



Universitat Autònoma de Barcelona

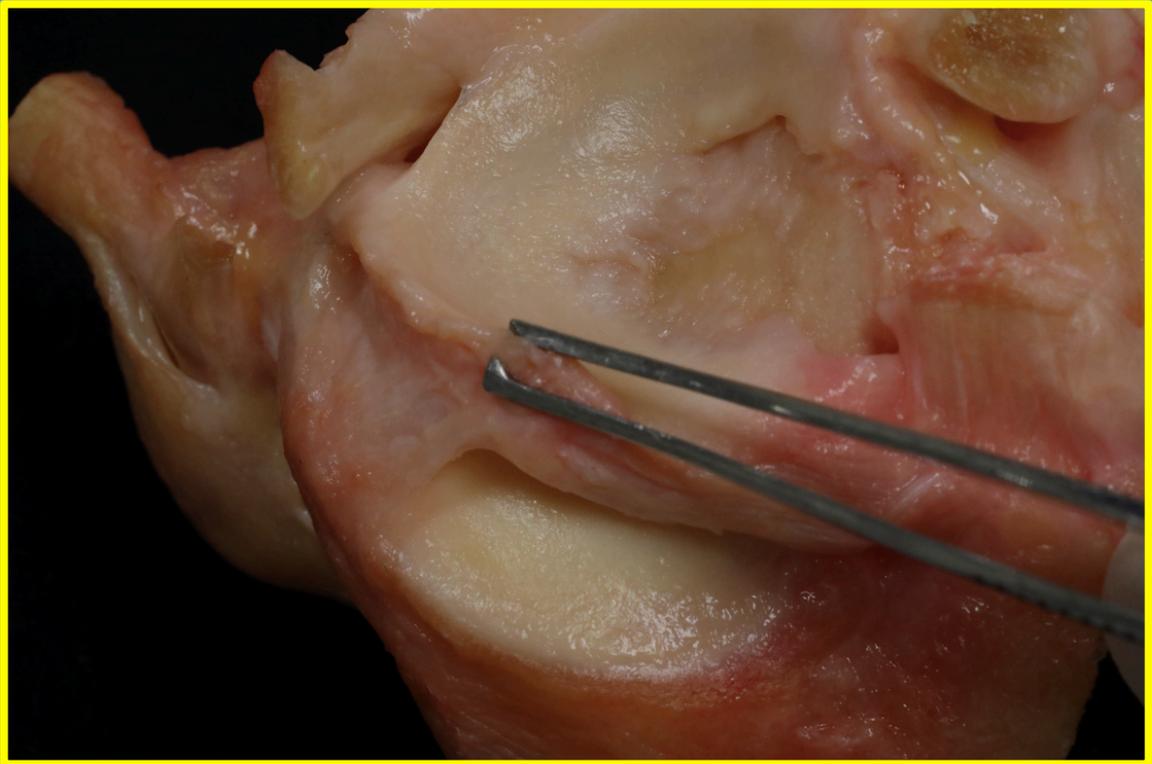
**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

# ¿Es la capsulodesis la clave para evitar la extrusión meniscal después de un trasplante?

Estudio clínico, radiológico y anatómico



**Tesis Doctoral**

**ÀNGEL MASFERRER PINO**

**Directores**

**Prof. Joan Carles Monllau Garcia MD PhD**

**Pablo E. Gelber Ghertner MD PhD**

**Octubre 2020**

# ¿Es la capsulodesis la clave para evitar la extrusión meniscal después de un trasplante?

Estudio clínico, radiológico y anatómico

Tesis doctoral

**ÀNGEL MASFERRER PINO**

Directores

**Prof. Joan Carles Monllau Garcia MD PhD**

**Pablo E. Gelber Ghertner MD PhD**

Tutor

**Prof. Joan Carles Monllau Garcia MD PhD**



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

Departamento de Cirugía  
Programa de Cirugía y Ciencias  
Morfológicas

**Barcelona, Octubre de 2020**



### **Agradecimientos:**

Quisiera dar las gracias a todas aquellas personas, compañeros, amigos e instituciones médicas que han colaborado de alguna manera en la realización de los tres estudios publicados que conforman esta tesis por compendio de artículos.

Agradecer sobretodo a cada uno los integrantes de mi equipo habitual, Equilae, liderados por el Dr. Joan Carles Monllau, jefe y referente para todos nosotros. Especialmente a Joan Carles, Pablo y al resto del equipo, es a quien debo la gran parte de mis conocimientos y habilidades quirúrgicas de un mundo que me apasiona: la rodilla. Gracias por creer en este proyecto.

### **Dedicado a:**

A toda mi familia: a mi padre Ángel Carlos, mi madre María Victoria y mis hermanos Verónica y Andreu, por transmitirme siempre los mejores valores como persona, que luego he podido aplicar como médico a mis pacientes.

A mi abuela Mari Carmen, que me vio crecer como médico durante mis primeros pasos en la Facultad de Medicina.

A mi mujer Gemma, a quien admiro como persona por sus valores y como profesional por su esfuerzo, y con quién he podido compartir los mejores momentos de mi vida. No podría tener una mejor compañera de viaje en esta vida. Gràcies per ser-hi sempre.



## ÍNDICE

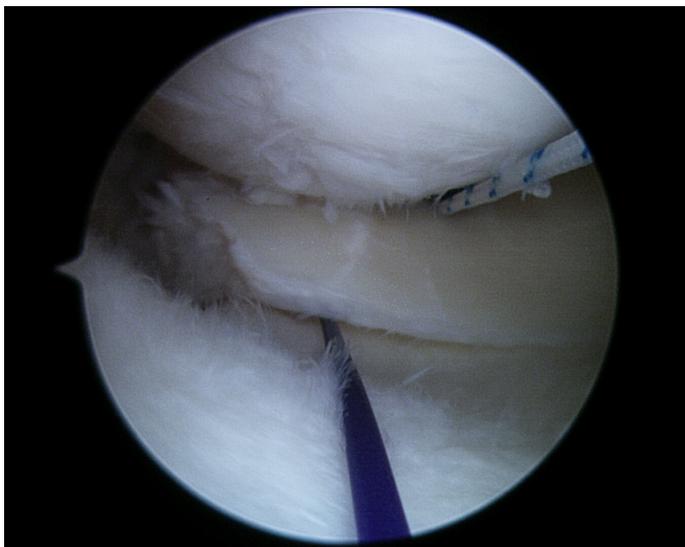
<b>1. FUNDAMENTO DE LA TESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
2.1. Trasplante meniscal alogénico (TMA) .....	<b>13</b>
2.2. Indicaciones y contraindicaciones del TMA .....	<b>14</b>
2.3. Resultados del TMA .....	<b>16</b>
2.4. Complicaciones del TMA .....	<b>18</b>
2.4.1 Concepto de extrusión meniscal .....	<b>19</b>
2.5. Preservación del injerto .....	<b>21</b>
2.6. Tamaño del injerto .....	<b>22</b>
2.7. Técnica quirúrgica .....	<b>24</b>
2.7.1 Métodos de fijación .....	<b>26</b>
2.8. Procedimientos asociados .....	<b>29</b>
2.9. Progresión hacia la artrosis .....	<b>30</b>
2.10. Manejo postoperatorio después de un TMA .....	<b>31</b>
<b>3. HIPÓTESIS DE TRABAJO</b> .....	<b>34</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	<b>70</b>
6.1. Resultados clínicos y radiológicos del TMA con capsulodesis .....	<b>70</b>
6.2. Anatomía del complejo menisco-tibio-popliteo-fibular .....	<b>75</b>
6.3. Limitaciones .....	<b>78</b>

