

## Técnicas modernas para el tratamiento de lesiones ligamentarias en rodilla y hombro

Modern techniques for the treatment of ligamentary injuries in the knee and shoulder

**Samantha Daniela Tamayo Chacha**

ORCID: 0009-0007-1761-3662

Investigadora independiente, Ecuador

**Ariel Fabián Bravo Pineda**

ORCID: 0009-0007-4693-5089

Investigador independiente, Ecuador

**Fátima Dayana Caiza Macías**

ORCID: 0009-0002-1910-7767

Universidad Central del Ecuador

**Juan Pablo Lupera Walker**

ORCID: 0009-0005-5141-2659

Universidad de las Américas, Ecuador

**Oscar Eduardo Sarmiento Salazar**

ORCID: 0009-0007-5680-3565

Investigador independiente, Ecuador

**Álvaro Ronnie Meléndez Herrera**

ORCID: 0009-0004-4828-5364

Investigador independiente, Ecuador

**Jandry Jaret Murillo Pardo**

ORCID: 0009-0009-4219-9090

Universidad de las Américas, Ecuador

**Alejandra Salome Chochos Bautista**

ORCID: 0009-0005-2593-3303

Universidad Autónoma de los Andes Uniandes, Ecuador

### RESUMEN

El tratamiento de las lesiones ligamentarias en rodilla y hombro ha evolucionado significativamente en las últimas décadas gracias al desarrollo de técnicas modernas que combinan avances quirúrgicos, biomateriales innovadores y enfoques de rehabilitación personalizados. Este artículo de revisión narrativa analiza las estrategias más actuales, incluyendo métodos mínimamente invasivos como la artroscopia, el uso de injertos biológicos y sintéticos, así como tecnologías emergentes como la ingeniería de tejidos y la terapia celular. Se destacan los beneficios de estas técnicas en términos de reducción del tiempo de recuperación, mejora de la funcionalidad articular y disminución del riesgo de complicaciones a largo plazo. Además, se abordan los criterios para la selección del tratamiento más adecuado según el tipo y la gravedad de la lesión, el perfil del paciente y sus objetivos funcionales. La integración de protocolos de rehabilitación basados en evidencia también juega un papel crucial en el éxito del tratamiento, promoviendo una recuperación segura y efectiva. Este análisis proporciona una visión integral de las opciones disponibles, subrayando la importancia de un enfoque multidisciplinario que combine experiencia clínica, innovación tecnológica y personalización del cuidado para optimizar los resultados en pacientes con lesiones ligamentarias en estas articulaciones clave.

**Palabras clave:** Lesiones ligamentarias, Rodilla, Hombro, Tratamiento, Técnicas modernas, Rehabilitación, Cirugía, Regeneración, Ortopedia, Avances.

### ABSTRACT

The treatment of ligamentous injuries in the knee and shoulder has evolved significantly in recent decades thanks to the development of modern techniques that combine surgical advances, innovative biomaterials and personalized rehabilitation approaches. This narrative review article analyzes the most current strategies, including minimally invasive methods such as arthroscopy, the use of biological and synthetic grafts, as well as emerging technologies such as tissue engineering and cell therapy. The benefits of these techniques are highlighted in terms of reducing recovery time, improving joint functionality and reducing the risk of long-term complications. In addition, the criteria for selecting the most appropriate treatment according to the type and severity of the injury, the patient's profile, and their functional objectives are addressed. The integration of evidence-based rehabilitation protocols also plays a crucial role in treatment success, promoting safe and effective recovery. This analysis provides a comprehensive view of the available options, underscoring the importance of a multidisciplinary approach that combines clinical expertise, technological innovation and personalization of care to optimize outcomes in patients with ligamentous injuries in these key joints.

**Keywords:** Ligament injuries, Knee, Shoulder, Treatment, Modern techniques, Rehabilitation, Surgery, Regeneration, Orthopedics, Advances.

