



## **TESINA**

**presentada para acceder al título de grado de la carrera de**

**LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA**

**Título:**

**“Rehabilitación de atletas jóvenes con ACLR. Efectos del  
entrenamiento neuromuscular”**

**Autor:**

**Felici, Marco. IUGR-6879**

**Directora:**

**Lic. María Cecilia Polvarán**

**Fecha de Presentación:**

**Venado Tuerto, 30/01/2023**

A photograph of a handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature is stylized and appears to be the name 'Marco Felici'.

## Resumen

**Introducción:** Los atletas que regresan a la práctica deportiva luego de someterse a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) demuestran déficits biomecánicos y neuromusculares persistentes en las extremidades inferiores. Un programa de rehabilitación que haga foco especialmente en el entrenamiento neuromuscular (NMT) es fundamental para resolver estas deficiencias en el control motor y mejorar el rendimiento funcional de los atletas. Sin embargo, los conceptos sobre cómo abordar este tipo de entrenamiento, en la población de atletas jóvenes que desean retornar al deporte que practicaban previo a su lesión del ligamento cruzado anterior (ACL), son poco claros.

**Objetivo:** Analizar en la literatura científica los resultados de la utilización del entrenamiento neuromuscular en la rehabilitación de atletas jóvenes con ACLR para mejorar el control motor previo a la vuelta al deporte.

**Métodos:** En la presente tesina, se realizó una revisión bibliográfica para analizar las diferentes formas de abordar el entrenamiento neuromuscular y su influencia en los factores de riesgo de lesión secundaria de ACL. Para el análisis de los resultados, se utilizaron ensayos clínicos publicados entre el año 2010 y 2022.

**Resultados:** Los ensayos incluidos para el análisis de resultados, evaluaban la utilización de NMT, con distintos enfoques, para mejorar las medidas neuromusculares y biomecánicas en atletas que habían sufrido una lesión del ACL y pretendían retornar a sus niveles previos a la lesión. En cuanto a la eficacia de dichos programas de entrenamiento, aunque todos los autores recomiendan la implementación de NMT en esta población, no todos demostraron resultados significativos en las variables analizadas en sus respectivos estudios a favor de los grupos experimentales; sin embargo, por más que las mejoras no hayan sido significativas, las ganancias funcionales en las poblaciones evaluadas fueron importantes. Los componentes de NMT que mayores mejoras demostraron en los atletas estudiados y, por ende, más beneficios aportarían en la rehabilitación de esta población son la pliometría y fuerza excéntrica, seguidos de la propiocepción y la terapia vibratoria de cuerpo entero y, en último lugar, las perturbaciones.

**Conclusión:** Se concluyó que el NMT es efectivo para mejorar el control motor previo a la vuelta al deporte en atletas jóvenes con ACLR y reducir así los factores de riesgo involucrados en las lesiones secundarias del ACL. Las atletas femeninas demandan un mayor enfoque para restablecer la fuerza del cuádriceps y corregir los déficits biomecánicos.

## Índice

<b>I. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>II. Objetivos</b>	<b>6</b>
II.a. Objetivo general	6
II.b. Objetivos específicos	6
<b>III. Marco teórico</b>	<b>7</b>
III.a. Anatomía de la rodilla	7
III.b. Biomecánica de la rodilla	13
III.c. Epidemiología, etiología y factores de riesgo	14
III.d. Fisiopatología	15
III.e. Exploración física y diagnóstico	16
III.f. Opciones de tratamiento, reconstrucción y tipos de técnicas quirúrgicas	17
III.g. Evaluación postquirúrgica o Rehabilitación pre y/o postoperatoria	20
III.h. Regreso al deporte	26
III.i. Segunda lesión del ACL	31
III.j. Ligamentización	33
III.k. Entrenamiento neuromuscular	38
<b>IV. Justificación</b>	<b>48</b>
<b>V. Métodos</b>	<b>49</b>
V.a. Estrategia de búsqueda	49
V.a.1. Fuentes de consulta	49
V.a.2. Bases de datos	49
V.a.3. Filtros utilizados	49
V.a.4. Palabras clave	50
V.a.5. Estrategias de búsqueda	51
<b>VI. Resultados</b>	<b>52</b>
VI.a. Diagrama de flujo	52
VI.b. Cuadro de resultados	53
VI.c. Análisis de resultados	56
<b>VII. Discusión</b>	<b>75</b>
<b>VIII. Conclusión</b>	<b>80</b>
<b>IX. Bibliografía</b>	<b>81</b>

## I. Introducción

La rotura de Ligamento Cruzado Anterior (ACL) es una de las lesiones de rodilla relacionadas con el deporte más devastadoras desde el punto de vista físico, económico y emocional. Además, está relacionada con déficits funcionales a corto plazo y una morbilidad significativa a largo plazo, incluido el desarrollo prematuro de osteoartritis y una discapacidad progresiva significativa, a pesar de la intervención quirúrgica o no quirúrgica. A pesar de que el regreso a la actividad es muy deseado y esperado para muchos atletas luego de la Reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior (ACLR), con respecto a los resultados a corto plazo, las estimaciones de la probabilidad general de que un atleta sufra una lesión posterior del ACL (ya sea una nueva lesión o contralateral) después de regresar a la práctica deportiva luego de la ACLR varían entre 1 de cada 4 (25%) a 1 de cada 17 (6%) atletas. Más allá de ser una lesión ampliamente abordada y común en la práctica clínica, muchos autores siguen haciendo mención e hincapié en los factores de riesgo no modificables como son la edad, sexo, deporte, técnica quirúrgica, y no tanto en los factores modificables como adaptaciones biomecánicas durante tareas dinámicas, tiempo desde la cirugía y el control neuromuscular, que han demostrado ser factores de riesgo altamente influyentes.<sup>[1-4]</sup>

Teniendo en cuenta que la articulación de la rodilla es troclear, esta permite los movimientos de flexo-extensión primariamente, y movimientos secundarios de rotaciones. Para su estabilidad consta de ligamentos laterales (externos e internos) y cruzados (anterior y posterior), cápsula, meniscos e inserciones musculares (cuádriceps, isquiotibiales, gemelos). El ACL se inserta en la superficie preespinal, entre ambos cuernos anteriores de los meniscos, y tiene una dirección oblicua hacia arriba, atrás y afuera para insertarse en el cóndilo externo del fémur. Las funciones de este importante ligamento son las de controlar la hiperextensión y, por tanto, el recurvatum de rodilla, limitar la traslación anterior de la tibia y control de la rotación interna de rodilla.<sup>[5]</sup>

El mecanismo real de la lesión del ACL aún no está claro; sin embargo, utilizando la técnica de emparejamiento de imágenes basada en modelos, Koga et al demostraron que el valgo extremo de la rodilla y la rotación interna tibial eran probablemente los mecanismos de incitación en el momento de la lesión sin contacto. Hewett et al informaron que un mayor ángulo y momento en valgo de la rodilla durante una tarea de salto y aterrizaje eran factores de riesgo de lesión del ACL y demostraron una relación entre el mecanismo de lesión del ACL y el valgo de la rodilla. Hewett y col. sugirió que 4 desequilibrios neuromusculares contribuían a la lesión del ACL en atletas: dominancia de ligamentos, dominancia de cuádriceps, dominancia de piernas y dominancia de tronco. *La dominancia de ligamentos se*

definió como el desequilibrio neuromuscular responsable del colapso en valgo. Los grupos musculares de apoyo no se contraen ni absorben adecuadamente las fuerzas de reacción del suelo. *El dominio del cuádriceps* se refería a la tendencia a estabilizar la articulación de la rodilla utilizando principalmente los cuádriceps. Aterrizar de un salto con menos flexión de rodilla aumenta la posibilidad de sufrir una lesión del ACL. *El dominio de las piernas* se definió como la asimetría de lado a lado de las extremidades inferiores, incluido el reclutamiento muscular, la fuerza y la flexibilidad. *Dominio del tronco* describió la incapacidad de controlar con precisión el tronco en un espacio tridimensional. A diferencia de los factores anatómicos, estos factores teóricamente pueden modificarse mediante intervenciones apropiadas.<sup>[6-9]</sup>

Los patrones neuromusculares y biomecánicos aberrantes se observan comúnmente hasta 2 años después de ACLR y pueden ayudar a explicar la alta tasa de segunda lesión del ACL. El déficit en el control neuromuscular de ambas extremidades inferiores y del tronco después de ACLR se han implicado directamente en el riesgo de una segunda lesión del ACL y pueden no solo ser el resultado de la lesión inicial de la rodilla y la cirugía posterior, sino que también consecuencia de los patrones de movimiento previos a la lesión. Por lo tanto, identificar estas anomalías y planificar un abordaje terapéutico haciendo énfasis en el control neuromuscular es un desafío importante hoy en día para el rehabilitador con el fin de maximizar la recuperación funcional y reducir el riesgo de una segunda lesión de ACL.<sup>[2]</sup>

Existe una asociación directa entre los déficits neuromusculares en el tronco y la cadera y un mayor riesgo de lesión del ACL. Dos estudios biomecánico-epidemiológicos prospectivos observaron que la disminución de la propiocepción del core y los déficits en el control neuromuscular del tronco predicen la lesión de la rodilla y del ACL con gran sensibilidad y especificidad. Los estudios prospectivos que evaluaron a atletas jóvenes activos que no estaban lesionados o que se habían sometido a ACLR antes del comienzo de la temporada indicaron que los atletas que demostraron déficits en el control neuromuscular de la cadera durante un salto de aterrizaje sufrieron una segunda lesión del ACL sin contacto. Más recientemente, una investigación de aproximadamente 500 atletas reveló que los déficits de pretemporada en la abducción isométrica de la cadera y la fuerza de rotación externa eran predictores independientes de una futura lesión primaria del ACL sin contacto en atletas masculinos y femeninos. En un estudio de cohorte que utilizó análisis de video, Hewett et al demostraron que el control del tronco en el plano coronal era un componente importante de la lesión del ACL. Aterrizar con mayor movimiento lateral del tronco hace que el vector de fuerza de reacción del suelo se mueva lateralmente y aumenta el brazo de

palanca con respecto al centro de la articulación de la rodilla. Por lo tanto, el momento rodilla-valgo aumenta y eventualmente conduce a una lesión del ACL. Teniendo en cuenta estos hallazgos, la corrección de los déficits neuromusculares y biomecánicos en la cadera entre los atletas con ACLR puede permitirles regresar al deporte de manera segura.<sup>[10]</sup>

Se han planteado distintos métodos de entrenamiento, como son: el ACL-SPORTS, MOON, Delaware-Oslo, etc. con el objetivo de mejorar estas cualidades físicas, todos basándose en parámetros de entrenamiento y métodos de evaluación similares, pero no estandarizando un protocolo de entrenamiento específico.<sup>[11]</sup>

A partir de estos hallazgos, en los que se expone que los patrones neuromusculares y la biomecánica antinatural son factores de riesgo modificables en atletas que sufrieron una ACLR, se puede apreciar la importancia de trabajar sobre estas variables a la hora de planificar el retorno al deporte. Los programas de entrenamiento neuromuscular (NMT) modifican eficazmente la biomecánica de alto riesgo, aumentan el control neuromuscular de los miembros inferiores y reducen la incidencia de lesiones del ACL en grupos de atletas sanos. Estudios que implementaron programas de NMT enfocados en el tronco y la cadera demuestran un aumento en la fuerza de abducción de la cadera, lo que puede traducirse en un mayor control del plano frontal de la rodilla. Teniendo en cuenta estos hallazgos, no se comprende porque muchos rehabilitadores siguen basándose en parámetros, como por ejemplo el tiempo desde que sufrió la lesión como criterio para determinar la vuelta al deporte, el cual no es una variable que evalúe la funcionalidad del paciente y las capacidades físicas para evitar una re-lesión, en vez de basarse en evaluaciones que midan la biomecánica y el control neuromuscular.<sup>[10]</sup>

En base a esto, surge el interrogante de cuáles son los resultados del entrenamiento neuromuscular en atletas que sufrieron una ACLR durante el proceso de rehabilitación.

## **II. Objetivos**

### **II.a. Objetivo general**

- Analizar en la literatura científica los resultados de la utilización del entrenamiento neuromuscular en la rehabilitación de atletas jóvenes con ACLR para mejorar el control motor previo a la vuelta al deporte.

### **II.b. Objetivos específicos**

- Establecer qué ejercicios generan una mejora mayor en el control neuromuscular y la biomecánica de estos pacientes, y establecer criterios para la correcta dosificación de dicho entrenamiento.
- Identificar en qué etapa de la rehabilitación deberían estar presentes dichos ejercicios.
- Analizar el efecto del entrenamiento neuromuscular en los distintos sexos.
- Determinar en qué deporte serían más necesarios estos ejercicios dentro del tratamiento, teniendo en cuenta las exigencias biomecánicas de cada deporte.

### **III. Marco teórico**

#### **III.a. Anatomía de la rodilla**

Es una articulación sinovial extensa que une el muslo a la pierna y pone en contacto tres huesos: fémur, tibia y patela (rótula). Si bien esta articulación se puede considerar como formada por articulaciones yuxtapuestas (femorotibiales y femoropatelar), desde el punto de vista fisiológico no existe sino una sola articulación. La articulación de la rodilla asegura además una función estática, en la cual la transmisión del peso del cuerpo a la pierna le exige una integridad y solidez considerables. De allí la extrema importancia anatómica y funcional de su aparato ligamentoso. Desde el punto de vista mecánico es una troclear.

El defecto de concordancia entre los cóndilos femorales y la cara articular superior de la tibia se corrige, en parte, por la presencia de los meniscos. Son dos fibrocartílagos fijados en la tibia y en la cápsula articular, abiertos medialmente hacia los tubérculos intercondíleos.<sup>[12]</sup>

A través de la articulación de la rodilla se proporciona cierta seguridad a la unidad funcional pierna-muslo en posición de extensión como columna de soporte de la pierna, y por otro lado permite aumentar la movilidad del pie ampliando su radio de movimiento en posición de flexión gracias a los movimientos de rotación posibles en esta posición.

Las piezas óseas se encuentran mantenidas en contacto por la cápsula fibrosa y los ligamentos que la refuerzan. En general, la cápsula es bastante laxa y no tiene gran valor funcional. Esta laxitud exige refuerzos, que brindan los ligamentos. La sinovial es la más extensa y compleja de las sinoviales articulares. Reviste a la cápsula por su cara medial, y llega con ella al fémur, a la patela y a la tibia.

Gruesa y muy vascularizada, la membrana sinovial constituye la parte más reactiva de la articulación. A menudo está distendida por derrames intraarticulares (hemartrosis, piartrosis), que distienden la cápsula a los lados y por encima de la rótula.<sup>[13]</sup>

La rodilla es fácil de explorar, excepto en la región posterior. Su abordaje quirúrgico resulta dificultoso, no a causa de sus relaciones, sino porque su membrana sinovial es compleja y la cavidad articular es difícil de explorar cuando no existe deterioro de sus ligamentos.

Los meniscos son formaciones muy poco vascularizadas, constituidas por un armazón fibroso tapizado de cartílago en sus dos caras. El menisco lateral tiene forma de semiluna casi cerrada en forma de "O" mientras que, el menisco medial es más abierto que el precedente y adopta la forma de "C". Cuando los meniscos han sido desgarrados o desinsertados, no cicatrizan.



Funciones de los meniscos:

- ✓ Absorción de las cargas de peso.
- ✓ Absorción de choques.
- ✓ Estabilizador articular.
- ✓ Contribución a la rotación.
- ✓ Propiocepción.<sup>[12,13]</sup>

- Ligamentos:

Se distinguen: anteriores, posteriores, colaterales y cruzados.

- Ligamentos anteriores:

- o Ligamento patelar (tendón rotuliano): une el vértice de la patela con la tuberosidad tibial, reforzado adelante por las fibras del tendón del músculo recto femoral.

A cada lado de la patela existe un conjunto de formaciones que la amarran a los epicóndilos y a las partes laterales de la articulación:

- o El retináculo patelar lateral (aleta rotuliana lateral) y el medial (aleta rotuliana medial) forman un plano de fibras verticales.
- o Del lado medial, un sistema similar de fibras procede del músculo sartorio formando, en su conjunto, el plano sartorio-tensor de la fascia lata que cubre al ligamento patelar y a la rótula.

- Ligamentos posteriores:

- o Ligamento poplíteo oblicuo: potente fascículo fibroso que corresponde al tendón recurrente del músculo semimembranoso, cruza en diagonal, hacia arriba y lateralmente a la cara posterior de la rodilla, y se pierde irradiado en abanico sobre el casquete condíleo lateral.
- o Ligamento poplíteo arqueado, formado por: Un fascículo lateral que continúa las fibras del casquete condíleo lateral y desciende hasta la cabeza de la fíbula (peroné); Un fascículo medial que continúa a las fibras posteromediales del casquete condíleo lateral y se inserta en la tibia.

- Ligamentos colaterales:

- o Ligamento colateral tibial (lateral interno): se extiende desde el cóndilo medial hasta la tibia, ligeramente oblicuo abajo y adelante, pasa en puente, superficial al tendón reflejo del músculo semimembranoso. Está formado por fibras netas que, por su cara profunda, se adhieren al menisco sin interrumpirse. El ligamento lateral medial está adherido al menisco medial; en cambio el lateral no está adherido al menisco lateral, lo que no deja de tener consecuencias en las diferentes lesiones típicas de la rodilla.
- o Ligamento colateral fibular (peroneo, lateral externo): es un cordón delgado, fibroso y resistente, insertado bastante atrás en el cóndilo por arriba de la fosa del tendón del músculo poplíteo. Aislable de la cápsula, se dirige hacia abajo y atrás para insertarse en la parte anterior y lateral de la cabeza del peroné.

Los dos ligamentos laterales (ligamentos colaterales) sirven como elemento de seguridad en la extensión de la articulación de la rodilla; están relajados durante la flexión de la rodilla y en máxima tensión durante la extensión.

- Ligamentos cruzados:

Son dos ligamentos fuertes, situados profundamente. Por su inserción en la tibia, se designan anterior y posterior.

- o Ligamento cruzado anterior: se inserta abajo, en el área intercondílea anterior, por delante del tubérculo intercondíleo medial y medialmente al cuerno anterior del menisco lateral. Se dirige hacia arriba, atrás y lateralmente, para terminar en la cara medial del cóndilo lateral del fémur, en la parte posterior, siguiendo una línea vertical.
- o Ligamento cruzado posterior: se inserta en la superficie por detrás de la eminencia intercondílea de la tibia, prolongándose siempre sobre el borde posterior del platillo tibial. Desde aquí se dirige hacia arriba, en sentido anteromedial, para insertarse en la cara lateral del cóndilo medial del fémur, siguiendo una línea horizontal.

Estos dos ligamentos se cruzan en sentido anteroposterior y en sentido transversal. Los dos ligamentos cruzados son los ligamentos que sujetan los dos cóndilos articulares.

Ambos ligamentos, robustos, amarran de cerca la tibia al fémur, son “extrasinoviales”, y las formaciones que cierran el espacio intercondíleo posterior, ligamento poplíteo oblicuo, les dan un aspecto de “intracapsulares”.<sup>[14]</sup>

Estos ligamentos impiden, especialmente en la posición de flexión, el deslizamiento anterior (ligamento cruzado anterior) y posterior (ligamento cruzado posterior) de la cabeza de la tibia. En todas las posiciones articulares de la rodilla hay alguna parte de los ligamentos cruzados que está tensada. Entre las funciones más importantes de los

ligamentos cruzados cuenta el control del movimiento de rodamiento y deslizamiento de la articulación de la rodilla. Este movimiento es asegurado por la torsión de los ligamentos cruzados en las diferentes posiciones funcionales, puesto que una parte de las fibras están en tensión. Además, el ligamento cruzado anterior impide la rotación externa no fisiológica y la abducción de la pierna en la rodilla cuando se le aplica la carga correspondiente. Al efectuar la rotación interna de la pierna, los dos ligamentos se enrollan entre ellos y se produce una inhibición precoz de este movimiento de rotación. Puesto que al realizar la rotación externa los ligamentos se desenrollan, el movimiento en esta dirección es mucho más generoso. Debido a los mecanismos de adherencia ya descritos, las roturas del ligamento cruzado anterior suelen ir asociadas a lesiones del menisco interno, del ligamento lateral medial y de la cápsula.

Cuando existe una insuficiencia del ligamento cruzado anterior al realizar la flexión de rodilla los cóndilos femorales ruedan hacia dorsal sobre el platillo tibial de manera menos controlada que en condiciones normales, y la cabeza de la tibia se desplaza en correspondencia hacia anterior, generando un resalto que se puede visibilizar. Estas diferentes funciones son la razón por la que, en los diferentes mecanismos lesionales –cargas de empuje al iniciar el movimiento y al detenerlo, o al realizar movimientos de abducción-rotación en el aterrizaje después de un salto– pueden presentarse diferentes formas de rotura, o roturas parciales o totales del ligamento, debido a las diferentes sollicitaciones que recibe este ligamento.

Otra función importante del ligamento cruzado anterior es la denominada función de recepción. Dentro del ligamento encontramos receptores de fuerza y de tensión que regulan la musculatura mediante círculos neuromotores. Ésta es la razón por la que la persona puede mostrar una inseguridad más o menos marcada durante la marcha.<sup>[12,14]</sup>

- Musculatura de la articulación de la rodilla:
  - Musculatura de la cara anterior de muslo:
    - o Músculo cuádriceps femoral: es el principal músculo extensor de la articulación de la rodilla. Este músculo está compuesto por el músculo recto femoral, biarticular y los tres vastos medial, lateral e intermedio.

El músculo cuádriceps femoral es extraordinariamente importante para la estabilización de la articulación de la rodilla. Su lesión provoca una pérdida masiva de masa y tono muscular; se pierde en gran medida el control del movimiento de dicha articulación.

- o Músculo sartorio: es el músculo más largo del hombre. Como músculo biarticular colabora, por un lado, en la flexión, aducción y rotación externa del muslo y, por otro lado, ayuda a efectuar la flexión de la pierna (pierna libre) y la enrolla flexionada hacia dentro.

- Musculatura de la cara lateral del muslo:

- o Músculo tensor de la fascia lata: Conduce el muslo de la pierna libre hacia delante (extensión) y lo abduce. En la pierna de apoyo colabora con la flexión de tronco y con la rotación de la pelvis hacia delante.

Cumple una importante función en el sistema de estabilización y fijación del muslo mediante la tensión activa de la aponeurosis del muslo, que también irradia al músculo glúteo mayor.

- Musculatura de la cara posterior del muslo:

La musculatura de la cara posterior del muslo –también son denominados músculos isquiocrurales– cumple esencialmente una función de movimiento dinámica, y por este motivo está dividida de forma diferente a la musculatura extensora de la rodilla, con una función predominantemente estática y orientada a la estabilidad.

- o Músculo bíceps femoral: es biarticular y ayuda, por un lado, a realizar la extensión de la cadera (pierna de apoyo), y, por otro lado, flexiona la pierna (pierna libre) y la enrolla con la rodilla flexionada hacia afuera.

- o Músculo semitendinoso: también biarticular, ayuda, por un lado, a realizar la extensión de cadera en el lado de la pierna de apoyo, y, por otro, flexiona la articulación de la rodilla (lado de la pierna libre) y rota internamente la pierna flexionada.

- o Músculo semimembranoso: tiene las mismas funciones que el músculo semitendinoso, pero el semimembranoso es un poco más fuerte.

Los músculos isquiocrurales son importantes durante la marcha para la colocación en ángulo recto del pie en el suelo.

- o Músculo poplíteo: flexiona la pierna en la articulación de la rodilla y la rota internamente.

- Musculatura de la cara medial del muslo:

- o Músculo aductor largo: aduce el muslo y colabora en la flexión de la articulación de la cadera.

- o Músculo pectíneo: aduce el muslo y colabora en la flexión y rotación externa de la articulación de la cadera.
- o Músculo grácil: es biarticular y tiene un efecto aductor sobre la articulación de la cadera y un efecto flexor y de rotador interno sobre la rodilla.
- o Músculo aductor corto: realiza la aducción y rotación externa del muslo.
- o Músculo aductor mayor: es el más fuerte de los aductores, y cumple además una función de rotador interno con su inserción inferior.

El efecto estático principal de los aductores es la equilibración de la carga del tronco inestable mediante la constante regulación de la posición de la pelvis; a través de sus componentes aductores y de rotación interna y externa impiden el cizallamiento de la pelvis.

- Musculatura de la cara posterior de la pierna:

- o Músculo gastrocnemio: participa de forma decisiva en la flexión plantar y desempeña de esta forma un rol importante en la carrera y el salto. Además de su efecto supinador adicional, este músculo biarticular también flexiona la articulación de la rodilla (pierna libre). El efecto biarticular de este músculo alberga un importante mecanismo para la capacidad de rendimiento deportivo (especialmente para los saltos).
- o Músculo plantar delgado: es biarticular de la rodilla y el tobillo, pero sólo es capaz de una débil flexión en ambas articulaciones.<sup>[12,13]</sup>

- Vascularización:

Las arterias, que irrigan la articulación, proceden de la arteria femoral, de la arteria poplítea y de la arteria tibial anterior.

La arteria poplítea suministra cinco arterias articulares: dos arterias articulares superiores, dos articulares inferiores y una articular media, esta última se distribuye en gran parte en los ligamentos cruzados.

Las ramificaciones de las arterias femoral, tibial anterior y poplítea, excepto la articular media, contribuyen a formar un círculo periarticular de donde emergen ramas de diámetro pequeño que se distribuyen por las partes anteriores y laterales de la articulación.<sup>[14]</sup>

- Inervación:

El nervio tibial da tres ramos que siguen a las arterias articulares mediales, superior e inferior, y la articular media.

El nervio peroneo común origina tres ramos articulares que siguen a las arterias articulares superior e inferior y a la recurrente tibial anterior.

El nervio obturador proporciona un pequeño ramo que sigue a la arteria femoral y se pierde en las partes posterior y medial de la articulación.

El nervio femoral, a través de los nervios de cada músculo vasto, proporciona la inervación superior profunda.<sup>[14]</sup>

### **III.b. Biomecánica de la rodilla**

Considerada desde el punto de vista mecánico, la articulación de la rodilla constituye un caso sorprendente: debe conciliar dos imperativos contradictorios:

- Poseer una gran estabilidad en extensión completa, posición en la que la rodilla soporta presiones importantes, debidas al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca;
- Alcanzar una gran movilidad a partir de cierto ángulo de flexión, movilidad necesaria en la carrera y para la orientación óptima del pie en relación con las irregularidades del terreno.

En flexión, posición de inestabilidad, la rodilla está expuesta al máximo a las lesiones ligamentosas y meniscales.

En extensión, es más vulnerable a las fracturas articulares y a las rupturas ligamentosas.

El primer sentido de libertad está condicionado por el eje transversal, alrededor del cual se efectúan los movimientos de flexión-extensión en un plano sagital.

El segundo sentido de libertad de movimiento consiste en la rotación alrededor del eje longitudinal de la pierna, con la rodilla en flexión. La estructura de la rodilla hace que esta rotación sea imposible cuando la articulación se encuentra en extensión completa.<sup>[5]</sup>

La flexión-extensión es el movimiento principal de la rodilla. Es posible efectuar, sobre todo de forma pasiva, un movimiento de extensión de unos 5 a 10°, a partir de la posición de referencia; este movimiento recibe el nombre, desde luego erróneo, de <<hiperextensión>>. En ciertos sujetos, esta hiperextensión puede estar exagerada por motivos patológicos; entonces nos hallamos ante un genu recurvatum.

La flexión activa alcanza los 140° si la cadera está en flexión previa y tan sólo llega a 120° si la cadera se encuentra en extensión. Esta diferencia de amplitud se debe a la disminución de la eficacia de los isquiotibiales cuando la cadera está en extensión. La flexión

pasiva de la rodilla alcanza una amplitud de 160° y permite que el talón entre en contacto con la nalga.

La patela desciende con la tibia durante la flexión y se levanta delante de los cóndilos femorales durante la extensión.

Para medir la rotación axial activa, la rodilla debe estar en flexión de 90° y el sujeto sentado en el borde de la mesa, con las piernas colgando: la flexión de la rodilla excluye la rotación de la cadera. La rotación externa es de 40° contra los 30° de la rotación interna.

