada de 100.000 a 200.000 casos en los Estados Unidos cada año. (2)

Con respecto al mecanismo de lesión, existen factores de riesgo neuromusculares y biomecánicos asociados con la lesión del LCA. En comparación con la carrera lineal, hay un aumento significativo de la carga del LCA durante los movimientos laterales y las maniobras de corte cruzado. Este movimiento genera un gran aumento en varo/ valgo y movimientos de rotación interna/ externa. Estas mayores tensiones durante el corte ponen en riesgo el LCA, especialmente cuando la rodilla está en ángulos de flexión entre 0 y 40 grados. (2)

Las rupturas del LCA se pueden tratar de forma conservadora o quirúrgica. Actualmente no se dispone de recomendaciones inequívocas, claras y basadas en la evidencia para el tratamiento de la rotura del ligamento. (3) Para la reconstrucción del LCA se han descrito muchas técnicas quirúrgicas donde se emplean varios tipos de injertos y fijaciones, tanto a nivel tibial como femoral. (4)

En cuanto a los objetivos de la rehabilitación posoperatoria son restaurar el movimiento articular normal y la fuerza de la rodilla reconstruida mientras se protege el injerto. (2) Siendo de este modo la rehabilitación una instancia de suma importancia para el retorno funcional del paciente.

Por otro lado, en los pacientes que han sido sometidos a una reconstrucción del LCA, se han informado déficits de fuerza superiores al 30% en la extremidad reconstruida en comparación con la contralateral seis meses después de la operación, un momento en el que los pacientes a menudo regresan a la actividad completa. (5)

En la actualidad, puede ocurrir una marcada atrofia muscular de las extremidades inferiores y la disfunción prolongada puede ocurrir incluso con los programas modernos de rehabilitación postoperatoria, que utilizan movimientos tempranos de la rodilla, soporte de peso, estimulación eléctrica y ejercicios de cadena cinemática cerrada y abierta. La debilidad residual del cuádriceps puede persistir muchos meses o años después de operaciones importantes, como la reconstrucción del LCA (6)

En cuanto al cuádriceps, se ha resaltado su importancia para el control de las extremidades inferiores durante la actividad dinámica y la debilidad podría alterar las estrategias de movimiento y potenciar una nueva lesión. Para preparar de manera óptima a los pacientes para volver a la actividad completa, se debe restaurar la función del mismo. (5)

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, sabemos que existen métodos que tienen como propósito principal facilitar el aumento del trofismo muscular, como es el método de entrenamiento de “restricción del flujo sanguíneo” el cual utiliza baja carga para generar un aumento del trofismo muscular. (7)

La restricción del flujo sanguíneo (BFR) es un método innovador de entrenamiento que restringe parcialmente el flujo arterial y totalmente el flujo venoso en la musculatura que trabaja durante el ejercicio. Por lo tanto, el ejercicio se realiza con una reducción del flujo sanguíneo del paquete vascular proximal.

Esta técnica fue creada por el Dr. Yoshiaki Sato en Japón, donde se conocía como "entrenamiento kaatsu", que significa "entrenamiento con presión adicional". El entrenamiento Kaatsu actualmente se realiza en todo el mundo y se conoce más comúnmente como "entrenamiento BFR"; en la práctica se realiza mediante un sistema de torniquete neumático. (7)

## **II. Problema de investigación**

Considerando la problemática anteriormente expuesta, en relación de la debilidad del cuádriceps y las modalidades de intervención existentes para resolver esta insuficiencia; este trabajo se orientará a estudiar uno de los métodos existentes dirigidos para tratar dicha limitación. Se propone, por lo tanto, responder a la siguiente pregunta: “¿Qué resultados tiene el entrenamiento de baja carga con el método de restricción del flujo sanguíneo en la debilidad muscular del cuádriceps en los pacientes adultos con reconstrucción del ligamento cruzado anterior?”

## **III. Objetivos**

### **III.1 Objetivo general**

El objetivo general es realizar una revisión de la literatura para analizar los resultados, que tienen los distintos protocolos de aplicación del método de restricción del flujo (BFR), sobre diversas variables, en el tratamiento de la debilidad muscular del cuádriceps en los pacientes adultos que cursan con lesión del ligamento cruzado anterior.

### **III.2 Objetivos específicos**

Por lo tanto, para poder alcanzar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- A. Analizar los efectos en el dolor con el método de restricción de flujo sanguíneo (BFR)
- B. Identificar como influye el método de restricción de flujo sanguíneo (BFR) en la fuerza flexora y extensora de la rodilla.
- C. Analizar los resultados en la función autoinformada de la rodilla con el método de restricción del flujo sanguíneo (BFR)
- D. Conocer las modificaciones del trofismo muscular con el método de restricción de flujo sanguíneo (BFR).
- E. Analizar los resultados del método de restricción de flujo sanguíneo (BFR) en la prueba de equilibrio.
- F. Describir diferentes protocolos que se utilizan el método de restricción de flujo sanguíneo (BFR).

## **IV. Marco teórico**

### **IV.1 Reseña anatómica de la articulación de la rodilla**

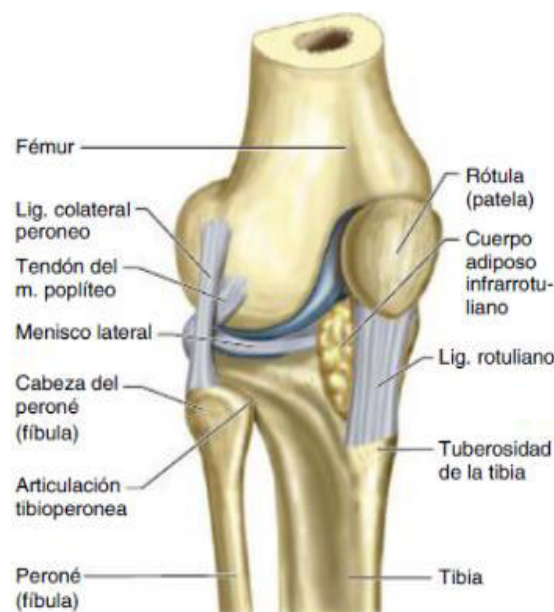
La rodilla es una articulación que se encuentra en los miembros inferiores, la cual está conformada por 3 huesos: el fémur, la tibia y la rótula. Esta articulación se encuentra

conformada por la articulación femoropatelar (tróclea) y la femorotibial (bicondilea). **Figura 1.**

La rótula es un hueso sesamoideo que se encuentra en la parte anterior de la rodilla. La misma se caracteriza por ser triangular de base superior y aplanada de anterior a posterior. Se describen en ella dos caras (una anterior y otra posterior), una base superior, un vértice inferior y dos bordes (uno lateral y otro medial). Con respecto a la cara posterior, es aquella que articula con la cara rotuliana de los cóndilos femorales.

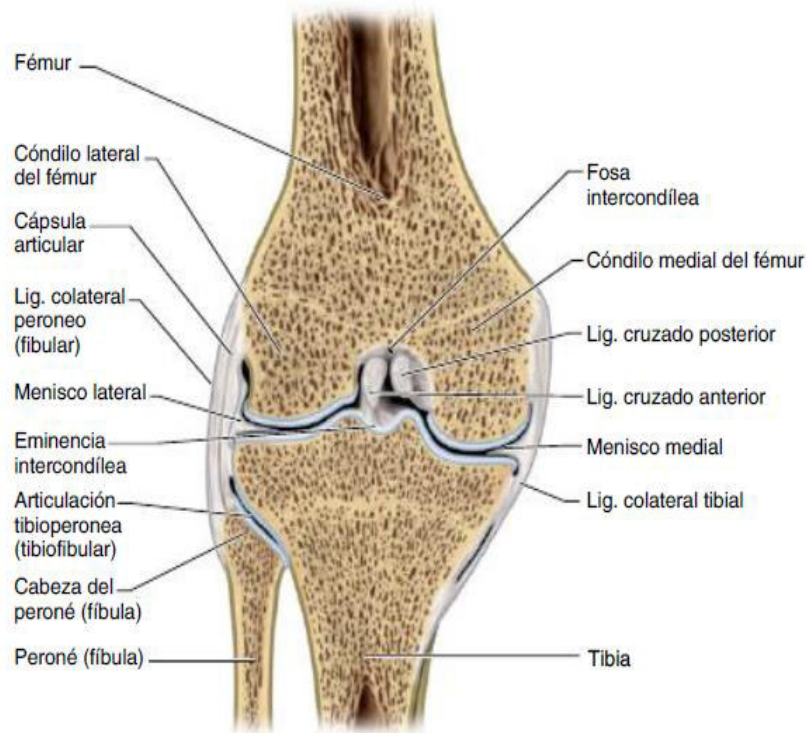
El fémur es un hueso largo que se encuentra a nivel del muslo. El mismo está conformado por una epífisis proximal, el cuerpo femoral y la epífisis distal. La epífisis distal, es voluminosa y se extiende más transversalmente que en sentido anteroposterior. Se divide en dos cóndilos, los cuales están separados entre sí por la fosa intercondílea. Ambos cóndilos presentan una cara inferior, una posterior y dos caras colaterales. Las caras inferior y posterior están ocupadas por una superficie articular para la rótula y la tibia. Dentro de lo que son las caras colaterales, se encuentra en el cóndilo medial, el epicóndilo medial y en el cóndilo lateral se encuentra el epicóndilo lateral. (8)

La tibia es un hueso largo y voluminoso, situado en la parte medial de la pierna. El mismo se articula con el fémur a través de su extremo superior y con el astrágalo en su extremo inferior. Dentro de lo que son sus partes, encontramos dos epífisis y la diáfisis. En la epífisis proximal encontramos el extremo superior, que es voluminoso y alargado transversalmente. Está formado por dos cóndilos (uno lateral y el otro medial) que sostienen las caras articulares superiores de la tibia. Las caras articulares superiores de la tibia son las dos cavidades glenoideas, que se dividen



en medial y lateral. En sus partes contiguas, las caras articulares conforman la eminencia intercondílea que ocupa la parte media del área intercondílea. El área intercondílea está formada por dos tubérculos, y la misma divide el área intercondílea anterior y posterior. (8)**Figura 2.**

**Figura 1.** Articulación de la rodilla sin su capsula articular. **Anatomía clínica Pro 2014**



**Figura 2.** Selección coronal articulación de la rodilla derecha, vista anterior. **Anatomía clínica Pro 2014**

#### **IV.2 Elementos de estabilidad de la rodilla**

La rodilla es una de las articulaciones más complejas del aparato locomotor, por el equilibrio que guardan los distintos componentes óseos y de partes blandas. La rodilla presenta movimientos de flexión y extensión, y cierto grado de rotación interna y externa. Por lo tanto, la misma cuenta con diversos mecanismos que le permiten tener estabilidad. (9)

Dentro de los mecanismos que le brindan estabilidad encontramos: los factores pasivos, factores activos, mecanismos reflejos de coordinación y defensa.

- Factores pasivos: son la capsula articular, los meniscos y los ligamentos cruzados y laterales.

La capsula articular es una vaina fibrosa que se extiende desde el extremo inferior del fémur hasta el extremo superior de la tibia, la misma se inserta adelante: por debajo de la rótula, desde el borde inferior de su cara articular hasta el borde anterior de los tubérculos intercondíleos, y por encima de la rótula, desde el borde posterior y superior de la tróclea hasta la base de la rótula.

En dirección lateral la capsula se extiende: desde la extremidad superior de la tróclea y el borde posterior de los epicóndilos arriba, hasta 4 a 5 mm por debajo del revestimiento cartilaginoso de la carilla articular superior de la tibia.

En la región posterior de la rodilla la capsula articular se inserta arriba en el fémur, por encima del revestimiento cartilaginoso de los cóndilos femorales, profundizándose en la fosa intercondílea entre ambos cóndilos. Desde allí se extiende hasta la porción posterior y el borde medial de la cara articular superior hasta la inserción del ligamento cruzado anterior.

Los meniscos articulares se dividen en lateral y medial. Los dos meniscos se diferencian entre sí por su forma y sus inserciones tibiales.

El menisco lateral es un arco fibrocartilaginoso con forma de letra “O”, que se encuentra debajo del cóndilo femoral lateral. Su cara lateral esta adherida a la capsula articular. Presenta un cuerno anterior que se inserta en la porción lateral del área intercondílea anterior, y un cuerno posterior que se inserta en la porción posterior del área intercondílea posterior.

El menisco medial es un fibrocartílago que tiene forma de letra “C”, que se encuentra por debajo del cóndilo femoral medial y esta adherido al ligamento colateral tibial. Presenta un cuerno anterior que se inserta en el área intercondílea anterior, y un cuerno posterior que se inserta en el área intercondílea posterior.

Los ligamentos que refuerzan la capsula articular se dividen en anteriores, posteriores, colaterales y cruzados. **Figura 3.** Los ligamentos anteriores están formados por el ligamento rotuliano y el retináculo rotuliano lateral. El ligamento rotuliano es la continuación del tendón del músculo cuádriceps femoral, que se extiende desde el vértice de la rótula hasta la tuberosidad de la tibia.

Los ligamentos colaterales, son el ligamento colateral tibial y el colateral peroneo. El ligamento colateral tibial se extiende desde el cóndilo femoral medial hasta la tibia. El

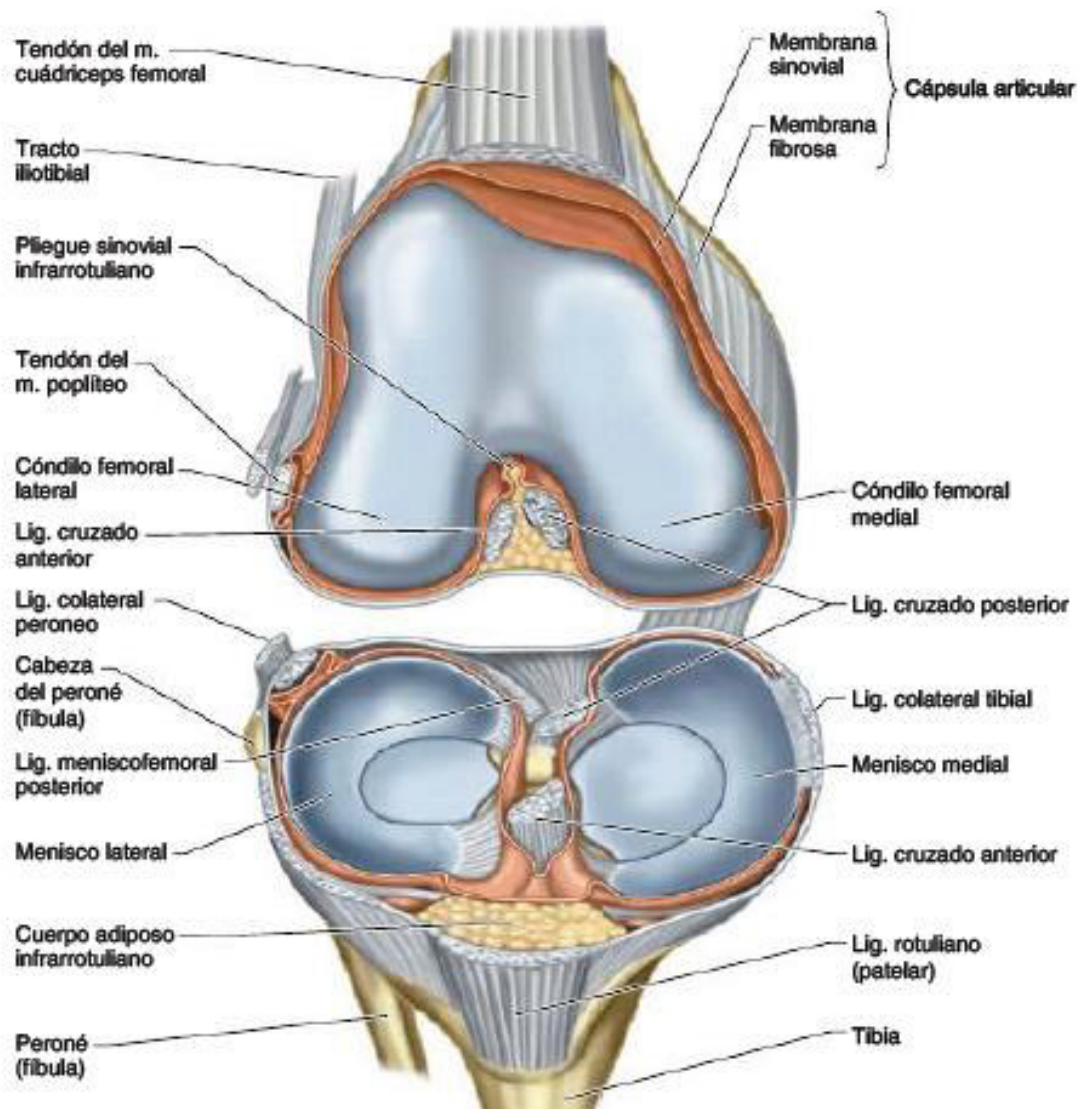
ligamento colateral peroneo se extiende desde el cóndilo femoral lateral hasta la cabeza del peroné.

Los ligamentos cruzados se encuentran ubicados en la profundidad de la articulación de la rodilla. Son dos ligamentos, siendo el ligamento cruzado anterior y posterior. El ligamento cruzado anterior se extiende desde la porción superior y posterior de la región intercondílea anterior, hasta la cara medial del cóndilo femoral lateral. El ligamento cruzado posterior se extiende desde la región intercondílea posterior, hasta la porción anterosuperior de la cara lateral del cóndilo femoral medial.

Las estructuras mencionadas anteriormente son aquellas que brindan estabilidad a la rodilla. Dentro de la estabilidad, son los ligamentos cruzados anterior y posterior controlan la estabilidad rotatoria, mientras que los laterales mantienen la estabilidad lateral. Si bien todos estos elementos actúan armónicamente, el ligamento lateral interno y el ligamento cruzado anterior operan en forma sinérgica y controlan el movimiento de valgo y la rotación externa de la rodilla. El ligamento lateral externo y ambos ligamentos cruzados controlan el varo y la rotación interna. (10) (8) (9)

- Factores activos: Constituido por un sistema interno integrado por los tendones de la pata de ganso (sartorio, semitendinoso y recto interno) y el semimembranoso hacia atrás. El sistema externo lo componen los tendones del bíceps crural y el poplíteo. Lo que conforma el plano anterior se encuentra el aparato extensor de la rodilla, que es el principal estabilizador activo.
- Mecanismos de defensa: Todos los factores mencionados anteriormente, actúan de forma coordinada por los reflejos propioceptivos originados en receptores nerviosos que se encuentran dentro del sistema capsuloligamentario. Son los denominados “mecanorreceptores”, que a través de ellos se mantiene el equilibrio y la postura.

Teniendo en cuenta lo mencionado, cabe destacar que la articulación de la rodilla resulta ser una articulación de gran movilidad, pese a que se la asocia comúnmente como una tróclea, caso contrario que la misma presenta tanto flexo-extensión como movimientos de rotación interna y externa. (9) (10)



**Figura 3.** Articulación de la rodilla derecha, abierta. Se seccionó la capsula articular transversalmente y se elevó el fémur, para ver el interior de la articulación. Se retiró la rótula.

Vista anterosuperior de la tibia. **Anatomía clínica Pro 2014**

### IV.3 Ligamento cruzado anterior

#### IV.3.1 Reseña anatómica del ligamento cruzado anterior

El Ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura intraarticular y extra sinovial; La cual se encuentra su inserción proximal en la porción posterior de la cara interna del cóndilo femoral externo y se dispone en dirección distal-anterior-interna, hacia su inserción distal en la región antero interna de la meseta tibial entre las espinas tibiales. El mismo está compuesto por fibras de colágeno rodeadas de tejido conjuntivo laxo y tejido sinovial. **Figura 4.**

Con respecto a su longitud media, tomada desde su tercio medio, oscila entre 31 y 38 mm y su anchura media es de 11 mm. Estructuralmente se divide en varios fascículos o bandas. (4) Las cuales habitualmente se acepta que son 2 bandas o fascículos. Los 2 fascículos son el antero medial y el fascículo posterolateral, los cuales reciben su nombre por sus uniones relativas en la tibia. Específicamente, el fascículo antero medial es el más anterior e interno en la tibia y el más proximal y anterior en el fémur; mientras que el fascículo posterolateral es el más posterior y externo en la tibia y el más posterior y distal en el fémur. **Figura 5.**

La biomecánica de ambos fascículos se diferencia de modo que el fascículo antero medial es aquel que se encuentra tenso en flexión, mientras que el posterolateral esta tenso en extensión. En cuanto a su inervación, el LCA se encuentra inervado por el nervio tibial que proporciona mecanorreceptores que contribuyen con la función propioceptiva. Y con respecto a su irrigación, es la arteria genicular medial es el principal suministro de sangre, mientras que también hay contribución a través de su vaina sinovial. (11)



**Figura 4.** Recorrido e inserciones LCA. (3)



**Figura 5.** Visión de los fascículos antero medial y posterolateral del LCA.

#### **IV.3.2 Biomecánica del LCA**

Con respecto a las propiedades biomecánicas del ligamento cruzado anterior, se le atribuye como el principal estabilizador estático contra la traslación anterior de la tibia sobre el fémur y representa hasta el 86% de la fuerza total que resiste la tracción anterior. Además, debemos destacar que, en las diferentes etapas de movimiento de la rodilla, son distintas las porciones del LCA que parecen actuar para estabilizar la articulación de la rodilla. Durante los 90° de flexión se tensa el fascículo antero medial y el fascículo posterolateral se tensa a medida que se acerca a la extensión completa. Además, el LCA participa en menor medida en la resistencia en la rotación interna y externa, siendo de esta forma la resistencia máxima a la tracción aproximadamente  $1.725 \pm 270$  N (newton), que es menor a la fuerza máxima que se produce en actividades atléticas vigorosa. Dentro de lo que es la estabilidad de la articulación de la rodilla, el LCA desempeña una importante función propioceptiva, debido a sus mecanorreceptores y terminaciones libre, las cuales le permiten detectar los movimientos pasivos de la rodilla y de este modo estabilizar la misma mediante los estabilizadores activos. (12)

#### **IV.3.3 Epidemiología**

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones musculoesqueléticas de las más comunes en la actualidad, la cual le sucede tanto a deportistas profesionales como amateurs. Dicha lesión presenta una dificultad en las actividades de la vida diaria, como también en sus actividades deportivas y laborales.

La lesión del LCA tiene una incidencia epidemiológica estimada de más de 250.000 roturas cada año en los Estados Unidos, es decir una de cada 3.000 personas sufre una rotura de LCA. Dentro de las cuales, de 125.000-175.000 son sometidos a reconstrucción de LCA. (4) (13)

Estas lesiones están aumentando su incidencia lentamente para ambos sexos, pero especialmente en las mujeres. Por lo cual debe ser a su creciente participación en las actividades deportivas.

Según diversos estudios las lesiones de la rodilla representan el 60% de las cirugías relacionadas con el deporte, de las cuales alrededor de las diversas lesiones que se presentan en la rodilla, las lesiones del LCA pueden representar un 50%. (4) (14) (13) Por lo tanto, debemos tener en cuenta que la alta incidencia que tiene esta lesión a la hora de pensar en una intervención quirúrgica o conservadora, es algo que sucede con mayor preponderancia sobre las otras posibles lesiones de rodilla y evidenciar el alto impacto epidemiológico que cuenta la misma.

#### **IV.3.4 Factores de riesgo de la lesión del LCA**

La lesión del LCA se han asociado a múltiples factores de riesgos. Dentro de los cuales se pueden clasificar de modo intrínsecos o extrínsecos, como también en modificables o no modificables. (15)

- Los factores extrínsecos modificables: Incluyen los que son el ambiente de juego, el equipamiento, el nivel de competencia y el tipo de deporte. Abarcan desde el calzado, por ejemplo, el cual particularmente los zapatos que generen una resistencia a la torsión con el suelo, se asocian con una tasa de lesión de LCA. Además, el tipo de superficie de juego tiene un papel importante en la lesión, en especial en aquellos campos que causan una mayor fricción entre el zapato y la superficie, como por ejemplo en suelos artificiales (Sintético). Adicionalmente se tiene en cuenta el nivel de competencia y el tipo de deporte, en el cual ocurre con mayor frecuencia las lesiones durante los juegos que en la práctica y los deportes como el fútbol, baloncesto, voleibol, balonmano, gimnasia y esquí alpino presentan un mayor riesgo de lesión para los atletas.
- Factores intrínsecos no modificables: Incluyen lo que es el género, antecedentes de lesiones del LCA, variaciones anatómicas y predisposición genética.

En cuanto al género, hay una diferencia entre los hombres y las mujeres, teniendo una mayor preponderancia de sufrir lesiones del LCA sin contacto las mujeres en

comparación con los hombres que practican deportes similares que implican cortes, desaceleraciones y/o saltos. También si el paciente cuenta con una lesión previa, va a tener un mayor riesgo de lesión en el lado ipsilateral y así como en la rodilla contralateral.

Las variaciones anatómicas, se basan en la muesca femoral, dentro de la cual se ha demostrado que aquellos pacientes que presenten una muesca femoral estrecha corren un riesgo significativamente mayor de sufrir una lesión del LCA sin contacto, independientemente del género o la forma de la muesca. Además, se asocia también con una disminución del área transversal del LCA y la muesca femoral estrecha con un mayor riesgo de lesión. Otro factor de riesgo anatómico incluye la laxitud ligamentosa, la cual también se ha asociado con un aumento del riesgo de lesión.

Además, en términos posturales, se encontró que el aumento de la pronación subastragalina, la caída excesiva del escafoides y el recurvatum de la rodilla se encuentran asociados con lesión del LCA.

- Factores intrínsecos modificables incluyen el índice de masa corporal, los déficits neuromusculares y las anomalías biomecánicas

El índice de masa corporal (IMC), el cual se ha descrito que cuanto más alto un IMC en combinación con un ancho de muesca estrecho puede predisponer a lesión de LCA sin contacto.

Los factores neuromusculares abarcan lo que es la fuerza y coordinación de las extremidades como de todo el cuerpo a la hora de ejecutar un movimiento. Es por ello, que un control neuromuscular deficiente de la cadera, rodilla y además de los déficits de estabilidad postural a la hora de realizar un deporte, que implique una gran cantidad de movimientos rápidos de desaceleración y aceleración van a generar un mayor riesgo de lesión. (15) (16)

#### **IV.3.5 Mecanismo de lesión del ligamento cruzado anterior**

La lesión del LCA presenta tres mecanismos principales de lesión: contacto directo, contacto indirecto y sin contacto.