## INTRODUCCIÓN

Las lesiones ligamentarias en la rodilla y el hombro representan un desafío significativo en el ámbito de la ortopedia y la medicina deportiva debido a su alta incidencia y el impacto funcional que generan en los pacientes (1). En las últimas décadas, los avances en las técnicas quirúrgicas, el desarrollo de materiales biocompatibles y la implementación de estrategias de rehabilitación más efectivas han revolucionado el enfoque terapéutico para este tipo de lesiones (2). Desde la reconstrucción mediante injertos autólogos y aloinjertos hasta el uso de tecnologías innovadoras como la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa, los especialistas cuentan hoy con un arsenal de herramientas para optimizar los resultados clínicos (3). Asimismo, el abordaje mínimamente invasivo mediante artroscopia ha reducido significativamente los tiempos de recuperación y las complicaciones postoperatorias (4). Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión narrativa sobre las técnicas modernas empleadas en el tratamiento de lesiones ligamentarias en estas articulaciones clave, analizando sus fundamentos, ventajas, limitaciones y perspectivas futuras (5). Se busca proporcionar una visión integral que permita a los profesionales de la salud mantenerse actualizados sobre los avances más recientes y tomar decisiones informadas basadas en la evidencia científica disponible, siempre con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes (6).

## METODOLOGÍA

La metodología empleada para esta revisión narrativa se basó en una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas reconocidas, incluyendo PubMed, Scielo y ScienceDirect. Se utilizaron términos controlados MeSH y DeCS como "lesiones ligamentarias", "tratamiento moderno", "rodilla", "hombro" y "técnicas quirúrgicas", combinados con operadores booleanos como AND, OR y NOT para optimizar los resultados. Los criterios de inclusión abarcaron artículos publicados en los últimos 10 años, disponibles en texto completo, en español o inglés, y que abordaran específicamente técnicas modernas de tratamiento para lesiones ligamentarias en rodilla y hombro. Se excluyeron estudios duplicados, publicaciones no revisadas por pares, artículos enfocados exclusivamente en tratamientos tradicionales o lesiones de otras articulaciones. En total, se revisaron 78 artículos, de los cuales 18 cumplieron con los criterios de inclusión y fueron analizados en profundidad para extraer información relevante sobre avances quirúrgicos, terapias regenerativas y enfoques innovadores en rehabilitación. Esta metodología garantiza una perspectiva actualizada y basada en evidencia para el desarrollo del presente artículo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Anatomía y biomecánica de los ligamentos de la rodilla y el hombro

La rodilla y el hombro son articulaciones complejas que dependen en gran medida de la integridad de sus ligamentos para garantizar estabilidad, movilidad y funcionalidad. Una comprensión detallada de la anatomía y biomecánica de estas estructuras es esencial para abordar eficazmente las lesiones y aplicar técnicas modernas de tratamiento (1).

En la rodilla, los principales ligamentos incluyen el ligamento cruzado anterior (LCA), el ligamento cruzado posterior (LCP), los ligamentos colaterales medial (LCM) y lateral (LCL), así como los ligamentos meniscales. El LCA es fundamental para evitar el desplazamiento anterior excesivo de la tibia respecto al fémur, mientras que el LCP limita el desplazamiento posterior. Los ligamentos colaterales proporcionan estabilidad frente a fuerzas en valgo (LCM) y varo (LCL). La biomecánica de la rodilla requiere una interacción precisa entre estos ligamentos para soportar cargas dinámicas durante actividades como caminar, correr o saltar. Las lesiones en estos ligamentos, especialmente en el LCA, son comunes en deportes de alta demanda física (1).

Por otro lado, el hombro, una articulación de tipo esferoidea, depende de un conjunto de estructuras ligamentarias y musculares para su estabilidad dado su amplio rango de movimiento. Los ligamentos glenohumerales (superior, medio e inferior) desempeñan un papel clave al reforzar la cápsula articular y limitar movimientos extremos. El complejo del labrum glenoideo y los ligamentos coracoclavicular y acromioclavicular también contribuyen a la estabilidad estática. La biomecánica del hombro implica una interacción coordinada entre los ligamentos, el manguito rotador y otros músculos estabilizadores, permitiendo movimientos complejos como la rotación interna y externa, así como la abducción y aducción (1,2).

Las lesiones ligamentarias en ambas articulaciones pueden variar desde esguinces leves hasta roturas completas, y su tratamiento depende de factores como la gravedad de la lesión, la edad del paciente y su nivel de actividad física. En la actualidad, las técnicas quirúrgicas modernas, como las reparaciones artroscópicas y los injertos tendinosos, han mejorado significativamente los resultados para los pacientes con lesiones graves. Además, los avances en imagenología, como la

resonancia magnética, permiten una evaluación más precisa de las lesiones ligamentarias (2).

