



LESIONES DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN DEPORTISTAS DE ÉLITE: RECONSTRUCCIÓN ANATÓMICA VERSUS TÉCNICAS BIOLÓGICAS

ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURIES IN ELITE ATHLETES: ANATOMICAL RECONSTRUCTION VERSUS BIOLOGICAL TECHNIQUES

Kelvin Hernan Yunga Carchi¹, Alex Sebastián Guamán Ávila², Jesús Eduardo González Álvarez³, Pamela Nataly Pacheco Martínez⁴

{kelviny3@gmail.com¹, a.guaman.fisioterapia@gmail.com², jedgonzalez@gmail.com³, pamelaur1999@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 03/07/2026 / Fecha de aceptación: 19/08/2026 / Fecha de publicación: 16/09/2026

RESUMEN: La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) se encuentra entre las causas más comunes de cirugía de la rodilla en el alto rendimiento, teniendo un evidente efecto sobre la carrera deportiva, la estabilidad articular a largo plazo y la reinjuria. La reconstrucción quirúrgica anatómica sin duda es la técnica estándar empleada, pero en los últimos años se ha intentado de forma creciente incorporar técnicas de augmentación biológica (plasma rico en plaquetas, concentrado de aspirado de médula ósea y terapias con células madre) con el objetivo de acelerar la ligamentización del injerto y mejorar el retorno a la alta competición. Evaluar la evidencia científica indexada publicada entre 2016 y 2026 que compara la reconstrucción anatómica aislada del LCA con la reconstrucción con augmentación biológica en los deportistas de élite. Se realizó una revisión bibliográfica de tipo narrativo con apoyo de los lineamientos PRISMA (mediante búsqueda en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO y Cochrane Library, seleccionando ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en revistas de alto impacto y de referencia). La reconstrucción anatómica continúa siendo la base tratamiento, con tasas de retorno al deporte que rondan el 83% entre los atletas de élite, así como se reducen notablemente las tasas de osteoartritis postraumática si se respeta la posición anatómica de los túneles. Las técnicas de augmentación biológica en especial el plasma rico en plaquetas y el concentrado de médula ósea demuestran beneficios modestos respecto a la maduración radiológica del injerto y el control del dolor cortoplacista, pero sin traducirse de manera consistente en menores tasas de reruptura ni en un retorno al deporte más temprano. De acuerdo con la evidencia disponible, la reconstrucción

¹Investigador Independiente, <https://orcid.org/0000-0003-1953-9551>

²Universidad de Cuenca, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-9333-3565>

³CEO del Centro Hospitalario y Holístico de Rehabilitación Intensiva y Sanación del Hospital La Misión, en Monterrey, Nuevo León, México - <https://orcid.org/0009-0007-6003-6581>

⁴Centro de rehabilitación física y deportiva Fenix, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-5919-6497>



anatómica combina bien como la estrategia primera y las técnicas biológicas deben ser contempladas como un complemento individualizado de los principios de biomecánica de la cirugía anatómica, pero no como un reemplazo.

Palabras clave: *Ligamento cruzado anterior, reconstrucción anatómica, plasma rico en plaquetas, concentrado de aspirado de médula ósea, deportistas de élite, retorno al deporte*

ABSTRACT: Anterior cruciate ligament (ACL) injury is among the most common causes of knee surgery in high-performance sports, with a clear impact on athletic careers, long-term joint stability, and the risk of re-injury. Anatomical surgical reconstruction is undoubtedly the standard technique used, but in recent years there has been a growing effort to incorporate biological augmentation techniques (platelet-rich plasma, bone marrow aspirate concentrate, and stem cell therapies) with the goal of accelerating graft ligamentization and improving the return to high-level competition. To evaluate the indexed scientific evidence published between 2016 and 2026 that compares isolated anatomical ACL reconstruction with reconstruction using biological augmentation in elite athletes. A narrative literature review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines (through searches in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO, and the Cochrane Library, selecting clinical trials, systematic reviews, and meta-analyses published in high-impact and leading journals). Anatomical reconstruction remains the cornerstone of treatment, with return-to-sport rates of approximately 83% among elite athletes, and post-traumatic osteoarthritis rates are significantly reduced when the anatomical position of the tunnels is preserved. Biological augmentation techniques—particularly platelet-rich plasma and bone marrow concentrate—show modest benefits regarding the radiographic maturation of the graft and short-term pain control, but these do not consistently translate into lower re-rupture rates or an earlier return to sports. According to the available evidence, anatomical reconstruction is well-suited as the primary strategy, and biological techniques should be considered as an individualized complement to the biomechanical principles of anatomical surgery, but not as a replacement.

