



Resumen Estructurado del BS



Artículo: La RLCA Precoz Mitiga la Osteoartrosis
Postraumática en Modelo Murino

Resumen Estructurado: La RLCA Precoz Mitiga la Osteoartrosis Postraumática en Modelo Murino

Artículo original: Early Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Mitigates the Development of Posttraumatic Osteoarthritis in a Murine Anterior Cruciate Ligament Rupture Model

Autores Principales: Retzky JS, Carballo C, Simonian L, Li TM, Suzuki Y, Okazaki Y, Hammad M, Ranga S, Trinh PMP, Aydin E, Covello M, Eliasberg CD, Lu TT, Rodeo SA

Fuente: AJSM – American Journal of Sports Medicine

Año: Vol. 54, Issue 1 — Enero 2026, pp. 17–26

DOI: 10.1177/03635465251390541

INTRODUCCIÓN / CONTEXTO

La osteoartrosis postraumática (OAPT) es una de las secuelas más temidas tras lesión y reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). La literatura indica que entre el 23% y el 60% de los pacientes desarrollan cambios degenerativos radiográficamente detectables entre 10 y 25 años tras la RLCA, independientemente de la calidad técnica. Esto coloca a una población joven y activa en riesgo precoz de artroplastia total — procedimiento que en menores de 35 años presenta tasas de revisión notablemente elevadas.

Diversos factores de riesgo para OAPT tras lesión del LCA ya han sido identificados: cirugía meniscal concomitante, IMC elevado y lesión condral en el momento de la RLCA. No obstante, un aspecto permanece en debate activo: ¿el tiempo entre lesión y reconstrucción influye en el desarrollo de OAPT? Algunos estudios sugieren que la RLCA precoz mitigaría la progresión degenerativa, mientras otros no han encontrado diferencias relacionadas con el timing quirúrgico.

La heterogeneidad entre los estudios publicados — variación en tipos de injerto, técnicas quirúrgicas, definiciones de "precoz" frente a "tardía" y criterios de osteoartrosis — dificulta una respuesta definitiva a partir solo de datos clínicos. Los modelos animales permiten controlar estas variables y aislar el efecto del timing quirúrgico sobre la progresión degenerativa. Estudios previos en ratas y ratones demostraron que la estabilización precoz mitiga la OAPT, pero hasta el presente trabajo ninguno había utilizado un modelo verdaderamente intraarticular de RLCA, recurriendo a estabilizaciones extraarticulares que limitan la relevancia clínica.

Este estudio del Hospital for Special Surgery llena ese vacío al emplear por primera vez un modelo murino con rotura no invasiva del LCA seguida de reconstrucción intraarticular, comparando RLCA inmediata frente a tardía.

OBJETIVO

Evaluar el efecto del timing de la RLCA sobre el desarrollo de OAPT en un modelo murino no invasivo (cerrado) de rotura del LCA, además de su impacto sobre comportamiento de marcha relacionado con el dolor, respuesta inmune e inflamatoria periférica y central, amplitud de movimiento (ADM) de la rodilla y volumen óseo de las epífisis tibial proximal y femoral distal.

MÉTODOS

Estudio laboratorial controlado realizado tras aprobación del comité institucional de cuidado y uso de animales. Se utilizaron 55 ratones C57BL/6J machos, de 11 a 12 semanas de edad (Jackson Laboratory), randomizados en tres condiciones experimentales: rotura aislada del LCA (n=16), rotura seguida de RLCA inmediata (n=16) y rotura seguida de RLCA tardía a los 7 días tras la lesión (n=16). Siete animales no lesionados sirvieron como control.

La rotura no invasiva del LCA se indujo con técnica validada: animal en decúbito ventral bajo anestesia, fémur derecho en holder restrictivo, rodilla flexionada a 90° y pie en 30° de dorsiflexión. Se aplicó carga axial de 5 a 20 N a la tibia distal a 1,0 mm/s, con confirmación de la rotura por aumento de la traslación anterior en Lachman. La técnica quirúrgica empleó injerto de flexor largo de los dedos (FDL), con artrotomía parapatelar medial estandarizada. Los túneles femoral (retrógrado) y tibial (anterógrado) se perforaron con aguja 23G en puntos anatómicos. El injerto se tensionó a 5N, con fijación femoral por clip y fijación tibial por sutura Ethibond 4-0 sobre túnel transversal, con tracción posterior a 30° de flexión.

Los animales fueron sacrificados a los 28 días posquirúrgicos (RLCA) o postlesión (rotura aislada). El análisis histológico primario utilizó tinción con safranina O y evaluación por dos revisores ciegos mediante la escala Osteoarthritis Research Society International (OARSI) para la meseta tibial medial y el cóndilo femoral medial. Se analizaron cinco láminas a 90 µm de distancia por rodilla.