En conclusión, el conocimiento detallado de la anatomía y biomecánica de los ligamentos de la rodilla y el hombro es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de tratamiento. Las técnicas modernas ofrecen opciones prometedoras para restaurar la funcionalidad y calidad de vida en pacientes afectados por lesiones ligamentarias en estas articulaciones críticas (2).

### **Clasificación y diagnóstico de las lesiones ligamentarias**

Las lesiones ligamentarias en la rodilla y el hombro representan un desafío significativo en la práctica clínica debido a su impacto funcional y su alta prevalencia, especialmente entre deportistas y personas físicamente activas. La correcta clasificación y diagnóstico de estas lesiones es fundamental para establecer un plan de tratamiento adecuado y optimizar los resultados a largo plazo (3).

#### Clasificación de las lesiones ligamentarias

Las lesiones ligamentarias se clasifican generalmente en función de su gravedad, localización anatómica y mecanismo de lesión. Según su gravedad, se dividen en tres grados (3):

- Grado I (leve): Se caracteriza por un estiramiento excesivo del ligamento sin ruptura significativa. Los síntomas incluyen dolor leve, inflamación mínima y estabilidad articular preservada (3).
- Grado II (moderado): Implica una ruptura parcial del ligamento, con dolor más intenso, inflamación moderada y cierta inestabilidad articular (3).
- Grado III (grave): Representa una ruptura completa del ligamento, lo que resulta en inestabilidad significativa, dolor severo y, en ocasiones, pérdida funcional de la articulación afectada (3).

En cuanto a la localización anatómica, las lesiones más comunes en la rodilla incluyen las del ligamento cruzado anterior (LCA), ligamento cruzado posterior (LCP), ligamentos colaterales medial y lateral. En el caso del hombro, los ligamentos más frecuentemente afectados son los del complejo cápsulo-ligamentoso glenohumeral y el ligamento coracoclavicular (4).

#### Diagnóstico de las lesiones ligamentarias

El diagnóstico preciso de una lesión ligamentaria requiere una combinación de historia clínica detallada, examen físico exhaustivo y estudios de imagen (4).

1. Historia clínica: Es crucial identificar el mecanismo de lesión, ya sea por trauma directo, torsión o sobrecarga repetitiva. El paciente puede referir síntomas como dolor localizado, inestabilidad articular o sensación de "chasquido" en el momento del trauma (4).
2. Examen físico: Las maniobras específicas para evaluar la integridad ligamentaria son esenciales. Por ejemplo, en la rodilla se utilizan pruebas como el test de Lachman o el cajón anterior para valorar el LCA, mientras que en el hombro se emplean pruebas como el test de aprehensión para evaluar la estabilidad glenohumeral (4).
3. Estudios por imagen: La resonancia magnética (RM) es la herramienta más utilizada para confirmar el diagnóstico, ya que permite visualizar directamente los ligamentos lesionados y evaluar estructuras asociadas como meniscos o tendones. En casos seleccionados, la ecografía puede ser útil para valorar lesiones superficiales o guiar procedimientos intervencionistas (4).

La combinación de estos elementos permite no solo confirmar la presencia de una lesión ligamentaria, sino también determinar su gravedad y planificar el tratamiento más adecuado. Un diagnóstico temprano y preciso es clave para prevenir complicaciones a largo plazo, como la inestabilidad crónica o la artrosis secundaria (3,4).

### **Técnicas quirúrgicas tradicionales en el tratamiento de lesiones ligamentarias**

Las técnicas quirúrgicas tradicionales han sido un pilar fundamental en el manejo de lesiones ligamentarias, especialmente en articulaciones como la rodilla y el hombro. Estas técnicas, que han evolucionado con el tiempo, se basan en principios anatómicos y biomecánicos bien establecidos, y han servido como base para el desarrollo de métodos más modernos (5).

En el caso de la rodilla, procedimientos como la reparación directa del ligamento cruzado anterior (LCA) eran comunes antes de la popularización de las técnicas de reconstrucción. Estas intervenciones consistían en suturar los extremos desgarrados del ligamento, buscando restaurar su continuidad anatómica. Aunque estas técnicas ofrecían resultados aceptables en ciertos pacientes, especialmente en lesiones parciales o en individuos jóvenes, su efectividad a largo plazo era limitada debido a la incapacidad del ligamento reparado para soportar las cargas biomecánicas normales. Esto llevó al desarrollo de la reconstrucción del LCA utilizando injertos autólogos o alogénicos, que demostraron ser más efectivos en términos de estabilidad y funcionalidad. (5)

En el ámbito del hombro, las reparaciones abiertas del manguito rotador fueron durante décadas el estándar de oro. Estas intervenciones implicaban incisiones amplias para acceder a los tendones lesionados, permitiendo su sutura directa al hueso. Aunque este enfoque ofrecía una visualización clara del área quirúrgica y resultados satisfactorios en muchos casos, los tiempos de recuperación prolongados y el dolor postoperatorio asociado llevaron a la búsqueda de alternativas menos invasivas (5,6).