<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>8. COPIA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS .....</b>	<b>82</b>
8.1 Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results .....	<b>82</b>
8.2 Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation .....	<b>92</b>
8.3 The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion .....	<b>100</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
<b>10. APÉNDICES .....</b>	<b>126</b>

## 1. FUNDAMENTO DE LA TESIS

El menisco consiste en una masa de tejido de fibrocartílago semilunar en forma de cuña que aumenta la congruencia de la articulación tibiofemoral. Desempeña un papel importante en la absorción de impactos, la transmisión de carga, la lubricación y la estabilización de la articulación de la rodilla. A principios del siglo XX, King mostró los cambios degenerativos que ocurrieron después de la meniscectomía en un modelo de perro experimental<sup>1</sup>. Algunos años más tarde, Fairbank describió ya en humanos, los mismos cambios artríticos que se pueden ver en una rodilla meniscectomizada<sup>2</sup>. Desde entonces, varios investigadores han confirmado los hallazgos de Fairbank<sup>3-5</sup>. Los cambios observados se deben a la pérdida de algunas funciones biomecánicas del propio menisco<sup>6,7</sup>. En este sentido, se ha demostrado que la pérdida de tejido meniscal aumenta drásticamente las fuerzas de contacto en el compartimento meniscectomizado<sup>8</sup> y con una distribución de cargas menos homogénea.

Sin embargo, la meniscectomía total fue el tratamiento de elección para una ruptura meniscal durante un largo período de tiempo. Esta técnica proporcionó excelentes resultados clínicos a corto plazo, a pesar de que los resultados a largo plazo no fueron tan buenos debido al daño ocasionado en el cartílago. Por tanto, las técnicas más conservadoras, como la meniscectomía parcial o la sutura del menisco, se han utilizado cada vez más, especialmente desde la introducción de la artroscopia para poder tratar este tipo de lesiones articulares en la rodilla. De igual forma, el incremento de diagnóstico de algún tipo de roturas poco conocidas hasta la fecha, como pueden ser las roturas de la raíz (*“root tears”*)<sup>9</sup> (figura 1) o de la rampa (*“hidden ramp lesión”*)<sup>10</sup> (figura 2), así como su posible tratamiento de preservación, han aumentado la posibilidad de *“salvar”* el menisco lesionado y evitar las consecuencias de su extirpación. Sin embargo, pocas lesiones meniscales cumplen los criterios aceptados para una reparación meniscal adecuada.



**Fig 1.**

*Visión artroscópica de una lesión completa de la raíz posterior un menisco medial de una rodilla derecha, mientras se realiza una técnica de sutura y reanclaje de la misma.*



**Fig 2.**

*Visión artroscópica de una lesión de la rampa en un menisco medial de una rodilla izquierda, visto a través del intercóndilo.*

Más recientemente, ha habido un gran avance en el tratamiento de un menisco lesionado, con el objetivo de intentar reemplazar el tejido dañado y prevenir el deterioro progresivo de la articulación. Con este fin, el trasplante meniscal alogénico (TMA) se ha introducido en la práctica clínica desde hace algunas décadas. El trasplante de un menisco como injerto libre se desarrolló en Alemania a mediados de los años 80<sup>11</sup>. Sin embargo, fueron dos equipos quirúrgicos en Norteamérica los que experimentaron con aloinjertos osteocondrales frescos

masivos, incluyendo el menisco correspondiente, para reconstruir defectos postraumáticos de la meseta tibial una década antes<sup>12,13</sup>. La viabilidad y supervivencia del injerto meniscal se ha demostrado durante el tiempo. Sin embargo, uno de los objetivos principales del TMA, como es su posible efecto condroprotector, no ha sido probado durante un largo período de tiempo. Recientemente, algunos estudios a largo plazo dan crédito del posible efecto profiláctico del trasplante<sup>14,15</sup>. No obstante, varias características del injerto en sí y aspectos relacionados con el procedimiento del trasplante siguen siendo motivo de controversia. Las características del injerto, la conservación, el tamaño y la inmunogenicidad son los temas más debatidos. Recientemente, la búsqueda del mejor sistema de fijación de menisco trasplantado, así como prevenir su extrusión después de ser colocado, son dos de los temas más candentes y que más preocupan a los cirujanos de rodilla de hoy en día.

Con los años, se han descrito varias técnicas quirúrgicas de fijación de tejidos blandos y huesos para reparar el injerto. Sin embargo, la mejor opción de tratamiento sigue sin estar clara, ya que no se han encontrado diferencias clínicas significativas entre ellos hasta la fecha<sup>16</sup>. En la mayoría de las series publicadas se encontró una tendencia a un desplazamiento radial de los meniscos trasplantados que excedía la meseta tibial, la llamada extrusión<sup>17</sup>. Desde un punto de vista biomecánico, un menisco extruido produce una disminución de la resistencia a la tensión y una distribución de cargas anómala. Por lo tanto, no puede cumplir con sus propiedades biomecánicas.

La extrusión es un fenómeno intrigante que generalmente se identifica poco después del trasplante y parece ser estable en el tiempo<sup>18</sup>. Los primeros estudios han demostrado que la fijación ósea es biomecánicamente superior<sup>19</sup> y, por lo tanto, puede prevenir mejor la extrusión. Además, informes clínicos más recientes también han mostrado una mayor extrusión cuando los aloinjertos solo se fijan a los tejidos blandos<sup>20,21</sup>. Sin embargo, no ha demostrado tener ninguna relevancia

clínica. Aunque se desconoce el significado final de la extrusión, la posición anómala de esos injertos causa preocupación entre los cirujanos. Por este motivo, se han desarrollado varias estrategias en los últimos años para limitar o prevenir la extrusión meniscal después de un TMA.

En este sentido y ante esta problemática, recientemente, se ha implementado una nueva técnica desarrollada por nuestro equipo de la mano del Dr. Joan Carles Monllau, que apunta a estabilizar el borde del menisco residual o la cápsula lateral a la meseta tibial (capsulodesis) para intentar reducir la extrusión en el TMA lateral, y sin tener que utilizar fijaciones óseas<sup>22</sup>.

Otro tema de controversia se sitúa en la anatomía de esta región y de las estructuras que podrían tener un papel clave en la extrusión meniscal. Durante estos años, se ha estudiado y documentado la anatomía del compartimento lateral de la rodilla, específicamente del menisco lateral y sus estructuras periféricas<sup>23-26</sup>. Es ampliamente conocido que el menisco juega un papel crucial en la función de la rodilla y la homeostasis<sup>27</sup>. Particularmente, el menisco lateral tiene mayor movilidad, menos anclajes periféricos y una cápsula posterolateral más delgada y laxa. Esas características probablemente se deban a la anatomía y función del compartimento lateral<sup>28,29</sup>. Además, la existencia del hiato poplíteo causa una alteración de la cápsula y reduce la vascularización en esa área<sup>30</sup>.