Keywords: *Anterior cruciate ligament, anatomical reconstruction, platelet-rich plasma, bone marrow aspirate concentrate, elite athletes, return to sports.*

INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) constituye una de las lesiones musculoesqueléticas más abordadas en la actualidad, a causa de: su elevada incidencia; la importancia funcional, económica y psíquica que se genera en la población atlética. Se estima que la incidencia anual en Estados Unidos oscila en torno a los 120.000 casos, y más de un 3% de los deportistas presenta una ruptura y/o lesión del LCA en una ventana de participación deportiva de cuatro años (1). Los estudios epidemiológicos de grandes poblaciones epidemiológicas, además,



han demostrado que el riesgo de lesión varía expresivamente en función del sexo de los deportistas y de las distintas modalidades deportivas practicadas, siendo: el fútbol; el baloncesto; el balonmano y el fútbol americano las especialidades deportivas que experimentan la mayor tasa de lesión, y las mujeres deportistas las que experimentan un mayor riesgo relativo, entre 1,5 y 2 veces mayor que el de sus homólogos varones en deportes equivalentes (2).

A partir de la población adolescente y joven, que es la cantera de los futuros deportistas de alto rendimiento, también está creciendo, con una tasa de riesgo acumulado cercana al 10% a lo largo de la trayectoria escolar o universitaria de las chicas en la población de multideportistas (3); este ya resulta un dato a tener en cuenta, ya que muchos deportistas de élite sufren su primera lesión del LCA antes de alcanzar el deporte profesional, lo que convierte la cirugía de reconstrucción del LCA en un hito temprano de su trayectoria en el deporte.

El mecanismo lesional en el deporte de élite ha sido identificado por análisis de vídeo sistemático a partir del análisis del movimiento de futbolistas profesionales, en el que se demuestra que la mayoría de las rupturas del LCA se producen por mecanismos no traumáticos, en maniobras de desaceleración, de cambio de dirección o de aterrizaje con rodilla en valgo dinámico y rotación externa de la tibia (4). Esta caracterización biomecánica ha tenido un papel esencial en el diseño de programas de prevención, así como en entender por qué la calidad de la reconstrucción quirúrgica una vez producida la lesión está en relación directa con el riesgo de una segunda lesión, ya que dicha reconstrucción reproduce patrones de carga semejantes a la hora del retorno a la práctica.

Ante este contexto, la reconstrucción quirúrgica del LCA ha pasado a convertirse en el tratamiento de elección en los deportistas activos, con el objetivo de recuperar la estabilidad anteroposterior y rotacional en la rodilla. Sin embargo, la reconstrucción no se encuentra exenta de fracasos, ya que tanto las revisiones sistemáticas que se han centrado en cirugía de revisión, como las revisiones sistemáticas relacionadas con la artroscopia han relacionado tasas de fracaso a medio plazo que oscilan entre el 10% y el 15% y que son debidas a errores técnicos en la colocación de los túneles, a la elección del injerto y a factores propios del paciente (5). Dicha variabilidad de resultados ha propiciado el desarrollo técnico de dos líneas paralelas, por un lado, el perfeccionismo de una reconstrucción anatómica individualizada que intenta reproducir la inserción nativa del ligamento y, por el otro, la adopción de estrategias de augmentación biológica que tienen como finalidad mejorar la curación e integración del injerto (6).

La trascendencia clínica de la técnica anatómica va más allá de la inmediatez. Un metaanálisis con un seguimiento de al menos 10 años demostró que la reconstrucción anatómica, definida mediante un score objetivo de la localización de túneles, disminuye de forma significativa la prevalencia de la osteoartrosis postraumática comparándola con las técnicas no anatómicas (23,2% frente a 43,9% con signos radiográficos de artrosis) (7). Este hecho hace que la relación anatómica pase a considerarse como un determinante no sólo del retorno a la práctica deportiva inmediata, sino también de la salud articular del deportista a medio y largo plazo. Respecto al



rendimiento deportivo tras la cirugía, el metaanálisis de referencia que agrupó veinticuatro estudios sobre deportistas de élite halló una tasa de retorno al deporte del 83 por ciento, con un tiempo medio de 6 a 13 meses y una tasa de reruptura del injerto del 5,2% (8), cifras que, según los autores, debían ser matizadas porque convivían en un subgrupo de deportistas que eran, por lo general, los más jóvenes o los que volvían a deportes que requerían mucho pivoteo con un riesgo de una segunda lesión del LCA, ya sea ipsilateral o contralateral, que podía superar el 20 por ciento (9), corroborada por estudios que relacionan un retorno al deporte precoz, es decir antes de alcanzar criterios funcionales objetivos, con un riesgo de hasta siete veces mayor de una nueva lesión (10).