- Contacto directo: se produce cuando una persona y objeto golpea directamente la rodilla.

- Contacto indirecto: Ocurre cuando una persona u objeto golpea una parte del cuerpo que no sea la rodilla en sí misma, lo que causa es que se transfieran fuerzas excesivas a través de la rodilla como si fuera un golpe directo en el muslo, resultando en una falla del LCA.
- Sin contacto: se producen cuando se aplica una fuerza de desaceleración o cambio de dirección (pivote) a la rodilla, a menudo se asocia a una falla neuromuscular inoportuna de las estructuras alrededor de la rodilla, lo que genera la traslación de la tibia sobre el fémur, lo que da como resultado la falla del LCA.

Dentro de los que son los mecanismos de lesión, se destaca el mecanismo sin contacto del LCA ocurre en el 70% y 80% de los casos, en las cuales ocurre con mayor frecuencia al aterrizar de un salto, al cortar o con una desaceleración repentina. (15) (16) (17)

#### **IV.3.6 Lesiones asociadas al ligamento cruzado anterior**

Es sabido que se encuentran dentro de las posibilidades de la lesión del ligamento cruzado adquirir otra lesión en conjunto, y no solamente tener una lesión aislada. Debemos tener en cuenta esto para más adelante, debido a que dicho tratamiento se podrá ver modificado en base a la lesión adicional que se encuentre.

Las lesiones asociadas que nos encontramos comúnmente son: lesiones meniscales, ligamentarias, lesiones del cartílago articular, fracturas osteocondrales y luxaciones rotulianas.

- Lesiones meniscales (asociadas con lesión del LCA): Las lesiones meniscales se saben que coexisten con las lesiones agudas y crónicas del LCA.
- Lesiones de los ligamentos (asociadas con lesión del LCA): La información disponible parece demostrar que, en las lesiones agudas, las roturas aisladas del LCA son más frecuentes. Por otro lado, en un estudio se demostró también que se asocian con lesiones del ligamento colateral medial y en menor de los casos con el ligamento cruzado posterior.
- Luxaciones rotulianas: Ocurre en menos de 1% de los pacientes con lesiones del LCA, se debe tener presente debido a que puede resultar en fracturas condrales y osteocondrales.
- Fracturas osteocondrales: Se asocian muy pocas veces con la lesión del LCA y pueden ser fuente de fragmentos libres en la articulación.
- Lesiones del cartílago articular: Se han reportado lesiones del cartílago articular en 6-22% de los casos. (18) (19)

### IV.3.7 Cuadro clínico

La persona que sufre una ruptura aguda del LCA refiere inestabilidad, dolor general en la rodilla localizado en su parte posterior con posible derrame de líquido sinovial, inflamación, espasmo muscular y disminución de los movimientos de la rodilla. Además, un paciente puede presentar inestabilidad crónica, lo que termina afectando las actividades de la vida diaria y/o la práctica deportiva. (20) (16) (18)

### IV.3.8 Diagnóstico clínico lesión

Para diagnosticar con precisión una ruptura de LCA, el profesional debe combinar la información del historial del paciente, el examen clínico y si corresponde, las imágenes.

- Historia: Se sospecha de ruptura de LCA si el paciente informa un mecanismo de lesión que implica desaceleración/ aceleración en combinación con una carga en valgo de rodilla. O también si escucha o siente un “chasquido” en el momento de la lesión y si presentara hemartrosis dentro de las 2hs de la lesión. (21)
- Examen clínico: Se pueden utilizar varias pruebas clínicas para determinar la ruptura del LCA. Las pruebas comúnmente utilizadas son: la prueba de Lachman, la prueba de cajón anterior y la prueba de cambio de pivote.
- Prueba de Lachman: Paciente en decúbito supino, la rodilla lesionada se flexiona a 30 grados. El examinador coloca una mano detrás de la tibia con el pulgar del examinador en la tuberosidad tibial y la otra mano en la parte inferior del muslo del paciente. La tibia se tira hacia delante. Se comparan los exámenes de ambas rodillas. El aumento de movimiento anterior de la tibia en relación con el fémur sin un punto final firme en comparación con el examen de la rodilla no lesionada sugiere un desgarro del LCA.

**Figura 6.**



**Figura 6.** Prueba de Lachmann. (18)

- Prueba del cajón anterior: Paciente en decúbito supino, la rodilla lesionada se flexiona a 90 grados. El examinador agarra la tibia justo debajo de la articulación de la rodilla, con los pulgares colocados a ambos lados del tendón rotuliano. La tibia se tira hacia delante. Una mayor traslación tibial anterior en comparación con la pierna opuesta o la falta de punto firme sugiere un LCA desgarrado. **Figura 7.**



**Figura 7.** Prueba del cajón anterior. (16)

- Prueba cambio de pivote: Paciente en decúbito supino y la rodilla extendida, la tibia se rota internamente. Luego se aplica tensión en valgo y la rodilla se flexiona lentamente. Se produce una sensación de “golpe seco” cuando la tibia parcialmente subluxada se reubica en relación con el fémur, lo que indica que el LCA este desgarrado. **Figura 8.** (16) (18) (21)



**Figura 8.** Prueba de cambio de pivote. (16)

Las pruebas mencionadas anteriormente se caracterizan por su sensibilidad y especificidad. De este modo, la prueba de Lachman es la prueba diagnóstica clínico más precisa con una sensibilidad reportada del 85% y una especificidad del 94%. Mientras que la prueba de cajón

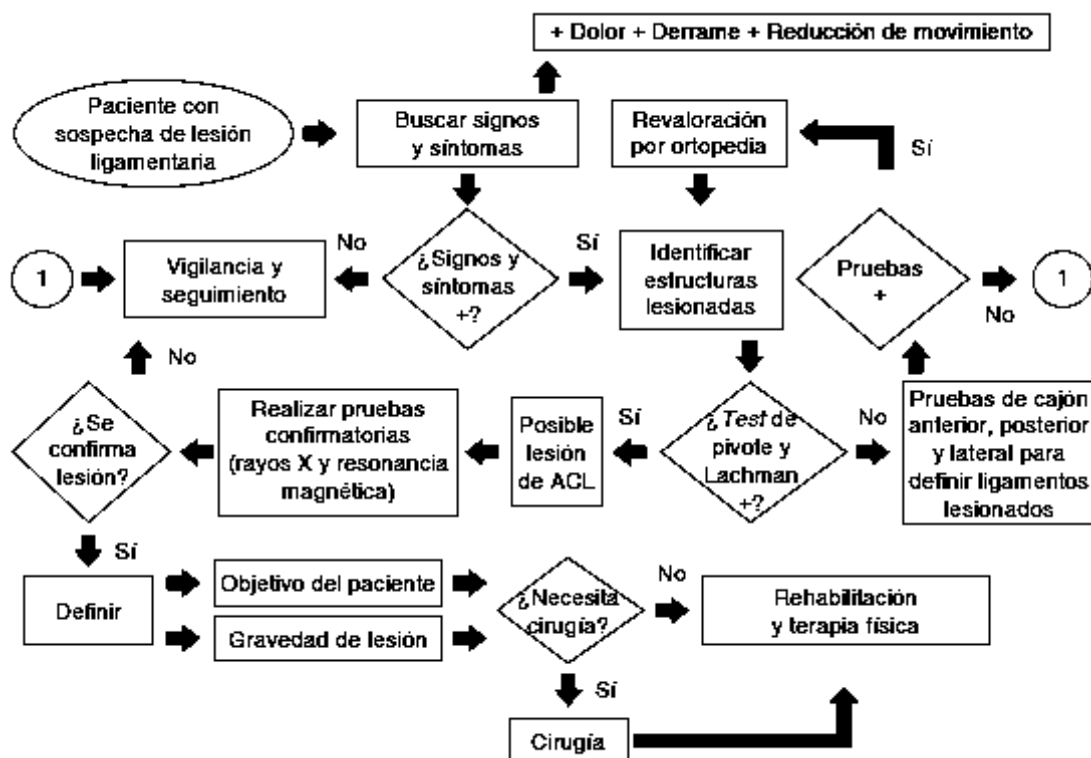
anterior tiene alta sensibilidad y especificidad para las rupturas crónicas del LCA (92% de sensibilidad y 91% de especificidad), pero menos precisión para los casos agudos. Por otro lado, la prueba de cambio de pivote presenta una especificidad del 98% y una sensibilidad de 24%, por lo tanto, una prueba negativa no es suficiente para descartar una lesión. (18) (21)

- Imágenes: Las radiografías simples pueden ser útiles en la evaluación inicial del paciente con desgarro del LCA y pueden demostrar un derrame articular o si hay fracturas. Además, las radiografías laterales pueden demostrar una traslación anterior de la tibia con respecto al fémur distal o una fractura.

Para los pacientes con sospecha de ruptura de LCA, la resonancia magnética tiene valor como un complemento cuando el diagnóstico es incierto y parte de la evaluación de lesiones de rodillas concomitantes que pueden ser más difícil de diagnosticar clínicamente (por ejemplo, lesiones de menisco y cartílago).

Las imágenes por resonancia magnética tienen una alta sensibilidad del 92% al 100% y una especificidad del 85% al 100% en el diagnóstico del desgarro del LCA. (18) (19)

A la hora de diagnosticar al paciente con lesión del LCA, resulta muy importante la obtención de la mayor cantidad de información posible a la hora de evaluarlo con los distintos medios anteriormente mencionados. Es por ello, que el resumen de la ruta diagnóstica podría ser el siguiente. **Figura 9.**



**Figura 9.** Ruta diagnóstica. (20)

## V. Tratamiento

### V.1 Tratamiento conservador

Los planes de tratamiento quirúrgico y no quirúrgico, difieren no solamente en términos de si los pacientes se someten a la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, sino también en términos de rehabilitación y recomendaciones para la futura participación en deportes. Es por ello, que el tratamiento más adecuado dependerá de la edad del paciente, el grado de inestabilidad, la asociación de otras lesiones (ligamentosas, meniscales, condrales), el nivel de actividad del paciente y sus expectativas funcionales, laborales y deportivas. Además, debemos tener en cuenta, que tanto el tratamiento conservador como el quirúrgico requiere de un kinesiólogo, que establezca un programa de rehabilitación, el cual tiene como objetivo mejorar el nivel funcional del paciente, reduciendo o eliminando la inestabilidad, recuperar la fuerza y recuperar la movilidad. Este programa se debe iniciar luego de la lesión independientemente si se va a realizar cirugía o no.

Varios autores han sugerido criterios para el tratamiento no quirúrgico de los desgarros de LCA: Fitzgerald desarrollo una guía para detectar a aquellos pacientes potenciales para el tratamiento conservador, que llamamos “Copers”, que se caracterizan por tener una buena estabilidad de la rodilla y la capacidad de compensar bien después de la lesión; mientras que los “No Copers” tienen poca estabilidad de la rodilla y menos posibilidades de compensación.

Dentro de los criterios desarrollados por Fitzgerald encontramos:

Los criterios primarios eran ausencia de daño concomitante de ligamento (por ejemplo, ligamento colateral medial) o meniscal y lesión unilateral del LCA.

Criterios secundarios:

- Puntación de 80% en la prueba de salto cronometrada en el miembro no lesionado.
- Puntación de 80% o más en la escala de la actividad de la vida diaria sobre resultados registrados en la rodilla.
- Índice global de función de la rodilla de 60% o más.
- No más de un episodio de fallo en el tiempo desde lesión hasta las pruebas.

Otros posibles criterios para el tratamiento no quirúrgico del LCA son:

- Exposición mínima a actividades de alto riesgo, como deportes y actividades laborales duras.
- Voluntad para evitar la actividad de alto riesgo.

- Edad mayor de 40 años.
- Éxito en la compensación prolongada o adaptación a la deficiencia del LCA.
- Artritis avanzada de la articulación afectada.
- Incapacidad o falta de disposición para acatar la rehabilitación postoperatoria. (22)

En cuanto al tratamiento, en un estudio de cohorte prospectivo se realizó un programa de terapia de ejercicio progresivo de 5 semanas posteriores a la lesión, en donde participaron cien pacientes. En dicho estudio, el programa se dividió en 3 fases, en donde la fase 2 es la descrita en el programa de 5 semanas.

- Fase 1: Cuyo objetivo es resolver todas las deficiencias de las rodillas relacionadas con la inflamación y los déficits de movilidad. Tan pronto como se elimina el derrame y se restaure el rom se pasa a la siguiente fase.
- Fase 2: Su objetivo principal es restaurar la fuerza muscular y generar una respuesta neuromuscular adecuada. Esta fase se caracterizó por un entrenamiento intensivo de fuerza muscular, ejercicios pliométricos y ejercicios neuromusculares avanzados.
- Fase 3: Destinada para aquellos pacientes que pasaron el estudio y no fueron derivados a cirugía.

El entrenamiento de fuerza se caracterizó por un mínimo de 2 y un máximo de 4 sesiones por semana, con un esfuerzo de 3 o 4 series de 6 a 8 repeticiones. En cuanto a la progresión de la carga, se utilizó el “principio +2”, que implica que el paciente realice tantas repeticiones como pueda en la última serie y si puede agregar 2 repeticiones adicionales, la carga aumentara en la sesión de tratamiento. Además, se incluyeron ejercicios monoarticulares y multiarticulares, ejercicios de cadena cinemática abierta y cerrada, así como ejercicios de fuerza concreta, excéntrica e isometría.

Se realizaron ejercicios específicos de una sola pierna para la pierna lesionada, usando máquinas de prensa de piernas, extensión de rodilla y curl de piernas. El programa de entrenamiento fue individualizado en base a las necesidades de cada paciente.

Se incluyeron ejercicios pliométricos en el programa para mejorar el rendimiento neuromuscular y desarrollo de la fuerza. Los ejercicios pliométricos a través de variaciones de saltos con una sola pierna y ejercicios que se enfocaron en mantener la posición de la rodilla sobre los dedos del pie con aterrizaje suaves, para evitar aterrizajes con carga dinámica perjudiciales.

Los ejercicios neuromusculares se enfocaron en ejercicios de equilibrio y propiocepción, como sentadillas con una sola pierna en almohadillas de equilibrio o el entrenador de equilibrio BOSU. Además, se incluyó en el programa una secuencia de 10 sesiones con entrenamiento de perturbación. El entrenamiento de perturbación incluyó ejercicios de equilibrio y de estabilidad en una tabla rodante, una tabla basculante y una plataforma hecha a medida. Se ha demostrado que el entrenamiento de perturbación mejora la actividad muscular coordinada y mejora la estabilidad dinámica de la rodilla poco después de la lesión.

Después de completar el programa de ejercicios, los pacientes pasaron por una evaluación posterior y se tomó la decisión final de cirugía reconstructiva o tratamiento no quirúrgico adicional. La mayoría de los pacientes prefirieron la cirugía debido a su deseo de volver a la práctica de deportes de pivote. Los pacientes que no fueron derivados a cirugía continuaron la rehabilitación en la fase 3, mientras que los pacientes que esperaban la cirugía continuaron la rehabilitación progresiva en la fase 2 con restricciones contra la participación en deportes de pivote. De los 100 pacientes incluidos, 64 pasaron por la reconstrucción del ligamento cruzado anterior dentro de los 6 meses después de la prueba posterior.

Los resultados del estudio indicaron que el programa condujo a mejoras significativas en la rodilla, tanto a pacientes “copers” como “no copers”. Y en cuanto a los cambios en la fuerza muscular y el rendimiento del salto con una sola pierna desde la prueba previa hasta la prueba posterior para la extremidad lesionada fueron moderadamente fuertes, indicando que las mejoras observadas son clínicamente relevantes. Los eventos adversos ocurrieron solamente en el 3,9% de los pacientes.

Por lo tanto, este programa de ejercicios a corto plazo es bien tolerado y deben incorporarse en la etapa temprana de la rehabilitación, ya sea para mejorar la función de la rodilla antes de la reconstrucción del LCA o como una primera parte en el tratamiento conservador o no quirúrgico posterior. (23)

## **V.2 Tratamiento quirúrgico**

La reconstrucción del LCA se recomienda de forma casi universal en pacientes con estilos de vida de alto riesgo, que requieren trabajos duros o que participen en ciertos deportes, como actividades recreativas de alto rendimiento. Otra indicación para la reconstrucción del LCA es la inestabilidad de la rodilla o falla a pesar de la rehabilitación realizada. Además, se tiene en cuenta este tipo de intervención en los casos que el paciente presente desgarros meniscales,

lesiones graves de otros ligamentos de la rodilla, laxitud ligamentosa generalizada e inestabilidad recurrente durante las actividades de la vida diaria.

Una vez elegida la reconstrucción, debe considerarse una serie de parámetros como: el momento de la cirugía, la elección del injerto, autoinjerto o aloinjerto y el protocolo de rehabilitación. (22)

- Momento de la cirugía: Luego del diagnóstico agudo de la lesión del LCA, se debe determinar en qué momento se realiza la cirugía. En un estudio realizado por Shelbourne y colegas, informaron acerca de la tasa de desarrollar artrofibrosis en un análisis de 169 reconstrucciones de LCA divididas en 3 grupos, según el tiempo que transcurrido desde la lesión hasta la cirugía. En el grupo que realizó la cirugía 7 días después de la lesión, se ha informado una tasa del 17% de artrofibrosis y un 11% en pacientes que fueron operados entre 8 y 21 días posteriores a la lesión. Mientras que el grupo que se realizó la cirugía pasada los 21 días de la lesión tenían una tasa de 0% de artrofibrosis. (24) De este modo, el momento más adecuado podría ser luego de los 21 días de la lesión, debido a que se reduce la tasa de desarrollo de la artrofibrosis.

Por otro lado, en aquellos pacientes que se rehabilitan de forma previa y consiguiendo amplitud de movimiento, escasa inflamación, dolor mínimo, derrame mínimo, buen control de la pierna y un buen estado mental antes de la cirugía, tienen mejores resultados independientemente el momento de la cirugía. (22)

- Elección de injerto: Los injertos típicos disponibles para la cirugía de reconstrucción de LCA, incluyen el autoinjerto del tendón rotuliano, el autoinjerto de tendón de cuádriceps, el autoinjerto del tendón de la corva y diferentes tipos de aloinjertos. (25) De los autoinjertos anteriormente mencionados, los dos más utilizados para la reconstrucción del LCA son el tendón rotuliano (H-TR-H) y el tendón de la corva. Mientras que otro utilizado actualmente es el tendón del cuádriceps. (22) (26)

Por otra parte, aunque la elección del injerto quede a predisposición del médico tratante, se han postulado las ventajas y desventajas de cada uno en forma comparativa.

**Tendón del cuádriceps:** Como ventajas tiene que es un gran injerto y tiene opción de bloque óseo unilateral. En cuanto a sus desventajas, produce una gran incisión invasiva y riesgo de fractura rotuliana.

Tendón rotuliano: Como ventajas tiene mayor resistencia, tasa de repetición de rasgaduras más baja, remodelación más temprana del injerto y curación, mejor estabilidad de la rodilla. Sus desventajas son la incidencia de dolor anterior de rodilla y dolor de rodillas, mayor incidencia de osteoartrosis posterior a reconstrucción LCA y rodilla con índice más alto de déficit de extensión debido a adherencias.

Tendón de la corva: Dentro de sus ventajas presenta una incisión más pequeña/mejor cosmética, deterioro funcional menor del sitio donante y regeneración más temprana de isquiotibiales. En cuanto a sus desventajas, presenta una mayor incidencia de ensanchamiento de túneles y retraso electromecánico en flexores de rodilla/ debilidad.

- Autoinjerto o aloinjerto: Las opciones de aloinjerto para la reconstrucción del LCA son el tendón rotuliano, de Aquiles y tibial. Las principales ventajas de los aloinjertos sobre los autoinjertos son la disminución de la morbilidad, la preservación de los mecanismos extensores o flexores, disminución del tiempo quirúrgico, disponibilidad de injertos más grandes, menor incidencia de artrofibrosis y mejor resultado estético. Las desventajas de los aloinjertos son el riesgo de infección, incorporación y remodelación lenta o incompleta del injerto, coste más elevado, disponibilidad, agrandamiento del túnel, y alteraciones de las propiedades estructurales del injerto por los procedimientos de esterilización y almacenamiento.

Debe tenerse en cuenta, que diversos estudios han informado una mayor tasa de fracaso de reconstrucción del LCA realizada por aloinjerto en comparación con el autoinjerto, especialmente en pacientes jóvenes y muy activos. (22) (25) (26)

### **V.2.1 Rehabilitación postoperatoria**

Los protocolos de rehabilitación se basan en la progresión a través del programa, el cual es una evaluación continua de los principios de anatomía, fisiología, biomecánica y cirugía, entendiendo que los objetivos generales de la reconstrucción y rehabilitación son:

- Recuperar la estabilidad normal de la rodilla: menos de 3mm de aumento de desplazamiento anteroposterior en la prueba del artrometro de rodilla, cambio de pivote negativo o leve.
- Controlar el dolor articular, la hinchazón y la hemartrosis.
- Recuperar un rango normal de movimiento de la rodilla.
- Restaurar un patrón de marcha normal y el control neuromuscular para la deambulacion.

- Recuperar la propiocepción, el equilibrio, la coordinación y el control neuromuscular normal para las actividades deseadas.
- Lograr un resultado funcional óptimo en función de los objetivos ortopédicos y del paciente.

Por lo tanto, cada paciente tendrá un programa apropiado que tiene en cuenta los objetivos deportivos y ocupacionales; como también el estado de las superficies articulares, meniscos y otros ligamentos de la rodilla, procedimiento quirúrgico concomitantes realizados con la reconstrucción del LCA; el tipo de injerto utilizado, curación postoperatoria y principios biológicos de curación y remodelación de injertos.

Los protocolos se dividen en siete fases, según el periodo de tiempo postoperatorio. Cada fase tiene cuatro categorías principales, que describen los factores evaluados por el terapeuta y los ejercicios realizados por el paciente:

- Observación general del estado del paciente.
- Evaluación y medición de variable específicas, con metas identificadas para cada variable.
- Tratamiento y programa de ejercicios según frecuencia y duración.
- Metas de rehabilitación que se deben alcanzar para entrar en la siguiente fase.

Dentro de los protocolos diseñados podemos encontrar de dos tipos:

- El primer protocolo, diseñado para pacientes que se someten a una reconstrucción autógena primaria del LCA hueso tendón rotuliano hueso (H-TR-H), y desean volver a practicar deportes o actividades laborales extenuantes lo antes posible después de la cirugía. Se advierte al paciente que el regreso temprano a las actividades extenuantes en el posoperatorio conlleva el riesgo de una lesión en la rodilla reconstruida del LCA o una nueva lesión en la rodilla contralateral. **(Ver anexo)**
- El segundo protocolo, diseñado para retrasar o disminuir la carga de la articulación de la rodilla y el injerto, se usa para pacientes que se someten a una reconstrucción de revisión del LCA (ya sea con tejido alogénico o autógeno), aloinjerto primario de LCA o reconstrucción con autoinjerto de semitendinoso y grácil, o complejo B-TB-B. Se incorporan retrasos en el regreso de la carga completa de peso, el inicio de ciertos ejercicios de fortalecimiento y acondicionamiento, el inicio de ejercicios de carrera y agilidad, y el regreso a las actividades completas. Este protocolo está diseñado para

proteger la curación de reparaciones concomitantes de menisco o ligamentos o tejidos de aloinjertos y evitar exacerbar el deterioro o los síntomas del cartílago articular. **(Ver anexo)**

### **V.2.2 Alteraciones morfológicas postoperatorias**

La mayoría de las lesiones del LCA requieren la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR), para restaurar la estabilidad de la articulación de la rodilla y de este modo que el paciente pueda volver a su actividad deportiva previa. Sin embargo, los pacientes con ACLR han demostrado atrofia persistente y debilidad muscular, después de completar el programa de rehabilitación postoperatoria. Este tipo de inconveniente da a lugar a déficits funcionales a la hora que el paciente retorne al deporte. (27)

La fuerza del musculo cuádriceps es un factor modificable que se apunta a menudo durante la recuperación de ACLR, debido a que la fuerza del mismo se asocia positivamente con una mayor función de la rodilla auto informada y el rendimiento físico, y menor riesgo de volver a lesionarse. (28) Además, son importantes para el control de las extremidades inferiores durante la actividad dinámica y la debilidad del mismo podría alterar las estrategias de movimiento y potenciar una nueva lesión. (5)

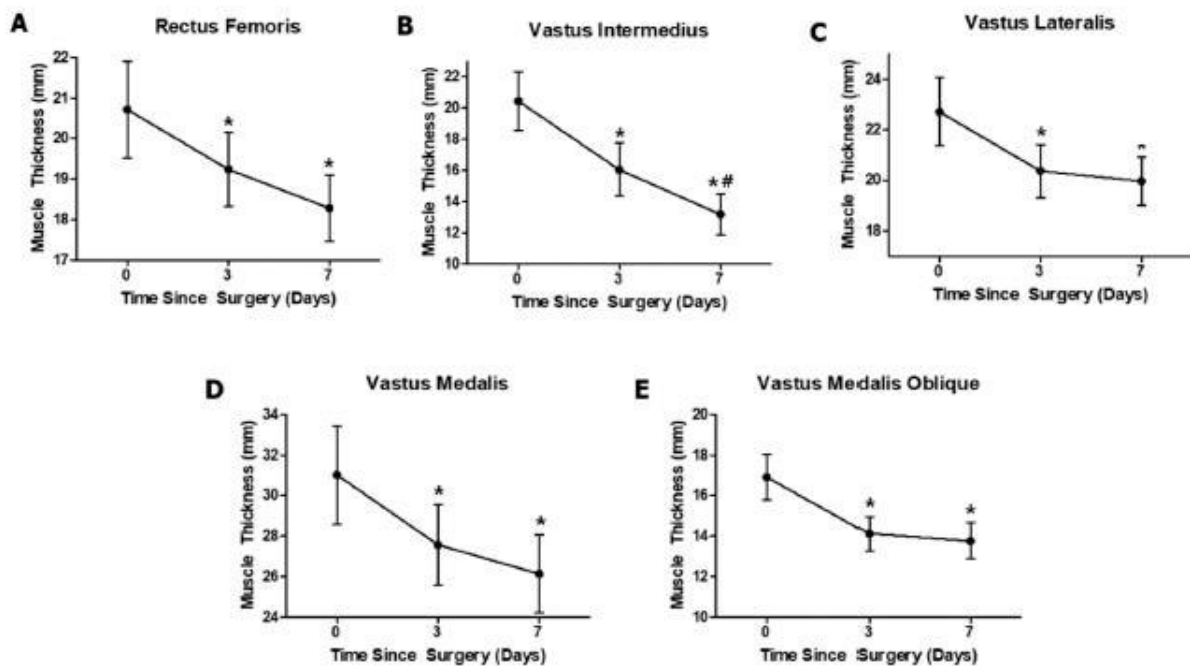
Aunque el fortalecimiento del cuádriceps es un elemento central a menudo en los programas de rehabilitación actuales, los déficits de fuerza a menudo superan el 20% al final de la rehabilitación en comparación con los niveles preoperatorios y pueden persistir durante más de 15 años después de la cirugía. (28)

En un estudio realizado por Yang Jae y Eun Seung en el año 2019, se estudió el efecto de ACLR en el grosor muscular de los diferentes músculos constituyentes del cuádriceps y los biomarcadores circulantes relacionados con la atrofia e hipertrofia muscular. El grosor del músculo cuádriceps, se midió mediante ultrasonido y los biomarcadores circulantes en sangre se midieron mediante ensayos de inmunoabsorción ligada a enzimas (ELISA) en la visita preoperatoria (PRE) y en dos visitas postoperatorias (PO1: a los 3 días después de la cirugía), (PO2: a los 7 días después de la cirugía). Veinte pacientes que tenían programada cirugía reconstructiva unilateral participaron del estudio.