Históricamente, hay algunas diferencias en la forma en que se ha etiquetado e interpretado la anatomía singular de esta área y que conduce a cierta confusión en el momento de estudiarla<sup>31-34</sup>. Una de las estructuras más relevantes es el ligamento menisco-fibular (MFL), descrito por primera vez en humanos por Zivanovic et al.<sup>35</sup>. Su existencia, morfología, histología, así como sus características biomecánicas se verificaron más adelante<sup>36,37</sup>.

Más recientemente, una estructura similar de la misma región también se ha descrito con el nombre de ligamento menisco-tibial (MTL)<sup>38</sup> o ligamento coronario, para una mayor confusión al respecto. Corresponde a una banda de ligamento corta y confluyente que se adhiere periféricamente al cuerpo del menisco y sirve para estabilizar y mantener el menisco en la posición adecuada en la meseta tibial. Al igual que el MFL, el MTL también se ha definido de manera diferente en varios estudios a lo largo del tiempo<sup>39,40</sup>. Curiosamente, el ligamento menisco-femoral, el ligamento coronario y los ligamentos popliteo-meniscales han recibido especial atención en los últimos años<sup>41-44</sup>. Estos accesorios menisco-capsulares y menisco-tibiales pueden contribuir a mantener los meniscos laterales en su lugar y evitar así la extrusión. Aunque las consecuencias finales de la extrusión meniscal son poco conocidas, todos los esfuerzos realizados para prevenir el desplazamiento radial parece razonables en base a conceptos biomecánicos.

Ante este escenario y la controversia originada alrededor de la extrusión y su significado en contexto de una TMA, esta tesis por Compendio de Publicaciones, busca investigar si la aplicación de la técnica quirúrgica denominada como “Capsulodesis” puede ser clave para evitar la extrusión meniscal después de un trasplante. A través de un examen clínico, radiológico y anatómico, cada uno de los artículos que componen esta tesis se centró en el estudio de uno de los siguientes tres puntos clave en el TMA:

1. Comparar los resultados radiológicos (en términos de extrusión meniscal) y los resultados funcionales de los trasplantes de aloinjerto de menisco lateral (TMA) realizados mediante una técnica de fijación ósea (barra ósea) o mediante una técnica de fijación de tejidos blandos (túneles transóseos) después de realizar previamente una capsulodesis. (Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JJ, Pelfort X, Gelber PE. *Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral*

*Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results. Arthroscopy. 2018 Jun; 34(6):1879-88.)*

2. Comparar la cantidad de extrusión meniscal después de un TMA lateral realizado con una técnica solamente de sutura, con o sin capsulodesis asociada, además de comparar los resultados funcionales entre ambas técnicas. (*Masferrer-Pino A, Monllau JC, Abat F, Gelber PE. Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation. Int Orthop. 2019 Nov; 43(11):2549-2556.*)

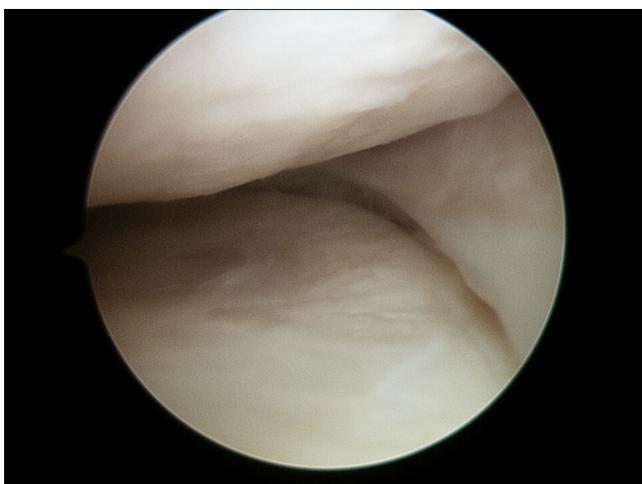
3. Analizar, cuantificar y redefinir la anatomía de las fijaciones periféricas del cuerpo del menisco lateral para comprender mejor cómo estas estructuras podrían desempeñar un papel en la prevención de la extrusión meniscal y cómo podría aplicarse a las técnicas quirúrgicas. (*Masferrer-Pino A, Saenz-Navarro I, Rojas G, Perelli S, Erquicia J, Gelber PE, Monllau JC. The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion. Arthroscopy 2020 Mar 18. pii: S0749-8063(20)30233-4. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.010. [Epub ahead of print]*)

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Trasplante meniscal alogénico

Las lesiones de menisco son una de las más comunes de la rodilla en la población general y, sobretodo, en la deportiva<sup>45,46</sup>. El número de meniscectomías para el tratamiento de las roturas de menisco ha aumentado dramáticamente en las últimas décadas, especialmente con el avance de la artroscopia. Sin embargo, la gestión del tratamiento para las roturas meniscales ha ido cambiando en función de una mejor comprensión de la función meniscal y un mejor conocimiento de las consecuencias a corto y medio plazo que una meniscectomía ocasiona en el cartílago articular, es decir, la artrosis<sup>47-49</sup>.

En este sentido, actualmente la mayoría de los cirujanos ortopédicos intentan preservar la máxima cantidad de tejido meniscal posible cuando no pueden reparar el menisco<sup>50</sup>. Desafortunadamente, muchas lesiones de menisco, tanto agudas como crónicas, no se pueden suturar y, si son lo suficientemente sintomáticas, el tejido afectado debe ser retirado<sup>50</sup>. Si se trata de meniscectomías significativas (total o subtotal), a parte de los cambios radiológicos, la posibilidad de desarrollar un síndrome postmeniscectomía es alta (figura 3).



**Fig 3.**

*Visión artroscópica del compartimento medial de una rodilla derecha después de realizar una meniscectomía amplia, quedando el platillo tibial descubierto.*

El trasplante meniscal alogénico (TMA) surgió a mediados de los años 80 como una solución potencial para restaurar la biomecánica de la rodilla, mejorar los síntomas post-meniscectomía y, posiblemente, prevenir o retrasar el inicio de la artropatía degenerativa de rodilla<sup>51</sup> (figura 4). La literatura existente permite conocer los criterios de indicación y contraindicaciones actuales del TMA, sus resultados clínicos y complicaciones y algunos otros temas todavía controvertidos, como la preservación y dimensionamiento del injerto, el tipo de fijación, los procedimientos asociados, y el potencial papel condroprotector en la prevención de la gonartrosis.



**Fig 4.**

*Aspecto artroscópico de un aloinjerto meniscal medial ya colocado en su posición anatómica y siendo fijado con suturas all-inside.*

## 2.2 Indicaciones y contraindicaciones del TMA

Existe un acuerdo general en cuanto a los criterios de indicación para el trasplante meniscal. La indicación más común es el dolor unicompartmental de la rodilla debido a una meniscectomía previa en un paciente no adecuado para reemplazo protésico (conocido como síndrome post-meniscectomía).

El dolor en un compartimento previamente meniscectomizado, el cual es certificado por una resonancia magnética que evidencia un compartimento fémoro-tibial con ausencia parcial o completa de tejido meniscal, son los casos dónde el trasplante meniscal con aloinjerto encuentra su lugar como terapéutica. Idealmente, el mismo paciente también debe presentar un daño condral articular limitado, una rodilla estable y bien alineada. Si estas 3 condiciones se abordan convenientemente antes o al mismo tiempo, también se puede indicar un TMA.

