

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría

Año 2026

Trabajo Final de Carrera (Tesis)

Efectos del entrenamiento preoperatorio, entrenamiento neuromuscular y entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Revisión narrativa.

Apellido y Nombre del Alumno: *Bautista Leiva*

Bautista.Leiva@alumnos.uai.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Apellido y Nombre del Tutor: *Alejandro González*

Alejandro.Gonzalez@uai.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

AGRADECIMIENTOS

Elijo incluir este apartado en el documento para dejar sentados mis agradecimientos a ciertas personas las cuales creo que merecen una mención.

Primero quiero agradecer a mi familia, los cuales fueron un pilar fundamental en mi día a día, tanto para la realización de este trabajo, como para todo mi desarrollo durante la cursada de la carrera. En segundo lugar, quiero hacer mención a algunas personas externas tanto a la facultad como a la kinesiología, que sin ningún compromiso y con muchísima bondad se ofrecieron a leer mi trabajo en varias ocasiones, y aconsejarme respecto a ello. Quiero agradecer a: la Lic. Herrera Loana, la Lic. Romagnolo Silvia, la Dra. Scrigni Adriana Vilma y la Dra. Sorokin Patricia.

Efectos del entrenamiento preoperatorio, entrenamiento neuromuscular y entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Revisión narrativa.

Effects of preoperative training, neuromuscular training, and blood flow restriction training on the rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction. A narrative review.

Autores: *Leiva B, González A.*

Resumen

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) representa una de las patologías más frecuentes en el ámbito deportivo, especialmente en atletas jóvenes. Se trata de una afección que implica desafíos funcionales significativos y un alto riesgo de recurrencia tras la cirugía. Frente a esta problemática, la presente investigación propone una revisión narrativa para evaluar los efectos tanto del entrenamiento preoperatorio, como del entrenamiento neuromuscular y el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo aplicados en la rehabilitación de una reconstrucción del LCA (RLCA). Con el objetivo de conocer si se optimiza la recuperación funcional y la fuerza muscular. La búsqueda bibliográfica se realizó a través de PubMed priorizando artículos entre los años 2010 y 2025, utilizando términos MESH y operadores booleanos. Se aplicaron filtros específicos para trabajar con estudios primarios. Se trabajó con un total de 11 artículos seleccionados que cumplieron con los criterios de inclusión, de cuyo análisis se pudo recolectar evidencia en torno a la fuerza del cuádriceps y la percepción autoinformada de la rodilla. Finalmente, se pudo evaluar el impacto de los planes de entrenamiento específicos antes y después de la RLCA en la recuperación funcional de los afectados.

Palabras clave: Ligamento cruzado anterior; prehabilitación; entrenamiento; entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo; fuerza muscular; entrenamiento neuromuscular; entrenamiento neurocognitivo

Abstract

Anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most frequent pathologies in sports, especially among young athletes. It is a condition that presents significant functional challenges and a high risk of recurrence after surgery. In response to this problem, the present research proposes a narrative review to evaluate the effects of preoperative training, neuromuscular training, and blood flow restriction training applied in the rehabilitation of an ACL reconstruction (ACL). The objective was to determine whether functional recovery and muscle strength are optimized. The literature search was conducted using PubMed, prioritizing articles published between 2010 and 2025, using MeSH terms and Boolean operators. Specific filters were applied to identify primary studies. A total of 11 selected articles met the inclusion criteria, and their analysis yielded evidence regarding quadriceps strength and self-reported knee perception. Finally, the impact of specific training plans before and after ACL reconstruction on the functional recovery of affected individuals was evaluated.

Keywords: Anterior cruciate ligament; prehabilitation; training; blood flow restriction training; muscle strength; neuromuscular training; neurocognitive training

INTRODUCCIÓN

Marco teórico

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las estructuras clave de la rodilla. Se encuentra dentro de la cápsula articular y va desde la parte distal del fémur hacia la meseta tibial, siguiendo un trayecto inferomedial. Junto con los demás elementos capsuloligamentosos y los músculos que rodean la articulación, se encarga de mantener la estabilidad frente a fuerzas de traslación y rotación (1). Desde un punto de vista anatómico, está formado por dos haces (el anteromedial y el posterolateral) que se tensan y se relajan según la posición de la rodilla (2). Su función principal es limitar el desplazamiento anterior de la tibia con respecto al fémur, principalmente cuando actúa el cuádriceps, ayudando así a conservar la congruencia articular y proteger estructuras como los meniscos (2).

La rotura del LCA es una lesión muy frecuente y con un impacto funcional considerable. Solo en Estados Unidos se reportan más de 200.000 casos por año, sobre todo en personas jóvenes y activas (3) (4) (5). Estas lesiones suelen producirse en el contexto deportivo, especialmente en disciplinas que implican desaceleraciones bruscas, cambios de dirección, saltos y aterrizajes, siendo los deportes de pivoteo los de mayor riesgo (4) (6). En las primeras horas o días, los pacientes suelen tener dolor, inflamación, sensación de inestabilidad y dificultad para realizar actividades de la vida cotidiana (3) (5) (7). Es común que esta lesión venga acompañada de daño a otras estructuras articulares, como los meniscos, el cartílago articular, contusiones óseas, y la más frecuente de todas, la afectación del ligamento colateral medial (8) (9).

Las lesiones del LCA pueden ser parciales o completas, aunque estas últimas son las más habituales. Por lo general, los mecanismos más típicos incluyen torsiones o desaceleraciones súbitas. Tanto en roturas parciales como completas puede aparecer inestabilidad (8) (9). A nivel muscular, la pérdida de fuerza, sobre todo del cuádriceps, es muy común debido a la atrofia y la inhibición artrogénica. Esto no solo afecta la función diaria, sino que aumenta el riesgo de nuevas lesiones, incluso en la rodilla contraria (10) (11) (12) (13). Muchos deportistas mantienen déficits de control neuromuscular aun después de haberse sometido a la reconstrucción y haber hecho su correspondiente rehabilitación (6) (14). También, es común que persistan alteraciones biomecánicas que con el tiempo favorezcan la aparición de osteoartritis precoz y limitaciones funcionales (7) (10) (12).