Los resultados de dicho estudio demostraron que los músculos recto femoral, vasto interno, vasto medial, vasto medial oblicuo presentaron una reducción significativa en el grosor y las pruebas luego de la cirugía revelaron que el grosor PRE era mayor que los de PO1 y PO2.

**Figura 10.** En cuanto a los biomarcadores, el nivel de miostatina (Inhibe el crecimiento, el

desarrollo muscular al prevenir la hipertrofia muscular e induce la atrofia muscular) mostro un tamaño de efecto medio entre PRE y PO2; el nivel de IGF-1 (Biomarcador relacionado con la hipertrofia) disminuyo significativamente entre PO1 y PO2 en comparación con el de PRE, hubo grandes tamaños del efecto entre PRE y PO1 y entre PRE y PO2; TGF-Beta 1 (Induce atrofia muscular y debilidad), TNF-alfa (Regulador central de la inflamación), adiponectina y decorina no mostraron diferencias significativas entre los 3 puntos de tiempo. Por lo tanto, las alteraciones que se producen luego de la cirugía abarcan cambios a nivel celular, como también a nivel neuroendocrinos. (27)



**Figura 10.** Cambios en el grosor muscular durante todo el período de estudio. (A) Recto femoral (FR), (B) vasto intermedio (VI), (C) vasto lateral (VL), (D) vasto interno (VM) y (E) vasto interno oblicua (VMO). (27)

Pamukoff y Pietrosimone, compararon la función del cuádriceps entre individuos con ACLR y participantes de control no lesionado, siendo 20 pacientes con ACLR y 20 pacientes de control. En el cual se evaluó el Torque Máximo (PT), Velocidad de desarrollo de torque (RTD), Amplitud electromiografía (EMG), relación de activación central (CAR) y la amplitud EMG de los isquiotibiales durante la extensión isométrica voluntaria máxima de la rodilla y se comparó entre grupos utilizando muestras independientes.

Los resultados arrojaron que los participantes con ACLR mostraron un PT, RTD, EMG y CAR menor y mayor coactivación de isquiotibiales en comparación con los participantes de control.

Además, se encontró correlaciones entre la coactivación de los isquiotibiales y el PT, RTD, y amplitud EMG. Siendo de este modo, que los pacientes con ACLR tenían mayor coactivación de isquiotibiales, lo que se asociaban con menor PT de cuádriceps, RTD, CAR y amplitud EMG. (29)

Thomas y Wojtys, examinaron los roles de la atrofia y la falla de activación en la debilidad del cuádriceps 6 meses luego de la reconstrucción del LCA. Y obtuvieron como resultado, que la fuerza y el área transversal del cuádriceps fueron menores en los miembros lesionados versus los miembros no lesionado; mientras que no hubo diferencias de lado a lado en la relación de la activación central, sin embargo, la falla en la activación del cuádriceps estuvo presente bilateralmente. (5)

Los estudios anteriormente mencionados, nos revelan que luego de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior existen alteraciones morfológicas en la extremidad lesionada, que abarcan desde disminución de volumen muscular, fuerza y activación muscular. Es por ello, que debemos enfocarnos en los inconvenientes mencionados con anterioridad, para que luego a la hora del retorno deportivo, se reduzcan los riesgos de inestabilidad o inclusive de la recidiva de la lesión.

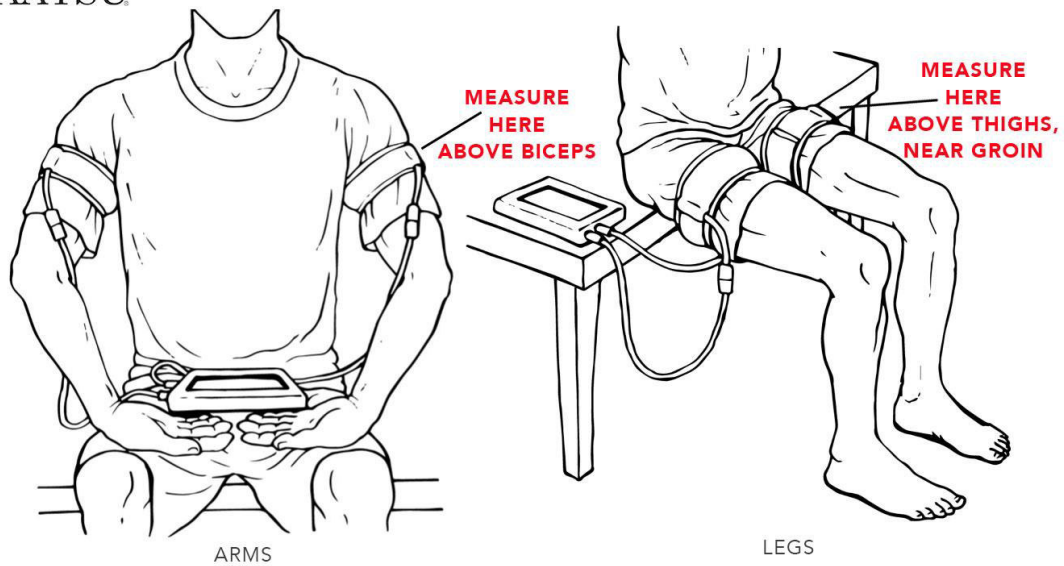
## VI. Restricción flujo sanguíneo (BFR)

### VI.1 ¿Qué es?

El entrenamiento de BFR, también llamado “KAATSU”, “ejercicio de moderación del flujo sanguíneo”, “entrenamiento de oclusión vascular” o “entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo”.

El entrenamiento KAATSU consiste en la restricción del flujo sanguíneo tanto aferente como eferente durante un ejercicio de baja intensidad. Esto reduce el aporte arterial parcialmente y de forma total el retorno venoso, por lo que cambia drásticamente la exigencia metabólica del ejercicio. La oclusión se genera en la parte proximal de la extremidad que se desea entrenar.

**Figura 11.** Para ocluir el miembro pueden utilizarse bandas elásticas, cintas velcro, torniquetes neumáticos electrónicos o manuales **Figura 12.** (30)



**Figura 11.** Torniquete neumático KAATSU, método de aplicación. (31)



**Figura 12.** Torniquete neumático KAATSU C3 (31)

## VI.2 Historia BFR

El entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo, nació en Japón en el año 1966 cuando Yoshiaki Sato asistía a un memorial budista, en donde se encontraba sentado (espalda recta mientras estaba arrodillado en el piso) y notó hinchazón e incomodidad en el área de la pantorrilla, dándose cuenta que era similar a la hinchazón e incomodidad que experimentaba después de realizar ejercicios extenuantes para levantar las pantorrillas. Siendo este suceso el que lo impulsó a investigar acerca de lo que sucedía al restringir el flujo sanguíneo.

Durante años de experimentación con cámaras de bicicletas, cuerdas, bandas y diferentes presiones de oclusión. Para luego desarrollar gradualmente protocolos efectivos para el entrenamiento KAATSU.

Luego en el año 1973, a la edad de 25 años, Sato sufrió un accidente el cual le produjo una fractura bilateral de tobillo y una lesión en el ligamento colateral medial de la rodilla derecha en un accidente de esquí. En este suceso un médico le aconsejó a Sato realizarse una cirugía y hospitalizarse de forma inmediata, a lo cual él se negó y le solicitó a otro médico que le colocara las piernas enyesadas. Colocado el yeso, Sato utilizó la terapia KAATSU durante 2 semanas, momento en que el médico tratante se sorprendió al ver una hipertrofia significativa en las piernas lesionadas.

En 1983, los métodos de entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo se generalizaron para el uso público y a partir de los hallazgos de Sato, se comenzó a investigar en todo el mundo con predominio entre investigadores japoneses.

Para junio de 1997, Sato recibió una patente de la oficina de patentes de Japón. Y a partir de ello el entrenamiento BFR se ha vuelto cada vez más popular en la última década, siendo este el primer sistema de restricción del flujo sanguíneo popular en el mercado. (32)

### **VI.3 Beneficios del BFR**

El método BFR es una herramienta innovadora a la hora de utilizarla en el ámbito de la rehabilitación. Es por ello, que nos lleva a pensar cuáles son los beneficios que nos brinda su uso. Dentro de los beneficios que nos brinda este método encontramos sobre el sistema músculo esquelético, un aumento de la masa muscular local, la fuerza y la capacidad aeróbica, mientras que se ejercita con menor resistencia. (33) (34)

### **VI.4 Mecanismos fisiológicos**

El Colegio Americano de Medicina Deportiva recomienda para generar un efecto hipertrófico en el músculo se debe trabajar a una intensidad superior al 65% de 1RM (Repetición Máxima). Por lo cual, durante un ejercicio de fuerza utilizando un 20% de 1RM no se llegaría al umbral necesario para desencadenar la cascada fisiológica que produce la hipertrofia.

Ahora pensando en la restricción del flujo sanguíneo, se ha postulado que el mismo genera una hipertrofia con cargas del 20% de 1RM, lo cual nos hace pensar: ¿Qué es lo que produce la hipertrofia?

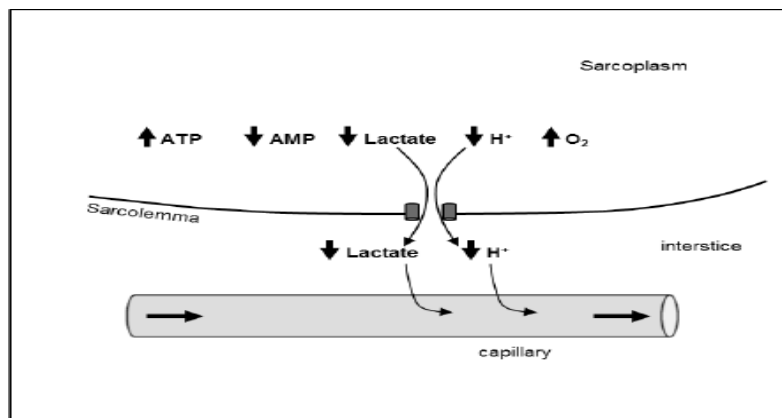
A lo largo de la historia, desde los inicios del método de restricción del flujo sanguíneo se ha investigado acerca de la posible ruta fisiológica, la cual produce los cambios tanto a nivel sistémico como a nivel músculo esquelético.

Hasta el día de la fecha, la investigación actual ha publicado acerca de cuáles son los causantes de la hipertrofia muscular y se ha propuesto que los principales mecanismos incluyen el estrés

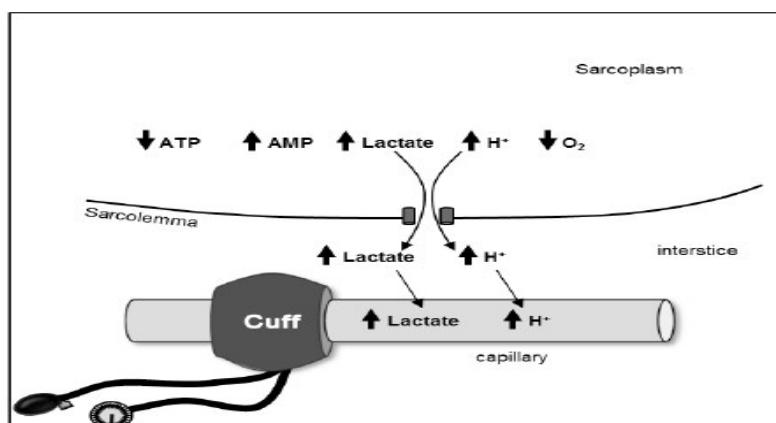
metabólico, que estimula un aumento posterior de los factores de crecimientos anabólicos, el reclutamiento de fibras de contracción rápida (FT) y el aumento de la síntesis de proteínas a través del musculo. También, se demostró que las proteínas de choque térmico, el óxido nítrico sintasa-1 (NOS-1) y la miostatina se ven afectadas por un estímulo de oclusión. (35)

- Estrés metabólico: Debido a la oclusión por el BFR se genera una disminución del oxígeno en los músculos de la región ocluida. Además, se genera una concentración de metabolitos como el lactato, concentraciones de hidrogeniones y en conjunto con la disminución del oxígeno se genera una disminución del pH. **Figura 13.** La acidificación asociada dentro de los músculos estimula los quimiorreceptores, que luego pueden enviar señales aferentes al sistema hipotálamo-pituitario a través de las fibras nerviosas del grupo III y IV. A consecuencia de ello, se incita a la hipófisis para la secreción de hormona de crecimiento (GH). Este aumento en la secreción de GH podría ejercer un efecto anabólico indirecto al estimular la síntesis del factor de crecimiento similar a la insulina hepática (IGF-1), que se encarga de los procesos de transcripción proteica y con los procesos que tienen que ver con reparación y regeneración celular. **Figura 14.** (36) (37) (38)

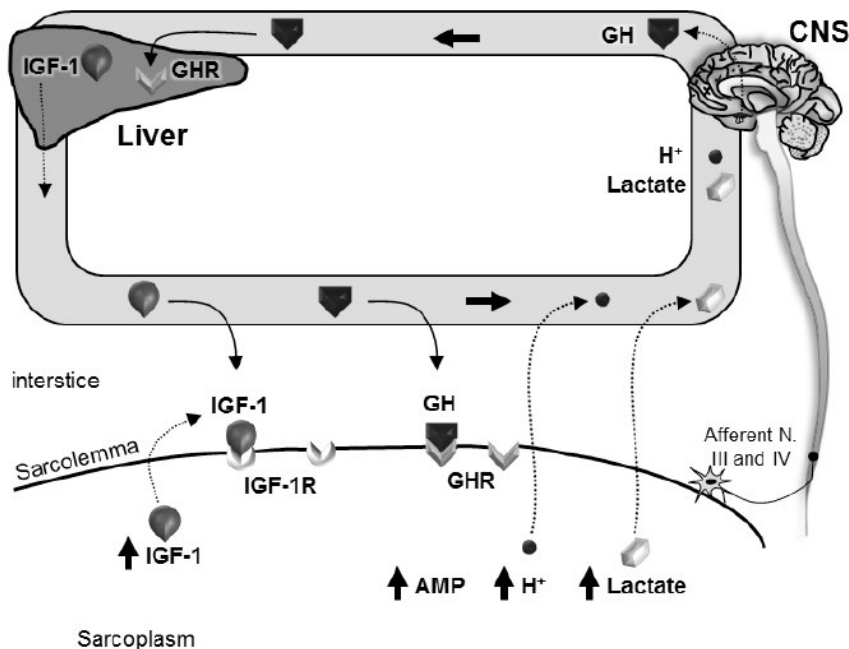
**A**



**B**



**Figura 13.** Efectos metabólicos durante (A) y después (B) del ejercicio de oclusión vascular. En A, no hay depuración de lactato y H<sup>+</sup> por ausencia de circulación venosa; en B, la restauración del flujo sanguíneo permite la eliminación de metabolitos. (36)



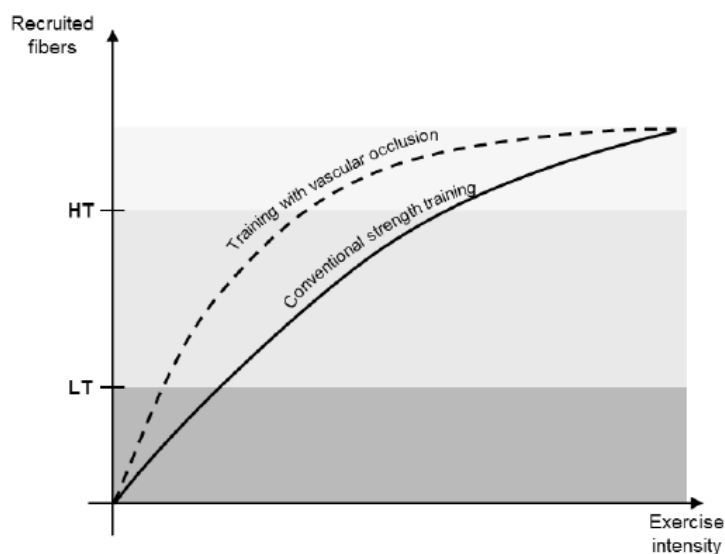
**Figura 14.** Ilustración de los posibles mecanismos que actúan en la liberación de GH e IGF-1. Lactato y H<sup>+</sup> en la sangre o en la célula puede estimular la liberación de GH del eje hipotálamo-hipófisis, favoreciendo así la expresión y liberación de IGF-1 del hígado, que a su vez actúa sobre las células. SNC: Sistema Nervioso Central, GH: Hormona de crecimiento, GHR: Receptor de la hormona de crecimiento, IGF-1: Factor de crecimiento similar a la insulina, IGF-1R: Receptor de factor de crecimiento similar a insulina. (36)

- Fibras de contracción rápida: En condiciones normales, se reclutan primero las fibras de contracción lenta (ST) y, a medida que aumenta la intensidad, se reclutan las fibras de contracciones rápidas. Comúnmente se utilizan cargas del 70% de 1RM para llegar a las intensidades necesarias, pero con el método BFR se logra reclutar a este tipo de fibras, las cuales están fuertemente relacionadas con la hipertrofia muscular, con una carga del 20%. **Figura 15.**

Por lo tanto, este reclutamiento de fibras musculares rápida influye en la síntesis de proteínas musculares, principalmente en la proteína S6K1, que es 3 a 4 veces mayor en las fibras rápidas en comparación con las fibras lentas. La fosforilación de esta proteína predice la hipertrofia musculoesquelética. **Figura 16.**

Se ha postulado que a consecuencia del uso del BFR, las fibras musculares rápidas son reclutadas con una menor carga y con un menor volumen de trabajo, a diferencia de un programa convencional de ejercicio de baja intensidad, que requerirá una mayor cantidad de repeticiones para estimular un aumento de síntesis de proteínas musculares. A consecuencia de ello, las personas que cuentan con una lesión en las extremidades pueden ser incapaz de llegar al estrés mecánico necesario para estimular este tipo de fibras.

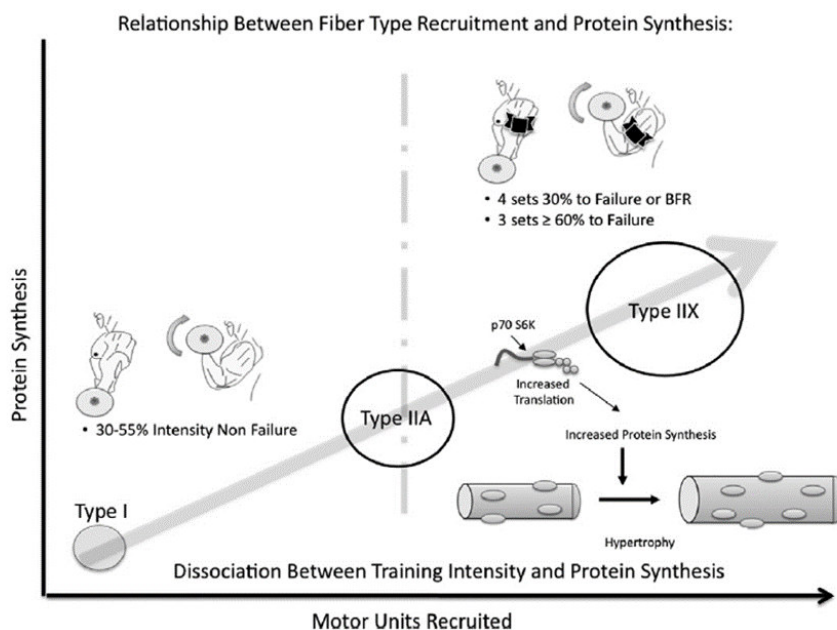
La restricción del flujo sanguíneo por lo tanto induce la falla muscular antes, es decir, con un volumen de trabajo menor. Por lo cual, resulta útil en el ámbito de la rehabilitación. (35) (36) (38) (39)



**Figura 15.** Reclutamiento de fibras musculares en entrenamiento con oclusión vascular entrenamiento de fuerza convencional. HT: Umbral alto, LT: Umbral bajo (36)

- Aumento de síntesis de proteínas: Existen gran cantidad de evidencias que demuestran, que el ejercicio activa señalizaciones intracelulares que incrementan la subsiguiente síntesis de proteínas y crecimiento celular, especialmente el entrenamiento contra resistencia debido a la tensión mecánica que la desencadena. **Figura 16.**

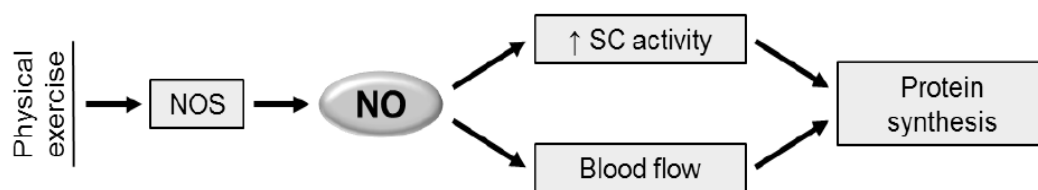
Por lo tanto, la tensión mecánica que termina produciendo la oclusión del BFR, más los efectos de la movilización de cargas a la hora del entrenamiento, potenciaría la cascada de síntesis de proteínas intracelulares.



**Figura 16.** La relación entre el volumen de ejercicio, las unidades motoras reclutadas y la síntesis de proteínas. A medida que la intensidad aumenta del 30 al 55% de la repetición máxima, se reclutan las unidades motoras de umbral más alto. Una vez que se ha alcanzado una cierta cantidad de volumen, como lo indica el marcador de umbral en el centro de la figura, se producirá la síntesis máxima de proteínas a partir del ejercicio. Esto ocurre independientemente de la intensidad del ejercicio siempre que el estrés metabólico y/o el volumen sean adecuados para reclutar las unidades motoras de umbral más alto. (40)

- Proteínas de choque térmico: Este tipo de proteínas son inducidas por factores estresantes como el calor, la isquemia, la hipoxia y los radicales libres. Es por ello, que a consecuencia de la oclusión se genera un ambiente hipóxico en el segmento a tratar, lo que estimula la producción de dichas proteínas. Las mismas desempeñan un papel protector en la prevención de la degradación de proteínas durante los periodos de actividad contráctil reducida, al inhibir las vías de señalización claves de la atrofia muscular. (35)
- Miostatina: La miostatina es un regulador negativo del crecimiento muscular. Se ha demostrado que la expresión del gen de la miostatina muscular disminuye como resultado de la sobrecarga mecánica producida con el BFR, por lo cual es un factor adicional el que facilitaría la hipertrofia muscular. (41)

- **Óxido nítrico:** El óxido nítrico sintasa (NOS) es una enzima que tiene tres isoformas, las cuales son responsables de la producción del óxido nítrico. El óxido nítrico entre otros factores media en la actividad de la célula satélite y el flujo sanguíneo. Las células satélites activadas proliferan y se diferencian, y pueden tomar dos caminos diferentes: fusionarse con las fibras musculares dañadas para ayudar en la recuperación (hipertrofia), o fusionarse entre sí formando una nueva miofibrilla (hiperplasia). El BFR podría aumentar la producción de óxido nítrico, lo que tiene cierta influencia en el proceso de síntesis de proteínas al afectar la actividad de las células satélite y el flujo sanguíneo. **Figura 17.** (36) (41)



**Figura 17:** Ilustración que demuestra la influencia del ejercicio sobre óxido nítrico sintasa y óxido nítrico y los efectos fisiológicos. NOS: Óxido nítrico sintasa, SC: Células satélite. (36)

## VI.5 Modo de uso

La aplicación segura y eficaz del BFR requiere que el profesional evalúe diversos elementos del proceso de tratamiento y el dispositivo incluido. Los elementos a tener en cuenta son: el ancho del dispositivo, colocación del dispositivo, el nivel de presión del dispositivo y la selección del dispositivo.

- **Ancho del dispositivo:** Los dispositivos de entrenamiento de BFR han ido evolucionando a lo largo de la historia hasta el día de hoy. Sin embargo, se ha evaluado acerca del ancho del dispositivo para la sesión de BFR. En dos estudios han examinado el impacto del ancho del dispositivo frente al estrecho específicamente con el entrenamiento BFR. Cuando se utiliza la misma presión de oclusión arterial el porcentaje de flujo sanguíneo ocluido no cambio basado en el ancho del dispositivo (5, 10 y 12 cm) (42) y da como resultado aumentos similares en la fuerza y tamaño del musculo (43). Estos estudios sugieren que un manguito más ancho puede lograr la oclusión arterial para BFR a una presión más baja en comparación con un manguito más estrecho.