Las contraindicaciones absolutas incluyen enfermedades inflamatorias o sistémicas generales y obesidad (definida por un IMC de más de 30) y la inmunodeficiencia. Algunas afecciones localizadas, como cualquier tipo de artritis (séptica, metabólica o inflamatoria), y las enfermedades sinoviales también se consideran contraindicaciones. Una contraindicación relativa es su uso en pacientes esqueléticamente inmaduros porque se desconoce la capacidad de crecimiento del menisco trasplantado. La enfermedad articular degenerativa avanzada también se ha considerado una contraindicación, aunque algunos investigadores han observado buenos resultados en esta población en particular<sup>52,53</sup>.

En general, el reemplazo articular no se considera adecuado en pacientes jóvenes afectados de síndrome postmeniscectomía que esperan tener un estilo de vida activo o incluso participar en actividades deportivas. El caso tipo sería un paciente joven (menor de 50 años) con dolor femorotibial unicompartmental después de una meniscectomía total o subtotal. Sin embargo, como hemos mencionado anteriormente, en estos casos no se debe olvidar tratar las lesiones asociadas con el fin de mejorar los resultados. Por lo tanto, se deben corregir / tratar antes o después del TMA, toda lesión osteocondral de alto grado en el compartimento

afectado, una alineación anormal del eje (particularmente si sobrecarga el compartimento en cuestión) y cualquier inestabilidad en la rodilla.

El TMA puede combinarse con la reparación del cartílago, la reconstrucción del ligamento cruzado anterior u osteotomías femorales/tibiales en el mismo acto quirúrgico<sup>51,54,55</sup>. Aunque algunos estudios han informado de resultados aceptables de TMA en pacientes con defectos condrales avanzados (grados III y IV del sistema de clasificación de Outerbridge) en cuanto a supervivencia del injerto, alivio del dolor y mejora de la función<sup>52,53</sup>, se aconseja realizar el TMA antes de que ocurran estos cambios<sup>55</sup> y, en general, la existencia de osteofitos, el aplanamiento del cóndilo femoral, o la obesidad, se consideran contraindicaciones cuando menos relativas<sup>55,56</sup>.

**Tabla 1.** Resumen de indicaciones/contraindicaciones para un TMA

INDICACIONES	CONTRAINDICACIONES
Dolor femorotibial y:	Artropatía avanzada
Sólo un compartimento afectado	Mala alineación de EEII
Paciente joven (<50 años)	Rodilla inestable
Meniscectomía subtotal/total	Gran defecto focal condral o osteocondral
Alineación EEII aceptable	Artritis inflamatoria
Rodilla estable	Enfermedad sinovial
	Artritis séptica activa
	Esqueleto inmaduro

### 2.3 Resultados del TMA

Hay una amplia experiencia con TMA en todo el mundo, aunque la mayoría de las series publicadas contienen un limitado número de casos y seguimientos

inferiores a diez años. Los resultados generales, tanto clínicos como funcionales, son satisfactorios por lo que actualmente el TMA está considerado un procedimiento seguro, fiable y justificado en pacientes seleccionados<sup>50,51,55-57</sup>. Así, la tumefacción de la rodilla, el rango de movimiento, la estabilidad o la capacidad muscular dinámica suelen experimentar mejoría después de la cirugía<sup>55</sup>. Durante los primeros 5 años después del TMA, se observa una mejoría significativa en la puntuación de Lysholm comparada con los valores preoperatorios<sup>58-63</sup>, con una media de puntuación de 80 puntos, que se mantiene en valores de entre 60 y 80 puntos en seguimientos de 10 a 20 años<sup>51</sup>. Muchos estudios han encontrado también mejoras significativas en la puntuación del IKDC después de un TMA<sup>53,58,59,61,62,64</sup>, con valores entre el 70 a 90% que se consideran normales o casi normales<sup>65-67</sup>. El TMA ha proporcionado un alivio de dolor significativo en la mayoría de pacientes, permitiendo el retorno a la actividad deportiva, con un excelente satisfacción con el procedimiento<sup>50,51,53-55,58,59,61,62,65,68-71</sup>. Así, en general, se constata una mejora en la calidad de vida después del TMA<sup>72</sup> (figura 5).



**Fig 5.**

*TMA con barra ósea, listo para ser introducido en la rodilla receptora a través de un portal artroscópico ampliado.*

La mayoría de los estudios reportan una puntuación de Tegner de entre 3 y 7 durante los primeros 5 años, que corresponde a la capacidad para volver al

trabajo y a los deportes recreativos<sup>51</sup>. No obstante, unos pocos estudios han apuntado también la posibilidad de regreso a la actividad deportiva de competición después de un TMA<sup>68-70</sup>. En cuanto a la durabilidad, Verdonk *et al.* informaron de un tiempo de supervivencia media acumulada (Kaplan-Meier) de 11,6 años, sin diferencias entre aloinjertos mediales y laterales (74% y 70%, respectivamente)<sup>73</sup>. Por tanto, el cirujano puede esperar una supervivencia aproximada del 70% de los aloinjertos a los 10 años<sup>74</sup>.

Varios estudios han informado los resultados radiológicos de TMA<sup>55</sup>. Aunque algunos pacientes no presentan una progresión de la degeneración del cartílago<sup>75</sup>, la mayoría sí muestran empeoramiento del cartílago articular, con signos de artrosis de rodilla<sup>55</sup>.

## 2.4 Complicaciones del TMA

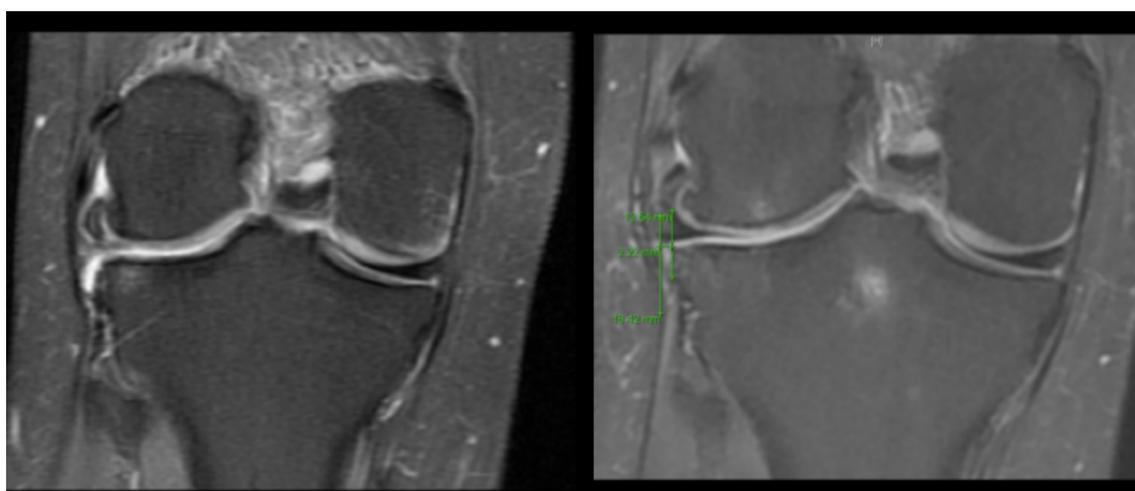
El término "fracaso" se define como la necesidad de eliminación del injerto con o sin conversión a artroplastia<sup>51</sup>. Sin embargo, es importante diferenciar si el injerto se eliminó por progresión de la artrosis, que requiere un posterior reemplazo articular, o si fue debido a complicaciones propias del injerto. En una exhaustiva revisión sistemática de más de 5.000 TMA, Elattar *et al.*, encontraron una tasa media de fracaso del 10'6% y una tasa media de complicaciones del 21'3%<sup>51</sup>. La tasa de fracaso de aloinjerto medial es mayor en comparación con el aloinjerto lateral<sup>73</sup>. Noyes *et al.* observaron diferencias en el tiempo de fallo del injerto lateral (media de 53 meses) respecto al aloinjerto medial (media de 25 meses)<sup>76</sup>. Las complicaciones más comunes del TMA son: el desgarro o rotura del injerto, la retracción del tejido implantado (*shrinkage* para los anglosajones), su extrusión, la rigidez de la rodilla (sobre todo si se asocia a otros procedimientos), la infección, posibles reacciones inmunes, granulomas de los puntos de sutura, dolor a nivel de los portales de artroscopia, sinovitis y hemartrosis<sup>50,51,57,60,77,78</sup>. La tasa de rotura