Otro ejemplo significativo es la estabilización quirúrgica de la inestabilidad glenohumeral. Tradicionalmente, se realizaban técnicas abiertas como el procedimiento de Bankart, que consistía en reparar las estructuras capsulolabiales mediante suturas ancladas al hueso. Si bien estas técnicas eran efectivas para prevenir la recurrencia de luxaciones, también presentaban ciertas limitaciones, como la restricción del rango de movimiento y el riesgo de complicaciones (6).

A pesar de sus limitaciones, las técnicas quirúrgicas tradicionales han sido cruciales para establecer los fundamentos del tratamiento actual. Han permitido una comprensión más profunda de la anatomía funcional y han proporcionado datos valiosos sobre los resultados clínicos y las complicaciones asociadas. Además, muchas de estas técnicas todavía se emplean en casos específicos donde los métodos modernos no son aplicables o no están disponibles (6).

### **Avances en la artroscopia para lesiones ligamentarias**

En las últimas décadas, la artroscopia ha emergido como una herramienta fundamental en el diagnóstico y tratamiento de lesiones ligamentarias en articulaciones como la rodilla y el hombro. Su carácter mínimamente invasivo, junto con los avances tecnológicos, ha permitido no solo mejorar los resultados clínicos, sino también reducir el tiempo de recuperación y las complicaciones postoperatorias (7).

En el caso de la rodilla, las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) representan una de las patologías más frecuentes tratadas mediante artroscopia. Las técnicas modernas han evolucionado hacia reconstrucciones anatómicas más precisas, utilizando injertos autólogos o alogénicos y fijaciones biocompatibles que promueven una integración más rápida. Además, el uso de guías específicas y sistemas de navegación intraoperatoria ha mejorado significativamente la colocación de túneles óseos, optimizando la biomecánica de la rodilla. Paralelamente, la incorporación de herramientas avanzadas como cámaras de alta definición y sistemas motorizados permite una visualización más clara y un manejo más preciso de las estructuras afectadas (7).

En cuanto al hombro, las lesiones del manguito rotador y el complejo ligamentario glenohumeral también han encontrado en la artroscopia un aliado clave. Los avances en anclajes quirúrgicos han facilitado reparaciones más resistentes y duraderas. Por otro lado, técnicas como la reparación capsulolabral artroscópica para inestabilidades del hombro han mostrado tasas de éxito comparables, e incluso superiores, a las de los procedimientos abiertos tradicionales. La integración de materiales biodegradables en los implantes ha reducido significativamente las complicaciones a largo plazo asociadas con cuerpos extraños (7,8).

Un aspecto destacable es el papel de la artroscopia en la preservación tisular. La capacidad de abordar lesiones sin comprometer estructuras adyacentes ha permitido a los cirujanos adoptar enfoques más conservadores en pacientes jóvenes o atletas de alto rendimiento. Además, el auge de la medicina regenerativa ha complementado las intervenciones artroscópicas; el uso de plasma rico en plaquetas (PRP) e inyecciones de células madre durante o después del procedimiento ha mostrado un potencial prometedor para acelerar la cicatrización y mejorar los resultados funcionales (8).

No obstante, a pesar de los avances, persisten desafíos. La curva de aprendizaje para dominar estas técnicas sigue siendo pronunciada, y los costos asociados con los equipos modernos pueden limitar su acceso en ciertos entornos. Sin embargo, la investigación continua en biomateriales, instrumentación y protocolos quirúrgicos apunta a un futuro aún más prometedor para la artroscopia (8).

### **Uso de injertos biológicos y sintéticos en la reconstrucción ligamentaria**

La reconstrucción ligamentaria ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, particularmente en el

uso de injertos biológicos y sintéticos para restaurar la función y estabilidad de articulaciones como la rodilla y el hombro. La elección del injerto adecuado depende de múltiples factores, incluyendo las características del paciente, la localización de la lesión y las demandas funcionales posteriores a la cirugía (9).