El tratamiento de la lesión del LCA puede abordarse de manera conservadora o mediante cirugía. La elección depende de la edad, el nivel de actividad, las expectativas del paciente y la presencia o no de lesiones asociadas. El manejo no quirúrgico se centra en una rehabilitación bien planificada, con especial énfasis en el fortalecimiento del cuádriceps y los isquiotibiales para compensar la inestabilidad provocada por la ausencia del ligamento (15). La reconstrucción quirúrgica, por su parte, es considerada el tratamiento de elección en

pacientes sintomáticos persistentes, especialmente en casos de lesiones no agudas y en aquellos con alta demanda funcional. Diversos estudios han demostrado que la reconstrucción ofrece mejores resultados clínicos, mayor estabilidad y una mejor calidad de vida relacionada con la salud en comparación con el manejo exclusivo mediante rehabilitación (3). En el caso de la cirugía, entre los injertos más utilizados se encuentran el autoinjerto hueso-tendón rotuliano-hueso (HTH), que brinda gran estabilidad, aunque puede generar dolor en la parte anterior de la rodilla; y el autoinjerto de isquiotibiales (STRI), que preserva la zona rotuliana, pero puede reducir la fuerza en dichos músculos. Los aloinjertos son otra alternativa, aunque en general presentan tasas de falla más elevadas (16).

A pesar de los avances quirúrgicos, los resultados funcionales dependen en gran medida de la calidad y especificidad de la rehabilitación, tanto previa como posterior a la intervención.

La rehabilitación es un pilar fundamental tanto en el manejo conservador como tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA), debe ser progresiva, adaptada a cada paciente y considerando aspectos físicos, biológicos y psicológicos (5). Esta debe considerar no solo las consecuencias de la lesión, sino también las deficiencias derivadas de la toma del injerto (5). En la fase inicial, se busca que el paciente logre una extensión completa de manera temprana, ir ganando grados de flexión de manera progresiva y la carga parcial de peso con un dispositivo de asistencia, retirando muletas al recuperar fuerza del cuádriceps. El uso breve de ortesis puede ayudar al control del dolor y limitar el rango de movimiento (ROM, según sus siglas en inglés), protegiendo el injerto (16). El fortalecimiento progresa con contracciones isométricas y ejercicios de cadena cinética cerrada, que pueden iniciarse con ángulos menores (45°-90°) para proteger el injerto y avanzar a ROM completo conforme este va pasando a través de su proceso de cicatrización (16). El entrenamiento neuromuscular/propioceptivo (equilibrio, superficies inestables, perturbaciones) comienza aproximadamente a las 2–4 semanas o al caminar sin muletas y es fundamental para la estabilidad dinámica y la protección del injerto (16). Correr suele iniciarse cuando hay ROM completo, derrame mínimo y fuerza de cuádriceps >80% (en comparación con el miembro inferior no lesionado), pudiendo pasar a campo alrededor de los 3-4 meses con progresión de velocidad y distancia (16). El entrenamiento específico del deporte se introduce entre semanas 17–20, y la decisión de vuelta al deporte (RTS, según sus siglas en inglés) se basa en tests de fuerza, potencia y estabilidad, además de la preparación psicológica del atleta (5) (16) (17). En deportistas que buscan el retorno a disciplinas que implican cambio de dirección tras la RLCA, se recomienda un mínimo de 9 meses de rehabilitación postoperatoria para la reducción de recaídas. Específicamente, se ha evidenciado que cada mes de extensión de la rehabilitación o de demora en el retorno al deporte (hasta el noveno mes) está asociado con una reducción del 51% en el riesgo de una segunda lesión (5).

En los últimos años se ha incrementado el interés por modalidades de entrenamiento complementarias o no tradicionales.

La evidencia disponible, aunque de calidad baja a moderada, respalda el uso del ejercicio tanto antes como después de la cirugía (17). Asimismo, se han identificado asimetrías modifi-

cables entre extremidades que predisponen a una nueva lesión, lo que ha motivado el diseño de programas de entrenamiento neuromuscular, como el entrenamiento de perturbación, con resultados alentadores en la prevención y optimización del postoperatorio (14). Otra línea de investigación es el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFRT, por sus siglas en inglés) (10). Aunque hay ensayos clínicos de buena calidad, los resultados no siempre son consistentes, en parte porque muchos estudios tienen muestras pequeñas y diseños heterogéneos (18). A ello se suma que muchos estudios presentan limitaciones metodológicas, lo que dificulta la extrapolación de los resultados a la práctica clínica (19).

En conjunto, si bien la literatura ha mostrado el potencial de distintas estrategias de entrenamiento en la rehabilitación del LCA, la mayoría de las revisiones disponibles abordan la rehabilitación de manera general, sin hacer hincapié en comparar y analizar específicamente los distintos tipos de entrenamiento utilizados. Este vacío en la literatura justifica la necesidad de la presente revisión, cuyo propósito es brindar mayor información sobre el rol del entrenamiento preoperatorio, el entrenamiento neuromuscular y el BFRT en el proceso de rehabilitación pre y postquirúrgica de la RLCA.

Justificación

La lesión del LCA y todo lo que implica su reconstrucción suele convertirse en un desafío clínico difícil. Aún con protocolos bien establecidos, muchos pacientes continúan presentando atrofia del cuádriceps y patrones de movimientos alterados que, en algunos casos, provocan un mayor riesgo de volver a lesionarse. La evidencia sugiere que aquellas estrategias no basadas en el ejercicio activo presentan una eficacia limitada para inducir cambios morfológicos y celulares significativos en el musculo cuádriceps tras una RLCA (10). Esto deja en claro la necesidad de incorporar estrategias de entrenamiento más específicas y mejor dirigidas.

En esta revisión narrativa se propone aportar información a ese vacío al caracterizar y sintetizar la evidencia primaria disponible sobre las distintas modalidades de entrenamiento, con el objetivo de ofrecer orientaciones aplicables a la práctica clínica y futuras líneas de investigación. Los principales beneficiarios de esta revisión serán tanto los pacientes (que podrán acceder a procesos de rehabilitación más efectivos) como los profesionales de la salud, quienes dispondrán de información científica sólida para optimizar su práctica clínica. En definitiva, los resultados encontrados en este estudio pueden tener el potencial de contribuir a una recuperación más completa y sostenida luego de una RLCA.

