

**Chahla, Jorge (h)**

*Reconstrucción artroscópica con doble banda  
del ligamento cruzado posterior*

**Tesis de Doctorado**  
**Facultad de Ciencias Médicas**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Chahla, J(h). Reconstrucción artroscópica con doble banda del ligamento cruzado posterior [en línea]. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Católica Argentina ; 2017. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/reconstruccion-artroscopica-ligamento-cruzado.pdf> [Fecha de consulta:.....]



**UCA**

Pontificia Universidad Católica Argentina  
Santa María de los Buenos Aires

## **Facultad de Ciencias Médicas**

# Reconstrucción Artroscópica con Doble Banda del Ligamento Cruzado Posterior

**Médico Jorge Chahla (h)**  
**Director: Dr. Jorge Chahla**

**Trabajo de Tesis Para Optar al Título de  
Doctor en Ciencias Biomédicas**

2017

# Tabla de Contenido

Tabla de Contenido .....	2
<b>Publicaciones asociadas .....</b>	<b>4</b>
Libro.....	4
Capítulo Libro .....	4
Publicaciones .....	4
<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
1.1 Anatomía .....	6
1.2 Biomecánica .....	6
1.3 Patología y Diagnóstico del Ligamento Cruzado Posterior .....	7
1.4 Planteo del Problema .....	10
1.5 Propósito y Objetivos.....	11
<b>2. Materiales y Métodos .....</b>	<b>13</b>
2.1. Anatomía Cuantitativa del Ligamento Cruzado Posterior.....	13
2.2. Evaluación Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Nativo y sus Componentes .....	15
2.3. Evaluación biomecánica de la reconstrucción del ligamento cruzado posterior con técnica de doble banda .....	16
2.3.1. Preparación de los Injertos.....	16
2.3.2. Técnica de Reconstrucción del Ligamento Cruzado Posterior con Doble Banda .....	17
2.3.3. Rehabilitación postoperatoria .....	24
2.4. Evaluación clínica y funcional de la reconstrucción del ligamento cruzado posterior con técnica de doble banda.....	27
2.4.1. Diseño y sujetos .....	27
2.4.2. Mediciones .....	27
Plan de Análisis.....	33
<b>3. Resultados .....</b>	<b>33</b>
3.1. Anatomía Cualitativa y Cuantitativa del Ligamento Cruzado Posterior .....	33
3.1.1. Anatomía Cualitativa.....	33
3.1.2. Morfología Del Cartílago Articular Femoral Distal .....	36
3.1.3. Morfología Ósea del Techo y la Pared Femoral del Intercóndilo .....	38
3.1.4. Inserción Femoral del LCP .....	39
3.1.5. Inserción Tibial del LCP.....	40

3.1.6. Anatomía Quirúrgica.....	41
3.2. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Nativo .....	45
3.2.1 Traslación Anteroposterior Después de la Sección Individual o Completa de los Haces del LCP.....	46
3.2.2. Rotación Interna y Externa Después de la Sección Individual o Completa de los Haces del LCP.....	48
3.3. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Reconstruido .....	49
3.3.1 Traslación Anteroposterior Después de la Reconstrucción del LCP. Ángulo Óptimo de Fijación de los Injertos AL y PM.....	49
3.3.2 Rotación Interna Después de la Reconstrucción del LCP.....	52
3.4. Resultados Clínicos.....	53
3.4.1. Datos Demográficos.....	53
3.4.2. Análisis de los Resultados de Escalas de Valoración Subjetivas .....	53
3.4.3. Resultados Objetivos (Radiografías Con Estrés).....	56
<b>4. Discusión .....</b>	<b>56</b>
4.1 Anatomía del Ligamento Cruzado Posterior.....	57
4.2. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior.....	59
4.3    Técnicas Quirúrgicas .....	60
4.4    Resultados Clínicos .....	61
<b>Conclusiones .....</b>	<b>63</b>

## Publicaciones asociadas

### Libro

- **Chahla J**, Dean CS, LaPrade RF. Complex Knee Surgery Made Easy. iBook. Vail, CO: Steadman Philippon Research Institute; 2016:267  
[.https://itunes.apple.com/us/book/complex-knee-surgery/id1084505384?mt=11](https://itunes.apple.com/us/book/complex-knee-surgery/id1084505384?mt=11)

### Capítulo Libro

- **Chahla J**, Ellman MB, McNair PJ, LaPrade RF. Endoscopic Double Bundle PCL Reconstruction. Ligamentous Injuries of the Knee. Nova Publishing, 2016.
- LaPrade, RF Dean. C; Schon, J; **Chahla, J**. Fibular Collateral Ligament and the Posterolateral Corner. Insall & Scott: Surgery of the Knee. 2016
- Mikula, J; Slette, E; Schon, J; **Chahla, J**; LaPrade, RF. The Role of Osteotomy in Ligament Deficient Knees. Ligamentous Injuries of the Knee. Nova Publishing, 2016.

### Publicaciones

- **Chahla J**, Nitri M, Civitarese D, Dean CS, Moulton SG, LaPrade RF. Anatomic Double-Bundle Posterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy Techniques*. 2016;5(1):149-156.
- **Chahla J**, Pascual-Garrido C, Rodeo SA. Ligament Reconstruction in Congenital Absence of the Anterior Cruciate Ligament: A Report of Two Cases. *HSSJ*. 2015;11(2):177-181.
- **Chahla J**, Moatshe G, Dean C, LaPrade R. Posterolateral Corner of the Knee: Current Concepts. *The Archives of Bone and Joint Surgery*. 2016;4(2):97-103.

- **Chahla J**, Moulton SG, LaPrade CM, Dean CS, LaPrade RF. Posterior Meniscal Root Repair: The Transtibial Double Tunnel Pullout Technique. *Arthroscopy Techniques*. 2016;5(2):291-296.
- Dean CS, Liechti DJ, **Chahla J**, Moatshe G, LaPrade RF. Clinical Outcomes of High Tibial Osteotomy for Knee Instability A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2016;4(3):2325967116633419.
- **Chahla, J**; Engebretsen, L; Von Bormann, R; LaPrade, RF. Anatomic Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: State of the Art. *ISAKOS Journal*. 2016. En Prensa.
- Moatshe, G; Brady, A; Slette, E; **Chahla, J**; Turnbull, T; Engebretsen, L; LaPrade, RF. Multiple Ligament Reconstruction Femoral Tunnels: Inter-tunnel Relationships and Guidelines to Avoid Convergence.. *Am J Sports Med*. En Prensa.
- Logan, C; Bueaulieu-Jones, BR; Sanchez, G; **Chahla, J**; Whalen, J; Vopat, BG; Price, M; LaPrade, RF; Provencher, MT. Posterior Cruciate Ligament Injuries of the Knee at the NFL Combine: An Imaging and Outcomes Analysis. *Am J Sports Med*. Provisionalmente Aceptado.
- **Chahla, J**; Moatshe, G; Engebretsen, L; LaPrade, RF. Anatomic Double Bundle Posterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JBJS Essential Surgical Techniques*. 2016. 10.1136/jisakos-2016-000078

# 1. Introducción

## 1.1 Anatomía

El LCP es un ligamento intraarticular recubierto por una densa sinovial. Se origina en la cara lateral del cóndilo femoral medial, precisamente en la unión de la pared medial y el techo de la escotadura intercondílea. Luego se dirige hacia posterior y lateral para insertarse en una depresión en la cara posterior de la tibia, rodeada por una prominencia medial y otra lateral. Funcionalmente, el LCP se puede dividir en tres porciones basadas en los patrones de tensión. Hay dos partes principales, o haces: uno anterolateral más grande (AL) y otro más pequeño posteromedial (PM). Además encontramos un tercer haz que corresponde a los ligamentos meniscofemorales: el anterior (ligamento de Humphry) y el posterior (ligamento de Wrisberg).

## 1.2 Biomecánica

El LCP es el restrictor primario de la traslación posterior de la tibia con respecto al fémur. El haz AL actúa como estabilizador primario a la traslación posterior y está bajo mayor tensión cuando la rodilla está en 90 ° de flexión. En contraste, el haz PM proporciona estabilidad en la traslación posterior cuando la rodilla se acerca a la extensión completa (por lo que es el estabilizador primario en extensión de la rodilla) y se ha observado que también funciona como estabilizador secundario en la rotación. Por lo tanto, la tensión se desarrolla de una manera recíproca en cada haz durante el rango de movimiento de la rodilla, con pocas fibras que muestran un comportamiento isométrico.

### 1.3 Patología y Diagnóstico del Ligamento Cruzado Posterior

Durante las últimas dos décadas, la comprensión de la anatomía, biomecánica, opciones de diagnóstico y tratamiento para el ligamento cruzado posterior (LCP) ha evolucionado notablemente, dando lugar a resultados clínicos superiores.

El enfoque para el tratamiento de las lesiones del LCP debe tener en cuenta varios factores específicos del paciente, incluyendo: la gravedad de la lesión (aislada vs combinada), el grado de lesión del ligamento cruzado posterior, el tiempo (aguda o crónica), la presentación clínica (asintomática vs dolor/inestabilidad), y demanda funcional o el nivel de actividad (deportista vs paciente sedentario).<sup>1,2</sup> Debido a la controversia en torno a la historia natural de la deficiencia de LCP y las dificultades para reconstruir con precisión la compleja función del LCP quirúrgicamente, no hay un consenso claro respecto a las indicaciones para la reconstrucción del LCP. La mayoría de los autores están de acuerdo en que las fracturas por avulsión del LCP deben ser reparadas de forma aguda con puntos de sutura o tornillo de fijación, generalmente con buenos resultados.<sup>3-5</sup> Además, las lesiones múltiples del LCP con ligamento cruzado anterior, complejo posteroexterno o posterointerno deben ser quirúrgicamente reconstruidas, preferentemente dentro de las 2-4 semanas de la lesión para restaurar la función de la rodilla.<sup>1, 6-8</sup> Sin embargo, el algoritmo de tratamiento debe adaptarse a cada paciente y cada situación.

En general, las lesiones agudas y aisladas del LCP (grados I y II) se tratan de forma conservadora. Para clasificar una lesión del ligamento cruzado como "aislado", se

consideran tres criterios.<sup>7</sup> Estos incluyen: 1) radiografías con estrés con LCP diferencia <8 mm en comparación con la rodilla contralateral; 2) <5 grados de laxitud rotatoria anormal a los 30 grados de flexión de la rodilla; y 3) ninguna lesión de los ligamentos colaterales significativa que cause inestabilidad en varo o valgo. Si una lesión del ligamento cruzado cumple estos tres criterios, se puede considerar "aislada", y si se les da una calificación de I o II en la exploración física, el paciente debe someterse a un tratamiento no quirúrgico. La mayoría de estos pacientes son capaces de volver a practicar deportes dentro de las 6 semanas después de la lesión, dependiendo en la evolución clínica.

Por el contrario, el resultado de las lesiones aisladas agudas del LCP grado III es controversial. En general, se intenta tratar estas lesiones de forma no quirúrgica con un periodo de inmovilización seguido de rehabilitación. Debido al riesgo de una lesión oculta del complejo posteroexterno de la rodilla, se recomienda que la rodilla se inmovilice en extensión (con leve traslación anterior de la tibia) durante 2-4 semanas seguido de una férula dinámica durante 3 meses. La curación elongada del LCP puede conducir a la inestabilidad y discapacidad crónica.<sup>9</sup> El uso de una férula que aplique una fuerza de cajón anterior, coloca al LCP en una posición adecuada con una reducción de la articulación más anatómica (en cajón posterior) que permite mejorar la posición y curación del ligamento.<sup>10</sup> Además, la inmovilización en extensión disminuye la tensión sobre las fibras antero-laterales del LCP y las fibras del complejo posteroexterno, facilitando la curación al minimizar la traslación tibial posterior secundaria a la disminución de la tensión por parte de la gravedad y de los isquiotibiales.<sup>11</sup> Después del período inicial de inmovilización, se debe comenzar con la rehabilitación, aunque no todos los pacientes con lesiones grado III se recuperan y un gran porcentaje requiere

finalmente la reconstrucción del LCP.<sup>7, 10, 12</sup> Del mismo modo, las lesiones del LCP combinadas y agudas (es decir, LCP + CPE o LCA) frecuentemente conducen a las limitaciones funcionales y artrosis precoz.<sup>13, 14</sup> Por lo tanto, la reconstrucción quirúrgica se recomienda en estos casos.

En el contexto de una rotura crónica del LCP, se elige como tratamiento para los grado I y II una conducta conservadora, similar a una lesión aguda. Los pacientes sintomáticos con inflamación recurrente y dolor se tratan con modificación de la actividad y fisioterapia, ya que en este punto, la reconstrucción quirúrgica de lesiones crónicas o agudas grado I y II no ha resultado en una mejora significativa en los síntomas o en la función.<sup>11</sup> En contraste a lo expresado anteriormente, el tratamiento no quirúrgico de lesiones crónicas grado III o lesiones del LCP combinadas produce secuelas a largo plazo con limitaciones funcionales y el posible desarrollo de artrosis patelofemoral y tibiofemoral temprana.<sup>15, 16</sup> Los pacientes a menudo se quejan de dolor persistente, de inestabilidad y la pérdida de función en el seguimiento a largo plazo con el tratamiento no quirúrgico de estas lesiones. Asimismo, cuando el tiempo entre la lesión inicial y el tratamiento quirúrgico se prolonga, los resultados reportados son menos satisfactorios.<sup>3, 10</sup> Por lo tanto, en los casos de lesiones crónicas del LCP grado III o lesiones combinadas con síntomas persistentes de dolor o inestabilidad a pesar del tratamiento conservador, se recomienda el tratamiento quirúrgico. En muchos de estos casos es importante también evaluar el eje mecánico del miembro y la caída posterior del platillo tibial en el caso de ser necesaria una osteotomía correctiva.<sup>17</sup>

## 1.4 Planteo del Problema

El objetivo principal de la reconstrucción del LCP es restaurar la anatomía y la función articular normal. En la actualidad, no existe un "patrón de oro" para la reparación o reconstrucción que proporcione consistentemente resultados buenos a excelentes. Aunque se han descrito muchas técnicas quirúrgicas, los resultados clínicos de la reconstrucción LCP no han sido tan alentadores como los de la reconstrucción del LCA. Existe controversia acerca de la ubicación óptima de la fijación tibial, el número de injertos, la colocación ideal del túnel femoral y la tensión del injerto apropiada durante la reconstrucción. La literatura actual es difícil de interpretar debido a que la mayoría de los estudios difieren en varias de estas variables, impidiendo una comparación en paralelo de la información.

En los casos de una avulsión ósea aguda del LCP, la intervención quirúrgica está indicada.<sup>18</sup> Las fracturas por avulsión por lo general involucran la inserción tibial y constituyen la única indicación para una reparación primaria del LCP. La reparación se debe hacer en el período agudo (menos de 3 semanas), y puede ser realizada con tornillos y arandelas, sutura, o técnicas de banda de tensión.<sup>3-5</sup> En contraste con las avulsión óseas, los resultados de la reparación de lesiones a nivel del ligamento (intrasustancia) ya sean agudos o crónicos no han sido satisfactorios, por lo que en estos casos se recomienda la reconstrucción.<sup>19</sup>

Se han descrito diferentes métodos de reconstrucción del LCP. Debido a la complejidad de los patrones de tensión de los dos haces, reproducir la función y la posición anatómica precisa del complejo ligamentario nativo es difícil. Las técnicas actuales incluyen la incrustación tibial, la técnica artroscópica transtibial con una sola banda y artroscópica transtibial con doble banda.

Quizás el tema más controvertido en la reconstrucción artroscópica del LCP es si se debe reconstruir una o las dos bandas. En comparación con el haz PM, el haz AL es más rígido y por lo tanto tiene una mayor carga previa al fallo. Además el haz AL es aproximadamente el doble del ancho del haz PM y sirve como base para la reconstrucción con una sola banda.<sup>20</sup> Recientemente ha habido un renovado interés en la restauración de los dos haces para proporcionar una "reconstrucción más anatómica", resultando en no sólo una contención adecuada a la traslación posterior sino también de la rotación tibial a lo largo del movimiento de la rodilla (principalmente a cargo del haz PM).

## 1.5 Propósito y Objetivos

En relación a lo descrito anteriormente en donde biomecánicamente ambos haces del LCP cumplen funciones recíprocas y co-dominantes, el propósito de esta tesis fue la de crear una reconstrucción con una técnica anatómica de doble banda que replicara de manera más precisa la anatomía del LCP y por consiguiente su función. Se decidió realizar una pirámide de estudio que tuvo como **objetivo general** crear una nueva técnica quirúrgica que demuestre resultados superiores a las anteriormente descritas.