Las evaluaciones secundarias incluyeron: amplitud de movimiento (goniómetro en los días 14 y 28 postop con dos evaluadores ciegos); análisis de marcha vía DigiGait (tiempo en swing/stance, frecuencia, simetría, área de la pata en pico de apoyo); citometría de flujo del ganglio ilíaco ipsilateral (iILN) y bazo con panel para monocitos, neutrófilos, células dendríticas, linfocitos T CD4+/CD8+, T reguladores, B, NK y plasmocitos; y microtomografía (µCT) con vóxel de 12,2 µm para medición volumétrica de las epífisis. Un ensayo con Evans Blue confirmó que el iILN es el ganglio drenante primario de la rodilla.

RESULTADOS PRINCIPALES

Análisis histológico de OAPT: los grupos rotura aislada y RLCA tardía presentaron escores OARSI femorales significativamente más altos que los controles ($p<0,0001$ para ambos) y RLCA inmediata ($p<0,001$ y $p<0,0001$, respectivamente). Sin diferencia entre control y RLCA

inmediata ($p=0,10$) ni entre rotura aislada y RLCA tardía ($p=0,39$). Patrón idéntico en los escores tibiales — rotura aislada y RLCA tardía peores que control ($p<0,0001$ y $p<0,001$) y RLCA inmediata ($p<0,01$ para ambos). Coeficientes de correlación intraclase: 0,61 (tibia) y 0,82 (fémur).

Amplitud de movimiento: a los 14 días postop, ambos grupos quirúrgicos presentaron ADM significativamente menor que control y rotura aislada ($p<0,05$ para todos). A los 28 días el perfil cambió: solo el grupo RLCA tardía mantuvo pérdida significativa de ADM frente al control ($p<0,001$), mientras que la RLCA inmediata recuperó ADM comparable a la del control ($p=0,064$; sin diferencia estadística).

Análisis de marcha: no se detectó ninguna diferencia significativa entre grupos en tiempo en swing, tiempo en stance, frecuencia de zancada, simetría o área de la pata en pico de apoyo — ni preoperatoriamente ni a los 14 y 28 días. Las diferencias observadas en OAPT no pueden atribuirse a diferencias en comportamiento de marcha relacionado con dolor.

Respuesta inmune local: los grupos quirúrgicos presentaron aumento de la celularidad total del iLN ipsilateral comparados con control y rotura aislada ($p<0,05$ para todos), con incremento de monocitos, neutrófilos, células dendríticas, linfocitos T CD4+/CD8+, células B, T reguladoras Foxp3+, NK, plasmocitos, células reticulares fibroblásticas, y endoteliales sanguíneas y linfáticas. Sin diferencias entre RLCA inmediata y tardía, lo que sugiere que esta expansión es una respuesta fisiológica genérica a la intervención. El bazo no mostró diferencias entre grupos.

Microtomografía: hallazgo especialmente original. El volumen óseo en la epífisis tibial proximal fue significativamente menor en el grupo RLCA tardía (mediana $3,5 \text{ mm}^3$) que en RLCA inmediata (mediana $3,9 \text{ mm}^3$; $p<0,001$). Patrón similar en la epífisis femoral distal: $6,6 \text{ mm}^3$ (tardía) frente a $8,1 \text{ mm}^3$ (inmediata; $p<0,01$). Ningún estudio previo había cuantificado volumen óseo epifisario tras RLCA.

CONCLUSIÓN DE LOS AUTORES

La RLCA inmediata mitiga el desarrollo de OAPT en un modelo murino no invasivo de rotura del LCA. Los animales con reconstrucción inmediata presentaron OARSÍ tibial y femoral indistinguibles de controles, mientras que la RLCA tardía (7 días) resultó en cambios degenerativos comparables a los de la rotura sin tratamiento. Los autores proponen dos explicaciones: (1) la inestabilidad articular persistente durante los primeros 7 días en el grupo tardío y (2) la hemartrosis persistente — bien documentada como deletérea para el cartílago por mecanismos de apoptosis condrocitaria mediados por hemosiderina y activación macrofágica con liberación de TNF- α . La implicación clínica preliminar es que tanto la estabilización precoz como, posiblemente, la evacuación de la hemartrosis pueden tener un papel mitigador.