Actualmente se recomienda un ancho de manguito para miembros inferiores entre 6 Cm y 13,5 cm, mientras que para miembros superiores entre 3 cm y 6 cm. (44)

- **Colocación del manguito:** La recomendación estándar para la colocación del manguito es la ubicación más proximal del segmento o miembro a tratar, independientemente del grupo muscular objetivo. Esta ubicación proximal permite que ocurra la oclusión en la mayoría del vientre muscular que se trabaja (por ejemplo: cuádriceps). (7)
- **Presión del manguito:** Al momento del profesional utilizar el BFR debe evaluar qué nivel de presión debe utilizar para poder generar la oclusión parcial y no de forma total. Actualmente para determinar la presión utilizada para este método se encuentran tres métodos diferentes: Doppler; formulas validadas y forma arbitraria.

Doppler: Consiste en insuflar el dispositivo mientras se coloca el Doppler portátil a nivel de la arteria radial (miembros superiores) y en arterial tibial posterior (miembros inferiores) hasta que deje de haber flujo arterial. De este modo, se obtendría el nivel de oclusión de la extremidad o conocido como LOP (Limb Occlusion Pressure) y a partir de obtenida la LOP se determina un nivel de presión en el cual se trabaja.

Se usa entre 40% y 80% de la LOP y se recomienda usar primero presiones bajas de un 40% para que el paciente se adapte y conforme se va acostumbrando podremos ir hacia el 80%. (45)

Formulas validadas: Consiste en fórmulas que permiten determinar la LOP, de forma indirecta para establecer el porcentaje de presión con el que trabajaremos (40-80%).

Las fórmulas para determinar la LOP de forma indirecta fueron elaboradas por Loenneke en el año 2014 y por María Do Socorro en el año 2017.

La fórmula desarrollada por Loenneke son útiles para medir la LOP tanto en miembros superiores como miembros inferiores. Las mismas se caracterizan por no distinguir entre hombres y mujeres; y además por tener en cuenta la presión arterial sistólica, diastólica y la circunferencia de la extremidad. (46)(**Ver anexo formula**).

Por otro lado, María Do Socorro desarrollo una formula predictiva para medir la LOP únicamente en los miembros inferiores, la cual tuvo en cuenta la edad, sexo, circunferencia del muslo, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y índice de masa corporal. (47)(**Ver anexo formula**)

Forma arbitraria: Consisten en métodos subjetivos por parte del profesional o del propio paciente.

Uno de los métodos es el utilizado por Wilson en su investigación, en la cual utilizo bandas elásticas para la técnica BFR. De esta forma, en dicho estudio se dosifica la presión acorde a la presión percibida por el paciente. Se uso una escala de 0 a 10 en la que una presión de 0 sobre 10 significaba que no había presión, una presión de 7 sobre 10 como una presión moderada sin dolor y una presión 10 sobre 10 se describe como una presión intensa con dolor. (48)

Otra forma arbitraria es utilizar presiones que oscilan entre los 150-200mmHg como medida aproximada para generar la restricción del flujo venoso y no del arterial. (39) (49)

- **Selección del dispositivo:** El profesional cuenta con una amplia variedad de manguitos o dispositivos disponibles, como bandas elásticas, cintas velcro, torniquetes neumáticos electrónicos o manuales. Por lo cual, dentro del abanico de posibilidades creemos que aquellos dispositivos, que nos permitan cuantificar la presión de oclusión son aquellos que nos permitan tener un parámetro más específico. (43) (46) (47) (48)

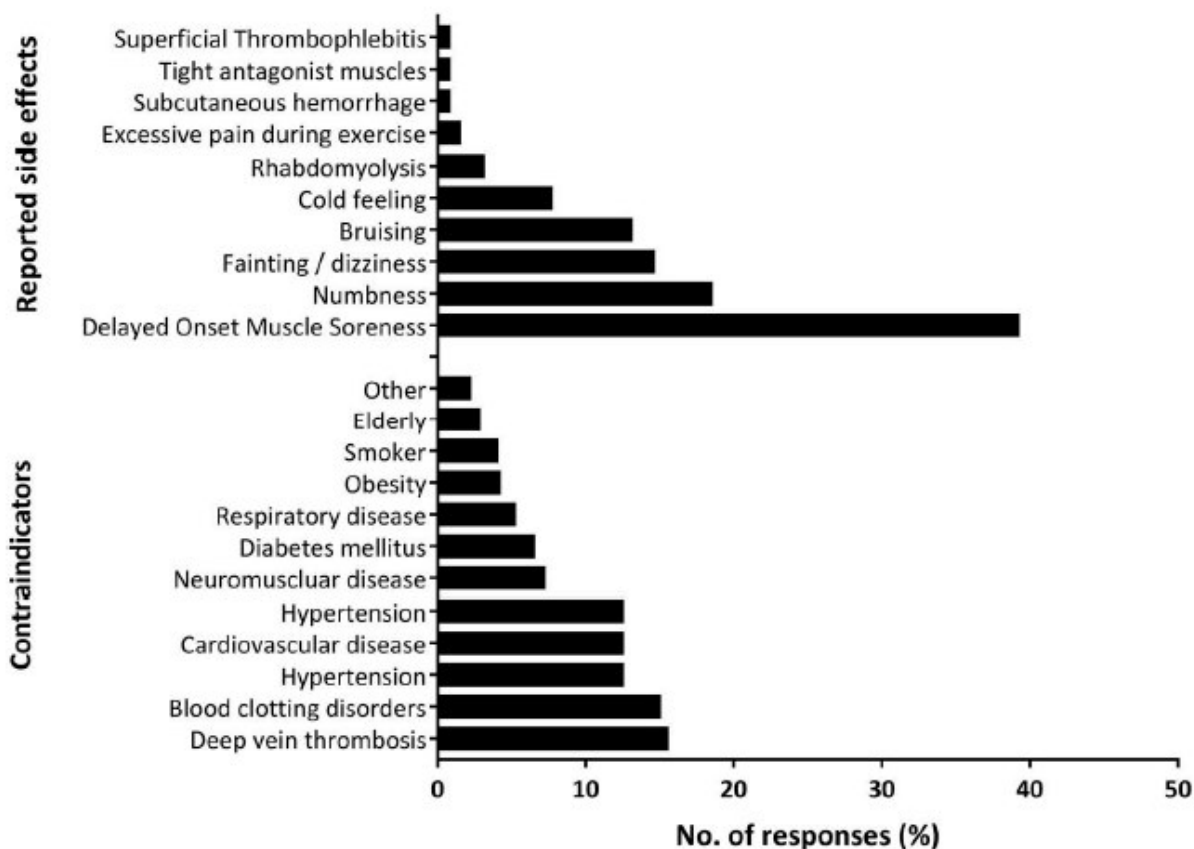
## VI.6 Efectos secundarios

Con respecto al método BFR, se han presentado informes de efectos secundarios como resultado de realizar el ejercicio con dicho método. Incluso su creador, reconoció que le resulto difícil aplicar la presión adecuada para sí mismo y para otras personas durante los primeros experimentos, dando en unos de sus experimentos una embolia pulmonar, la cual no hay evidencia que sugiera que fue causado por BFR. (32)

Los efectos secundarios informados actualmente abarcan: Desmayos/mareos, entumecimiento, dolor/discomfort, dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y rabdomiólisis. **Figura 18.** (50) (51)

- Desmayos/ mareos: Uno de los efectos secundarios más informados en un estudio realizado por Patterson, fue el de desmayos y mareos. El artículo consistió en un estudio observacional transversal utilizando un cuestionario en línea autoadministrado. Dicho estudio evaluó el uso del BFR por parte de los profesionales durante el ejercicio/entrenamiento. Se obtuvieron en dicho estudio datos de 250 participantes de los cuales solamente 115 había prescrito BFR. Por lo tanto, arrojo como resultado diversos efectos secundarios, entre ellos, casi un 20% de los encuestados declararon desmayos/mareos. (50)

- Entumecimiento: El entumecimiento es uno de los efectos reportados, que alcanza alrededor de un 28% en un estudio realizado por Patterson (50). Por otro lado, en otros estudios se ha informado la presencia de entumecimiento posterior a la sesión de BFR. (52)
- Dolor/ disconfort: En la mayoría de las veces, el BFR suele presentar mayores índices de esfuerzo percibido (RPE), dolor e incomodidad a pesar del uso de ejercicios de carga ligera (20% a 40% de 1RM) (53). Sin embargo, algunos estudios han demostrado que el esfuerzo y el dolor percibido son menores con el ejercicio BFR en comparación con un ejercicio de alta intensidad. (54) (55) Además, en otro estudio se evaluó el esfuerzo percibido en pacientes que realizaron ejercicios de forma tradicional y con BFR, lo que dio como resultado un esfuerzo percibido de forma similar para ambos casos. (56)
- DOMS: El daño muscular de aparición tardía (DOMS) se encuentra presente en el uso del BFR de forma mayor que al realizar ejercicio de forma tradicional. Puede aparecer de este modo luego de 24,48,72 horas de realizar el ejercicio dependiendo del protocolo y la metodología que se use. (55) (57) (58)
- Rabdomiólisis: La rabdomiólisis se define como la liberación excesiva de creatina quinasa y mioglobina muscular en el torrente sanguíneo después de un daño muscular excesivo inducido por el ejercicio, pero no siempre. (59)  
En lo que implica el uso de BFR, se han encontrado informes de casos aislados de rabdomiólisis asociados con el método. (60) (61) Sin embargo, en un análisis de la tasa de incidencia de la literatura publicada sugiere que el riesgo sigue siendo muy bajo (0,07%- 0,2%) (62). Además, los datos de encuestas de Japón, donde el entrenamiento BFR ha sido practicado por un mayor número de personas, sugiere una incidencia igualmente baja del 0,008%. (52)



**Figura 18.** Efectos secundarios informados (arriba) y posibles contraindicaciones (abajo) para el entrenamiento BFR. (50)

### VI.7 Contraindicaciones

Como hemos mencionado, el método de restricción del flujo sanguíneo puede ser de utilidad tanto para patologías musculoesqueléticas en las cuales se ve comprometido la fuerza muscular, como el volumen muscular. Además, dicha metodología puede ser utilizada dentro del ámbito tanto deportivo, como en la rehabilitación. Es por ello, que dentro de las contraindicaciones encontramos las siguientes:

- Trombosis venosa profunda
- Embarazo
- Varices exageradas
- Patologías no controladas. (63)

Por otro lado, en un estudio publicado por Patterson en el año 2017, se realizó una encuesta la cual menciona las posibles contraindicaciones según los participantes de la encuesta. Dentro de las cuales se mencionan: Trastornos de la coagulación de la sangre, hipertensión, enfermedad cardiovascular, enfermedades neuromusculares, diabetes mellitus, enfermedades respiratorias, obesidad, fumadores y personas adultas. (50) **Figura 18.**

## VI.8 Consideraciones

La información básica requerida para la terapia de ejercicio general utilizando el BFR, tiene como principio brindar seguridad al paciente. La información básica del tratamiento incluye: 1) Síntomas Subjetivos; 2) Historial médico previo; 3) Existencia de enfermedades relacionadas con el estilo de vida; 4) Historial médico familiar; 5) Hábitos de vida. **Ver anexo** También en caso de ser posible, electrocardiograma en reposo y si es necesario un examen cuidadoso basado en tolerancia al ejercicio.

Las indicaciones y contraindicaciones de la terapia de ejercicio normal con BFR son evaluadas para enfermedades relacionadas con el estilo de vida. A una presión arterial de 180/100 mmHg o más, la terapia esta contraindicada, en cambio para una presión de 160-179/95-99 mmHg seria administrado el tratamiento. En los casos de retinopatía diabética mal controlada y obesidad extrema con un índice de masa corporal más de 30, se recomienda un examen cuidadoso para la coexistencia de cardiopatía isquémica. **Ver anexo indicaciones y contraindicaciones relacionadas con el estilo de vida.**

Las consideraciones claves para administrar el BFR a personas mayores y una variedad de pacientes son:

- 1- Prestar atención al flujo sanguíneo restringido
  - Adherirse a los conceptos básicos de BFR para prevenir la hemostasia con un torniquete.
  - Tener precaución de no permitir la sobrecarga.
  - Síncope de origen neural.
  - Busque complicaciones (cardiopatías, etc).
- 2- Durante el entrenamiento, preste atención a lo siguiente:
  - Estiramiento suficiente y reposición de líquidos suficientes.
- 3- Obtener una opinión experta para asuntos de alto riesgo y no utilizar en casos desconocidos.

Por otro lado, debido al estancamiento de sangre que se produce durante el entrenamiento BFR, se introduce una puntuación de riesgo de infarto pulmonar y trombosis venosa profunda que utilizan los cirujanos para llevar a cabo un entrenamiento más seguro. **Figura 19.**

5 points	History of deep-vein thrombosis (DVT); hereditary thrombotic tendency; antiphospholipid antibody syndrome
4 points	Pregnant women
3 points	1) Varicose veins of legs; 2) prolonged immobility (incapable of 8 hours thromboprophylaxis rehabilitation); 3) atrial fibrillation or heart failure
2 points	1) People aged over 60 years old; 2) BMI > 30; 3) hyperlipidemia; 4) malignancy; 5) using lower limb tourniquet; 6) using oral contraceptives or adrenocortical steroids; 7) quadriplegia; 8) high hemoglobin level
1 point	1) People aged 40 to 58 years old; 2) women; 3) 25 < BMI < 30

**Figura 19.** Uso de factores de riesgo para determinar el uso de BFR. (63)

En cuanto mayor sea el número de puntos, mayor es el riesgo, y cuanto mayor sea el número combinado de puntos para varios riesgos, mayor será el riesgo. Es por ello, que debe evitarse el entrenamiento BFR para personas correspondiente a 5 puntos (antecedentes de trombosis venosa profunda, tendencia trombótica hereditaria y síndrome de anticuerpos antifosfolípidos). En cuanto a mujeres embarazadas y personas con afección varicosa en las piernas no se indica de forma preventiva. Mientras que en las personas mayores y los pacientes postrados en cama es necesario tener cuidado, particularmente a personas que originalmente tenían trombosis. Además, en los pacientes que presentan poca capacidad de bombeo se requerirá extrema precaución, debido a que se puede descubrir una reducción del volumen sistólico y del gasto cardiaco dependiendo del grado de presión aplicada. (63)

### VI.9 Modalidades de uso

El método BFR se aplica tanto durante el ejercicio de fuerza voluntario (BFR resistencia), como durante el ejercicio aeróbico (BFR aeróbico), y también de forma pasiva sin ejercicio (BFR pasivo).

BFR resistencia: Se basa en el uso del dispositivo durante ejercicios de fuerza. Dentro de los protocolos utilizados actualmente, se encuentran diversas formas de uso, pero uno de los más utilizados consiste en 4 series de un ejercicio, con un objetivo de 30 repeticiones en la primera serie y 15 en las series 2-4, para un total de 75 repeticiones. Este esquema además utiliza un 30% de 1 RM con 30 segundos de descanso entre series. (48) (64) (58)

En cuanto a la frecuencia de entrenamiento utilizada, se han evidenciados grandes beneficios cuando se realiza 2 veces al día, 6 días a la semana, durante 2 semanas. (48) (64) (65)

BFR aeróbico: Se caracteriza por el uso del dispositivo durante actividades como caminata o ejercicios de ciclismo. Las intensidades utilizadas durante BFR aeróbico son bajas (45% de frecuencia cardíaca de reserva o 40% de VO<sub>2</sub> máx.).

En el ciclismo se utiliza un protocolo de entrenamiento de 3 días por semana, durante 8 semanas. En donde la duración del entrenamiento fue de 15 minutos y la intensidad de 40% del VO<sub>2</sub> máx. Lo que dio como resultado una mejora tanto en la hipertrofia muscular como la capacidad aeróbica. (66)

En cuanto a la caminata, en un estudio se utilizó un protocolo de 5 días por semana durante 6 semanas, en donde se realizó caminata durante 20 minutos a una velocidad monitorizada a 67 metros/ minuto. (67) Mientras, que otro estudio utilizó un protocolo de 2 veces al día, 6 días/semana, durante 3 semanas usando cinco series de 2 minutos (velocidad rodante a 50 metros/minuto), con un descanso de 1 minuto entre series. (68) Dando como resultado para ambos estudios un beneficio en el aumento de la fuerza y la hipertrofia muscular.

BFR pasivo: Consiste en aplicar los manguitos a las extremidades sin realizar ejercicio. Es un modo que se caracteriza por periodos de isquemia seguidos de periodos de reperfusión. Este enfoque se usa para atenuar la disminución de la masa muscular y la fuerza después de una cirugía de LCA, durante la inmovilización con yeso y con pacientes en cuidados intensivos. (69) (70) (71) (72)

El protocolo utilizado consta de 5 minutos de restricción seguidos de 3 minutos de reperfusión aplicados durante 3-4 series. (69)

## **VII. Metodología**

El estudio se llevará a cabo a través de una revisión bibliográfica mediante una búsqueda en las bases de datos Pubmed, Scielo, LILAC, Biblioteca Virtual Salud y la biblioteca electrónica de ciencia y Tecnología del MinCyt donde los artículos tengan una fecha publicada entre el año 2010 y la actualidad.

La búsqueda bibliográfica se realizará a través de la combinación de palabras claves (Mesh/DeSH), con el fin de acotar resultados.

Los criterios de inclusión son:

- Artículos publicados durante el periodo mencionado anteriormente.

- Artículos que incluyan personas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior entre 19 y 44 años de edad.

Los criterios de exclusión son:

- Estudios publicados fuera del periodo mencionado.
- Artículos que incluyan personas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior y que tenga otra patología articular preexistente.
- Estudios que analicen personas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior con edad menor a 19 años.

### Cuadro 1. Diagrama de búsqueda

Palabras	Término libre	DeCs	MeSH
#1	Lesiones del Ligamento Cruzado Anterior	Lesiones del Ligamento Cruzado Anterior	"Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh]
#2	Blood Flow Restriction		
#3	Ejercicio Físico	Ejercicio Físico	"Exercise"[Mesh]
#4	Entrenamiento de baja carga		
#5	Entrenamiento de alta carga		
#6	Adulto	Adulto	"Adult"[Mesh]
#7	Entrenamiento Kaatsu		
#8	Ligamento cruzado anterior	Ligamento cruzado anterior	"Anterior Cruciate Ligament" [Mesh]

### Cuadro 2. Combinación de palabras clave

	Término	Conector	Termino	Conector	Termino
#9	#1	AND	#2		
#10	#3	AND	#2		
#11	#6	AND	#2		

## VIII. Contexto de análisis

A continuación, se detallarán los artículos pertinentes a este trabajo de investigación que han cumplido con los criterios de inclusión mencionados anteriormente, los cuales se mencionan los años de publicación.

### **1. Comparación de la eficacia de la restricción del flujo sanguíneo y el entrenamiento tradicional de resistencia a cargas pesadas en la rehabilitación posquirúrgica de pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior: un ensayo controlado aleatorio del Servicio Nacional de la Salud del Reino Unido.**

“(Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial)”

Autores: Luke Hughes, Benjamin Rosenblatt, Fares Haddad, Conor Gissane, Daniel McCarthy, Thomas Clarke, Graham Ferris, Joanna Dawes, Bruce Paton y Stephen David Patterson. Año 2019.

Un ensayo clínico aleatorizado publicado en el año 2019, tuvo como objetivo comparar la efectividad del entrenamiento de resistencia con restricción del flujo sanguíneo (BFR-RT) y el entrenamiento de resistencia de carga pesada tradicional (HL-RT) de atención estándar para mejorar la hipertrofia y la fuerza musculo esquelética, la función física, el dolor y la efusión en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) después de la cirugía.

Veintiocho pacientes programados para cirugía ACLR unilateral fueron reclutados para este estudio. Todos los participantes eran no fumadores activos, no tenían antecedentes conocidos de deterioro neurológico central o periférico y no padecían ninguna afección cardíaca, pulmonar o metabólica. Los criterios de exclusión incluyeron: múltiples roturas o traumatismos de ligamentos; artritis reumatoide u otras comorbilidades significativas; historial de trombosis venosa profunda o patología vascular en cualquier miembro inferior; inyecciones intraarticulares en la rodilla en los 6 meses anteriores; uso de medicamentos anticoagulantes; incapacidad para seguir instrucciones durante el ejercicio; y aparatos ortopédicos para las piernas después de la cirugía.

Este estudio fue un ensayo clínico aleatorizado, ciego, de un solo evaluador, de grupos paralelos, de dos brazos, en un diseño de medidas repetidas entre sujetos. Los participantes se asignaron al azar en bloques de cuatro a BFR-RT (14 participantes) o HL-RT (14 participantes) por un miembro independiente del equipo de investigación. Los participantes asistieron a una

sesión de familiarización seguida de cuatro sesiones de pruebas experimental: (1) antes de la cirugía; (2) poscirugía (semana 0); (3) a mitad del entrenamiento (semana 4 a 5) y (4) después del entrenamiento (semana 9), junto con una intervención de entrenamiento de fuerza de 8 semanas (semana 1 a 8). En ambos grupos se evaluó en cada instancia: La fuerza isotónica máxima escalada (10 RM), la morfología muscular del vasto lateral de la extremidad lesionada, la función auto informada, el rendimiento de la prueba de equilibrio, el dolor, el derrame y el rango de movimiento (ROM) de la articulación de la rodilla. Mientras que la laxitud de la articulación de la rodilla, la extensión isocinética máxima escalada y la fuerza de flexión de la rodilla a 60°/s, 150°/s y 300°/s se midieron únicamente antes de la cirugía y después del entrenamiento.

La fuerza muscular se evaluó en una prensa de piernas MED (Technogym, bracknell, reino unido), luego de una entrada de calor que consistió en 5 minutos de ciclismo ligero y diez repeticiones de prensa de piernas unilateral con un peso autoseleccionado. La fuerza muscular isocinética para los extensores de rodilla y flexores se midió utilizando un dinamómetro isocinético Biodex System 4.

En cuanto a la morfología muscular, se evaluó el grosor del musculo, el ángulo de peneación y la longitud del fascículo del vasto lateral en la extremidad lesionada, utilizando ultrasonografía en modo B con el dispositivo de ultrasonido LOGIQ E (GE Healthcare, Buckinghamshire, Reino Unido).

La función auto informada se evaluó utilizando las siguientes herramientas: La forma subjetiva de la rodilla del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla, la cual evalúa los síntomas y la función en las actividades de la vida diaria. Se puntúa en una escala de 0 a 100, en la que 100 representa una mayor función de la rodilla. La escala de función de las extremidades inferiores, contiene 20 preguntas sobre la capacidad del paciente para realizar las tareas cotidianas; cada pregunta tiene una escala de puntuación de 0 a 4, con una puntuación total máxima posible de 80 que representa la mayor función. Y, por último, la escala de actividad de Tegner proporciona un método estandarizado para calificar la actividad; la escala va de 0 a 10, siendo 0 la baja por enfermedad o la pensión de invalidez por problemas de rodilla y el 10 la participación en deportes competitivos de elite a nivel nacional e internacional.

El rendimiento del equilibrio se evaluó mediante la prueba de equilibrio de excursión en estrella modificada (SEBT) en las direcciones anterior, posteromedial y posterolateral.

El dolor se evaluó mediante la escala de dolor Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; como 0 representa un dolor extremo y 100 representa ningún dolor, un aumento en la puntuación del dolor es indicativo de la reducción del dolor.

El ROM de la rodilla se evaluó utilizando un goniómetro con el participante acostado en decúbito supino con el talón elevado sobre un rodillo de espuma.

El derrame se evaluó con el paciente en decúbito supino, mediante la medición de la circunferencia de la articulación de la rodilla (cm) en la parte media de la rótula con una precisión de 0,1 cm utilizando una cinta métrica flexible.

La laxitud de la rodilla se evaluó con los participantes acostados en decúbito supino con 30° de flexión de la rodilla, evaluando la laxitud de los ligamentos de la rodilla (mm) utilizando el artrómetro de ligamentos de la rodilla KT-1000 (MEDmetric) a 30 libras (130N) y expresado como puntajes de diferencias de lado a lado (mm).

Cada intervención incluyó 8 semanas de entrenamiento de prensa de piernas unilateral 2 x semana, totalizando 16 sesiones cada una separada por un mínimo de 48hs. Todas las sesiones fueron supervisadas por un miembro del equipo de investigación. Ambos grupos completaron una entrada en calor que consistió en 5 minutos de ciclismo sin carga a cadencia libre seguido de diez repeticiones de prensa de piernas unilateral con un peso autoseleccionado, con un descanso posterior de 5 minutos. Luego de esto el grupo de BFR-RT, realizaba 4 series (30, 15, 15, 15 repeticiones, con 30 segundos entre series) de prensa unilateral al 30% de 1RM con BFR al 80% de la LOP. Mientras que el grupo HL-RT, realizaba 3 series de 10 repeticiones (30 segundos entre series) de prensa unilateral al 70% de 1RM. Se aseguró que los participantes realizaran el ejercicio a lo largo de un ROM de 0° a 90° y se midió la fuerza de 10RM y se usó para predecir la fuerza de 1RM. Por otro lado, con respecto a la carga de entrenamiento se incrementó en un 10% si los participantes completaron todas las repeticiones en dos sesiones posteriores y se reajustó formalmente después de la prueba de mitad de entrenamiento.

Además, todos los participantes recibieron el programa de rehabilitación estándar del servicio nacional de salud y se les indicó que lo complementarían en casa 3 días a la semana.

La restricción del flujo sanguíneo se logró utilizando un sistema de torniquete automático personalizado (Delfi Medical, Vancouver, BC, Canadá) diseñado para calcular automáticamente la presión de oclusión de la extremidad (LOP). El dispositivo aumentaba la presión del manguito en incrementos escalonados, analizando las pulsaciones de presión

neumática en la vejiga del manguito mediante las pulsaciones de presión arterial encada incremento de presión del manguito, y utiliza estas características para determinar la LOP. Este sistema se compone de un manguito de nailon de contorno variable (11,5 cm x 86 cm, 5mm de grosor) conectado mediante un tubo de manguera hermético a un sistema PT, y regula automáticamente la presión dentro de los límites aceptables.