Pregunta de Investigación

Durante la rehabilitación de una RLCA, ¿Qué efectos tienen el entrenamiento preoperatorio, el entrenamiento neuromuscular y el BFRT sobre la fuerza del miembro afectado y la recuperación funcional de la rodilla?

Objetivo General

Explorar el rol del entrenamiento preoperatorio, entrenamiento neuromuscular y BFRT, en la rehabilitación pre y postquirúrgica de una RLCA, destacando sus aportes al proceso de recuperación funcional de la rodilla.

Objetivos Específicos

- Describir los métodos de entrenamiento preoperatorio, entrenamiento neuromuscular y BFRT reportados en la literatura considerando su dosificación, recursos empleados y etapa de la rehabilitación en que se aplican.
- Analizar los efectos fisiológicos de los programas de entrenamiento preoperatorio, entrenamiento neuromuscular y BFRT en la rehabilitación pre y postquirúrgica de una RLCA, según los resultados reportados en la literatura.

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos PubMed, utilizando la herramienta de búsqueda avanzada, además de la utilización de la escala PEDro para evaluar la calidad metodológica de los artículos. Para la construcción de la estrategia se combinaron palabras clave y términos MeSH, conectados mediante el operador booleano "AND" para acotar los resultados a estudios directamente relacionados con la temática de investigación. Se limitó la búsqueda a artículos solamente en inglés y/o español.

Palabras clave utilizadas:

- "Anterior Cruciate Ligament"
- "Exercise"
- "Rupture"
- "Preoperative"
- "Rehabilitation"
- "Benefits"

Términos MeSH empleados:

- "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"
- "Preoperative Period"
- "Anterior Cruciate Ligament Injuries"
- "Postoperative Period"
- "Neurocognitive Training"
- "Neuromuscular Training"

- “Blood Flow Restriction Exercise”

Posteriormente, se aplicaron filtros específicos de búsqueda para limitar los resultados a:

- Artículos publicados entre 2010 y 2025.
- Estudios primarios (ensayos clínicos, ensayos controlados aleatorizados, estudios experimentales).
- Diseños de investigación relevantes: *Clinical Trial*, *Randomized Controlled Trial*, *Meta-Analyses* (Las Metaanálisis y Revisiones Sistemáticas se consideraron para el marco teórico, pero se excluyeron del análisis final de resultados primarios).

En una primera instancia, la búsqueda arrojó aproximadamente 570 artículos relacionados con la temática. Tras la aplicación de los filtros específicos anteriormente mencionados y la selección según los criterios de inclusión, se identificaron 11 artículos primarios, que constituyen la base de la presente investigación. Sin embargo, dos de ellos corresponden a protocolos de investigación cuyos resultados fueron posteriormente publicados en artículos independientes. Por lo tanto, estos trabajos fueron considerados de manera complementaria, correspondiendo en total a 9 artículos originales.

Dichos artículos fueron seleccionados por su actualidad, lo que permite una cobertura completa del tema elegido para investigar. Esta selección final excluye las revisiones sistemáticas, enfocándose únicamente en la literatura primaria. La calidad metodológica fue evaluada en aquellos estudios con diseño de ensayo clínico aleatorizado. Los estudios con otros diseños metodológicos no fueron evaluados mediante esta escala.

Diseño del Estudio

El presente estudio consiste en una revisión narrativa que, para asegurar la actualidad y solidez del análisis, se fundamenta en una búsqueda estructurada y completa de la literatura primaria. Este modelo está orientado a analizar y describir la evidencia científica relacionada a los distintos tipos de entrenamiento utilizados en la rehabilitación pre y postquirúrgica de la RLCA.

Población de estudio

Al ser una revisión de la literatura, no se realizó una recolección directa de datos. En su lugar, se trabajó con la población analizada en los estudios incluidos en la presente revisión, los cuales fueron reportados en 11 artículos primarios. Los cuales incluyen sujetos físicamente activos que atravesaron procesos de rehabilitación, tanto antes como después de la RLCA. Para más información acerca de las características de la muestra de cada estudio visualizar la Tabla 1.

Criterios de Inclusión

- Artículos publicados a partir del año 2010 en adelante.

- Estudios disponibles en la base de datos académica PubMed
- Estudios que analicen intervenciones de entrenamiento en pacientes sometidos a RLCA, ya sea en fase preoperatoria, postoperatoria o ambas.
- Estudios realizados en poblaciones activas, sin restringirse exclusivamente a deportistas profesionales.
- Investigaciones que incluyan protocolos de ejercicio físico estructurado como parte de la rehabilitación (ej. fuerza, resistencia, propiocepción, BFR, etc.).

Criterios de Exclusión

- Estudios que incluyeran pacientes tratados con métodos conservadores, es decir, sin intervención quirúrgica.
- Artículos que abordaran tratamientos basados exclusivamente en agentes de fisioterapia (electroterapia, crioterapia, etc.) sin intervención mediante ejercicio.
- Estudios que incluyeran pacientes con antecedentes de ruptura previa del ligamento cruzado anterior.
- Artículos que no especificaran el tipo de entrenamiento aplicado o que no permitieran identificar claramente su enfoque rehabilitador.

RESULTADOS

Entrenamiento preoperatorio (prehabilitación)

Para este apartado, la búsqueda bibliográfica arrojó una cantidad limitada de estudios primarios centrados en la etapa previa a la cirugía y que coincidan con los criterios de selección de los artículos. El artículo seleccionado es un ensayo clínico aleatorizado de nivel de evidencia 1.

El protocolo de este ensayo consistió en un programa de 6 semanas de entrenamiento preoperatorio, con una frecuencia de 4 sesiones semanales, las cuales fueron divididas en 2 sesiones supervisadas en un gimnasio y 2 sesiones realizadas por el paciente en su domicilio. Participaron 20 pacientes a la espera de una RLCA, donde fueron divididos en dos grupos, un grupo que realizó los ejercicios preoperatorios y un grupo que mantuvo sus actividades habituales sin ningún programa de entrenamiento planificado (20). Para la evaluación de los resultados de este estudio se utilizaron: prueba de salto a una pierna, torque máximo de cuádriceps e isquiotibiales, escala de Cincinnati, análisis del área transversal (ASC) del músculo cuádriceps mediante resonancia magnética y biopsia muscular del vasto lateral, todo esto realizado antes de la operación y 12 semanas después (20).