Para tal fin, se han establecido los siguientes **objetivos específicos**:

1. Demarcar los reparos anatómicos más relevantes y constantes para la inserción femoral y tibial de ambos fascículos anatómicos y cuantificar (con un brazo de medición portable) las inserciones tibiales y femorales de ambas bandas mediante disecciones anatómicas. Determinar las distancias

- de ambas inserciones y su relación con los reparos anatómicos comúnmente utilizados en el proceso quirúrgico.
2. Cuantificar la participación biomecánica de ambos haces con estudios de seccionamiento individual en especímenes cadavéricos frescos en un robot de 6 ejes de libertad para determinar su contribución a la estabilidad anteroposterior y rotacional de la rodilla.
  3. Desarrollar una reconstrucción anatómica del LCP con técnica de doble banda (doble túnel femoral y un único túnel tibial) cuantificando las diferencias biomecánicas entre una rodilla nativa, con reconstrucción de doble banda en especímenes cadavéricos frescos probando las reconstrucciones en un robot de 6 ejes de libertad.
  4. Evaluar los resultados clínicos/funcionales y objetivos imagenológicos de pacientes intervenidos con esta técnica quirúrgica, comparando los resultados con controles históricos de técnicas de simple banda y con block óseo.

La hipótesis de trabajo para la realización de la presente tesis es que una reconstrucción anatómica de doble banda, replica la biomecánica del ligamento cruzado posterior tanto para la traslación anteroposterior como rotacional, deviniendo en mejores resultados clínicos/funcionales e imagenológicos objetivos.

## 2. Materiales y Métodos

El siguiente esquema resume el protocolo de investigación llevado a cabo para el desarrollo final de la técnica quirúrgica basado en los estudios anatómicos, biomecánicos, de reconstrucción nativa del LCP y pruebas clínicas.



### 2.1. Anatomía Cuantitativa del Ligamento Cruzado Posterior

Se realizaron disecciones en veinte rodillas no pareadas, frescas congeladas de cadáveres humanos, sin evidencia de lesión previa o cambios degenerativos. La edad media de los especímenes fue de 46,2 años (rango, 21 a 49). El LCP fue abordado en sentido anterior a través de una artrotomía parapatelar medial y

posterior por medio de una cuidadosa disección de la cápsula posterior y el ligamento poplíteo oblicuo, con instrumentación roma que se utilice para evitar daños en las fibras distales del LCP o el ligamento meniscofemoral posterior. Debido a que el haz anterolateral es más tenso a 90 ° de flexión de la rodilla y el haz posteromedial es más tenso, en extensión total, el haz anterolateral y haz posteromedial fueron identificados individualmente tras la observación de sus patrones de tensión . La separación inicial entre los haces se creó posteriormente con una pinza hemostática de punta fina curvada, cerca de la inserción femoral, en la que se visualiza mejor la separación entre los haces. A continuación, los haces se dividieron por completo con el uso de tijeras de disección finas a lo largo del tejido conectivo interfascicular entre los haces. Suturas no absorbibles se utilizaron para aislar cada haz de fibras proximal y distal, con el centro funcional de cada haz individual. Posteriormente la rodilla fue desarticulada. Se realizaron la disección individual de cada haz en cada inserción (femoral y tibial). Para cada inserción se realizó el delineamiento periférico con un brazo robótico de coordenadas de alta precisión (7315 Romer Absolute Arm, Hexagon Metrology; repetibilidad de 0.025 mm). Después asegurar la rodilla cadavérica con una abrazadera especialmente diseñado para tal, los haces de LCP, el ligamento meniscofemoral anterior y el ligamento posterior meniscofemoral fueron disecados cuidadosamente de sus inserciones femorales y tibiales . El contorno de cada sitio de inserción se registró inmediatamente con la punta del brazo robótico. Los puntos de referencia anatómicos fueron identificados también para poder calcular las distancias a los mismos: punto troclear, punto del arco medio, punto de cartílago distal en el fémur y faceta del LCP, caída tibial, la cresta de los haces y el punto de cartílago lateral en la tibia. Los datos se analizaron mediante un software computarizado (MATLAB,

The MathWorks Inc., Natick, MA) . Las medidas de distancia se recogieron como la distancia lineal 3 - dimensional entre las estructuras. Todas las mediciones fueron realizadas calculando la distancia anatómica entre los centros de las dos estructuras. Las áreas de sección transversal se calcularon mediante la proyección de puntos tomados a lo largo de la circunferencia de la inserción sobre un plano extrapolado y calculando el área del poliedro bidimensional resultante.

## **2.2. Evaluación Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Nativo y sus Componentes**

La biomecánica del ligamento cruzado posterior se evaluó con un sistema robótico de multidireccionalidad (KUKA KR 60-3, KUKA Robotics, Augsburg, Alemania) en 10 rodillas cadavéricas frescas sin indicios de lesión previa. Para dicho fin, la tibia y el peroné y el fémur por otro lado fueron colocados en una base de metacrilato y montados con una orientación invertida, a un sensor de fuerza de torsión universal (Delta F / T del transductor , ATI Automatización Industrial, Apex , Carolina del Norte) unido al extremo efector del robot. Con la rodilla en extensión completa, se seleccionaron las coordenadas de reparos anatómicos palpables con un robot de medición de coordenadas (Microscribe MX, GoMeasure3D, Amherst, Virginia) para definir un marco espacial. Se aplicó una fuerza axial de 10 N para asegurar el contacto adecuado entre la tibia y los cóndilos femorales. El camino de flexión pasiva se definió de 0° de flexión o extensión completa, a 120° de flexión. Cada espécimen fue preacondicionado moviendo la rodilla a través de la ruta de flexión pasiva. La laxitud posterior se puso a prueba con un fuerza de 134-N orientados en sentido posterior de la tibia a 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, y 120° de flexión de la rodilla. Además, las rodillas intactas fueron probadas para la

estabilidad rotacional con 5-N de fuerza para rotación externa y rotación interna; 10 N de fuerza para valgo y varo y finalmente una fuerza de traslación posterior 100-N y 5-N de rotación externa para simular un cajón posterolateral. Todas las pruebas se realizaron en cada ángulo de flexión, y el orden de las pruebas fue aleatorio: rodillas intactas se probaron; sección de los haces individuales (AL y PM) y sección completa se realizaron secuencialmente y se compararon con el estado intacto de cada rodilla.

### **2.3. Evaluación biomecánica de la reconstrucción del ligamento cruzado posterior con técnica de doble banda**

Se realizaron disecciones en nueve rodillas cadavéricas no pareadas, frescas congeladas, sin evidencia de lesión previa o cambios degenerativos. La edad media de los donantes en el momento de la muerte fue de 52.3 años (rango, 29 a 63). La preparación de las rodillas y el montaje en el robot fue el mismo que el descrito para la evaluación biomecánica.

#### **2.3.1. Preparación de los Injertos**

Nueve aloinjertos de tendón de Aquiles y 9 aloinjertos de tendón tibial anterior se utilizaron para reconstruir los haces anterolateral y posteromedial, respectivamente. Los extremos tendinosos de los injertos de Aquiles fueron recortados y tubularizados usando suturas No. 5 (Fiberwire, Arthrex Inc.) hasta obtener un diámetro de 11 mm. Del mismo modo, el block de hueso de calcáneo se preparó de 11 mm de diámetro con una longitud de 25 mm. Los injertos de tendón tibial anterior se prepararon para obtener a un diámetro de 7 mm con cada extremo tubularizado con suturas No 5. (Figura 1).



Figura 1: Preparación de aloinjertos para la reconstrucción de doble haz de LCP.

AL: anterolateral, PM: posteromedial, semi-T: semitendinoso.

### 2.3.2. Técnica de Reconstrucción del Ligamento Cruzado Posterior con Doble Banda

La técnica artroscópica de doble banda transtibial que se describe aquí fue descrita por Chahla, LaPrade y cols.,<sup>21</sup> en el marco del presente trabajo de tesis. La técnica utiliza dos injertos fijos en los túneles femorales divergentes, que pasan por un único túnel tibial y se fijan por separado en la tibia para recrear los dos haces anatómicos del LCP. En primer lugar, los portales artroscópicos estándar pararrotuliano inferomedial y inferolateral se hacen adyacente al tendón rotuliano.

Los túneles femorales se realizan en primer lugar. Se identifican los orígenes anatómicos de los haces AL y PM y se marca el centro de cada túnel provisoriamente con un coagulador artroscópico (Figura 2).

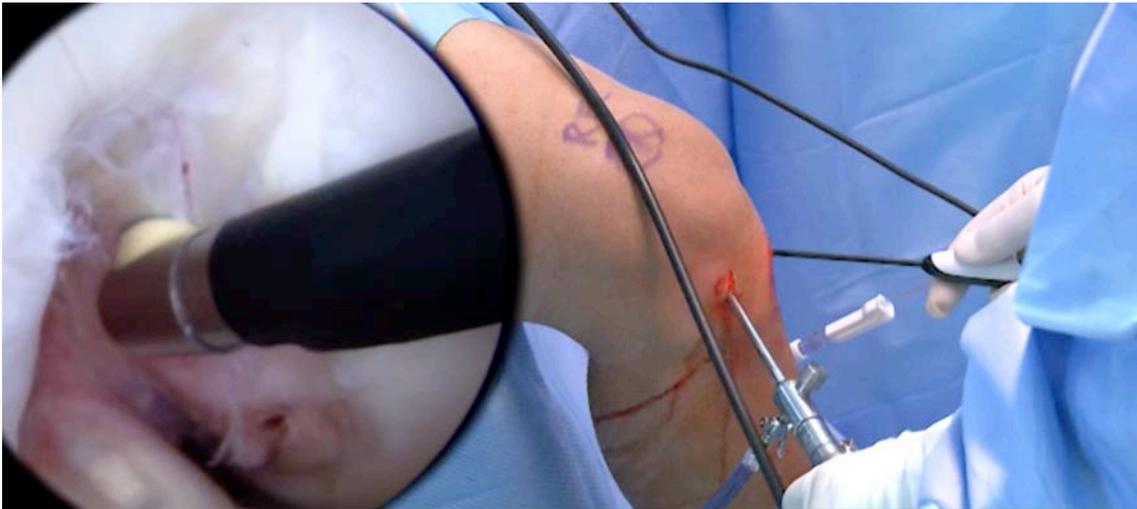


Figura 2: Un coagulador artroscópico se utiliza para delimitar ambos túneles femorales en las ubicaciones deseadas. Se observa la imagen artroscópica (izquierda) a través del portal anterolateral de una rodilla derecha.

Para el túnel femoral AL, se coloca a través del portal artroscópico anterolateral una fresa de 11-mm de diámetro y se utiliza como una guía para la colocación del túnel. Se coloca en el centro previamente marcado, teniendo en cuenta los márgenes del cartílago articular, la parte superior del techo del intercóndilo (punto troclear) y la cara anterior del cóndilo femoral medial. Se realiza la perforación anteromedialmente con una clavija guía con ojal a través de la fresa (Figura 3).



Figura 3: En una rodilla derecha, una fresa de 11 mm se coloca en el centro del haz AL con el borde contra los márgenes del cartílago articular en la parte superior del techo intercondíleo, y a lo largo de la cara anterior del cóndilo femoral medial (izquierda). Con una clavija con ojal se perfora luego a través de la fresa usándola como guía (derecha).

Luego se realiza un túnel cerrado de 11x25mm sobre la clavija guía. Es conveniente en este punto dejar una sutura para posteriormente facilitar el paso del injerto. Para el túnel femoral PM, se utiliza una técnica similar. Se utiliza una fresa de 7mm colocándola contra el contorno del haz posteromedial, con el borde distal de la fresa a 5 mm proximal aproximadamente al borde distal del cartílago articular del cóndilo femoral medial y ligeramente posterior al túnel del haz AL. Luego se perfora con una clavija con ojal a través de la fresa. Se realiza un orificio de 25 mm de longitud de forma divergente y se pasa una sutura dentro del ojal. Es importante asegurarse de que existe un puente óseo de 2-3 mm entre los dos túneles para evitar la convergencia de ambos con la consiguiente pérdida en la fuerza de fijación. Figura 4.

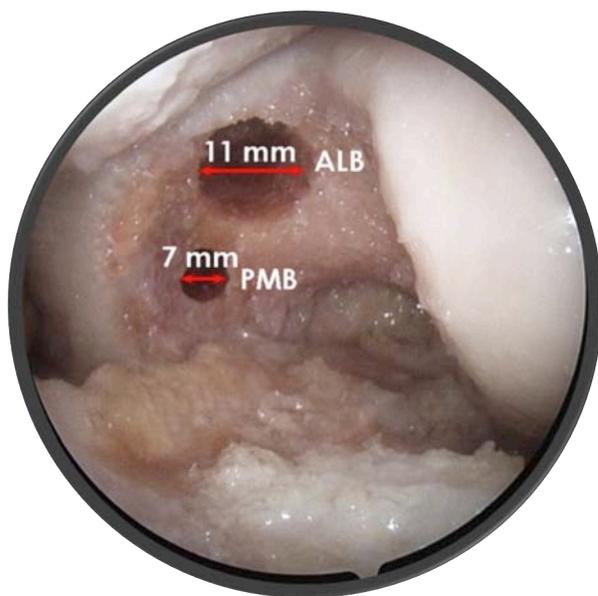


Figura 4: Imagen artroscópica (portal anterolateral) de una rodilla izquierda que representa el posicionamiento de los túneles femorales. Debe existir un puente óseo de al menos 2 mm entre los dos túneles para evitar la convergencia de los mismos. ALB: haz anterolateral, PMB: haz posteromedial.

A la hora de realizar el túnel tibial, se coloca una óptica de 70 grados para facilitar la visualización. En primer lugar, se coloca un shaver a través del portal artroscópico posteromedial para desbridar la inserción tibial del LCP. Distalmente el desbridamiento se debe realizar a lo largo de la faceta PCL hasta que se visualizan las fibras del músculo poplíteo. Es importante en este punto tener cuidado para evitar el desbridamiento demasiado agresivo, ya que las estructuras neurovasculares se encuentran posterior a la cápsula. A continuación, una clavija guía se perfora a través de la tibia usando una guía de LCP, entrando en la cara

anteromedial de la tibia aproximadamente 6 cm distal a la línea de la articulación, centrada entre la tuberosidad anterior de la tibia y el borde medial de la tibia. El objetivo es salir posteriormente en la inserción tibial del LCP justo distal y lateral a las fibras blancas del menisco medial en la cresta del LCP (Figura 5).

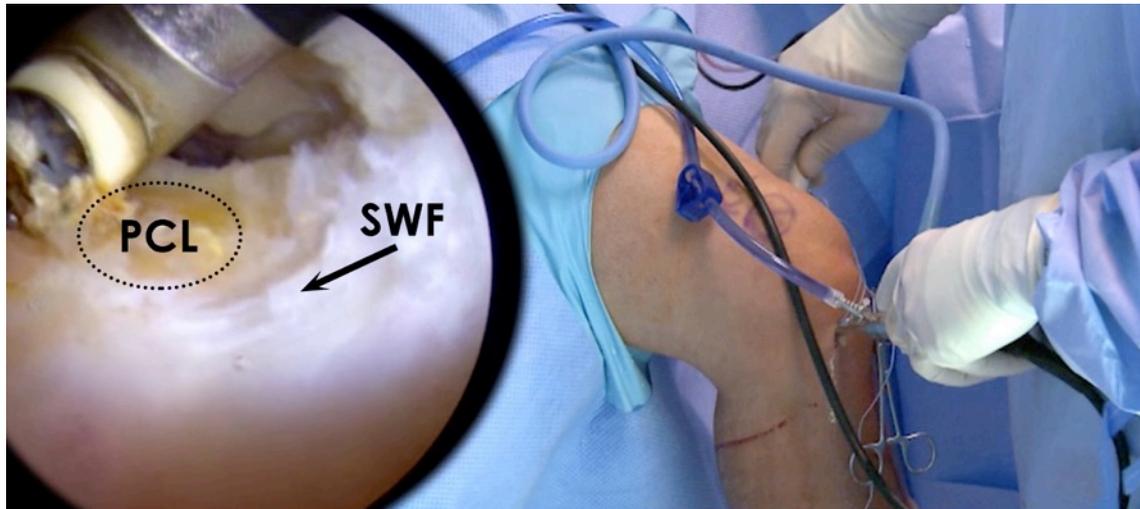


Figura 5: Imagen artroscópica (izquierda) que demuestra el lugar de la inserción tibial PCL y su relación con las fibras blancas y brillantes (SWF) de la raíz meniscal en una rodilla derecha. Un portal posteromedial debe ser creado para facilitar la preparación del túnel tibial (derecha).