Existe una rotación axial llamada <<automática>>, porque va unida a los movimientos de flexión-extensión de manera involuntaria e inevitable. Tiene lugar en especial al final de la extensión y al comienzo de la flexión. Cuando la rodilla se extiende el pie se mueve en rotación externa. A la inversa, al flexionar la rodilla, la pierna gira en rotación interna.

La estabilidad de la rodilla, debido a la ausencia de contención de las superficies articulares, está asegurada por los ligamentos colaterales y cruzados. A esto se agrega el soporte formado por la parte lateral de los meniscos y por los músculos periarticulares, verdaderos ligamentos activos.<sup>[5]</sup>

### **III.c. Epidemiología, etiología y factores de riesgo**

Los estudios que analizan la tasa de incidencia de desgarros del ACL en la población en general detallan que la misma es de 68,8 por cada 100.000 personas-año y que esta incidencia es mayor en hombres que en mujeres, siendo esta tasa de 76,8 - 86,6 por 100.000 personas-año en hombres y de 51,3-59,2 por 100.000 personas-año en mujeres. La incidencia anual específica por edad y sexo en las mujeres fue mayor entre los 14 y los 18 años (227,6 por 100.000), mientras que entre los hombres se observó un pico de incidencia entre los 19 y los 25 años (241 por 100.000).<sup>[15]</sup>

Ahora bien, cuando se analiza esta tasa de incidencia de lesiones del ACL en una población atlética, se encuentra un cambio importante. Varios estudios han concluido que las mujeres atletas tienen un alto riesgo de lesión del ACL cuando participan en deportes competitivos. Los médicos especialistas en medicina deportiva afirman que la tasa de incidencia de desgarros del ACL es entre 8 y 9 veces mayor en mujeres que en hombres cuando se estudia a la población atleta. Sin embargo, la evidencia actual estima que la incidencia promedio de ruptura del ACL es de aproximadamente 1 en 3500 entre las poblaciones de atletas y que la proporción de incidencia y la tasa de incidencia de lesión del ACL en atletas femeninas fueron del 3,5 % y 1,5/10.000 exposiciones de los atletas (AE), respectivamente y, la proporción de incidencia y la tasa de incidencia de lesiones del ACL en

deportistas masculinos fueron del 2 % y 0,9/10.000 AE, respectivamente. En general, las atletas femeninas tenían una proporción de incidencia 1,5 veces mayor y un aumento de 1,7 veces en la tasa de incidencia de lesión del ACL en comparación con los hombres. La disparidad de sexo informada en las tasas de lesión del ACL fue independiente del nivel de participación y la duración del seguimiento. Estos datos demuestran que la mayor incidencia en hombres que en mujeres documentada en la población general, se debe al mayor grado de actividad que presentan éstos; pero cuando se estudia a la población atlética esta tendencia se invierte.<sup>[16-18]</sup>

En una revisión sistemática realizada por Agel et al<sup>[19]</sup>, los autores encontraron que la mayoría de las lesiones del ACL en mujeres ocurrieron por un mecanismo sin contacto (60 %) frente a un mecanismo de contacto directo en los hombres (59 %). A su vez, se encontró que los deportes que mayor riesgo demuestran son los que involucran tareas de desaceleración, giro lateral o aterrizaje, que están asociados con altas cargas externas de la articulación de la rodilla; siendo el fútbol, baloncesto, lacrosse, rugby y fútbol americano los deportes que mayor tasa de lesión de ACL presentan. Uno de los mecanismos de lesión más comunes del ACL ocurre cuando la rodilla sufre posiciones forzadas en valgo, varo y/o se extiende más de lo fisiológicamente posible, junto a otro mecanismo de rotación forzada.<sup>[8,19,20]</sup>

Los factores de riesgo para lesión del ACL, ya sea primaria o secundaria, pueden dividirse en factores de riesgo modificables y factores de riesgo no modificables.

Factores de riesgo no modificables: sexo, edad, deporte, técnica quirúrgica, tipo de injerto, ángulo "q" más grande, pelvis más ancha, anteversión femoral creciente, torsión tibial, longevidad de la rodilla con el tiempo.

Factores de riesgo modificables: control neuromuscular del tronco y la articulación de la cadera, fuerza muscular de abducción de la cadera y rotación externa, control biomecánico y neuromuscular de las extremidades inferiores durante tareas dinámicas, propiocepción central, tiempo desde la cirugía, nivel de práctica deportiva, movilidad creciente del mediopié, aterrizaje en una posición de apoyo con el talón, aterrizajes rígidos, 4 dominancias (cuádriceps, ligamentos, extremidades y tronco).<sup>[1,8-10,16,17]</sup>

### **III.d. Fisiopatología**

En las uniones femoral y tibial del ACL se encuentran mecanorreceptores como los corpúsculos de Pacini, las terminaciones de Ruffini y los corpúsculos similares a órganos tendinosos de Golgi, que cumplen un papel importante en la propiocepción. Por ende, las lesiones del ACL además de crear inestabilidad mecánica, también afectan en gran parte la



propiocepción, incluyendo a la estabilidad postural, ya que se produce una falta de información sensorial aferente de los mecanorreceptores al sistema nervioso central.<sup>[21]</sup>

La influencia de la deficiencia propioceptiva después del desgarro del ACL en la estabilidad postural puede compensarse con la ayuda de las entradas visuales, vestibulares y somatosensoriales en las estructuras articulares alrededor de la rodilla, y con la compensación dada por mecanorreceptores articulares ubicados en áreas como la cápsula, los husos neuromusculares, los tendones y las articulaciones adyacentes. Sin embargo, esta compensación no es total y el defecto propioceptivo sigue estando presente.<sup>[21,22]</sup>

En pacientes con desgarros crónicos del ACL, el sentido de la posición articular y la estabilidad postural fueron peores en el lado afectado que en el no afectado. Sin embargo, estas diferencias no se observaron en pacientes con desgarros agudos del ACL. Tomados en conjunto, estos hallazgos indican que un tiempo transcurrido más prolongado desde la lesión hasta la cirugía da como resultado una peor propiocepción y estabilidad postural en las rodillas con deficiencia de ACL. Por lo tanto, para evitar la pérdida de la propiocepción, la reconstrucción del ACL debe realizarse lo antes posible después de que la inflamación de la rodilla haya disminuido y se haya recuperado el rango de movimiento.<sup>[21]</sup>

La lesión del ACL también puede generar que se desarrolle compensación en la articulación de la cadera y en los músculos extensores de tobillo y que disminuya la función de los músculos que extienden la rodilla; se sabe que el cuádriceps sufre una gran inhibición de su actividad posterior a la lesión e intervención quirúrgica de la rodilla, y los músculos extensores de cadera y tobillo aumentan su actividad para suplir la débil función de los extensores de rodilla.<sup>[23]</sup>

### **III.e. Exploración física y diagnóstico**

Para establecer un diagnóstico preciso de ruptura del ACL, el médico reunirá información del historial del paciente, examen físico e imágenes. En ocasiones, los desgarros del ACL ocurren con lesiones concomitantes de meniscos, cartílagos, lesiones de la médula ósea, fracturas intraarticulares u otros ligamentos de la rodilla.

En casos de ruptura del ACL el paciente suele informar (1) un mecanismo de lesión que implica desaceleración/aceleración en combinación con una carga en valgo de la rodilla, (2) escuchar o sentir un "chasquido" en el momento de la lesión, o (3) hemartrosis dentro de las 2 hs de la lesión. La ruptura aguda del ACL se acompaña en más del 80% de los casos de hematomas óseos, los cuales afectan principalmente al cóndilo femoral lateral y al platillo tibial lateral.<sup>[24,25]</sup>

Tres pruebas son aplicadas comúnmente para determinar las lesiones del ACL, la prueba del cajón anterior, la de Lachman y la del desplazamiento del pivote o pivot shift. La prueba de Lachman es la que aporta mayor precisión diagnóstica en términos de sensibilidad y especificidad. La prueba de pivot shift tiene una especificidad muy alta tanto en condiciones agudas como crónicas, por lo que también se recomienda realizarla. Sin embargo, un resultado negativo en la prueba de cambio de pivote no es suficiente para descartar la lesión. La prueba del cajón anterior tiene una alta precisión diagnóstica para la rodilla con deficiencia crónica del ACL, pero demasiado baja cuando se realiza en condiciones agudas. Los resultados de la prueba del cajón anterior y la sensibilidad de la prueba de pivot shift aumentan considerablemente en el paciente anestesiado. Esto se debe a que la anestesia elimina la contracción muscular protectora, mejorando la precisión de las pruebas de confirmación.

El historial del paciente y el examen clínico suelen bastar para llegar al diagnóstico de rotura del ACL. Sin embargo, en ciertas situaciones el dolor y la efusión en un contexto agudo pueden dificultar la detección de la lesión durante el examen físico. En estos casos, la precisión diagnóstica de la resonancia magnética es comparable a la de la prueba de Lachman. Para los pacientes con sospecha de ruptura del ACL, la resonancia magnética tiene valor como (1) un complemento cuando el diagnóstico clínico es incierto; y (2) parte de la evaluación de lesiones de rodilla concomitantes que pueden ser más difíciles de diagnosticar clínicamente (p. ej., lesiones de menisco y cartílago). Las radiografías ortogonales anteroposterior y lateral de rodilla suelen indicarse en lesiones agudas de rodilla para descartar fracturas y lesiones asociadas.<sup>[24-27]</sup>

### **III.f. Opciones de tratamiento, reconstrucción y tipos de técnicas quirúrgicas**

Ante una ruptura del ACL, las opciones de tratamiento disponibles son la intervención quirúrgica y la no quirúrgica. El tratamiento no quirúrgico debe recomendarse como una opción para los pacientes mayores con desgarros del ACL, especialmente aquellos con estilos de vida físicamente poco exigentes y aquellos que no tienen la intención de volver a practicar deportes de pivote. En una revisión realizada por Salzler et al<sup>[28]</sup> concluyen que los pacientes mayores con desgarros parciales, nivel de actividad de baja demanda u osteoartritis de moderada a grave son candidatos para el tratamiento no quirúrgico con aparatos ortopédicos, fisioterapia y modificación de la actividad. Los inconvenientes del tratamiento conservador incluyen la dificultad o la insatisfacción con la modificación de la actividad, que los pacientes muy activos pueden no tolerar.<sup>[28,29]</sup>

En atletas jóvenes, el tratamiento conservador se asocia con un mayor riesgo de lesiones de menisco y cartílago. En esta población, la opción de tratamiento recomendada

es la intervención quirúrgica. La cirugía reconstructiva tiene como objetivo restaurar la laxitud anteroposterior y rotatoria de la rodilla reemplazando el ACL desgarrado. La reconstrucción del ACL se realiza cada vez más como un procedimiento artroscópico. Generalmente se utilizan tres tipos de injertos: autoinjerto, aloinjerto o un sustituto de ligamento sintético. Por lo general, los tendones de los isquiotibiales del semitendinoso y el recto interno se extraen de la extremidad del ACL lesionado; este injerto se retira durante la operación de reconstrucción. Alternativamente, una construcción de hueso-tendón-hueso de la rótula (BPTB) utiliza una sección del tercio central del tendón de la rótula con hueso adjunto de la rótula y la tibia. El tendón del cuádriceps es otra fuente potencial para el injerto y se asocia con menos daño en el sitio de extracción del tendón que los injertos del tendón rotuliano y con resultados similares informados por los pacientes; aunque se cree que la toma de injerto de este músculo puede favorecer a la inhibición de éste en el postoperatorio.<sup>[29-31]</sup>

Los dos autoinjertos mayormente utilizados en la práctica por los cirujanos son el tendón rotuliano (BPTB) y el tendón de los isquiotibiales (HS). Los defensores del autoinjerto BPTB resaltan la fuerza superior del injerto, la fijación segura y la facilidad de extracción como ventajas sobre el autoinjerto HS, que se asocia con un mayor tiempo de incorporación del injerto, posible debilidad de los isquiotibiales y fijación inferior. Los que están a favor del autoinjerto HS citan incisiones más pequeñas, menor morbilidad en el sitio donante, estructura de haces múltiples y área de superficie más grande para la incorporación. Estos defensores a menudo expresan su preocupación por la tendinitis rotuliana y la ruptura del tendón, la fractura rotuliana y el dolor anterior de la rodilla con el uso del injerto BPTB. En ausencia de contraindicaciones específicas para el uso de un tipo de injerto sobre el otro, el autoinjerto que ofrece la mayor probabilidad de un resultado superior y una morbilidad y complicaciones mínimas sigue siendo un tema sin resolver. Estudios que compararon ambas técnicas de reconstrucción no encontraron diferencias estadísticamente significativas para la prueba de salto con una sola pierna, el retorno a la actividad, las puntuaciones de Tegner y Lysholm, las medidas subjetivas de resultado, la tasa de re-ruptura y la puntuación compuesta del IKDC. Pero, sí encontraron que la ACLR con BPTB demuestra una mejor estabilidad según lo determinado por medidas instrumentadas, Lachman y las pruebas de cambio de pivote, en comparación con HS. Por el contrario, las reconstrucciones con BPTB dan como resultado una mayor incidencia de problemas de rodillas y tendencias hacia otras medidas de dolor, malestar, sensibilidad y problemas en la cara anterior de la rodilla operada. Además, las reconstrucciones con BPTB tienen una pérdida significativa del movimiento de extensión y una tendencia a la debilidad extensora mientras que, las

reconstrucciones con HS demuestran los efectos opuestos, con pérdida de movimiento de flexión y debilidad en flexión.<sup>[32]</sup>

El protocolo de rehabilitación después de la ACLR suele ser el mismo independientemente del injerto utilizado. Sin embargo, hay que tener ciertas consideraciones en cuanto a la implementación de los ejercicios en cadena cinética cerrada (CKC) y cadena cinética abierta (OKC) para el cuádriceps. Los ejercicios concéntricos de CKC se pueden realizar a partir de la semana 2 del postoperatorio, indistintamente del injerto utilizado. Para BPTB, los ejercicios OKC pueden comenzar a partir de las 4 semanas posteriores a la operación en un ROM restringido de 90 a 45° y se permite una resistencia adicional, por ejemplo, en una máquina de extensión de piernas (nivel 2). Para HS, los ejercicios OKC también pueden iniciarse a partir de las 4 semanas posteriores a la operación en un ROM restringido de 90 a 45°, pero no se debe agregar peso adicional en las primeras 12 semanas para evitar la elongación del injerto (nivel 2). El ROM se puede aumentar a 90-30° en la semana 5, a 90-20° en la semana 6, a 90-10° en la semana 7 y al ROM completo en la semana 8 para ambos tipos de injertos. Resulta muy importante que los fisioterapeutas tengan bien presente estas consideraciones ya que, de no hacerlo pueden generar un aumento de la laxitud anterior de la rodilla y esto puede ser muy perjudicial, sobre todo en atletas de deportes específicos donde la alta precisión y la estabilidad de la rodilla son de suma importancia.<sup>[33]</sup>

La evidencia sugiere que, cuando está indicada la reconstrucción del ACL, la cirugía se realice de manera temprana ya que de esta forma se previene la inestabilidad recurrente y el daño adicional resultante en el menisco y/o el cartílago articular. Las reconstrucciones pueden realizarse de un solo haz o de doble haz, que implican los dos haces anatómicos del ACL. El riesgo de revisión de la reconstrucción del ACL es menor con la reconstrucción de haz doble (2 %) que con la reconstrucción de haz único (3,2 %). Los resultados de los ensayos aleatorios sugieren que la elección de la técnica de perforación del túnel quirúrgico (portal transtibial versus anteromedial) no está asociada con una diferencia estadísticamente significativa en los resultados clínicos.

En comparación con los autoinjertos, los aloinjertos tienen costos más altos y tasas más altas de falla del injerto y ruptura repetida del ACL, particularmente en atletas jóvenes; por lo que, los autoinjertos son la fuente preferida.

Cuando la lesión del ACL se encuentra asociada con lesión de otros ligamentos de la rodilla o lesiones meniscales, la evidencia actual respalda la resolución quirúrgica temprana de estas lesiones concomitantes.<sup>[29,34]</sup>

### **III.g. Evaluación postquirúrgica o Rehabilitación pre y/o postoperatoria**

Inmediatamente posterior a la intervención quirúrgica, el paciente sometido a reconstrucción del ACL comienza el proceso de rehabilitación, el cual debe planificarse de forma individualizada y estar a cargo de un fisioterapeuta o un grupo de fisioterapeutas con conocimientos específicos en este tipo de lesiones, y prolongarse durante 9 a 12 meses, según los objetivos finales de regreso al deporte del paciente. A la hora de planificar la rehabilitación es muy importante realizar una evaluación completa del paciente, para identificar los puntos débiles a fortalecer y para que, a medida que avanza el paciente en el tratamiento, ir tomando medidas del progreso del mismo y, en caso de ser necesario, realizar modificaciones en el plan de rehabilitación. La valoración de resultados podría clasificarse en 3 grupos según los siguientes criterios: a) Valoración subjetiva de resultados por parte del paciente, incluyendo aspectos como la funcionalidad, satisfacción, calidad de vida, etc. b) Valoración objetiva de resultados funcionales por parte del observador, en la que se tienen en cuenta aspectos relacionados con el desempeño de actividades y capacidad funcional tras la intervención (saltos, carreras, etc.). c) Valoración objetiva de parámetros físicos relacionados con la función del ACL: arco de movilidad articular, fuerza muscular, desplazamiento óseo, etc.<sup>[33,35,36]</sup>

A su vez, en caso de ser posible, se recomienda realizar una evaluación preoperatoria, específicamente del ROM y fuerza del cuádriceps e isquiotibiales; estudios previos mostraron que un ROM de extensión completa preoperatorio reduce la posibilidad de complicaciones postoperatorias como la artrofibrosis. Por otro lado, datos proporcionados por el profesional a cargo de la rehabilitación como son, las indicaciones para caminar con muletas, los ejercicios postoperatorios tempranos y el proceso de rehabilitación pueden mejorar la autoeficacia de los pacientes.

La literatura consultada recomienda dividir el proceso de rehabilitación postoperatoria en 3 fases basadas en criterios: (1) basada en la discapacidad, (2) entrenamiento específico del deporte y (3) regreso a la práctica deportiva. El hecho de realizar una evaluación con medidas funcionales permite que el fisioterapeuta pueda basarse en estas mediciones para determinar la progresión de una fase de rehabilitación a la siguiente; los pacientes pueden comenzar con la siguiente fase solo si se logran los objetivos específicos de la fase anterior y estos deben confirmarse con pruebas objetivas. Esta forma de progresión en la rehabilitación permite dejar atrás viejos protocolos de rehabilitación basados en el tiempo, los cuales se guiaban principalmente en el proceso de remodelación del injerto y no en la rehabilitación basada en objetivos y criterios neuromusculares.<sup>[35-39]</sup>

- a) Valoración subjetiva de resultados por parte del paciente

La diferencia fundamental entre los cuestionarios de valoración subjetiva y otras pruebas de valoración de la rodilla es que los cuestionarios miden discapacidad y las pruebas clínicas miden básicamente la función y el nivel de deterioro de dicha articulación.

- Cuestionario IKDC (International Knee Documentation Committee)

El IKDC es una medida de los síntomas, la función y las actividades deportivas específicas de la rodilla, y es válido y confiable para una variedad de afecciones de la rodilla, incluida la lesión del ACL. Muchos autores consideran que un cambio de 9 puntos, entre antes de la intervención y el seguimiento posterior, representa un verdadero cambio en el estado del paciente, por el contrario cambios menores pueden considerarse insuficientes.

- KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score)

El KOOS es una medida centrada en el paciente, confiable y válida para personas después de ACLR.

- Escala CKRS (Cincinnati Knee Ligament Rating System)

Fue diseñada específicamente para valorar la inestabilidad de la rodilla tras lesiones del ACL, haciendo énfasis en la sintomatología y percepción del paciente sobre la capacidad funcional de su rodilla. Es uno de los métodos de evaluación combinados más utilizados en la actualidad.

- Escala de actividad de Marx

Esta escala cuantifica el pico máximo de actividad del último año. Es usualmente utilizada junto a otras escalas de valoración de rodilla.

- Puntuación de actividad de TEGNER

El paciente califica la propia percepción de su capacidad funcional de la rodilla, según la actividad en función del trabajo y las actividades deportivas en una escala de 0 a 10. Se utiliza como complemento de otros cuestionarios y escalas de evaluación como la escala de Lysholm.

- Escala de LYSHOLM

Esta escala se utiliza para clasificar la sensación subjetiva de bienestar del paciente en relación con su capacidad funcional. A pesar de ser una de las herramientas de evaluación más utilizadas para los resultados de la reconstrucción del ACL, tiene la desventaja de medir únicamente las actividades de la vida diaria (ADL). Por lo que, recomiendan utilizarla junto con la escala de Tegner.<sup>[35]</sup>

b) Valoración objetiva de resultados funcionales por parte del observador

- Análisis visual del movimiento con marcas refractantes

Este tipo de test es llevado a cabo en laboratorios específicos de biomecánica debido a los requerimientos tecnológicos, de alto valor, para su correcta realización. Por lo tanto, es poco operativo en la práctica diaria de la mayoría de los centros médicos de rehabilitación.

- Test de valoración funcional

Entre los más utilizados se encuentran los siguientes:

- o Pequeños saltos con una sola pierna desde parado: Se puede hacer una sola vez, dos o tres consecutivas y se comparan resultados con pierna no intervenida.
- o Test de subir escalones: Se suben y bajan unos 20-22 escalones de una altura aproximada de 17 cm con una sola pierna y se toma el tiempo en realizarlo. También se compara pierna lesionada con sana.
- o Arrodillarse y / o caminar de rodillas y se pasa una escala para que valore el dolor o sensación subjetiva: Se instruye a los pacientes para que se arrodillen y caminen de rodillas sobre una superficie dura frente al examinador durante unos pocos metros. Posteriormente, se les pide que clasifiquen subjetivamente esta actividad como imposible, difícil, desagradable o normal.
- o Saltos verticales con una pierna: Se deja que el paciente realice 4-5 saltos de prueba y después realizan 3 intentos a máxima intensidad que son los que se miden. Se mide la altura y se compara con la pierna no afecta.
- o Saltos a los lados con una pierna: El paciente debe saltar el mayor número de veces posible una distancia de unos 40 cm con una sola pierna.
- o Saltos verticales: Se valora con contra-movimiento. La medición se realiza con una plataforma de fuerza u otro sistema computarizado.
- o Test de saltos desde altura: El paciente se deja caer, con una pierna, desde un escalón de unos 40 cm de altura sobre una plataforma. Posteriormente, realiza un salto lo más alto posible sobre esa misma pierna, para volver a caer en la mencionada plataforma donde se registran los datos obtenidos.

Button et al (2014) llevaron a cabo un estudio con pacientes intervenidos del ACL y lo compararon con un grupo control de pacientes que no habían tenido historial previo de lesión en la rodilla. En dicho estudio analizaron determinados aspectos biomecánicos como

velocidad de marcha y carrera, cadencia (pasos por minuto), distancia de zancada, longitud de zancada, simetría de longitud de zancada y distancia máxima de salto, mediante un sistema de digitalización de imágenes. Los autores encontraron que la velocidad de marcha se normalizó, en comparación con el grupo control, en torno a los 118 días, la distancia de zancada a los 95 días, la cadencia a los 130 días y el índice de asimetría entre ambos miembros inferiores fue del 5% a los 95 días. La distancia de salto con la pierna lesionada entre ambos grupos se equiparó en torno a los 166 días después de la cirugía y la diferencia entre ambos miembros inferiores fue siendo menor a medida que pasaba el tiempo.<sup>[35]</sup>

c) Valoración objetiva de parámetros físicos relacionados con la función del ACL

- Desplazamiento anterior de la tibia

El ACL es la principal estructura que limita el desplazamiento anterior tibial respecto al fémur. Sin embargo, este ligamento permite cierto desplazamiento cuando la rodilla es sometida a fuerzas externas. Un estudio realizado por Yosmaoglu et al (2011)<sup>[40]</sup> han publicado diferencias menores de 3 mm cuando se comparó el desplazamiento tibial anterior del miembro operado con el miembro no operado, independientemente de la técnica quirúrgica llevada a cabo.<sup>[35,40]</sup>

Diferentes test e instrumentos de valoración son utilizados en la práctica clínica diaria por parte de los profesionales que diagnostican, valoran y tratan pacientes con insuficiencia del ACL.

- o Test de Lachman: La prueba de Lachman se realiza con el paciente en decúbito supino y con la extremidad afectada en el lado del examinador. El fémur se estabiliza con una mano, con la articulación de la rodilla del paciente en 20° a 30° de flexión. La otra mano del examinador se aplica a la cara posterior de la tibia proximal. Se aplica una fuerza dirigida hacia delante para desplazar la tibia. El aumento de la traslación anterior de la tibia con un punto final suave en comparación con el otro lado constituye una prueba positiva, lo que indica la interrupción del ACL.
- o Test de Pivot Shift: La prueba de cambio de pivote se realiza con el paciente en decúbito supino. La pierna extendida se levanta por el tobillo con la mano homolateral del examinador. Esta mano rota internamente la rodilla y la flexiona desde la extensión completa, mientras aplica tensión en valgo con la mano contralateral en el lado lateral de la tibia proximal. Una reducción repentina de la meseta tibial lateral subluxada anteriormente causada por el tracto iliotibial indica una prueba de Pivot Shift positiva.



- o Test de cajón anterior: Para la prueba del cajón anterior, el paciente está en posición supina con la cadera flexionada a 45°, la rodilla flexionada a 90° y la pierna en rotación neutra. El examinador estabiliza el pie del paciente con su muslo y coloca ambas manos detrás de la tibia proximal con los pulgares en la meseta tibial. El examinador aplica una fuerza dirigida hacia la parte anterior de la tibia proximal y juzga la cantidad de traslación de la tibia.
- o Artrómetro KT-1000: Diseñado para valorar y medir de forma específica el desplazamiento antero-posterior de la tibia en el plano sagital. Este instrumento es el más usado a nivel internacional para valorar la insuficiencia del ACL.
- o Stryker knee laxity tester: Mide el desplazamiento antero-posterior de la rodilla con test manuales.
- o The Genucom: Mide la laxitud de la rodilla en múltiples direcciones.
- o Acufex Knee signature system: Mide laxitud en diferentes planos.
- o The Rolimeter: Mide laxitud anterior de la rodilla.
- o UCLA (Instrumented Clinical Testing Apparatus): Mide las curvas de respuesta del desplazamiento tibial, así como el desplazamiento total en el plano antero-posterior y en los planos de valgo/varo.
- o Dyonics Dynamic Cruciate Tester (DCT): Valora la traslación antero-posterior de la rodilla.
- o Artrómetro Kneelax 3: Mide el desplazamiento antero-posterior entre la tibia y el fémur.<sup>[35]</sup>
  - Medición de la fuerza muscular de la rodilla

La medición de la función de los grupos musculares que intervienen en la rodilla incluye tanto la medición de la fuerza como de la potencia. Deben analizarse también los valores de la pierna no afectada. Un factor determinante para permitir la vuelta a las actividades físicas y deportivas del paciente es la restauración de una fuerza muscular similar entre ambas extremidades. Un LSI (índice de simetría de extremidades) de >90 % podría usarse como punto de corte. Para deportes de pivote/contacto, se recomienda un LSI de  $\geq 100$  %.

La valoración de la fuerza muscular bajo condiciones isométricas es una herramienta de valoración de la funcionalidad de la rodilla muy objetiva y útil en la práctica clínica; muchos autores la prefieren frente a valoraciones isocinéticas o test de valoración de levantamiento de peso con resistencia variable.