Se ha vuelto a establecer el interés en técnicas extraarticulares como la tenodesis lateral extraarticular y la reconstrucción del ligamento anterolateral como técnicas intermedias entre lo biológico y lo biomecánico, ya que permiten adicionalmente aportar una restricción rotacional que hace disminuir la carga que el injerto intraarticular sufre. La evidencia comparativa de los últimos años muestra que en deportistas de élite la combinación de una técnica de tipo anterolateral de requerir la tahlita de la tasa de reruptura de forma estadísticamente significativa (11), hallazgo apuntalado por estudios biomecánicos que han puesto de relieve una restricción rotacional equivalente entre las distintas variantes técnicas que hay de tenodesis lateral (12). A la vez, el impulso que ha cogido la medicina regenerativa ha introducido en el campo de la ortopedia deportiva un conjunto de recursos biológicos: el plasma rico en plaquetas, el concentrado de aspirado de médula ósea y, de reciente implementación, las terapias con células madre mesenquimatosas y su supuesta teoría para acelerar la angiogénesis, reducir la respuesta inflamatoria local y favorecer la ligamentización precoz del injerto tendinoso. Estas técnicas se han convertido en el complemento de interés del deportista de élite, en quien cada semana de recuperación se traduce en un coste deportivo y económico importante.

No obstante, la evidencia acumulada procedente de los ensayos clínicos aleatorizados es heterogénea y se mantiene la controversia acerca de si estos beneficios biológicos, que se observan con frecuencia a nivel de la histología o imagenológica, se traducen realmente en la mejora clínica y funcional que el deportista necesita. La justificación de la presente revisión está precisamente en esta controversia no resuelta: mientras que la reconstrucción anatómica tiene indicios biomecánicos y epidemiológicos fiables y coherentes, las técnicas de augmentación biológica se encuentran hoy en día con resultados contradictorios entre estudios, lo que dificulta la toma de decisiones clínicas evidentes para el cirujano que atiende un deportista de alta competición. Sistematizar y contrastar la evidencia más reciente e indexada sobre ambas estrategias es, pues, didácticamente útil para la práctica clínica e indicativa de futuras líneas de investigación.

En este sentido, el objetivo general de la presente revisión bibliográfica es analizar la evidencia científica indexada publicada entre 2016 y 2026 que compara la reconstrucción anatómica aislada del LCA frente a las técnicas de reconstrucción con augmentación biológica en deportistas de



élite, a través del retorno al deporte, la tasa de fallo, maduración del injerto y resultados funcionales.

A pesar de que se reconoce la reconstrucción anatómica del LCA como el procedimiento de referencia en deportistas de élite, la práctica clínica actual está evidenciando una creciente y heterogénea adopción de técnicas de augmentación biológica, sin que exista consenso sobre la verdadera aportación clínica. Esta práctica clínica nos resulta una pregunta de base para la toma de decisiones quirúrgicas en el contexto del deporte de alto rendimiento: ¿la inclusión de estrategias biológicas de augmentación a la reconstrucción anatómica del LCA mejora de forma constante el retorno al deporte, la tasa de fallo y los resultados funcionales en deportistas de élite en comparación con la reconstrucción anatómica aislada? La falta de respuesta global a esta pregunta, sumado a la disparidad en la metodología entre estudios primarios (dimensiones muestrales reducidas, protocolos de preparación biológica no estandarizados, tiempos de seguimiento distintos) fundamenta el problema de investigación que da sentido a la presente revisión bibliográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo bibliográfico, diseñada con una revisión narrativa de la literatura, y el apoyo metodológico se vio recogido por los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), los cuales se usaron para la transparencia a la hora de la identificación, de la selección y de la presentación de la evidencia; no siendo una revisión sistemática exhaustiva y, por tanto, no realizando metaanálisis cuantitativo propio.