En este momento se utiliza radioscopía (perfil) para verificar la ubicación correcta de la clavija guía, aproximadamente 6 a 7 mm proximal a la imagen en copa de champagne en la faceta del LCP en la parte posterior de la tibia. A continuación, una fresa de 12 mm se utiliza para fresar bajo visualización artroscópica directa el túnel tibial. Durante este paso, se inserta a través del portal posteromedial una cureta para alejar los tejidos posteriores de la fresa y proteger la progresión de la punta de la fresa. A continuación, una raspa flexible (Gore Smoother) se pasa hacia proximal por el túnel tibial y se la toma con una pinza desde el portal anteromedial. Con esta última se suaviza la apertura del túnel tibial

intraarticular, para eliminar los restos óseos, que podrían interferir con el paso del injerto. Luego el extremo de este dispositivo se retoma por el portal anterolateral. Es importante ser cauteloso en este paso para no lesionar la raíz posterior del menisco externo.<sup>22</sup>

El injerto del haz PM se pasa primero por su respectivo túnel femoral a través del portal artroscópico anterolateral y se fija con un tornillo interferencial biodegradable de 7 mm de diámetro. A continuación se coloca el taco óseo del injerto del haz AL, pasándolo de manera similar en su túnel femoral y se fija con un tornillo interferencial de titanio de 7 mm. Ambas fijaciones deben realizarse en extremos opuestos para evitar la ruptura del puente óseo. Luego las suturas de los extremos de ambos injertos se pasan a través del bucle de la raspa flexible previamente colocada en el túnel tibial. (Figura 6).



Figura 6: Imagen quirúrgica mostrando los puntos de sutura de los extremos de ambos injertos pasados a través de la punta del bucle de la raspa flexible.

La raspa con las suturas de los injertos en su ojal se tira distalmente por el túnel tibial y los injertos se pasan por el túnel tibial. Una vez pasados los injertos

en la cara anteromedial de la tibia se individualiza y se tensa el haz AL fijándolo primero con un tornillo de 4,5 mm con una arandela de 16 mm con púas manteniendo la rodilla flexionada a 90 grados, en rotación neutra, con una fuerza de reducción anterior a la tibia y la tracción distal aplicada al injerto (Figura 7).



Figura 7: El haz AL se fija a la tibia con un tornillo de 4,5 mm con una arandela de 16 mm con púas manteniendo la rodilla flexionada a 90 grados, en rotación neutra, con una fuerza de reducción anterior de la tibia y tracción distal aplicada al injerto (derecha rodilla).

El haz PM se fija a la tibia con la rodilla en extensión completa con un tornillo de 4,5 mm con una arandela de 14 mm con púas colocada 2 cm aproximadamente a distal del primer tornillo, mientras se tracciona desde el injerto. La fijación del injerto PM a 0° y del injerto AL a 90° ha demostrado una disminución significativa de la laxitud de la rodilla y de la carga del injerto en comparación con el estado seccionado y otros ángulos de fijación.<sup>23</sup> La verificación artroscópica confirma que el ligamento cruzado anterior se ha reducido a su posición normal y el LCP se observa en toda la amplitud de movimiento. Además,



de la rehabilitación.<sup>24, 25</sup> Seis semanas después de la operación, los pacientes inician ejercicios de carga de peso. Se inicia el uso de una bicicleta fija con baja resistencia y prensa del miembro con un máximo de 70 ° de flexión de la rodilla. Los aumentos adicionales de los ejercicios de bajo impacto son permitidos según la tolerancia, a partir de la doceava semana. Seis meses después, los pacientes fueron evaluados clínicamente y con radiografías con estrés de forma rutinaria. Si existe evidencia objetiva de la adecuada curación o ligamentización de la reconstrucción (<2 mm de aumento de la traslación posterior tibial en comparación con la rodilla contralateral), los pacientes pueden prescindir del uso de la férula. Los pacientes con >2 mm de aumento de la traslación posterior, casos de revisión del LCP, o cuando el paciente presenta un índice de masa corporal (IMC) > 35 kg/m<sup>2</sup> deben ser evaluados y manejados de forma más conservadora. A este último grupo de pacientes se los instruye para continuar con la férula en la noche hasta un año después de la operación. Los pacientes a quienes se les permite interrumpir el uso de la férula, pueden iniciar un programa de trote y ejercicios propioceptivos. Las pruebas funcionales se realizaron típicamente entre los nueve y doce meses después de la operación para determinar el regreso a sus actividades completas. Tabla 1.

<i>Fase</i>	<i>Precauciones</i>	<i>Carga peso</i>	<i>Movilidad</i>	<i>Férula</i>	<i>Objetivos</i>
Fase I 0-6 sem	PRHCE Abolir hiperextensión y contracción de isquiotibiales asilada. Prevenir la traslación tibial posterior	NC (x6 sem)	Rango 0 -90 <sup>0</sup> las 2 primeras sem, luego progresión según tolerancia.	Férula (3 días) en extensión completa hasta que pueda utilizar la férula LCP-Jack durante todo el tiempo.(mínimo 24 sem)	Proteger el injerto Reducir el edema mejorar el rango de la movilidad pasiva activación del cuádriceps.
Fase II 6-12 sem	Abolir hiperextensión y contracción de isquiotibiales asilada. Prevenir la traslación tibial posterior	CP	Rango pasivo completo después de las 6 sem	Férula Jack todo el tiempo	Proteger el injerto Agregar muletas o bastones para la CP. MOV(<70 <sup>0</sup> flexión) Ejercicio de fortalecimiento estáticos
Fase III 13-18 sem	Abolir ejercicios de isquiotibiales Hasta la sem 16	CP	Rango pasivo completo	Férula Jack para todas las actividades	Protección de la articulación Carga progresiva incluyendo ejercicios progresivos de isquiotibiales. Puede progresar los 70 <sup>0</sup> después de la 16 sem
Fase IV 19-24 sem	Ninguna	CP	Rango pasivo y activo completo	Férula Jack para todas las actividades	Continuar fortaleciendo Comenzar con ejercicios de campo en el final de esta fase. Examen físico y Rx con estrés.
Fase V 25-36 sem	Ninguna	CP	Rango pasivo y activo completo	Retiro de férula	Retorno al deporte y actividades.

Tabla 1: Protocolo de Rehabilitación de la Reconstrucción del LCP ( Adaptado y modificado a partir de Pierce y cols. 2012; PRHCE = Protección, reposo, hielo, compresión, elevar miembro; NC= no carga; MOV= amplitud de movimiento; CP =carga progresiva).

## **2.4. Evaluación clínica y funcional de la reconstrucción del ligamento cruzado posterior con técnica de doble banda**

### **2.4.1. Diseño y sujetos**

Este fue un estudio aprobado por el comité de revisión institucional de la Steadman Clinic en Vail, Colorado, USA. Todos los pacientes que se sometieron a una reconstrucción LCP de doble haz endoscópico aislados grado III o combinados con lesiones multiligamentarias desde junio de 2010 y abril de 2014 fueron seguidos de forma prospectiva. Los pacientes fueron excluidos si tenían cambios artríticos mayor de grado 2 de Kellgreen Lawrence, consumían corticoides de forma regular, tenían antecedentes de artrofibrosis severa o habían tenido una infección previa.

### **2.4.2. Mediciones**

Se realizaron evaluaciones subjetivas preoperatorias a todos los pacientes con sospecha diagnóstica y resonancia magnética nuclear para confirmar el diagnóstico y radiografías con stress preoperatoria para cuantificar el grado de lesión y postoperatoria para evaluar objetivamente los resultados.

## *Confirmación Diagnóstica*

Previo a la indicación quirúrgica se realizó un exhaustivo examen físico descripto a continuación. Se evaluaron estabilidad, la función nerviosa y estado vascular para evitar el sub-diagnóstico de las lesiones asociadas. Esto fue especialmente importante en casos de una luxación de la rodilla, que tiene un mayor riesgo de lesión neurovascular asociado. Se realizaron 4 pruebas específicas para determinar la integridad del ligamento: el cajón posterior, el hundimiento posterior, la prueba activa del cuádriceps y la prueba de rotación interna en decúbito supino (RI).

La prueba del cajón posterior se llevó a cabo con la rodilla en 90 grados de flexión. En este ángulo de flexión, los cóndilos tibiales anteriores se deben colocar anterior a los cóndilos femorales correspondientes (aproximadamente 10 mm) en una rodilla normal. Si la tibia se puede mover posteriormente 0-5 mm en el lado lesionado, esto se considera un grado I y por lo general corresponde al desplazamiento posterior de los cóndilos tibiales a una posición que todavía es anterior a los cóndilos femorales. Si la tibia se puede desplazar de 5 a 10 mm posteriormente, esto es un signo del cajón posterior grado II, que corresponde al desplazamiento posterior de los cóndilos tibiales hasta el mismo nivel que los cóndilos femorales. Si la tibia se puede desplazar más de 10 mm posteriormente, o posterior a los cóndilos femorales, esto representa un grado III.

La prueba de hundimiento posterior se llevó a cabo con la cadera y la rodilla a 90 grados de flexión, utilizando la gravedad para aplicar una fuerza dirigida posteriormente a la tibia. El hundimiento posterior de la tibia en el lado lesionado

se compara con el lado no lesionado. Una diferencia en el desplazamiento posterior de la tibia sugiere la lesión del LCP.

La prueba activa del cuádriceps consistió en colocar al paciente en decúbito supino y flexionando las rodillas a 90 grados con el pie apoyado sobre la mesa. En la rodilla intacta, una contracción del cuádriceps resulta en la traslación posterior de la tibia con respecto al fémur. En la rodilla con LCP deficiente, la tibia se encuentra en una posición de subluxación posterior, y una contracción del cuádriceps produce la traslación anterior de la tibia con respecto al fémur. Por lo tanto, la traslación anterior con la contracción del cuádriceps con la rodilla en flexión de 90 grados sugiere la lesión del ligamento cruzado posterior.

Por último, la prueba de RI en posición supina se realizó mediante la evaluación de la rotación interna de la tibia en comparación con la pierna contralateral en distintos ángulos de flexión.

### *Escalas de Evaluación Funcional*

Se realizó una evaluación subjetiva clínica funcional con las escalas de IKDC, Cincinatti modificado, traslación posterior y test de Lachman preoperatorio y a los 6 meses postoperatorios.

### *Radiografías Con Estrés*

Se realizó con un soporte a 90 ° que asegura el posicionamiento cómodo, estable y reproducible del paciente durante la radiografía. Este consiste en un brazo horizontal ligeramente acolchado y una extremidad vertical perpendicular al suelo. El brazo horizontal soporta la pierna desde la tuberosidad de la tibia hacia

distal, con la rótula y cóndilos femorales libres sobre el borde. El brazo vertical se asegura de que la rodilla está flexionada a 90°. Los pacientes fueron instruídos para apoyar su peso sobre sus tuberosidades tibiales y no colocar ningún peso sobre la rótula para proporcionar una fuerza posterior. Se les permite estabilizarse por si mismos en una estructura de soporte frente a ellos (Figura 9).



Figura 9: Paciente en el soporte de apoyo para realizar las radiografías con estrés para una rodilla izquierda. Se instruye al paciente para poner todo el peso sobre la tuberosidad anterior de la tibia, mientras se obtiene la radiografía. Las manos pueden estar apoyadas en una baranda.

En la radiografía lateral, a continuación se identifica un punto a lo largo de la cortical posterior de la tibia a 15 cm distal a la línea de la articulación. Se dibuja una línea a partir de ese punto paralelo a la cortical posterior, que pase a través de

los cóndilos femorales, y se marca el punto más posterior de la línea de Blumensaat's (Figura 10).

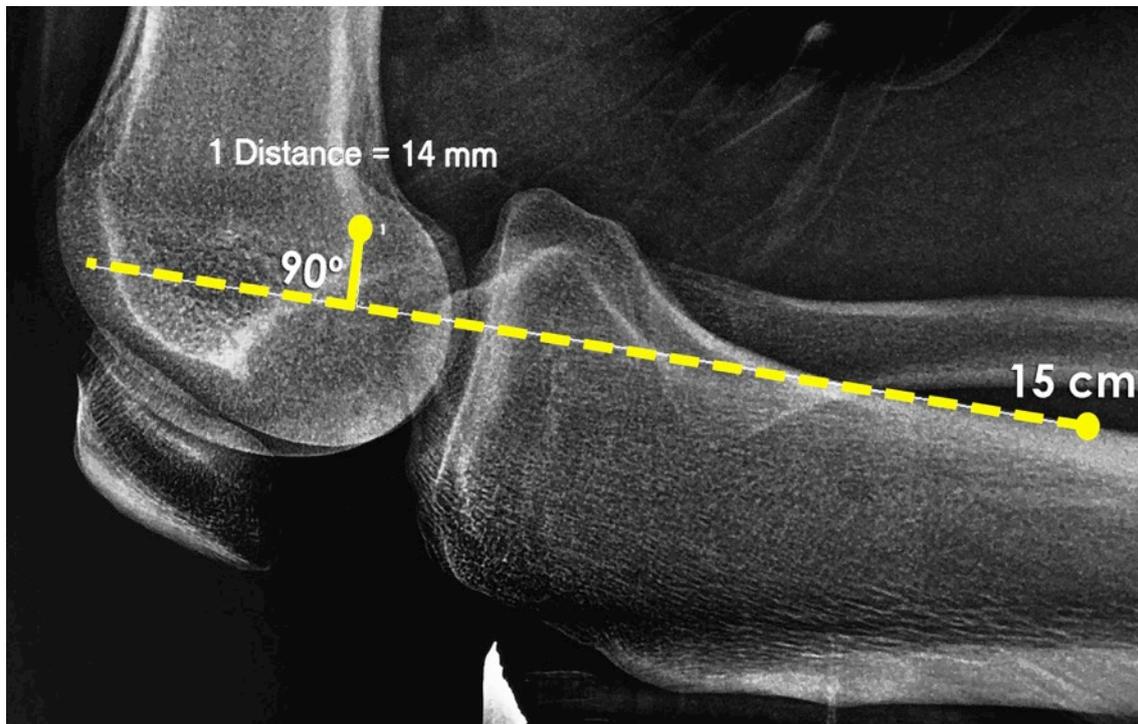


Figura 10: Radiografía lateral de rodilla con estrés en una rodilla derecha que demuestra el método de medición. En primer lugar, un punto se identifica a lo largo de la cortical posterior de la tibia a 15 cm de la línea de la articular y se dibuja una línea desde ese punto paralelo a la cortical posterior, pasando a través de los cóndilos femorales (línea discontinua). Se marca el punto más posterior de la línea de Blumensaat y luego se dibuja y se mide una línea perpendicular que conecta este punto a la línea hecha previamente.

Una línea perpendicular se dibuja desde ese punto hasta intersectar la primera línea, y esta distancia se compara con el lado contralateral (Figura 11).<sup>26</sup> La Tabla 2 muestra los valores que ayudan a diferenciar los diferentes grados de lesiones del LCP.



Figura 11: Radiografías con estrés de rodillas comparativas que demuestran una diferencia de 10 mm sugestiva de una lesión del LCP de rodilla izquierda.

Tabla 2: Clasificación de las lesiones del LCP (MTM = meseta tibial medial; CFM = cóndilo femoral medial)

Grado	Hallazgo clínico cajón posterior	Radiografías con Estrés
I	0-5 mm traslación posterior	< 7 mm Traslación posterior → Sugiere lesión parcial LCP
II	5-10 mm traslación posterior; al ras del CFM	8-11mm Traslación posterior → Sugiere lesión completa LCP
III	> 10 mm traslación posterior; MTM posterior a CFM; hundimiento	≥ 12 mm Traslación posterior → Sugiere lesión combinada

	posterior evidente	
--	--------------------	--

### *Plan de Análisis*

Se analizaron las medidas subjetivas y objetivas previo a la cirugía y posteriormente con un mínimo de dos años de seguimiento utilizando el software SAS (versión 9.1.3 para Windows , SAS Institute, Cary , Carolina del Norte ) . La prueba de Shapiro - Wilk determinó la distribución de datos. Una prueba de t test pareada comparó los datos operativos subjetivos y objetivos pre y post . En función de estudios similares tomados de la literatura se estimaron diferencias y desvíos de 4.1 para las variable Lysholm postoperatoria, lo que arrojó un tamaño muestral estimado en 28 pacientes.