Los dinamómetros manuales son considerados por muchos autores como el mejor método de valoración de la fuerza de la rodilla en la práctica clínica diaria. Los dispositivos más usados en la actualidad son los siguientes:

- o Chatillon MSC Series Dynamometer
- o Lafayette Manual Muscle Test System
- o MicroFET
- o Isobex

Los dinamómetros isocinéticos también pueden ser usados en modo isométrico y permiten una estandarización de los protocolos de valoración bastante óptimos, así como el registro directo de los valores de fuerza obtenidos. El problema que tienen estos dispositivos es su alto coste. En comparación con otros dispositivos usados, los dinamómetros isocinéticos permiten cuantificar los déficits de fuerza muscular a través de la medición de parámetros específicos como trabajo por unidad, pico de fuerza de torsión máxima a determinados recorridos articulares, así como el valor máximo de fuerza utilizado en la contracción. Entre los más utilizados se encuentran:

- o Biodex
- o CON-TREX
- o Humac Norm
- o Kin Com<sup>[35]</sup>

Otras mediciones que se recomiendan realizar en la fase postoperatoria son:

- ROM: de las articulaciones de los miembros inferiores de los pacientes. En la actualidad, el goniómetro manual es la herramienta de medición más utilizada en la práctica clínica para medir el rango de movimiento (ROM) de las articulaciones.
- Área de la sección transversal (CSA): Se realiza con la toma de imágenes por resonancia magnética y se compara el CSA máximo de cada músculo extensor de la rodilla entre la extremidad quirúrgica y no quirúrgica de cada paciente.
- Circunferencia del muslo: La medición se realiza con una cinta métrica corporal flexible. Se mide a 5 y a 15 cm por encima de la rótula y se compara con el muslo contralateral. Un criterio para permitir al paciente el retorno a las actividades

deportivas completas es que la atrofia muscular de la pierna operada sea igual o menor a 1 cm con respecto a la extremidad contralateral.

- Derrame de la rodilla: El derrame puede evaluarse mediante el test de derrame modificado como método fiable para calificar el derrame de la rodilla.
- Propiocepción: La evaluación propioceptiva incluye la detección de la posición estática y la detección del movimiento dinámico. La dirección de ambas pruebas se fija para que sea de 90° de flexión a extensión completa.
- Dolor: La evaluación del dolor es una medida muy importante de tomar en la progresión del tratamiento, incluso en el día a día de la rehabilitación. Es una valoración que permite reflejar la respuesta del paciente ante la intensidad del tratamiento ofrecido por el grupo de fisioterapeutas. Algunas de las escalas más utilizadas en la práctica clínica diaria son: Escala Analógica Visual (VAS); Escala de Catastrofización del Dolor (PCS); Escala de Calificación Numérica del Dolor (NRS).
- Equilibrio y Coordinación Neuromuscular: La prueba más utilizada para esta medición es el Y Balance Test (YBT). El YBT es una herramienta de valoración de la estabilidad postural dinámica que evalúa una combinación de amplitud de movimiento, flexibilidad, control neuromuscular, equilibrio y fuerza de las articulaciones del tobillo, cadera y rodillas.
- Factores psicológicos: Se ha demostrado que los factores psicológicos del paciente como la autoeficacia, el locus de control y el miedo de volver a lesionarse son predictores de los resultados de la ACLR y de la tasa de retorno al juego. Por lo que, evaluar los cambios psicológicos durante la rehabilitación con un instrumento objetivo, por ejemplo, con la Escala de Marx, la Escala de Psicovitalidad o la Escala de Autoeficacia de la Rodilla podría ser de gran importancia en la evaluación del paciente.<sup>[25,33,36,38,39,41-43]</sup>

### **III.h. Regreso al deporte**

Uno de los principales objetivos entre los atletas que se someten a ACLR es volver al nivel de rendimiento deportivo previo a la lesión. El regreso al juego se define como la capacidad de jugar un partido competitivo al nivel previo a la lesión. Los individuos que regresan al deporte previo a la lesión después de la ruptura del ACL informan una mejor calidad de vida relacionada con la salud y la rodilla entre 5 y 20 años más tarde, en comparación con aquellos que no regresan al deporte. La dificultad para determinar el momento del regreso al juego es que se desconoce qué medidas se deben usar para

predecir un regreso seguro al deporte con un bajo riesgo de una segunda lesión del ACL. Muchos autores han intentado establecer pautas o criterios de retorno al deporte basados en evaluaciones funcionales y tiempo desde la ACLR. Sin embargo, los estudios carecen de criterios fisiológicos objetivos de en qué momento después de la ACLR se permite volver a jugar, pero sí está claro que debe realizarse una extensa batería de pruebas que evalúen los posibles factores relacionados con la re-lesión del ACL y ayudar a proporcionar medidas preventivas personalizadas. Por lo tanto, las pautas actuales se basan en estudios de observación y opiniones de expertos. Webster y Hewett<sup>[44]</sup> confirmaron recientemente en un metanálisis que pasar una batería de pruebas antes del RTS resultó en una disminución significativa del riesgo de ruptura del injerto del ACL. Además, los pacientes que pasaron los criterios de RTS a los 6 meses de la operación tenían una probabilidad significativamente mayor de volver a jugar tanto a los 12 como a los 24 meses después del procedimiento índice.<sup>[25,39,41,45-47]</sup>

La creación de un conjunto de métodos de evaluación suficientemente sensibles puede reducir significativamente el riesgo potencial de lesiones debido al hecho de que los déficits diagnosticados y monitoreados pueden tratarse de manera continua. Pero, debido a que, hasta el momento, no se ha establecido un método único que capture todos los componentes esenciales necesarios para volver al deporte, se pueden usar varias mediciones de las deficiencias de las extremidades y del estado psicológico para capturar diferentes construcciones de la función física y mental que son necesarias para medir la función de un paciente en un momento dado. A su vez, también hay que tener en cuenta a qué deporte busca retornar el paciente a la hora de tomar la decisión de las pruebas a realizar ya que, diferentes deportes, e incluso diferentes aspectos dentro de un deporte, plantean diferentes demandas de preparación física y psicológica. Lo que sí está claro es que, la rehabilitación después de una ACLR debe ser individualizada y basada en criterios, con un retorno gradual al deporte/actividad como parte integral de la progresión del tratamiento.<sup>[25,42,43,45]</sup>

Recientemente se ha informado sobre la prueba compuesta Knee Santy Athletic Return To Sport (K-STARTS) como método de evaluación previo al RTS y su validación. Esta batería de pruebas está compuesta tanto por pruebas funcionales como psicológicas. Tiene una alta tasa de finalización (100 %), alta reproducibilidad, alta sensibilidad al cambio y correlación moderada tanto con las pruebas de salto como con la escala ACL Return To Sports after Injury (ACL-RSI). La puntuación del K-STARTS consta de 7 componentes, cada uno con una puntuación posible de 0 a 3 puntos. Estas puntuaciones de cada componente se suman para dar una puntuación general máxima (la mejor) de 21 puntos. Los componentes son:

- Evaluación de la preparación psicológica para RTS: está determinado por el resultado del cuestionario ACL-RSI.
- Evaluación del control neuromuscular: está determinado por el resultado de la herramienta de evaluación cualitativa del aterrizaje con una sola pierna (QASLS), que proporciona un marco para el análisis de las estrategias de movimiento que se producen en los brazos, el tronco, la pelvis, los muslos, las rodillas y los pies, durante las tareas de carga con una sola pierna.
- Cuatro categorías de prueba de salto (simple, triple, lateral y cruzada): Las pruebas de salto se evaluaron utilizando el índice de simetría de las extremidades.
- Habilidad para cambiar de dirección: se evaluó mediante la prueba de cambio de dirección de Illinois modificada (MICODT).<sup>[47]</sup>

En un estudio realizado por Franck et al<sup>[47]</sup>, los autores concluyeron que, la participación y finalización de 10 sesiones de un programa de RTS, además de la rehabilitación estándar, influyó significativamente en la puntuación compuesta de la prueba de rendimiento deportivo funcional y psicológico de K-STARTS a los 6 meses después de ACLR (puntuación K-STARTS media de los pacientes que completaron el programa RTS: 17,1 puntos; puntuación media de K-STARTS de los no participantes: 13,1 puntos; diferencia de medias: 4 puntos; P= 0,001). El hecho de no completar la rehabilitación se asoció con una tasa mucho más alta de fallas en los criterios de prueba de RTS. Sobre la base de estos hallazgos, la prueba K-STARTS se considera una medida de resultado adecuada y objetiva para la mejora funcional después de la reconstrucción del ACL y su puntaje es apropiadamente sensible al cambio. A pesar de esto, los autores aclaran que se necesita más investigación para evaluar los puntajes de corte de K-STARTS con respecto a la preparación para el RTS.<sup>[47]</sup>

Por otro lado, en el ensayo realizado por Oleksy et al<sup>[42]</sup>, los autores encuentran que los atletas después de la reconstrucción del ACL todavía tienen déficits en los patrones de movimiento o en el control neuromuscular a pesar de estar autorizados para el rendimiento deportivo y aprobar el RTS; por lo que recomiendan utilizar además las pruebas Y Balance Test y la evaluación Tuck Jump (TJA), ya que ciertos elementos individuales de estas pruebas son útiles con respecto a la evaluación de estos deterioros. En la prueba YBT, los déficits en la distancia de alcance anterior son específicos para las personas después de la ACLR y aún ocurren a pesar de pasar otras pruebas RTS; esto indica una deficiencia en el equilibrio dinámico debido a la deficiencia funcional del ACL y la dominancia del cuádriceps. Por su parte, el TJA es una prueba pliométrica, que identifica fallas en la técnica de salto y

aterrizaje, que tiene como objetivo identificar cinco factores de riesgo asociados con la lesión del ACL, como dominancia de ligamentos, dominancia de cuádriceps, dominancia de piernas, dominancia de tronco y perfección técnica. Los sujetos que se someten a una reconstrucción de ACL suelen demostrar un desempeño más bajo en los ítems 1 (dominancia del ligamento), 2 (dominancia del cuádriceps), 3 (dominancia de piernas) y 9 (fatiga/disminución en la técnica de salto) del TJA en comparación con sujetos sin lesión del ACL.<sup>[42]</sup>

Es importante destacar la diferencia entre el concepto de asociación de lesiones y el de predicción de lesiones. La observación de una cierta asociación entre el resultado de una prueba de detección y una lesión posterior no significa necesariamente que dicha prueba pueda usarse con el propósito de predecir lesiones (o identificar atletas con un riesgo particular de lesión).

A pesar de no poder predecir con precisión las lesiones, la evaluación de los atletas en busca de factores relevantes para la re-lesión del ACL hace un seguimiento de su progreso durante el entrenamiento o el regreso al deporte y, lo que es más importante, aún es posible ofrecerles contramedidas preventivas personalizadas mediante la combinación de diferentes pruebas de cribado.

Lo que deja ver esta información es que no hay una manera específica de llevar a cabo el proceso de RTS, pero lo que sí está claro es que el seguimiento debe ser individual, progresivo y realizando una evaluación constante del camino hacia el retorno al deporte, buscando identificar factores o déficits a corregir para tratar de reducir al mínimo los factores de riesgo de nueva lesión.<sup>[46]</sup>

La evidencia marca que la tasa de retorno al deporte, independientemente del nivel deportivo del atleta, es de casi el 70 %. Una revisión sistemática reveló que, de los pacientes que no retornaron al nivel deportivo previo a la lesión, el 65 % de estos pacientes mencionaron una razón psicológica para no volver a practicar deporte, siendo el miedo a volver a lesionarse la razón más común. En cuanto al sexo y la técnica quirúrgica, los hombres tenían 1,4 veces más probabilidades de volver al nivel deportivo previo a la lesión que las mujeres, y el BPTB (hueso-tendón patelar-hueso) era 1,2 veces más probable que el HS (injerto de isquiotibiales).<sup>[33,45,48]</sup>

El equipo médico suele basarse en tres consideraciones clave para la toma de decisiones: (1) ¿Está el atleta físicamente preparado para participar en la actividad/deporte? (2) ¿Está el atleta mentalmente preparado para desempeñarse en la actividad/deporte? (3) ¿Hemos dejado pasar suficiente tiempo desde la lesión/cirugía para que ocurra la curación biológica suficiente?

- 1) Preparación física: Los atletas que pasan criterios específicos antes de volver al deporte tienen un riesgo mucho menor de volver a lesionarse. Grindem et al<sup>[49]</sup> demostraron que los atletas que fallaron en alguno de los criterios de regreso al deporte tenían más probabilidades de sufrir una nueva lesión en la rodilla (38 %), en comparación con los que pasaron todos los criterios de retorno al deporte (6 %). Por su parte, Kyritsis et al<sup>[50]</sup> encontraron que, entre los atletas que retornaron al nivel previo a la lesión sin haber cumplido los criterios de RTS, el 33 % sufrió una rotura del injerto. En comparación, el 10 % de los que pasaron los criterios de regreso al deporte se rompieron el injerto de ACL.<sup>[25]</sup>

La elección de la/s prueba/s a realizar dependerá del deporte al que el atleta pretenda volver. La introducción gradual de ejercicios específicos del deporte en la fase tardía de la rehabilitación también se puede utilizar para evaluar estos aspectos. Las reglas de derrame articular de rodilla y dolor de rodilla son marcadores clínicos comúnmente utilizados para evaluar la respuesta a la carga, y pueden usarse para guiar la progresión a lo largo de la rehabilitación y el regreso al deporte. El derrame puede evaluarse mediante el test de derrame modificado como método fiable para calificar el derrame de la rodilla.<sup>[25]</sup>

- 2) Preparación psicológica para volver al deporte: Los factores psicológicos están altamente asociados con la no vuelta al deporte después de ACLR. El uso rutinario de la escala de regreso al deporte después de una lesión del ACL (ACL-RSI) puede ayudar al equipo de rehabilitación y al paciente a identificar barreras importantes para volver al deporte y determinar si se requiere tratamiento adicional. Estrategias sugeridas que apuntan hacia los factores psicológicos incluyen: el establecimiento activo de objetivos, tener un modelo a seguir con el que el paciente pueda identificarse, técnicas de relajación y práctica mental.<sup>[25]</sup>
- 3) Curación biológica: Las investigaciones ponen en evidencia que importantes procesos biológicos de curación todavía están en curso en el momento en que los atletas tradicionalmente reanudan las actividades deportivas. Claes et al<sup>[51]</sup>, luego de hacer una revisión sistemática de la literatura, observaron que el marco de tiempo del proceso de ligamentización de los injertos no estaba bien definido, pero suele durar hasta 24 meses después de la cirugía. Se desconoce si la reducción del riesgo de una nueva lesión de rodilla, con más tiempo después de la ACLR, se explica por una mejor curación biológica o una mejor preparación física/psicológica. Hasta 9 meses después de la ACLR, un retraso en el regreso al deporte de un mes se asoció con una reducción del 51 % en las

tasas de reincidencia de lesión en la rodilla. Por lo tanto, se recomiendan entre 9 y 12 meses de rehabilitación antes de la plena participación sin restricciones.<sup>[25]</sup>

Una vez autorizados, los atletas no vuelven directamente a la competición. Los atletas comienzan con la participación en deportes de nivel más bajo en la práctica y aumentan gradualmente hasta la competencia, mientras monitorean el dolor, la efusión y el ROM.<sup>[39,43]</sup>

### **III.i. Segunda lesión del ACL**

A pesar de que la ACLR está recomendada por la literatura y expertos en atletas jóvenes que sufren rotura del ACL y pretenden regresar al nivel deportivo previo a la lesión, desgraciadamente esta no garantiza un retorno a los niveles de actividad anteriores, una función de la rodilla de alto nivel o la preservación futura de la articulación, y la falla del injerto y la ruptura del ACL contralateral aún pueden ocurrir incluso después de una ACLR exitosa. La lesión del injerto ipsilateral utilizado para la ACLR o una nueva lesión del ACL contralateral son resultados desastrosos después de una reconstrucción, rehabilitación y regreso al deporte del ACL.<sup>[51,52]</sup>

Los atletas más jóvenes son los que presentan la tasa más alta de nuevas lesiones y lesiones contralaterales en comparación con los atletas mayores. Esto es así ya que, esta población es la que mayormente intenta el retorno al nivel previo a la lesión, mientras que los atletas mayores suelen optar por realizar deportes de menor demanda ante la ACLR.<sup>[3]</sup>

Desafortunadamente, la tasa de re-lesión para aquellos atletas que retornan a su nivel deportivo previo son de hasta 23 % a 29 %, alcanzando una tasa del 40 % en atletas menores de 20 años en una revisión sistemática reciente realizada por Gokeler et al<sup>[45]</sup>. Paterno et al<sup>[53]</sup> informaron que el 23,5 % de los pacientes jóvenes y activos sufrieron una segunda lesión del ACL en los primeros 12 meses después del RTS posterior a la ACLR. Posteriormente, este grupo informó que el 29,5 % de los atletas activos jóvenes que volvieron a practicar deporte de corte y pivoteo después de ACLR sufrieron una segunda lesión del ACL 24 meses después del RTS. Un seguimiento de 10 años realizado por Salmon et al<sup>[54]</sup> demostró que 1 de cada 3,7 (27 %) personas había sufrido una segunda lesión del ACL. Por lo tanto, se puede concluir que el mayor riesgo de lesión se encuentra en los primeros 24 meses en los que el atleta retorna al nivel previo a la lesión.<sup>[1-3,45,51-55]</sup>

Los atletas jóvenes que regresan a las actividades deportivas han demostrado tener una tasa más alta de segunda rotura del ACL y un riesgo significativamente mayor de sufrir una lesión contralateral en comparación con los atletas mayores. A su vez, dentro de la población atlética joven, las atletas tienen un riesgo significativamente mayor de sufrir una segunda y una lesión contralateral en comparación con los hombres atléticos jóvenes. La



tasa de incidencia de una segunda lesión del ACL en mujeres atletas jóvenes es 16 veces mayor en comparación con la incidencia de lesiones primarias del ACL en la misma población, y 4 veces mayor que las tasas de segunda lesión en atletas varones jóvenes. Además, se observa que la rodilla reconstruida tiene un mayor riesgo temprano después del RTS (hasta los 24 meses posterior a la ACLR) en relación con la rodilla contralateral pero, luego de este período, es más probable que sufran una lesión del ACL de la rodilla no intervenida. Las revisiones sistemáticas de Swärd et al<sup>[56]</sup> y Wright et al<sup>[57]</sup> (ambos de nivel B) concluyeron que el riesgo de una lesión del ACL contralateral (>10 %) es mayor que el riesgo de una primera ruptura del ACL o una nueva rotura del injerto del ACL (alrededor del 5 %) (hasta 10 años después de la ACLR), independientemente de la edad, el sexo o el nivel de actividad. Esto se explica, en parte, por la creciente evidencia que existe de alteración de la carga de la extremidad contralateral posterior a la ACLR durante las actividades deportivas que realizan los individuos jóvenes y activos como protección de la rodilla reconstruida.<sup>[1-3,33,52,56,57]</sup>

La etiología del fracaso en la rodilla reconstruida en el RTS puede clasificarse por sus causas: a) Técnicas, b) Traumáticas y c) Biológicas.

- a) Las causas técnicas alcanzan hasta el 59,3 % de los fracasos y las más frecuentes son la posición incorrecta de los túneles óseos, trocleoplastia inadecuada, tensión insuficiente, fijación escasa y/o el uso de injertos con pobre resistencia.
- b) Las causas traumáticas de ruptura del injerto se estiman entre 5 y 10 % y se dividen en precoces (primeros 6 meses) y tardías (después de 6 meses). Los fracasos más frecuentes parecen estar relacionados con la presencia de inestabilidad periférica no corregida en la primera intervención; la más frecuente es la posteroexterna.
- c) Las causas biológicas representan apenas el 4 % y están ocasionadas por retardo o interrupción del proceso de ligamentización, infección, artrofibrosis, dolor persistente, síndrome de contractura infrapatelar y complicaciones en la zona donadora del injerto. Estos eventos están relacionados en gran medida con el ambiente mecánico y bioquímico articular, como pueden ser la necrosis del injerto, alteraciones en la vascularidad y cambios celulares.<sup>[20]</sup>

La identificación de factores potencialmente modificables predictivos de una segunda lesión del ACL es necesaria para reducir eficazmente este alto riesgo de segunda lesión y secuelas posteriores.<sup>[1]</sup>

### III.j. Ligamentización

El proceso conocido como “ligamentización” fue reconocido por Wilhelm Roux en 1905. Su “ley de adaptación funcional”, según la cual “un órgano se adaptará estructuralmente a una alteración, cualitativa o cuantitativa, de su función”, es válida para los autoinjertos de ACL. Desde entonces, se han realizado muchos estudios que analizaron datos de reconstrucciones de ACL realizadas en perros, cabras, ovejas, conejos, ratas y monos tratando de conocer precisamente cómo es que se da este proceso. Sin embargo, hasta el momento no se ha desarrollado ningún modelo animal ideal de ACL. Además, al comparar la gran cantidad de datos en animales con los pocos estudios de biopsias humanas, se han encontrado diferencias importantes. Lo que sí está claro es que, tanto en animales como en humanos, la incorporación exitosa del injerto (junto con la posterior maduración y función) depende de la remodelación biológica del nuevo ligamento, conocido como proceso de ligamentización del injerto. La ligamentización incompleta o retrasada del injerto (falla temprana del injerto) puede derivar en un fracaso biológico de este proceso y ocasionar una reducción de la rigidez y la fuerza del injerto y un mayor riesgo de volver a lesionarse.<sup>[58-60]</sup>

Los injertos de tendones libres implantados en la rodilla humana para reemplazar un ACL roto son la opción más viable en cualquier momento y se someten a un proceso de cicatrización caracterizado por cambios biológicos progresivos. En este proceso, existen dos lugares principales de cicatrización que deben evaluarse por separado, ya que los procesos biológicos que suceden varían inherentemente: la remodelación intraarticular del injerto, denominada “Ligamentización”, y la incorporación del injerto intratunelar, que se da por cicatrización hueso a hueso o bien por cicatrización tendón a hueso. Amiel et al<sup>[59]</sup> fueron de los primeros autores en analizar la adaptación funcional específica de un injerto de sustitución del ACL y concluyeron que este proceso es más bien una transformación, no una restauración del ACL nativo, ya que seguían existiendo diferencias características entre los injertos de sustitución y el ACL intacto. Zaffagnini et al<sup>[61,62]</sup>, en 2 informes basados en biopsias de un número limitado de ACL humanos reconstruidos hasta 10 años después de la cirugía, encontraron que a partir de los 24 meses después de la reconstrucción, el tejido del injerto se veía “muy similar” a un ACL normal bajo el microscopio óptico y que, a partir de ese momento, no se observaron más cambios. Sin embargo, las diferencias persistentes se mantuvieron a nivel ultraestructural con microscopía electrónica: el diámetro medio de las fibrillas de colágeno y la bimodalidad de la distribución de las fibrillas como en el ACL normal no se alcanzaron en ningún momento dentro del tiempo que duraron los informes. Por otro lado, Amiel et al<sup>[59]</sup> reconocieron que la curación combinada de la remodelación intraarticular y la incorporación del injerto intraóseo decretaban la función mecánica de la articulación

después de la ACLR y, por lo tanto, determinan la rehabilitación y el curso del tiempo hasta que se pueda esperar una función normal de la articulación de la rodilla.<sup>[58-63]</sup>

Aunque está demostrado que este proceso de ligamentización es un continuo de cambios biológicos en lugar de una serie de eventos biológicos distintos y dependientes del tiempo, se considera útil dividir este proceso en diferentes etapas. La mayoría de los estudios con biopsias de injertos acordaron una duración de la ligamentización de 1 a 3 años, caracterizada por tres fases o etapas sucesivas: una fase temprana de depleción de células y fibras colágenas y necrosis parcial, seguida de una fase de remodelación con neovascularización e invasión de células fibroblásticas y finalmente una fase de maduración; algunos autores identifican una cuarta etapa conocida como “punto final”, la cual se define como el punto de tiempo a partir del cual no se observan más cambios en los injertos remodelados. La duración de cada fase es diferente según los distintos autores y la misma parece depender principalmente del entorno del ligamento, la posición del injerto y los microtraumatismos inducidos por la fisioterapia.<sup>[63,64]</sup>

- Fase de cicatrización temprana del injerto

Comprende el período de tiempo que se da desde el momento de la ACLR hasta alrededor de la cuarta semana post-operatoria e involucra los cambios biológicos que se dan en este lapso de tiempo.

Esta fase está marcada por el aumento de la necrosis, principalmente en el centro del injerto y la hipocelularidad. La necrosis del injerto lleva a la liberación de varias citocinas que desembocan en una cascada de expresión de factores de crecimiento que, a su vez, dan como resultado la migración y proliferación celular, así como la síntesis y revascularización de la matriz extracelular. El proceso de remodelación ya comienza entre la 1<sup>a</sup> y la 2<sup>a</sup> semana, y su intensidad aumenta progresivamente hasta llegar a su punto máximo durante la fase de proliferación entre la 4<sup>a</sup> y 10<sup>a</sup> semana.

Durante esta fase, la resistencia mecánica del injerto implantado es característicamente inferior a la del momento de la reconstrucción y continúa perdiendo resistencia mecánica hasta alrededor de la 6<sup>a</sup> semana postoperatoria. Mientras que, la falta de incorporación suficiente del injerto es el punto débil de la reconstrucción en la fase de cicatrización temprana, entre las semanas 2 y 4, con un fallo constante por arrancamiento del injerto, durante la fase de cicatrización proliferativa, hay que marcar un desplazamiento hacia la región del injerto intraarticular cuando la máxima actividad de remodelación parece interferir con la resistencia mecánica del injerto en cicatrización. Aunque está claramente demostrado este deterioro de la resistencia mecánica del injerto en curación, se ha señalado la importancia de los estímulos de carga mecánica para el tejido en cicatrización. Ohno et al<sup>[65]</sup>

señalaron una pérdida significativa de la resistencia a la tracción a la semana, con un mayor deterioro hasta las 6 semanas de cicatrización al privar de tensión al injerto in vivo. Por otro lado, la sobrecarga del injerto también puede ser perjudicial para la cicatrización del mismo, provocando un mayor deterioro del injerto. De esta manera, se está de acuerdo en que la curación del injerto sólo puede progresar si se produce una carga mecánica, pero la magnitud más adecuada en las distintas fases de la curación aún no está claramente definida.<sup>[58,59,63,64]</sup>

- Fase de proliferación de la cicatrización del injerto

Esta fase se caracteriza por un máximo de actividad celular y cambios de la matriz extracelular, que son paralelos a las propiedades mecánicas más bajas de la articulación de la rodilla reconstruida durante la cicatrización.

Durante esta fase, aparecen regiones hipercelulares que consisten principalmente en células madres mesenquimales y fibroblastos activados y que secretan activamente varios factores de crecimiento para iniciar y mantener la remodelación del injerto. La liberación de estos factores de crecimiento alcanza su punto máximo entre la 3ª y la 6ª semana y cesa casi por completo a las 12 semanas de curación. A lo largo de esta fase de curación, también se encuentra un mayor número de miofibroblastos. Estos fibroblastos contráctiles se expresan progresivamente durante los tres primeros meses postoperatorios en el injerto de ACL en curación y parecen ser responsables de la restauración de la tensión in situ que se requiere para el posterior proceso de ligamentización.

Al mismo tiempo que aumenta la proliferación celular, se confirma una intensa revascularización del tejido del injerto a partir de la 4ª semana del postoperatorio y alcanza a cubrir todo el diámetro del injerto al final de la fase de proliferación alrededor de las 12 semanas de cicatrización. Luego, la densidad vascular vuelve a los valores del ACL intacto durante la fase de ligamentización a los 6 meses. La pérdida de la orientación regular del colágeno y del patrón de enrollamiento desempeña un rol importante en la reducción de la resistencia mecánica del injerto en cicatrización y recién es en la fase de ligamentización cuando se observa una lenta restauración de la orientación del colágeno y del patrón de enrollamiento. A la vez, se observa una disminución elocuente de la densidad de las fibrillas de colágeno, a la que sigue un aumento de la síntesis de colágeno y un posterior retorno a los valores del ACL intacto a las 12 semanas. A pesar de esto, durante el restablecimiento de la densidad de colágeno se observa un cambio de las fibrillas de colágeno de gran diámetro (que son las que dominan en el injerto de ACL intacto, el tendón rotuliano o el tendón de la corva) a las fibrillas de pequeño diámetro, que se demostró que proveen menos resistencia mecánica que las fibrillas de gran diámetro.