El plan de entrenamiento hizo énfasis en el fortalecimiento de ambos miembros inferiores, con mayor importancia al músculo cuádriceps, mediante ejercicios de cadena cinemática abierta y cerrada con componentes excéntricos y concéntricos. La dosificación fue de 3 series de 12 repeticiones para cada ejercicio, incrementando entre un 10% y 15% el peso semana a semana (los pesos iniciales fueron determinados mediante la evaluación de 1RM para cada paciente y ejercicio). Las sesiones realizadas en el domicilio fueron hechas con bandas elásticas en reemplazo de los pesos y/o mancuernas (20). Además, se realizaron trabajos propioceptivos sobre cojín o bosu de estabilidad, progresando desde ejercicios con ojos abiertos y luego con ojos cerrados. Durante los ejercicios de cadena cinemática abierta,

los pacientes usaron una ortesis bloqueada a 20° de extensión. Después de la operación, todos los pacientes tuvieron sesiones de kinesiología convencionales (20).

A las 12 semanas de la cirugía se realizaron las evaluaciones correspondientes y se mostraron diferencias a favor del grupo de ejercicio. Las mediciones en las pruebas de salto y en la escala de Cincinnati modificada fueron ampliamente superiores en el grupo que realizó los ejercicios preoperatorios en comparación con el grupo que no (20). En cuanto a los cambios fisiológicos, el grupo de entrenamiento tuvo un aumento considerable en el ASC del cuádriceps y se observaron mayores marcadores de hipertrofia (aumento del ARN mensajero del factor de crecimiento insulínico tipo 1) y menores de atrofia (disminución del gen MuRF-1) en comparación con el grupo control (20). En cuanto a la fuerza del cuádriceps, el torque máximo aumentó en ambos miembros inferiores luego del programa de ejercicios, pero 12 semanas después de la operación hubo una gran disminución del mismo en el miembro inferior lesionado. Por otra parte, no se observaron diferencias en el torque máximo de los isquiotibiales ni antes ni después de la operación entre los dos grupos (20).

Entrenamiento de control neuromuscular y neurocognitivo

Para este bloque se analizaron 4 estudios, publicados en 5 artículos, ya que uno de los estudios incluidos cuenta con una publicación inicial de protocolo y una posterior publicación de resultados. Estos incluyen 3 intervenciones diferentes dentro de la rama de entrenamiento neuromuscular y neurocognitivo. Los protocolos de entrenamiento que se utilizaron en estos estudios tuvieron una duración de entre 5 y 8 semanas, con una frecuencia de 2 a 3 sesiones por semana y fueron realizados durante la etapa postquirúrgica.

Dentro de los tipos de intervenciones se identificó el entrenamiento de perturbación, en el cual los pacientes realizaban tareas sobre superficies inestables mientras recibían estímulos externos o tareas simultáneas (14) (21). Por otro lado, el entrenamiento neuromuscular con atención focalizada externa (6) y el entrenamiento neuromuscular avanzado con doble tarea (22) son variantes que buscan favorecer una organización motora más automática y eficiente, al provocar que el paciente lleve su atención a un objeto u objetivo fuera de su cuerpo. El entrenamiento neurocognitivo (23) se basa en la utilización de dispositivos tecnológicos centrados específicamente en mejorar la capacidad de atención, la velocidad y la memoria cerebral.

Para la evaluación de los resultados de estos estudios se utilizaron medidas como el análisis biomecánico durante la marcha y durante el aterrizaje monopodal (6) (14) (21), el cuestionario del comité internacional de documentación de rodilla (IKDC) (6), la encuesta de resultados de rodilla (KOS) (23), pruebas computarizadas con plataformas y pantallas visuales (22) (23) y pruebas de salto a 1 pierna (22).

En cuanto a las mediciones biomecánicas, no se observaron diferencias en la mecánica de la marcha ni en la eliminación de asimetrías entre extremidades comparando los grupos que usaron entrenamiento de perturbación y los que no (14) (21). Pero sí se observaron mejoras en la biomecánica del aterrizaje monopodal (disminuyendo el valgo de rodilla a la hora de amortiguar una caída), y en las puntuaciones del IKDC en aquellos pacientes que realizaron un entrenamiento neuromuscular focalizado en la atención externa (6). Tanto el entrenamiento neuromuscular avanzado (22) como el entrenamiento neurocognitivo (23) tuvieron mejoras en sus evaluaciones específicas para el rendimiento motor, las mediciones de saltos a 1 pierna fueron ampliamente superiores en aquellos que habían realizado el entrenamiento neuromuscular avanzado (22). Por su parte el entrenamiento cognitivo mostró mejoras en la autopercepción funcional de la rodilla según la encuesta KOS (23).

Entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFRT)

Este tipo de entrenamiento ha sido una novedad para la rehabilitación de una RLCA en los últimos años, y existen cada vez más estudios que analicen esta modalidad. Para esta investigación se escogieron 4 estudios, reportados en 5 artículos, que utilizan el BFRT como una alternativa para provocar cambios musculares en las fases iniciales de la rehabilitación postquirúrgica.

Todos los artículos utilizaron manguitos neumáticos en la parte proximal del músculo con el objetivo de limitar el retorno venoso mientras se mantiene el flujo arterial en la zona, con la diferencia de que 1 estudio utilizó una presión del 60% de la oclusión total de la extremidad (10) (24). Mientras que el resto utilizaron una presión del 80% (11) (12) (19). En cuanto a la dosificación, todas las investigaciones coincidieron en la utilización de cargas bajas (entre un 20% / 30% de una repetición máxima para cada ejercicio), pero se diferenciaron a la hora de plantear las series y repeticiones. Uno de los estudios realizó 3 series de cada ejercicio, distribuyendo en una serie de 30 repeticiones, seguida de una de 20 repeticiones y finalizando con una serie de 10 repeticiones (10) (24). Los demás artículos decidieron realizar 4 series, donde la primera de ellas sería de 30 repeticiones, mientras que las siguientes 3 serían de 15 repeticiones (11) (12) (19). Los programas tuvieron una duración de entre 8 y 12 semanas, con una frecuencia de 2 a 3 sesiones semanales. Los ejercicios principales incluyeron la prensa de piernas, el sillón de cuádriceps, el sillón de isquiotibiales y sentadilla con pelota contra la pared.