de injerto es de aproximadamente el 8%<sup>50</sup>, y puede ser tratado de forma conservadora o quirúrgicamente, ya sea mediante reparación o meniscectomía, según los hallazgos intraoperatorios<sup>62,79</sup>. En cuanto a la retracción, Milachowski *et al.* observaron que esta complicación era más común en aloinjertos liofilizados y gamma-irradiados en comparación con los aloinjertos congelados (90% y 40%, respectivamente)<sup>11</sup>. Lee *et al.* vieron que la retracción del injerto se producía durante los primeros 3 meses y que a partir de entonces se estabilizaba de manera que, tras 1 año de seguimiento, era mínima en un 65% de casos, leve en el 20% y moderada en un 16%<sup>80</sup>. Los autores concluyeron que la alineación preoperatoria, el estado condral, la edad, el género, la extrusión y el tiempo transcurrido desde la meniscectomía no influían en el grado de retracción meniscal<sup>80</sup>. La retracción media del injerto observada en otros estudios es del 7%, con un rango de 0 a 22%, alcanzando el 10% en un 32% de los casos<sup>81</sup>.

#### 2.4.1 Concepto de extrusión meniscal

La extrusión es también una complicación común en el aloinjerto meniscal, aunque su origen es poco claro<sup>20,82-85</sup>, con una incidencia que oscila entre el 26%-32%<sup>20,83</sup> y el 94%-95%<sup>84,85</sup>. Los factores potencialmente relacionados con la extrusión del injerto incluyen, entre otros, el método de fijación (la fijación hueso-hueso parece causarla menos)<sup>20</sup>, el tipo de aloinjerto (el medial se extruye más que el lateral)<sup>82</sup>, el área del menisco estudiada (asta anterior y cuerpo tienden a mostrar mayor extrusión que el cuerno posterior)<sup>75,83</sup>, y el método de dimensionamiento del injerto<sup>83,84</sup>. A pesar de la alta incidencia de extrusión meniscal, en la práctica totalidad de las series publicadas, esta complicación no parece relacionada con un empeoramiento de los resultados clínicos, funcionales, ni radiológicos<sup>15,18,20,82,84</sup>.

Se considera extrusión meniscal la situación en la que una proporción variable de tejido meniscal se encuentra luxada o subluxada (Figura 6) por fuera de la superficie articular de la tibia<sup>86</sup>. Se ha reportado en la literatura que un cierto grado de extrusión meniscal es normal dentro del proceso degenerativo de la rodilla<sup>87</sup>, pero no queda clara la relación entre extrusión meniscal y los cambios producidos por un TMA.



**Fig. 6.** En la izquierda, corte coronal de RMN de rodilla derecha donde se observa un déficit meniscal lateral importante (preop). A la derecha, similar corte coronal una vez realizado el TMA lateral. Obsérvese como se mide un cierto grado de extrusión meniscal, en este caso, menor ( $<3\text{mm}$ ).

Autores como Costa et al.<sup>88</sup> aceptan que extrusiones mayores a 3mm comportan cambios artrósicos secundarios, pero el porcentaje o límite de extrusión que puede considerarse normal sigue en debate. El porcentaje de pacientes trasplantados en los que se encuentran extrusiones suprafisiológicas del injerto también presenta valores diversos en la literatura. En las diferentes series va de un 42,1% en el trabajo de Jeong et al.<sup>85</sup>, pasando por un 59% en la serie de Noyes et al.<sup>76</sup> o un 70,6% en la serie de Verdonk et al.<sup>15</sup> hasta un 87,5% en la serie de van Arkel et al.<sup>71</sup>

## 2.5 Preservación del injerto

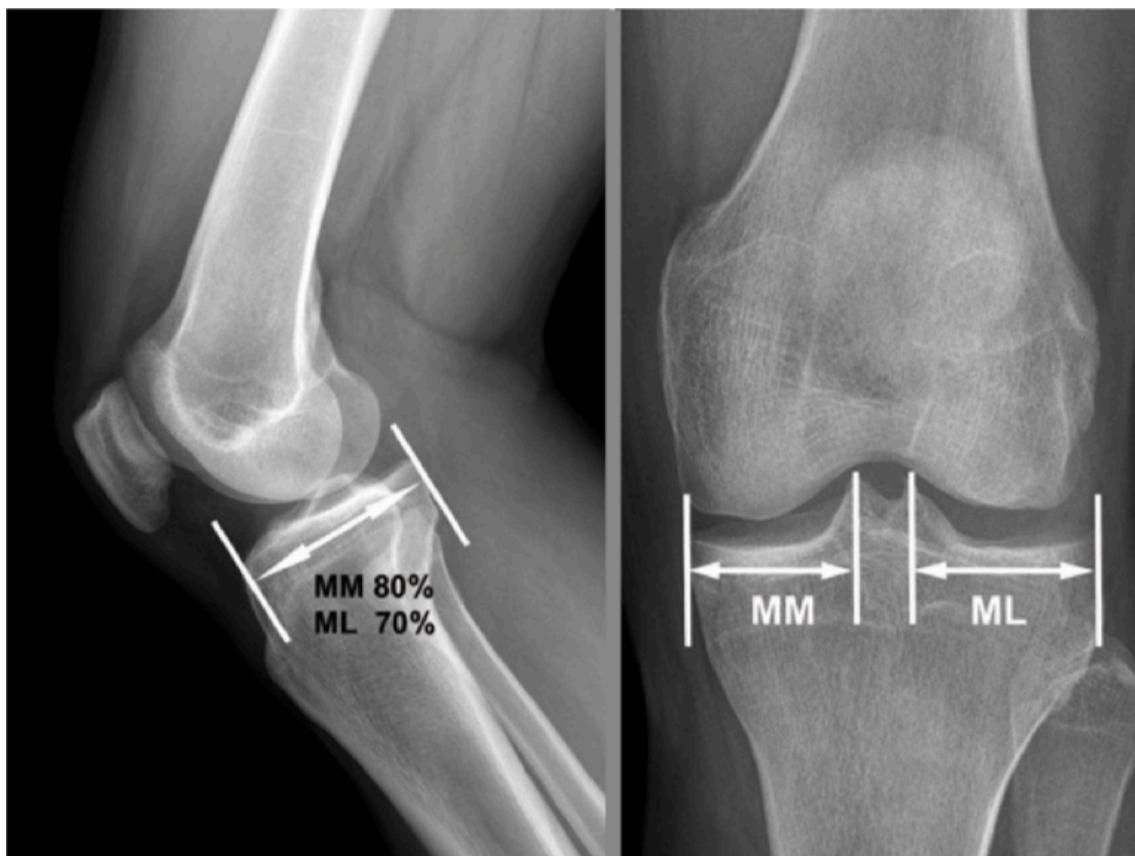
Hay cuatro tipos de aloinjertos meniscales: en fresco, criopreservado, congelado fresco y liofilizado<sup>89</sup>. Una de las diferencias importantes entre ellos es la presencia de células del donante, que pueden encontrarse en los injertos frescos y criopreservados, en oposición a los congelados o liofilizados que no las contienen. Sin embargo, no está claro si la presencia de células viables en el injerto es una ventaja o no. Jackson *et al.* demostraron en un modelo caprino, que en el plazo de 4 semanas las células del donante (ADN) son completamente reemplazadas por células huésped<sup>90</sup>. Gelber *et al.* demostraron que la criopreservación no provoca una modificación significativa de la ultraestructura de la red de colágeno, aunque la persistencia de células viables es impredecible<sup>91</sup>, de hecho, se ha señalado que en meniscos humanos la criopreservación aumenta la apoptosis celular<sup>92</sup>.