## **3. Resultados**

### **3.1. Anatomía Cualitativa y Cuantitativa del Ligamento Cruzado Posterior**

#### **3.1.1. Anatomía Cualitativa**

El LCP se origina en la cara lateral del cóndilo femoral medial, precisamente en la unión de la pared medial y el techo de la escotadura intercondílea. Luego se

dirige hacia posterior y lateral para insertarse en una depresión en la cara posterior de la tibia, rodeada por una prominencia medial y otra lateral (Figura 12).<sup>27, 28</sup>

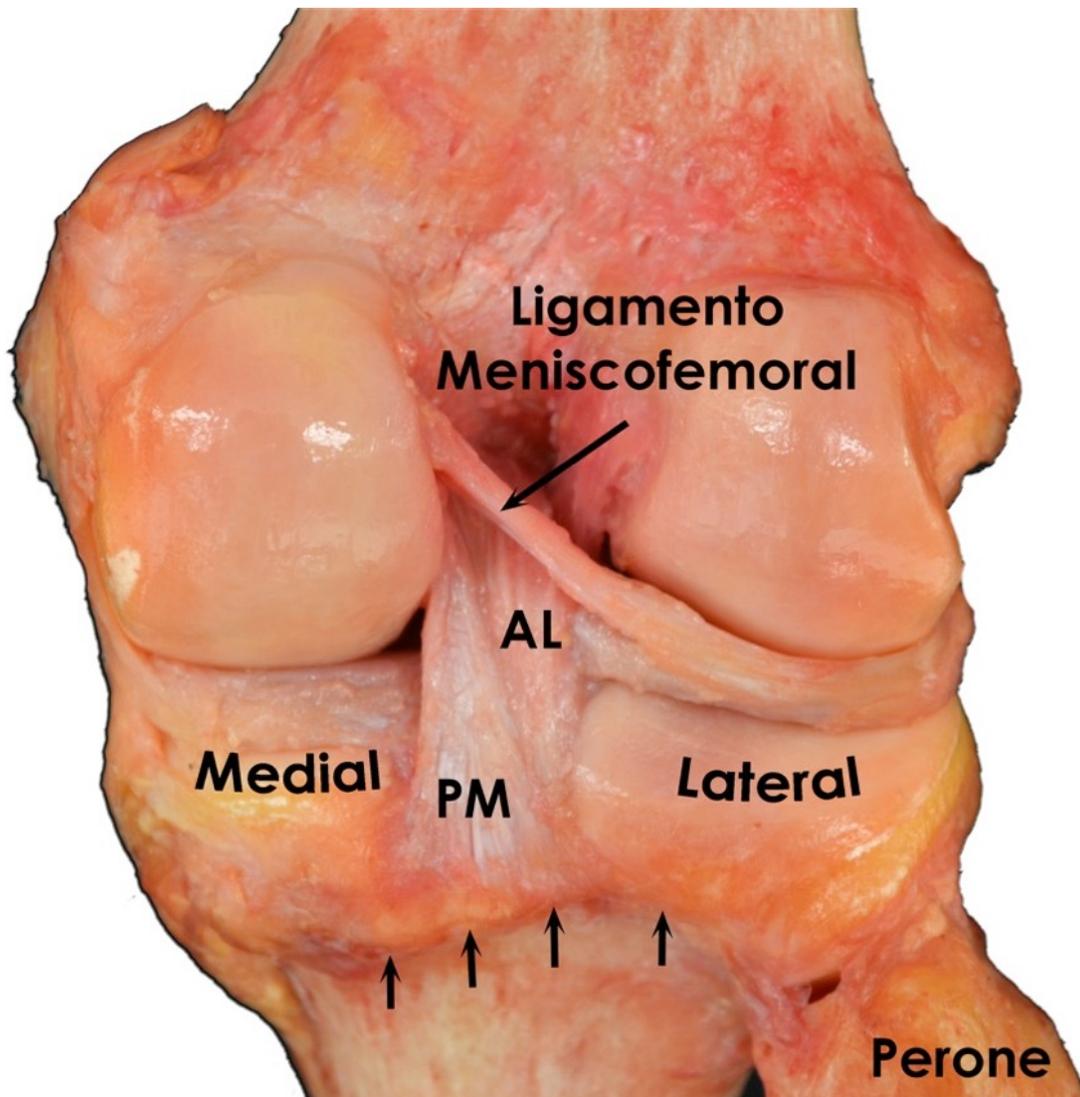


Figura 12: Vista posterior de una rodilla derecha de cadáver mostrando los reparos óseos y de tejido blando del ligamento cruzado posterior (LCP). ALB: haz anterolateral, PMB: haz posteromedial. Reproducido con permiso **Chahla J**, Dean CS, LaPrade RF. Complex Knee Surgery Made Easy iBook. Vail, CO: Steadman Philippon Research Institute; 2016:267.

El ligamento mide de 32 a 38 mm de longitud, con un ancho promedio de 13 mm.<sup>27, 28</sup> La zona media del ligamento es la más compacta, y comprende aproximadamente un tercio del diámetro de las inserciones femoral y tibial con una media de 11 mm de ancho.<sup>29</sup> Aunque el LCP se encuentra dentro de la cápsula de la articulación de la rodilla, se considera extra-articular, ya que está encerrado dentro de su propia vaina sinovial.<sup>30</sup>

Funcionalmente, el LCP se puede dividir en tres porciones basadas en los patrones de tensión. Hay dos partes principales, o haces: uno anterolateral más grande (AL) y otro más pequeño posteromedial (PM).<sup>27, 31, 32</sup> Además se encuentra el tercer haz que puede corresponder a los ligamentos meniscofemorales, el anterior (ligamento de Humphry) y/o el posterior (ligamento de Wrisberg) (Figura 13).<sup>29, 33</sup>

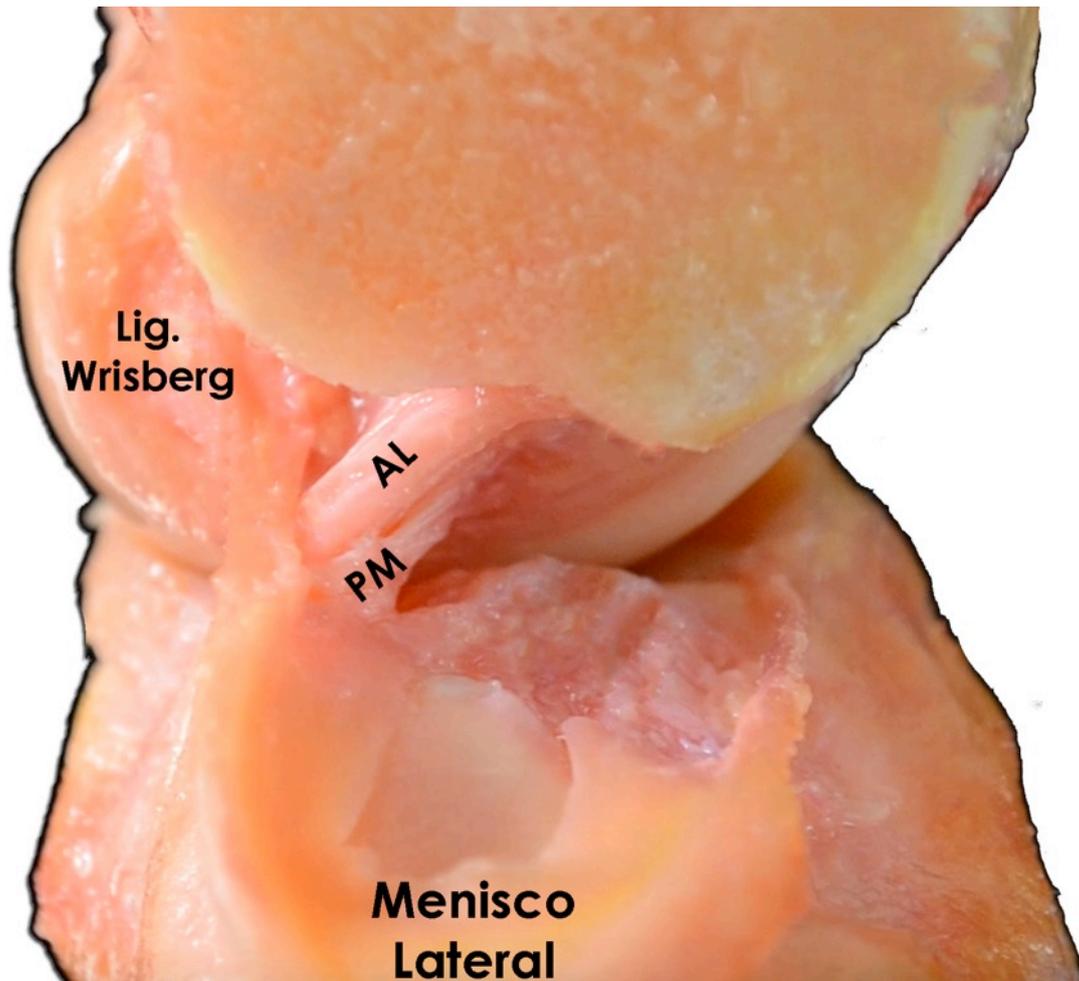


Figura 13: Vista lateral de una rodilla (hemiseccionada) que demuestra la inserción femoral del haz anterolateral (ALB), el haz posteromedial (PMB), y el ligamento meniscofemoral posterior de Wrisberg (PMF).Reproducido con permiso **Chahla J**, Dean CS, LaPrade RF. Complex Knee Surgery Made Easy iBook. Vail, CO: Steadman Philippon Research Institute; 2016:267.

### 3.1.2. Morfología Del Cartílago Articular Femoral Distal

Se identificaron tres puntos característicos a lo largo de la pendiente del cartílago en donde el margen cambia bruscamente de dirección, de una manera constante y definible: el punto troclear, el arco medial, y los puntos posteriores

(Figura 14). Sobre el sector lateral de la escotadura intercondílea, la intersección de el surco terminal con el borde del cartílago produce una convexidad. Por delante de esta convexidad, el borde del cartílago articular forma el vértice de la escotadura intercondílea, que es el punto más anterior de la muesca intercondílea. Este vértice se define como el centro de la línea troclear, ubicada en el sector lateral de la línea media. Sobre el lado medial de este vértice, un punto fue consistentemente encontrado donde el cartílago se vuelve bruscamente vertical en sentido medial, lo que fue denominado el "Punto troclear". El margen de cartílago continúa posteromedialmente en un arco suave. Al final de este arco, existe otro punto a lo largo de la pared medial de la *escotadura* donde el cartílago se orienta hacia posterior. Este es el denominado "punto del arco medial". Por último, continuando a lo largo el borde del cartílago articular, el punto más posterior del margen de cartílago del cóndilo femoral medial se denomina el "punto posterior".<sup>34</sup>

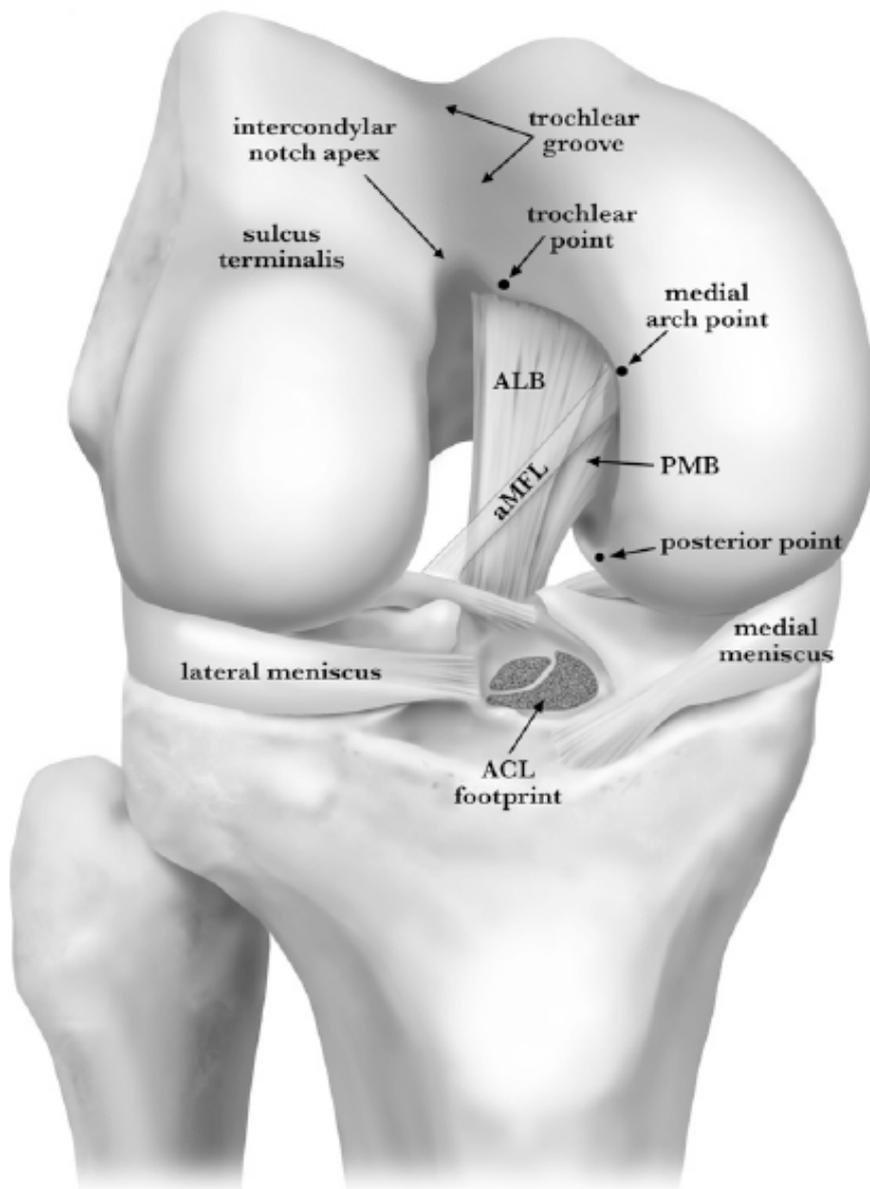


Figura 14: Ilustración esquemática de una vista anterior de una rodilla derecha flexionada a 90° demostrando la morfología característica del margen del cartílago femoral distal del escotadura intercondíleo. ACL = ligamento cruzado anterior, ALB = haz anterolateral, aMFL = ligamento meniscofemoral anterior and PMB = Haz posteromedial.

### 3.1.3. Morfología Ósea del Techo y la Pared Femoral del Intercóndilo

El análisis cualitativo de fémures cadavéricos reveló que el techo y las paredes de la escotadura intercondílea tenían una morfología constante que estaba relacionada con las bandas anterolateral y posteromedial del LCP.<sup>34</sup> La cresta intercondílea medial se encontró presente en todas las muestras. Esta cresta constituye los bordes proximales tanto de los haces anterolateral y posteromedial. En la pared del cóndilo femoral medial, esta cresta se orienta directamente en el plano antero-posterior, y se extiende anteriormente desde el punto posterior de el cartílago articular. La cresta medial bifurcada separa el haz anterolateral y posteromedial.

#### **3.1.4. Inserción Femoral del LCP**

El centro del haz anterolateral se puede triangular entre el punto troclear, el punto del arco medial, y la prominencia bifurcada. El centro del haz posteromedial en cambio se localiza entre el punto del arco medial, el punto posterior y la prominencia medial bifurcada. La distancia media entre los centros de los haces anterolateral y posteromediales es de  $12,1 \pm 1,3$  mm, razón por la cual la realización de un solo túnel femoral (10 mm) no alcanza para replicar la anatomía normal de la inserción femoral del LCP.

El centro del haz anterolateral tiene una distancia media de  $7,4 \pm 1,2$  mm desde el punto troclear y  $11,0 \pm 2,4$  mm desde el punto del arco medial. La distancia media del centro del haz anterolateral al cartílago articular distal, paralela al eje largo del fémur, es de  $7,9 \pm 1,5$  mm, valores importantes como reparos a la hora de la reconstrucción del LCP.

En esta misma línea, el borde distal del haz anterolateral es de  $1,5 \pm 0,8$  mm proximal al margen del cartílago articular. El borde distal de la inserción femoral por lo general es compartida con el ligamento meniscofemoral anterior (Ligamento de Humphrey), si es que está presente. El haz posteromedial tiene una media de  $11,1 \pm 1,9$  mm desde el punto del arco medial. Figura 15.

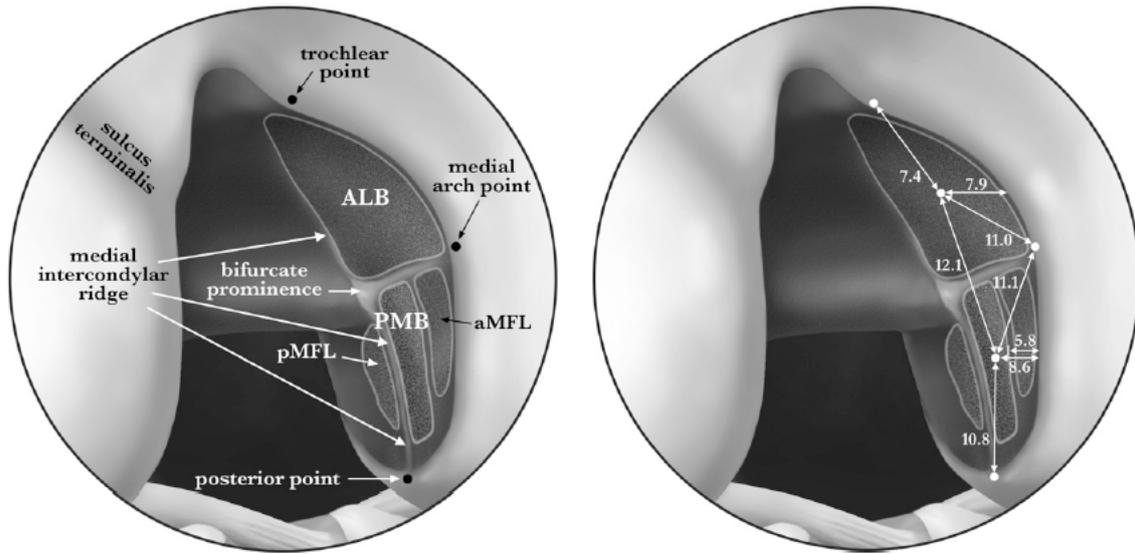


Figura 15: Ilustración esquemática de una vista artroscópica de la inserción femoral del LCP en una rodilla derecha. En estas imágenes se demuestran los reparos anatómicos más importantes para cada haz. ALB = haz anterolateral, aMFL = ligamento meniscofemoral anterior, PMB = haz posteromedial.