En cuanto a los resultados, se perdieron cuatro participantes, con 24 participantes completando el estudio (12 por grupo). La fuerza de 10 RM escalada aumentó significativamente en la extremidad lesionada ( $104 \pm 18\%$  y  $106 \pm 21\%$ ) y la extremidad no lesionada ( $33 \pm 12\%$  y  $40 \pm 16\%$ ) con BFR-RT y HL-RT, respectivamente. Hubo aumentos significativos en el par máximo de extensión y flexión de la rodilla a todas las velocidades en la extremidad no lesionada sin diferencia entre los grupos. Con HL-RT se observó una atenuación significativamente mayor de la pérdida de torsión máxima del extensor de la rodilla a  $150^\circ/s$  y  $300^\circ/s$ ; Y una pérdida de torsión del flexor de la rodilla a todas las velocidades en comparación con BFR-RT. No se encontraron diferencias entre los grupos de la pérdida máxima de torsión de los extensores de la rodilla a  $60^\circ/s$ . Se observaron aumentos significativos y comparables en el grosor muscular ( $5,8 \pm 0,2\%$  y  $6,7 \pm 0,3\%$ ) y el ángulo de peneación ( $4,1 \pm 0,3\%$  y  $3,4 \pm 0,1\%$ ) con BFR-RT y HL-RT, respectivamente, sin diferencia de grupo. No se observaron cambios en la longitud del fascículo. Por otro lado, hubo aumentos significativamente mayores y clínicamente importantes en varias medidas de función auto informada ( $50-218 \pm 48\%$  frente a  $35-152 \pm 56\%$ ), rendimiento del equilibrio Y ( $18-59 \pm 22\%$  frente a  $18-33 \pm 19\%$ ), ROM ( $-78 \pm 22\%$  frente a  $-48 \pm 13\%$ ), reducciones en el dolor articular de rodilla ( $67 \pm 10\%$  frente a  $39 \pm 14\%$ ) y derrame ( $-5,8 \pm 1,2\%$  frente a  $-2,4 \pm 1,8\%$ ) con BFR-RT en comparación con HL-RT, respectivamente.

El autor concluye que la BFR-RT puede mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético en una medida similar a HL-RT con una mayor reducción del dolor y la efusión en las articulaciones de la rodilla, lo que conduce a mayores mejoras generales en la función física. Por lo tanto, BFR-RT puede ser más apropiado en la fase de rehabilitación de carga progresiva de las extremidades después de la cirugía en poblaciones de paciente con ACLR dentro del servicio de salud nacional. (73)

**2. Comparación de la fuerza muscular del cuádriceps y de los isquiotibiales después de ejercicios con y sin restricción del flujo sanguíneo después de la cirugía del ligamento cruzado anterior: Un ensayo controlado aleatorizado.** “(Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: A randomized controlled trial)” (74)

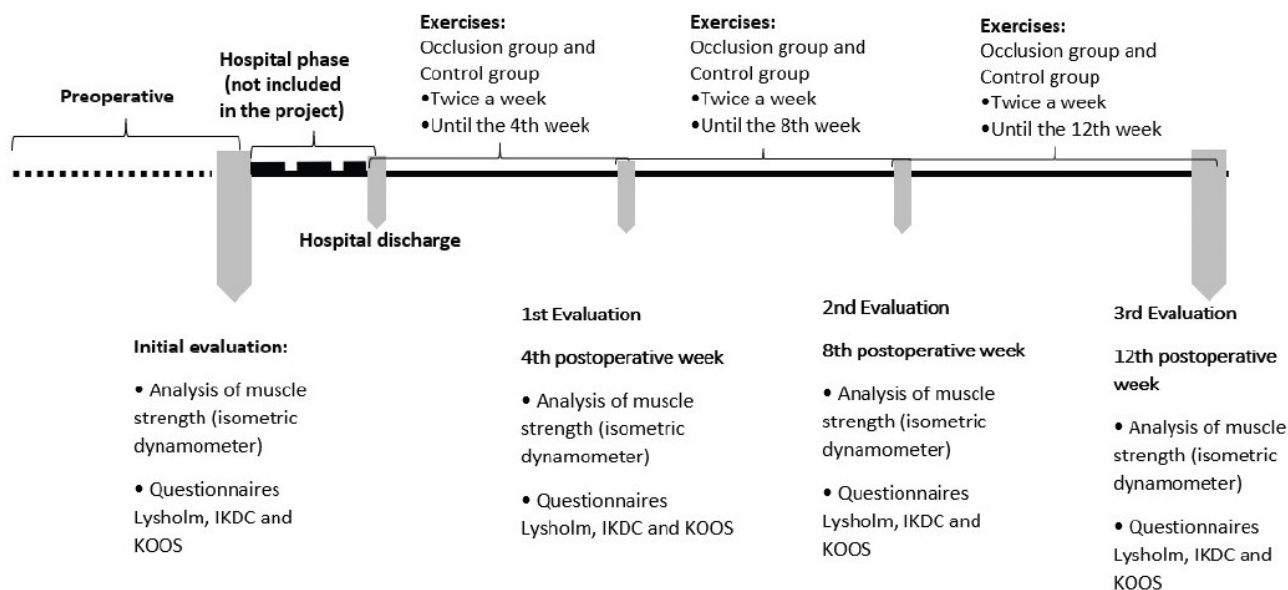
Autores: Rafael Francisco Vieira De Melo, William Ricardo Komatsu, Mellisa Sales De Freitas, Maria Eduarda Vieira De Melo.

Un ensayo controlado aleatorizado publicado en el año 2022, tuvo como objetivo comparar la ganancia de fuerza muscular en los músculos cuádriceps e isquiotibiales en pacientes sometidos a cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior, utilizando ejercicios con y sin restricción del flujo sanguíneo.

Se incluyeron para este estudio a 28 participantes, de los cuales estaba conformado por hombres y mujeres con ruptura de LCA confirmada por examen médico en los últimos 2 meses y cirugía reconstructiva planificada, con edades entre 18 y 59 años. No se incluyeron pacientes con cirugías previas en la rodilla lesionada, o lesión de otro ligamento o menisco de la rodilla.

El estudio se llevó a cabo durante 12 semanas, en las cuales se realizaron evaluaciones tanto preoperatoriamente como postoperatoriamente en el último día de entrenamiento de la semana 4,8 y 12. Las evaluaciones consistieron en medir la fuerza muscular con un dinamómetro isométrico, para medir la fuerza isométrica máxima de músculos extensores y flexores de rodilla (MICROFET2 dinamómetro). La fuerza máxima se registró en Newtons (N) y se recolectó 3 veces en cada pierna, dejando 60 segundos de intervalo entre cada contracción. Además, se analizó la función física de la rodilla utilizando los cuestionarios Lysholm, International Knee Documentation Committee (IKDC) y Knee lesión and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). Todos los cuestionarios fueron completados por el paciente para reducir el sesgo de aplicación en el primer día de evaluación y repetidos en el último día de entrenamiento de la semana 4,8 y 12.

En cuanto al protocolo de ejercicio, se describe en la **Figura 20**. Para el grupo de intervención (BFR) se utilizó manómetros de 10 x 80 cm de ancho y una bolsa neumática de 7 x 52 cm (Cuff Scientific Leg- WCS, Curitiba, Paraná, Brasil) en la región próxima al ligamento inguinal de la pierna derecha e izquierda. El grupo control realizó los mismos ejercicios propuestos, pero sin ningún material de oclusión.



**Figura 20.** Descripción general del protocolo de estudio experimental. KOOS: Knee lesion and Osteoarthritis Outcome Score; IKDC: International Knee Documentation Committee.

Para determinar la presión de oclusión vascular se utilizó un dispositivo Doppler vascular portátil (MEDMEGA). Se capturó el flujo sanguíneo de la arteria tibial posterior mediante un bolígrafo Doppler vascular portátil con transductor de señal infrarroja. Luego, se infló el manguito hasta alcanzar la oclusión total durante 15 segundos, siendo este el valor de oclusión total. Esta medición se realizó con todos los participantes. Y de este modo utilizando el 80% de la presión de oclusión correspondiente a cada paciente.

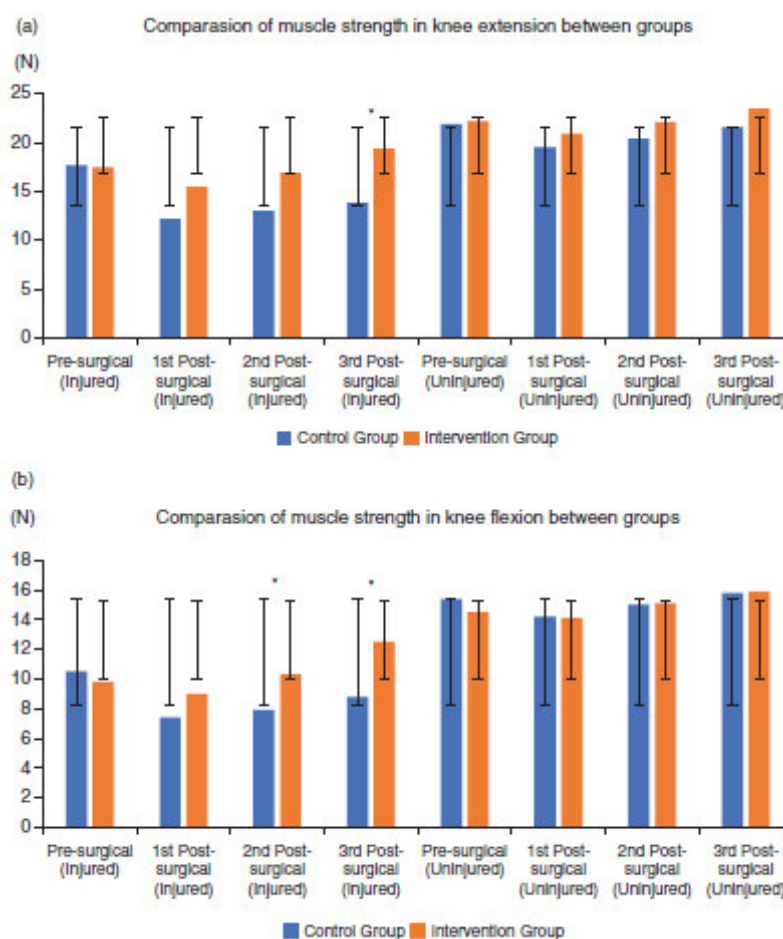
Con respecto a la carga, se realizaron pruebas de carga máxima (1RM) que consistieron en hacer repeticiones máximas en los ejercicios de prensa de piernas y silla flexoras. Primero se entrenó la extremidad lesionada y luego la extremidad no lesionada igualando las repeticiones, cada una con un porcentaje relativo de su 1RM. Se aplicó la restricción de flujo sanguíneo para ambas extremidades.

Para cada ejercicio seleccionado, se utilizó 30% de una repetición máxima (RM) en el grupo de intervención y el 70% de 1RM en el grupo control. Los ejercicios seleccionados fueron prensa de piernas y silla flexora. Para ambos casos primero se entrenó la extremidad lesionada y luego la no lesionada, cada una con un porcentaje relativo de su 1RM. En los ejercicios de BFR se realizaron 4 series, la primera de 30 repeticiones, seguida de 3 series más de 15 repeticiones cada una, con 2 segundos de contracción concéntrica y 2 segundos de contracción excéntrica. El tiempo de descanso entre serie fue de 30 segundos. Entre cada bloque de ejercicio, se liberaba el BFR durante 5 minutos, para normalizar el flujo sanguíneo en esa región y así asegurar la perfusión. La frecuencia de entrenamiento fue 2 veces por semana durante 12 semanas. El

grupo control realizó los mismos ejercicios, con 70% de 1RM, con 3 series de 10 repeticiones, con los demás parámetros, pero sin BFR.

Como resultado, en la pierna lesionada, ambos grupos mostraron un aumento de fuerza para el movimiento de extensión a lo largo del ciclo de entrenamiento, pero a partir del tercer periodo posquirúrgico, el grupo de intervención tuvo una mayor ganancia en el movimiento de flexión **Figura 21**. En cuanto al movimiento de flexión, ambos grupos mostraron un aumento de la fuerza a lo largo del ciclo de entrenamiento, pero a partir del segundo periodo posquirúrgico en adelante hubo una mayor ganancia en el grupo intervención. **Figura 21** Y con respecto al cuestionario IKDC, mostró diferencias estadísticas después de 8 y 12 semanas, al igual que el cuestionario Lysholm. Siendo el grupo de intervención el que obtuvo mejores resultados. **Figura 22**.

El autor concluye, que comparando el entrenamiento en un programa de rehabilitación temprana después de ACLR, usando 30% de 1RM con BFR o 70% de repetición máxima sin oclusión, el grupo que usó BFR mostró una mejora estadísticamente más rápida en la mejora de la fuerza muscular de los cuádriceps y los isquiotibiales, y la función física de la rodilla.



**Figura 21.** Representación de la comparación de la fuerza muscular en extensión de rodilla (a) y flexión (b) entre grupos.

Questionnaires	Groups	Preoperative week mean difference (95% CI)	ES	Mean difference week 1st post-surgery (95% CI)	ES	Mean difference 2nd week after surgery (95% CI)	ES	Mean difference week 3rd Post-surgery (95% CI)	ES	p-value
Lysholm	Control	81.17±6.23 (69.84–94.84)	0.21	81.75±3.80 (74.64–89.54)	0.87	86.17±1.95 (82.43–90.07) *	2,72	90,58±0,84(88,96–92,24)	4,31	<0,01*
	Intervention	85.17±3.97 (77.74–93.31)		92.00±2.39 (87.43–96.80)		100.00±0 (100.00–100.00) #		100,00±0(100,00–100,00) #		
KOOS Symptoms	Control	81.67±6.26 (70.27–94.91)	0.39	80.42±4.53 (72.01–89.80)	0.97	85.25±2.28 (80.89–89.85)	2,07	91,92±0,88(90,21–93,65)	3,53	<0,01*
	Intervention	88.42±1.64 (85.25–91.70)		92.42±1.29 (89.92–94.99)*		98.58±0.93 (96.77–100.43) #		100,00±0(100,00–100,00) #		
Pain	Control	84.75±4.67 (76.07–94.42)*	0.01	70.67±3.30 (64.49–77.43)*	1.66	76.92±3.94 (67.57–85.05)*	2,18	88,00±2,35(83,52–92,72)	1,96	<0,01*
	Intervention	84.50±3.33 (78.22–91.29)*		90.58±3.20 (84.52–97.09)*		99.50±0.48 (98.57–100.44)* #		100,00±0(100,00–100,00) *#		
Daily activity	Control	86.92±4.44 (75.64–93.10)*	0.03	78.83±3.72 (71.37–85.97)	0.76	80.58±3.99 (73.12–88.81)	1,53	87,50±2,00(83,67–91,51)	2,38	<0,01*
	Intervention	83.42±3.37 (77.07–90.29)		86.67±1.93 (82.97–90.53)*		97.00±0.98 (95.10–98.94) *#		99,92±0,08(99,76–100,07)*#		
Quality of life	Control	66.42±4.99 (57.32–76.96)*	0.12	62.25±4.54 (53.96–71.82)	0.81	65.17±4.08 (57.63–73.68)	1,29	69,92±3,04(64,20–76,15)	1,72	<0,01*
	Intervention	64.33±4.03(56.89–72.75)*		72.58±1.82 (69.10–76.25)*		79.75±1.43 (77.00–82.60)*		83,92±0,69(82,57–85,28) *		
IKDC	Control	57.67±3.06 (51.97–63.99)*	0.22	51.58±2.02 (47.77–55.70)*	1.014	55.00±1.60 (51.95–58.23)	2,34	60,92±1,59(57,88–64,12)	3,23	<0,01*
	Intervention	59.67±1.65 (56.52–62.98)		58.25±1.50 (55.38–61.27)		65.08±0.38 (64.34–65.83) *#		74,83±0,44(73,98–75,70) *#		

**Figura 22.** Comparación de cuestionarios entre grupos. KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; IKDC: International Knee Documentation Committee; ES: Cohen’s d effect size; \*Significant difference p<0.05; #Significant difference in relation to control.

### 3. Ejercicio con restricción del flujo sanguíneo para mejorar la función del cuádriceps mucho tiempo después de la reconstrucción del LCA. “(Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction)”

Autores: Mateo A Kiglas, Lydia LM Lytle, Scott N Tambor, Steven J Elmer. Año 2019.

Un ensayo clínico publicado en el año 2019, tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un programa de ejercicios de restricción del flujo sanguíneo (BFR) en el hogar para aumentar el tamaño y la fuerza del cuádriceps varios años después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACL).

Nueve adultos con ACLR (5 ± 2 años después de la cirugía, con menos o igual del 90% de simetría en el tamaño y la fuerza del cuádriceps) y nueve controles ilesos se ofrecieron como voluntarios. Las personas en el grupo ACLR eran elegibles para participar si: 1) tenían un ACLR unilateral hace más de 2 años, 2) completaron un programa de rehabilitación postoperatoria, 3) su cirujano ortopédico les autorizo a volver a la actividad física, y 4) mostraron una diferencia mayor al 10% en el grosor del recto femoral, el grosor del vasto lateral o la fuerza de rodilla extensora de la rodilla entre la pierna afectada y la no afectada (es decir, menor al 90% de simetría). Las personas del grupo de control sin lesiones eran elegibles si no tenían antecedentes de cirugías en las articulaciones de las extremidades inferiores.

El protocolo de entrenamiento para los participantes de ACLR consistió en ejercicios en casa durante 25 minutos, 5 veces por semana, durante 4 semanas. Cada sesión de entrenamiento consistió en 3 ejercicios (extensión de rodilla con una sola pierna, medias sentadillas con el peso corporal, caminar) y tomo 25 minutos. Primero, realizaron 3 series de 30 repeticiones de extensión de rodilla con una sola pierna usando la pierna afectada solo con una banda de resistencia. **Figura 23.** Luego, realizaron 3 series de 30 repeticiones de medias sentadillas con el peso corporal a dos piernas. Finalmente, realizaron intervalos de caminata de 3 series de 2 minutos a velocidad de caminata preferida. Se proporcionó descanso entre series (1 minuto) y ejercicios (2 minutos).

Durante cada ejercicio, se restringió el flujo sanguíneo en la pierna afectada utilizando un esfigmomanómetro aneroide de 18 cm de ancho. El manguito se envolvió alrededor del muslo y se inflo al 50% de la presión requerida para ocluir la arteria femoral. La presión de oclusión de la extremidad se determinó usando Doppler Ultrasound. El manguito permaneció inflado durante el descanso de 1 minuto entre series, pero se desinfló durante el descanso de 2 minutos entre ejercicios. Cada semana, los participantes realizaron una sesión supervisada en el laboratorio para garantizar la forma de movimiento adecuada, ajustar la resistencia, si es necesario, y verificar la presión del manguito sea configurada correctamente. Finalmente, antes de cada sesión, los participantes realizaban una media sentadilla con peso corporal para evaluar el dolor muscular percibido en las piernas utilizando una escala análoga visual (0 sin dolor- 10 dolor muy intenso).

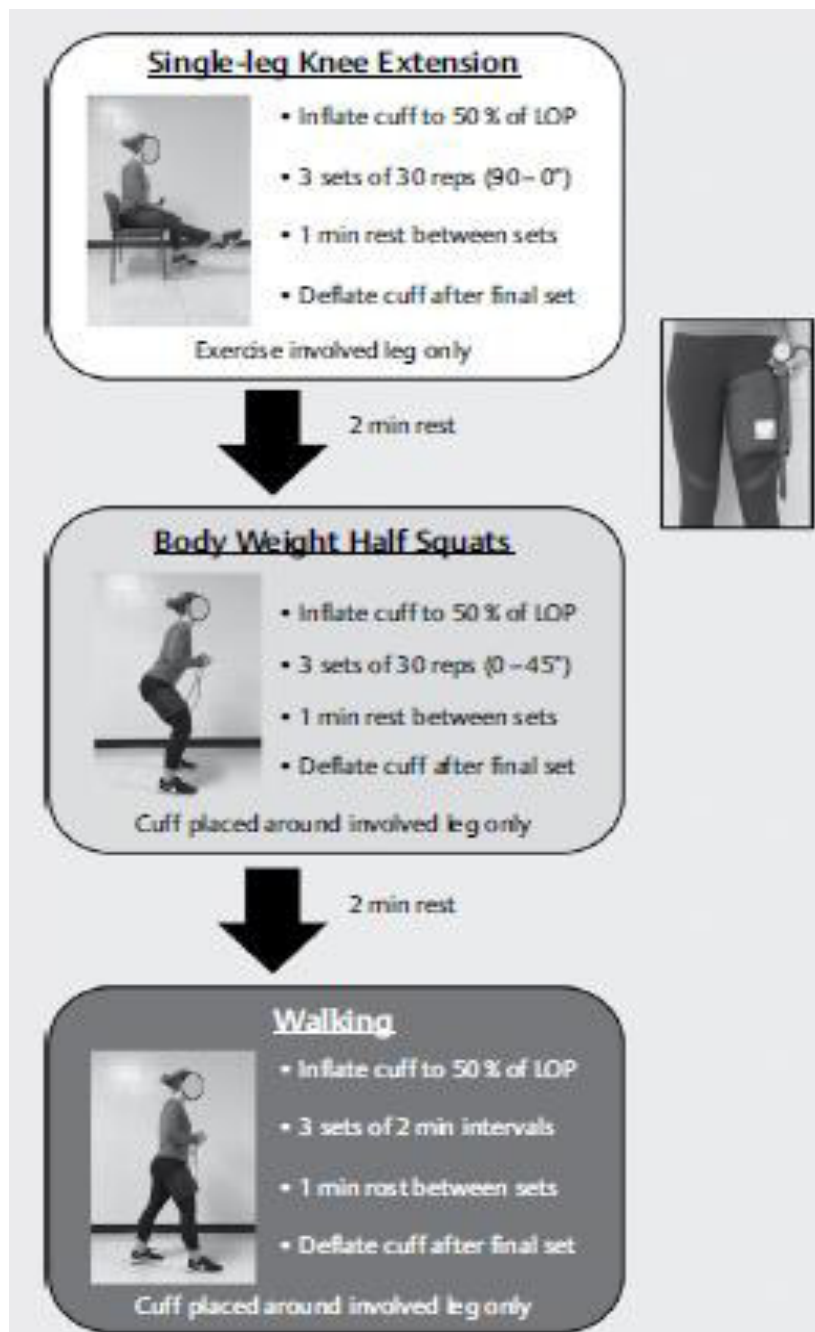
Se evaluó el grosor del recto femoral y del vasto lateral por separado en las piernas afectadas y no afectadas (grupo ACLR) y en las piernas no dominantes y dominantes (grupo de control no lesionado) mediante ecografía en modo B. El grosor muscular se midió como la distancia entre la aponeurosis superficial y profunda. Los valores de grosor muscular en cada pierna se utilizaron para calcular el índice de simetría. También se evaluó la fuerza de extensión de rodilla en una máquina (Cybex, life Fitness). Los participantes realizaron 10 repeticiones a 80% de su máximo y posteriormente se le fue agregando peso 2-5 kg, con descanso de 2 minutos para luego volver a intentar 10 repeticiones. Este procedimiento se repitió hasta que el paciente no pudo realizar 10 repeticiones con la forma adecuado. De este modo se registró el peso y el número de repeticiones completadas y se estimó 1RM utilizando la ecuación de Brzycki. Los valores se utilizaron para calcular el índice de simetría.

El índice de simetría para el grupo ACLR, se calculó como  $SI = (\text{pierna afectada} / \text{pierna no afectada}) * 100$ . En consecuencia, un número inferior al 100% indicaba que la pierna afectada tenía un valor más bajo que la pierna no afectada. Mientras que para el grupo control se calculó:  $SI = (\text{pierna no dominante} / \text{pierna dominante}) * 100$ . Una simetría inferior al 100% indicó que la pierna no dominante tenía un valor más bajo que la dominante.

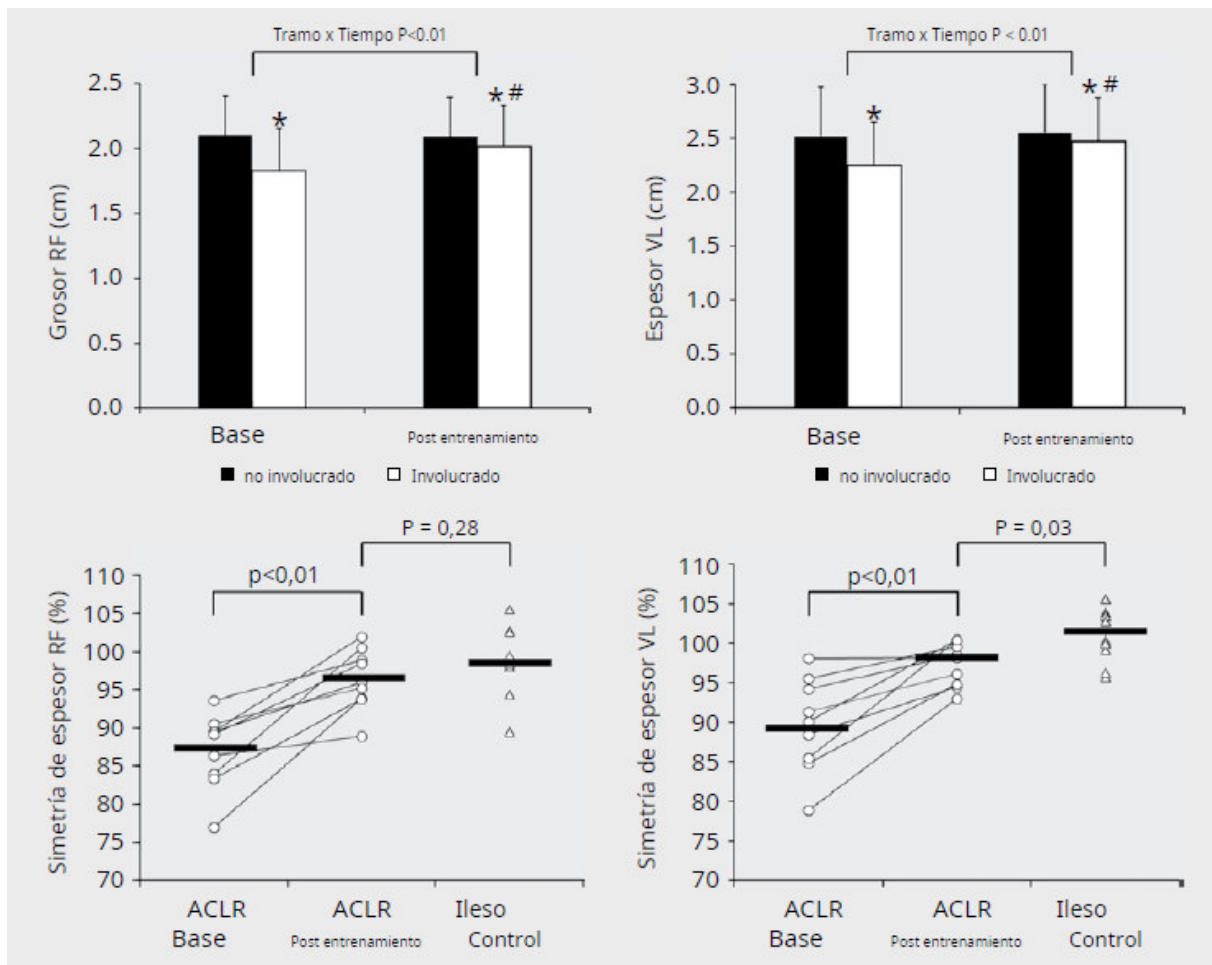
Como resultado, la pierna afectada mostró un mayor cambio en el grosor del músculo cuádriceps en comparación con la pierna no afectada. **Figura 24.** Luego del entrenamiento, el grosor del recto femoral y del vasto externo en la pierna afectada aumentó un  $11 \pm 5\%$  y un  $10 \pm 6\%$ , pero no cambió en la pierna no afectada. La simetría del grosor del recto femoral posterior al entrenamiento en el grupo ACLR aumentó en comparación con el valor inicial ( $87 \pm 5$  a  $96 \pm 4\%$ ) y no difirió de la del grupo control no lesionado ( $99 \pm 5\%$ ). La simetría posterior al entrenamiento para el grosor del vasto externo en el grupo ACLR aumentó en comparación con el valor inicial ( $90 \pm 6$  a  $97 \pm 3\%$ ), pero fue menor en el grupo de control no lesionado ( $101 \pm 3\%$ ).