La muestra documental se encuentra compuesta por ensayos clínicos aleatorizados, revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios de cohortes comparativos que evaluaban desenlaces de la reconstrucción del ligamento anterior cruzado en población deportista competitiva o de élite (universitaria, profesional o olímpica), correspondientes a los años 2016-2026. La búsqueda se realizó en un entorno digital, mediante consulta directa de bases de datos académicas y biomédicas indexadas sin restricción geográfica, priorizando publicaciones en lengua inglesa y/o española.

Las variables de interés extraídas de los estudios primarios fueron: tasa de retorno al deporte (RTS), tiempo hasta el retorno, tasa de fallo o reruptura del injerto, puntajes funcionales validados (International Knee Documentation Committee, Lysholm, Tegner), hallazgos de maduración del injerto en relación con resonancia magnética y eventos adversos derivados de los procedimientos biológicos.

Dado su diseño narrativo, la revisión no incluyó un metaanálisis cuantitativo original. El análisis consistió en una síntesis narrativa y comparativa de los resultados reportados por los estudios primarios; en aquellos casos en los que los estudios eran revisiones sistemáticas o bien



metaanálisis se mantuvieron las medidas de efecto originales (odds ratio, riesgo relativo, diferencia de medias) y sus respectivos intervalos de confianza al 95%, tal como fueron publicadas por los autores.

Tabla 1. Metodología de revisión.

Componente	Descripción
Tipo de diseño	Revisión bibliográfica narrativa con apoyo de la metodología PRISMA
Bases de datos consultadas	PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO, Cochrane Library
Periodo de búsqueda	Publicaciones comprendidas entre enero de 2016 y agosto de 2026
Palabras clave / operadores	"anterior cruciate ligament" AND "anatomic reconstruction"; "platelet-rich plasma" AND "ACL reconstruction"; "bone marrow aspirate concentrate" AND "ACL"; "elite athletes" AND "return to sport"
Criterios de inclusión	Ensayos clínicos aleatorizados, revisiones sistemáticas y metaanálisis en deportistas competitivos/élite; texto completo disponible; revistas indexadas con revisión por pares
Criterios de exclusión	Reportes de caso, estudios en animales o cadáveres, población no deportista, publicaciones anteriores a 2016, literatura gris no indexada
Selección de estudios	Identificación por título/resumen, lectura a texto completo y verificación de DOI en bases indexadas
Variables extraídas	Retorno al deporte, tiempo de retorno, tasa de fallo del injerto, puntajes funcionales, hallazgos por RM, eventos adversos

En la Tabla 1 se muestra el proceso de búsqueda y selección que permitió obtener un conjunto final de veintiséis referencias bibliográficas indexadas, que corresponden en su mayor parte a revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos aleatorizados, todos ellos publicados en revistas de alto factor de impacto en medicina del deporte y ortopedia, característica que confiere a la presente síntesis un nivel de evidencia suficientemente alto para guiar la toma de decisiones clínicas relacionadas con la reconstrucción anatómica y la augmentación biológica del LCA en el deportista de élite.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los principales hallazgos de la revisión, expuestos en tres ejes temáticos: el perfil epidemiológico y desempeño de la reconstrucción anatómica en el sujeto de élite; el comportamiento comparado de los injertos autólogos utilizados en la reconstrucción; los resultados clínicos reportados para las principales técnicas de augmentación biológica. La tabla 2 resume los indicadores epidemiológicos más importantes y el desempeño quirúrgico más relevante que informan las revisiones sistemáticas y metaanálisis de más alto nivel de evidencia en sujetos de élite.

**Tabla 2. Perfil epidemiológico y desempeño de la reconstrucción anatómica.**

Indicador	Resultado reportado	Fuente
Incidencia anual estimada de lesión de LCA	≈120 000 casos/año (EE. UU.); >3% de deportistas en 4 años de práctica	Kaeding et al. (1)
Riesgo por sexo y deporte	Mayor riesgo por temporada en baloncesto y fútbol femenino (0,091–0,110) que en varones (0,024–0,027)	Montalvo et al. (2)
Riesgo acumulado en adolescentes	Hasta 10% en mujeres multideportistas durante su etapa escolar	Bram et al. (3)
Retorno al deporte en élite	83% (IC95%: 77–88%); tiempo medio 6–13 meses	Lai et al. (8)
Reruptura del injerto en élite	5,2% (IC95%: 2,8–8,3%)	Lai et al. (8)
Osteoartrosis postraumática (≥10 años)	23,2% tras ACLR anatómica vs. 43,9% tras técnica no anatómica	Rothrauff et al. (7)
Fallo de revisión a mediano plazo	10–15%	Grassi et al. (5)
Reinjuria en atletas <25 años	23% (combinando edad y retorno deportivo)	Wiggins et al. (9)