Los estudios realizados de biopsia humana afirman que el injerto de ACL humano tiene su resistencia mecánica más baja alrededor de las 6 a 8 semanas después de la reconstrucción. Habrá que determinar qué carga del injerto de cicatrización es la más apropiada en esta fase de curación. Debe ser lo suficientemente alto como para estimular a las células del injerto a producir componentes celulares y extracelulares para preservar la estabilidad del injerto, pero sin comprometer la integridad del mismo, lo que podría llevar a un estiramiento temprano de la reconstrucción del ACL.<sup>[58,59,63,64]</sup>

- Fase de ligamentización de la cicatrización del injerto

Esta fase sigue directamente a la fase de proliferación e implica el proceso continuo de remodelación del injerto en curación hacia la morfología y la resistencia mecánica de los ligamentos cruzados intactos. No ha sido posible establecer un punto final claro de esta fase, dado que siguen produciéndose cambios incluso años después de la reconstrucción. Este proceso de ligamentización implica más bien una transformación del tejido del injerto que se asemeja a las propiedades del ACL intacto, pero no logra reproducirlas por completo.

La vascularización retorna a los valores del ACL intacto entre los 6 y 12 meses. Sin embargo, siguen presentándose varias diferencias, especialmente con respecto a la matriz extracelular. Se puede ver un enrollamiento regular de las fibras de colágeno a los 6 meses, pero incluso después de 2 años, su frecuencia sigue siendo mayor en comparación con el ACL intacto. La composición heterogénea de fibras de colágeno de diámetro variable del ACL intacto nunca se restaura. El aumento de la síntesis de colágeno tipo III de la fase de proliferación disminuye durante la fase de ligamentización, pero sigue manteniéndose en concentraciones significativamente mayores que en el ACL intacto incluso a los 2 años. El colágeno de tipo III tiene una resistencia mecánica inferior a la del colágeno de tipo I.

Aunque se produce una adaptación del injerto en curación hacia el ACL intacto, no parece que se logre una restauración completa de las propiedades biológicas o mecánicas del ACL intacto. Aun así, los estudios de resultados clínicos han demostrado claramente que los pacientes pueden retornar a las actividades más extenuantes después de la reconstrucción primaria del ACL a los 6 meses. Esto está respaldado por los estudios de biopsia en humanos, que revelaron un injerto intacto y totalmente viable en este punto de tiempo.

Aunque no se comprende del todo los mecanismos exactos que guían el proceso de ligamentización, sí está claro que lo más importante es que se restablezca la mecánica de la articulación de la rodilla mediante la reconstrucción del ligamento cruzado, de modo que se reproduzcan con precisión las condiciones de carga del ACL intacto. Sólo si la reconstrucción puede recomponer la anatomía de los ligamentos cruzados intactos, el

movimiento de la articulación de la rodilla suministrará el mismo estímulo mecánico al injerto del ACL en curación que al ACL intacto. Solamente así se obtendrá una remodelación moderadamente adecuada que mantendrá la integridad inicial del injerto y la viabilidad celular de manera parcial, al tiempo que comenzará la proliferación y diferenciación celular y extracelular para acondicionar el injerto a su nuevo entorno biológico y mecánico. De esta manera, el autoinjerto en su nueva posición funciona más como una “rienda de control” que como un fino sistema de guía del movimiento articular (función original del ACL). A pesar de las diferencias en las fuerzas mecánicas, la ligamentización continúa produciéndose, lo que remarca la importancia del entorno del líquido sinovial. De todos modos, el hecho de que los autoinjertos rotos tuvieran una reabsorción completa de su porción intraarticular deja en claro que las fuerzas mecánicas (por ejemplo, un anclaje sólido) son indispensables para que se produzca el proceso de ligamentización como tal. Entonces, tanto la reconstrucción adecuada del ACL a cargo de los cirujanos, como la buena regulación en las cargas impuestas al injerto en las diferentes fases de cicatrización, son factores cruciales para lograr un buen funcionamiento de la articulación reconstruida.<sup>[58,59,63,64]</sup>

Pouderoux et al<sup>[66]</sup>, en una revisión sistemática reciente, concluyeron que, la laxitud articular y la distensibilidad del injerto evolucionan durante el primer año postoperatorio con una fase entre el primer y el noveno mes postoperatorio de relativa debilidad. Se cree que un aumento de la laxitud articular después de la reconstrucción del ACL es la suma del deslizamiento o falla de la fijación y la elongación del injerto, la cual se estabiliza a partir del noveno mes. Los resultados que demuestran los autores es que la laxitud articular y la distensibilidad del injerto se estabilizan al final del primer año, lo cual puede indicar el final de la fase de remodelación de la ligamentización. A su vez, consideran que la evaluación de la laxitud articular y la distensibilidad del injerto durante el primer año posoperatorio puede influir en el proceso de rehabilitación y servir como una herramienta de decisión adicional para hitos importantes como el RTS. Posiblemente, un aumento relativo de la distensibilidad del injerto durante este período indica debilidad del injerto, inclusive antes de que se presenten posibles síntomas funcionales y, por lo tanto, impide avanzar en el protocolo de fisioterapia o incluso dar un paso atrás. Contrariamente, la disminución gradual y la estabilización de la laxitud articular y la distensibilidad del injerto puede anunciar la tercera fase y también influir en la decisión de RTS. Teniendo en cuenta este perfil de evolución establecido, el regreso a los deportes de pivote o de contacto debiera considerarse sólo después de la estabilización de la laxitud articular y la distensibilidad del injerto.<sup>[66]</sup>

La señal del injerto en la resonancia magnética nuclear (MRI) es una herramienta no invasiva útil para evaluar cualitativamente la ligamentización del injerto después de la operación. El SNQ (cociente señal/ruido) en MRI es el método más común informado en la

literatura para evaluar la ligamentización del injerto, donde valores más pequeños del SNQ indican una mejor maduración del ACL reconstruido. El SNQ del injerto aumenta después de la cirugía, alcanza un punto máximo a los 4-6 meses y luego disminuye al año.

La resistencia mecánica inicial del injerto previo al trasplante parece ser un factor crucial para determinar los resultados luego de la ACLR. Tohyama et al<sup>[67]</sup> observaron una asociación entre un aumento excesivo de la tensión tendinosa y una reducción de la fuerza tensil en la fase postoperatoria temprana. El tendón en pacientes esqueléticamente inmaduros puede ser mecánicamente más endeble que el de sus contrapartes maduros y, de ser así, serían incapaces de soportar la tensión repetitiva de flexión y estiramiento. Por lo tanto, los cambios histológicos vinculados con la edad en el tendón trasplantado pueden contribuir en valores más altos de SNQ y peores resultados después de ACLR, encontrando mayor tasa de revisión en los pacientes esqueléticamente inmaduros. Teniendo en cuenta esto, la lesión del ACL en individuos esqueléticamente inmaduros requiere una elección cuidadosa del injerto para su reconstrucción.<sup>[64]</sup>

### **III.k. Entrenamiento neuromuscular**

Está claramente demostrado que un control neuromuscular inadecuado conduce tanto a lesiones primarias como secundarias de las extremidades inferiores y, es un importante factor de riesgo modificable de lesión del ACL. El control neuromuscular adecuado se mantiene mediante un sistema fisiológico intrínsecamente complicado, y el grado en que las alteraciones en este sistema complejo (coactivación de neuronas motoras alfa-gamma, mecanorreceptores, mecanismos corticales y espinales) contribuyen a la lesión es cada vez más claro. Por lo que, implementar terapias que logren optimizar este control neuromuscular es fundamental en la rehabilitación de atletas que se han sometido a ACLR y desean retornar al nivel previo a la lesión.

El déficit en el control neuromuscular se caracteriza por un estado cortical-cerebeloso alterado que puede proporcionar un mecanismo parcial para el aumento de la cocontracción, la inhibición de los reflejos y la activación estabilizadora reactiva de la musculatura del cuádriceps y de los isquiotibiales después de la lesión, producto de una mayor activación cortical y disminución de la participación cerebelosa. El cerebelo desempeña un papel fundamental en la integración sensomotora y el control de la fuerza de precisión para producir una coordinación motora óptima. Por lo tanto, los ejercicios que logren facilitar su activación pueden mejorar el control neuromuscular de manera más eficiente y revertir este estado cortical-subcortical alterado.<sup>[68]</sup>

Además, los patrones de movimiento anormales después de una ruptura del ACL no se limitan únicamente a la rodilla reconstruida. Cada vez hay más pruebas de una respuesta bilateral a una lesión del ACL y que no sólo afecta a la rodilla, sino al tronco y articulaciones de la cadera y el tobillo. Esto, producto de la alteración de la información somatosensorial que se da después de la lesión del ACL y que afecta negativamente al control neuromuscular. Es por esto que, la rehabilitación de los atletas sometidos a ACLR exige un abordaje amplio, individualizado y con una especial atención en el entrenamiento neuromuscular para revertir estas alteraciones características del control neuromuscular inadecuado que pueden desencadenar en una segunda lesión del ACL.<sup>[3,69]</sup>

El ejercicio o entrenamiento neuromuscular, también conocido en la literatura como ejercicio funcional y entrenamiento propioceptivo, de agilidad o perturbador, se ha utilizado con eficacia en la prevención de lesiones del ACL, mejorando la función y los comportamientos de movimiento poco después de la lesión y mejorando la función y los comportamientos de movimiento después de la ACLR. Hewett et al<sup>[3]</sup> establecen que los programas de rehabilitación postoperatoria y de retorno al deporte que desafían el control neuromuscular dinámico, facilitan la perfección de la técnica y mejoran la simetría de las extremidades también pueden reducir con éxito las deficiencias del movimiento asociadas con el riesgo de una segunda lesión.<sup>[3,70]</sup>

El entrenamiento neuromuscular se puede considerar como cualquier tipo de ejercicio que desafíe un aspecto particular del control y la coordinación neuromuscular, involucrando múltiples articulaciones y grupos musculares en los tres planos de movimiento realizados en posiciones funcionales de soporte de peso (cadena cinética cerrada), desafiando simultáneamente al cerebro y al cuerpo. Se hace hincapié en la calidad y eficiencia del movimiento, así como en la alineación del tronco y las articulaciones de las extremidades inferiores.<sup>[70-72]</sup>

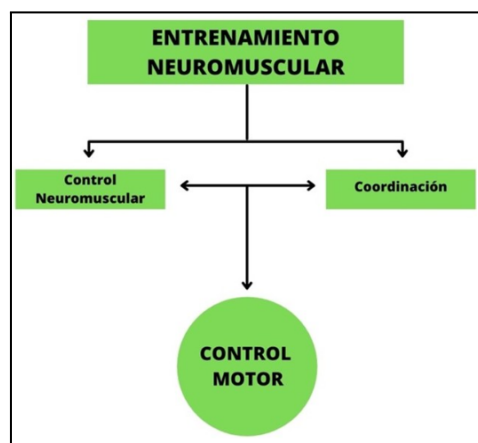


Figura 1. Relación entrenamiento neuromuscular - control motor<sup>71</sup>



En la figura 1 se aprecia la relación que mantienen estos conceptos. El control neuromuscular es la activación precisa que asegura la estabilidad articular y a su vez posibilita una acción coordinada y eficaz y, la coordinación es la capacidad para controlar y regular estas acciones desde la perspectiva del rendimiento de la acción o de la habilidad deportiva. A través de estos dos conceptos se llega al control motor, el cuál es la capacidad que tiene el cuerpo para activar y coordinar la musculatura para realizar una acción con éxito. Por lo tanto, algunos de los objetivos del entrenamiento neuromuscular son:

- Organización y coordinación de la musculatura y articulaciones para realizar movimientos con un patrón de disparo muscular rápido y óptimo, mejorando de esta manera la capacidad del sistema nervioso.
- Recepción de información sensorial del ambiente y del propio cuerpo para controlar los movimientos.
- Aumentar la estabilidad dinámica y reaprender los patrones de movimiento y las habilidades necesarias en las diferentes tareas y en los distintos escenarios a los que nuestro cuerpo se puede ver sometido durante las actividades de la vida diaria y las actividades deportivas y, por tanto, actuar de una forma más controlada.<sup>[69,71]</sup>

El control sensoriomotor (también llamado control neuromuscular) es la capacidad de producir un movimiento controlado a través de la actividad muscular coordinada, y la estabilidad funcional (también llamada estabilidad dinámica) es la capacidad de la articulación de permanecer estable durante la actividad física. Antiguamente, se consideraba la estabilidad articular como una propiedad que dependía puramente de las estructuras ligamentosas. En la actualidad, sabemos que dicha estabilidad es considerada como la función sinérgica en la que los huesos, articulaciones, cápsulas, ligamentos, músculos, tendones, receptores sensoriales y vías neurales espinales y corticales actúan en armonía para garantizar la homeostasis articular. Para que esta propiedad funcione adecuadamente se precisa de un perfecto funcionamiento del sistema sensoriomotor, que se presenta como la combinación de los procesos neurosensorial y neuromuscular, la cual ha sido, y sigue siendo, mal llamada y simplificada frecuentemente con el término de propiocepción. Esta estructura sensoriomotora se trata de un complejo sistema formado por las vías aferentes, de procesamiento e integración de la información, y las respuestas eferentes, lo que permitirá mantener la estabilidad funcional de la articulación durante tareas motrices exigentes.<sup>[70,73]</sup>

El correcto funcionamiento de este complejo sistema sensoriomotor será prioritario en la prevención y readaptación de las lesiones deportivas. La lesión del tejido articular viene

acompañada por una alteración de los mecanorreceptores, lo que causa una alteración de las aferencias que protegen la articulación. Este hecho puede alterar el control neuromuscular normal y, como consecuencia, producir una disminución en la estabilidad de la articulación. Este proceso se relaciona con el círculo vicioso lesivo (Figura 2).<sup>[73]</sup>

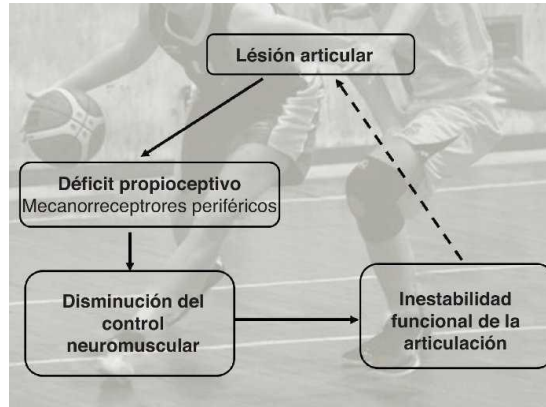


Figura 2. Círculo vicioso lesivo<sup>73</sup>

Comprender el funcionamiento de este sistema nos da las bases para poder planificar el entrenamiento neuromuscular de la manera más adecuada según el paciente y asegurar así la estabilidad funcional de las articulaciones durante actividades como cambios de dirección o recepciones de salto, vinculadas con una alta incidencia de lesión. La mayoría de los programas de entrenamiento neuromuscular para la prevención de una nueva lesión del ACL constan de múltiples componentes, como ejercicios pliométricos, equilibrio, CORE, agilidad y coordinación, flexibilidad, ejercicios dinámicos de estabilidad articular, alineación del tronco y miembros inferiores y fortalecimiento, para englobar varios aspectos del control neuromuscular. Al momento de la práctica, se pone énfasis en la eficiencia y calidad de los movimientos de cada ejercicio. En el entrenamiento se incluyen varios aspectos de la función sensoriomotora, como la fuerza, la coordinación, el equilibrio y la propiocepción, pero el enfoque puede ser, por ejemplo, el equilibrio en un ejercicio y la fuerza en otro. Se sabe que las aferencias del sistema sensoriomotor provienen del sistema visual, vestibular y somatosensorial. Este último, integrado por los mecanorreceptores periféricos, es el más importante desde la perspectiva del entrenamiento deportivo y sobre el cual deberían ir mayormente dirigidos los ejercicios incorporados en el plan de entrenamiento neuromuscular.<sup>[9,70,72,73]</sup>

El atleta debe incorporar los siguientes conceptos para un correcto control neuromuscular durante las tareas motoras: el tronco no debe balancearse de lado a lado durante el movimiento; la rodilla no debe colapsar medialmente; la musculatura de la cadena posterior debe estar activada para que su rodilla esté en una posición de flexión controlada y

use los músculos correctos para absorber las fuerzas; y debe usar sus miembros inferiores por igual.<sup>[8]</sup>

Al momento de planificar un plan de entrenamiento neuromuscular para un paciente hay que tener en cuenta que: debe ser individualizado; incluir movimientos activos en sinergia de todas las articulaciones de la extremidad lesionada; los movimientos deben comenzar con la extremidad no lesionada e iniciando el movimiento normal y aplicando el efecto de transferencia bilateral del aprendizaje motor a la pierna lesionada; los ejercicios tienen que ser principalmente en cadenas cinéticas cerradas y en diferentes posiciones con la intención de obtener una presión superficial articular baja y uniformemente distribuida mediante la coactivación muscular para mejorar el control sensoriomotor; enfatizar la mejora de las funciones posturales (feed-forward y control de retroalimentación) en la pierna lesionada mediante el uso de movimientos voluntarios en la otra extremidad inferior, el tronco y los brazos; se debe hacer hincapié en la calidad de la ejecución en cada ejercicio con una adecuada posición de las articulaciones entre sí (orientación postural), es decir, con cadera, rodilla y pie bien alineados; el nivel de entrenamiento y progresión va a estar guiado por la función sensoriomotora del paciente, teniendo en cuenta varios factores relacionados con el individuo (por ej. síntomas, sexo, nivel de actividad anterior y objetivo) y la lesión (por ej. estructuras articulares afectadas y tipo y gravedad de la lesión); deben abordarse las necesidades específicas del deporte o de la actividad de cada atleta individual (que la selección de los ejercicios sean de acuerdo al deporte al cual desea volver el individuo); la progresión se logra variando el número, la dirección y la velocidad de los movimientos, aumentando la carga, cambiando la superficie de apoyo y/o usando movimientos inesperados.<sup>[70,74]</sup>

Wiggins et al<sup>[52]</sup>, en una revisión sistemática y un meta-análisis, propusieron que el entrenamiento neuromuscular puede ayudar a los atletas menores de 25 años a volver con más seguridad al deporte y a reducir el riesgo de una segunda lesión. Huang et al<sup>[75]</sup> concluyeron que el entrenamiento neuromuscular puede mejorar la fuerza muscular, corregir la biomecánica anormal y mejorar el control neuromuscular de las extremidades inferiores, reduciendo así la incidencia de nuevas lesiones en pacientes con ACLR. Además de los beneficios que proporciona este entrenamiento a los atletas previo al retorno a la actividad deportiva, el entrenamiento neuromuscular proporciona también muy buenos resultados y la evidencia científica respalda su uso en individuos que sufren lesiones de rodilla para prevenir OA temprana de la articulación. Myer et al<sup>[74]</sup> establecieron pautas sobre cómo abordar las variables del entrenamiento neuromuscular:

- Estabilización Dinámica y Fortalecimiento de Pelvis/Abdomen/Tronco/Cadera (CORE)

El objetivo de esta variable es desarrollar un nivel básico de estabilidad y coordinación del CORE para el atleta que le permita controlar la desaceleración del centro de masa, mantener el equilibrio y la postura, y posteriormente acelerar su masa generando rápidamente fuerza en la dirección deseada. Los ejercicios para fortalecer la estabilidad del CORE se dirigen específicamente a la musculatura alrededor del tronco y la cadera. La disminución de la fuerza del CORE y de la sinergia muscular puede reducir el rendimiento en las actividades de potencia y puede aumentar la incidencia de lesiones secundarias a la falta de control del centro de masa, especialmente en las mujeres atletas. El aumento de la aducción de la cadera con tareas dinámicas y la disminución de la fuerza muscular de la cadera pueden contribuir al valgo de la rodilla. El valgo de la rodilla, combinado con las asimetrías de las extremidades está relacionado con un mayor riesgo de lesión del ACL en atletas jóvenes.

El entrenamiento y la rehabilitación neuromuscular orientados a aumentar la fuerza y la estabilidad del CORE pueden reducir el riesgo de lesión a través de un control más efectivo del centro de masa del atleta y preparar al atleta para lograr niveles óptimos de rendimiento.

La intensidad de los ejercicios se puede modificar cambiando la posición del brazo, abriendo y cerrando los ojos, cambiando la postura de apoyo, aumentando o disminuyendo la estabilidad de la superficie con dispositivos de entrenamiento del equilibrio, aumentando o disminuyendo la velocidad, agregando movimientos o perturbaciones imprevistas y agregando habilidades deportivas específicas.

Los atletas que tienen un control neuromuscular disminuido del núcleo medido durante el reposicionamiento del tronco y las tareas de liberación repentina de la carga tienen un mayor riesgo de lesión del ACL. La implementación de la estabilización dinámica y el fortalecimiento del CORE, incluyendo el ejercicio propioceptivo, la perturbación y la corrección del balanceo del cuerpo, tiene el potencial de prevenir la aparición y reducir la reaparición de la lesión del ACL en los atletas después de la ACLR.<sup>[74]</sup>

- Fuerza funcional

Se ha demostrado que los protocolos que complementan el entrenamiento pliométrico y técnico con entrenamiento de fuerza pueden reducir significativamente las lesiones del ACL en atletas. Así, los ejercicios diseñados para inducir ganancias de fuerza funcional, especialmente aquellos ejercicios que implican fuerza y equilibrio, pueden ser eficaces para

reducir las lesiones de rodilla cuando se combinan con otros componentes del entrenamiento.

El entrenamiento de fuerza funcional inicial se puede realizar solo con el peso corporal con un protocolo inicial de alto volumen y baja intensidad. Cuando sea apropiado, se puede agregar peso externo para aumentar la intensidad del ejercicio. Sin embargo, la progresión de la intensidad no debe sacrificar la técnica adecuada ni la seguridad. Los objetivos del componente de entrenamiento de fuerza funcional son fortalecer los principales grupos musculares a través del ROM completo y proporcionar la potencia muscular adecuada para progresar a componentes pliométricos más avanzados.

Hay evidencia creciente que respalda el uso del ejercicio excéntrico para mejorar el control neuromuscular y reducir potencialmente la incidencia de lesiones. Los investigadores han demostrado que las contracciones excéntricas utilizan una mayor excitabilidad en la corteza motora en comparación con las contracciones musculares concéntricas e isométricas, mientras que las contracciones concéntricas parecen depender más de los mecanismos reflejos de la columna. Las contracciones excéntricas generan mayores niveles de excitabilidad cortical como estrategia compensatoria para explicar la inhibición a nivel espinal. La inhibición aguda en la excitabilidad espinal-reflexiva está presente después de una lesión articular y se cree que inicia déficits a largo plazo en el control neuromuscular. Esto parece explicar por qué los programas de rehabilitación impulsados concéntricamente no logran restaurar el control neuromuscular en estos pacientes, ya que el ejercicio concéntrico depende de las vías de reflejo espinal inhibidas y, por lo tanto, no logra activar efectivamente los músculos durante la contracción. La capacidad del ejercicio excéntrico para aumentar selectivamente la excitabilidad de la corteza motora, así como para crear adaptaciones en la inhibición a nivel espinal, hace que este modo de ejercicio sea una herramienta fundamental en el protocolo de rehabilitación.

Este patrón de reclutamiento neuronal único y la neuroplasticidad asociada con las contracciones excéntricas pueden tener la capacidad de abordar los cambios neuronales inducidos por lesiones y mejorar el control motor. Así, la incorporación del ejercicio excéntrico, en relación con el concéntrico, puede mitigar los déficits en el control neuromuscular inducido por una lesión al mejorar la excitabilidad cortical y al enfocarse en vías específicas de control motor en el cerebro. Además, las contracciones excéntricas representan una mayor activación del cerebelo y disminución de la activación cortical, en comparación con las contracciones concéntricas. Por lo tanto, las contracciones excéntricas pueden revertir este estado cortical-subcortical alterado, promoviendo un patrón de

activación neuronal que se parece más al de los atletas sanos, proporcionando un mecanismo convincente para la intervención terapéutica.<sup>[74]</sup>

- Desarrollo de poder

En este componente se recomienda la incorporación de saltos pliométricos de dos extremidades de intensidad media y la introducción de saltos repetidos de una sola extremidad de baja intensidad en el régimen de entrenamiento. Es importante enfocarse en el desempeño técnico adecuado y seguro de las actividades pliométricas. La capacidad del atleta para realizar correctamente las tareas pliométricas puede usarse para guiar el volumen y la intensidad de los ejercicios seleccionados.

El énfasis del entrenamiento inicial debe estar en la posición atlética equilibrada (Figura 3) que puede ayudar a crear un control dinámico del centro de gravedad del atleta. Los aterrizajes atléticos suaves que enfatizan la flexión profunda de la rodilla con control de la rodilla en el plano coronal deben emplearse con retroalimentación verbal del especialista en fuerza y acondicionamiento para que el atleta sea consciente de las posiciones biomecánicamente indeseables.<sup>[74]</sup>

Myer et al<sup>[76]</sup> evaluaron los efectos de un entrenamiento neuromuscular combinado que incluía entrenamiento de resistencia, pliométrico, CORE y de velocidad entre jugadores de baloncesto, fútbol y voleibol. Después del entrenamiento, los atletas demostraron mejoras en las medidas de rendimiento (sentadilla, distancia de salto y retención con una sola pierna, salto vertical, velocidad), así como varios factores biomecánicos relacionados con el aumento del riesgo de lesiones de las extremidades inferiores (aumento del ROM de flexión-extensión de la rodilla, disminución de los momentos de abducción durante la fase de aterrizaje de un salto vertical y aumento de la estabilidad postural con una sola pierna). El entrenamiento de perturbación de la persona fue un componente importante de los protocolos de entrenamiento utilizados para mejorar las medidas de rendimiento relacionadas con el deporte y reducir los factores de riesgo de lesión del ACL y se sugiere que es una herramienta de entrenamiento crítica para devolver a los atletas a la función completa después de la lesión del ACL. El entrenamiento con perturbaciones incluye series de perturbaciones progresivas en superficies inestables tanto en posturas bilaterales como unilaterales y se progresa según la tolerancia del paciente tanto en magnitud como en velocidad. La distracción verbal, así como la adición de tareas simultáneas de las extremidades superiores o las extremidades inferiores con perturbaciones, se utilizarán para apuntar al deporte individual y desafiar al atleta.<sup>[74,76]</sup>



Figura 3. La posición atlética es una posición funcionalmente estable con las rodillas cómodamente flexionadas, los hombros hacia atrás, los ojos hacia arriba, los pies separados aproximadamente al ancho de los hombros y la masa corporal equilibrada sobre las puntas de los pies. Las rodillas deben estar sobre las puntas de los pies y el pecho debe estar sobre las rodillas. Esta es la posición de preparación del atleta y es la posición inicial y final para la mayoría de los ejercicios de entrenamiento.<sup>73</sup>

- Simetría del rendimiento deportivo

Debe enfocarse en las habilidades de movimiento relacionadas con el deporte del atleta y la maximización del desarrollo atlético. Por lo tanto, se recomienda que el especialista en fuerza y acondicionamiento incorpore tareas de potencia, corte y cambio de dirección relacionadas con el deporte del atleta. Se sugiere enfatizar la realización de movimientos de potencia igualmente bien en ambas direcciones, con suficientes ángulos de flexión de cadera y rodilla y con abducción de rodilla disminuida. Se debe utilizar una amplia retroalimentación verbal y visual para ayudar a los atletas a desarrollar una biomecánica segura durante los movimientos de potencia.

Los programas de entrenamiento que incorporan niveles seguros de estrés en valgo/varo pueden inducir más adaptaciones neuromusculares “músculo dominantes”. El entrenamiento que incorpora técnicas para centrarse en los cortes imprevistos reduce las cargas de las articulaciones de la rodilla. Además, al mejorar los tiempos de reacción para proporcionar más tiempo para precontraer voluntariamente los músculos y realizar los ajustes cinemáticos adecuados, se pueden reducir las cargas del ACL.