La fuerza extensora de la rodilla aumentó en un  $20 \pm 14\%$  en la pierna afectada y no cambió en la pierna no afectada. Después del entrenamiento, la fuerza extensora de la rodilla en las piernas involucradas y no involucradas no difirió. La simetría de la fuerza de los extensores de rodilla después del entrenamiento en el grupo ACLR aumentó en comparación con el valor inicial ( $88 \pm 4$  a  $99 \pm 5\%$ ) y no difirió del grupo de control no lesionado. **Figura 25.**

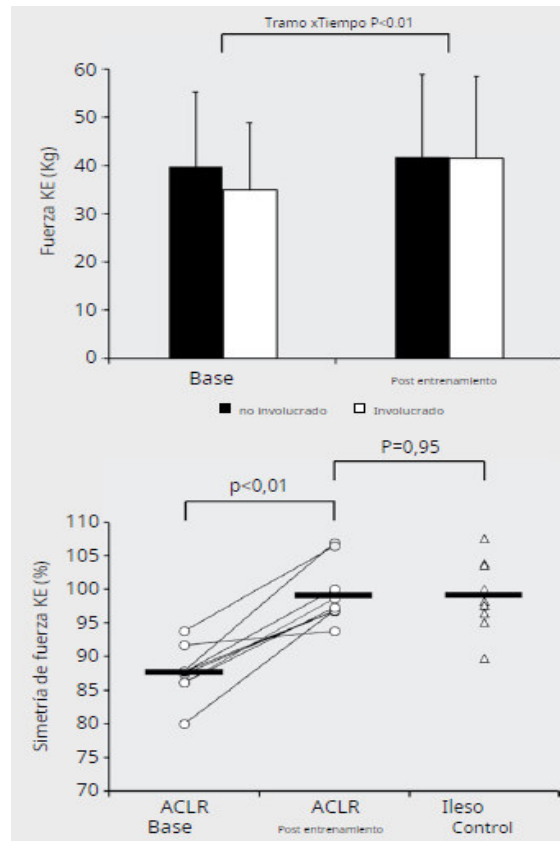
El autor concluye que, para esta cohorte de ACLR, el ejercicio BFR en el hogar proporcionó una intervención efectiva para mejorar la función del cuádriceps mucho después de ACLR. (75)



**Figura 23.** Descripción general de una sesión de entrenamiento de ejercicios BFR en el hogar.



**Figura 24.** Alteraciones en el grosor del recto femoral (RF) y del vasto lateral (VL) en la pierna afectada y no afectada para el grupo ACLR (paneles superiores). Simetría del grosor muscular en los grupos ACLR y de control no lesionados (paneles inferiores). Para el grupo ACLR, un número <100% indicaba dominancia de pierna no involucrada. Para el grupo de control no lesionado, un número <100% indicaba dominio de la pierna dominante. Las líneas finas representan cambios individuales desde la línea de base hasta después del entrenamiento para el grupo ACLR y los triángulos abiertos representan valores individuales para el grupo control no lesionado. Las líneas gruesas horizontales representan valores medios para ACLR y grupos de control no lesionados. Los datos se informan como media  $\pm$  SD. \*  $P < 0,05$  frente a la pierna no afectada. #  $P < 0,05$  frente al valor inicial.



**Figura 25.** Cambios en la fuerza de 1RM del extensor de la rodilla en la pierna afectada y no afectada para el grupo ACLR (panel superior). Simetría de fuerza de 1RM del extensor de rodilla en los grupos de ACLR y de control no lesionados (panel inferior). Para el grupo ACLR, un número < 100% indicaba dominancia de pierna no involucrada. Para el grupo de control no lesionado, un número < 100% indicaba dominio de la pierna dominante. Las líneas finas representan cambios individuales desde la línea de base hasta después del entrenamiento para el grupo ACLR y los triángulos abiertos representan valores individuales para el grupo de control no lesionado. Las líneas gruesas horizontales representan valores medios para ACLR y grupos de control no lesionados. Los datos se informan como media  $\pm$  SD. \*  $P < 0,05$  frente a la pierna no afectada. # $P < 0,05$  frente al valor inicial.

**4. Efectos de la estimulación eléctrica neuromuscular y la restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.** “(Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Blood Flow Restriction in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)”

Autores: Doo-Hwan Kong, Won-Sang Jung, Sang-Jin Yang, Jin- Goo Kim, Hun- Young Park y Jisu Kim

Un estudio retrospectivo publicado en el año 2022, tuvo como objetivo examinar y comparar los efectos de un ejercicio de rehabilitación (ER) utilizando estimulación eléctrica neuromuscular (NMES) y restricción del flujo sanguíneo (BFR) sobre la función muscular y las capacidades funcionales de la rodilla en pacientes que se sometieron a reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR).

El estudio incluyó a 45 pacientes, que realizaron el proceso de rehabilitación desde enero de 2017 hasta diciembre del 2021. Los datos de los pacientes fueron los siguientes: (edad  $28,7 \pm 8,2$  años (34 varones:  $29,4 \pm 8,5$  años y 11 mujeres:  $26,8 \pm 7,3$ )) que se sometieron a una cirugía de ligamento cruzado anterior. Fueron igualmente asignados a un grupo control (CON, n= 15) para realizar ejercicios de rehabilitación general, un grupo NMES (n= 15) y un grupo BFR (n= 15) según edad, sexo, altura y peso. El CON estuvo compuesto por pacientes que se sometieron a rehabilitación general; El grupo NMES consistió en sujetos que se aplicaron rehabilitación general y Estimulación Eléctrica Neuromuscular (NMES); Mientras que el grupo BFR estuvo formado por participantes que aplicaron la rehabilitación general y BFR (Blood flow restriction). Se excluyeron del presente estudio los pacientes que se sometieron a reparación de menisco por desgarro de menisco o reparación de cartílago por defectos de cartílago y atletas élite.

El diseño del estudio se ilustra en la **Figura 26**. A todos los participantes se le realizó un pretest, un programa de ejercicios de rehabilitación de 12 semanas aplicado a cada grupo y un postest. La prueba previa se completó un día antes de la reconstrucción del LCA y la prueba posterior comenzó dos días después del último programa de ejercicios de rehabilitación. Las evaluaciones que se realizaron fueron: altura, peso, cuestionarios subjetivos (puntaje Lysholm, puntaje subjetivo IKDC), circunferencia del muslo (5cm y 15 cm del muslo), la fuerza, la resistencia muscular y una evaluación dinámica del equilibrio (equilibrio en Y anterior, posterior medial y posterior lateral).

La puntuación de Lysholm se diseñó para medir los síntomas y la función de los pacientes con lesiones del LCA y del menisco. Este cuestionario consta de ocho ítems con una puntuación total de 100 puntos, donde una puntuación más alta indica menos síntomas y niveles más altos de funcionamiento. Mientras, el puntaje IKDC fue diseñado para evaluar a los pacientes con lesiones de ligamentos y menisco, así como trastornos de la rodilla, como dolor o síntomas patelofemorales, y determinar su función en la vida diaria y las actividades deportivas. Este cuestionario consta de siete ítems de síntomas de rodilla, dos ítems de actividad deportiva y dos

ítems de función, donde las puntuaciones más altas indican menos síntomas y niveles más altos de funcionamiento.

La rehabilitación consistió en un programa de 12 semanas para todos los participantes de cada grupo 3 días después de la cirugía del LCA. La sesión de ejercicios de rehabilitación general consistió en ejercicios para mejorar el rango de movimiento, ejercicios con carga de peso, ejercicios de cadena cinética cerrada (CKC) y ejercicios de cadena cinética abierta (OKC). Los ejercicios CKC se iniciaron 2 o 3 semanas después de la cirugía, como sentadillas contra la pared, mini sentadillas, media sentadillas y estocadas, ejercicios de step up y agregar un aumento gradual de peso a partir de la semana 9. Los ejercicios OKC para el musculo cuádriceps se hicieron de 2 a 6 semanas después de la cirugía sin soporte de peso, a partir de la semana 7 con aumento de peso y un ángulo de 90-45°. Los ejercicios OKC para el musculo isquiotibial se iniciaron 4 semanas después de la cirugía, como curl activo en prono y curl activo de pie y se agregó peso gradualmente a partir de la semana 9. El ejercicio se realizó en 3 series de 15 repeticiones.

El grupo NMES y el grupo BFR realizaron los mismos ejercicios de ROM y ejercicios con carga que el grupo CON. El NMES y BFR se aplicaron 4 semanas después de la cirugía. El grupo NMES realizó el ejercicio utilizando el NMES al realizar el mismo ejercicio CKC y OKC que el grupo CON. Mientras, que el grupo BFR aplico el BFR al realizar el mismo ejercicio CKC y OKC que el grupo CON.

El grupo BFR utilizo el dispositivo Smart Cuffs (Smart Tools Plus, OH, EE. UU) con el programa de rehabilitación general. La intensidad del ejercicio se inició estableciendo un límite de 10 a 30% del máximo de una repetición 1RM y se incrementó gradualmente. En cuanto a la presión del manguito, se aplicó a un 40% de la presión arterial sistólica y se incrementó 10 mmHg cada dos semanas.

En cuanto a los resultados, se encontró un efecto principal para la puntuación de Lysholm y puntaje IKDC. El análisis post hospitalario encontró aumentos significativos en ambos cuestionarios. No hubo diferencias significativas para los tres grupos. **Figura 27.**

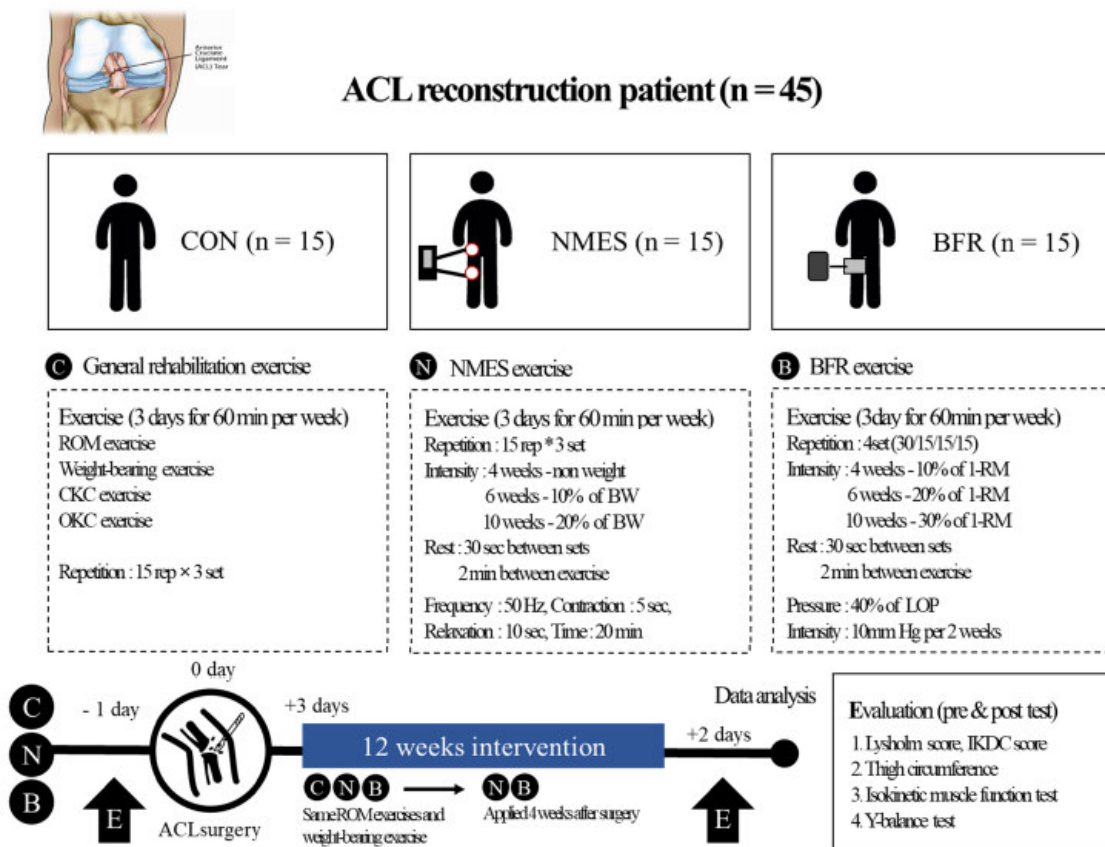
Con respecto a la circunferencia del muslo, se encontró en el análisis post hospitalario encontró que NMES mostro un aumento significativo en la circunferencia del muslo a los 15cm a través de la intervención y mostró un valor mayor antes y después de la intervención que CON. Por otro lado, se encontró un aumento mayor a los 15 cm con BFR a comparación que el grupo

CON. Mientras, que a los 5cm no se encontraron diferencias significativas entre grupo BFR y CON. **Figura 28.**

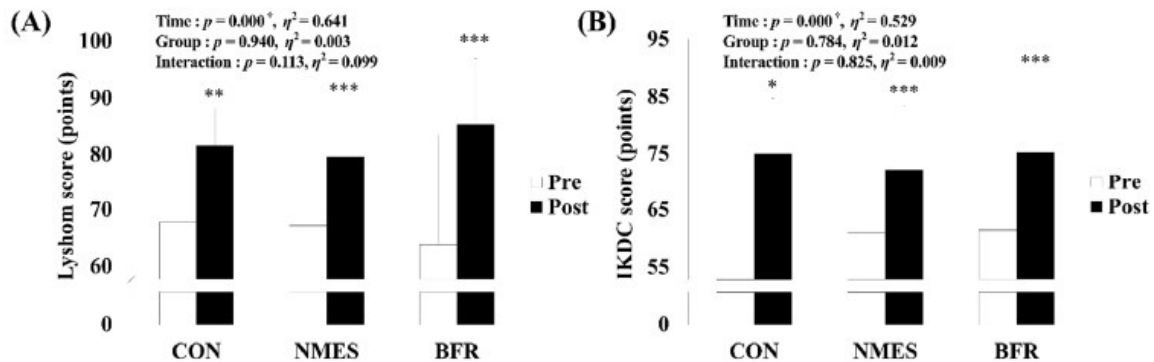
En cuanto a la función muscular isométrica, el análisis post hospitalario encontró aumentos significativos a través de la intervención en NMES y BFR en términos de fuerza de cuádriceps femoral, fuerza de isquiotibiales, resistencia femoral y resistencia de isquiotibiales. Además, el post hospitalario mostro que BFR tiene un valor más alto en la resistencia de los isquiotibiales después de la intervención que CON. **Figura 29.**

Por último, el balance Y anterior aumento significativamente a través de la intervención en BFR y equilibrio en posterior medial y balance posterior lateral aumento significativamente a través de la intervención en todos los grupos.

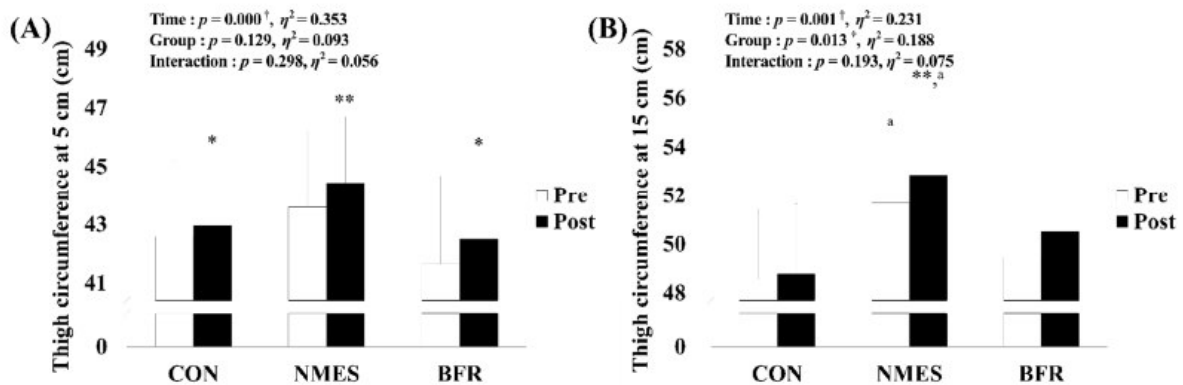
El autor concluye que los programas de ejercicios de rehabilitación que utilizan NMES y BFR, son métodos de rehabilitación más efectivos para mejorar la función muscular y la capacidad de equilibrio en pacientes con reconstrucción del LCA en comparación con el ejercicio de rehabilitación general. (76)



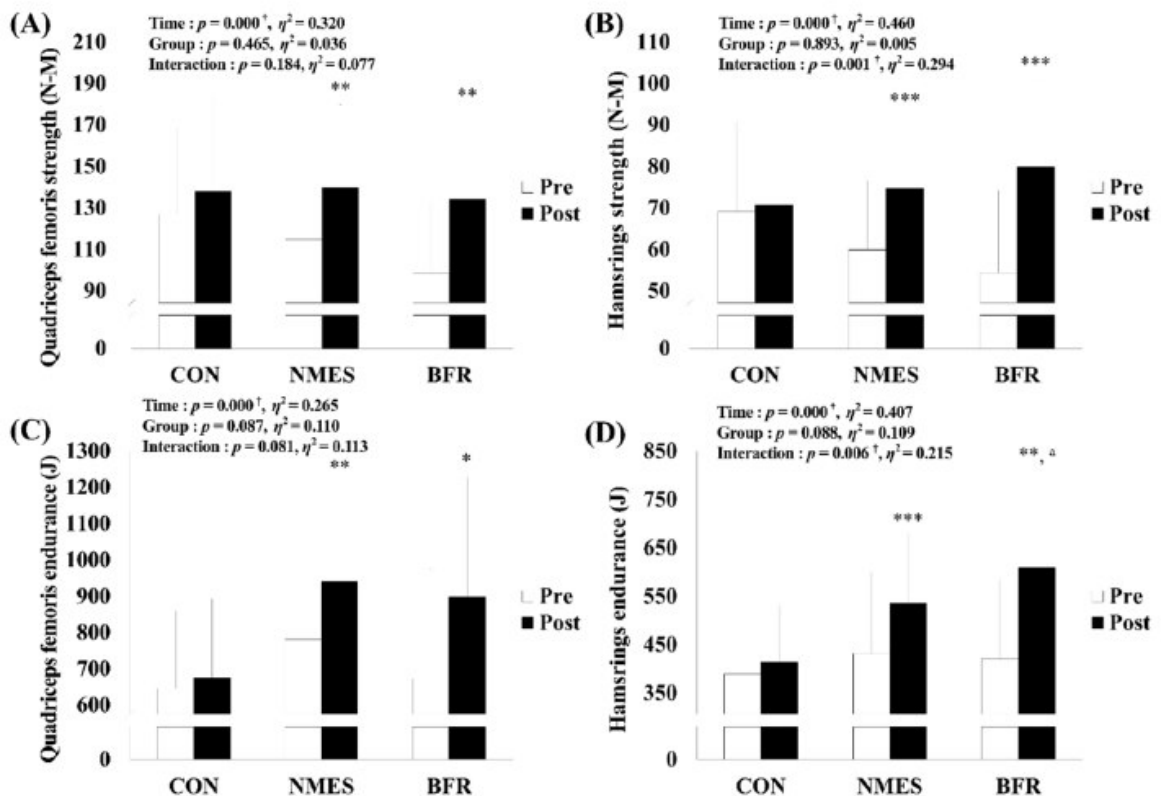
**Figura 26.** Diseño del estudio. CON: Control; NMES: Grupo de estimulación eléctrica neuromuscular, BFR: Grupo de restricción del flujo sanguíneo, CKC: Cadena cinética cerrada, OKC: Cadena cinética abierta, RM: Repetición máxima, PAS: Presión arterial sistólica, IKDC: Comité Internacional de Documentación de la Rodilla, ROM: Rango de movimiento, LCA: ligamento cruzado anterior.



**Figura 27.** Cambios en la puntuación de Lysholm y la puntuación subjetiva de IKDC a través de la intervención de rehabilitación en cada grupo. (A) Cambio en la puntuación de Lysholm. (B) Cambio en la puntuación subjetiva de IKDC, CON: Grupo control; NMES: Grupo estimulación eléctrica neuromuscular, BFR: Grupo de restricción del flujo sanguíneo, IKDC: Comité internacional de Documentación de la rodilla.



**Figura 28.** Cambios en la circunferencia del muslo a 5 cm y 15 cm mediante intervenciones de rehabilitación en cada grupo. (A) Cambio en la circunferencia del muslo a los 5 cm. (B) Cambio en la circunferencia del muslo a los 15 cm. CON: Grupo control, NMES: Grupo de estimulación eléctrica neuromuscular, BFR: Grupo de restricción del flujo sanguíneo.



**Figura 29.** Cambios en la función muscular isocinética a través de la intervención de rehabilitación de cada grupo. (A) Cambios en la fuerza del cuádriceps femoral. (B) Cambio en la fuerza de los isquiotibiales. (C) Cambios en resistencia en cuádriceps femoral. (D) Cambios en la resistencia de los isquiotibiales. CON: Grupo control, NMES: Grupo de electroestimulación neuromuscular, BFR: Grupo de restricción del flujo sanguíneo, NM: Newton-Metros, J: Joule.

**5. La terapia de restricción del flujo sanguíneo preserva el hueso y el musculo de toda la extremidad después de la reconstrucción del LCA. “(Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction)”**

Autores: Bradley Lambert, Corbin A. Hedt, Robert A. Jack, Michael Moreno, Domenica Delgado, Joshua David Harris, Patrick C. McCulloch. Año 2019.

Un ensayo controlado publicado en el año 2019, tuvo como objetivo determinar si la terapia de restricción del flujo sanguíneo (BFR) proporciona beneficios adicionales, cuando se agrega a la rehabilitación de pacientes adultos jóvenes después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior con respecto a la preservación del hueso, la recuperación del musculo y la recuperación de la función física.

Catorce adultos jóvenes (Hombres= 8, Mujeres= 6;  $23 \pm 7$  años;  $170 \pm 10$  cm,  $75 \pm 14$  kg) sometidos a reparación de LCA mediante autoinjerto de tendón rotuliano fueron reclutados y fueron aleatorizados en dos grupos (CONTROL, n=7 y BFR, n=7) que realizaron 12 semanas de rehabilitación a partir de los 10 días posterior a la cirugía.

Ambos grupos realizaron el mismo protocolo de rehabilitación. Durante los ejercicios seleccionados (contracciones de cuádriceps semanas 1-3, prensa de pierna bilateral semanas 3-12, prensa de piernas excéntrica semanas 4-12, curl de isquiotibiales semanas 4-6, curl de isquiotibiales excéntrico semanas 7-12), el grupo BFR se ejercitó con una presión de oclusión del 80%. La oclusión se realizó usando un torniquete automático alrededor del muslo proximal equipado con Doppler. La resistencia al principio se fijó en el 20% del máximo previsto de 1 repetición evaluado en la extremidad contralateral. Los ejercicios se realizaron en 4 series de 30-15-15-15 repeticiones separadas por 30 segundos de descanso.

Las evaluaciones funcionales se realizaron en la semana 8 y la semana 12 después de la cirugía. Se evaluó la densidad mineral ósea (DMO), la masa ósea y la masa muscular magra (LM) se midieron mediante DEXA antes de la cirugía, así como en la semana 6 y 12 de rehabilitación.