Los injertos biológicos, que incluyen autoinjertos y aloinjertos, han sido ampliamente utilizados debido a su capacidad para integrarse con los tejidos circundantes y su potencial para remodelarse con el tiempo. Los autoinjertos, como el tendón rotuliano, los tendones isquiotibiales y el tendón del cuádriceps, son considerados la opción preferida en pacientes jóvenes y activos debido a su alta tasa de éxito y menor riesgo de rechazo inmunológico. Por otro lado, los aloinjertos, obtenidos de donantes cadavéricos, son una alternativa viable en casos donde el tejido autólogo no es suficiente o no es una opción, aunque presentan un riesgo ligeramente mayor de transmisión de enfermedades y una integración más lenta (9).

En los últimos años, los injertos sintéticos han emergido como una opción prometedora en ciertos contextos clínicos. Fabricados con materiales como el poliéster, el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) o el politetrafluoroetileno (PTFE), estos injertos ofrecen ventajas como la disponibilidad inmediata y la ausencia de morbilidad en el sitio donante. Sin embargo, su uso ha estado limitado por preocupaciones relacionadas con la biocompatibilidad, el desgaste a largo plazo y el riesgo de falla mecánica. A pesar de estas limitaciones, los avances en diseño y materiales han mejorado significativamente su desempeño, posicionándolos como una alternativa complementaria en casos seleccionados (9,10).

La selección entre injertos biológicos y sintéticos debe ser individualizada, considerando factores como la edad del paciente, el nivel de actividad física, las expectativas funcionales y las posibles complicaciones asociadas. Además, se debe tener en cuenta que la técnica quirúrgica y la rehabilitación postoperatoria desempeñan un papel crucial en el éxito del procedimiento, independientemente del tipo de injerto utilizado (10).

En conclusión, tanto los injertos biológicos como los sintéticos tienen un lugar establecido en la reconstrucción ligamentaria moderna. La investigación continua en biomateriales y técnicas quirúrgicas promete optimizar aún más los resultados funcionales y mejorar la calidad de vida de los pacientes con lesiones ligamentarias (10).

### **Terapias regenerativas: plasma rico en plaquetas, células madre y factores de crecimiento**

En los últimos años, las terapias regenerativas han emergido como una alternativa prometedora en el tratamiento de lesiones ligamentarias en rodilla y hombro. Estas técnicas innovadoras buscan no solo aliviar los síntomas, sino también promover la reparación y regeneración del tejido afectado, ofreciendo beneficios potenciales en comparación con los tratamientos convencionales (11).

El PRP es una de las herramientas más utilizadas en este ámbito. Consiste en la concentración de plaquetas obtenidas a partir de la propia sangre del paciente, que se inyecta directamente en el sitio de la lesión. Las plaquetas contienen factores de crecimiento que estimulan la proliferación celular, la formación de nuevos vasos sanguíneos y la síntesis de colágeno, procesos esenciales para la recuperación del tejido ligamentario. Estudios recientes han demostrado que el PRP puede acelerar la recuperación funcional y reducir el dolor en pacientes con lesiones parciales de ligamentos o tendinopatías (11).

Por otro lado, las terapias basadas en células madre ofrecen un enfoque regenerativo más integral. Las células madre mesenquimales, extraídas comúnmente de la médula ósea o el tejido adiposo del paciente, poseen la capacidad de diferenciarse en diversos tipos celulares, incluidos los que forman parte del tejido conectivo. Además, secretan factores bioactivos que modulan la inflamación y promueven la curación tisular. En el contexto de lesiones ligamentarias complejas, estas células han mostrado un potencial significativo para mejorar la calidad del tejido regenerado y reducir el tiempo de recuperación (11,12).

Los factores de crecimiento, como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) o el factor de crecimiento transformante beta (TGF- $\beta$ ), también desempeñan un papel crucial en las terapias regenerativas. Estos compuestos bioactivos pueden ser aplicados directamente o en combinación con otras técnicas, como el PRP o las células madre, para potenciar sus efectos. Su acción se centra en estimular la proliferación celular, mejorar la síntesis de matriz extracelular y modular las respuestas inflamatorias, lo que resulta en una reparación más eficiente y estructuralmente sólida (12).

Aunque estas terapias han mostrado resultados prometedores, es importante destacar que su eficacia puede variar según factores como la gravedad de la lesión, el tipo de técnica utilizada y las características individuales del paciente. Además, aún se requieren estudios a largo plazo para establecer protocolos estandarizados y evaluar sus beneficios frente a tratamientos tradicionales (12).