DISCUSIÓN BS

Este trabajo merece atención redoblada porque toca uno de los puntos más sensibles y controvertidos de la práctica contemporánea de la reconstrucción del LCA: el timing quirúrgico ideal. Durante décadas se ha operado bajo la premisa de que aguardar la "fase fría" — tradicionalmente 3 a 6 semanas tras el trauma — minimizaría el riesgo de artrofibrosis postoperatoria. Este paradigma, establecido por trabajos clásicos de los años 90, viene siendo progresivamente cuestionado, y este estudio del grupo de Scott Rodeo (HSS) añade evidencia experimental robusta a esa revisión de conceptos.

El hallazgo de que la RLCA inmediata produjo OARSI estadísticamente indistinguible de controles sanos — y significativamente mejor que la RLCA realizada 7 días tras el trauma — es provocador. Igualmente interesante es el hallazgo de ADM: a los 28 días, el grupo RLCA inmediata había recuperado movilidad comparable a controles, contradiciendo frontalmente la noción de que la cirugía precoz predispone a la rigidez. Es plausible que la intervención inmediata evacúe mediadores proinflamatorios y profibróticos del compartimento articular, mitigando — en lugar de causar — la fibrosis postoperatoria.

Desde el punto de vista mecanístico, la hipótesis de la hemartrosis como villana es la aportación más original. Los ratones del grupo RLCA inmediata sufrieron artrotomía tras la rotura, con evacuación inmediata de sangre intraarticular. El grupo RLCA tardía convivió con hemartrosis 7 días antes de la limpieza quirúrgica. La literatura sobre artropatía hemofílica es elocuente: productos de degradación sanguínea inducen apoptosis condrocitaria, depósito de hemosiderina en sinoviocitos, liberación macrofágica de TNF- α y resorción ósea acelerada. Los autores citan a Haxaire et al. (Blood 2018), que demostraron que el bloqueo de la vía TNF- α en modelo murino mitiga la pérdida ósea. La coherencia biológica es sólida.

Para la práctica del BS, el mensaje es doble. Primero, este trabajo refuerza una corriente clínica creciente — representada por estudios como el de Shelbourne y más recientemente por series europeas — que defiende la RLCA precoz en pacientes seleccionados con buena ADM preoperatoria, sin derrame importante y motivados para la rehabilitación. Segundo, y quizá más innovador, saca a la luz la discusión sobre el manejo de la hemartrosis aguda. La punción articular tras lesión del LCA — gesto sencillo, rápido y de bajo coste — puede estar infrautilizada como medida potencialmente condroprotectora en los pacientes que aguardan reconstrucción. Vale diseñar estudios clínicos prospectivos que evalúen específicamente este desenlace.

Las limitaciones son claras y los autores no las omiten: modelo animal con diferencias anatómicas relevantes respecto al humano, RLCA abierta (artroscopia imposible en ratones), solo animales machos, y ausencia de control sobre carga y movimiento postoperatorios. Estos puntos limitan la traducción directa a la clínica y exigen cautela en la generalización. Por otro lado, el diseño experimental es elegante, los controles adecuados, y la múltiple validación de desenlaces (histología, ADM, marcha, citometría, μ CT) confiere robustez al conjunto. Para BS Papers, queda la recomendación de discutir sistemáticamente, en nuestros protocolos de evaluación inicial post-LCA agudo, tres cuestiones: la ventana ideal para la reconstrucción, la indicación de punción articular precoz y la comunicación con el paciente sobre el riesgo real de OAPT a medio y largo plazo. Este es el tipo de evidencia mecanística que debería moldear la conversación clínica en las próximas décadas.

BS Papers — es una división del grupo BS KNEE RESEARCH SERVIÇOS LTDA.

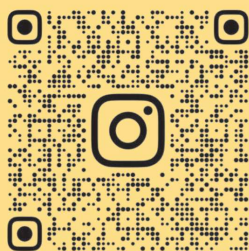
BS Knee Papers tiene como misión facilitar el acceso a las principales evidencias científicas en cirugía de rodilla y medicina deportiva, traduciendo estudios relevantes de la literatura internacional en resúmenes objetivos y accesibles para profesionales de la salud.

Este material forma parte de nuestra iniciativa de difusión del conocimiento científico, reuniendo síntesis estructuradas de artículos publicados en revistas científicas de referencia en el área.

Producción editorial
BS KNEE RESEARCH SERVIÇOS LTDA.

Acceda a más contenidos científicos
www.bspapers.com.br

Instagram: [@bs_papers](https://www.instagram.com/bs_papers)



@BS_PAPERS

Este material tiene carácter exclusivamente educativo y no sustituye la lectura del artículo científico original ni el juicio clínico del profesional de la salud.

©2026 BS KNEE RESEARCH SERVIÇOS LTDA. Todos los derechos reservados.