Para evaluar los resultados se analizó la fuerza máxima del cuádriceps (10) (11) (12) (24), los cambios morfológicos en el músculo cuádriceps (10) (11) (19), la percepción autoinformada de la rodilla en base a diferentes cuestionarios (11) (12) y uno de los estudios agregó el análisis de la masa ósea del fémur (19).

En los estudios analizados, se observó que el BFRT presentó resultados comparables con el entrenamiento de alta carga tradicional, a la hora de producir aumentos de fuerza y mejorar el torque isocinético del músculo cuádriceps (11) (12). Además, se reportaron mejoras en la fuerza de los isquiotibiales en el grupo de BFRT en comparación a aquellos que no usaron restricción del flujo sanguíneo (12). Los pacientes que utilizaron BFRT durante su rehabilitación, reportaron niveles de dolor significativamente menores durante las sesiones de entrenamiento y mejoras superiores en la autopercepción funcional y calidad de vida en base a su rodilla, según los cuestionarios Lysholm y KOS (11) (12). Por otro lado, uno de los artículos incluidos informó una menor pérdida de densidad mineral ósea en el fémur en los pacientes que realizaron BFRT durante el período postquirúrgico, en comparación con un protocolo de rehabilitación estándar sin restricción del flujo sanguíneo (19). Sin embargo, no todos los estudios reportaron beneficios en la utilización del BFRT. Uno de los estudios indicó que no observaron diferencias significativas entre el grupo que utilizó BFRT y el grupo control, a la hora de generar mejoras en la función del cuádriceps (fuerza, biomecánica, morfología y fisiología) (10) (24).

Articulo	**Tipo de intervención**	**Población de estudio**	**Medidas de resultado**	**Resultados**	**PEDro**
Shaarani SR, O'Hare C, Quinn A, Moyna N, Moran R, O'Byrne JM. Effect of Prehabilitation on the	Programa de entrenamiento preoperatorio de 6 semanas de duración.	20 masculinos de entre 18 y 45 años con ruptura del LCA y a la espera de realizar una RLCA. Fueron	Se realizaron evaluaciones al inicio, antes de la operación (después del programa de 6 semanas) y 12	El grupo de ejercicio tuvo una mejora significativa en la prueba de salto a una pierna y en la escala de Cincinnati luego de las 6	7/10

Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med. septiembre de 2013		asignados aleatoriamente a un grupo de intervención (ejercicio) o a un grupo de control.	meses después de la RLCA. Se evaluó la prueba de salto con una sola pierna, el torque máximo de cuádriceps e isquiotibiales mediante dinamometría isocinética, el área de sección transversal del musculo cuádriceps mediante resonancia magnética, la percepción autoinformada de rodilla mediante la escala de Cincinnati modificado y se realizaron biopsia del musculo vasto lateral.	semanas de entrenamiento preoperatorio. Siendo estos beneficios mantenidos a las 12 semanas del postoperatorio. El grupo de ejercicio tuvo un aumento en el torque máximo del cuádriceps y del área transversal del musculo cuádriceps luego de las 6 semanas de entrenamiento. Pero esos resultados no se mantuvieron a las 12 semanas después de la cirugía. Por ultimo se mostraron aumentos moleculares en cuanto al gen hipertrófico IGF-1 y disminución del gen atrófico MuRF-1 en el grupo intervención.	
Capin JJ, Zarzycki R, Arundale A, Cummer K, Snyder-Mackler L. Report of the Primary Outcomes for Gait Mechanics in Men of the ACL-SPORTS Trial: Secondary Prevention With and Without Perturbation Training Does Not Restore Gait Symmetry in Men 1 or 2 Years After ACL Reconstruction. Clin Orthop. octubre de 2017	Programa de entrenamiento neuromuscular de perturbación postoperatorio durante 10 sesiones.	40 masculinos con edad media de 23 años y mínimo 12 semanas post RLCA. Divididos en dos grupos, uno realizo ejercicios de fuerza, agilidad y prevención, mientras que el otro grupo realizo los mismos ejercicios con el agregado del entrenamiento de perturbación	Se evaluó la biomecánica de la marcha durante una caminata sobre terreno plano a 1 y 2 años luego de la RLCA.	No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en ninguna de las variables de marcha analizadas a 1 o 2 años.	4/10
Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. BMC Sports Sci Med Rehabil. diciembre de 2021	Programa de entrenamiento neuromuscular postoperatorio con atención focalizada externa y 8 semanas de duración.	24 masculinos sometidos a una RLCA con autoinjerto de isquiotibial, con entre 6 y 12 meses postcirugía. Divididos en grupo intervención y grupo control.	Se realizaron evaluaciones sobre la biomecánica de aterrizaje, la propiocepción y la función auto-reportada de la rodilla según escala IKDC. Se evaluó antes del programa y 8 semanas después del mismo.	Se reporto una disminución del valgo dinámico de la rodilla, una mejoría en la biomecánica del aterrizaje y en las puntuaciones del IKDC en el grupo que realizo el entrenamiento neuromuscular.	8/10
Chmielewski T, Obermeier M, Meierbachtol A, Jenkins A, Stuart M, Sikka R, et al. Advanced Neuromuscular Training	Programa de entrenamiento neuromuscular avanzado con doble tarea postoperatorio durante 10 sesiones.	25 pacientes con RLCA (11 hombres y 14 mujeres) de entre 14 y 30 años, con al menos 5 meses post cirugía.	Para la evaluación se utilizaron diferentes pruebas de saltos (salto horizontal, triple salto, triple salto cruzado y salto cronometrado de 6 metros), una prueba de reacción bipodal y	El rendimiento de la pierna operada mejoró significativamente en todos los saltos, también hubo mejoras, aunque menores, en las pruebas de reacción bipodal y monopodal.	No evaluado