La principal ventaja de los injertos criopreservados es su prolongado tiempo de almacenamiento, mientras que el mantenimiento de la integridad de la membrana celular es más cuestionable, por otra parte, la viabilidad de los fibrocondrocitos es el principal argumento a favor del aloinjerto fresco<sup>89</sup>. Los injertos congelados, debido al propio proceso de congelación, no tienen células del donante viables y, por tanto, tampoco exhiben antígenos de histocompatibilidad<sup>89</sup>. Gelber *et al.* observaron que la congelación causa cambios en la ultraestructura de la red de colágeno en términos de disminución del diámetro de fibrillas y mayor grado de desorganización<sup>93</sup>. Así pues, las ventajas teóricas de los aloinjertos criopreservados y congelados son una baja inmunogenicidad, un procesamiento fácil y un menor coste<sup>89</sup>, lo que los convierte en los más recomendados y utilizados<sup>50,51</sup>.

Los aloinjertos liofilizados no se recomiendan en la actualidad debido al alto porcentaje de retracción del injerto, la mayor probabilidad de provocar sinovitis y, en suma, la mayor tasa de fracaso<sup>11,14,94</sup>. La esterilización secundaria es recomendada en algunos países para minimizar el riesgo teórico de transmisión de enfermedades y habitualmente se realiza con óxido de etileno o mediante irradiación gamma. Sin embargo, no está exenta de complicaciones, especialmente el riesgo de causar sinovitis químicas, caso del óxido de etileno<sup>94</sup>, y los efectos perjudiciales sobre las propiedades del injerto, como es la disminución de la viscoelasticidad, en el caso de la irradiación gamma, por lo que no es habitual en Europa<sup>95</sup>.

## 2.6 Tamaño del injerto

Un dimensionamiento adecuado del injerto es importante para reproducir la función de los meniscos nativos. Aunque algunos autores han recomendado el uso de métodos morfológicos, basados en peso y talla<sup>96,97</sup>, el método de estudio más común es la radiología simple<sup>50,98</sup>, aunque tanto la RM<sup>99,100</sup> como la tomografía computarizada [58] también se pueden emplear. Las radiografías simples tienen en cuenta puntos de referencia óseos y el método más comúnmente utilizado es el descrito por Pollard *et al.*<sup>98</sup>. Este método utiliza como puntos de referencia la espina tibial y el margen de la meseta descartando formaciones osteofíticas, en una proyección antero-posterior. En la proyección lateral, se utilizan como referencia los márgenes anterior y posterior de la meseta tibial pero, debido a la dificultad para diferenciar entre meseta medial y lateral, se aplica un factor de corrección, de modo que la longitud del menisco medial se considera un 80% de la distancia sagital total de la meseta, mientras que para el lateral es un 70% de la misma<sup>98</sup> (figura 7).



**Fig. 7.** En la izquierda, radiografía de perfil de rodilla. En la derecha, radiografía anteroposterior. Se aprecia el método descrito por Pollard para la predicción del tamaño del injerto meniscal.

Algunos estudios han sugerido que una reducción del 5% del tamaño meniscal determinado mediante el método Pollard, puede contribuir a reducir el porcentaje de extrusión meniscal sin que esto implique ningún efecto adverso en los resultados clínicos y radiográficos<sup>84</sup>.

Sobredimensionar o infradimensionar el injerto aumenta las presiones en el cartílago articular y en el propio aloinjerto<sup>101</sup>. Dienst *et al.* sugirieron que una falta de coincidencia de hasta un 10% del tamaño del menisco original podría considerarse aceptable<sup>101</sup>. Así, aunque parece existir una cierta tolerancia, las consecuencias que un conflicto de tamaño entre platillo tibial receptor y TMA

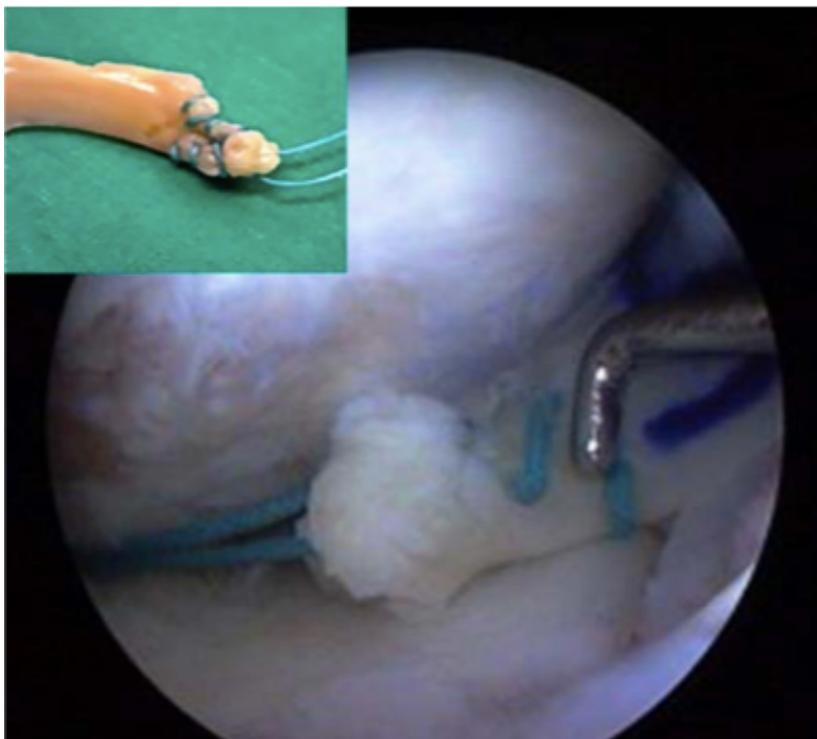
pueda generar en la rodilla son desconocidas y, por tanto, se requieren más estudios para establecer el alcance del tema.