### 3.1.5. Inserción Tibial del LCP

La inserción tibial del LCP se encuentra por debajo (distal) de la superficie articular de la tibia en un surco entre dos prominencias óseas (las carillas posteriores de las mesetas tibia medial y lateral). Este surco es la faceta del ligamento cruzado posterior. De manera similar a como el fascículo anteromedial

del LCA envuelve el fascículo posterolateral en su inserción tibial, el haz posteromedial envuelve al haz anterolateral (medial y posteriormente), dando la imagen de tener dos brazos. Figura 16.

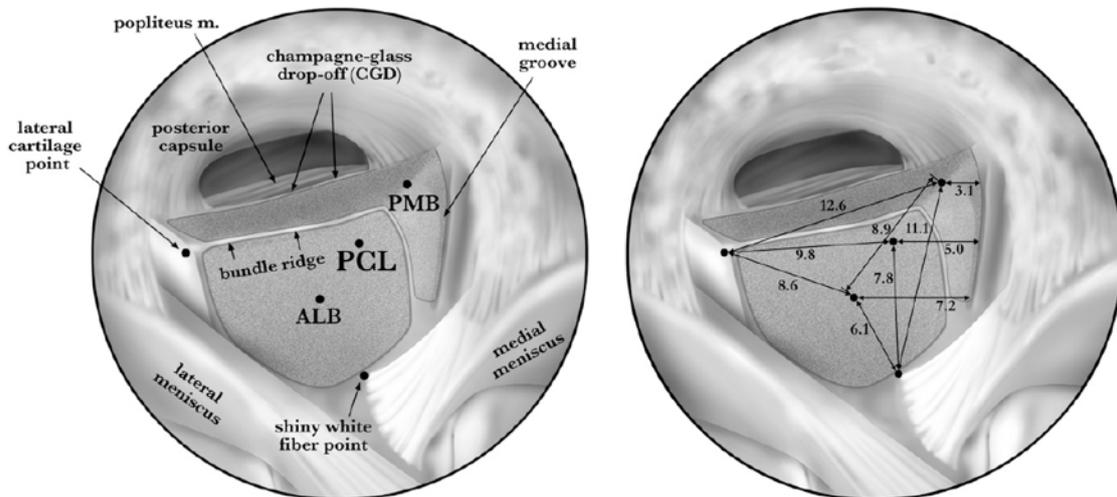


Figura 16: Ilustración esquemática de una vista artroscópica de la inserción tibial del LCP en una rodilla derecha. En estas imágenes se demuestran los reparos anatómicos mas importantes para cada haz y la proximidad de los centros de ambos haces, motivo anatómico por el cual la realización de sólo túnel abarcaría ambos haces. ALB = haz anterolateral, aMFL = ligamento meniscofemoral anterior, PMB = haz posteromedial.

### 3.1.6. Anatomía Quirúrgica

En el fémur, el LCP tiene una huella amplia (32mm diámetro), relativamente vertical en la cara anterolateral del cóndilo femoral medial, a 7-8 mm proximal a la superficie articular desde su punto medio (Figura 17).<sup>35,36</sup>

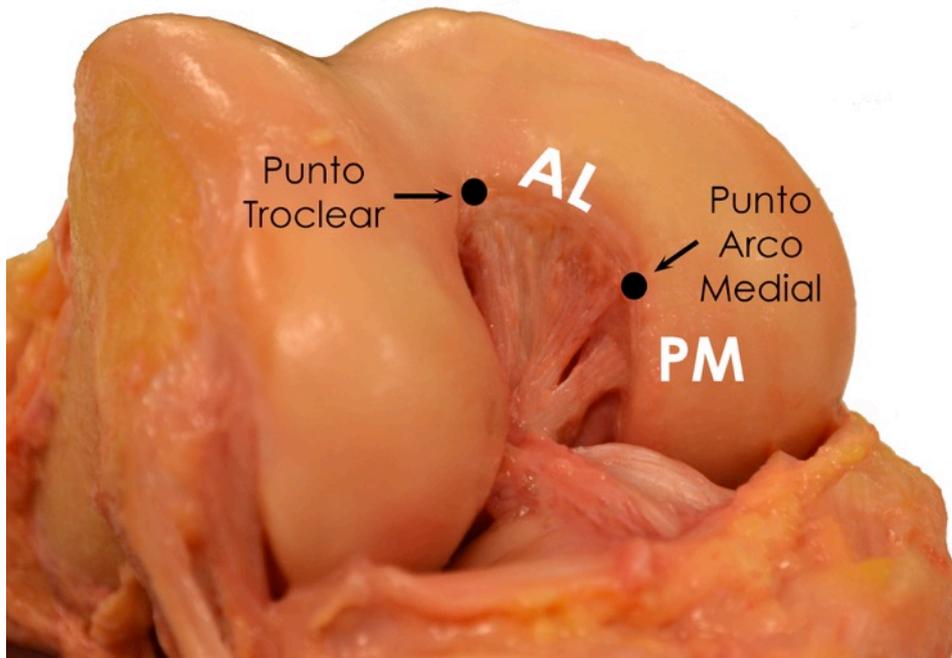


Figura 17: Imagen cadavérica que muestra la inserción femoral del LCP y la relación con el cartílago de los 2 haces. El anterolateral (AL) se localiza entre el punto troclear y el punto arco medial y el haz posteromedial (PMB) por debajo de este punto hasta el punto posterior.

El 75% de las muestras (n = 20) demostraron una forma semicircular de la huella femoral, mientras que el 25% tenían una forma oval.<sup>32</sup> La superficie de la huella femoral era de  $209 \pm 33.82 \text{ mm}^2$ , con mediciones del haz AL y PM de  $118 \pm 23.95 \text{ mm}^2$  y  $90 \pm 16.13 \text{ mm}^2$  respectivamente.<sup>37, 38</sup> Dos prominencias óseas también fueron identificadas en el fémur, la cresta intercondílea medial y la prominencia bifurcada medial.<sup>32</sup> La cresta intercondílea medial es una prominencia ósea de 14 mm de longitud que se encuentra proximal a la huella femoral, que marca el borde proximal de ambos haces y va desde proximal a distal y de anterior a posterior.<sup>32, 34</sup> La prominencia bifurcada medial, es más corta en

longitud que la cresta intercondilar y está situada entre los dos haces.<sup>32, 34</sup> Esta última se encontró presente en menos del 50% de los especímenes examinados en un estudio.<sup>32, 34</sup> La distancia media entre los centros del haz AL y PM es de aproximadamente 12,1 mm (+/- 1,3). Los márgenes distales de los haces AL y PM son de 1,5 +/- 0,8 mm y 5,8 +/- 1,7 mm proximal al cartílago articular respectivamente.<sup>34</sup>

Históricamente, se utilizó el método horario del reloj de agujas para identificar la posición de la colocación del túnel durante la intervención.<sup>1, 39</sup> Sin embargo, evidencia reciente, sugiere que el método de reloj tiene poca precisión clínica y reproducibilidad.<sup>40</sup> Por ello, Anderson y cols. publicaron un estudio cadavérico que tuvo como objetivo determinar las mejores y mas confiables referencias anatómicas artroscópicas para la colocación de los dos túneles con una técnica de doble banda.<sup>34</sup> En el fémur el centro del túnel del haz AL debe ser triangulado sobre la base del punto troclear, el punto del arco medial y la prominencia bifurcada medial, mientras que el borde distal debe ser colocado adyacente al cartílago articular. Por otro lado centro del túnel femoral del haz PM debe ser colocado equidistante desde el punto posterior y el punto del arco medial, inmediatamente distal a la cresta intercondilar medial, con un promedio desde el centro de 8,6 mm proximal al margen del cartílago articular. Debe respetarse una distancia media entre el haz AL y PM de 12,1 mm, por lo que la utilización de un túnel AL de 11-mm diámetro y un túnel PM de 7-mm todavía permitiría un puente óseo de 3 mm entre los dos túneles femorales para evitar la convergencia de ambos túneles. Como se ilustra en la Figura 4, el haz anterolateral (inserción más grande) es más proximal que la huella posteromedial (inserción más pequeña) en el cóndilo femoral medial. En un análisis cuantitativo de los sitios de inserción,

Harner y Baek identificaron el área de inserción femoral del LCP de aproximadamente 128 mm<sup>2</sup>, que es demasiado extensa como para dar lugar a ambos túneles.<sup>37</sup>

En contraste con la inserción femoral, la inserción tibial del LCP es más compacta.<sup>30, 38, 41</sup> Los dos haces se insertan en la tibia sin separación anatómica en una fóvea o faceta, situada en la cara posterior de la tibia en una depresión entre la meseta tibial lateral y medial.<sup>27, 42</sup> La distancia media entre los centros de los haces AL y PM fue de 8,9 mm (+/- 1,2).<sup>34</sup> Las fibras blancas y brillantes del cuerno posterior del menisco medial sirven como el borde anterior de la huella tibial del LCP, mientras que la cresta define consistentemente el margen posterior del haz AL y el margen anterior del haz PM.<sup>34</sup> El centro de los dos haces se encuentra en el ~ 48% del ancho mediolateral de la meseta tibial desde medial.

El centro del túnel tibial se debe colocar inmediatamente anterosuperior a la cresta, en el lado medial de la faceta del LCP, 9,8 mm del punto de cartílago lateral, y 5,0 mm de la fóvea medial. Una imagen artroscópica intraoperatoria y una radiografía lateral (figura 18, A y B) demuestran la posición apropiada de la guía del túnel tibial.

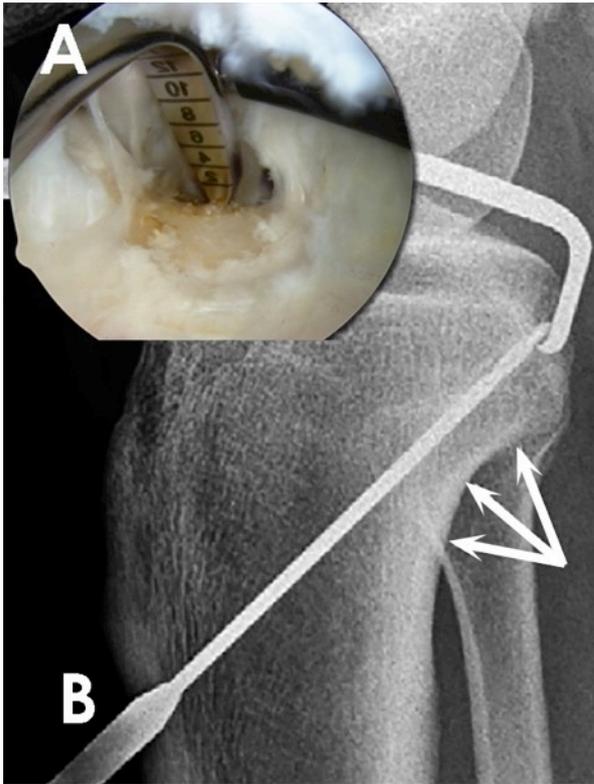


Figura 18: Imagen artroscópica a) demuestra la posición deseada de la guía de LCP en la inserción tibial. B) radiografía lateral intraoperatoria que muestra la ubicación de la guía a 6-7 mm proximal a la imagen en "copa de champagne" en la faceta del LCP.

Esto corresponde a un cuarto del total de la faceta a la corteza tibial posterior (es decir, 7-mm anterior a la corteza posterior).<sup>34</sup> La colocación del túnel más posterior o inferiormente fallará para reproducir la normal anatomía y corre el riesgo de lesión neurovascular del paquete poplíteo, que se encuentra en las proximidades de ligamento. Además, la colocación más anterior del túnel puede comprometer las raíces meniscales posteriores.

### 3.2. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Nativo

### 3.2.1 Traslación Anteroposterior Después de la Sección Individual o Completa de los Haces del LCP

Con una carga tibial posterior de 134N, se realizó la sección del haz AL, el PM y ambos haces demostrando incrementos significativos en la traslación posterior de la tibia en comparación con el estado intacto en todos los ángulos de flexión de rodilla. Los mayores aumentos en la traslación posterior de la tibia fueron registrados a 120 ° de flexión cuando el haz PM fue seccionado ( $1,5 \pm 0,7$  mm) ( $p < 0,001$ ), a 75 ° para cuando el haz AL fue seccionado ( $2,7 \pm 2,0$  mm) ( $p = 0,002$ ), y a 105 ° para el estado de sección completa del LCP ( $12,5 \pm 4,5$  mm) ( $p < 0,001$ ). A 90° de flexión (ángulo de flexión en el que se realiza el examen cajón posterior clínicamente), los aumentos en la traslación posterior fueron de  $0,9 \pm 0,6$  mm ( $p = 0,001$ ),  $2,6 \pm 1,8$  mm ( $p = 0,001$ ), y  $11,7 \pm 4,0$  mm ( $p < 0,01$ ) para el haz PM, AL y para el estado de sección completa, respectivamente. Cuando los haces fueron seccionados en forma aislada la traslación tibial posterior fue significativamente menor en comparación con la sección completa en todos los ángulos de flexión probados ( $p < 0,001$ ). Entre los estados de sección de un haz aislado, la traslación posterior para el haz AL fue significativamente mayor que el haz PM en los ángulos de flexión entre 15° y 90° ( $p < 0,001$ ).

La sección del haz AL y la sección completa del LCP mostraron aumentos significativos en la traslación posterior en comparación con el estado intacto en todos los ángulos flexión de probados ( $P < 0,001$ ). Cuando se seccionó aisladamente el haz PM se hallaron incrementos significativos en la traslación posterior en comparación con el estado intacto en los siguientes ángulos de flexión: 30° , 60° , 75° , 105° y 120°. A 90° de flexión (posición en la que se realizó la prueba del cajón

posterolateral) los aumentos en la traslación posterior en comparación con el estado intacto fueron  $0,4\pm0,5$  mm ( $p = 0,054$ ),  $1,5\pm0,9$  mm ( $p < 0,001$ ), y el  $3,5\pm3,0$  mm ( $p < 0,001$ ) para el haz PM, AL, y estado de sección completo, respectivamente. Comparando la sección del haz AL y PM, el primero tuvo un mayor desplazamiento posterior (significativo) que el haz PM entre los  $30^\circ$  y  $105^\circ$  de flexión. La mayor diferencia entre los 2 estados de sección individuales fue a  $75^\circ$  de flexión ( $p = .004$ ). Figura 19.

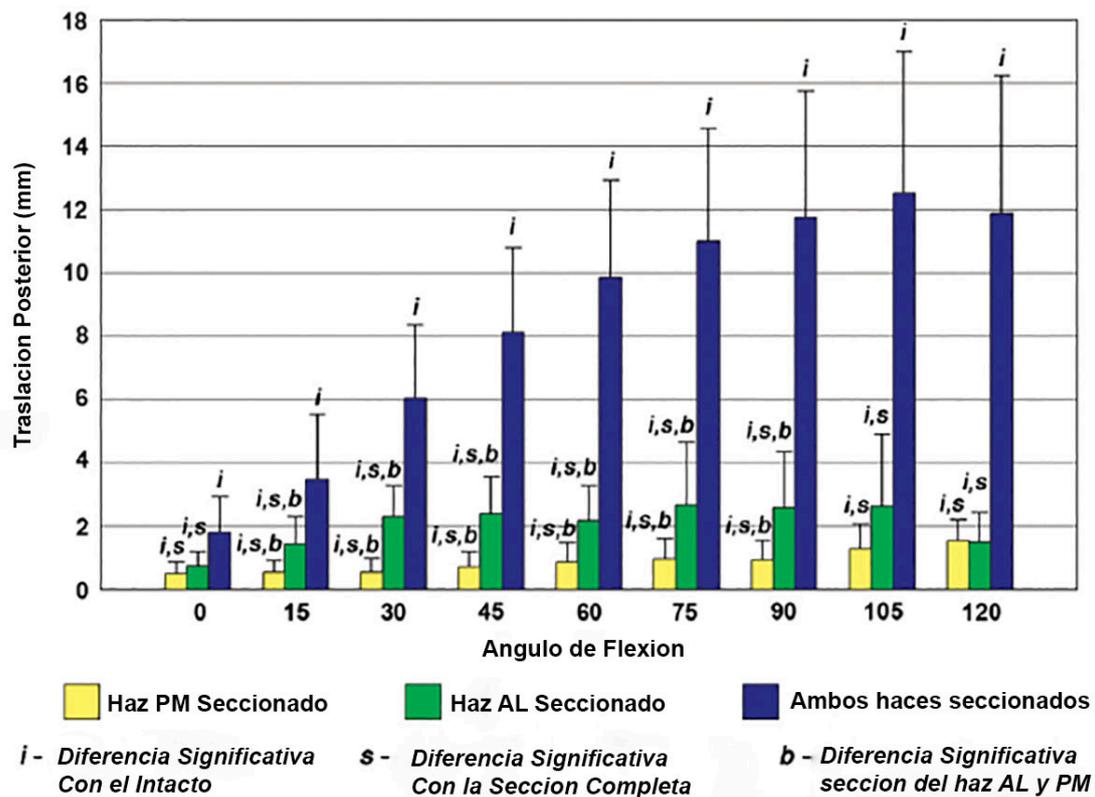


Figura 19: Gráfico de barras que demuestra la co-dominancia de ambos haces (AL y PM) ya que al seccionar cada uno de forma independiente la traslación antero posterior no aumenta de forma significativa como si sucede al seccionar ambos haces.