Differentially Changes Performance on Visuomotor Reaction Tests and Single-leg Hop Tests in Patients with ACL Reconstruction. Int J Sports Phys Ther [Internet]. 1 de noviembre de 2024			una prueba de reacción unipodal.		
An YW, Kim KM, DiTrani Lobacz A, Baumeister J, Higginson JS, Rosen J, et al. Cognitive Training Improves Joint Stiffness Regulation and Function in ACLR Patients Compared to Healthy Controls. Healthcare. 28 de junio de 2023	Programa de entrenamiento cognitivo postoperatorio de 4 semanas de duración.	20 individuos (sin identificar sexo) con un promedio de 4 años post RLCA. Los cuales fueron comparados con un grupo de 20 individuos sanos.	Se compararon variables antes y 4 semanas después de la intervención utilizando test de función ejecutiva, medición de rigidez articular en respuesta a estímulos visuales, prueba de salto monopodal por distancia y cuestionario auto-informado KOS.	Ambos grupos mejoraron en los test de función ejecutiva, el grupo con RLCA normalizo su rigidez articular luego del entrenamiento y mejoro la distancia del salto monopodal en la pierna lesionada.	No evaluado
Erickson LN, Owen MK, Casadonte KR, Janatova T, Lucas K, Spencer K, et al. The Efficacy of Blood Flow Restriction Training to Improve Quadriceps Muscle Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Med Sci Sports Exerc. febrero de 2025	Programa de entrenamiento con BFRT postoperatorio de 4 semanas de duración.	17 pacientes (9 hombres y 8 mujeres) con una media de 10 semanas luego de la RLCA. Divididos en dos grupos, uno utilizo BFRT mientras que el otro no.	Se evaluaron la fuerza máxima del cuádriceps mediante dinamómetro isocinético, la morfología del musculo cuádriceps mediante resonancia magnética, la fisiología del musculo cuádriceps mediante biopsia muscular.	No se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos para ninguna de las medidas de resultado.	7/10
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 Med. noviembre de 2019	Programa de entrenamiento con BFRT postoperatorio de 8 semanas de duración.	28 pacientes (hombres y mujeres, sin especificar) sometidos a una RLCA, sin especificar cuanto tiempo desde la cirugía. Divididos en dos grupos, uno realizo entrenamiento con BFRT y el otro realizo entrenamiento de alta carga.	Se evaluó la fuerza máxima del cuádriceps según 1RM, el área de sección transversal del cuádriceps según resonancia magnética, el índice de simetría de extremidades para fuerza, el dolor articular mediante escala EVA al realizar los ejercicios y la función autoinformada de rodilla según IKDC.	Ambos grupos tuvieron mejoras en cuanto a la fuerza máxima del cuádriceps, el área de sección transversal y el índice de simetría. La mayor diferencia se vio en cuanto al dolor reportado durante los ejercicios (en el grupo BFRT fue mucho menor) y a la hora de completar el cuestionario IKDC, donde el grupo BFRT tuvo mejoras significativas.	7/10
Vieira De Melo RF,	Programa de	24 pacientes (hombres	Se realizaron	El grupo intervención	7/10

Komatsu WR, Freitas MSD, Vieira De Melo ME, 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. J Rehabil Med. 1 de noviembre de 2022	entrenamiento con BFRT postoperatorio de 12 semanas de duración.	y mujeres, sin especificar) de entre 18 y 59 años sometidos a una RLCA. Divididos en dos grupos, uno realizo ejercicios con BFRT, mientras que el otro realizó los mismos ejercicios, pero sin BFRT.	evaluaciones en 4 momentos: previo a la cirugía, a la 4ta semana, a la 8ta semana y a la 12ava semana postcirugía. Se evaluó la fuerza muscular isométrica de cuádriceps e isquiotibiales mediante dinamómetro digital portátil y la función física de la rodilla mediante los cuestionarios Lysholm, IKDC y KOS.	mostro aumentos significativos de fuerza tanto en el cuádriceps como en los isquiotibiales a las 12 semanas postcirugía. Además, el grupo intervención reportó una disminución significativa del dolor y mejores puntuaciones en los cuestionarios Lysholm e IKDC.	
Jack RA, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. Sports Health Multidiscip Approach. mayo de 2023	Programa de entrenamiento con BFRT postoperatorio de 12 semanas de duración.	32 pacientes (hombres y mujeres, sin especificar) sometidos a una RLCA con autoinjerto HTH. Fueron divididos en dos grupos donde uno realizo ejercicio con BFRT y el otro no.	Se realizaron evaluaciones antes de la cirugía, a las 6 y 12 semanas postcirugía. Se midió la composición tisular y ósea de las extremidades inferiores, también se realizaron pruebas funcionales (sentadilla a una pierna, prensa de piernas unipodal, curl de isquiotibiales) y se tuvo en cuenta el tiempo de retorno al deporte.	Solo el grupo con BFRT conservó mejor tanto la musculatura como la masa ósea de las extremidades inferiores a las 12 semanas después de la cirugía. Además, el grupo BFRT volvió a la actividad deportiva más rápido en comparación al grupo control. Por otro lado, los resultados en las pruebas funcionales fueron similares entre ambos grupos luego de 12 semanas de la cirugía.	5/10

Tabla 1. Resumen de muestras y resultados

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente revisión muestran cómo el entrenamiento preoperatorio, el entrenamiento neuromuscular y el BFRT utilizados durante toda la rehabilitación de una RLCA, pueden presentar diferentes efectos en base al momento en el que se apliquen, con qué dosificación y el tipo de estímulo utilizado.

Un punto de análisis importante es cómo impacta el entrenamiento preoperatorio. A pesar de que la evidencia es limitada, los hallazgos de Shaarani et al. demuestran que, aunque después de la cirugía se produzca una pérdida de fuerza importante e inevitable, los pacientes que realizaron ese tipo de entrenamiento presentaron una superioridad funcional a las 12 semanas postoperatorias. Esto coincide con otros estudios que aseguran que la realización de ejercicio antes de la cirugía tiene un impacto positivo en la funcionalidad de la rodilla operada, y que aquellas personas que tengan una mayor activación y fuerza del cuádriceps preoperatorio, tienden a replicar esos beneficios en el periodo postquirúrgico (17) (25). En este sentido, podría plantearse que el entrenamiento preoperatorio favorece a adaptaciones neuromusculares, que luego pueden facilitar la recuperación funcional a lo largo de la

rehabilitación, incluso en los casos en los que los niveles de atrofia son similares entre los grupos de estudio.