## 2.7 Técnica quirúrgica

Se han descrito varias técnicas quirúrgicas para realizar un TMA. En su inicio el TMA se realizaba a través de una amplia artrotomía que, en general, requería la desinserción femoral de los ligamentos colaterales medial o lateral, respectivamente<sup>102</sup>. A medida que se desarrollaron los procedimientos artroscópicos, también se popularizó el TMA por esta vía. Se ha sugerido que al evitar la lesión del ligamento colateral se reduce la morbilidad quirúrgica y se facilita una rehabilitación más precoz. Por otra parte, la técnica artroscópica permite una mejor visualización del entorno intraarticular y el tratamiento de eventuales lesiones asociadas. Sin embargo, aunque la técnica artroscópica parece menos agresiva y más elegante, no hay ensayos clínicos que comparen ambas técnicas.

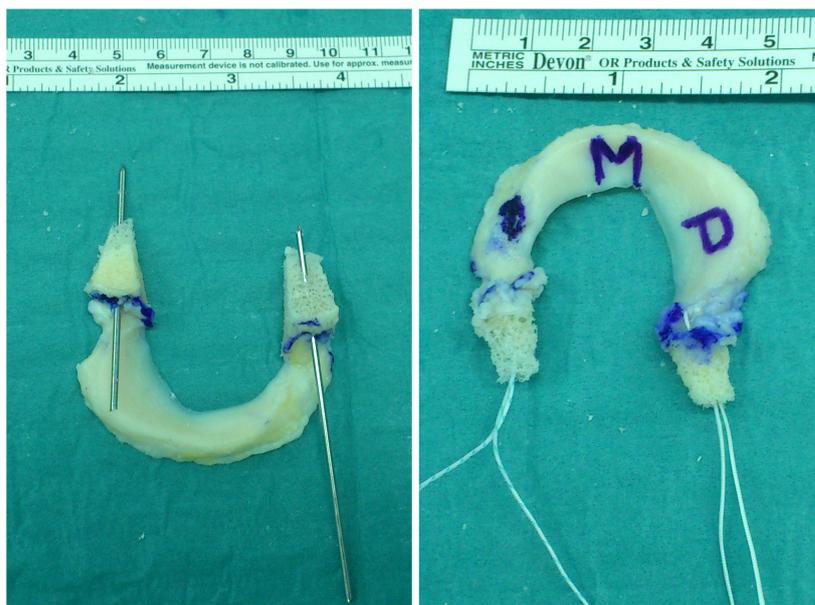
Dos de los objetivos clave de la técnica del TMA es conseguir implantar el aloinjerto en posición anatómica y fijarlo de forma sólida. Aunque técnicamente puede resultar más fácil fijar únicamente el injerto a los tejidos blandos (figura 8), la investigación en modelos cadavéricos indica que la transmisión de la carga es mejor cuando se fijan las astas meniscales con tacos óseos en sus extremos<sup>19</sup> (figura 9). Al optar por una fijación ósea también hay un debate acerca de si usar tacos óseos en ambas astas meniscales o un puente (barra ósea), con las inserciones meniscales originales (Figura 10 y 11). La primera opción permite una técnica menos invasiva y podría preservar la espina tibial original, mientras que, la segunda, requiere de una trinchera ósea en la meseta para alojar la barra del injerto. En cualquier caso, el empleo de fijación hueso-hueso exige una técnica rigurosa y un injerto de dimensiones exactas a las del compartimento a que va

destinado, puesto que una mala colocación de los túneles tibiales origina un mal funcionamiento del menisco y efectos deletéreos para la rodilla<sup>103</sup>.



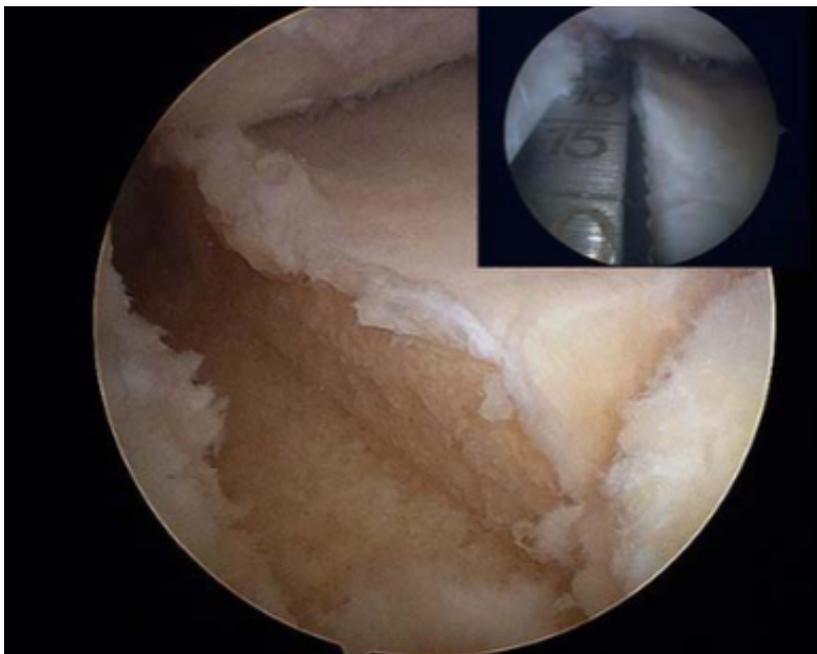
**Fig. 8**

*TMA fijado sólo con suturas en ambos cuernos meniscales. Arriba a la izquierda, injerto preparado sobre la més de trabajo. En grande, imagen intraoperatoria.*



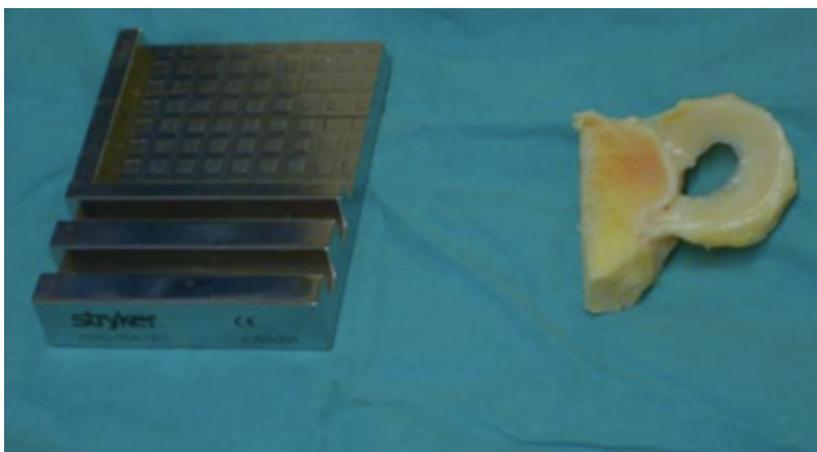
**Fig. 9**

*Moinjerto meniscal con tacos óseos en ambos cuernos meniscales*



**Fig. 10**

*Visión artroscópica del compartimento lateral de una rodilla, después de preparar el lecho para colocar un aloinjerto meniscal con barra ósea.*