Tener en cuenta que, antes de enseñar cortes inesperados, los atletas primero deben ser capaces de alcanzar la posición atlética adecuada (Figura 3).<sup>[74]</sup>

El regreso al deporte después de la ACLR puede ser un período de alto riesgo para los atletas debido tanto al riesgo de falla del injerto como al mayor riesgo de lesión en la extremidad contralateral, que puede ser mayor que el lado afectado. La progresión sistemática a través de protocolos que aborden estos componentes del entrenamiento neuromuscular puede proporcionar al atleta un mayor control neuromuscular y una mayor confianza, lo que facilitará el regreso exitoso y seguro a los deportes después de una lesión del ACL. Para lograr mantener y mejorar el control neuromuscular en un entorno atlético complejo y dinámico, se requiere una interacción constante entre factores intrínsecos (por ej. planificación motora, posición y movimiento de las articulaciones) y factores extrínsecos (por ej. otros jugadores, pelota y estímulos imprevistos), basada en la integración simultánea y procesamiento de diversa información propioceptiva, visual y vestibular. Además, también hay pruebas sólidas de ensayos controlados aleatorios bien diseñados de que los programas de entrenamiento neuromuscular son efectivos para reducir las lesiones de rodilla que denotan la importancia de este componente dentro del plan de rehabilitación.<sup>[68,70,72,74,77-79]</sup>



#### **IV. Justificación**

Teniendo en cuenta los beneficios que genera el entrenamiento neuromuscular en pacientes con ACLR, mediante esta investigación se intentará dejar en claro la importancia de dicho entrenamiento en esta población previo a la vuelta al deporte y cuál es la mejor forma de abordar esta variable en la etapa final de la rehabilitación. Se intenta plasmar la ventaja de aplicar esta terapéutica en los pacientes con ACLR.

A su vez, también se espera encontrar datos en base a cuáles son los ejercicios y de qué manera administrarlos para generar una mejora mayor en el control neuromuscular e identificar pruebas funcionales que permitan tomar un registro de estos parámetros para establecer una vuelta al deporte más segura.

## **V. Métodos**

La tesina presente se resolvió a partir de una revisión bibliográfica para la cual se realizó una búsqueda en la literatura que analizara la efectividad del entrenamiento neuromuscular en atletas jóvenes con lesión del ACL previo a la vuelta al deporte.

### **V.a. Estrategia de búsqueda**

#### **V.a.1. Fuentes de consulta**

- Biblioteca de UGR.
- Biblioteca de MinCyT.
- Biblioteca NHL.
- Biblioteca BVS.

#### **V.a.2. Bases de datos**

- Pubmed.
- Bireme.

#### **V.a.3. Filtros utilizados**

- 2010 - 2022
- Inglés - Español
- Ensayos clínicos
- Humanos
- Adolescente (13-18 años)
- Adulto joven (19-24 años)

#### V.a.4. Palabras clave

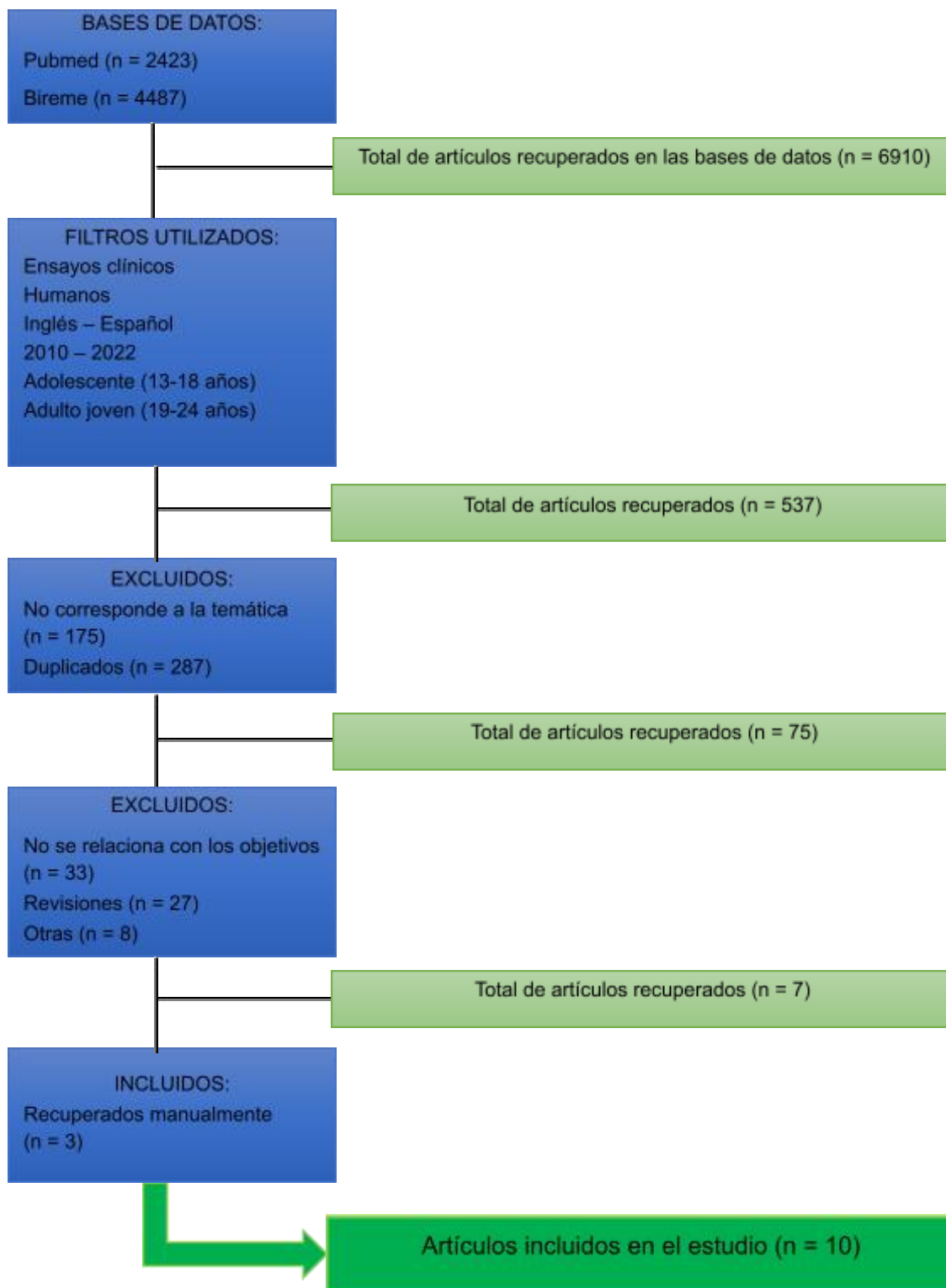
Palabras clave	Términos		
	DeCS	MeSH	Libres
ACL	Ligamento Cruzado Anterior	Cruciate Ligament Anterior	Anterior Cranial Cruciate Ligament
			Cruciate Ligament Anterior
			Ligamento Cruzado Anterior
Reconstrucción de Ligamento Cruzado Anterior	Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior	Anterior Cruciate Ligament Reconstruction	Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament
			Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior
Entrenamiento neuromuscular			Neuromuscular training
Factores de riesgo biomecánicos			Biomechanical risk factors
Atletas jóvenes			Young athletes
Atletas	Atletas	Athletes	Athletes
			Atletas
Adulto joven	Adulto joven	young adult	young adult
			Adulto joven

### V.a.5. Estrategias de búsqueda

BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA
((anterior cruciate ligament reconstruction) OR (anterior cruciate ligament) OR (Anterior Cruciate Ligament Injuries)) AND (athletes) AND ((neuromuscular training) OR (return to sport criteria) OR (prevention strategies)))
((young athletes) AND ((ACLR) OR (anterior cruciate ligament reconstruction)) AND (neuromuscular training)))
((drop-jump test) OR (prevention strategies) OR (Biomechanical risk factors)) AND ((anterior cruciate ligament injury) OR (anterior cruciate ligament Reconstruction)) AND (neuromuscular training)))
((Young athletes) OR ((Athletes) AND (Young adult)) AND ((Cruciate Ligament, Anterior) OR (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)) AND ((drop-jump test) OR (Biomechanical risk factors) OR (neuromuscular training)))

## VI. Resultados

### VI.a. Diagrama de flujo



## VI.b. Cuadro de resultados

A continuación, se presenta el cuadro de resultados.

Artículo	Año	Muestra Grupo control / Grupo experimental	Intervención	Frecuencia y duración	Evaluación		Resultados
					VARIABLES	HERRAMIENTAS	
Ghaderi et al (A)	2020 (ECA)	24 atletas ♂ con ACLR. G. Control (N=12)  G. Experimental (N=12)	G. Control: continuó con su rutina típica. G. Experimental: programa de NMT.	22 ses durante 8 sem (2-3 ses/sem).	Sentido de la posición articular de la rodilla.	Dinamómetro isocinético (Biodex Medical System).	El G. experimental demostró menores errores de sentido de la posición de la rodilla para su miembro ACLR (P < 0.001)
Nagelli et al (B)	2021 (ECA)	28 atletas jóvenes (H=12). 10 controles ilesos (H=4)  18 con ACLR (H=8)	Programa de NMT compuesto por 7 progresiones de ejercicios con 4 fases de dificultad creciente.	12 ses (no detalla frecuencia ni duración de las mismas).	Análisis biomecánico de la rodilla.	55 marcadores retrorreflectantes + Sistema de análisis de movimiento de 12 cámaras.	Los atletas con ACLR demostraron una mejora significativa en la biomecánica de la rodilla en el plano sagital después de completar el programa NMT. La biomecánica de la rodilla del G. ACLR demostró ser comparable a la del G. Control. No así la biomecánica del plano frontal.
Kasmi et al (C)	2021 (ECA)	40 atletas ♀ con ACLR G. CON (N=10)  G. CEC (N=10) G. PLYO (N=10) G. COMB (N=10)	CON: Programa tradicional. CEC: P. Trad + Entren con enfoque en la fuerza excéntrica. PLYO: P. Trad + Entren enfocado en los saltos. COMB: P. Trad + Entren combinando la F excéntrica con saltos.	12 ses de entren (2 ses/sem de 60').	Estabilidad dinámica  Sensación subjetiva de su capacidad funcional.  Resp psicológica.  Valoración funcional objetiva de la rodilla.	Y-BAL.  Báscula de rodilla de Lysholm (LKS).  Cuestionario RSI.  LSI para S. de una sola pierna.	Para todas las comparaciones posibles entre grupos, se encontró que las atletas del G. COMB mostraron mejoras mayores en Y-BAL, LKS y RSI (p < 0.005), además de desempeños mejores en LSI (todos p < 0.0001).
Capín et al (D)	2019 (ECA)	36 atletas ♀ G. SAPP (N=18)  G. SAPP + PERT (N=18)  494 atletas ♀ con ACLR. G. MOON (N=431)  G. Delaware-Oslo (N=39)  G. ACL-SPORTS (N=24)	G. MOON: RHB POP estandarizada y basada en criterios.  G. DE-Oslo: RHB preoperatoria, seguido de un programa de RHB POP basado en criterios sin entren formal en RTS.  G. ACL-SPORTS: entren POP de RTS. 2 Grupos: SAPP y SAPP + PERT.	G. MOON: no detalla.  G. DE-Oslo: 10 ses.  G. ACL-SPORTS: 10 ses (2 ses / sem).	Fuerza isométrica del cuádriceps.  Valoración funcional objetiva de la rodilla.  Valoración subjetiva de result por el paciente.	Dinamómetro isocinético.  S. simple, triple, cronometrado de 6 mts y cruzado.  IKDC; KOOS; KOOS-ADLS; GRS y Escala de calificación de actividad de Marx.	Ambos G. del ensayo ACL-SPORTS dieron resultados en el QI, LSI en los saltos, result funcionales, niveles de activ y tasas de RTS 2 años post ACLR, pero comparables entre G. (p > 0.05).  10 ses de entren POP de RTS, en comparación con la RHB POP basada sólo en criterios, condujo a result funcionales superiores a los 2 años (p < 0.05) entre atletas jóvenes después de ACLR. El entren de RTS también condujo a una calidad de vida superior relacionada con la rodilla en comparación con la RHB preoperatoria y POP extendida.

Artículo	Año	Muestra Grupo control / Grupo experimental	Intervención	Frecuencia y duración	Evaluación		Resultados
					Variables	Herramientas	
Arundale et al (E)	2018 (ECA)	79 atletas (H=40) sometidos a ACLR. G. SAPP [N=40 (H=20)]  G. SAPP+PERT [N=39 (H=20)]	Progr de entren ACL-SPORTS:  G. SAPP: tto de F, agilidad, pliometría y prevención secundaria.  G. SAPP+PERT: SAPP + entren de perturbaciones.	10 ses de tto de 60 a 90 min (2 ses/sem).	QI de la fuerza del cuádriceps.  Valoración funcional objetiva de la rodilla.  Result informados por el paciente (PRO).	Dinamómetro electromecánico (Kin-com).  S. simple, triple, cronometrado de 6 mts y cruzado.  KOS-ADL; GR; IKDC; KOOS-Sport / Recreation; KOOS-QoL.	No hubo diferencias entre los G. SAPP y SAPP + PERT previo o post entren para ninguna variable, y tanto los G. SAPP como SAPP + PERT tuvieron aumentos en c / variable ( $p < 0.05$ ) con 1 excepción: Ambos G. no tuvieron aumento del QI durante el transcurso del programa de entren.  Tanto ♂ como ♀ tuvieron mejoras durante el transcurso del programa de entren en todas las PRO y pruebas de salto ( $p < 0.05$ ). Los ♂ tuvieron un aumento en el QI ( $P = 0,02$ ) durante el transcurso del programa de entren, mientras que las ♀ no ( $P = 0,86$ ).
Fu et al (F)	2013 (ECA)	48 pacientes (H=32) con ACLR. G. de referencia [N=24 (H=14)]  G. WBVT [N=24 (H=18)]	G. de referencia: P. de RHB convencional.  G. WBVT: P. de RHB convencional + entren con WBVT.	2 ses/sem [16 ses (2 meses)]	Sentido de la posición articular.  Par máx. isocinético para cuádriceps e isquiotibiales.  Control postural.  Valoración funcional objetiva de la rodilla.  Evaluación clínica (lax ant de la rodilla; estabilidad del ACL; ROM de la rodilla).	Dinamómetro Biodex (Biodex Medical Systems)  Cybex NORM (CSMI).  Sistema de Estabilidad Biodex.  S. simple, triple; carioca y carrera en lanzadera.  Artrómetro KT-1000; pruebas de cajón anterior, Lachman y pivot shift.	El G. WBVT demostró un control postural, un rendimiento muscular, un S. con una sola pierna y una carrera de lanzadera mejores ( $P < 0.05$ ) que el G. de referencia, pero no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) en el sentido de la posición de la articulación de la rodilla, el S. triple, el carioca, el ROM y la estabilidad.
Nagelli et al (G)	2018 (ECA)	28 atletas jóvenes (H=12) 10 controles ilesos (H=4)  18 con ACLR (H=8)	Programa de NMT que constaba de 7 progresiones de ejercicios con 4 niveles de dificultad creciente.	12 ses de 1 hs (2 ses/sem)	Componente vertical de la fuerza de reacción del suelo (vGRF).  Análisis biomecánico de la cadera.	Placas de fuerza incrustadas en el piso (Bertec 6090).  55 marcadores retrorreflectantes + Sistema de análisis de movimiento de 12 cámaras.	Los result de este estudio apoyan sus H: (1) El programa NMT mejoraría significativamente los FR biomecánicos de la cadera conocidos y asociados a un mayor riesgo de lesión del ACL entre los atletas con ACLR. (2) Estos mismos atletas demostrarían una biomecánica de la cadera similar después del entren en comparación con un G. Control.

Artículo	Año	Muestra Grupo control / Grupo experimental	Intervención	Frecuencia y duración	Evaluación		Resultados
					Variables	Herramientas	
Di Stasi et al (H)	2012 (ECA)	40 atletas (H=28) con lesión del ACL. G. STR [N=21 (H=16)]  G. PERT [N=19 (H=12)]	El protocolo de fortalecimiento basado en criterios consistió en los mismos ejercicios para ambos grupos.  El G. PERT realizó el entren con pert siguiendo los criterios establecidos por la Univ. de Delaware.	10 ses de fisiot preop (3,7 ± 1,5 sem). Los sujetos se sometieron a una ACLR dentro de las 2 sem post finalización del entren.	Análisis de la postura unilateral.	Software ViconMX Workstation (Vicon Motion Systems) con un sist pasivo de 8 cámaras para recopilar datos cinemáticos tridimensionales a 60 Hz.	La H no se respaldó. H: La posición anormal de la rodilla y la tibia de los non copers se resolvería sólo con el entren de PERT.  Las ♀ respondieron mejor a la fisiot preoperatoria, ya que la asimetría del ángulo de la rodilla y la posición tibial posterior de la extremidad afectada se resolvieron antes de la cirugía. Después de la ACLR, tanto ♂ como ♀ demostraron simetría del ángulo de flexión de la rodilla durante la tarea de apoyo unilateral.
Hartigan et al (I)	2010 (ECA)	40 atletas (H=29) con ruptura del ACL. G. STR [N=22 (H=17)]  G. PERT [N=18 (H=12)]	G. STR y G. PERT: mismo entren de F, mientras que el G. PERT también recibió NMT en forma de pert.	10 ses de fisiot preop (entre 2 y 5 ses/sem) Después de ésto se sometieron a ACLR.	Fuerza del cuádriceps.  Salto unilateral.  Función auto informada de la rodilla.	Superposición de ráfagas.  S. simple, cruzado, cronometrado de 6 mts y triple.  Escala de calificación global y KOS-ADLS.	La H no fue respaldada. H: 10 ses de entren con PERT antes de la cirugía producirían result funcionales superiores.  Los atletas del G. STR saltaron más rápido a los 12 meses y los del G. PERT calificaron su función de la rodilla más favorablemente 6 y 12 meses después de la ACLR.
Elías et al (J)	2018 (ECA)	19 participantes (H=5) con ACLR. G. JTBW [N=9 (H=4)]  G. JTBWS [N=10 (H=1)]	G. JTBWS completaron su entren utilizando el sist BWS personalizado. G. JTBW completaron su entren en el mismo lugar, pero con el sist BWS retirado de la zona.	16 ses de 1 hs en 8 sem (2 ses/sem)	Patrón de activación muscular.  Valoración de los result de los participantes.  Result biomecánicos  Pruebas MVIC.  Función autoinformada.	Cocontracción instantánea máx y Col.  Calificación Global del Cambio (GRoC).  Aterrizaje del S. con una pierna  Dinamómetro Kin-Com 125AP.  IKDC y SLHD.	H1 fue apoyada. H1: El entren de saltos tuvo un gran efecto en la mejora de las medidas de la función física, tanto informadas por el paciente como basadas en el rendimiento. Además, el Col anormalmente alto al inicio del entren disminuyó a lo largo de la intervención.  H2 no fue respaldada. H2: el aumento de las repet con la disminución de la intensidad utilizando BWS mejoraría la retención de estos efectos.  H3 fue apoyada. H3: Los atletas que entrenan con BWS tienen menor riesgo de derrame articular.

**Ses** = Sesiones  
**Activ** = Actividad  
**Fisiot** = Fisioterapia

**Sem** = Semana  
**Máx** = Máximo  
**Repet** = Repeticiones

**Trad** = Tradicional  
**Lax** = Laxitud

**Entren** = Entrenamiento  
**Ant** = Anterior

**Resp** = Respuesta  
**H** = Hipótesis

**Result** = Resultados  
**Preop** = Preoperatorio



### VI.c. Análisis de resultados

Esta revisión se compone de 10 ensayos clínicos aleatorizados, realizados entre los años 2010 y 2022.<sup>[10,11,80-87]</sup>

Se analizaron los artículos seleccionados para esta revisión y para una mejor presentación de los mismos, se realizaron cuadros de doble entrada y gráficos. En cuanto a los artículos, se los codificó con una letra a cada uno para una mejor identificación de los mismos. La asignación se presenta en el siguiente cuadro de codificación.

<b>Artículo</b>	<b>Autor</b>	<b>Letra</b>
Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial	Ghaderi et al	<b>A</b>
Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament Reconstructed - Athletes	Nagelli et al	<b>B</b>
The Effects of Eccentric and Plyometric Training Programs and Their Combination on Stability and the Functional Performance in the Post-ACL-Surgical Rehabilitation Period of Elite Female Athletes	Kasmi et al	<b>C</b>
Superior 2-Year Functional Outcomes Among Young Female Athletes After ACL Reconstruction in 10 Return-to-Sport Training Sessions	Arundale et al	<b>D</b>
Functional and Patient-Reported Outcomes Improve Over the Course of Rehabilitation: A Secondary Analysis of the ACL-SPORTS Trial	Capín et al	<b>E</b>
The Effect of Early Whole-Body Vibration Therapy on Neuromuscular Control After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial	Fu et al	<b>F</b>
Biomechanical Deficits at the Hip in Athletes With ACL Reconstruction Are Ameliorated With Neuromuscular Training	Nagelli et al	<b>G</b>
Unilateral Stance Strategies of Athletes With ACL Deficiency	Di Stasi et al	<b>H</b>
Time Line for Noncopers to Pass return to Sports Criteria After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction	Hartigan et al	<b>I</b>
Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction	Elías et al	<b>J</b>

Para el análisis de los estudios seleccionados de la muestra, se decide confeccionar matrices de datos, a modo de cuadros de doble entrada para presentar la información y trabajarlos a partir de los objetivos establecidos.

Cuadro según ejercicios aplicados, dosificación y momento de implementación de los mismos.

Estudio	Tipo de ACLR	Ejercicios	Dosificación	Momento de implementación
A	Autoinjerto HS para la ACLR.	COMPONENTE PROPIOCEPTIVO. El programa incluía sentadillas con una y dos piernas, estocadas, postura con una sola pierna en una superficie inestable, saltos: con contramovimiento, largos, horizontales y de caída.	22 ses durante 8 sem (2-3 ses/sem).	Control: 7.5 ± 1.4 meses post ACLR Experimental: 7.8 ± 1.7 meses post ACLR
B	Autoinjerto HS para la ACLR.	COMPONENTE PLIOMÉTRICO. Programa de NMT compuesto por 7 progresiones de ejercicios con 4 fases de dificultad creciente. Ejercicios: S. de una sola pierna; anterior de una sola pierna; peso muerto rumano; estocada; S. a dos piernas; estabilidad del tronco en DP; flexión lateral del tronco.	12 ses. El entrenador determinaba la progresión de una fase a la siguiente. La progresión se basó en la capacidad del atleta para demostrar la forma adecuada en al menos el 80 % del total de repet.	7,7 ± 3,7 meses post ACLR al comienzo del estudio.
C	Autoinjerto de BPTB	Entren de FUERZA EXCÉNTRICO: P. Tradicional + ejercicios excéntricos. Entren PLIOMÉTRICO: P. Tradicional + ejercicios pliométricos. Entren COMBINADO: P. Tradicional + combinación de ejercicios excéntricos y pliométricos.	12 ses de entren durante 6 semanas (2 ses/sem de 60'). El volumen de entren fue el mismo para los G. experimentales.	14 sem post cirugía y post 12 sem de un programa de RHB tradicional.
D	Alinjerto BPTB HS	COMPONENTE PERTURBADOR. ACL-SPORTS: SAPP o SAPP + PERT. MOON: RHB POP basada en criterios solos. Delaware-Oslo: RHB preoperatoria extendida (fortalecimiento, NMT, perturbaciones, RHB POP basada en criterios)	10 ses de entren (2 ses/sem).	6 ± 2 meses post ACLR.
E	61 autoinjerto 18 alinjerto	COMPONENTE PERTURBADOR. SAPP y SAPP+PERT: Isquiotibiales nórdicos; sentadilla de pie; S. de caída; S. triple con una sola pierna; S. Tuck; ejercicios de agilidad. Sólo SAPP: Equilibrio monopodal con resistencia flexora de cadera. SAPP+PERT: Entren con perturbaciones, las PERT comienzan en anterior/posterior y medial/lateral y avanzan hasta incluir rotaciones.	10 ses de tto de 60 a 90' (2 ses/sem). Los ejercicios se adaptaron al deporte de un atleta mediante la integración de movimientos y elementos. Las ses aumentaron progresivamente en dificultad siguiendo las pautas de dolor y derrame.	SAPP: 23,3 ± 7,8 sem. SAPP+PERT: 23,7 ± 8,3 sem.
F	ACLR con un abordaje de haz único.	Terapia de vibración de cuerpo entero (WBVT) en las siguientes posiciones: básica; cambio de peso hacia delante y hacia atrás; mini sentadilla; sentadilla profunda; sentadilla con postura amplia; estocadas; postura con una sola pierna; 3 ejercicio de enfriamiento y relajación muscular.	16 ses (2 ses/sem). Los criterios de progresión del ejercicio se basaron en los modelos de progresión recomendados por el ACSM. Las placas de vibración funcionaban en dirección vertical. La frecuencia de entren aumentó gradualmente de 35 a 50 Hz con una amplitud de 4 mm. La amplitud se ajustó como alta (4 mm) o baja (2 mm).	G. de referencia: 166 ± 82.3 días post ACLR. G. WBVT: 182.4 ± 95.9 días post ACLR.

Estudio	Tipo de ACLR	Ejercicios	Dosificación	Momento de implementación
G	Autoinjerto de HS	COMPONENTE PLIOMÉTRICO. Programa de NMT compuesto por 7 progresiones de ejercicios con 4 fases de dificultad creciente. Ejercicios: S. de una sola pierna; anterior de una sola pierna; peso muerto rumano; estocada; S. a dos piernas; estabilidad del tronco en DP; flexión lateral del tronco.	12 ses de 1 hora, 2 ses/sem. La decisión de hacer avanzar al atleta la tomó el entrenador y se basó en la capacidad del atleta para ejecutar la forma adecuada durante al menos 3 series completas de 10 rep.	7,7 ± 3,7 meses post cirugía.
H	Autoinjerto: 16 Aloinjerto: 24 HS/gracilis de haz cuádruple	COMPONENTE PERTURBADOR. Programa de entren de PERT de UDPT. El entren de perturbación se implementó y progresó de acuerdo con el protocolo de la Univ. de Delaware	10 ses de fisiot preoperatoria (3,7 ± 1,5 sem). A medida que el atleta avanzaba a través de ses sucesivas, la velocidad y la amplitud de las PERT aumentaban y la retroalimentación del terapeuta se retiraba gradualmente.	11,1 ± 9,9 sem después de la lesión.
I	Autoinjerto HS / gracilis de doble asa (4 haces) o un aloinjerto de músculo tibial anterior o tendón de Aquiles.	COMPONENTE PERTURBADOR. Los pacientes mantuvieron el equilibrio en la superficie de apoyo, mientras que un médico experimentado administró manipulaciones intencionadas de las superficies de apoyo. La velocidad, la amplitud y la dirección de la fuerza aplicada progresaron en función de la capacidad del paciente para demostrar respuestas musculares adecuadas para asegurar el aprendizaje motor durante cada tarea.	10 ses de fisiot preoperatoria (3,5 ± 1,4 sem). Los pacientes completaron 3 series de aprox 1 minuto en cada una de las 3 condiciones propuestas. La progresión incluyó movimientos anticipados a no anticipados, aumento de la velocidad y amplitud del movimiento, el cambio de las señales verbales y táctiles de feed-forward a feed-back, y la realización de actividades específicas del deporte mientras se aplicaban las PERT.	8,5 ± 7,7 sem después de la lesión.
J	HS 6 BPTB 11 Cadavérico 2	COMPONENTE PLIOMÉTRICO. En las primeras 6 sem, el G. JTBWS (entren de salto aumentado por un sistema BWS personalizado) realizó un entren de saltos en un sist BWS personalizado. El entren se inició con un nivel de BWS del 30%, en el que se ejercía una F vertical casi constante igual al 30% del peso corporal del paciente en el centro de masa. El nivel de BWS se redujo en un 10% cada 2 sem por tolerancia a la actividad, con cambios asociados en la repetición según los efectos cinéticos del BWS en el momento de la rodilla en el aterrizaje. Las 2 últimas sem de entren se realizaron sin BWS.	16 ses de 1 hs de duración (2 ses/sem). Sem 1 y 2: 200-350 contactos con un nivel de BWS del 30 %. Sem 3 y 4: 250-500 contactos con un nivel de BWS del 20 %. Sem 5 y 6: 200-350 contactos con un nivel de BWS del 10 %. Sem 7 y 8: 120-200 contactos sin el sistema BWS.	18 meses después de la cirugía en promedio.