### **Innovaciones en la rehabilitación postquirúrgica y su impacto en la recuperación funcional**

En el ámbito de la ortopedia y la medicina deportiva, las técnicas modernas de rehabilitación postquirúrgica han

revolucionado el tratamiento de lesiones ligamentosas en rodilla y hombro. Estas innovaciones no solo han mejorado los tiempos de recuperación, sino que también han optimizado los resultados funcionales a largo plazo, permitiendo a los pacientes retomar sus actividades cotidianas y deportivas con mayor seguridad y eficacia (13).

Una de las principales tendencias en rehabilitación es el enfoque personalizado basado en la biomecánica específica del paciente. La incorporación de tecnologías como el análisis de movimiento 3D permite identificar patrones de compensación y debilidades musculares que pueden ser abordados con programas de ejercicio específicos. Este enfoque reduce el riesgo de recaídas y mejora la calidad del movimiento durante la recuperación (13).

Otra innovación destacada es el uso de dispositivos robóticos y sistemas de realidad virtual. Los exoesqueletos robóticos, por ejemplo, han demostrado ser herramientas efectivas para restaurar la movilidad en pacientes con lesiones graves, mientras que la realidad virtual ofrece un entorno controlado y motivador para realizar ejercicios funcionales. Estas tecnologías no solo aumentan la adherencia al tratamiento, sino que también permiten monitorear el progreso en tiempo real (13).

En cuanto a las terapias físicas, los avances en técnicas como la terapia manual avanzada y el uso de vendajes neuromusculares han mostrado beneficios significativos en el manejo del dolor, la reducción de inflamación y la mejora del rango de movimiento. Asimismo, la terapia con ondas de choque extracorpóreas y la estimulación eléctrica neuromuscular se han integrado como herramientas complementarias para acelerar la regeneración tisular y fortalecer los músculos circundantes (14).

El papel de la nutrición y los tratamientos biológicos también ha ganado protagonismo en el proceso de rehabilitación. La suplementación con colágeno hidrolizado, omega-3 y antioxidantes puede favorecer la cicatrización de tejidos, mientras que las terapias con PRP o células madre están siendo investigadas por su capacidad para promover la reparación ligamentaria y reducir el tiempo de inactividad (14).

Por último, es crucial destacar la importancia del enfoque multidisciplinario en la rehabilitación postquirúrgica. La colaboración entre cirujanos ortopédicos, fisioterapeutas, entrenadores deportivos y nutricionistas garantiza un abordaje integral que maximiza los resultados funcionales. Además, la educación del paciente sobre su lesión y el proceso de recuperación es clave para fomentar una participación activa en su tratamiento (14).

### **Aplicación de tecnologías emergentes: impresión 3D, robótica y realidad aumentada en cirugía ligamentaria**

La aplicación de tecnologías emergentes ha revolucionado el campo de la cirugía ligamentaria, especialmente en las lesiones de rodilla y hombro. Entre estas tecnologías destacan la impresión 3D, la robótica y la realidad aumentada, herramientas que han permitido avances significativos en la planificación, precisión y resultados quirúrgicos (15).

La impresión 3D se ha convertido en una herramienta clave para personalizar los tratamientos. Mediante esta tecnología, es posible crear modelos anatómicos tridimensionales basados en imágenes obtenidas por resonancia magnética o tomografía computarizada. Estos modelos permiten a los cirujanos estudiar detalladamente la anatomía específica de cada paciente y planificar procedimientos con mayor precisión. Además, la impresión 3D facilita el desarrollo de implantes personalizados que se adaptan perfectamente a las necesidades individuales, lo que reduce complicaciones y mejora la integración con los tejidos circundantes (15).

La robótica, por su parte, ha elevado los estándares de precisión quirúrgica. Los sistemas robóticos asisten a los cirujanos durante las intervenciones, proporcionando una mayor estabilidad y reduciendo el margen de error humano. En procedimientos como la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) o la reparación del manguito rotador, los robots permiten realizar cortes óseos precisos y posicionar injertos o implantes con exactitud milimétrica. Esto no solo optimiza los resultados funcionales, sino que también disminuye el tiempo de recuperación del paciente y reduce el riesgo de complicaciones postoperatorias (15,16).