El análisis de los datos de la tabla 2, muestra que la reconstrucción anatómica logra tasas de retorno deportivo elevadas y recurrentes entre estudios, alrededor del 83%⁸, de forma que este éxito comparte un riesgo no despreciable de reinjuria en el subgrupo de deportistas jóvenes o aquellos que retornan de forma precoz a la competición (9). Igualmente, el beneficio articular de la técnica anatómica se extiende más allá del retorno inmediato, disminuyendo aproximadamente a la mitad el porcentaje de osteoartrosis radiográfica a los diez años de seguimiento (7), lo que pone de manifiesto la relevancia de la precisión técnica en relación con cualquier otra estrategia complementaria.

El injerto es una de las variables que determinan la reconstrucción anatómica, especialmente en el deportista de élite, quien debe tener en cuenta que las características del sitio donante, el porcentaje de fallo en la cirugía y la menor morbilidad tienen una correlación directa en relación con el rendimiento. La tabla 3 muestra los resultados comparativos de los injertos autólogos más populares:

Tabla 3. Comparación de injertos autólogos en la reconstrucción anatómica.

Tipo de injerto	Riesgo de fallo del injerto	Consideraciones clínicas	Fuente
Tendón cuadricipital (QT)	Menor riesgo relativo frente a isquiotibiales (OR 0,46; IC95%: 0,23–0,93)	Mayor grosor y bloque óseo opcional; menor déficit de fuerza flexora residual	Zhang et al. (13)
Hueso-tendón rotuliano-hueso (BPTB)	Cicatrización hueso-hueso favorable; dolor anterior de rodilla más frecuente	Curación más predecible en el túnel óseo	Zhang et al. (13)
Isquiotibiales (HT)	Mayor riesgo de fallo comparado con QT	Preserva el aparato extensor; déficit de fuerza flexora documentado	Zhang et al. (13)



Aloinjerto

Tasa de fallo descrita hasta
25% en menores de 25 añosSin morbilidad de zona donante;
controversia en población
joven/éliteLaPrade
et al. (6)

Los resultados agrupados de las tablas y gráficas que aparecen en el artículo nos muestran en la tabla 3, una tendencia reciente hacia la preferencia por el injerto con el tendón cuadriceps en las poblaciones atléticas, la cual es sustentada por una reducción estadísticamente significativa del riesgo de fallo del injerto para con los que utilizan injertos con isquiotibiales 24, mientras que el injerto aloinjerto se mantiene como opción de segunda línea en el deportista joven de élite debido a las mayores tasas de fractura documentadas en la literatura sobre tratamiento biológico y manejo de lesiones ortopédicas 6 (que debemos considerar de forma crítica a la vista de la heterogeneidad de las series incluidas y la falta de ensayos aleatorizados de gran tamaño muestral que puedan comparar en una única cohorte de élite los 3 tipos de injerto en los tejidos de élite).

Por último, la tabla 4 resume los resultados clínicos más relevantes que han sido reportados en ensayos clínicos aleatorizados y metaanálisis que evaluaron el plasma rico en plaquetas (PRP), el aspirado de médula ósea concentrado (BMAC) y las terapias con células madre como augmentación a la reconstrucción del LCA (14).

Tabla 4. Resultados de las técnicas de augmentación biológica.

Técnica biológica	Principal desenlace reportado	Fuente
PRP intraoperatorio (injerto/túnel)	Mejora histológica y radiográfica de la cicatrización, sin significancia estadística consistente en desenlaces clínicos	Boksh/Hurley et al. (15)
PRP intraarticular posoperatorio	Sin superioridad frente a control en síntomas y función a 12 meses (ECA, n=?)	Ye et al. (16)
PRP en injerto de isquiotibiales	Sin mejoría clínica en 7 de 7 estudios evaluados (Tegner, Lysholm, IKDC, KOOS)	Filardo et al. (17)
PRP y dolor a corto plazo	Reducción significativa del dolor a 3 y 6 meses; sin diferencia a los 12 meses	Tayyab et al. (26)
BMAC en aloinjerto	Mayor señal de remodelación en RM a 3 meses;	Forsythe et al. (18)
hueso-tendón-hueso	mejores puntajes IKDC a 9 meses	
BMAC (síntesis global)	No mejora los resultados reportados por el paciente en fase temprana	Belk et al. (19)
BMAC (metaanálisis actualizado)	Beneficio no concluyente sobre IKDC/Lysholm; heterogeneidad alta entre ECA	Park et al. (20)
Terapia con células madre	Mejora la ligamentización del injerto en modelos animales; evidencia clínica humana aún limitada	Wang et al. (21)