**Ses** = Sesiones    **Sem** = Semana    **Repet** = Repeticiones    **Entren** = Entrenamiento    **ACSM** = Colegio Americano de Medicina Deportiva

**UDPT** = Entrenamiento de Perturbaciones de la Universidad de Delaware

**Fisiot** = Fisioterapia

Cuadro por distinción de sexos, cambios NM y deportes practicados:

ECA	Muestra	Cambios en medidas neuromusculares	Deporte
A	24 atletas ♂ de entre 18 y 30 años G. Control (N=12) Edad: 26.9 ± 4.1 años G. Experimental (N=12) Edad: 27.2 ± 3.4 años	Los errores en el sentido de la posición de la rodilla (miembro ACLR) disminuyeron en un 51,7% para el G. Exp y sólo un 4,4% para el G. Control durante el período de 8 sem (P < 0.001).	Baloncesto, fútbol, vóley o balonmano.
B	28 atletas jóvenes (H=12) G. ACLR [N=18 (H=8)] Edad: 19,4 ± 7,2 años G. ileso [N=10 (H=4)] Edad: 16 ± 3,7 años	Los atletas con ACLR demostraron una mejora significativa en la biomecánica de la rodilla en el plano sagital, pero no en el frontal, después de completar el programa NMT.	No detalla
C	40 atletas ♀ G. CON (N:10). Edad: 20.3 ± 3.3 G. ECC (N:10). Edad: 20.3 ± 3.1 G. PLYO (N:10). Edad: 20.3 ± 3.4 G. COMB (N:10). Edad: 20.2 ± 3,7	El G. COMB mostró mejores desempeños en LSI de las pruebas de salto que los G. PLYO, ECC y CON (P < 0.001). El G. PLYO mostró el mejor (P < 0,001) LSI en comparación con los G. ECC y CON. COMB produjo mejoras mayores en Y-BAL en comparación con CON, ECC y PLYO (P < 0.0001). Se observó una mejora en el rendimiento funcional muscular, con los mayores efectos en el G. COMB (P < 0.05).	Miembros del equipo nacional tunecino en su respectivo deporte (por ejemplo, atletismo, deportes de equipo, judo, etc.)
D	36 atletas ♀ G. SAPP (N=18). Edad: 18.9 ± 5.8 años. G. SAPP + PERT (N=18). Edad: 19 ± 8.8 años.	No se encontraron diferencias significativas entre los G. SAPP y SAPP + PERT en ninguna medida de result, incluido el índice de fuerza del cuádriceps y el LSI en cualquier prueba de salto (simple, cruzado, triple, cronometrado de 6 m).	Deportes de salto, corte o giro
	Atletas ♀ de entre 13 y 24 años. G. MOON (N=431). Edad: 17.2 ± 2.6 años G. Delaware-Oslo (N=39). Edad: 18 ± 3.1 años G. ACL-SPORTS (N=24). Edad: 17.3 ± 2.6 años	10 ses de entren POP en RTS (ACL-SPORTS), en comparación con la RHB POP basada en criterios solo (MOON), proporcionaron result funcionales clínicamente significativos y más altos a los 2 años entre atletas jóvenes de nivel 1 y 2 después de ACLR primario.	
E	79 atletas (H=40) G. SAPP [N=40 (H=20)] Edad: 21.2 ± 7.7 años G. SAPP + PERT [N=39 (H=20)] Edad: 21.1 ± 7.6 años	No hubo diferencias (P > 0.05) entre los G. SAPP y SAPP + PERT para ninguna variable, y tanto los G. SAPP como SAPP + PERT tuvieron aumentos en c / variable (P < 0.05) con 1 excepción: Ni el SAPP ni el G. SAPP + PERT tuvo un aumento en el QI (P > 0.05). Tanto ♂ como ♀ tuvieron mejoras en todas las pruebas de salto (P < 0.05). Los ♂ tuvieron un aumento en el QI (P = 0,02) con el desempeño del programa de entren mientras que las ♀ no (P = 0,86), lo que podría indicar que las ♀ pueden necesitar más fortalecimiento del cuádriceps incluso durante la fase de RTS de la rehabilitación de ACLR.	Deportes de nivel I (n = 73) o II (n = 7) ♂: fútbol americano, fútbol (8); baloncesto (7); lacrosse (5); balonmano, ultimate frisbee (3); hockey sobre hielo (2); béisbol, vóley playa, porrismo y rugby (1). ♀: fútbol (14); baloncesto (7); hockey sobre césped (5); porristas (3); softball, vóley (2); fútbol americano, hockey sobre hielo, lacrosse, atletismo vallas, tenis y ultimate frisbee (1).

ECA	Muestra	Cambios en medidas neuromusculares	Deporte
F	48 pacientes (H=32) con ACLR. G. de referencia [N=24 (H=14)] Edad: 25,2 ± 7,3 años G. WBVT [N=24 (H=18)] Edad: 23,3 ± 5,2 años	El G. WBVT demostró un control postural, un rendimiento muscular, un S. con una sola pierna y una carrera de lanzadera mejores (P < 0.05) que el G. de referencia, pero no hubo diferencias en el sentido de la posición de la rodilla, el S. triple, el carioca, el ROM y la estabilidad (P > 0.05).	No especifica
G	18 atletas (H=8) con ACLR. Edad: 19,4 ± 7,2 años 10 atletas (H=4) ilesos. Edad: 16 ± 3,7 años	El programa NMT mejoró los FR biomecánicos de la cadera asociados a un mayor riesgo de lesión del ACL entre los atletas con ACLR (P < 0.05). La biomecánica de cadera post-entrenamiento fue comparable durante una tarea de aterrizaje con salto entre el G. ACLR y G. Control.	Individuos jóvenes y muy activos
H	40 atletas (H=28) con lesión del ACL. G. STR [N=21 (H=16)] Edad: 29 ± 10,8 años G. PERT [N=19 (H=12)] Edad: 30 ± 12,5 años	Las diferencias iniciales de las extremidades en el ángulo de la rodilla se identificaron solo en el G. STR y persistieron post RHB preoperatoria. 6 meses después de la ACLR, ambos G. tenían estrategias de bipedestación unilaterales similares. Las ♀ respondieron mejor a la fisiot preop, ya que la asimetría del ángulo de la rodilla y la pos. tibial posterior de la extremidad afectada se resolvieron antes de la cirugía. Post ACLR, tanto ♂ como ♀ demostraron simetría del ángulo de flex de la rodilla durante la tarea de apoyo unilateral. 6 meses después, mientras que los ♂ mantuvieron la pos. anterior, las ♀ nuevamente demostraron una asimetría clínicamente significativa y reanudaron la pos. posterior de la extremidad afectada con lesión aguda.	Deportes o actividades de Nivel I/II (cortar, girar y saltar).
I	40 atletas (H=29) con ruptura del ACL. G. STR [N=22 (H=17)] Edad: 29.5 ± 10.8 años G. PERT [N=18 (H=12)] Edad: 27.1 ± 10.2 años	No hubo diferencias en los valores medios para ninguna de las medidas de result funcionales entre los grupos 3 meses después de la ACLR (P > 0.05). 12 meses post cirugía, las puntuaciones de salto cronometrado fueron mayores en el G. STR (P < 0.05). No hubo diferencias entre los G. en el n° de pacientes a los que no se les permitió saltar (por derrame, bajo QI, dolor, etc.) a los 3, 6 y 12 meses post cirugía (P > 0.05).	Actividades de nivel I o II del IKDC
J	19 atletas (H=5) con ACLR. G. JTBW [N=9 (H=4)] Edad: 21,1 ± 3,4 años G. JTBWS [N=10 (H=1)] Edad: 24,9 ± 5,9 años	Los result mostraron un efecto del tiempo para el SLHD (P < 0,002) pero ningún efecto del grupo o sexo (P > 0.05). La flex máx de la cadera, la flex de la rodilla y la DF del tobillo aumentaron y la VGRF máx disminuyó con el entren desde la sem 0 a la 8 (P < 0,05). El momento máx de la cadera aumentó con el entren (P < 0,05). En las medidas biomecánicas, no encontraron efectos del G. o sexo (P > 0.05). El Col durante el aterrizaje y la cocontracción máx disminuyeron durante el período de entren, con un efecto significativo del tiempo, pero ningún efecto significativo del grupo o sexo. Ambos G. conservaron sus mejoras en todas las variables 8 sem post finalización del entren	Deportes recreativos o competitivos en un nivel de escala de actividad de Tegner superior a 4. Fútbol, baloncesto, fútbol americano, esquí, snowboard, taekwondo, lucha de artes marciales mixtas y danza.

**Result** = Resultados

**Ses** = Sesiones

**Sem** = Semana

**Fisiot** = Fisioterapia

**Result** = Resultados

**Flex** = Flexión

**Pos** = Posición

**Máx** = Máxima

**Entren** = Entrenamiento

Luego de analizar la información de los artículos seleccionados, se consideraron de interés los siguientes datos:

La muestra total de sujetos de esta revisión fue de 852 personas, con 670 participantes femeninas (78,6 %) y 182 masculinos (21,4 %). El estudio **(E)** fue el artículo que contó con mayor número de participantes, siendo este de 506 (59,4 %).<sup>[83]</sup> El siguiente artículo con mayor muestra fue el **(D)** con 79 integrantes (9,4 %),<sup>[11]</sup> luego el **(F)** con 48 (5,7 %)<sup>[84]</sup> seguido por los estudios **(C)**, **(H)** e **(I)** con 40 sujetos (4,8 %).<sup>[82,85,86]</sup> Los estudios **(B)**<sup>[81]</sup> y **(G)**<sup>[10]</sup> cuentan con 28 participantes (3,3 %) y, por último, los artículos de menor muestra son el **(A)** y el **(J)** con 24 (2,9 %) y 19 (2,3 %) participantes respectivamente (Gráfico 1).<sup>[80,87]</sup> La edad media del total de la muestra fue de 22,5 años.



Gráfico 1. Muestra de la revisión

Los estudios **B**,<sup>[81]</sup> **E**,<sup>[83]</sup> **F**,<sup>[84]</sup> **G**,<sup>[10]</sup> **H**, **I** y **J**<sup>[85-87]</sup> incluyeron tanto a participantes masculinos como femeninos, mientras que el estudio **A** incluyó solo participantes masculinos<sup>[80]</sup> y los estudios **C**<sup>[82]</sup> y **D**<sup>[11]</sup> estuvieron compuestos por participantes femeninas.

En cuanto al momento en el que se aplicó la intervención, 2 estudios (**H** e **I**) implementaron el programa de entrenamiento neuromuscular de manera preoperatoria y, los 8 restantes, luego de la cirugía de ACLR. Los 2 estudios que optaron por la intervención preoperatoria evaluaron un programa de NMT enfocado en los ejercicios de perturbación y

los atletas se encontraban en  $11,1 \pm 9,9$  semanas (**H**) y  $8,5 \pm 7,7$  semanas (**I**) luego de haber sufrido la lesión del ACL.<sup>[85,86]</sup> De los artículos que implementaron una intervención post ACLR, 1 sólo (**J**) superaba los 9 meses después de la cirugía con un promedio de 18 meses post ACLR.<sup>[87]</sup> En el artículo **C**, los participantes estaban 2 semanas fuera de la cirugía<sup>[82]</sup> y en el **F** contaban con 1 mes luego de la reconstrucción;<sup>[84]</sup> en los demás artículos (**A**, **B**, **D**, **E** y **G**) estaban entre 3 y 9 meses post ACLR, con un promedio de  $6,9 \pm 2,3$  meses.<sup>[80,81,11,83,10]</sup>

Con respecto al nivel de actividad de los participantes, los estudios **D**, **E**, **H** e **I** seleccionaron atletas que participaban en deportes o actividades de nivel I o II (deportes de cortar, girar y saltar) durante más de 50 horas al año antes de la lesión del ACL.<sup>[11,83,85,86]</sup> El estudio **J** incluyó individuos que participaban en deportes recreativos o competitivos en un nivel de escala de actividad de Tegner superior a 4.<sup>[87]</sup> El artículo **A** contó con atletas que, antes de la lesión, competían en baloncesto, fútbol, voleibol o balonmano a nivel provincial y habían vuelto a practicar deporte en el momento de la inscripción.<sup>[80]</sup> En el ECA **G** los participantes eran atletas jóvenes y muy activos.<sup>[10]</sup> El estudio **C** seleccionó atletas femeninas que realizaron prácticas deportivas sistemáticas a nivel internacional y fueron miembros del equipo nacional tunecino en su respectivo deporte (por ejemplo, atletismo, judo, deportes de equipo, etc.)<sup>[82]</sup> y, por último, los artículos **B** y **F** no detallaron el nivel de actividad de los atletas seleccionados.<sup>[81,84]</sup>

Respecto a la forma de abordar el entrenamiento neuromuscular, el estudio **A** implementó un componente de entrenamiento propioceptivo,<sup>[80]</sup> hubo 3 estudios (**B**, **G** y **J**) que analizaron el NMT con enfoque en la pliometría.<sup>[81,10,87]</sup> Los ECA **D**, **E**, **H** e **I** pusieron en práctica el entrenamiento con perturbaciones con el objetivo de mejorar el control neuromuscular;<sup>[11,83,85,86]</sup> el artículo **F** llevó a cabo un protocolo de entrenamiento con plataforma vibratoria y el estudio **C** implementó tres protocolos experimentales (entrenamiento excéntrico, entrenamiento pliométrico y entrenamiento excéntrico + pliométrico).<sup>[84,82]</sup> En los gráficos 2 y 3 se detallan las terapias utilizadas en los distintos estudios.

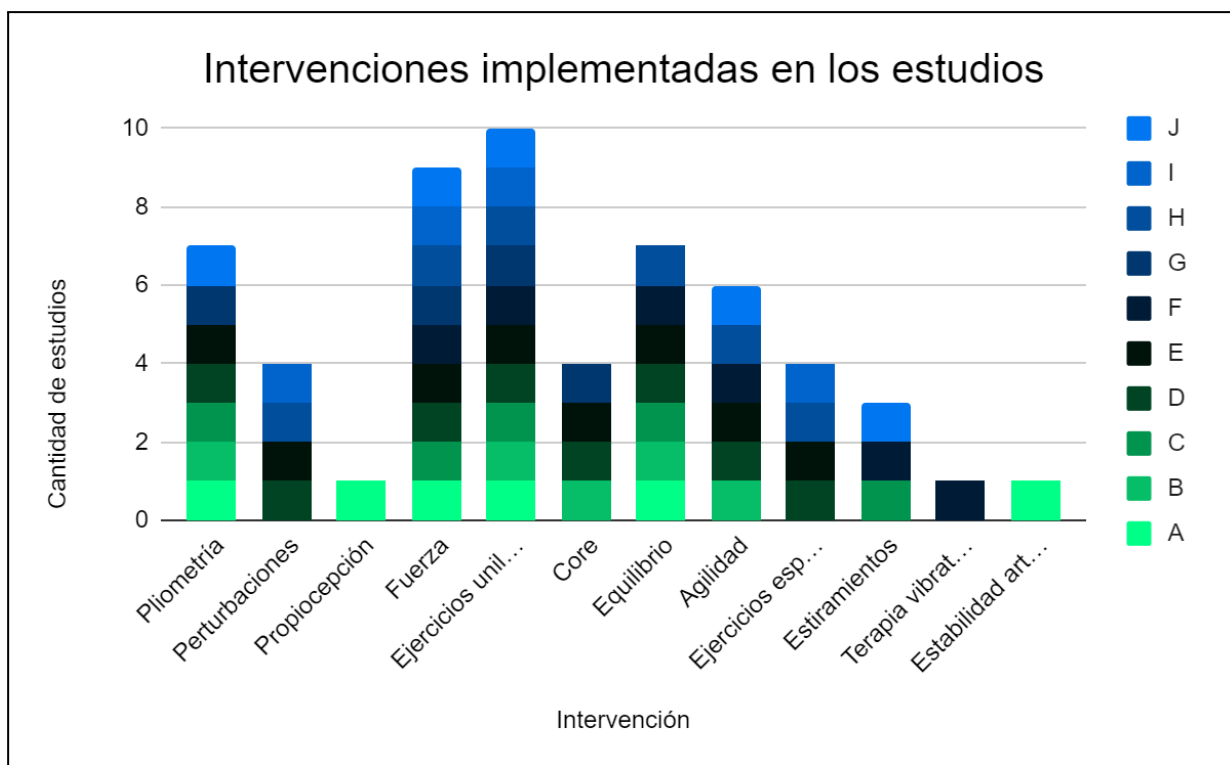


Gráfico 2. Terapias utilizadas en los estudios

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pliometría	X	X	X	X	X		X			X
Perturbaciones				X	X			X	X	
Propiocepción	X									
Fuerza	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Ejercicios unilaterales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Core		X		X	X		X			
Equilibrio	X	X	X	X	X	X		X		
Agilidad		X		X	X	X		X		X
Ejercicios específicos del deporte				X	X			X	X	
Estiramientos			X			X				X
Terapia vibratoria						X				
Estabilidad articular dinámica	X									

Gráfico 3. Terapias utilizadas en los estudios por separado

Los 10 artículos tuvieron grupo control. El artículo **A** evaluó a un grupo experimental que participó en un programa de NMT de 22 sesiones diseñado para mejorar la fuerza/potencia, el equilibrio y la técnica de aterrizaje y, un grupo control que simplemente continuó con su



rutina de entrenamiento típica; en ambos grupos los atletas se habían sometido a ACLR de autoinjerto HS.<sup>[80]</sup> En el **B**, tanto el grupo de ACLR como el control (atletas ilesos), participaron de un programa de NMT de 12 sesiones que se centró en mejorar la estabilidad del tronco, aumentar y coordinar la flexión dinámica de las articulaciones de las extremidades inferiores y optimizar la mecánica de aterrizaje.<sup>[81]</sup> Las atletas del **C** se dividieron en 4 grupos, uno control, que siguió con su programa de entrenamiento tradicional, y tres experimentales: 1 se sometió a un programa excéntrico (ECC), 1 a un programa pliométrico (PLIO) y el restante a un programa combinado excéntrico y pliométrico (COMB); todas las atletas fueron sometidas a ACLR y los 3 grupos experimentales recibieron 12 sesiones de entrenamiento.<sup>[82]</sup> Los ECA **D** y **E** implementaron el protocolo ACL-SPORTS de 10 sesiones de entrenamiento que consiste en ejercicios de fortalecimiento, agilidad y ejercicios pliométricos, en los que se dividió a los participantes en 2 grupos, un grupo control que participó de un programa secundario de prevención del ACL (SAPP) y un grupo experimental que además también recibió entrenamiento perturbador (SAPP+PERT);<sup>[11,83]</sup> en el estudio **D** se comparó este protocolo por separado y, además, se incluyeron 2 cohortes de atletas femeninas como grupos controles (MOON y Delaware-Oslo) para un análisis secundario. Los participantes de la cohorte MOON participaron en rehabilitación posoperatoria estandarizada y basada en criterios solos (es decir, sin rehabilitación preoperatoria prolongada ni capacitación en RTS posoperatoria) y representaron el estándar de atención. Los participantes de la cohorte de Delaware-Oslo participaron en 10 sesiones de rehabilitación preoperatoria que consistieron en fortalecimiento progresivo y entrenamiento neuromuscular, incluido entrenamiento de perturbación, seguido de un programa de rehabilitación posoperatoria basado en criterios sin entrenamiento formal en RTS.<sup>[11]</sup> En el artículo **F**, los pacientes del grupo control recibieron rehabilitación convencional del ACL, mientras que los pacientes del grupo experimental recibieron 16 sesiones de terapia de vibración de cuerpo entero (WBVT), enfocadas en mejorar la propiocepción de la rodilla y el control postural, además de la rehabilitación convencional.<sup>[84]</sup> En el **G** ambos grupos, control (atletas ilesos) y de ACLR, realizaron 12 sesiones de un programa de NMT de fase tardía que tiene como objetivo abordar todos los componentes modificables del segundo perfil de riesgo de lesión del ACL, así como los déficits de movimiento residuales comunes antes y después de la lesión.<sup>[10]</sup> En los estudios **H** e **I** se comparó a un grupo control, que participó de un programa de entrenamiento de fuerza progresivo (STR) vs uno experimental, que recibió entrenamiento de fuerza progresivo complementado con entrenamiento de perturbación (PERT), enfocado en potenciar las reacciones musculares selectivas de la musculatura de apoyo de la rodilla en respuesta a fuerzas desestabilizantes, luego de 10 sesiones; ambos grupos de los dos ensayos incluyeron atletas que habían sufrido una lesión del ACL y demostraron ser non

copers (experimentaron más de un episodio de ceder durante las AVD - candidatos quirúrgicos) en el examen clínico.<sup>[85,86]</sup> Por último, el ECA **J** evaluó a un grupo control, que se sometió a un programa de entrenamiento de salto en condiciones normales de peso corporal (JTBW) vs un grupo experimental, que recibió entrenamiento de salto aumentado por un sistema BWS personalizado (JTBWS); ambos grupos estaban compuestos por atletas con ACLR y participaron en 16 sesiones de entrenamiento de saltos.<sup>[87]</sup>

Los participantes de los artículos **A**, **B** y **G** habían sido sometidos a ACLR con autoinjerto de tendón isquiotibial (HS),<sup>[80,81,10]</sup> los pertenecientes al estudio **C** recibieron un autoinjerto de tendón rotuliano (BPTB),<sup>[82]</sup> los integrantes del **D** y **J** se dividieron en aloinjerto, BPTB y HS.<sup>[11,87]</sup> Mientras que los participantes del artículo **E** se sometieron a ACLR con autoinjerto o aloinjerto sin especificar de qué tejido provinieron,<sup>[83]</sup> los atletas del estudio **H** recibieron autoinjerto o aloinjerto de HS o gracilis de haz cuádruple<sup>[85]</sup> y los del ECA **I** autoinjerto de HS/gracilis de haz cuádruple o aloinjerto de músculo tibial anterior o de tendón de Aquiles.<sup>[86]</sup> El estudio **F** menciona que sus integrantes fueron intervenidos con un abordaje de haz único pero sin detallar cuál/es fueron los injertos utilizados en la ACLR.<sup>[84]</sup>

En cuanto a la duración de las sesiones, sólo 4 estudios (**C**, **E**, **G** y **J**) detallaron el tiempo y en todos fueron de 1 hora las mismas.<sup>[82,83,10,87]</sup> Por otro lado, en relación a las extremidades afectadas, 2 artículos (**C** y **E**) mencionaron cuáles fueron las extremidades lesionadas dividiéndolas en derechas o izquierdas<sup>[82,83]</sup> y, un estudio (**J**) citó cuantas extremidades dominantes y no dominantes sufrieron la lesión del ACL.<sup>[87]</sup>

En relación con el tiempo de seguimiento dedicado en los estudios, sólo el **B**, **D** y **E** le dedicaron un seguimiento a largo plazo, siendo estos de 2 años.<sup>[81,11,83]</sup> Por su parte, el ensayo **I** le dedicó 1 año de seguimiento;<sup>[86]</sup> consecuentemente, mientras que el ECA **H** tuvo 7 meses de seguimiento,<sup>[85]</sup> en el estudio **F** fue de 6 meses.<sup>[84]</sup> Después, los artículos restantes tuvieron un seguimiento a corto plazo, siendo de 16 semanas en el **J**,<sup>[87]</sup> de 8 semanas en el **A**<sup>[80]</sup> y de 6 semanas en los estudios **C**<sup>[82]</sup> y **G**.<sup>[10]</sup>

De los estudios analizados, el **I** resulta ser el más antiguo, siendo este del año 2010,<sup>[86]</sup> luego le siguen los artículos **H** y **F**, que corresponden a los años 2012 y 2013 respectivamente.<sup>[85,84]</sup> Después vienen los ECA **E**, **G** y **J**, que son del año 2018,<sup>[83,10,87]</sup> el **D** es del 2019<sup>[11]</sup> y el **A** del 2020<sup>[80]</sup> y, por último, los estudios más recientes son el **B** y **C**, pertenecientes al año 2021.<sup>[81,82]</sup>

A continuación, se presenta una breve descripción de cada estudio:

El estudio **A**, realizado por **Ghaderi et al** y publicado en el año 2020 incluyó a 24 atletas masculinos de entre 18 y 30 años de edad sometidos a ACLR con autoinjerto del tendón de

la corva unilateral en los 6-12 meses anteriores, que habían completado la rehabilitación convencional y habían recibido autorización para volver a practicar deporte. El propósito de este estudio fue examinar los efectos de un programa de entrenamiento neuromuscular en la propiocepción de la rodilla en los atletas que habían regresado al deporte después de la reconstrucción del ACL.

Los atletas fueron asignados aleatoriamente a un grupo experimental (n=12) o a un grupo control (n=12). Todos los atletas completaron un protocolo de prueba de reposicionamiento pasivo para evaluar el sentido de la posición articular en la rodilla al principio (línea de base) y al final (prueba posterior) del período de estudio de 8 semanas. Los atletas del grupo experimental participaron en un programa de entrenamiento neuromuscular de 22 sesiones totales durante 8 semanas (2-3 sesiones por semana) diseñado para mejorar la fuerza/potencia, el equilibrio y la técnica de aterrizaje. El grupo de control continuó con su rutina típica, que se centró en las habilidades relacionadas con el deporte, pero no participó en el programa de entrenamiento neuromuscular.

Como se hipotetizó, los atletas que participaron en el programa de entrenamiento neuromuscular exhibieron una mejora significativa en la propiocepción de la rodilla para su miembro con ACLR, en comparación con los atletas que no participaron en el entrenamiento neuromuscular (grupo control). Esto indica que el entrenamiento neuromuscular puede ayudar a mejorar la propiocepción de las rodillas reconstruidas con ACL.<sup>[80]</sup>

El estudio **B**, realizado por **Nagelli et al**, publicado en el año 2021 y que contó con 18 atletas sometidos a ACLR con autoinjerto de tendón de la corva (8 hombres y 10 mujeres) y 10 controles ilesos (4 hombres y 6 mujeres) tuvo como objetivo principal cuantificar el efecto de un programa de NMT en el ángulo y los momentos del plano sagital de la rodilla (ángulo y momento de flexión de la rodilla) y frontal (ángulo y momento de abducción de la rodilla) en una cohorte de atletas con ACLR, ya que estas medidas han sido implicadas en un mayor riesgo de lesión del ACL. Además, compararon las mismas medidas cinemáticas y cinéticas de rodilla entre un grupo de ACLR y atletas de control después de que ambos grupos completaron el programa de entrenamiento.

Los atletas con ACLR estaban aproximadamente 8 meses fuera de la cirugía al comienzo del estudio. La evaluación biomecánica se realizó antes de la inscripción en el programa de NMT y directamente después de la finalización. El análisis de las variables cinemáticas y cinéticas de la rodilla se centró en el contacto inicial y el pico durante tres saltos verticales con caída (DVJ) exitosos. El contacto inicial es de interés porque se ha demostrado que las lesiones ocurren dentro de aproximadamente 20 a 50 milisegundos después del aterrizaje. Cada atleta del grupo ACLR y control completó el programa de NMT

de 12 sesiones que se centró en mejorar la estabilidad del tronco, aumentar y coordinar la flexión dinámica de las articulaciones de las extremidades inferiores y optimizar la mecánica de aterrizaje.

Los atletas con ACLR demostraron una mejora significativa en la biomecánica de la rodilla en el plano sagital después de completar el programa de NMT. La comparación posterior al entrenamiento en la biomecánica de la rodilla entre los grupos control y ACLR demostró una biomecánica de la rodilla comparable. Por otro lado, la hipótesis de que se produciría un cambio significativo en la cinemática y la cinética del plano frontal en el grupo ACLR después del programa de NMT no fue respaldada.<sup>[81]</sup>

El estudio **G** también fue realizado por **Nagelli et al** (2018) y contó con la misma cohorte de integrantes, 18 atletas ACLR con autoinjerto de tendón de la corva (8 hombres y 10 mujeres) y 10 controles ilesos (4 hombres y 6 mujeres), pero este ensayo tuvo como propósito cuantificar los efectos de un programa de NMT sobre la biomecánica de la cadera y el control neuromuscular en una cohorte de ACLR. En segundo lugar, este estudio buscó enmarcar la biomecánica de la cadera posterior al entrenamiento de una cohorte sometida a ACLR con relación a las mismas medidas para un grupo de atletas de controles ilesos que también participaron en el programa NMT.