### 3.2.2. Rotación Interna y Externa Después de la Sección Individual o Completa de los Haces del LCP

Todos los estados presentaron aumentos significativos en la rotación interna cuando se aplicó 5 N m de torsión de fuerza en rotación interna en comparación con el estado intacto en todos los ángulos de flexión. El mayor aumento en rotación interna se observó en el estado sección completa del LCP (si se compara con el estado intacto) y fue de  $2,8 \pm 2,1^\circ$  ( $P < 0,001$ ) a  $105^\circ$  de flexión. El mayor incremento en la rotación interna cuando se seccionó el haz PM aislado (comparado con el estado intacto) fue de  $1,3 \pm 1,0^\circ$  ( $P = 0,002$ ) a  $105^\circ$  de flexión. El mayor incremento en la rotación interna para el estado de sección aislado del haz AL fue de  $0,9 \pm 0,7^\circ$  ( $P = 0,003$ ) en  $75^\circ$ . El estado de sección aislado del haz PM tuvo significativamente menos rotación interna en comparación con el estado de sección completa en ángulos de flexión altos ( $90^\circ$  o más de flexión). El estado de sección individual del haz AL mostró una rotación interna significativamente menor que el estado de sección completa del LCP a  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $105^\circ$  y  $120^\circ$  de flexión. Hubo aumentos significativos en la rotación externa cuando se seccionó el haz PM aisladamente y para el estado de sección completa cuando se comparó con el estado intacto para todos los ángulos de flexión. Cuando se seccionó sólo el haz AL existió mayor rotación externa que en el estado intacto en todos los ángulos de flexión, excepto  $75^\circ$ . A  $90^\circ$  de flexión, los 3 estados aumentaron significativamente la rotación externa, en comparación con el estado intacto:  $0,5 \pm 0,4^\circ$  ( $P = 0,004$ ),  $0,8 \pm 0,8^\circ$  ( $P = 0,019$ ), y  $0,9 \pm 0,9^\circ$  ( $P = 0,001$ ) para el haz PM, AL, y estado de sección completo, respectivamente. Figura 20.

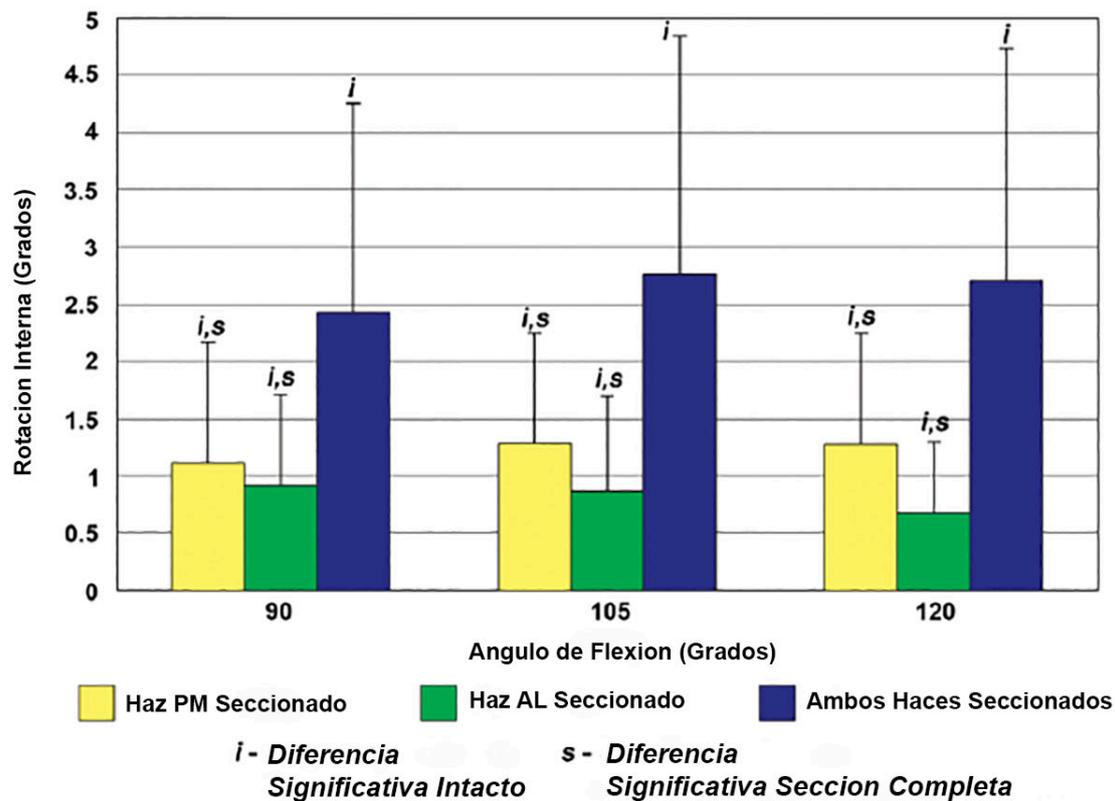


Figura 20: Gráfico de barras que demuestra que todos los estados presentaron aumentos significativos en la rotación interna en comparación con el estado intacto a 90°, 105° y 120° de flexión. El mayor aumento en rotación interna se observó en el estado sección completa del LCP a 105 ° de flexión.

### 3.3. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior Reconstruido

#### 3.3.1 Traslación Anteroposterior Después de la Reconstrucción del LCP. Ángulo Óptimo de Fijación de los Injertos AL y PM

La reconstrucción con doble banda del ligamento LCP redujo significativamente la traslación posterior en comparación con el estado seccionado

en todos los ángulos de flexión ( $P < 0,05$ ). Las combinaciones de ángulos de fijación del injerto del haz PM fijado en  $0^\circ$  aumentaron significativamente la traslación posterior en comparación con el estado intacto de  $0^\circ$  a  $60^\circ$  ( $P < 0,05$ ). Las combinaciones de ángulos de fijación del injerto del haz PM fijado en  $15^\circ$  aumentaron significativamente la traslación tibial posterior en comparación con el estado intacto en  $15^\circ$  a  $75^\circ$  de flexión ( $P < 0,05$ ), a excepción de  $15^\circ/75^\circ$  a  $15^\circ$  de flexión y  $15^\circ/105^\circ$  a  $75^\circ$  de flexión. A  $120^\circ$  de flexión, se observó un constreñimiento no significativo de la rodilla para todas las combinaciones de fijación del injerto, a excepción de la fijación a  $0^\circ/105^\circ$ . A  $0^\circ$  de flexión, la traslación posterior fue significativamente afectada por el ángulo de fijación del injerto PM fijado a  $15^\circ$ , lo que resultó en una traslación significativamente menor en comparación con la fijación a  $0^\circ$  ( $P < 0,05$ ). En contraste, el ángulo de fijación del injerto AL no tuvo efecto significativo sobre la traslación posterior en cualquier ángulo de flexión. Las combinaciones de  $0^\circ/75^\circ$ ,  $0^\circ/90^\circ$ ,  $0^\circ/105^\circ$ ,  $15^\circ/75^\circ$ ,  $15^\circ/90^\circ$  y  $15^\circ/105^\circ$  tuvieron aumentos en la traslación tibial posterior media de  $2,1 \pm 2,3$  mm traslación ( $P = 0,055$ ),  $2,1 \pm 1,9$  mm ( $P < 0,03$ ),  $2,3 \pm 2,5$  mm ( $P = 0,053$ ),  $1,6 \pm 1,9$  mm ( $P = 0,068$ ),  $1,6 \pm 2,2$  mm ( $P = 0,122$ ), y  $1,4 \pm 2,7$  mm ( $P = 0,298$ ), respectivamente, en comparación con el estado intacto en  $90^\circ$  de flexión. Figura 21.

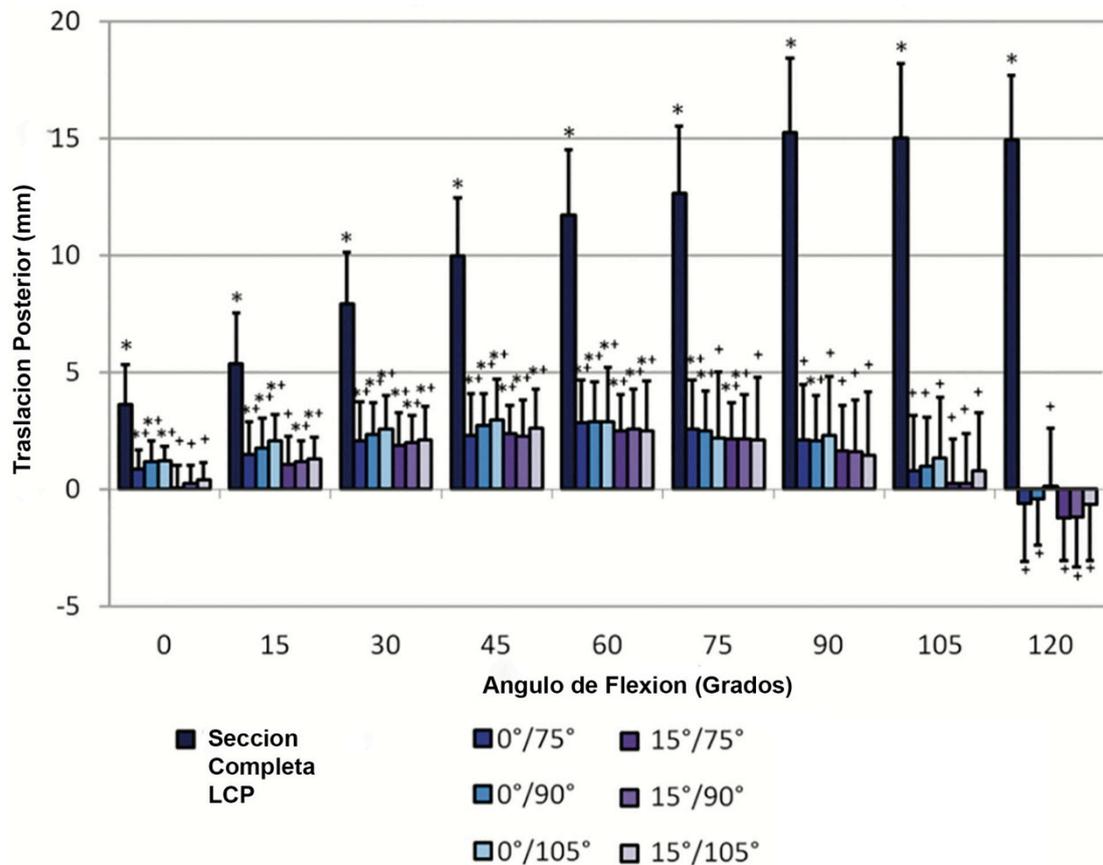


Figura 21: Grafico de barras demostrando cambios en la traslación tibial posterior después de seccionar completamente el LCP y diferentes ángulos de fijación con una reconstrucción de doble banda.

Con una carga tibial posterior 134-N, el aumento del ángulo de fijación del injerto AL produjo una disminución significativa en la fuerza ejercida sobre el injerto AL para todos los ángulos de flexión cuando se agruparon en todos los ángulos de fijación del injerto PM (todos los valores de  $p < 0.02$ ), excepto a  $0^\circ$  de flexión de la rodilla en la que  $90^\circ$  no fue significativamente diferente de  $105^\circ$  ( $P = .124$ ). Además, los aumentos en los ángulos de fijación del injerto AL provocó un aumento en las fuerzas de injerto PM. Para los ángulos de fijación del injerto PM, la fijación en  $15^\circ$  frente a  $0^\circ$  causó un aumento significativo de las fuerzas de injerto PM cuando se agruparon los 3 ángulos de fijación del injerto AL (todos los valores

de  $p < .01$ ). Además, la fijación del injerto PM a  $15^\circ$  causó una reducción significativa de las fuerzas de injerto AL entre  $15^\circ$  a  $90^\circ$  (todos los valores de  $p < 0,04$ ). Figura 22.

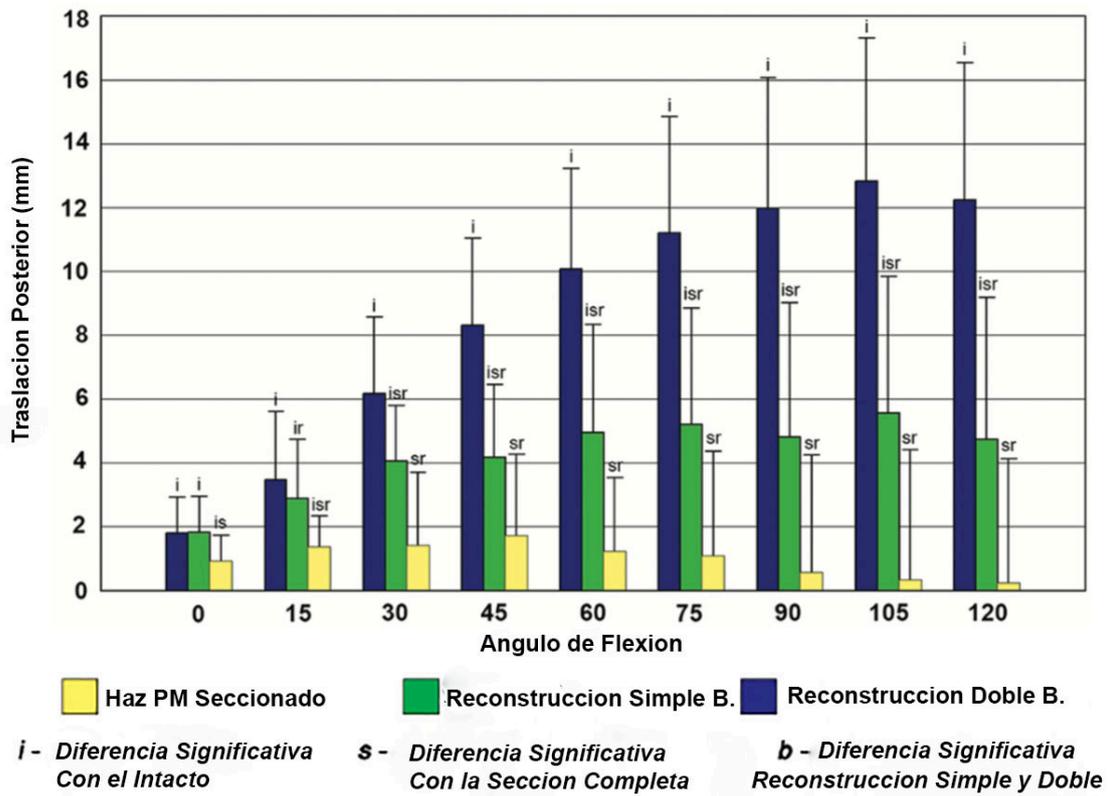


Figura 22: Gráfico de barras demostrando la restitución nativa de la traslación anteroposterior después de una reconstrucción de doble banda. Se puede observar una importante laxitud residual al reconstruir cada banda por separado.

### 3.3.2 Rotación Interna Después de la Reconstrucción del LCP.

Respuesta biomecánica a la rotación interna (5Nm): La sección de ambos haces del LCP resultó en un aumento significativo en la rotación interna de  $60^\circ$  a  $90^\circ$  de flexión. Todas las combinaciones de fijación de los injertos mostraron una rotación significativamente menor en comparación con el estado seccionado en

todos los ángulos de flexión ( $P < 0,05$ ), excepto para la combinación de  $0^\circ/75^\circ$  a  $60^\circ$  de flexión y  $0^\circ/105^\circ$  tanto en  $60^\circ$  y  $120^\circ$  de flexión.