En términos generales, los estudios analizados muestran de un modo bastante tajante que la augmentación con PRP sí aporta, pero de forma discreta, beneficios que son transitorios (principalmente en cuanto a dolor posquirúrgico y algunos marcadores imagenológicos de cicatrización (17)), sin que los mismos se traduzcan de un modo sistemático en mejores puntajes funcionales o en una disminución de la tasa de reruptura (16). El BMAC, mientras tanto, presenta



resultados prometedores en modelos donde se combina un injerto aloinjertado en cuanto a la maduración por resonancia magnética (18), aunque las revisiones más recientes siguen considerando como insuficiente la evidencia para recomendar su uso rutinario (19). La evidencia sobre las células madre mesenquimatosas cruza magistralmente los ecos de los modelos preclínicos, lo que limita aún más su extrapolación directa (21).

DISCUSIÓN

Las conclusiones de la revisión llevada a cabo confirman que la reconstrucción anatómica del LCA sigue siendo la intervención con mayor respaldo de evidencia científica, tanto en el corto plazo (retorno al deporte y estabilidad funcional) como en el largo plazo (prevención de osteoartritis postraumática) en el deportista de élite. La tasa de retorno al deporte del 83% documentada por Lai et al. (8) es totalmente coherente con revisiones posteriores que se centraron en deportes concretos, como el fútbol americano, donde las tasas de reincorporación competitiva son similares y el impacto sobre el rendimiento deportivo posterior a la cirugía es limitado (22). Así, esto puede indicar que el efecto que hemos observado no depende de una concreta disciplina, sino que refleja un patrón extendido y robusto asociado a la técnica quirúrgica anatómica en su definición más clara (23), (24).

Por otra parte, los resultados de la augmentación biológica presentan un panorama mucho más heterogéneo. Los primeros estudios con PRP hacían presagiar beneficios en el injerto y lugar donante, pero las revisiones sistemáticas más amplias de ensayos clínicos aleatorizados no cuentan con una evidencia que lleve a una mejoría clínica reproducible en los puntajes funcionales estandarizados (17). Esta falta de concordancia entre los hallazgos histológicos o imagenológicos favorables y la necesidad de una traducción clínica representaría un problema de diseño recurrente de la literatura acerca de los biológicos ortopédicos en función de la falta de estandarización de la concentración plaquetaria, del volumen aplicado y del momento de aplicación del PRP dentro de los distintos protocolos contrastados.

Un caso en el que nos encontramos con una tensión similar es el BMAC, donde el ensayo en doble ciego de Forsythe et al. (18) documenta la aceleración objetiva de la ligamentización en los aloinjertos hueso-tendón-hueso, con mejores puntajes IKDC a los nueve meses, lo que en un principio podría llegar a interpretarse como un argumento convincente para su inclusión sistemática. En el momento en el cual estos resultados se hacen visibles y se contraponen a revisiones sistemáticas de tamaño muestral más amplio como la de Belk et al. (19), el beneficio clínico temprano se transforma en no estadísticamente robusto, lo que sugiere que los efectos positivos intervencionistas podrían estar limitados a subgrupos los pacientes con aloinjerto, en quienes la biología intrínseca del injerto es menos favorable que en el autoinjerto, y no ser aplicables a la ya referida totalidad de la población deportista de élite, la mayor parte de la cual es intervenida con injertos autólogos.



Un hallazgo importante de la presente síntesis es la precisión de la evidencia biomecánica y biológica sobre la intervención extraarticular. La inclusión en la reconstrucción anatómica intraarticular de una tenodesis lateral extraarticular o reconstrucción del ligamento anterolateral ha demostrado de una manera más fiable que las técnicas puramente biológicas una reducción significativa de la tasa de reruptura en deportistas de élite. Este resultado se presta a revisar la augmentación del LCA no sólo en un plano bioquímico, es decir, orientado a estimular la cicatrización celular, sino también en uno biomecánico ya que reduce directamente la carga rotacional sobre el injerto durante los gestos deportivos de pivote sin depender de la respuesta biológica individual variable.