Como resultado, ambos grupos experimentaron reducciones similares de las medidas previas a la cirugía en la LM total en la semana 6 y la masa magra total solo en el grupo control permaneció disminuida en la semana 12. El LM de toda la pierna en el miembro lesionado disminuyó en el grupo control, pero no en el grupo BFR, tanto en la semana 6 como en la 12. Se encontró que el LM del muslo disminuyó en ambos grupos en la semana 6, pero en mayor medida en el grupo control en comparación con el grupo BFR y permaneció disminuido solo en el grupo control en la semana 12. La masa ósea de toda la pierna disminuyó en el grupo de control en la semana 6 y en ambos grupos en la semana 12. Se observó que el grupo control tuvo una disminución en la DMO en el fémur distal y la tibia proximal en la semana 12, así como en el peroné proximal en la semana 6 y la semana 12. Ambos grupos mostraron mejoras similares en la distancia de sentadilla con una sola pierna, equilibrio en Y, curl de piernas y prensa de piernas desde la semana 8 hasta la semana 12 de rehabilitación. **Figura 30.**

El autor concluye, que el BFR adicionado a los ejercicios de rehabilitación del LCA además de recuperar el musculo en mayor medida que la rehabilitación estándar sola, parece tener un efecto protector sobre el hueso. Este efecto tampoco parece estar limitado al sitio de compresión del manguito. Se necesitan estudios futuros para examinar los mecanismos bioquímicos y mecánicos por los cuales BFR puede actuar simultáneamente sobre el hueso y el musculo. (77)

Values = Means +/- SEM (Change from Pre-Surgery). Sig: #=diff from pre-surgery, \$=diff between group

GROUP:	BFR		CONTROL	
	wk6	wk12	wk6	wk12
<b>Independent Variable</b>				
<b>Total Lean Mass (kg)</b>	-1.07 ± 0.60 (-1.94 ± 1.22%) #	-0.01 ± 0.87 (-0.06 ± 1.77%)	-1.31 ± 0.80 (-2.39 ± 1.32%) #	-1.14 ± 0.59 (-2.23 ± 0.98%) #
<b>Leg Lean Mass (kg)</b>	-0.19 ± 0.09 (-2.31 ± 1.19%)	-0.11 ± 0.17 (-1.53 ± 1.65%)	-0.72 ± 0.31 (-7.69 ± 3.03%) #	-0.48 ± 0.21 (-5.5 ± 2.29%) #
<b>Thigh Lean Mass (kg)</b>	-0.13 ± 0.03 (-4.45 ± 1.31%) #	-0.03 ± 0.05 (-1.26 ± 1.72%)	-0.26 ± 0.10 (-7.72 ± 2.57%) #	-0.16 ± 0.05 (-5.21 ± 1.62%) #
<b>Leg Bone Mass (g)</b>	-8.05 ± 3.40 (-1.29 ± 0.56%)	-11.97 ± 4.39 (-1.92 ± 0.72%) #	-13.40 ± 3.29 (-2.43 ± 0.52%) #	-16.26 ± 3.03 (-3.01 ± 0.52%) #
<b>Distal Femur BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	-0.06 ± 0.03 (-4.55 ± 2.22%)	-0.09 ± 0.03 (-7.41 ± 2.54%)	-0.09 ± 0.03 (-7.83 ± 1.95%)	-0.12 ± 0.02 (-10.35 ± 1.78%) #
<b>Proximal Tibia BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	-0.05 ± 0.02 (-3.55 ± 1.14%)	-0.03 ± 0.05 (-1.68 ± 3.61%)	-0.06 ± 0.07 (-3.42 ± 4.90%)	-0.15 ± 0.02 (-10.35 ± 1.57%) #
<b>Proximal Fibula BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	-0.02 ± 0.02 (-4.35 ± 4.05%)	+0.01 ± 0.02 (+1.66 ± 5.81%)	-0.07 ± 0.03 (-13.49 ± 5.47%) #	-0.08 ± 0.02 (-15.9% ± 3.14%) #

Figura 30. Resultados de mediciones.

## IX. Resultados

Los resultados de este trabajo de investigación se obtuvieron a partir del análisis de 5 artículos, que tuvieron como objetivo evaluar distintas variables con la implementación del método de entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo. Dentro de las variables hallamos dolor, fuerza de extensión de rodilla, fuerza de flexión de rodilla, función autoinformada, morfología del muslo y prueba del equilibrio.

### IX.1 Dolor

En cuatro artículos se analizó el dolor y se encontraron mejoras significativas desde el pre operatorio al postoperatorio, en comparación con un tratamiento convencional.

### IX.2 Fuerza de extensión de rodilla

La fuerza de extensión de rodilla fue analizada en cuatro artículos en los que se demostraron un aumento de la misma luego de realizado el tratamiento.

### IX.3 Fuerza de flexión de rodilla

La fuerza de flexión de rodilla se analizó en 3 artículos, los cuales demostraron que la terapia BFR genera aumentos en la fuerza.

### IX.4 Función autoinformada

Con respecto a la función autoinformada, se han utilizados cuestionarios como el IKDC, KOOS, Lysholm, en tres de los artículos analizados, demostrando un aumento significativo en varias medidas de función autoinformada utilizando la terapia BFR.

### **IX.5 Morfología del muslo**

Con respecto a la morfología del muslo, en dos artículos se ha evaluado el grosor del musculo cuádriceps y dando como resultado un aumento significativo en ambos casos. Además, en otro artículo se evaluó la circunferencia del muslo a 5 cm y 15 cm por encima de la rótula, demostrando un aumento de la circunferencia en ambas medidas utilizando BFR en comparación con el tratamiento convencional.

Por otro lado, en un estudio se evaluó la masa muscular magra del muslo, la cual demostró una disminución de post operatoria menor en el grupo que utilizo BFR en comparación al grupo control.

### **IX.6 Prueba de equilibrio.**

En 3 estudios se utilizó el Y Balance Test para evaluar el equilibrio del paciente y demostraron aumentos significativos con BFR.

## **X. Conclusión**

La debilidad del cuádriceps, posterior a la cirugía de reconstrucción del LCA, como ya hemos mencionado es una problemática que aún no se resuelve con los programas de rehabilitación actuales, y la cual puede persistir de meses a años. A consecuencia de esta debilidad muscular, se podrían alterar las estrategias de movimiento y generar una nueva lesión en una instancia en la cual el paciente se encuentra realizando actividades deportivas o de la vida diaria.

Por lo tanto, el BFR se presenta como una herramienta innovadora y de mucha utilidad, que genera un aumento de la hipertrofia y la fuerza musculo esquelética en forma similar a un entrenamiento de alta carga. Incluso con una reducción aun mayor del dolor y la efusión de la articulación de la rodilla. Demostrando como resultado mejoras estadísticamente más rápidas, en variables como la fuerza muscular de los flexores y extensores de rodilla. Y adicionalmente, genero mejoras en cuanto al dolor, la función autoinformada de la rodilla, la morfología del muslo y el equilibrio. (73) (74) (75) (76) (77)

Por otro lado, al evaluar su eficacia luego de 2 a 5 años de realizada la cirugía de ACLR, el BFR dio resultados positivos, siendo una intervención efectiva para mejorar la función del cuádriceps luego de mucho tiempo de la ACLR. (75)

Por último, cuando se lo comparo al BFR con un tratamiento convencional, resultó ser más efectivo que el tratamiento convencional para mejorar la fuerza muscular, como la capacidad de equilibrio. (76) (78)

Es por ello, que el BFR resulta ser un método innovador y sumamente práctico para usarlo como herramienta terapéutica en nuestro accionar como kinesiólogos, la cual nos permitirá mitigar o inclusive suprimir la debilidad muscular del cuádriceps y obtener beneficios a nivel musculo esquelético, como a nivel funcional en aquellos pacientes adultos que se someten a la ACLR. Por otro lado, en el futuro se deberá seguir investigando acerca de sus beneficios y los protocolos de entrenamiento para los pacientes adultos que se sometan a ACLR.

## **XI. Referencia bibliográfica**

1. Gonçalves GA, Da Costa DA, Kanas M, Cohen CK, Cohen M. Anterior cruciate ligament injury: treatment and rehabilitation. Current perspectives and trends. Revista Brasileira de Ortopedia. 2012; 47: p. 191-196.
2. Siegel L, Vandenakker-Albanesse C, Siegel D. Anterior Cruciate Ligament Injuries: Anatomy, Physiology, Biomechanics, and Management. Clin J Sport Med. 2012; 22(4).
3. Kohn L, Rembeck E, Humo A. Lesion del ligamento cruzado anterior en adultos. Ortopedista. 2020; 49: p. 1013-1028.
4. Ayala-Mejías , García-Estrada , Pérez-España A. Lesiones del ligamento cruzado anterior. Acta Ortopédica Mexicana. 2014; 28(1): p. 57-67.
5. Thomas AC, Wojtys M, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle Atrophy Contributes to Quadriceps Weakness after ACL Reconstruction. J Sci Med Sport. 2016.
6. Noyes RF, Barber-Westin SD, Sipes L. Blood Flow Restriction Training Can Improve Peak Torque Strength in Chronic Atrophic Postoperative Quadriceps and Hamstrings Muscles. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. 2021; 37(9).
7. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. Frontiers in Physiology. 2019; 10.
8. Rouviere H, Delmas A. Anatomía humana. Undécima edición ed. Barcelona: Elsevier Castellano; 2005.
9. Silverman F, Varaona O. Ortopedia y Traumatología. Segunda ed. Madrid: Panamericana; 2003.
10. Pró EA. Anatomía Clínica Pró. Segunda ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Medica Panamericana; 2014.

11. Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Anatomía y biomecánica del ligamento de la rodilla. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2020; 28(3): p. 80-86.
12. Markatos K, Kaseta MK, Lалlos SN, Korres DS, Efstathopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *European Journal of Orthopaedic Surgery y Traumatology.* 2013; 23: p. 747-752.
13. Failla MJ, Arundale AJH, Logerstedt DS, Snyder-Mackler L. Controversies in Knee Rehabilitation Anterior Cruciate Ligament Injury. *Clinics in Sports Medicine.* 2015; 34.
14. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clinics in Sports Medicine.* 2017; 36.
15. Acevedo Rj, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: Identification of risk factors and prevention strategies. *Current Sports Medicine.* 2014; 13(3): p. 186-191.
16. Labella CR, Hennrikus W, Hewett TE. Anterior cruciate ligament injuries: Diagnosis, treatment, and prevention. *Council on sports medicine and fitness, and section on orthopaedics.* 2014; 133(5).
17. Raines BT, Naclerio E, Sherman SL. Management of Anterior Cruciate Ligament Injury: What's In and What's Out? *Indian Journal of Orthopaedics.* 2017; 51(5): p. 563-575.
18. Stevens KJ, Dragoо JL. Anterior cruciate ligament tears and associated injuries. *Topics in Magnetic Resonance Imaging.* 2006; 17(5): p. 347-362.
19. Márquez Arabia JJ, Márquez Arabia H. Anterior cruciate ligament injuries. *Iatreia.* 2009; 22(3): p. 256-271.
20. Valderrama-Treviño I, Granados-Romero J, Rodriguez CA, Barrera-Mera B, Contreras-Flores EH, Uriarte-Ruiz K. Lesión del ligamento cruzado anterior. *Orthotips.* 2017; 13(4): p. 160-168.
21. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology.* 2019; 33(1): p. 33-47.
22. Brotzmann BS, Manske C. *Rehabilitación ortopédica clínica: Elsevier;* 2012.
23. Eitzen I, Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg A. A Progressive 5-Week Exercise Therapy Program Leads to Significant Improvement in Knee Function Early After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2010; 40(11): p. 705-721.
24. Wilk KE, Arrigo CA. Rehabilitation Principles of the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knee. *Clinics in Sports Medicine.* 2017; 36(1).

25. Rahhenemai-Azar AA, Sabzevari S, Irarrázaval S, Chao T, Fu FH. Anatomical Individualized ACL Reconstruction. *The archives of bone and joint surgery*. 2016; 4(4): p. 291-297.
26. Paschos NK, Howell M. Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment. *Efort open reviews*. 2016; 1(11).
27. Jae-Ho Y, Seung-Pyo E, Dong-Ho P, Hyo-Bum K, Eunwook C. The Effects of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Individual Quadriceps Muscle Thickness and Circulating Biomarkers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019; 16(24).
28. Lepley AS, Grooms DR, Burland JP, Kinsella-Shaw JM, Lepley LK. Quadriceps muscle function following anterior cruciate ligament reconstruction: systemic differences in neural and morphological characteristics. *Experimental Brain Research*. 2019; 237(5): p. 1267-1278.
29. Pamukoff DN, Pietrosimone BG, Ryan ED, Lee R, Blackburn TJ. Quadriceps Function and Hamstrings Co-Activation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic training*. 2017; 52(5): p. 422-428.
30. Wilkinson G, Donnenweth JJ, Peterson AR. Use of Blood Flow Restriction Training for Postoperative Rehabilitation. *Current Sports Medicine*. 2019; 18(6): p. 224-228.
31. [https://kaatsu.com/?action=c3.quick\\_start](https://kaatsu.com/?action=c3.quick_start). [Online]; 2023. Acceso 15 de Enero de 2023. Disponible en: <https://kaatsu.com/?action=home.home>.
32. Yoshiaki. The history and future of KAATSU Training. *International Journal of Kaatsu Training Research*. 2005; 1(1): p. 1-5.
33. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health*. 2019; 11(2): p. 149-156.
34. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven MC. Improving Strength and Power in Trained Athletes. *Human Kinetics*. 2014; 9(1): p. 166-172.
35. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A Mechanistic Approach to Blood Flow Occlusion. *International Journal of Sports Medicine*. 2010; 31(1).
36. Pozzi de castro FM, Aquino R, Berti júnior JA, Cruz Goncalvez G, Puggina EF. Strength training with vascular occlusion: a review of possible adaptative mechanisms. *Human Movement*. 2017; 18(2): p. 3-14.
37. Takano H, Lida H, Kato M, Uno K, Hirose K, Matsumoto A, et al. Effects of low-intensity “KAATSU” resistance exercise on hemodynamic and growth hormone responses. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2005; 1(1): p. 13-18.

38. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *The American Physiological Society*. 2000; 88(1).
39. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *The American Physiological Society*. 2007; 103(3).
40. Loenneke JP, Fahs CA, Wilson JM, Bembien MG. Blood Flow Restriction: The Metabolite/Volume Threshold Theory. *Medical Hypotheses*. 2011; 77(5): p. 748-752.
41. Sato Y, Ishii N, Nakajima T, Abe T. *KAATSU TRAINING Theoretical and Practical Perspectives*: Kodansha Scientific; 2007.
42. Mourser JG, Dankel SJ, Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Counts BR, et al. A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*. 2017; 117(7): p. 1493-1499.
43. Laurentino C, Loenneke JP, Teixeira EL, Nakajima E, Iared W, Tricoli V. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016; 48(5): p. 920-925.
44. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Medicine*. 2015; 45: p. 313-325.
45. Laurentino GC, Loenneke JP, Mouser JG, Buckner SL, Counts BR, Dankel SJ. Validity of the Handheld Doppler to Determine Lower-Limb Blood Flow Restriction Pressure for Exercise Protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020; 34(9): p. 2693-2696.
46. Loenneke JP, Allen KM, Mouser JG, Thiebaud RS, Kim D, Abe T, et al. Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology*. 2015; 115(2).
47. Cirilo-Sousa DS, Lemos JB, Poderoso R, Targino de Araújo C, Aniceto RR, Galvao Pereira PM, et al. PREDICTIVE EQUATION FOR BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING. *Revista brasileira de medicina do esporte*. 2019; 25(6).
48. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. PRACTICAL BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING INCREASES ACUTE DETERMINANTS OF HYPERTROPHY WITHOUT INCREASING INDICES OF MUSCLE DAMAGE. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013; 27(11): p. 3068-3075.
49. Gundermann M, Christopher FS, Dickinson JM, Walker DK, Timmerman KL, Drummond MJ, et al. Reactive hyperemia is not responsible for stimulating muscle protein synthesis following blood flow restriction exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2012; 112(9).

50. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Journal of Sports Sciences*. 2017; 32(1).
51. De Queiros VS, Dantas M, Neto R, Da Silva LF, Assis G, Almeida-Neto PF, et al. Application and side effects of blood flow restriction technique: A cross-sectional questionnaire survey of professionals. *Medicine*. 2021; 100(18).
52. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Sato Y, et al. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2006; 2(1).
53. Vieira A, Gadelha AB, Ferreira- Junior JB, Vieira CA, Cadore EL, Wagner DR, et al. Session rating of perceived exertion following resistance exercise with blood flow restriction. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2014; 35(5): p. 323-327.
54. May AK, Brandner CR, Warmington SA. Hemodynamic responses are reduced with aerobic compared with resistance blood flow restriction exercise. *Physiological Reports*. 2017; 5(3).
55. Brandner CR, Warmington SA. Delayed Onset Muscle Soreness and Perceived Exertion After Blood Flow Restriction Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017; 31(11): p. 3101-3108.
56. Hollander DB, Reeves G, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, Kraemer RR. Partial Occlusion During Resistance Exercise Alters Effort Sense and Pain. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010; 24(1): p. 235-243.
57. Umbel JD, Hoffman RL, Dearth JD, Chleboun SG, Manini TM, Clark BC. Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2009; 107(6).
58. Thiebaud RS, Yasuuda T, Loenneke JP, Abe T. Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine and Applied Science*. 2013; 5(2).
59. Clark B, Manini TM. Can KAATSU Exercise Cause Rhabdomyolysis? *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2017; 27(1).
60. Iversen E, Rostad V. Low-Load Ischemic Exercise-Induced Rhabdomyolysis. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2010; 20(3).
61. Tabata S, Suzuki Y, Azuma K, Matsumoto H. Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016; 30(7): p. 2064-2068.
62. Thompson K, Slysz JT, Burr JF. Risks of Exertional Rhabdomyolysis With Blood Flow–Restricted Training: Beyond the Case Report. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2018; 28(6): p. 491-492.

63. Nakajima T, Morita T, Sato Y. Key considerations when conducting KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2011; 7(1).
64. Yasuada T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2010.
65. Abe T, Yasuada T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2005; 1(1).
66. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozari H, Ogasawara R, et al. Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO<sub>2</sub>MAX in Young Men. *Journal of sports science & medicine*. 2010; 9(3).
67. Abe T, Sakami M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, et al. Effects of Low-Intensity Walk Training With Restricted Leg Blood Flow on Muscle Strength and Aerobic Capacity in Older Adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2010; 33(1).
68. Abe T, Charles KF, Yoshiaki S. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of Applied Physiology*. 2006; 100(5).
69. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000; 32(12): p. 2035-2039.
70. Kubota A, Sakuraba K, Koh S, Ogura Y, Tamura Y. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *Journal of Science and Medicine Sport*. 2011; 14(2): p. 95-99.
71. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of Disuse Muscular Weakness by Restriction of Blood Flow. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008; 40(3): p. 529-534.
72. Barbalho M, Rocha AC, Seus TL, Raiol R, Del Vecchio B, Coswig VS. Addition of blood flow restriction to passive mobilization reduces the rate of muscle wasting in elderly patients in the intensive care unit: a within-patient randomized trial. *Clinical Rehabilitation*. 2018; 33(2): p. 233-240.
73. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Medicine*. 2019; 49(11).
74. Vieira de Melo RF, Komatsu R, Freitas M, Vieira de melo E, Cohen M. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow

- Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022; 54.
75. Kilgas MA, Lytle LLM, Drum SN, Elmer SJ. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *International Journal of Sports Medicine*. 2019; 40(10).
  76. Doo-Hwan K, Won-Sang J, Sang-Jin Y, Jin-Goo K, Hun-Young P, Jisu K. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Blood Flow Restriction in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(22).
  77. Lambert B, Hedt CA, Jack RA, Moreno M, Delgado D, Harris JD, et al. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2019; 7(3).
  78. Ahn JH, Lee SH. Risk factors for knee instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. Knee Surg Sports Traumatol arthrosc*. 2015; 24: p. 2936-2942.
  79. Noyes FR. *Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes España*: Elsevier España; 2017.
  80. Iversen E, Rostad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of sport and Health Science*. 2016; 5(1): p. 115-118.
  81. Otha H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 2003; 74(1).

## XII. Anexo

### Protocolo primario

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities**

	POSTOPERATIVE WEEKS					POSTOPERATIVE MONTHS			
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-12	4	5	6	7-12
Brace: immobilizer for patient comfort	X	(X)							
Range-of-motion minimum goals:									
0-110 degrees	X								
0-120 degrees		X							
0-135 degrees			X						
Weight bearing:									
50% body weight	X								
100% body weight		X							
Patella mobilization	X	X	X						
Modalities:									
EMS	X	X	X						
Pain/edema management (cryotherapy)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Stretching: hamstring, gastrocnemius-soleus, iliotibial band, quadriceps	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Strengthening:									
Quadriceps isometrics, straight-leg raises, active knee extension	X	X	X	X					
Closed-chain: gait retraining, toe raises, wall-sits, mini-squats	X	X	X	X	X				
Knee flexion hamstring curls (90 degrees)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Knee extension quadriceps (90-30 degrees)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hip abduction-adduction, multihip	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Leg press (70-10 degrees)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Balance/proprioceptive training:									
Weight shifting, cup walking, Biodex Balance System	X	X	X	X					
Biodex Balance System, Biomechanical Ankle Platform System, perturbation training, balance board, minitrampoline				X	X	X	X	X	
Conditioning:									
UBC	X	X	X						
Bike (stationary)		X	X	X	X	X	X	X	X
Aquatic program		X	X	X	X	X	X	X	X
Swimming (kicking)				X	X	X	X	X	X
Walking				X	X	X	X	X	X
Stair-climbing machine			X	X	X	X	X	X	X
Ski machine			X	X	X	X	X	X	X
Elliptical machine				X	X	X	X	X	X
Running: straight					X	X	X	X	X
Cutting: lateral carioca, figure-eights						X	X	X	X
Plyometric training						X	X	X	X
Full sports							X	X	X

#### PHASE 1: WEEKS 1-2

##### General Observation

- 50% weight bearing with two crutches when:
- Postoperative pain controlled
  - Hemarthrosis controlled
  - Voluntary quadriceps contraction achieved

##### Factors Evaluated (Goal)

- Pain (controlled)
- Hemarthrosis (mild)
- Patellar mobility (good)
- ROM (minimum, 0-110 degrees)
- Quadriceps contraction and patella migration (good)
- Soft tissue contracture (none)
- Joint arthrometry day 14 (<3 mm)

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 1: WEEKS 1-2</b>		
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	3-4 x/day, 10 min	
Passive (0-90 degrees)		
Patella mobilization		
Ankle pumps (plantar flexion with resistance band)		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches		5 reps x 30 sec each
<b>Strengthening</b>	3 x/day, 15 min	
Straight-leg raises (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets x 10 reps
Active quadriceps isometrics (full extension)		1 set x 10 reps
Knee flexion (active, 0-90 degrees)		3 sets x 10 reps
Knee extension (active assisted, 90-30 degrees)		3 sets x 10 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets x 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets x 10 reps
Closed-chain: minisquats (0-45 degrees, 50% weight bearing)		3 sets x 20 reps
<b>Balance Training</b>	3 x/day, 5 min	
Weight shift side-side and forward-back		5 sets x 10 reps
<b>Aerobic Conditioning</b>		
UBC	1-2 x/day, 5 min	
<b>Modalities</b>	As required	
EMS		20 min
Cryotherapy		20 min
<b>Goals</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM 0-110 degrees</li> <li>• Adequate quadriceps contraction</li> <li>• Control inflammation and effusion</li> <li>• 50% weight bearing</li> </ul>	
<b>PHASE 2: WEEKS 3-4</b>		
<b>General Observation</b>	Full weight bearing with one crutch when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain controlled without narcotics</li> <li>• Effusion controlled</li> <li>• ROM 0-100 degrees</li> <li>• Muscle control throughout ROM</li> </ul>	
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Pain (mild) Effusion (mild) Patellar mobility (good) ROM (minimum, 0-120 degrees) Muscle control (3/5) Inflammatory response (none) Joint arthrometry, day 28, 20 lb (<3 mm)	
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	3-4 x/day, 10 min	
Passive (0-120 degrees)		
Patella mobilization		
Ankle pumps (plantar flexion with resistance band)		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches		5 reps x 30 sec each

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

PHASE 2: WEEKS 3-4		
Activity	Frequency	Duration
<b>Strengthening</b>	2-3 ×/day, 20 min	
Straight-leg raises (flexion, extension, adduction, abduction)		3 sets × 10 reps
Isometric training, multiangle (90, 60, 30 degrees)		1 set × 10 reps
Heel raise/toe raise		3 sets × 10 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension (active, 90-30 degrees)		3 sets × 10 reps
Closed-chain:		
Wall-sits		5 reps
Minisquats		3 sets × 20 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
<b>Balance Training</b>	3×/day, 5 min	
Weight shift side-side, forward-back		5 sets × 10 reps
Balance board, two legged		
Cup walking		
Single-leg stance (level surface)		5 reps
<b>Aerobic Conditioning</b>	2×/day, 5 min	
UBC		
Water walking		
Stationary bicycling (patellofemoral precautions)		
<b>Modalities</b>	As required	
EMS		20 min
Cryotherapy		20 min
<b>Goals</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM 0-125 degrees</li> <li>• Muscle control</li> <li>• Arthrometer within 3 mm</li> <li>• Control inflammation, effusion</li> <li>• 100% weight bearing</li> </ul>	
PHASE 3: WEEKS 5-6		
<b>General Observation</b>	Independent ambulation when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain controlled</li> <li>• Effusion controlled</li> <li>• ROM 0-120 degrees</li> <li>• Muscle control throughout ROM</li> </ul>	
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Pain (no CRPS) Effusion (minimal) Patellar mobility (good) ROM (0-135 degrees) Muscle control (4/5) Inflammatory response (none) Gait, symmetric	
Activity	Frequency	Duration
<b>ROM</b>	3 ×/day, 10 min	
ROM passive (0-135 degrees)		
Patella mobilization		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches		5 reps × 30 sec

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 3: WEEKS 5-6</b>		
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>Strengthening</b>	1-2 ×/day, 20 min	
Straight-leg raises (ankle weight, <10% of body weight)		3 sets × 10 reps
Straight-leg raises with rubber tubing		3 sets × 10 reps
Isometric training, multiangle (90, 60, 30 degrees)		2 sets × 10 reps
Heel raise/toe raise		3 sets × 20 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension (90-30 degrees, with resistance)		3 sets × 10 reps
Closed-chain:		
Wall-sits		5 reps
Minisquats		3 sets × 20 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Balance board, two legged		
Lateral step-ups, 2- to 4-inch block		
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Precautions)</b>	2 ×/day, 10 min	
UBC		
Water walking		
Stationary bicycling		
Stair machine (low resistance and stroke)		
Ski machine (short strike and level, low resistance)		
<b>Modalities</b>	As required	
EMS		20 min
Cryotherapy		20 min
<b>Goals</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROM 0-135 degrees</li> <li>• Control inflammation and effusion</li> <li>• Recognition of complications (motion loss, CRPS, increased anteroposterior displacement)</li> <li>• Muscle endurance</li> <li>• Recognition of patellofemoral changes</li> <li>• Full weight bearing, normal gait</li> </ul>	
<b>PHASE 4: WEEKS 7-8</b>		
<b>General Observation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No effusion</li> <li>• Painless ROM (0-135 degrees)</li> <li>• Joint stability</li> <li>• Performs activities of daily living</li> <li>• Full weight bearing</li> <li>• Can walk 20 min without pain</li> </ul>	
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Manual muscle test (hamstrings, quadriceps, all hip muscles: 4/5) Swelling (none) Joint arthrometry, 8 weeks (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight)	