Los efectos biomecánicos reportados luego del entrenamiento neuromuscular, más específicamente la reducción del valgo durante el aterrizaje monopodal (6), son indicativos de posibles estrategias para reducir el riesgo de una nueva lesión del LCA. Existe un estudio que analizó medidas biomecánicas para predecir una segunda lesión de LCA, e indicó que asimetrías de rodilla en el plano sagital y una menor estabilidad postural, son fuertes predictores de una segunda lesión luego de una RLCA (7). Estos hallazgos permiten poner en contexto la relevancia clínica de las mejoras biomecánicas observadas después de este tipo de intervenciones. Además, la incorporación de focos de atención externa y ejercicios de doble tarea resulta esencial para automatizar el control motor y reducir la dependencia visual del paciente a la hora de realizar diferentes actividades. Otro de los puntos a tener en cuenta es la autopercepción de la rodilla y el miedo de volver a lesionarse cuando se comienzan a realizar actividades o gestos deportivos. El entrenamiento neurocognitivo basado en la exposición a estímulos visuales relacionados con el miedo propuesto por Yong Woo An et al. estableció la capacidad de suprimir las respuestas corticales en la corteza prefrontal, contribuyendo a una mejor regulación de las emociones y a una reducción de la rigidez articular durante ciertos movimientos. Esto junto a un estudio que analizó la importancia de los factores psicológicos durante la rehabilitación después de una RLCA (26), sugieren la importancia de hacer mayor hincapié en las próximas investigaciones acerca de cuál es la forma óptima de afrontar trastornos psicológicos durante la rehabilitación. Gracias a lo expuesto, la evidencia disponible respalda el potencial uso del entrenamiento neuromuscular y neurocognitivo, no solo para recuperar la función perdida, sino también como una estrategia complementaria orientada a la reducción del riesgo de una nueva lesión en pacientes que hayan sido sometidos a una RLCA. Aun así, se requieren nuevos estudios que permitan establecer protocolos y sean seguidos a través del tiempo para determinar su impacto a largo plazo.

Por último, el entrenamiento con BFRT podría constituir una herramienta capaz de ayudar en la recuperación de la fuerza y funcionalidad de la rodilla operada en etapas tempranas luego de la cirugía. Este método nos da la posibilidad de inducir adaptaciones musculares significativas mediante el uso de cargas bajas, representando así una ventaja relevante dentro de este periodo de la rehabilitación. Algunos estudios incluidos en esta revisión informaron mejoras en la fuerza y el torque isocinético del músculo cuádriceps comparables a las obtenidas mediante programas de entrenamiento con alta carga (11) (12). Esto es de suma importancia al tener en cuenta que la atrofia y la disminución de la fuerza del cuádriceps son de los problemas principales que se deben afrontar en la primera etapa de la rehabilitación (10) (13). Con la BFRT podrían limitarse esas consecuencias y generar una mayor ganancia de fuerza progresiva durante las primeras semanas de tratamiento. Un punto en el cual los artículos primarios coincidieron fue en la mejoría de los pacientes en cuanto a la función autoinformada de la rodilla (11) (12) (19), esto podría relacionarse con la utilización cargas bajas de entrenamiento, haciendo que los pacientes no generen aumentos en cuanto al dolor ni tengan procesos inflamatorios en la rodilla relacionados con la realización de distintos ejercicios. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que el BFRT permite generar estímulos musculares efectivos sin incrementar de manera significativa la carga mecánica sobre la rodilla. Sin embargo, la evidencia disponible no es homogénea, ya que en un estudio no encontraron diferencias significativas entre los grupos que realizaron BFRT y los que no (10) (24). Estas diferencias podrían explicarse por discrepancias metodológicas entre los artículos, siendo la más significativa la presión de oclusión utilizada en cada investigación. En este sentido, protocolos con presiones de oclusión menores al 80% podrían no generar un

estímulo suficiente para producir adaptaciones musculares relevantes. Al aplicarlo a la práctica clínica, el entrenamiento con BFRT no debería utilizarse como un reemplazo del entrenamiento de fuerza tradicional, sino como un complemento dentro de los protocolos de tratamiento. Su aplicación parece interesante durante las etapas tempranas de la rehabilitación, mientras que en fases posteriores podría combinarse con entrenamiento de alta carga para maximizar todavía más sus efectos. De todas maneras, se necesitan estudios adicionales que permitan estandarizar los programas de entrenamiento con BFRT para homogenizar sus efectos y sacarle el máximo beneficio para los pacientes.

CONCLUSIÓN

Esta revisión narrativa permitió analizar los efectos del entrenamiento preoperatorio, el entrenamiento neuromuscular y el BFRT durante una rehabilitación luego de una RLCA. En términos generales, la bibliografía analizada demuestra que la aplicación de estos tipos de entrenamiento, en relación con el momento de la rehabilitación y una correcta dosificación, pueden generar efectos positivos en la recuperación funcional de la rodilla operada. Cada tipo de entrenamiento presenta indicaciones especificas dentro del proceso de rehabilitación y su aplicación debe respetar el momento adecuado dentro del protocolo terapéutico. Además, la capacidad de integrar cada modalidad permitirá abordar de manera más completa las principales limitaciones asociadas a la RLCA.

Desde una mirada clínica, los hallazgos de esta revisión sugieren que las estrategias de entrenamiento mencionadas pueden aportar beneficios en la rehabilitación de pacientes sometidos a una RLCA. En particular, el entrenamiento preoperatorio mostró efectos favorables sobre la fuerza del cuádriceps y la función de la rodilla antes de la cirugía, lo que podría facilitar la recuperación posterior. Por su parte, el entrenamiento neuromuscular, incluyendo intervenciones con componente cognitivo orientadas al control motor, se asoció con mejoras en el rendimiento funcional y en la percepción autoinformada de la rodilla por los pacientes. Asimismo, el BFRT evidenció resultados positivos en términos de fuerza muscular, hipertrofia y reducción del dolor en fases tempranas de la rehabilitación.