En este ECA difirieron las medidas biomecánicas que se tomaron, en este caso se midió la flexión máxima de la cadera, aducción máxima de cadera, abducción máxima de cadera y rotación externa máxima de cadera durante 5 DVJ. Después, el protocolo de NMT fue el mismo que en el estudio anterior.

Los resultados de este ensayo apoyan las hipótesis planteadas: (1) el programa NMT mejoraría significativamente los factores de riesgo biomecánicos de la cadera conocidos y asociados a un mayor riesgo de lesión del ACL entre los atletas con ACLR, y (2) estos mismos atletas demostrarían una biomecánica de la cadera similar después del entrenamiento en comparación con un grupo control. Los resultados indicaron que las extremidades involucradas del grupo ACLR tuvieron un aumento significativo en el momento de rotación externa de la cadera con el entrenamiento. Además, después del entrenamiento, el grupo ACLR aterrizó con una flexión de cadera significativamente mayor y momentos de flexión externa de cadera más bajos durante la tarea de aterrizaje con salto. Esta evidencia muestra el papel potencial del NMT en la corrección efectiva de los déficits biomecánicos y neuromusculares de la cadera posteriores a la ACLR.<sup>[10]</sup>

El estudio **C**, realizado por **Kasmi et al** y publicado en el año 2021 analizó 40 atletas femeninas sometidas a ACLR con autoinjerto de BPTB. Este artículo tuvo como objetivo evaluar los efectos de 6 semanas de entrenamiento excéntrico, entrenamiento pliométrico o

una combinación de estas dos modalidades, en medidas de estabilidad dinámica (Y-BAL), preparación psicológica para volver al deporte (RTS) [LKS e índice de retorno al deporte (RSI)], y el índice de simetría de piernas (LSI) para la prueba de salto de una sola pierna en el período de rehabilitación posquirúrgico del ACL de atletas de élite.

Las participantes fueron asignadas aleatoriamente a tres grupos experimentales y un grupo control (CON, n = 10). Los 3 grupos experimentales fueron los siguientes: (1) el grupo excéntrico (ECC, n = 10), (2) el grupo pliométrico (PLYO, n = 10) y (3) el grupo combinado excéntrico y pliométrico (COMB, n = 10). Las atletas se encontraban 14 semanas después de la cirugía de reconstrucción y luego de haber pasado por 12 semanas de un programa de rehabilitación tradicional. A las atletas del grupo control se le indicó que siguiera su programa tradicional. Los grupos ECC, PLYO y COMB debían participar en dos sesiones de entrenamiento semanales adicionales (60 min por sesión) durante un período de 6 semanas (12 sesiones de entrenamiento en total) además del programa tradicional. El volumen de entrenamiento (semanas de entrenamiento, series, repeticiones y duración) fue igual entre los grupos experimentales. Las pruebas se realizaron antes y después de los programas de entrenamiento de 6 semanas e incluyeron la evaluación de Y-BAL, LKS y RSI. Mientras que, el LSI para las pruebas de salto de una sola pierna (un salto con y sin manos, triple salto, triple salto cruzado para la distancia y 6 m para el tiempo) se evaluó justo después de los programas de entrenamiento de 6 semanas.

Los hallazgos más importantes fueron que la combinación de ejercicios excéntricos y pliométricos (COMB) fue más efectiva para mejorar Y-BAL, LKS, RSI y LSI en comparación con los programas ECC, PLYO y CON. Además, encontramos una mejora en el rendimiento funcional muscular, con los mayores efectos significativos observados en el grupo COMB. La combinación de estos resultados sugiere que diferentes mecanismos pueden desempeñar un papel en la contribución a una rehabilitación integral con aumentos en la masa muscular y la fuerza aparentemente reforzados por el efecto aditivo del entrenamiento pliométrico, que pone a prueba el sistema neuromuscular y las capacidades asociadas de acortamiento del ciclo de estiramiento.<sup>[82]</sup>

El estudio **D**, fue realizado por **Capín et al** y publicado en el año 2019. Este estudio tuvo doble propósito: 1) comparar el efecto del entrenamiento SAPP frente a SAPP + PERT en los resultados clínicos primarios de 1 y 2 años (es decir, la fuerza del cuádriceps, los resultados informados por los pacientes y la prueba de salto con una sola pierna) en atletas femeninas del ensayo ACL-SPORTS; 2) comparar los resultados funcionales y los niveles de actividad de 2 años entre atletas femeninas jóvenes que completaron un programa de entrenamiento RTS formal después de ACLR (cohorte ACL-SPORTS) con subconjuntos

homogéneos de 2 cohortes ACL estándar existentes, Delaware-Oslo y MOON. La muestra del ensayo ACL-SPORTS contó con 36 atletas (SAPP = 18; SAPP + PERT = 18) que participaban regularmente (50 horas por año) en deportes de salto, corte o giro antes de la lesión del ACL y se inscribieron solo si habían pasado de 3 a 9 meses después de la ACLR primaria (media  $\pm$  DE, 6  $\pm$  2 meses). Para resolver el segundo objetivo del estudio se incluyeron otras 2 cohortes de pacientes, correspondientes al grupo MOON (431 atletas) y al grupo Delaware-Oslo (39 atletas), y en la cohorte del grupo ACL-SPORTS se excluyeron a los participantes que no tenían entre 13 y 24 años en el momento de la inscripción, por lo que este grupo quedó conformado por 24 atletas.

Las atletas de la muestra del grupo ACL-SPORTS completaron 10 sesiones de entrenamiento (2 veces por semana). Las atletas de ambos grupos de entrenamiento completaron los elementos comunes del programa de entrenamiento RTS, que consistieron en ejercicios de fortalecimiento, agilidad y ejercicios pliométricos diseñados para facilitar el regreso a la participación deportiva. Las atletas del grupo SAPP + PERT completaron además 10 sesiones de entrenamiento perturbador, mientras que las atletas del grupo SAPP realizaron un ejercicio simulado usando una banda de resistencia. Los participantes completaron las pruebas antes y después de 10 sesiones de entrenamiento de RTS y 1 y 2 años después de ACLR. Los datos de la cohorte MOON y la cohorte Delaware-Oslo se publicaron previamente y se usaron en el presente estudio para evaluar el entrenamiento RTS (cohorte ACL-SPORTS) en comparación con la rehabilitación postoperatoria basada en criterios solo (cohorte MOON) y la rehabilitación preoperatoria extendida más rehabilitación postoperatoria basada en criterios (cohorte Delaware-Oslo).

Las participantes de la cohorte MOON participaron en rehabilitación posoperatoria estandarizada y basada en criterios solos (es decir, sin rehabilitación preoperatoria prolongada ni capacitación en RTS posoperatoria) y representaron el estándar de atención. Las participantes de la cohorte de Delaware-Oslo participaron en 10 sesiones de rehabilitación preoperatoria que consistieron en fortalecimiento progresivo y entrenamiento neuromuscular, incluido entrenamiento de perturbación, seguido de un programa de rehabilitación posoperatoria basado en criterios sin entrenamiento formal en RTS.

Los hallazgos clave fueron que (1) ambos grupos de entrenamiento de la cohorte ACL-SPORTS (SAPP y SAPP + PERT) dieron resultados altos en el índice de fuerza del cuádriceps, LSI en las pruebas de salto, resultados funcionales, niveles de actividad y tasas de RTS 2 años después de la ACLR, pero fueron comparables ya que no hubo diferencias estadísticamente o clínicamente significativas entre los grupos; y (2) 10 sesiones de entrenamiento postoperatorio RTS (ACL-SPORTS), en comparación con la rehabilitación

postoperatoria basada en criterios solo (MOON), proporcionaron resultados funcionales clínicamente significativos y más altos a los 2 años entre atletas jóvenes de nivel 1 y nivel 2 después de ACLR primario. El entrenamiento de RTS también condujo a una calidad de vida superior relacionada con la rodilla en comparación con la rehabilitación preoperatoria y posoperatoria extendida (Delaware-Oslo). Los hallazgos sugieren que agregar un programa de entrenamiento RTS posoperatorio, que incorpore fortalecimiento, agilidades y ejercicios pliométricos, pero no necesariamente entrenamiento perturbador, puede mejorar los resultados funcionales y los niveles de actividad entre las atletas jóvenes después de ACLR.<sup>[11]</sup>

El estudio **E**, realizado por **Arundale et al** y publicado en el 2018, contó con una muestra de 79 atletas (40 hombres y 39 mujeres) que habían sido sometidos a ACLR y que participaban en deportes de nivel I o II durante más de 50 horas al año antes de la lesión y con la intención de volver a los niveles de actividad previos a la lesión. Este ensayo tuvo doble propósito, (1) examinar los resultados agudos del ensayo controlado aleatorizado ACL-SPORTS con respecto a la función de la rodilla (simetría de las extremidades de la fuerza del cuádriceps y simetría de las extremidades de la prueba de salto de una sola pierna) y las puntuaciones PRO y (2) determinar si los resultados difirieron entre hombres y mujeres.

Los atletas se inscribieron en el estudio en el momento en que generalmente son dados de alta de la fisioterapia en los Estados Unidos, al lograr las metas de las actividades de la vida diaria y comenzar a correr. Este momento ocurrió a los  $6 \pm 2$  meses. Los atletas fueron asignados al azar y los grupos quedaron conformados de la siguiente manera: grupo SAPP (N=40; 20 mujeres, 20 hombres) y grupo SAPP+PERT (N=39; 19 mujeres, 20 hombres). El entrenamiento se realizó dos veces por semana durante 5 semanas, para un total de 10 sesiones. En el momento de la inscripción (pre-entrenamiento) y nuevamente al finalizar el programa de entrenamiento (post-entrenamiento), los atletas participaron en pruebas de fuerza de cuádriceps, pruebas de salto con una sola pierna y completaron PRO (KOS-ADL; GR; IKDC; KOOS-QoL).

Este estudio encontró que 10 sesiones de un programa de entrenamiento secundario de prevención de lesiones del ACL condujeron a mejoras en la simetría de las extremidades de la prueba de salto y las puntuaciones PRO, independientemente del grupo o el sexo. Al analizar la cohorte como un todo, el QI fue la única variable que no mejoró significativamente. Sin embargo, al examinar la cohorte por sexo, los hombres tuvieron un aumento significativo en el QI con el programa de capacitación; las mujeres no. Los autores plantearon la hipótesis de que los atletas en el grupo SAPP + PERT tendrían puntajes

funcionales y PRO más altos. Esta hipótesis no fue apoyada, ya que no hubo diferencias entre los grupos SAPP y SAPP + PERT. Los resultados de este estudio apuntan hacia un beneficio potencial del programa de entrenamiento en la fase de regreso al deporte de rehabilitación.<sup>[83]</sup>

El estudio **F**, realizado por **Fu et al** y publicado en el año 2013, contó con una muestra de 48 pacientes (32 hombres y 16 mujeres) que se habían sometido a una ACLR de isquiotibiales con un abordaje de haz único. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto del WBVT temprano (a partir de 1 mes después de la cirugía) sobre el control neuromuscular después de ACLR mediante la evaluación de la propiocepción de la rodilla, el control postural, el torque máximo, y capacidad funcional con un grupo de referencia.

Tanto el grupo de WBVT como el de referencia se sometieron al mismo protocolo de rehabilitación convencional utilizado por el Departamento de Fisioterapia de pacientes externos del Hospital Príncipe de Gales de Hong Kong. El grupo de WBVT comenzó el entrenamiento con WBVT al mes de la cirugía, además del programa de rehabilitación convencional. Se realizaron 2 sesiones por semana para un total de 16 sesiones (2 meses de duración). La WBVT se llevó a cabo en Fitvibe Excel Pro. Las placas de vibración funcionaban en dirección vertical. La frecuencia de dicha vibración se ajustó con un paso de 5 Hz, y los rangos de frecuencia de vibración fueron de 20 a 60 Hz. La amplitud se ajustó como alta (4 mm) o baja (2 mm).

Se encontró que el grupo de WBVT demostró un control postural, un rendimiento muscular, un salto con una sola pierna y una carrera de lanzadera significativamente mejores ( $P < 0.05$ ) que el grupo de referencia, pero no hubo diferencias significativas en el sentido de la posición de la articulación de la rodilla, el triple salto, la carioca, el ROM y la estabilidad ( $P > 0.05$ ). Además, el WBVT demostró una fuerza de rodilla significativamente superior en comparación con el grupo de referencia a los 3 meses de la cirugía y hasta los 6 meses del postoperatorio. Por lo tanto, es aconsejable iniciar el WBVT al mes del postoperatorio.<sup>[84]</sup>

El estudio **H**, realizado por **Di Stasi et al** y publicado en el año 2012, incluyó 40 atletas (28 hombres y 12 mujeres) con lesión del ACL que participaban en deportes o actividades de Nivel I/II (aquellos que incluyen cortar, girar, saltar y/o movimientos laterales) más de 50 horas por año antes de la lesión. El propósito de este estudio era doble: (a) evaluar los cambios en la artrocinemática y la osteocinemática de la articulación de la rodilla en los non copers durante una tarea de bipedestación unilateral después del entrenamiento con perturbaciones y después de la reconstrucción del ACL, y (b) comparar la estrategias de postura de hombres y mujeres non copers a lo largo del tiempo.



El examen de detección clasificó a los non copers en función de los valores de fuerza del cuádriceps medidos mediante una técnica de superposición de ráfagas, simetría de salto unilateral y dos puntajes de cuestionarios de autoinforme. Aquellos que experimentaron más de un episodio de ceder durante las actividades de la vida diaria se clasificaron automáticamente como non copers. Los participantes del estudio fueron aleatorizados en uno de dos grupos de pretratamiento: solo entrenamiento de fuerza progresivo (STR = 28) o entrenamiento de fuerza progresivo complementado con entrenamiento de perturbación (PERT = 27). El entrenamiento de perturbación se implementó y progresó de acuerdo con el protocolo de la Universidad de Delaware. Ambos grupos recibieron 10 sesiones de fisioterapia preoperatoria (tiempo de entrenamiento:  $3,7 \pm 1,5$  semanas), después de lo cual los sujetos se sometieron a una ACLR con un autoinjerto o aloinjerto semitendinoso/gracilis de haz cuádruple dentro de las 2 semanas posteriores a la finalización del entrenamiento preoperatorio. Ambos grupos recibieron la misma fisioterapia posoperatoria basada en criterios.

Las diferencias iniciales de las extremidades en el ángulo de la rodilla se identificaron sólo en el grupo STR y persistieron después de la rehabilitación preoperatoria. Seis meses después de la ACLR, ambos grupos de tratamiento tenían estrategias de bipedestación unilaterales similares. Nuestra hipótesis de que el posicionamiento anormal de la rodilla y la tibia de los non copers se resolvería solo con el entrenamiento de PERT no fue respaldada por estos datos, pero las asimetrías de las extremidades previas a la intervención solo en el grupo STR pueden haber enmascarado cualquier efecto del tratamiento. Curiosamente, fueron las mujeres las que respondieron mejor a la fisioterapia preoperatoria, ya que la asimetría del ángulo de la rodilla y la posición tibial posterior de la extremidad afectada se resolvieron antes de la cirugía. Después de la ACLR, tanto hombres como mujeres demostraron simetría del ángulo de flexión de la rodilla durante la tarea de apoyo unilateral.<sup>[85]</sup>

El estudio I, realizado por **Hartigan et al** y publicado en el año 2010, analizó 40 atletas (29 hombres, 11 mujeres) con ruptura del ACL que participaban en actividades de nivel I o II del IKDC durante al menos 50 horas por año antes de la lesión. El propósito de este ensayo clínico aleatorizado fue determinar las intervenciones efectivas para mejorar la preparación para volver a los deportes después de la operación en la cohorte non copers. Específicamente, se comparó los efectos de 2 intervenciones preoperatorias sobre la fuerza del cuádriceps y los resultados funcionales.

Los atletas fueron asignados aleatoriamente a un grupo PERT (n = 18; 12 hombres, 6 mujeres) o un grupo STR (n = 22; 17 hombres, 5 mujeres) y seguido durante 1 año después

de la reconstrucción del ACL. Los participantes se encontraban una media  $\pm$  DE de  $8,5 \pm 7,7$  semanas después de su lesión. Cada paciente recibió 10 sesiones de fisioterapia preoperatoria administradas entre 2 y 5 veces por semana. Los pacientes del grupo STR y del grupo PERT participaron en el mismo entrenamiento de fuerza, mientras que el grupo PERT también recibió una forma especializada de entrenamiento neuromuscular denominada entrenamiento de perturbación. El entrenamiento de perturbación se implementó y progresó de acuerdo con el protocolo de la Universidad de Delaware. El grupo PERT realizó ejercicios de perturbación antes de los ejercicios de fortalecimiento. Los pacientes mantuvieron el equilibrio en la superficie de apoyo, mientras que un médico experimentado administró manipulaciones intencionadas de las superficies de apoyo. Después de completar las 10 sesiones preoperatorias de fisioterapia, todos los pacientes se sometieron a una ACLR utilizando un autoinjerto de semitendinoso gracilis de doble asa (4 haces) o un aloinjerto de músculo tibial anterior o tendón de Aquiles. Todos los pacientes recibieron el mismo programa de rehabilitación postoperatoria.

La hipótesis de que 10 sesiones de entrenamiento con perturbaciones antes de la cirugía producirían resultados funcionales superiores no fue totalmente respaldada por este trabajo. Los resultados superiores de fuerza del cuádriceps y prueba de salto en comparación con los resultados de Risberg y colegas<sup>[88]</sup> respaldan la implementación de una intervención preoperatoria junto con la rehabilitación posoperatoria después de la ruptura del ACL. Aunque el grupo que recibió entrenamiento de perturbación preoperatorio no demostró mejores resultados de regreso a los deportes, las calificaciones globales de la función de la rodilla fueron superiores en comparación con el grupo de fortalecimiento a los 6 y 12 meses después de la cirugía. Los atletas del grupo de fuerza saltaron más alto a los 12 meses.<sup>[86]</sup>

El estudio **J**, publicado por **Elías et al** en el año 2018, examinó 19 participantes (14 mujeres, 5 hombres) que se encontraban entre 6 y 48 meses después de la ACLR, habían sido autorizados para la participación en deportes por su cirujano, y participaban en deportes recreativos o competitivos en un nivel de escala de actividad de Tegner superior a 4. El propósito de este estudio fue doble: (1) examinar el efecto de un programa de entrenamiento de saltos sobre la función informada por el paciente y las medidas biomecánicas y (2) determinar si un programa de alta repetición con intensidad reducida mediante BWS mejorará los resultados funcionales, mecánicos y neuromusculares.

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a 1 de 2 grupos de intervención individual: entrenamiento de salto en condiciones normales de peso corporal [JTBW (N=9; 4 hombres, 5 mujeres)] y entrenamiento de salto aumentado por un sistema BWS personalizado [JTBWS (N=10; 9 mujeres, 1 hombre)]. Los participantes asignados a la

condición JTBWS completaron su entrenamiento utilizando el sistema BWS personalizado. Los participantes asignados a la condición JTBW completaron su entrenamiento en el mismo lugar, pero con el sistema BWS retirado de la zona. La intervención de entrenamiento de saltos, independientemente de la asignación del grupo, implicó 8 semanas de sesiones individuales dos veces por semana, cada una de ellas de una hora de duración. La repetición del entrenamiento se siguió a través de los contactos, definidos como el número de veces que la pierna implicada golpeó el suelo y/o generó un cambio direccional (como en el corte). El grupo JTBW pasó de 80-100 contactos por sesión en la primera semana a 120-200 contactos por sesión en la octava semana. Por el contrario, el grupo JTBWS tuvo un número mucho mayor de repeticiones en las primeras fases del entrenamiento, de acuerdo con la menor intensidad de la tarea del sistema BWS. El entrenamiento se inició con un nivel de BWS del 30%, en el que se ejercía una fuerza vertical casi constante igual al 30% del peso corporal del paciente en el centro de masa. El nivel de BWS se redujo en un 10% cada 2 semanas por tolerancia a la actividad, con cambios asociados en la repetición según los efectos cinéticos del BWS en el momento de la rodilla en el aterrizaje. Las 2 últimas semanas de entrenamiento se realizaron sin BWS y fueron esencialmente las mismas que las 2 últimas semanas de entrenamiento en el grupo JTBW en términos de ejercicios realizados y número de repeticiones.

La primera hipótesis fue apoyada. El entrenamiento de saltos tuvo un gran efecto en la mejora de las medidas de la función física, tanto informadas por el paciente como basadas en el rendimiento. Además, el Col anormalmente alto al inicio del entrenamiento disminuyó a lo largo de la intervención a medida que los participantes realizaban las mejoras deseadas en el rendimiento del aterrizaje del salto, lo que demuestra mejoras sustanciales en la coordinación de los músculos del muslo. La segunda hipótesis, sin embargo, no fue apoyada. Esta, era que el aumento de las repeticiones con la disminución de la intensidad utilizando BWS mejoraría la retención de estos efectos, pero los datos de la muestra actual no apoyaron esta premisa en que ambos grupos conservaron sus mejoras en todas las variables. La tercera hipótesis fue apoyada, ya que se demostró un menor riesgo de derrame articular en aquellos atletas que entrenaban con BWS.<sup>[87]</sup>

## VII. Discusión

En este trabajo se analizaron los resultados de la implementación del entrenamiento neuromuscular en poblaciones atléticas jóvenes que habían sufrido una lesión del ACL y pretendían regresar a sus niveles de actividad previos a dicha lesión. También, se observó las características y formas de aplicar el NMT (ejercicios, dosificación, momento de implementación, etc.) en los distintos ensayos y cómo repercutió en ambos sexos. La revisión se compuso por 10 artículos, recopilados de la búsqueda bibliográfica, que examinaron diferentes intervenciones de entrenamiento neuromuscular.

En cuanto a la eficacia de dicha modalidad de entrenamiento para mejorar el control motor previo a la vuelta al deporte y, de este modo, disminuir los factores de riesgo de lesión secundaria, los resultados de los estudios seleccionados son positivos en general, a favor del NMT en la rehabilitación de los atletas previo al retorno al deporte y se alienta a que, una vez que los atletas han vuelto a su actividad deportiva, sigan implementando algún tipo de entrenamiento de este estilo para seguir mejorando el control neuromuscular y, de esta manera, disminuir la probabilidad de sufrir una nueva lesión. Sin embargo, se ha visto que no todos los estudios fueron igual de concluyentes en sus resultados y se cree que esto puede tener que ver con varios factores, como por ej. la modalidad de entrenamiento neuromuscular utilizada, el momento de implementación, la dosificación, el tipo de deporte, entre otros.

De los 10 estudios, en 2 (**H** e **I**) se implementó el protocolo de NMT preoperatoriamente, en atletas non copers, y en ambos se comparó un programa de entrenamiento de fuerza (STR) versus un programa de entrenamiento de fuerza complementado con entrenamiento de perturbación (PERT). Curiosamente, estos artículos no pudieron respaldar mediante sus resultados la adición de un componente de entrenamiento perturbador a esta cohorte de pacientes non copers. Pero, hay estudios que demuestran que, los non copers que recibieron entrenamiento de perturbación preoperatorio tuvieron un patrón de marcha mejorado cuando se evaluaron 6 meses después de la ACLR; mientras que aquellos que no recibieron esta intervención continuaron utilizando un patrón de marcha asimétrico.<sup>[85,86]</sup> Por otro lado, en los estudios **D** y **E**, se evaluó el programa de entrenamiento postoperatorio de RTS ACL-SPORTS, el cuál compara un programa de entrenamiento de fuerza, agilidad, pliometría y prevención secundaria (SAPP) versus un programa SAPP con la adición de entrenamiento de perturbaciones (SAPP + PERT). En los resultados de estos 2 estudios se encontró que, ambos grupos mostraron aumentos significativos en la simetría de las extremidades en las pruebas de salto, los índices de fuerza, los resultados funcionales, la tasa de RTS y las valoraciones subjetivas de la función, pero se vió que, sumar

perturbaciones al programa SAPP, no producía ningún tipo de mejoras significativas en los pacientes.<sup>[11,83]</sup> Teniendo en cuenta los resultados de estos ensayos, pareciera ser que el entrenamiento con perturbaciones no es la mejor opción a la hora de abordar el NMT con el objetivo de mejorar el control motor en esta población atlética.

Por otro lado, los estudios **B**, **G** y **J** evaluaron un protocolo de entrenamiento postoperatorio con un enfoque mayormente pliométrico.<sup>[81,10,87]</sup> Los estudios **B** y **G** aplicaron el mismo programa de NMT a dos grupos de atletas distintos, uno con ACLR y el otro con controles ilesos; el programa estaba compuesto por 7 progresiones separadas, con 4 fases de dificultad creciente, que involucraron ejercicios de extremidades inferiores unilaterales y bilaterales y ejercicios de control y fortalecimiento del núcleo.<sup>[81,10]</sup> En ambos estudios se encontraron mejoras significativas en los factores de riesgo biomecánicos, de la rodilla en el **B**, aunque solo en el plano sagital, no así en el plano frontal,<sup>[81]</sup> y de la cadera (**G**) en los grupos con ACLR y la biomecánica de ambas articulaciones dieron medidas comparables entre los del grupo ACLR y los del grupo control.<sup>[10]</sup> Por su parte, en el ensayo **J**, se evaluó un entrenamiento de salto aumentado por un sistema BWS personalizado (JTBWS) versus un entrenamiento de salto en condiciones normales de peso corporal (JTBW), ambos implementados en una población con ACLR, y se observó que, el entrenamiento de saltos, independientemente del grupo analizado, tuvo un gran efecto en la mejora de las medidas de la función física, tanto informadas por el paciente como basadas en el rendimiento y en el Índice de Cocontracción (CoI), que disminuyó significativamente de su valor anormalmente alto al inicio del entrenamiento. Con respecto al sistema BWS personalizado, se encontró que el mismo disminuye el riesgo de derrame articular en los atletas que lo utilizan para el entrenamiento de saltos, pero no mejora la retención de los resultados obtenidos por dicho entrenamiento.<sup>[87]</sup>

Por su parte, en el estudio **C** evaluaron tres protocolos postoperatorios distintos, uno enfocado mayormente en la fuerza excéntrica (ECC), otro en la pliometría (PLYO) y otro grupo recibió una combinación de entrenamiento excéntrico y pliométrico (COMB), y se comparó con un grupo control (CON) que sólo recibió el programa tradicional; todos los participantes habían sido sometidos a ACLR. Se demostró que el grupo COMB obtuvo mejoras estadísticamente significativas, por sobre los otros tres grupos de entrenamiento, en las puntuaciones de Y-BAL, LKS, RSI y LSI en todas las pruebas de salto. La comparación entre los grupos ECC y PLYO versus el grupo CON mostró mayores mejoras en LKS y RSI para los grupos ECC y PLYO y, este último, mostró mejoras superiores en Y-BAL y LSI en las pruebas de salto que los grupos ECC y CON.<sup>[82]</sup> Estos resultados también alientan a la implementación de un componente pliométrico en el programa de NMT, pero además, dan

cuenta de qué, complementar este programa con ejercicios de fuerza excéntrica producirían mejoras aún superiores en las medidas de control motor.