### **3.4. Resultados Clínicos**

#### **3.4.1. Datos Demográficos**

La cohorte de pacientes incluyó 39 pacientes con una media de edad de 33 años (rango, 15 a 72) y un IMC de  $30 \text{ kg/m}^2$  (rango, 21 a  $41 \text{ kg/m}^2$ ). El rango promedio de movimiento de la rodilla era  $-2^\circ$  a  $127^\circ$  de flexión antes de la operación y  $-2^\circ$  a  $130^\circ$  después de la operación. Dieciocho pacientes tenían lesiones agudas (cirugía plazo de seis semanas después de la lesión), y 21 tenía lesiones crónicas. Siete pacientes tuvieron una reconstrucción aislada, mientras que 32 tenían un procedimiento combinado (complejo posteroexterno y reconstrucción del ligamento cruzado anterior). Los siete pacientes con una lesión aislada fueron sintomáticos tanto para el dolor y la inestabilidad. En promedio, eran sintomáticas de 15,3 meses (rango, de uno a treinta y seis meses después de la lesión) y antes de la reconstrucción de PCL. Ocho pacientes se perdieron durante el seguimiento previo a un mínimo de dos años de seguimiento postoperatorio, dejando 31 pacientes con un seguimiento medio de 2,5 años (rango, 2,0 a 4,3 años).

#### **3.4.2. Análisis de los Resultados de Escalas de Valoración Subjetivas**

La media de puntuación subjetiva modificado Cincinnati (y desviación estándar) fue de  $34,5 \pm 22,2$  antes de la operación y mejoró a  $73,2 \pm 27,3$  en el postoperatorio

( $p < 0,0001$ ). Las puntuaciones medias para síntomas y la función preoperatorios fueron  $13,6 \pm 12,6$  y  $20,8 \pm 10,5$ , respectivamente. Después de la operación, las diferentes calificaciones medias de los síntomas y la función mejoraron significativamente a  $35,4 \pm 15,5$  ( $p < 0,0001$ ) y  $38,2 \pm 12,6$  ( $p < 0,0001$ ), respectivamente. Se observó un aumento significativo similar en las puntuaciones subjetivas postoperatorias IKDC. La puntuación media IKDC subjetiva aumentó de  $39,3 \pm 18,8$  a  $74,3 \pm 23,1$  después de la intervención ( $p < 0,0001$ ).

Los datos también se analizaron sobre la base de si las lesiones fueron aisladas o combinadas. Para los siete pacientes que tenían una lesión aislada, la puntuación media de Cincinnati aumentó significativamente de  $49,0 \pm 18,4$  a  $87,4 \pm$  antes de la operación  $18,0$  en el momento de la final del seguimiento ( $p < 0,0001$ ). Las puntuaciones subjetivas promedio IKDC aumentaron significativamente de  $53,5 \pm 12,2$  en el preoperatorio a  $88,3 \pm 14,6$  en el postoperatorio ( $p < 0,001$ ), y las radiografías de estrés posterior demostraron una mejora significativa en medio de la traslación posterior de  $10,4 \pm 1,6$  mm en el preoperatorio a  $0,7 \pm 1,1$  mm después de la operación ( $p < 0,01$ ). A los treinta y dos pacientes que habían combinados lesiones, las puntuaciones medias de Cincinnati aumentaron significativamente de  $33,6 \pm 22,3$  antes de la operación de  $67,5 \pm 28,0$  en el momento del seguimiento final ( $p < 0,0001$ ), las puntuaciones subjetivas promedio IKDC aumentó de  $37,7 \pm 19,0$  antes de la operación de  $69,3 \pm 23,5$  en el postoperatorio ( $p < 0,0001$ ), y el incremento medio de la traslación posterior en las radiografías de estrés posterior mejorados significativamente de  $16,1 \pm 3,7$  mm a  $0,8 \pm 1,1$  mm después de la intervención ( $p < 0,0001$ ).

Los datos también fueron analizados en función del sexo. No se detectaron diferencias significativas en el preoperatorio o postoperatorio modificando puntuaciones de Cincinnati entre los sexos. La edad de los pacientes fue distribuida normalmente y no tenía ninguna asociación con el sexo.

Los datos también se analizaron sobre la base de si las lesiones fueron agudas o crónicas. A los dieciocho pacientes con una lesión aguda, la puntuación de Cincinnati media fue de  $27,6 \pm 22,7$  antes de la cirugía, mejorando significativamente hasta  $81,9 \pm 21,4$  al final del seguimiento ( $p < 0,0001$ ). Las puntuaciones medias IKDC subjetivas aumentaron significativamente de  $30,1 \pm 17,1$  antes de la operación de  $78,6 \pm 19,7$  en el postoperatorio ( $p < 0,0001$ ), y el aumento de la traslación posterior en las radiografías de estrés posteriores mejoraron significativamente de un promedio de  $15,6 \pm 4,2$  mm en el preoperatorio a  $0,7 \pm 1,2$  mm después de la operación ( $p < 0,0001$ ). A los 21 pacientes con una lesión crónica, las puntuaciones medias de Cincinnati aumentaron significativamente de  $40,4 \pm 20,5$  a  $68,1 \pm 27,7$  al final del seguimiento ( $p < 0,001$ ), las puntuaciones subjetivas promedio IKDC aumentaron de  $47,1 \pm 16,2$  a  $71,8 \pm 24,0$  en el postoperatorio ( $p < 0,001$ ), y el aumento de la traslación posterior en las radiografías de estrés posterior mejoraron significativamente de  $14,5 \pm 4,0$  mm antes de la operación a  $1,0 \pm 1,2$  mm después de la intervención ( $p < 0,0001$ ). Se detectó una diferencia significativa entre los grupos de lesiones agudas y crónicas con respecto al preoperatorio en las escalas de Cincinnati ( $p < 0,04$ ) y puntuaciones subjetivas IKDC ( $p < 0,003$ ), pero no se encontró ninguna diferencia significativa entre los grupos con respecto a las puntuaciones de los resultados postoperatorios.

### 3.4.3. Resultados Objetivos (Radiografías Con Estrés)

Antes de la operación, el aumento de la traslación posterior en las radiografías de estrés posterior fue en promedio de  $15 \pm 4,1$  mm en comparación con el lado contralateral. Después de la operación, la traslación posterior en promedio demostró una disminución significativa de  $0,9 \pm 2,0$  mm ( $p < 0,001$ ) en comparación con la rodilla contralateral. En las radiografías de estrés en varo preoperatorio de 19 pacientes, el aumento de la abertura en varo fue un promedio de  $8,0 \pm 5,4$  mm. Después de la operación, demostró una disminución significativa, de  $0,6 \pm 1,4$  mm en comparación con la rodilla contralateral ( $p < 0,0001$ ). Radiografías preoperatorios de estrés en valgo de 14 pacientes demostraron una media de  $5,5 \pm 1,5$  mm con una disminución significativa en el postoperatorio de  $0,4 \pm 0,8$  mm de la abertura del compartimento medial en comparación con la rodilla contralateral, normal ( $p < 0,001$ ).

## 4. Discusión

Aunque se encuentra globalmente aceptado que la reconstrucción de la LCP reduce la traslación tibial posterior y la inestabilidad rotacional, los resultados hasta el presente han sido inconsistentes respecto a la eficacia del procedimiento en la restauración de la función normal y la biomecánica. Esto puede estar basado en la heterogeneidad de las indicaciones, la falta de conocimiento de puntos clave de referencias anatómicas, la baja incidencia relativa de estas lesiones y los diferentes protocolos de rehabilitación. En este sentido, el principal resultado de este trabajo

de tesis fue aportar conceptos anatómicos y biomecánicos constantes que puedan ser reproducidos mediante la reconstrucción del ligamento cruzado posterior con una técnica de doble banda. Por medio de la misma, pudimos comprobar una restitución de la biomecánica de la rodilla nativa que fueron traducidos posteriormente en excelentes resultados clínicos.

#### **4.1 Anatomía del Ligamento Cruzado Posterior**

Históricamente, se utilizó el método horario del reloj de agujas para identificar la posición de la colocación del túnel durante la reconstrucción del LCP.<sup>1,39</sup> Sin embargo, evidencia reciente, sugiere que el método de reloj tiene poca precisión clínica y reproducibilidad.<sup>40</sup> Por ello, determinar las referencias anatómicas artroscópicas más confiables para la colocación de los túneles femorales tiene mayor relevancia como demostramos en la presente tesis.<sup>34</sup> En el fémur el centro del túnel del haz AL debe ser triangulado sobre la base del punto troclear, el punto del arco medial y la prominencia bifurcada medial, mientras que el borde distal debe ser colocado adyacente al cartílago articular. Por otro lado centro del túnel femoral del haz PM debe ser colocado equidistante desde el punto posterior y el punto del arco medial, inmediatamente distal a la cresta intercondilar medial, con un promedio desde el centro de 8,6 mm proximal al margen del cartílago articular. Debe respetarse una distancia media entre el haz AL y PM de 12,1 mm, por lo que la utilización de un túnel AL de 11-mm diámetro y un túnel PM de 7-mm todavía permitiría un puente óseo de 3 mm entre los dos túneles femorales para evitar la convergencia de ambos túneles. El haz anterolateral (inserción más grande) es más proximal que la huella posteromedial

(inserción más pequeña) en el cóndilo femoral medial. En un análisis cuantitativo de los sitios de inserción, Harner y Baek identificaron el área de inserción femoral del LCP de aproximadamente 128 mm<sup>2</sup>, que es demasiado extensa como para dar lugar a ambos túneles.<sup>37</sup> En contraste con la inserción femoral, la inserción tibial del LCP es más compacta.<sup>30, 38, 41</sup> Los dos haces se insertan en la tibia sin separación anatómica en una fóvea o faceta, situada en la cara posterior de la tibia en una depresión entre la meseta tibial lateral y medial.<sup>27, 42</sup> Las fibras blancas y brillantes del cuerno posterior del menisco medial sirven como el borde anterior de la huella tibial del LCP, mientras que la cresta define consistentemente el margen posterior del haz AL y el margen anterior del haz PM.<sup>34</sup> El centro de los dos haces se encuentra en el ~ 48% del ancho mediolateral de la meseta tibial desde medial.<sup>34</sup> Moorman y cols. reportó que la distancia media desde el borde anterior de la inserción tibial del PCL a la corteza tibial posterior es de 15,6 mm (rango, 14 a 18 mm), mientras que el centro de la inserción de LCP fue en promedio 7 mm anterior a la corteza posterior de la tibia, con la mayor parte del ligamento situado en la mitad posterior de su faceta.<sup>43</sup>

El centro del túnel tibial se debe colocar inmediatamente anterosuperior a la cresta, en el lado medial de la faceta del LCP, 9,8 mm del punto de cartílago lateral, y 5,0 mm de la fóvea medial. La colocación del túnel más posterior o inferiormente fallará para reproducir la normal anatomía y corre el riesgo de lesión neurovascular del paquete poplíteo, que se encuentra en las proximidades de ligamento. Además, la colocación más anterior del túnel puede comprometer las raíces meniscales posteriores.

## 4.2. Biomecánica del Ligamento Cruzado Posterior

El LCP constituye el sistema primario de restricción de la traslación posterior de la tibia.<sup>44</sup> Es importante destacar que los estudios biomecánicos han reportado de que el LCP es una estructura no isométrica con tensión desigual en todo el movimiento de flexoextensión de la rodilla.<sup>45</sup> Las fuerzas de cizallamiento aumentan desde los 30° de flexión y son mayores en ángulos de flexión superiores a 50° - 60°.<sup>46-48</sup> La longitud del LCP también aumenta cuando la rodilla está bajo carga en flexión de 0 - 90°,<sup>48-51</sup> luego permanece relativamente constante de 105° - 120°, y después disminuye de 120° - 135°.<sup>50, 51</sup> Además, en un estudio anatómico Ahmad y cols. evaluaron la orientación de las fibras nativas del LCP y su longitud, reportando que el haz AL se hizo más largo y más vertical de 0° a 120° de flexión progresiva de la rodilla.<sup>52</sup> Por el contrario, el haz PM se hizo más corto y más horizontal con la flexión de la articulación. Este aumento de la orientación horizontal del haz PM coloca el vector de fuerza de contención de este haz más en línea para resistir la traslación tibial posterior, a medida que aumenta la flexión. Por el contrario, con la flexión progresiva de la rodilla, el haz AL se vuelve menos orientado (es decir, menos horizontal) para resistir la traslación tibial posterior. Esta relación entre la longitud y la orientación indica que ningún haz es dominante en la limitación de la traslación tibial posterior a lo largo del arco de movimiento de la rodilla.<sup>30</sup> Estos datos difieren de los de Papannagari y cols, que comunicaron un aumento de la longitud de ambos haces con la flexión progresiva de la rodilla en siete sujetos sanos estudiados con resonancia magnética y fluoroscopia tridimensional.<sup>53</sup> Esta falta de función recíproca puede tener implicancia para la reconstrucción quirúrgica de ambos haces porque la fijación del injerto a menos de

90 ° de flexión, como se hace comúnmente para el haz PM, puede sobreconstreñir la rodilla en ángulos de flexión más altos.

Por último, los estudios de esta tesis sugieren que el LCP desempeña un papel en la estabilidad rotacional y sobre todo en los ángulos de flexión más altos.<sup>54, 55</sup> Los estudios biomecánicos han demostrado una restricción significativa del LCP a la rotación interna a partir de los 90 grados de flexión.<sup>54, 55</sup> Más específicamente, el haz PM desempeña un papel pertinente en el mantenimiento de la estabilidad posterior en un rango completo de movimiento y en la estabilidad rotacional más allá de los 90 grados de flexión, lo que sugiere que las reconstrucciones de simple banda que no reconstituyen el haz PM no pueden restaurar la estabilidad posterior completa y la rotacional en comparación con una técnica de doble banda.<sup>54, 55</sup>

Asimismo, cuando se comparan los resultados de reconstrucciones anatómicas con doble banda son significativamente mejores para la restauración de la cinética de la rodilla que las reconstrucciones anatómicas con una sola banda logrando restablecer la traslación anterior y la estabilidad rotacional.<sup>55</sup>

### 4.3 Técnicas Quirúrgicas

Con respecto a las técnicas, la mayoría de los autores usa una técnica transtibial para sus reconstrucciones de simple y doble banda.<sup>56-62</sup>

Cuando se utiliza una sola banda se fijó mas comúnmente a 70º de flexión de la rodilla y cuando fueron de doble banda fueron fijados a 70-90º de flexion para el haz anterolateral y a 20-30º para el haz posteromedial. El injerto más utilizado en reconstrucciones de simple banda fue el Aquiles (aloinjerto)<sup>57, 59, 63, 64</sup> Para reconstrucciones de doble banda el injerto mas utilizado tambien fue el Aquiles

(aloinjerto) con un rango de diámetros de 6 mm a 9 mm para los injertos del haz anterolateral y 6-7 mm para los injertos de posteromedial. La fijación de injerto se logró más comúnmente con un tornillo bio-absorbible. El efecto en los resultados del uso de los distintos injertos para la reconstrucción del LCP sigue siendo una poco reconocido y necesita ser investigado en profundidad. Sin embargo, un estudio reciente que comparó reconstrucciones de LCP de un solo haz con tendones de hueso patelar versus tendón semitendinoso más recto interno no encontró diferencias en escala de Lysholm o radiografías de estrés comparativas en un seguimiento mínimo de un año.<sup>65</sup> Además, otro estudio reciente demostró que un aloinjerto de Aquiles puede ser una opción de injerto superior porque no altera la biomecánica del cuádriceps, que desempeña un papel sinérgico con el LCP en la resistencia a la traslación tibial posterior.<sup>66</sup> El estudio biomecánico de esta tesis usa una reconstrucción doble banda con un aloinjerto de Aquiles de 11 mm para el haz anterolateral y un aloinjerto tibial anterior de 7 mm para el haz posteromedial que demostró restaurar la cinemática de la rodilla a un estado similar al intacto<sup>55,67</sup>

#### **4.4 Resultados Clínicos**

El hallazgo clínico más importante de esta tesis es que la reconstrucción con doble banda del cruzado posterior produjo resultados significativamente superiores con respecto al preoperatorio con resultados objetivos de traslación tibial posterior similares a una rodilla nativa.