No obstante, los protocolos de intervención, las características de las poblaciones estudiadas y las variables de evaluación utilizadas presentan una marcada heterogeneidad entre los estudios analizados. Esta variabilidad dificulta la comparación entre los resultados y limita la posibilidad de establecer recomendaciones estandarizadas. Todo esto demuestra la necesidad de futuras investigaciones que permitan optimizar y sistematizar los programas de entrenamiento aplicados en la rehabilitación tras una RLCA.

Referencias

1. Banovetz MT, Familiari F, Kennedy NI, Russo R, Palco M, Simonetta R, et al. Anatomy of the anterior cruciate ligament and the common autograft specimens for anterior cruciate ligament reconstruction. Ann Jt. julio de 2023;8:28-28.

2. Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. Sports Med Arthrosc Rev. septiembre de 2020;28(3):80-6.

3. Beard DJ, Davies L, Cook JA, Stokes J, Leal J, Fletcher H, et al. Rehabilitation versus surgical reconstruction for non-acute anterior cruciate ligament injury (ACL SNNAP): a pragmatic randomised controlled trial. The Lancet. agosto de 2022;400(10352):605-15.

4. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of Contralateral and Ipsilateral Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. Clin J Sport Med. marzo de 2012;22(2):116-21.

5. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. Best Pract Res Clin Rheumatol. febrero de 2019;33(1):33-47.

6. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. BMC Sports Sci Med Rehabil. diciembre de 2021;13(1):49.

7. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical Measures during Landing and Postural Stability Predict Second Anterior Cruciate Ligament Injury after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Return to Sport. Am J Sports Med. octubre de 2010;38(10):1968-78.

8. Shen X, Liu T, Xu S, Chen B, Tang X, Xiao J, et al. Optimal Timing of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Patients With Anterior Cruciate Ligament Tear: A Systematic Review and Meta-analysis. JAMA Netw Open. 17 de noviembre de 2022;5(11):e2242742.

9. Granan LP, Inacio MCS, Maletis GB, Funahashi TT, Engebretsen L. Sport-Specific Injury Pattern Recorded During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med. diciembre de 2013;41(12):2814-8.

10. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. Phys Ther. 1 de agosto de 2019;99(8):1010-9.

11. 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 Med. noviembre de 2019;49(11):1787-805.

12. Vieira De Melo RF, Komatsu WR, Freitas MSD, Vieira De Melo ME, 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. J Rehabil Med. 1 de noviembre de 2022;54:jrm00337.

13. Li W, Li Z, Qie S, Li J, Xi J, Gong W, et al. Biomechanical Evaluation of Preoperative Rehabilitation in Patients of Anterior Cruciate Ligament Injury. Orthop Surg. abril de 2020;12(2):421-8.

14. White K, Di Stasi SL, Smith AH, Snyder-Mackler L. Anterior cruciate ligament-specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. BMC Musculoskelet Disord. diciembre de 2013;14(1):108.

15. Brotzman SB, Manske RC. Rehabilitacion Ortopedica Clinica.

16. Wu J, Kator JL, Zarro M, Leong NL. Rehabilitation Principles to Consider for Anterior Cruciate Ligament Repair. Sports Health Multidiscip Approach. mayo de 2022;14(3):424-32.

17. Giesche F, Niederer D, Banzer W, Vogt L. Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-reported knee function: A systematic review. Mirkov D, editor. PLOS ONE. 28 de octubre de 2020;15(10):e0240192.

18. Lipker LA, Persinger CR, Michalko BS, Durall CJ. Blood Flow Restriction Therapy Versus Standard Care for Reducing Quadriceps Atrophy After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Sport Rehabil. 1 de noviembre de 2019;28(8):897-901.

19. Jack RA, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. Sports Health Multidiscip Approach. mayo de 2023;15(3):361-71.

20. Shaarani SR, O'Hare C, Quinn A, Moyna N, Moran R, O'Byrne JM. Effect of Prehabilitation on the Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med. septiembre de 2013;41(9):2117-27.

21. Capin JJ, Zarzycki R, Arundale A, Cummer K, Snyder-Mackler L. Report of the Primary Outcomes for Gait Mechanics in Men of the ACL-SPORTS Trial: Secondary Prevention With and Without Perturbation Training Does Not Restore Gait Symmetry in Men 1 or 2 Years After ACL Reconstruction. Clin Orthop. octubre de 2017;475(10):2513-22.

22. Chmielewski T, Obermeier M, Meierbachtol A, Jenkins A, Stuart M, Sikka R, et al. Advanced Neuromuscular Training Differentially Changes Performance on Visuomotor Reaction Tests and Single-leg Hop Tests in Patients with ACL Reconstruction. Int J Sports Phys Ther [Internet]. 1 de noviembre de 2024 [citado 24 de enero de 2026];19(11). Disponible en: https://ijspt.scholasticahq.com/article/124807-advanced-neuromuscular-training-differentially-changes-performance-on-visuomotor-reaction-tests-and-single-leg-hop-tests-in-patients-with-acl-reconstr

23. An YW, Kim KM, DiTrani Lobacz A, Baumeister J, Higginson JS, Rosen J, et al. Cognitive Training Improves Joint Stiffness Regulation and Function in ACLR Patients Compared to Healthy Controls. Healthcare. 28 de junio de 2023;11(13):1875.

24. Erickson LN, Owen MK, Casadonte KR, Janatova T, Lucas K, Spencer K, et al. The Efficacy of Blood Flow Restriction Training to Improve Quadriceps Muscle Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Med Sci Sports Exerc. febrero de 2025;57(2):227-37.

25. Lepley LK, Palmieri-Smith RM. Pre-operative quadriceps activation is related to post-operative activation, not strength, in patients post-ACL reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. enero de 2016;24(1):236-46.

26. Nedder VJ, Raju AG. Impacto de los factores psicológicos en la rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior: una revisión sistemática. 2024;