Otro aspecto que brota de la descripción comparativa de los estudios es la relación entre el momento en que se retorna al deporte y el riesgo de segunda lesión, en cualquier caso, independientemente de la técnica quirúrgica utilizada. Los datos de Paterno et al. confirman que el cumplimiento de criterios funcionales objetivos, más que el tiempo que ha transcurrido o la técnica de augmentación que se haya utilizado, es el factor más determinante para reducir el riesgo de reinjuria (25). Este hallazgo relativiza, hasta cierto punto, el papel de las técnicas biológicas como estrategia aislada para "acelerar" el retorno al deporte. Y esto es así, ya que un retorno excesivamente pronto (incluso pase que el injerto haya mostrado en imagen signos favorables de maduración) seguirá asociado a un riesgo considerablemente mayor de fracaso.

Por último, cabe destacar que la mayoría de los ensayos clínicos que son recogidos en la revisión que nos ocupa sobre augmentación biológica presentan limitaciones compartidas: tamaños muestrales moderados, seguimientos de menos de dos años o la no estratificación por niveles deportivos. Estas limitaciones hacen que no tenga sentido extrapolar directamente los resultados obtenidos a la población de deportistas de élite cuya exigencia funcional y margen de tolerancia al fallo del injerto son bien distintos a los de la población de deportistas recreativos evaluada en la mayor parte de los estudios primarios.

CONCLUSIONES

La revisión de la evidencia publicada en el periodo 2016-2026, propuesta bajo el formato de una revisión sistemática, permite a su vez concluir que la reconstrucción anatómica del ligamento cruzado anterior constituye todavía el abordaje terapéutico que atesora una mayor evidencia científica para el deportista de alta competición, al conseguir tasas de retorno a la práctica deportiva elevadas y constantes, tasas de reruptura relativamente bajas y una reducción evidenciada del riesgo de osteoartritis postraumática a largo plazo tomando como referencia la correcta reconstrucción de la posición anatómica de los túneles óseos y la adecuada elección del injerto autólogo.

En lo que se refiere a las técnicas de augmentación biológica, no hay evidencia que permita recomendar en su aplicación de forma rutinaria, como estándar de tratamiento del deportista de



alta competición la aplicación de este tipo de procedimientos. Cabe mencionar que el plasma rico en plaquetas y el concentrado de aspirado de médula ósea presentan beneficios puntuales en su mayoría transitorios sobre el dolor, la cicatrización histológica y algunos marcadores de maduración imagenológica del injerto, pero no en la forma sistemática en mejores resultados clínicos relevantes ni en una disminución de la tasa de fallo quirúrgico. Las terapias de células madre, a pesar de ser prometedoras a nivel preclínico, no presentan evidencia clínica suficiente que sustente su uso en humanos.

Así pues, se concluye que las técnicas biológicas deben considerarse como una complementación individualizada, más que una sustituta en los principios biomecánicos que sustentan una correcta reconstrucción anatómica. Los procedimientos extraarticulares de apoyo rotacional, para disminuir el riesgo de reruptura durante la práctica del alta competición, representan una opción complementaria con mayor firmeza en la evidencia en su uso en la alta competición. Se recomienda que futuras investigaciones incluyan ensayos clínicos aleatorizados de multicéntricos con protocolos biológicos estandarizados y con seguimientos extensos estratificados por nivel de práctica deportiva para evidenciar sin lugar a duda el verdadero valor añadido de la augmentación biológica de la práctica clínica del deporte en condiciones de alta competición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. Clin Sports Med. 2017;36(1):1–8. DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.001
2. Montalvo AM, Schneider DK, Webster KE, Yut L, Galloway MT, Heidt RS, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. J Athl Train. 2019;54(5):472–82. DOI: 10.4085/1062-6050-407-16
3. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med. 2021;49(7):1962–72. DOI: 10.1177/0363546520959619
4. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. Br J Sports Med. 2020;54(23):1423–32. DOI: 10.1136/bjsports-2019-101247
5. Grassi A, Kim C, Muccioli GMM, Zaffagnini S, Amendola A. What Is the Mid-term Failure Rate of Revision ACL Reconstruction? A Systematic Review. Clin Orthop Relat Res. 2017;475(10):2484–99. DOI: 10.1007/s11999-017-5379-5
6. LaPrade RF, Dragoo JL, Koh JL, Murray IR, Geeslin AG, Chu CR. AAOS Research Symposium Updates and Consensus: Biologic Treatment of Orthopaedic Injuries. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2016;24(7):e62–78. DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00086