Una revisión sistemática reciente<sup>68</sup> comparó los resultados del tratamiento conservador y quirúrgico de las lesiones aisladas del LCP. La tasa de éxito del

tratamiento conservador y reconstructiva eran 33 y 90%, con una diferencia de lado a lado de 3,5 - 5,3 mm vs. 2,0- 3,7 (Telos) y de 3,0 - 5,2 mm a 0,7 - 5,9 mm (KT-1000), respectivamente. Además, en el grupo de tratamiento conservador se encontró un rango más amplio de la estabilidad que la del tratamiento reconstructivo. Este estudio concluyó que se logró un estabilidad más satisfactoria y consistente en el grupo de tratamiento reconstructivo. En lo que respecta, a la reconstrucción de simple banda con doble banda, otra revisión sistemática concluyó que la reconstrucción de doble haz fue significativamente superior a la de una sola banda en estudios biomecánicos. Sin embargo, no se registraron diferencias significativas en los resultados clínicos entre los dos reconstructions.<sup>69</sup>

Recientemente, Spiridonov planteo la hipótesis de que pequeñas variaciones en la técnica pueden conducir a mejores resultados clínicos después de la reconstrucción con doble banda del LCP.<sup>70</sup> Dado que la mayoría de las técnicas quirúrgicas dañan el vasto medial (VM) a través del uso del portal anteromedial, pudiendo retrasar la recuperación muscular por el debilitamiento inicial del cuádriceps. Los autores estudiaron los efectos de un enfoque menos agresivo del VM durante la reconstrucción del LCP. Se analizaron 31 pacientes con lesiones aisladas y combinadas tratados con reconstrucción transtibial de doble banda utilizando aloinjerto de Aquiles colocado en el túnel femoral a través de un portal artroscópico lateral.<sup>70</sup> Los injertos fueron fijados por un método interno y se pasaron distalmente a través de un túnel tibial para evitar lesiones al VM, similar a la técnica quirúrgica descrita anteriormente. Después de un período de al menos dos años, hubo mejoras significativas en las puntuaciones subjetivas y objetivas en comparación con los datos preoperatorios, así como la traslación en las radiografías con estrés, lo que sugiere que esta técnica puede tener éxito en el

tratamiento de pacientes con roturas aisladas y combinados del LCP. Sin embargo, no se utilizaron grupos de comparación.

Además, durante la última década, se han realizado varios estudios para evaluar la eficacia de las reconstrucciones de LCP con banda simple versus doble banda. Hasta la fecha, la literatura no es concluyente con respecto a la superioridad de una técnica sobre la otra. Harner y cols. comparó reconstrucciones simples y dobles en un estudio biomecánico utilizando Aquiles e injertos dobles de semitendinoso para cada técnica.<sup>71</sup> Los autores reportaron diferencias significativas en la traslación tibial posterior en los de simple banda en comparación con la reconstrucción de doble banda y las rodillas normales, y no encontró diferencia en la traslación entre las rodilla con doble banda y las rodillas normales. Los autores concluyeron que la reconstrucción con doble banda restauraría mejor la biomecánica de la rodilla en comparación a la simple banda en todo el rango de movimiento de la rodilla.<sup>71</sup> En contraste, el uso de una técnica de incrustación tibial (*Inlay Technique*), Bergfeld y cols.<sup>72</sup> no encontraron ninguna diferencia en la traslación en las reconstrucciones con simple o doble banda en diversos grados de flexión, concluyendo que ambas técnicas reproducen la estabilidad posterior de la rodilla. En su conjunto, con otros estudios publicados,<sup>57, 73-76</sup> existen datos contradictorios y no existe a la fecha un consenso claro en la literatura de que una técnica es superior.

## Conclusiones

Estudios recientes que examinan las propiedades de la anatomía y la biomecánica del LCP han dado lugar a nuevas técnicas quirúrgicas de reconstrucción que intentan replicar el comportamiento funcional del LCP nativo a

través del rango completo de movimiento de la rodilla. La reconstrucción con doble banda artroscópica aquí descrita permite la restauración de la estabilidad rotacional y posterior a través del rango completo de movimiento de la rodilla, y los estudios clínicos preliminares reportados en el marco de este trabajo de tesis han demostrado resultados clínicos buenos a excelentes a corto plazo utilizando esta técnica.

Se necesitan más estudios para evaluar más a fondo la eficacia clínica de las diversas técnicas quirúrgicas, incluyendo las técnicas con una sola banda frente a las técnicas de reconstrucción con doble banda y la de incrustación tibial. También es importante dilucidar los principios de rehabilitación pertinentes a cada una, para poder mejorar los resultados funcionales y biomecánicos del paciente tanto en el tratamiento quirúrgico como conservador de las lesiones de LCP.

## Referencias

1. Allen CR, Harner CD, Miller MD, Cole BJ. RJ, Posterior cruciate ligament: diagnosis and decision making. *In Eds Textbook of Arthroscopy Elsevier*.2004 SRC - GoogleScholar.
2. Chahla J, Dean CS, LaPrade RF. Complex Knee Surgery Made Easy. Vail, CO: Steadman Philippon Research Institute; 2016:267.
3. Richter M, Kiefer H, Hehl G, Kinzl L. Primary repair for posterior cruciate ligament injuries. An eight-year followup of fifty-three patients. *Am J Sports Med*. 1996;24:298-305.
4. Espejo-Baena A, Lopez-Arevalo R, Urbano V, Montanez E, Martin F. Arthroscopic repair of the posterior cruciate ligament: two techniques. *Arthroscopy*. 2000;16:656-660.
5. Kim SJ, Shin SJ, Choi NH, Cho SK. Arthroscopically assisted treatment of avulsion fractures of the posterior cruciate ligament from the tibia. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83-A:698-708.
6. Fanelli GC, Edson CJ. Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients: Part II. *Arthroscopy*. 1995;11:526-529.
7. Pierce CM, O'Brien L, Griffin LW, Laprade RF. Posterior cruciate ligament tears: functional and postoperative rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21:1071-1084.
8. Chahla J, Moatshe G, Dean C, LaPrade R. Posterolateral Corner of the Knee: Current Concepts. *The Archives of Bone and Joint Surgery*. 2016;4:97-103.

9. Shelbourne KD, Jennings RW, Vahey TN. Magnetic resonance imaging of posterior cruciate ligament injuries: assessment of healing. *Am J Knee Surg.* 1999;12:209-213.
10. Jung YB, Tae SK, Lee YS, Jung HJ, Nam CH, Park SJ. Active non-operative treatment of acute isolated posterior cruciate ligament injury with cylinder cast immobilization. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:729-733.
11. Harner CD, Höher J. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries. *The American journal of sports medicine.* 1998;26:471-482.
12. Shelbourne KD, Muthukaruppan Y. Subjective results of nonoperatively treated, acute, isolated posterior cruciate ligament injuries. *Arthroscopy.* 2005;21:457-461.
13. Shelbourne KD, Davis TJ, Patel DV. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999;27:276-283.
14. Shelbourne KD, Gray T. Natural history of acute posterior cruciate ligament tears. *J Knee Surg.* 2002;15:103-107.
15. Strobel MJ, Weiler A, Schulz MS, Russe K, Eichhorn HJ. Arthroscopic evaluation of articular cartilage lesions in posterior-cruciate-ligament-deficient knees. *Arthroscopy.* 2003;19:262-268.
16. Van de Velde SK, Bingham JT, Gill TJ, Li G. Analysis of tibiofemoral cartilage deformation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:167-175.
17. Dean CS, Liechti DJ, Chahla J, Moatshe G, LaPrade RF. Clinical Outcomes of High Tibial Osteotomy for Knee Instability A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine.* 2016;4:2325967116633419.

18. Veltri, Warren. Isolated and Combined Posterior Cruciate Ligament Injuries. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 1993;1:67-75.
19. Bianchi M. Acute tears of the posterior cruciate ligament: clinical study and results of operative treatment in 27 cases. *The American journal of sports medicine*. 1983;11:308-314.
20. Markolf KL, Feeley BT, Tejwani SG, Martin DE, McAllister DR. Changes in knee laxity and ligament force after sectioning the posteromedial bundle of the posterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2006;22:1100-1106.
21. Chahla J, Nitri M, Civitaresse D, Dean CS, Moulton SG, LaPrade RF. Anatomic Double-Bundle Posterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy Techniques*. año?5:e149-e156.
22. Chahla J, Moulton SG, LaPrade CM, Dean CS, LaPrade RF. Posterior Meniscal Root Repair: The Transtibial Double Tunnel Pullout Technique. *Arthroscopy Techniques*.
23. Kennedy NI, LaPrade RF, Goldsmith MT, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 2: biomechanical evaluation for anatomic double-bundle reconstruction. *The American journal of sports medicine*. 2014;42:2346-2355.
24. Lutz GE, Palmitier RA, An KN, Chao EY. Comparison of tibiofemoral joint forces during open-kinetic-chain and closed-kinetic-chain exercises. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75:732-739.
25. Lopez-Vidriero E, Simon DA, Johnson DH. Initial evaluation of posterior cruciate ligament injuries: history, physical examination, imaging studies, surgical and nonsurgical indications. *Sports Med Arthrosc*. 2010;18:230-237.

26. Jackman T, LaPrade RF, Pontinen T, Lender PA. Intraobserver and interobserver reliability of the kneeling technique of stress radiography for the evaluation of posterior knee laxity. *Am J Sports Med.* 2008;36:1571-1576.
27. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1975:216-231.
28. Parolie JM, Bergfeld JA. Long-term results of nonoperative treatment of isolated posterior cruciate ligament injuries in the athlete. *Am J Sports Med.* 1986;14:35-38.
29. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1995;23:736-745.
30. Matava MJ, Ellis E, Gruber B. Surgical treatment of posterior cruciate ligament tears: an evolving technique. *J Am Acad Orthop Surg.* 2009;17:435-446.
31. Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, Moebius UG, Soucacos PN. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under microsurgical dissection. *Arthroscopy.* 2000;16:627-632.
32. Lopes OV, Jr., Ferretti M, Shen W, Ekdahl M, Smolinski P, Fu FH. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90:249-255.
33. Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD. Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58:350-355.
34. Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial

bundles of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94:1936-1945.

**35.** Fuss FK. Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. *Am J Anat.* 1989;184:165-176.

**36.** Mejia EA, Noyes FR, Grood ES. Posterior cruciate ligament femoral insertion site characteristics. Importance for reconstructive procedures. *Am J Sports Med.* 2002;30:643-651.

**37.** Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy.* 1999;15:741-749.

**38.** Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy.* 2007;23:284-290.

**39.** Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, Yagi M, Vogrin TM, Woo SL. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2000;28:144-151.

**40.** Apsingi S, Bull AMJ, Deehan DJ, Amis AA. Review: femoral tunnel placement for PCL reconstruction in relation to the PCL fibre bundle attachments. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA.* 2009;17:652-659.

**41.** Dargel J, Pohl P, Tzikaras P, Koebke J. Morphometric side-to-side differences in human cruciate ligament insertions. *Surg Radiol Anat.* 2006;28:398-402.

**42.** Cosgarea AJ, Jay PR. Posterior cruciate ligament injuries: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2001;9:297-307.

**43.** Moorman CT, Murphy Zane MS, Bansai S, et al. Tibial insertion of the posterior cruciate ligament: a sagittal plane analysis using gross, histologic, and

radiographic methods. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2008;24:269-275.

44. Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1980;62:259-270.

45. Covey DC, Sapega AA, Riffenburgh RH. The effects of sequential sectioning of defined posterior cruciate ligament fiber regions on translational knee motion. *Am J Sports Med*. 2008;36:480-486.

46. Escamilla RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:127-141.

47. Mesfar W, Shirazi-Adl A. Knee joint biomechanics in open-kinetic-chain flexion exercises. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23:477-482.

48. Escamilla RF, Zheng N, MacLeod TD, et al. Cruciate ligament tensile forces during the forward and side lunge. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2010;25:213-221.

49. Li G, DeFrate LE, Sun H, Gill TJ. In vivo elongation of the anterior cruciate ligament and posterior cruciate ligament during knee flexion. *Am J Sports Med*. 2004;32:1415-1420.

50. Papannagari R, DeFrate LE, Nha KW, et al. Function of posterior cruciate ligament bundles during in vivo knee flexion. *Am J Sports Med*. 2007;35:1507-1512.

51. Jeong WS, Yoo YS, Kim DY, et al. An analysis of the posterior cruciate ligament isometric position using an in vivo 3-dimensional computed tomography-based knee joint model. *Arthroscopy*. 2010;26:1333-1339.

52. Ahmad CS, Cohen ZA, Levine WN, Gardner TR, Ateshian GA, Mow VC. Codominance of the individual posterior cruciate ligament bundles. An analysis of

bundle lengths and orientation. *The American journal of sports medicine*. 2003;31:221-225.

53. Papannagari R, DeFrate LE, Nha KW, et al. Function of posterior cruciate ligament bundles during in vivo knee flexion. *The American journal of sports medicine*. 2007;35:1507-1512.

54. Kennedy NI, Wijdicks CA, Goldsmith MT, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 1: the individual and collective function of the anterolateral and posteromedial bundles. *Am J Sports Med*. 2013;41:2828-2838.

55. Wijdicks CA, Kennedy NI, Goldsmith MT, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 2: a comparison of anatomic single- versus double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med*. 2013;41:2839-2848.

56. Li Y, Li J, Wang J, Gao S, Zhang Y. Comparison of single-bundle and double-bundle isolated posterior cruciate ligament reconstruction with allograft: a prospective, randomized study. *Arthroscopy*. 2014;30:695-700.

57. Wang CJ, Weng LH, Hsu CC, Chan YS. Arthroscopic single- versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstructions using hamstring autograft. *Injury*. 2004;35:1293-1299.

58. Yoon KH, Bae DK, Song SJ, Cho HJ, Lee JH. A prospective randomized study comparing arthroscopic single-bundle and double-bundle posterior cruciate ligament reconstructions preserving remnant fibers. *Am J Sports Med*. 2011;39:474-480.

59. Deie M, Adachi N, Nakamae A, Takazawa K, Ochi M. Evaluation of single-bundle versus double-bundle PCL reconstructions with more than 10-year follow-up. *ScientificWorldJournal*. 2015;2015:751465.

- 60.** Fanelli GC, Beck JD, Edson CJ. Single compared to double-bundle PCL reconstruction using allograft tissue. *J Knee Surg.* 2012;25:59-64.
- 61.** Kim SJ, Kim TE, Jo SB, Kung YP. Comparison of the clinical results of three posterior cruciate ligament reconstruction techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:2543-2549.
- 62.** Kim SJ, Jung M, Moon HK, Kim SG, Chun YM. Anterolateral transtibial posterior cruciate ligament reconstruction combined with anatomical reconstruction of posterolateral corner insufficiency: comparison of single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction over a 2- to 6-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2011;39:481-489.
- 63.** Hatayama K, Higuchi H, Kimura M, Kobayashi Y, Asagumo H, Takagishi K. A comparison of arthroscopic single- and double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: review of 20 cases. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2006;35:568-571.
- 64.** Jain V, Goyal A, Mohindra M, Kumar R, Joshi D, Chaudhary D. A comparative analysis of arthroscopic double-bundle versus single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon autograft. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136:1555-1561.
- 65.** Maruyama Y, Shitoto K, Baba T, Kaneko K. Evaluation of the clinical results of posterior cruciate ligament reconstruction -a comparison between the use of the bone tendon bone and semitendinosus and gracilis tendons. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2012;4:30.
- 66.** Hoher J, Scheffler S, Weiler A. Graft choice and graft fixation in PCL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11:297-306.

67. Kennedy NI, LaPrade RF, Goldsmith MT, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 2: biomechanical evaluation for anatomic double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014;42:2346-2355.
68. Ahn S, Lee YS, Song YD, Chang CB, Kang SB, Choi YS. Does surgical reconstruction produce better stability than conservative treatment in the isolated PCL injuries? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136:811-819.
69. Qi YS, Wang HJ, Wang SJ, Zhang ZZ, Huang AB, Yu JK. A systematic review of double-bundle versus single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:45.
70. Spiridonov SI, Slinkard NJ, LaPrade RF. Isolated and combined grade-III posterior cruciate ligament tears treated with double-bundle reconstruction with use of endoscopically placed femoral tunnels and grafts: operative technique and clinical outcomes. *The Journal of bone and joint surgery. American volume.* 2011;93:1773-1780.
71. Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, Yagi M, Vogrin TM, Woo SL. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine.* 2000;28:144-151.
72. Bergfeld JA, Graham SM, Parker RD, Valdevit ADC, Kambic HE. A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstructions using single- and double-bundle tibial inlay techniques. *The American journal of sports medicine.* 2005;33:976-981.
73. Houe T, Jorgensen U. Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction: one- vs. two-tunnel technique. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14:107-111.

- 74.** Hatayama K, Higuchi H, Kimura M, Kobayashi Y, Asagumo H, Takagishi K. A comparison of arthroscopic single- and double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: review of 20 cases. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2006;35:568-571.
- 75.** Kohen RB, Sekiya JK. Single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2009;25:1470-1477.
- 76.** Kim YM, Lee CA, Matava MJ. Clinical results of arthroscopic single-bundle transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Am J Sports Med*. 2011;39:425-434.