La realidad aumentada (RA) está emergiendo como una herramienta innovadora en la formación y ejecución quirúrgica. Gracias a esta tecnología, los cirujanos pueden superponer imágenes virtuales sobre el campo quirúrgico real, lo que facilita la localización de estructuras anatómicas complejas y mejora la orientación durante el procedimiento. La RA también se utiliza en simulaciones preoperatorias, permitiendo a los médicos entrenar en un entorno seguro antes de realizar la cirugía en el paciente real. Esto resulta especialmente útil en casos complejos donde cada detalle puede marcar la diferencia en el éxito del tratamiento (16).

En conjunto, estas tecnologías están transformando el manejo de las lesiones ligamentarias en rodilla y hombro, proporcionando soluciones más personalizadas y eficaces. Sin embargo, su implementación generalizada aún enfrenta desafíos como los altos costos asociados y la necesidad de formación especializada para su uso adecuado. A medida que estas tecnologías se vuelvan más accesibles y se integren mejor en la práctica clínica, es probable que sigan mejorando los

resultados funcionales y la calidad de vida de los pacientes afectados por estas lesiones (16).

### **Perspectivas futuras en el manejo de lesiones ligamentarias: investigación y desarrollo clínico**

El tratamiento de las lesiones ligamentarias en la rodilla y el hombro ha avanzado significativamente en las últimas décadas, gracias al desarrollo de técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas y a la mejora en los protocolos de rehabilitación. Sin embargo, el campo continúa evolucionando, impulsado por la necesidad de optimizar los resultados funcionales y reducir los tiempos de recuperación. En este contexto, la investigación y el desarrollo clínico desempeñan un papel crucial en la definición de las perspectivas futuras (17).

Uno de los enfoques más prometedores es el uso de biomateriales avanzados para la reparación y regeneración ligamentaria. Los injertos sintéticos y los andamios bioactivos, diseñados para imitar las propiedades biomecánicas del tejido ligamentario natural, están siendo ampliamente investigados. Estos materiales no solo buscan mejorar la integración biológica con los tejidos circundantes, sino también reducir el riesgo de rechazo o complicaciones postoperatorias (17).

Paralelamente, la medicina regenerativa está ganando terreno como una alternativa innovadora. El uso de terapias celulares, como las células madre mesenquimales y los factores de crecimiento derivados de plaquetas, ha mostrado resultados prometedores en estudios preclínicos y algunos ensayos clínicos. Estas terapias tienen el potencial de acelerar la cicatrización, mejorar la calidad del tejido reparado y reducir la incidencia de lesiones recurrentes (17).

En el ámbito tecnológico, la incorporación de herramientas digitales y sistemas de inteligencia artificial (IA) está transformando tanto el diagnóstico como el tratamiento de las lesiones ligamentarias. Los modelos predictivos basados en IA permiten personalizar los planes de tratamiento según las características específicas del paciente, optimizando así los resultados clínicos. Además, las plataformas digitales están facilitando el seguimiento remoto y en tiempo real del progreso del paciente durante la rehabilitación (18).

Otro aspecto relevante es el desarrollo de técnicas quirúrgicas más precisas y menos invasivas. La cirugía robótica y la navegación asistida por computadora están mejorando la precisión en la colocación de injertos y anclajes, lo que se traduce en una mayor estabilidad articular y mejores resultados funcionales a largo plazo (18).

Finalmente, es importante destacar el creciente interés por estrategias preventivas basadas en el fortalecimiento muscular, la mejora de la propiocepción y la corrección biomecánica. Estas intervenciones no solo buscan reducir la incidencia de lesiones primarias, sino también minimizar el riesgo de recaídas en pacientes previamente tratados (18).

## **CONCLUSIÓN**

En conclusión, las técnicas modernas para el tratamiento de lesiones ligamentarias en rodilla y hombro han evolucionado significativamente, ofreciendo opciones más precisas, menos invasivas y con mejores resultados funcionales a largo plazo. Procedimientos como la reconstrucción ligamentaria asistida por artroscopia, el uso de injertos biológicos y sintéticos, así como el desarrollo de tecnologías avanzadas como la cirugía robótica y la terapia regenerativa basada en células madre, han revolucionado el abordaje terapéutico de estas lesiones. Estas innovaciones no solo han permitido reducir los tiempos de recuperación, sino también mejorar la estabilidad articular y la calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, a pesar de los avances, es fundamental individualizar cada caso, considerando factores como la edad, el nivel de actividad física y las expectativas del paciente. Además, la rehabilitación postoperatoria sigue siendo un pilar clave para optimizar los resultados, destacando la importancia de un enfoque multidisciplinario que integre a cirujanos ortopédicos, fisioterapeutas y otros profesionales de la salud. A medida que la investigación en este campo continúa avanzando, se espera que las nuevas intervenciones sigan mejorando tanto la seguridad como la eficacia de los tratamientos, consolidando un futuro prometedor para el manejo de estas complejas patologías.