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 4: WEEKS 7-8</b>		
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b> Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches	2 ×/day, 10 min	5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b> Straight-leg raises, rubber tubing Hamstring curls (active, 0-90 degrees) Knee extension with resistance (90-30 degrees) Leg press (70-10 degrees) Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction) Closed-chain: Wall-sits Minisquats Dynamic hip and core program	1-2 ×/day, 20 min	3 sets × 30 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps 5 reps 3 sets × 20 reps
<b>Balance Training</b> Balance board, two legged Single-leg stance Resistance band walking PlyoBack ball toss Perturbation training	3 ×/day, 5 min	
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Precautions)</b> Stationary bicycling Water walking Swimming (straight-leg kicking) Walking Stair machine (low resistance and stroke) Ski machine (short stride and level, low resistance) Elliptical machine (low resistance)	1-2 ×/day, 15-20 min	
<b>Modalities</b> Cryotherapy	As required	20 min
<b>Goals</b>	Increase strength and endurance	
<b>PHASE 5: WEEKS 9-12</b>		
<b>General Observation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No effusion, painless ROM (0-135 degrees), joint stability</li> <li>• Performs ADLs, can walk 20 min without pain</li> <li>• Full weight bearing</li> </ul>	
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Manual muscle test (4/5) Isometric test, 12 weeks, mean average torque/% deficit in quadriceps and hamstrings (30%) Swelling (none) Joint arthrometry, 12 weeks (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight)	

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 5: WEEKS 9-12</b>		
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b> Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches	2 x/day, 10 min	5 reps x 30 sec
<b>Strengthening</b> Straight-leg raises with rubber tubing Hamstring curls (active, 0-90 degrees) Knee extension with resistance (90-30 degrees) Leg press (70-10 degrees) Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction) Closed-chain: Wall-sits Minisquats Lateral step-ups (2- to 4-inch block) Dynamic hip and core program	2 x/day, 20 min	3 sets x 30 reps 3 sets x 10 reps 3 sets x 10 reps 3 sets x 10 reps 3 sets x 10 reps 5 reps 3 sets x 20 reps 3 sets x 10 reps
<b>Balance Training</b> Balance board, two legged Single-leg stance Resistance band walking PlyoBack ball toss Perturbation training	3 x/day, 5 min	
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Precautions)</b> Stationary bicycling Walter walking Swimming (kicking) Walking Stair machine (low resistance and stroke) Ski machine (short stride and level, low resistance) Elliptical machine (low resistance)	3 x/wk, 15-20 min	
<b>Running Program (Straight)</b> Jog Walk Backward walk	3 x/wk, 10 min	¼ mile ½ mile 20 yards
<b>Modalities</b> Cryotherapy	As required	20 min
<b>Goals</b>	Increase strength and resistance	
<b>PHASE 6: WEEKS 13-26</b>		
<b>General Observation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No effusion</li> <li>• Painless ROM</li> <li>• Joint stability</li> <li>• Performs ADLs</li> <li>• Can walk 20 min without pain</li> </ul>	

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 6: WEEKS 13-26</b>		
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Isokinetic test (isometric + torque 300 degrees/sec, % difference in quadriceps and hamstrings, tested monthly) Swelling (none) Joint arthrometry (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight) Single-leg function tests (hop distance, timed hop, % difference between involved and noninvolved side)	
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	2 ×/day, 10 min	
Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches		5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b>	1 ×/day, 20-30 min	
Straight-leg raises, rubber tubing (high speed)		3 sets × 30 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension with resistance (90-30 degrees)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		
Dynamic hip and core program		
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Balance board, two legged to single legged		
Single-leg stance on unstable platform		
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Cautions)</b>	3 ×/wk, 20-30 min	
Stationary bicycling		
Water walking		
Swimming (kicking)		
Walking		
Stair machine (low resistance and stroke)		
Ski machine (short stride and level, low resistance)		
Elliptical machine (low resistance)		
<b>Running Program (Straight)</b>	3 ×/wk, 15-20 min	
Jog (progress speed from 1/2 to 3/4 to full)		1/4 to 1 mile
Walk		1/8 mile
Backward run		20 yards
<b>Cutting Program (Lateral, Carioca, Figure-Eights)</b>	3 ×/wk	20 yards
<b>Functional Training</b>	3 ×/wk	
Plyometric training (box hops, level, double leg)		15 sec, 4-6 sets
Sport-specific drills		
<b>Modalities</b>	As required	
Cryotherapy		20 min
Goals	Increase strength and endurance	
<b>PHASE 7: WEEKS 27-52</b>		
<b>General Observation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No effusion</li> <li>• Painless ROM</li> <li>• Joint stability</li> <li>• Performs ADLs</li> <li>• Can walk 20 min without pain</li> </ul>	

**TABLE 11-2 Cincinnati SportsMedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Early Return to Strenuous Activities—cont'd**

<b>PHASE 7: WEEKS 27-52</b>		
<b>Factors Evaluated (Goal)</b>	Isokinetic test (torque at 180 and 300 degrees/sec, % difference in quadriceps and hamstrings, tested quarterly; isometric if symptomatic patellofemoral joint) (10%-15%) Swelling (none) Joint arthrometry (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight) Single-leg functional test (hop distance, timed hop, % difference between noninvolved and involved side) (≤15%)	
<b>Activity</b>	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	2 ×/day, 10 min	
Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches		5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b>		
Straight-leg raises, rubber tubing (high speed)	3-4 ×/wk, 20-30 min	3 sets × 30 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		1-2 sets × 8-12 reps
Knee extension with resistance (90-30 degrees)		1-2 sets × 8-12 reps
Leg press (70-10 degrees)		1-2 sets × 8-12 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		1-2 sets × 8-12 reps
Dynamic hip and core program		
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Balance board, two legged to single legged		
Single-leg stance on unstable platform with secondary activity		
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Precautions)</b>	3 ×/wk, 20-30 min	
Stationary bicycling		
Water walking		
Swimming (kicking)		
Walking		
Stair machine (low resistance and stroke)		
Ski machine (short stride and level, low resistance)		
<b>Running Program (Straight)</b>	3 ×/wk, 20 min	
Interval training		20, 40, 60, 100 yards
Walk/rest phase (3:1 rest/work)		20 yards
Backward run		20 yards
<b>Cutting Program (Lateral, Carioca, Figure-Eights)</b>	3 ×/wk	20 yards
<b>Functional Training</b>	3 ×/wk	
Plyometric training (box hops, level, double leg)		15 sec, 4-6 sets
Sport-specific drills		
<b>Modalities</b>	As required	
Cryotherapy		20 min
Goals	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase function, strength, and endurance</li> <li>• Return to previous activity level</li> </ul>	

## Protocolo secundario

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees**

	POSTOPERATIVE WEEKS					POSTOPERATIVE MONTHS			
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-12	4	5	6	7-12
Brace: postoperative and functional	X	X	X	X	(X)			X	X
<b>ROM Minimum Goals</b>									
0-90 degrees	X	X							
0-120 degrees			X						
0-135 degrees				X					
<b>Weight Bearing</b>									
Toe touch	X								
25%-50% body weight		X							
75%-100% body weight			X						
<b>Patella Mobilization</b>									
	X	X	X	X					
<b>Modalities</b>									
EMS	X	X	X	X					
Pain/edema management (cryotherapy)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Stretching</b>									
Hamstring, gastrocnemius-soleus, iliotibial band, quadriceps	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Strengthening</b>									
Quad isometrics, quadriceps-hamstrings isometrics, cocontraction, straight-leg raises, active knee extension	X	X	X	X	X				
Closed-chain: gait retraining, toe raises, wall-sits, minisquats	X	X	X	X	X	X			
Knee flexion hamstring curls (90 degrees)			X	X	X	X	X	X	X
Knee extension quads (90-30 degrees)			X	X	X	X	X	X	X
Hip abduction-adduction, multihip			X	X	X	X	X	X	X
Leg press (70-10 degrees)			X	X	X	X	X	X	X
<b>Balance/Proprioceptive Training</b>									
Weight shifting, cup walking	X	X	X	X	X				
BBS, BAPS, perturbation training, balance board, minitrampoline					X	X	X	X	X
<b>Conditioning</b>									
UBC		X	X	X					
Stationary bike			X	X	X	X	X	X	X
Aquatic program			X	X	X	X	X	X	X
Elliptical machine				X	X	X	X	X	X
Swimming (kicking)					X	X	X	X	X
Walking					X	X	X	X	X
Stair-climbing machine				X	X	X	X	X	X
Ski machine				X	X	X	X	X	X
Running: straight								X	X
Cutting: lateral carioca, figure-eights									X
Plyometric training									X
Full sports activities									X
<b>PHASE 1: WEEKS 1 TO 2</b>									
<b>General Observation</b>	Toe-touch weight bearing to 25% body weight when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain is controlled</li> <li>• Hemarthrosis is controlled</li> <li>• Voluntary quadriceps contraction is achieved</li> <li>• 0 degrees extension</li> </ul>								

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 1: WEEKS 1 TO 2</b>		
<b>Evaluation (Goal)</b>	Pain (controlled) Hemarthrosis (mild) Patellar mobility (good) ROM (minimum 10-80 degrees) Quadriceps contraction and patella migration (good) Soft tissue contracture (none)	
<b>Goals</b>	ROM (depends on procedure) Adequate quadriceps contraction Control of inflammation, effusion	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	3-4 ×/day, 10 min	
ROM passive		
Meniscus repair (complex), MCL, revision, EA = 0-90 degrees		
Patellar realignment = 0-75 degrees		
Posterolateral procedure = 0-90 degrees (unless examination shows hyperelastic tissue type, then hold 15-70 degrees for 2 wk postoperative)		
Patella mobilization		
Ankle pumps (plantar flexion with resistance band)		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches	5 reps × 30 sec	
<b>Strengthening</b>	3 ×/day, 15 min	
Straight-leg raises (flexion)	3 sets × 10 reps	
Active quadriceps isometrics (based on ROM limits)	1 set × 10 reps	
Knee extension (active assisted)	3 sets × 10 reps	
<b>Modalities</b>	As required	
EMS	20 min	
Cryotherapy	20 min	
<b>PHASE 2: WEEKS 3 TO 4</b>		
<b>General Observation</b>	50% weight bearing when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain is controlled</li> <li>• Hemarthrosis is controlled</li> <li>• Voluntary quadriceps contraction is achieved</li> </ul>	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Pain (controlled) Effusion (mild) Patellar mobility (good) ROM (minimum 0-90 degrees) Quadriceps contraction and patella migration (good) Soft tissue contracture (none) Joint arthrometry, 3 wk, 20 lb (<3 mm)	
<b>Goals</b>	ROM (0-110 degrees) Control of inflammation, effusion Adequate quadriceps contraction 50% weight bearing	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	3-4 ×/day, 10 min	
ROM passive (0-90 degrees)		
Patella mobilization		
Ankle pumps (plantar flexion with resistance band)		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches	5 reps × 30 sec	

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 2: WEEKS 3 TO 4</b>		
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>Strengthening</b>	2-3 x/day, 20 min	
Straight-leg raises (flexion, extension, adduction, abduction)		3 sets x 10 reps
Isometric training:		
Multiangle (0, 60 degrees)		1 set x 10 reps
Active quadriceps (full extension)		
Quadriceps/hamstring co-contraction with EMS		
Toe raises/heel raises		3 sets x 10 reps
Knee extension (90-45 degrees, no resistance)		3 sets x 10 reps
Knee flexion (active, 0-90 degrees)		3 sets x 10 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets x 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets x 10 reps
Closed-chain:		
Minisquats (0-45 degrees, 50% weight bearing)		3 sets x 20 reps
Wall-sits		To fatigue
Wall-sits with EMS		
<b>Aerobic Conditioning</b>	2 x/day, 10 min	
UBC		
<b>Modalities</b>	As required	
EMS		20 min
Cryotherapy		20 min
<b>PHASE 3: WEEKS 5 TO 6</b>		
<b>General Observation</b>	Full weight bearing when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain is controlled without narcotics</li> <li>• Effusion is controlled</li> <li>• ROM 0-100 degrees</li> <li>• Muscle control throughout ROM</li> <li>• Dynamic control of varus/valgus</li> </ul>	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Pain (mild) Effusion (minimal) Patellar mobility (good) ROM (0-120 degrees) Muscle control (3/5) Inflammatory response (none) Joint arthrometry, 6 wk, 30 lb (<3 mm)	
<b>Goals</b>	ROM (0-125 degrees) Control of inflammation, effusion Muscle control Full weight bearing Early recognition of complications (motion loss, CRPS, increased anteroposterior displacement, patellofemoral changes)	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	3 x/day, 10 min	
ROM passive (0-120 degrees)		
Patella mobilization		
Ankle pumps (plantar flexion with resistance band)		
Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches		5 reps x 30 sec

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 3: WEEKS 5 TO 6</b>		
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>Strengthening</b>	1-2 ×/day, 20 min	
Straight-leg raises (ankle weight, <10% body weight)		3 sets × 10 reps
Isometric training: multiangle (90, 60, 30 degrees)		2 sets × 10 reps
Heel raise/toe raise		3 sets × 20 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension (90-45 degrees, with resistance)		3 sets × 10 reps
Closed-chain:		
Wall-sits		To fatigue, 5 sets
Minisquats		3 sets × 20 reps
Lunge (no resistance)		
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Weight shift side-side and forward-backward		5 sets × 10 reps
Balance board, two legged		
Cup walking	1-2 ×/day, 5 min	
Single-leg stance on stable platform		5 reps
<b>Aerobic Conditioning</b>	2 ×/day, 10 min	
UBC		
Water walking		
Stationary bicycling (patellofemoral precautions)		
<b>Modalities</b>	As required	
EMS		20 min
Cryotherapy		20 min
<b>PHASE 4: WEEKS 7 TO 8</b>		
<b>General Observation</b>	Independent ambulation when: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain is controlled</li> <li>• Effusion is controlled</li> <li>• ROM 0-120 degrees</li> <li>• Muscle control throughout ROM</li> <li>• Dynamic control of varus/valgus</li> </ul>	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Pain (no CRPS) Effusion (minimal) Patellar mobility (good) ROM (0-135 degrees) Muscle control (4/5) Inflammatory response (none) Gait (symmetric) Joint arthrometry, 8 wk (<3 mm)	
<b>Goals</b>	ROM (0-135 degrees) Full weight bearing, normal gait Control of inflammation, effusion Muscle endurance Recognition of complications (motion loss, CRPS, increased anteroposterior displacement, patellofemoral changes)	

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 4: WEEKS 7 TO 8</b>		
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b> Hamstring, gastrocnemius-soleus stretches	2 ×/day, 10 min	5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b> Straight-leg raises (ankle weight, <10% body weight) Straight-leg raises with rubber tubing Isometric training: multiangle (90, 60, 30 degrees) Heel raise/toe raise Hamstring curls (active, 0-90 degrees) Knee extension (90-45 degrees, with resistance) Leg press (70-10 degrees) Closed-chain: Wall-sits Minisquats (rubber tubing, 0-30 degrees) Lunge Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction) Dynamic hip and core program	2 ×/day, 20 min	3 sets × 10 reps 3 sets × 30 reps 3 sets × 20 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps 3 sets × 10 reps  To fatigue ×3 3 sets × 20 reps  3 sets × 10 reps
<b>Balance Training</b> Balance board, two legged Lateral step-ups: 2- to 4-inch block	3 ×/day, 5 min	
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Cautions)</b> UBC Stationary bicycling Water walking Stair machine (low resistance and stroke) Ski machine (short stride and level, low resistance) Elliptical machine (low resistance)	2 ×/day, 10 min	
<b>Modalities</b> Cryotherapy	As required	20 min
<b>PHASE 5: WEEKS 9 TO 12</b>		
<b>General Observation</b>	Full weight bearing ROM 0-135 degrees No effusion, painless ROM, joint stability Performs ADLs, can walk 20 min without pain	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Manual muscle test (hamstrings, quadriceps, hip abductors/adductors/flexors/extensors) (4/5) Swelling (none) Joint arthrometry, 12 wk (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight)	
<b>Goals</b>	Increase strength and endurance	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b> Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches	2 ×/day, 10 min	5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b> Straight-leg raises with rubber tubing Hamstring curls (active, 0-90 degrees)	2 ×/day, 20 min	3 sets × 30 reps 3 sets × 10 reps

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 5: WEEKS 9 TO 12</b>		
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
Knee extension (90-45 degrees, with resistance)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
Closed-chain:		
Wall-sits		To fatigue ×3
Minisquats (rubber tubing, 0-40 degrees)		3 sets × 20 reps
Lunge		
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Dynamic hip and core program		
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Balance board, two legged		
Single-leg stance on unstable platform		
Perturbation program		
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Cautions)</b>	1-2 ×/day, 15-20 min	
Stationary bicycling		
Water walking		
Swimming (straight-leg kicking)		
Walking		
Stair machine (low resistance and stroke)		
Ski machine (short stride and level, low resistance)		
Elliptical machine (low resistance)		
<b>Modalities</b>	As required	
Cryotherapy		20 min
<b>PHASE 6: WEEKS 13 TO 26</b>		
<b>General Observation</b>	No effusion, painless ROM, joint stability Performs ADLs, can walk 20 min without pain ROM 0-135 degrees	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Isometric test (% difference in quadriceps and hamstrings) (30%) Swelling (none) Joint arthrometry (<3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight)	
<b>Goals</b>	Increase strength and endurance	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	2 ×/day, 10 min	
Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches		5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b>	2 ×/day, 20 min	
Straight-leg raises with rubber tubing (high speed)		3 sets × 30 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension (90-45 degrees, with resistance)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
Closed-chain:		
Wall-sits		To fatigue ×5
Minisquats		3 sets × 20 reps
Lateral step-ups (2- to 4-inch block)		3 sets × 10 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Dynamic hip and core program		

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

<b>PHASE 6: WEEKS 13 TO 26</b>		
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>Balance Training</b>	3 ×/day, 5 min	
Balance board, two legged		
Single-leg stance on unstable platform		
PlyoBack with ball toss		
Perturbation training		
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Cautions)</b>	3 ×/wk, 15-20 min	
Stationary bicycling		
Water walking		
Swimming (kicking)		
Walking		
Stair machine (low resistance and stroke)		
Elliptical machine (low resistance)		
<b>Running Program (6 Months, Straight, 30% Deficit Isometric Test)</b>	3 ×/wk, 10 min	
Jog (progress speed: ½ to ¾ to full)		¼ mile
Walk		⅝ mile
Backward run		20 yards
<b>Modalities</b>	As required	
Cryotherapy		20 min
<b>PHASE 7: WEEKS 27 TO 52</b>		
<b>General Observation</b>	No effusion, painless ROM, joint stability Performs ADLs, can walk 20 min without pain	
<b>Evaluation (Goal)</b>	Isometric test (isometric + torque 300 degrees/sec, % difference in quadriceps and hamstrings) (10%-15%) Swelling (none) Joint arthrometry (3 mm) Patellar mobility (good) Crepitus (none/slight) Single-leg function tests (9 mo: hop distance, timed hop, % difference between noninvolved compared with involved side) (≤15%)	
<b>Goals</b>	Increase function, strength, and endurance Return to previous activity level	
	<b>Frequency</b>	<b>Duration</b>
<b>ROM</b>	2 ×/day, 10 min	
Hamstring, gastrocnemius-soleus, quadriceps, ITB stretches		5 reps × 30 sec
<b>Strengthening</b>	1 ×/day, 20-30 min	
Straight-leg raises with rubber tubing (high speed)		3 sets × 30 reps
Hamstring curls (active, 0-90 degrees)		3 sets × 10 reps
Knee extension (90-45 degrees, with resistance)		3 sets × 10 reps
Leg press (70-10 degrees)		3 sets × 10 reps
Multihip machine (flexion, extension, abduction, adduction)		3 sets × 10 reps
Dynamic hip and core program		

**TABLE 11-7 Cincinnati Sportsmedicine & Orthopaedic Center Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Revision Knees, Allografts, and Complex Knees—cont'd**

PHASE 7: WEEKS 27 TO 52		
	Frequency	Duration
<b>Balance Training</b> Balance board, two legged Single-leg stance on unstable platform with secondary activity Perturbation training	3 x/day, 5 min	
<b>Aerobic Conditioning (Patellofemoral Cautions)</b> Stationary bicycling Water walking Swimming (kicking) Walking Stair machine (low resistance and stroke) Elliptical machine (low resistance)	3 x/wk, 20-30 min	
<b>Running Program (Straight)</b> Jog: interval training Walk/rest phase (3:1 rest/work) Backward run	3 x/wk, 15-20 min	20, 40, 60, 100 yards 20 yards 20 yards
<b>Cutting Program (Lateral, Carioca, Figure-Eights, 20% Deficit Isokinetic Test)</b>	3 x/wk	20 yards
<b>Functional Training (10%-15% Deficit Isokinetic Test)</b> Plyometric training: box hops, level, double leg Sports-specific drills (10%-15% deficit isokinetic test)	3 x/wk	4-6 sets
<b>Modalities</b> Cryotherapy	As required	20 min

### Planilla para cálculo de presión de oclusión arterial (LOP)

<b>Fórmula 1</b> <b>PREDICTIVE EQUATION FOR BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING</b> María Do Socorro Cirillo- Sousa et al 2019	
<b>Formula</b>	$\text{LOP (mmHg)} = 65.290 + 1,110 (\text{Circunferencia de muslo en cm}) + 0,178 (\text{Presión Sistólica en mmHg}) + 1,153 (\text{edad en años}) + 7,984 (1 - \text{masculino} / 2 - \text{femenino})$

<b>Circunferencia del muslo</b>		cm
<b>Presión sistólica</b>		mmHg
<b>Edad</b>		años

<b>LOP Hombre (mmHg)</b>	100%	40%	80%
<b>LOP mujer (mmHg)</b>			

LOP: Limb Occlusion Pressure (Presión de oclusión de extremidades)

<b>Formula 2</b> <b>BLOOD FLOW RESTRICTION IN THE UPPER AND LOWER LIMBS</b> <b>IS PREDICTED BY LIMB CIRCUMFERENCE AND SYSTOLIC</b> <b>BLOOD PRESSURE</b> Loenneke, J et al 2014		
<b>Fórmula</b>	<b>MMSS</b>	LOP (mmHg)= 0,514 (Presión Sistólica) + 0,339 (Presión Diastólica) + 1,461 (Circunferencia de brazo) + 17,236
	<b>MMII</b>	LOP (mmHg) = 5.893 (Circunferencia muslo) + 0,734 (Presión Diastólica) + 0,912 (Presión Sistólica) – 220,046

	<b>MMSS</b>	<b>MMII</b>	
<b>Circunferencia</b>	31,1	51	cm
<b>Presión Sistólica</b>	126		mmHg
<b>Presión Diastólica</b>	74		

<b>LOP MMSS (mmHg)</b>	<b>100%</b>	<b>40%</b>	<b>80%</b>
	152,52	61,01	122,02
<b>LOP MMII (mmHg)</b>	249,73	124,86	199,78

## Información básica requerida para terapia de ejercicio BFR

Basic treatment information	Necessity of an exercise tolerance test	Other action
Subjective symptoms		
Chest pain / chest discomfort / palpitation / shortness of breath	Yes	
Dizziness / fainting / intermittent claudication	Yes	
Spondylosis symptoms / joint symptoms		Orthopedic examination and guidance
History of disorder		
Cardiovascular disease	Yes	
Orthopedic disorder		Orthopedic examination and guidance
Existence of lifestyle-related diseases		
High blood pressure	Assessed severity	
Diabetes	Assessed severity	
Hyperlipidemia	Assessed severity	
Obesity	Assessed severity	
Family medical history*		
Myocardial infarction and sudden deaths in first degree relatives	Yes	
Lifestyle habits		
Exercise / diet / smoking / alcohol		Lifestyle guidance
Resting electrocardiogram		
Myocardial infarction	Yes	
ST-T segment abnormality	Yes	
Ventricular arrhythmia	Yes	
Other important observations	Yes	

\* Antecedentes médicos familiares de enfermos relativamente jóvenes como padre o pariente varón de primer grado menor de 55 años o madre o pariente mujer de primer grado menor de 65 años que haya sufrido un infarto de miocardio y revascularización coronaria o hayan fallecido súbitamente.

## Indicaciones y contraindicaciones de la terapia de ejercicio BFR para enfermedades relacionadas con el estilo de vida.

Disease	Indication	Conditional indication	Contraindication
High blood pressure	140-159/90-94 mmHg	160-179/95-99 mmHg Men aged over 40 or women aged over 50 that are in treatment and don't have a contraindication value should undergo an exercise tolerance test if possible.	180/100 mmHg or more CTR of 55% or more visible on a chest roentgenogram Life-threatening arrhythmia or ischemic change shown by an electrocardiogram (excluding times when safety was confirmed by an exercise tolerance test) Uric protein of 100 mg/dl or hypertensive change in the fundus oculi (more than IIb)
Diabetes	Fasting blood glucose - 110 - 139 mg/dl	Fasting blood glucose - 140 - 249 mg/dl Men aged over 40 or women aged over 50 that are in treatment and don't have a contraindication value should undergo an exercise tolerance test if possible.	Fasting blood glucose – 250 mg/dl or more Urinary ketone body (+) Diabetic retinopathy (+)
Hyperlipidemia	TC : 220 - 249 mg/dl or TG : 150 - 299 mg/dl	TC: 250 mg/dl minimum or TG: 300mg/dl or more Men aged over 40 or women aged over 50 that are in treatment should undergo an exercise tolerance test if possible.	
Obesity	BMI : 24.0 - 29.9	BMI : 24.0 - 29.9 and lower limb joint damage Orthopedic examination and exercise restriction	BMI : 30 or more

CT: Colesterol Total; TG: Triglicéridos; IMC: Índice de Masa Corporal (peso corporal (kg) / altura (m)<sup>2</sup>)