Así mismo, el estudio **A** evaluó un protocolo de entrenamiento NM postoperatorio enfocado mayormente en la propiocepción y lo comparó con un grupo control que continuó con su rutina típica, que se centró en las habilidades relacionadas con el deporte, ambos grupos habían sido sometidos a ACLR. Este estudio reveló mejoras estadísticamente significativas en el sentido de la posición articular en los atletas que participaron en el programa de NMT, por lo que aconsejan la implementación de un protocolo con este enfoque para mejorar la propiocepción de la rodilla.<sup>[80]</sup> Por otra parte, el estudio **F** analizó un protocolo de NMT postoperatorio en el que además del programa de rehabilitación convencional se aplicó terapia de vibración de cuerpo entero (WBVT) de manera precoz, a partir de un mes post cirugía, y se comparó con un grupo control que recibió sólo el programa de RHB convencional. Se vio que el grupo que se sometió a WBVT, obtuvo mejoras significativas en las puntuaciones de control postural, rendimiento muscular, salto con una sola pierna y carrera de lanzadera, en comparación con el grupo control; pero no hubo diferencias significativas en el sentido de la posición de la articulación de la rodilla, el triple salto, el carioca, el ROM y la estabilidad. Por ende, se recomienda incorporar esta terapia al programa de NMT a partir del mes de la cirugía para facilitar la recuperación y, además, se demostró que es un método de entrenamiento eficaz sin comprometer la estabilidad de la rodilla.<sup>[84]</sup>

Independientemente de los resultados obtenidos por los autores en cada estudio, todos están de acuerdo en que, el entrenamiento neuromuscular debe estar presente en todas las rehabilitaciones de reconstrucciones de ACL, ya que lo consideran como una herramienta fundamental para recuperar la biomecánica, corregir las asimetrías presentes entre la extremidad afectada y la contralateral y para mejorar el control motor del paciente. Ahora bien, en vista de los datos presentados en esta revisión, las terapias neuromusculares más eficientes son la pliometría, fuerza excéntrica, propiocepción, terapia de vibración de cuerpo entero y perturbaciones, en ese orden respectivamente.

En cuanto a los criterios para la dosificación de los ejercicios a utilizar en la población que se propone en esta revisión y los momentos en los que debería implementarse, la información recabada de los ensayos clínicos no es concluyente como para establecer criterios de dosificación, pero sí coinciden en qué, los ejercicios más demandantes de coordinación, estabilidad y agilidad, deben emplearse al comienzo de la sesión para obtener mejores resultados y, en cuanto al momento de implementación, se evidenció que puede utilizarse un programa de NMT preoperatorio centrado en la fuerza del cuádriceps con

ejercicios progresivos cuando no puede realizarse la ACLR de manera temprana en atletas non copers. Luego de la cirugía, queda claro que el componente pliométrico debe formar parte primordialmente del programa de NMT ya que sus resultados son muy ventajosos en las medidas neuromusculares. En base a esto, los estudios que implementaron componentes pliométricos, lo hicieron en atletas que estaban mínimo 3 meses después de la cirugía y cada atleta tenía que demostrar: (1) una amplitud de movimiento de la rodilla sin dolor, (2) un derrame de la articulación de la rodilla mínimo o nulo, (3) un déficit de fuerza extensora de la rodilla de menos del 30% y (4) la voluntad de saltar con una sola pierna en el lugar sin ningún dolor y sin estrategias de aterrizaje perjudiciales; por lo tanto, se recomienda que, para iniciar este tipo de entrenamiento, los atletas cumplan con estos criterios, más allá del tiempo que haya pasado de la ACLR. Previo a los ejercicios pliométricos, podrían incluirse ejercicios propioceptivos, de fuerza excéntrica y WBVT a partir de un mes después de la reconstrucción del ACL.

A propósito de las comparaciones entre los distintos sexos, sólo 3 estudios (**A**, **C** y **D**) evaluaron a una población de un solo género (el **A** hombres y los otros dos ensayos mujeres).<sup>[80,82,11]</sup> De los 7 artículos restantes, sólo 3 (**E**, **H** y **J**) analizaron las diferencias entre hombres y mujeres.<sup>[83,85,87]</sup> En relación a esto, en el estudio **E** se vió que las mujeres tardaron más tiempo en cumplir los criterios de inscripción para participar de manera segura en el estudio y, las mediciones durante el transcurso del programa de entrenamiento arrojaron que, mientras los hombres tuvieron un aumento significativo en el QI, las mujeres no y, aunque tanto hombres como mujeres tuvieron aumentos en las puntuaciones de KOOS-QoL, sólo los hombres tuvieron mejoras en las puntuaciones superiores a la MCID (diferencia mínima clínicamente importante).<sup>[83]</sup> Por su parte, el estudio **H** demostró que la fisioterapia preoperatoria aplicada fue efectiva para corregir la posición tibial posterior encontrada sólo en las mujeres luego de la lesión del ACL, no así en los hombres, que luego de la lesión habían conservado la posición tibial anterior característica de las extremidades sanas. Pero, el dato llamativo de este estudio fue que, 6 meses después de la cirugía de ACLR, mientras que los hombres mantuvieron la posición anterior, las mujeres nuevamente demostraron una asimetría clínicamente significativa y reanudaron la posición posterior de la extremidad afectada.<sup>[85]</sup> En tanto que, el ensayo **J** no encontró ningún cambio estadísticamente significativo, dependiente del sexo, en las variables de interés.<sup>[87]</sup> Así, únicamente 2 ECA hablan de cambios significativos entre hombres y mujeres, lo que parece ser insuficiente evidencia como para establecer distintas formas de abordar el protocolo de rehabilitación según el sexo de los atletas. Sin embargo, la evidencia de estos 2 estudios es muy concluyente y, en base a esto, recomendamos que, en la población de atletas femeninas con ACLR, se haga especial hincapié en recuperar la fuerza del cuádriceps de la

extremidad afectada, la simetría entre ambas extremidades y la correcta cinética y cinemática de las extremidades inferiores ya que, las atletas femeninas son más vulnerables a sufrir una segunda lesión del ACL.

Respecto a los deportes en donde serían más necesarios implementar estos ejercicios para mejorar el control motor y disminuir los factores de riesgo de lesión secundaria del ACL, se considera qué, debieran ser aplicados mayormente a los atletas que desean retornar a deportes o actividades de nivel I/II del IKDC o que estén en un nivel superior a 4 en la escala de actividad de Tegner, que son los deportes/actividades que incluyen acciones de cortar, girar y/o saltar. Estas acciones de corte, giro y salto, son las que suelen estar involucradas en las lesiones del ACL sin contacto, por lo que resulta lógico pensar qué, los atletas que practicaban y desean retornar a estos deportes, sean los que requieren una mayor participación en los programas de NMT. A su vez, con respecto al RTS, la evidencia actual destaca que aquellos atletas que pueden esperar para volver al nivel de actividad previo a la lesión hasta al menos 9 meses después de la ACLR pueden mitigar el riesgo de una segunda lesión del ACL, y también resaltan la importancia de evaluar a los atletas de forma individual y no utilizar criterios basados en el tiempo como pautas para estar preparados para volver a los deportes.<sup>[81,10,86]</sup>

Esta revisión tuvo limitaciones. Las muestras analizadas de los artículos no fueron homogéneas entre todos los estudios, ya que hubo estudios que evaluaron ambos sexos y otros que no y la edad media entre las muestras de los estudios variaron, e incluso algunos ensayos tuvieron números de participantes desiguales entre los grupos estudiados. Esto puede deberse a que, los estudios que componen esta revisión, abordaron un tema actual y nuevo, como lo es el entrenamiento neuromuscular, y a día de hoy, no hay demasiado consenso en la literatura acerca de cuál es la mejor manera de abordar este componente de entrenamiento ni tampoco se sabe exactamente qué población se podría ver mayormente beneficiada por la implementación de este entrenamiento en sus programas de rehabilitación. Por otro lado, no todos los estudios implementaron un mismo programa de ejercicios neuromusculares ni evaluaron las mismas variables de interés, lo que limitó la capacidad para detectar diferencias en la efectividad de los componentes del entrenamiento en las mejoras del control motor. A pesar de que hay ciertos programas de NMT que se han querido imponer a modo de estándares de atención, como ACL-SPORTS, MOON y Delaware-Oslo, con los resultados analizados en esta revisión, sugerimos que los rehabilitadores no se guíen en su totalidad por un programa en especial sino que, adapten los programas a las necesidades individuales de los atletas en cuestión e implementen ejercicios específicos del deporte al que desea regresar cada atleta según las exigencias biomecánicas de los mismos.



## VIII. Conclusión

Se concluye que, el entrenamiento neuromuscular es un elemento esencial durante la rehabilitación de atletas jóvenes con ACLR, con el fin de mejorar el control motor previo a la vuelta al deporte y, de esta manera, disminuir potencialmente el riesgo de una segunda lesión del ACL. A su vez, se recomienda que este tipo de entrenamiento siga implementándose en los atletas una vez que éstos retornan a sus respectivos deportes ya que, la probabilidad de sufrir una segunda ruptura o ruptura contralateral es elevada en esta población.

Entre las formas de implementar el NMT, se encontró que, la combinación de ejercicios pliométricos y de fuerza excéntrica demuestran las mejoras mayores en las medidas neuromusculares. En la misma línea, los ejercicios propioceptivos y vibratorios de cuerpo entero también mostraron mejoras en estas medidas, aunque en menor medida y, en último lugar, el entrenamiento con perturbaciones no demostró mejoras significativas como para recomendar la inclusión de este componente al entrenamiento neuromuscular.

En cuanto a la dosificación, la evidencia presentada en esta revisión, no permite sacar conclusiones y establecer la dosificación apropiada. Se recomienda que, los fisioterapeutas, se basen en criterios clínicos para la progresión en las sesiones y, éstas aumenten progresivamente en dificultad siguiendo las pautas de derrame articular y dolor para monitorear la respuesta del atleta al tratamiento y garantizar una progresión segura a través del protocolo de rehabilitación.

La evidencia no permitió establecer diferencias claras entre los distintos sexos para identificar la forma más apropiada de abordar el programa de NMT en cada sexo, pero si se recomienda hacer un enfoque especial en las atletas femeninas puesto que, esta población, demuestra ser más vulnerable a sufrir una segunda lesión ya que, presenta mayores déficits en la fuerza del cuádriceps y asimetrías en las medidas cinemáticas post ACLR que sus contrapartes masculinas.

Con relación a los deportes en donde serían más necesarios incluir estos ejercicios, se aconseja que se haga especial hincapié en los atletas que desean retornar a deportes o actividades de nivel I/II del IKDC o en un nivel superior a 4 en la escala de actividad de Tegner, que son los deportes/actividades que incluyen acciones de desacelerar, girar y/o aterrizajes, las cuáles se asocian a un riesgo mayor de lesión del ACL. Con respecto al RTS, se sugiere que los fisioterapeutas se basen en evaluaciones funcionales y aborden al atleta de manera individual al momento de permitir la participación en el deporte sin restricciones.

A su vez, retrasar el RTS hasta al menos 9 meses, disminuye potencialmente el riesgo de sufrir una segunda lesión del ACL.

## IX. Bibliografía

1. Paterno M, Schmitt L, Ford K, Rauh M, Myer G, 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.* 2010; 38(10): 1968-1978. DOI: 10.1177/0363546510376053
2. Hewett T, Di Stasi S, Myer G, Hewett T. Neuromuscular training to target deficits associated with second anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013; 43(11): 777-792. DOI: 10.2519/jospt.2013.4693
3. Hewett T, Di Stasi S, Myer G. Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013; 41: 216-224. DOI: 10.1177/0363546512459638
4. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R y Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *British Journal of Sports Medicine* 2016; 50(15): 946-951. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095908
5. Kapandji IA. *Fisiología Articular*. Tomo 2. Madrid: Panamericana. 6ª Edición. 2010. La rodilla. p. 76-159
6. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med.* 2010; 38(11): 2218–2225. DOI: 10.1177/0363546510373570
7. Akehi K, Conchola E, Palmer T, Thompson B. Rapid muscle activation changes across a competitive collegiate female soccer season. *JMNI.* 2021; 21(2): 206-214. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8185265/>
8. Hewett T, Ford K, Hoogenboom B, Myer G. Understanding and preventing ACL injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations. Update 2010. *N Am J Sports Phys Ther (internet).* 2010 [citado 29 de junio de 2021]; 5(4): 234–251. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3096145/>
9. Sasaki S, Tsuda E, Yamamoto Y, Maeda S, Kimura Y, Fujita Y et al. Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk. *J Athl Train.* 2019; 54(9): 959-969. DOI: 10.4085/1062-6050-113-17
10. Nagelli C, Wordeman S, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett T. Biomechanical Deficits at the Hip in Athletes With ACL Reconstruction Are Ameliorated With Neuromuscular Training. *Am J Sports Med.* 2018; 46(11): 2772-2779. DOI: 10.1177/0363546518787505

11. Capin J, Failla M, Zarzycki R, Dix C, Johnson J, Smith A et al. Superior 2-Year Functional Outcomes Among Young Female Athletes After ACL Reconstruction in 10 Return-to-Sport Training Sessions: Comparison of ACL-SPORTS Randomized Controlled Trial With Delaware-Oslo and MOON Cohorts. *Orthop J Sports Med.* 2019; 7(8): 10. DOI: 10.1177/2325967119861311
12. Weineck J. Anatomía deportiva. 5ª ed. Badalona: Paidotribo; 2013.
13. Staugaard-Jones JA. Anatomía del ejercicio y el movimiento. Badalona: Paidotribo; 2014.
14. Latarjet M, Ruiz Liard A. Anatomía Humana. 5ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2019.
15. Sanders T, Maradit Kremers H, Bryan A, Larson D, Dahm D, Levy B et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2016;44(6):1502–7. DOI: 10.1177/0363546516629944
16. Montalvo A, Schneider D, Yut L, Webster K, Beynon B, Kocher M et al. “What’s my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?” A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2019 [citado el 15 de abril de 2022]; 53 (16):1003–12. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096274
17. Larwa J, Stoy C, Chafetz R, Boniello M, Franklin C. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2021;18(7):3826. DOI: 10.3390/ijerph18073826
18. Prodromos C, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc* [Internet]. 2007;23(12):1320-1325.e6. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.07.003
19. Agel J, Rockwood T, Klossner D. Collegiate ACL Injury Rates Across 15 Sports: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System Data Update (2004-2005 Through 2012-2013). *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med* [Internet]. 2016;26(6):518–23. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000290
20. Velázquez-Rueda M, Martínez-Ávila J, Pérez-Serna A, Gómez-García F. Risk factors and frequency in re-ruptures of the anterior cruciate ligament in adults. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2016;30(2):61–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27846352/>
21. Lee D, Lee J, Ahn S, Park M. Effect of Time after Anterior Cruciate Ligament Tears on Proprioception and Postural Stability. *PloS One* [Internet]. 2015;10(9):e0139038. DOI: 10.1371/journal.pone.0139038

22. Relph N, Herrington L. THE EFFECT OF CONSERVATIVELY TREATED ACL INJURY ON KNEE JOINT POSITION Sense. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2016;11(4):536–43. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27525178/>
23. Nyland J, Mattocks A, Kibbe S, Kalloub A, Greene J, Caborn D. Anterior cruciate ligament reconstruction, rehabilitation, and return to play: 2015 update. *Open Access J Sports Med* [Internet]. 2016;7:21–32. DOI: 10.2147/OAJSM.S72332
24. Benjaminse A, Gokeler A, Van Der Schans C. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2006;36(5):267–88. DOI: 10.2519/jospt.2006.2011
25. Filbay S, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol* [Internet]. 2019;33(1):33–47. DOI: 10.1016/j.berh.2019.01.018
26. Georgoulis A, Ristanis S, Moraiti C, Paschos N, Zampeli F, Xergia S et al. ACL injury and reconstruction: Clinical related in vivo biomechanics. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR* [Internet]. 2010;96(8 Suppl):S119-128. DOI: 10.1016/j.otsr.2010.09.004
27. Kaeding C, Léger-St-Jean B, Magnussen R. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clin Sports Med* [Internet]. 2017;36(1):1–8. DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.001
28. Salzler M, Chang J, Richmond J. Management of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Adults Aged >40 Years. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018; 26: 553-561. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00730
29. Best M, Zikria B, Wilckens J. Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Older Athlete. *Sports Health* [Internet]. 2021;13(3):285–9. DOI: 10.1177/1941738120953426
30. Musahl V, Karlsson J. Anterior Cruciate Ligament Tear. *N Engl J Med* [Internet]. 2019;380(24):2341–8. DOI: 10.1056/NEJMcp1805931
31. Mohtadi N, Chan D, Dainty K, Whelan D. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2011;(9):CD005960. DOI: 10.1002/14651858.CD005960.pub2
32. Heijne A, Werner S. Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* [Internet]. 2007;15(4):402–14. DOI: 10.1007/s00167-006-0246-z
33. Van Melick N, van Cingel R, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016;50(24):1506–15. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095898

34. Monk A, Davies L, Hopewell S, Harris K, Beard D, Price A. Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2016;4:CD011166. DOI: 10.1002/14651858.CD011166.pub2
35. Álvarez Santana D. Correlación entre los resultados de valoración funcional y de fuerza de la rodilla en pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior. 2016 [citado el 27 de julio de 2022]; Disponible en: <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/18556>
36. Hunnicutt J, McLeod M, Slone H, Gregory C. Quadriceps Neuromuscular and Physical Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* [Internet]. 2020;55(3):238–45. DOI: 10.4085/1062-6050-516-18
37. Smith A, Capin J, Zarzycki R, Snyder-Mackler L. Athletes With Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Were Slower to Meet Rehabilitation Milestones and Return-to-Sport Criteria Than Athletes With Hamstring Tendon Autograft or Soft Tissue Allograft: Secondary Analysis From the ACL-SPORTS Trial. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2020;50(5):259–66. DOI: 10.2519/jospt.2020.9111
38. Liu Y, Li C, Ma N, Qi W, Gao F, Hu B et al. Proprioceptive and Clinical Outcomes after Remnant Preserved Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Assessment with Minimal Confounding Factors. *Orthop Surg* [Internet]. 2022;14(1):44–54. DOI: 10.1111/os.12763
39. Badawy C, Jan K, Beck E, Fleet N, Taylor J, Ford K et al. Contemporary Principles for Postoperative Rehabilitation and Return to Sport for Athletes Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Sports Med Rehabil* [Internet]. 2022;4(1):e103–13. DOI: 10.1016/j.asmr.2021.11.002
40. Yosmaoglu H, Baltacı G, Kaya D, Ozer H, Atay A. Comparison of functional outcomes of two anterior cruciate ligament reconstruction methods with hamstring tendon graft. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2011;45(4):240-7. doi: 10.3944/AOTT.2011.2402
41. Burgi C, Peters S, Ardern C, Magill J, Gomez C, Sylvain J et al. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *Br J Sports Med* [Internet]. 2019;53(18):1154–61. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099982
42. Oleksy Ł, Mika A, Sulowska-Daszyk I, Szymczyk D, Kuchciak M, Stolarczyk A et al. Standard RTS criteria effectiveness verification using FMS, Y-balance and TJA in footballers following ACL reconstruction and mild lower limb injuries. *Sci Rep* [Internet]. 2021;11(1):1558. DOI: 10.1038/s41598-021-81152-4
43. Adams D, Logerstedt D, Hunter-Giordano A, Axe M, Snyder-Mackler L. Current concepts for anterior cruciate ligament reconstruction: a criterion-based rehabilitation

- progression. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2012;42(7):601–14. DOI: 10.2519/jospt.2012.3871
44. Webster K, Hewett T. What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2019;49(6):917-929. doi: 10.1007/s40279-019-01093-x
  45. Gokeler A, Dingenen B, Hewett T. Rehabilitation and Return to Sport Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Where Are We in 2022? *Arthrosc Sports Med Rehabil* [Internet]. 2022;4(1):e77–82. DOI: 10.1016/j.asmr.2021.10.025
  46. Schweizer N, Strutzenberger G, Franchi M, Farshad M, Scherr J, Spörri J. Screening Tests for Assessing Athletes at Risk of ACL Injury or Reinjury-A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(5):2864. DOI: 10.3390/ijerph19052864
  47. Franck F, Saithna A, Vieira T, Pioger C, Vigne G, Le Guen M et al. Return to Sport Composite Test After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (K-STARTS): Factors Affecting Return to Sport Test Score in a Retrospective Analysis of 676 Patients. *Sports Health* [Internet]. 2021;13(4):364–72. DOI: 10.1177/1941738120978240
  48. Randsborg P, Cepeda N, Adamec D, Rodeo S, Ranawat A, Pearle A. Patient-Reported Outcome, Return to Sport, and Revision Rates 7-9 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results From a Cohort of 2042 Patients. *Am J Sports Med* [Internet]. 2022;50(2):423–32. DOI: 10.1177/03635465211060333
  49. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg M. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2016;50(13):804-8. doi: 10.1136/bjsports-2016-096031
  50. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med*. 2016;50(15):946-51. doi: 10.1136/bjsports-2015-095908
  51. Schneider D, Gokeler A, Otten E, Ford K, Hewett T, Divine J et al. A Novel Mass-Spring-Damper Model Analysis to Identify Landing Deficits in Athletes Returning to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2017;31(9):2590–8. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001569
  52. Wiggins A, Grandhi R, Schneider D, Stanfield D, Webster K, Myer G. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2016;44(7):1861–76. DOI: 10.1177/0363546515621554
  53. Paterno M, Rauh M, Schmitt L, Ford K, Hewett T. Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and

- return to sport. *Clin J Sport Med.* 2012;22(2):116-21. doi: 10.1097/JSM.0b013e318246ef9e
54. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005;21(8):948-57. doi: 10.1016/j.arthro.2005.04.110
  55. Paterno M, Flynn K, Thomas S, Schmitt L. Self-Reported Fear Predicts Functional Performance and Second ACL Injury After ACL Reconstruction and Return to Sport: A Pilot Study. *Sports Health [Internet].* 2018;10(3):228–33. DOI: 10.1177/1941738117745806
  56. Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(3):277-91. doi: 10.1007/s00167-009-1026-3
  57. Wright R, Magnussen R, Dunn W, Spindler K. Ipsilateral graft and contralateral ACL rupture at five years or more following ACL reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(12):1159-65. doi: 10.2106/JBJS.J.00898
  58. Claes S, Verdonk P, Forsyth R, Bellemans J. The "ligamentization" process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *Am J Sports Med.* 2011;39(11):2476-83. doi: 10.1177/0363546511402662
  59. Amiel D, Kleiner J, Roux R, Harwood F, Akeson W. The phenomenon of "ligamentization": anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc [Internet].* 1986;4(2):162–72. DOI: 10.1002/jor.1100040204
  60. Annear P, Rohr E, Hille D, Gohil S, Ebert J. No clinical difference in 10-year outcomes between standard and minimal graft debridement techniques in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstrings: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA [Internet].* 2019;27(2):516–23. DOI: 10.1007/s00167-018-5146-5
  61. Zaffagnini S, De Pasquale V, Marchesini Reggiani L, Russo A, Agati P, Bacchelli B et al. Electron microscopy of the remodelling process in hamstring tendon used as ACL graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):1052-8. doi: 10.1007/s00167-009-0925-7
  62. Zaffagnini S, De Pasquale V, Marchesini Reggiani L, Russo A, Agati P, Bacchelli B et al. Neoligamentization process of BTPB used for ACL graft: histological evaluation from 6 months to 10 years. *Knee.* 2007;14(2):87-93. doi: 10.1016/j.knee.2006.11.006



63. Scheffler S, Unterhauser F, Weiler A. Graft remodeling and ligamentization after cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* [Internet]. 2008;16(9):834–42. DOI: 10.1007/s00167-008-0560-8
64. Asai K, Nakase J, Shimozaki K, Yoshimizu R, Kimura M, Tsuchiya H. Skeletally immature patient showed lower graft maturity than skeletally mature patient after ACL reconstruction with a rounded rectangular femoral tunnel. *Sci Rep* [Internet]. 2021;11(1):19968. DOI: 10.1038/s41598-021-99532-1
65. Ohno K, Yasuda K, Yamamoto N, Kaneda K, Hayashi K. Effects of complete stress-shielding on the mechanical properties and histology of in situ frozen patellar tendon. *J Orthop Res*. 1993;11(4):592-602. doi: 10.1002/jor.1100110414
66. Poudroux T, Muller B, Robert H. Joint laxity and graft compliance increase during the first year following ACL reconstruction with short hamstring tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* [Internet]. 2020;28(6):1979–88. DOI: 10.1007/s00167-019-05711-z
67. Tohyama H, Yasuda K. The effect of increased stress on the patellar tendon. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(3):440-6. doi: 10.1302/0301-620x.84b3.11107
68. Lepley L, Lepley A, Onate J, Grooms D. Eccentric Exercise to Enhance Neuromuscular Control. *Sports Health* [Internet]. 2017;9(4):333–40. DOI: 10.1177/1941738117710913
69. Risberg M, Mørk M, Jenssen H, Holm I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2001;31(11):620–31. DOI: 10.2519/jospt.2001.31.11.620
70. Ageberg E, Roos E. Neuromuscular exercise as treatment of degenerative knee disease. *Exerc Sport Sci Rev* [Internet]. 2015;43(1):14–22. DOI: 10.1249/JES.0000000000000030
71. El entrenamiento neuromuscular [Internet]. *Resport Clinic*. 2021 [citado el 27 de julio de 2022]. Disponible en: <https://resportclinic.com/entrenamiento-neuromuscular/>
72. Gali J, Fadel G, Marques M, Almeida T, Gali J, Faria F. THE NEW INJURIES' RISK AFTER ACL RECONSTRUCTION MIGHT BE REDUCED WITH FUNCTIONAL TRAINING. *Acta Ortop Bras* [Internet]. 2021;29(1):21–5. DOI: 10.1590/1413-785220212901240903
73. Fort Vanmeerhaeghe A, Romero Rodriguez D. Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Sports Med* [Internet]. 2013 [citado el 27 de julio de 2022];48(178):69–76. DOI: 10.1016/j.apunts.2012.09.002
74. Myer G, Paterno M, Ford K, Hewett T. Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2008;22(3):987–1014. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31816a86cd

75. Huang Y, Jung J, Mulligan C, Oh J, Norcross M. A Majority of Anterior Cruciate Ligament Injuries Can Be Prevented by Injury Prevention Programs: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Cluster-Randomized Controlled Trials With Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2020;48(6):1505-1515. doi: 10.1177/0363546519870175
76. Myer G, Ford K, Palumbo J, Hewett T. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):51-60. doi: 10.1519/13643.1
77. Huang D, Chen L, Yu Z, Chen Q, Lai J, Li H et al. Effect of suspension training on neuromuscular function, postural control, and knee kinematics in anterior cruciate ligament reconstruction patients. *World J Clin Cases [Internet].* 2021;9(10):2247–58. DOI: 10.12998/wjcc.v9.i10.2247
78. White K, Di Stasi S, Smith A, Snyder-Mackler L. Anterior cruciate ligament- specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord [Internet].* 2013;14:108. DOI: 10.1186/1471-2474-14-108
79. Giesche F, Engeroff T, Wilke J, Niederer D, Vogt L, Banzer W. Neurophysiological correlates of motor planning and movement initiation in ACL-reconstructed individuals: a case-control study. *BMJ Open [Internet].* 2018;8(9):e023048. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-023048
80. Ghaderi M, Letafatkar A, Almonroeder T, Keyhani S. Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *Clin Biomech Bristol Avon [Internet].* 2020;80:105–57. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105157
81. Nagelli C, Wordeman S, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett T. Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* 2021;31(2):113–119. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000723
82. Kasmi S, Zouhal H, Hammami R, Clark C, Hackney A, Hammami A et al. The Effects of Eccentric and Plyometric Training Programs and Their Combination on Stability and the Functional Performance in the Post-ACL-Surgical Rehabilitation Period of Elite Female Athletes. *Front Physiol [Internet].* 2021;12:688-699. DOI: 10.3389/fphys.2021.688385
83. Arundale A, Capin J, Zarzycki R, Smith A, Snyder-Mackler L. Functional and Patient-Reported Outcomes Improve Over the Course of Rehabilitation: A Secondary Analysis of the ACL-SPORTS Trial. *Sports Health [Internet].* 2018;10(5):441–52. DOI: 10.1177/1941738118779023
84. Fu C, Yung S, Law K, Leung K, Lui P, Siu H et al. The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament

- reconstruction: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* [Internet]. 2013;41(4):804–14. DOI: 10.1177/0363546513476473
85. Di Stasi S, Hartigan E, Snyder-Mackler L. Unilateral stance strategies of athletes with ACL deficiency. *J Appl Biomech* [Internet]. 2012;28(4):374–86. DOI: 10.1123/jab.28.4.374
86. Hartigan E, Axe M, Snyder-Mackler L. Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2010;40(3):141–54. DOI: 10.2519/jospt.2010.3168
87. Elias A, Harris K, LaStayo P, Mizner R. Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med* [Internet]. 2018;46(7):1650–60. DOI: 10.1177/0363546518759052
88. Risberg M, Holm I, Myklebust G, Engebretsen L. Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. *Phys Ther*. 2007;87(6):737-50. doi: 10.2522/ptj.20060041