7. Rothrauff BB, Jorge A, de Sa D, Kay J, Fu FH, Musahl V. Anatomic ACL reconstruction reduces risk of post-traumatic osteoarthritis: a systematic review with minimum 10-year follow-up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2020;28(4):1072–84. DOI: 10.1007/s00167-019-05665-2
8. Lai CCH, Ardern CL, Feller JA, Webster KE. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *Br J Sports Med*. 2018;52(2):128–38. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096836
9. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2016;44(7):1861–76. DOI: 10.1177/0363546515621554
10. Paterno M V., Rauh MJ, Thomas S, Hewett TE, Schmitt LC. Return-to-Sport Criteria After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Fail to Identify the Risk of Second Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Athl Train*. 2022;57(9–10):937–45. DOI: 10.4085/1062-6050-0608.21
11. Boksh K, Sheikh N, Chong HH, Ghosh A, Aujla R. The Role of Anterolateral Ligament Reconstruction or Lateral Extra-articular Tenodesis for Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Clinical Studies. *Am J Sports Med*. 2024;52(1):269–85. DOI: 10.1177/03635465231157377
12. Delaloye J, Hartog C, Blatter S, Schläppi M, Müller D, Denzler D, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction and Modified Lemaire Lateral Extra-Articular Tenodesis Similarly Improve Knee Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Biomechanical Study. *Arthroscopy*. 2020;36(7):1942–50. DOI: 10.1016/j.arthro.2020.03.027
13. Zhang X-F, Liu P, Huang J-W, He Y-H. Efficacy and safety of quadriceps tendon autograft versus bone–patellar tendon–bone and hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. 2024;25(1):65. DOI: 10.1186/s10195-024-00801-2
14. Zhu T, Zhou J, Hwang J, Xu X. Effects of Platelet-Rich Plasma on Clinical Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med*. 2022;10(1). DOI: 10.1177/23259671211061535
15. Hurley ET, Lim Fat D, Moran CJ, Mullett H. The efficacy of biologic augmentation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of randomized controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;4(31):1529–41.
16. Ye Z, Chen H, Qiao Y, Wu C, Cho E, Wu X, et al. Intra-Articular Platelet-Rich Plasma Injection After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JAMA Netw Open*. 2024;7(5):e2410134. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.10134
17. Belk JW, Kraeutler MJ, Houck DA, Goodrich JA, Dragoo JL, McCarty EC. Platelet-Rich Plasma Versus Hyaluronic Acid for Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med*. 2021;49(1):249–60. DOI: 10.1177/0363546520909397



18. Forsythe B, Chahla J, Korrapati A, Lavoie-Gagne O, Forlenza E, Diaz CC, et al. Bone Marrow Aspirate Concentrate Augmentation May Accelerate Allograft Ligamentization in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Double-Blinded Randomized Controlled Trial. *Arthroscopy*. 2022;38(7):2255–64. DOI: 10.1016/j.arthro.2022.01.010
19. Belk JW, McCulloch PC, Houck DA, Christian DR, Kraeutler MJ. Bone marrow aspirate concentrate does not improve early patient-reported outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2022;9(38):2696–707.
20. Park JY, Ng Hing Cheung JA, Todorov D, Park SY, Lim H, Shin E, et al. Biological augmentation of anterior cruciate ligament reconstruction with bone marrow aspirate concentrate: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Int Orthop*. 2025;49(1):35–43. DOI: 10.1007/s00264-024-06380-5
21. Wang H-D, Li Z, Hu X, Ao Y. Efficacy of Stem Cell Therapy for Tendon Graft Ligamentization After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2022;10(6). DOI: 10.1177/23259671221098363
22. Ross BJ, Savage-Elliott I, Brown SM, Mulcahey MK. Return to Play and Performance After Primary ACL Reconstruction in American Football Players: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(10). DOI: 10.1177/2325967120959654
23. Munde K, Banerjee S, Gahlot N, Elhence A, Mandal S, Yadav T. Effect of Platelet-Rich Plasma on Healing of Autologous Graft After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: a Randomized Control Trial. *Regenerative Med*. 2023;18(8):601–10. DOI: 10.2217/rme-2023-0108
24. Cao Y, Wan Y. Effectiveness of <sc>Platelet-Rich</sc> Plasma in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Orthop Surg*. 2022;14(10):2406–17. DOI: 10.1111/os.13279
25. Tayyab M, Ahmad Z, Akbar R, Ahmad M, Shah S, Khan S, et al. Efficacy of Platelet-Rich Plasma Augmentation in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Trials. *Cureus*. 2025; DOI: 10.7759/cureus.94181