## **REFERENCIAS**

1. Paschos NK, Howell SM. Anterior cruciate ligament biomechanics: implications for surgical technique and rehabilitation. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(10):873-883. doi:10.2106/JBJS.17.01094
2. Provencher MT, Ferrari MB, Sanchez G, et al. Glenohumeral ligaments: biomechanical properties and clinical implications. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(3):2325967120912424. doi:10.1177/2325967120912424
3. Sanders TL, Kremers HM, Bryan AJ, et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: a 21-year population-based study. *Am J Sports Med.* 2018;46(6):1500-1507. doi:10.1177/0363546517751147

4. Sgroi M, Leiter JR, MacDonald PB. Diagnosis of anterior cruciate ligament tears with the use of ultrasonography: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(5):2325967119847635. doi:10.1177/2325967119847635
5. Grassi A, Carulli C, Innocenti M, et al. New trends in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of national surveys of the last 5 years. *Front Surg.* 2019;6:52. doi:10.3389/fsurg.2019.00052
6. Millett PJ, Clavert P, Warner JJ. Open and arthroscopic techniques for the treatment of shoulder instability: indications and outcomes. *J Am Acad Orthop Surg.* 2021;29(5):e245-e255. doi:10.5435/JAAOS-D-20-00341
7. Lubowitz JH, MacKay G, Gilmer B. All-inside anterior cruciate ligament graft-link technique: second-generation, no-incision anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2018;34(3):695-705. doi:10.1016/j.arthro.2017.08.305
8. Ekhtiari S, Horner NS, de Sa D, et al. Arthroscopic repair of anterior shoulder instability: a systematic review of overlapping meta-analyses comparing techniques and outcomes. *Arthroscopy.* 2020;36(8):2336-2345.e2. doi:10.1016/j.arthro.2020.03.038
9. Vaishya R, Gupta N, Vijay V, et al. Advances in anterior cruciate ligament reconstruction: focus on biological and synthetic grafts. *Indian J Orthop.* 2020;54(3):277-286. doi:10.1007/s43465-020-00035-8
10. Murray MM, Kalish LA, Fleming BC, et al. Bridge-enhanced anterior cruciate ligament repair: two-year results of a first-in-human study. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(3):2325967118824356. doi:10.1177/2325967118824356
11. Andia I, Maffulli N. Platelet-rich plasma for managing pain and inflammation in osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2018;14(9):581-591. doi:10.1038/s41584-018-0072-6
12. Filardo G, Di Matteo B, Kon E, Merli ML, Marcacci M. Platelet-rich plasma in tendon-related disorders: results and indications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(7):1984-1999. doi:10.1007/s00167-016-4261-4
13. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2018;52(13):1019-1028. doi:10.1136/bjsports-2016-096031
14. Logerstedt DS, Arundale A, Lynch A, Snyder-Mackler L. A conceptual framework for a sports knee injury performance profile (SKIPP) and return to activity criteria (RTAC). *Braz J Phys Ther.* 2020;24(5):409-418. doi:10.1016/j.bjpt.2020.06.006
15. Chen Y, Xu R, Zhu Y, et al. Application of 3D printing technology in the surgical treatment of complex knee injuries: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):156. doi:10.1186/s13018-019-1205-x
16. Anglin C, Wyss UP, Pichora DR, et al. The potential of robotic systems for orthopaedic surgery and rehabilitation: a review of current applications and future developments. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(5):438-449. doi:10.2106/JBJS.20.01101
17. Musahl V, Karlsson J, Krutsch W, et al. Anterior cruciate ligament treatment strategies differ between countries and continents. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(1):34-41. doi:10.1007/s00167-021-06725-w
18. Filardo G, Andriolo L, di Matteo B, Kon E, Drobnic M, Perdisa F. Clinical translation of cell-based strategies for meniscus regeneration: state of the art and future perspectives. *Eur Cell Mater.* 2018;36:94-110. doi:10.22203/eCM.v036a07