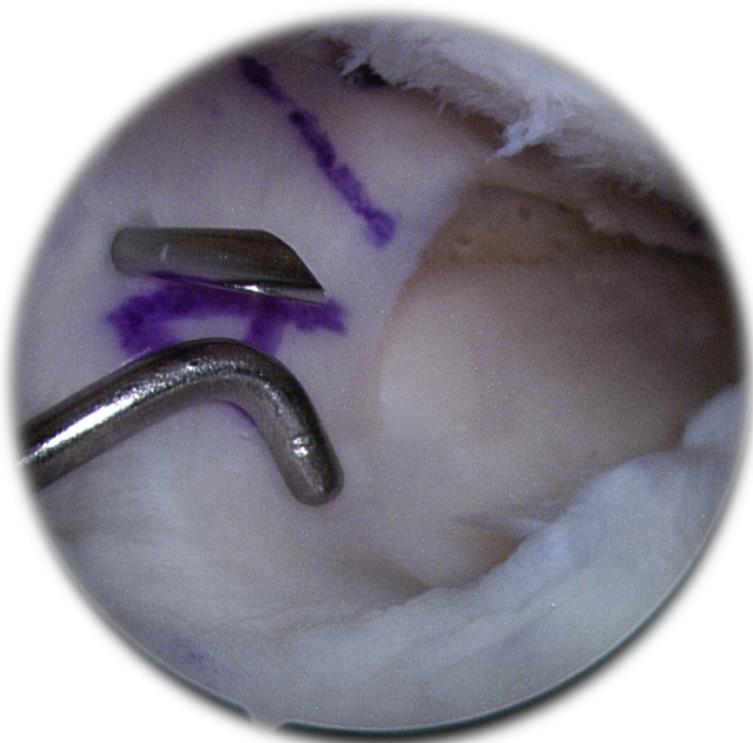
**Fig. 11**

*Preparación de un aloinjerto meniscal con barra ósea, manteniendo las inserciones originales de sus raíces.*

### 2.7.1 Métodos de fijación

La fijación anatómica del aloinjerto meniscal es crucial para prevenir las complicaciones, a corto y medio plazo, ocasionadas por alteraciones de la cinemática de la rodilla. Los TMA se fijaron inicialmente solo mediante suturas periféricas<sup>11,102</sup>, pero después fue descrita la fijación al hueso<sup>104</sup>. Cuando se habla

de fijación del aloinjerto debe diferenciarse la que ataÑe a los cuernos o astas meniscales de la que corresponde a la periferia del menisco. Si bien la fijación periférica se consigue mediante suturas con cualquiera de las técnicas de sutura disponibles (de “fuera a dentro”, de “dentro a fuera” o “todo dentro”) (figura 12), la fijación de los cuernos meniscales puede lograrse a través de suturas transóseas o mediante fijación hueso-hueso, ya sea con tacos óseos independientes o con una barra ósea.



**Fig. 12**

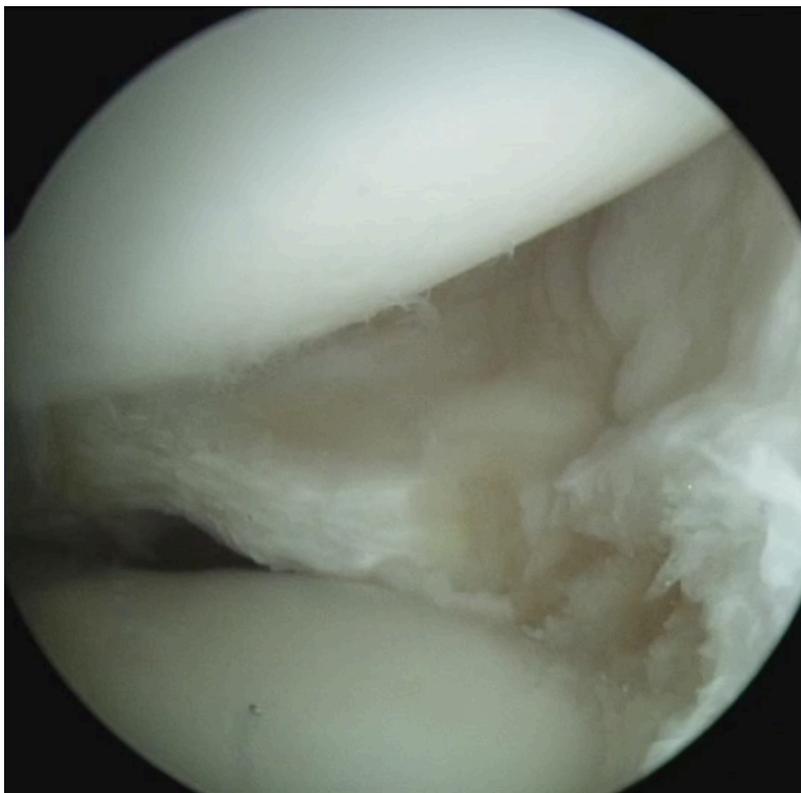
*Aloinjerto meniscal colocado, siendo fijada en su periferia con un punto “fuera-dentro”.*

La técnica de fijación para los cuernos meniscales suele ser diferente dependiendo de si se trata del menisco medial o lateral. En general, se prefiere la fijación hueso-hueso con tacos para el menisco medial y el puente de hueso para el lateral, aunque ambos meniscos se puede fijar simplemente mediante suturas en las astas y túneles tibiales transóseos. El problema de esta última opción, más sencilla técnicamente y con buen resultado clínico<sup>58,60,75</sup>, es que muestra una mayor tendencia a la extrusión del aloinjerto<sup>20</sup>.

Algunos estudios *in vitro* han demostrado que la fijación hueso-hueso es mejor que la fijación del injerto sin hueso en términos de restauración de las fuerzas de contacto normales de la rodilla<sup>19,105,106</sup>. No obstante, estudios biomecánicos más recientes no han observado diferencias en la resistencia a la extrusión media del aloinjerto entre ambos métodos de fijación, al menos en el menisco medial<sup>107</sup>. Por otra parte, los TMA sin tacos óseos han demostrado resultados clínicos buenos o excelentes y alivio del dolor compartimental, tras seguimientos de hasta 14 años<sup>58,60,73</sup>, incluso en deportistas de alto nivel<sup>68</sup>. Además, los estudios clínicos que han comparado ambos métodos de fijación no han observado diferencias en los resultados clínicos, funcionales, o radiográficos<sup>108</sup>.

Aunque la fijación hueso-hueso esté muy extendida<sup>55</sup>, algunos autores todavía prefieren el uso de la fijación mediante suturas transóseas para evitar daños en el cartílago<sup>75</sup>. Esta recomendación se basa en el hecho de que la fijación hueso-hueso requiere un dimensionamiento perfecto del injerto para evitar problemas de desadecuación entre donante y receptor<sup>75,103,109</sup>. Recientemente, se ha diseñado una nueva técnica de fijación mediante suturas transóseas, que fija el muro meniscal a la superficie de la tibia (capsulodesis) mediante uno o varios puntos transóseos, con la idea de disminuir la tendencia a la extrusión del aloinjerto meniscal fijado de este modo<sup>22</sup> (figura 13).

Finalmente, es probable que ambos tipos de fijación proporcionen resultados biomecánicos y clínicos adecuados, siempre que el tamaño del injerto coincida con el del receptor, aunque este extremo no está completamente aclarado.



**Fig. 13**

*Visión artroscópica del efecto de la capsulodesis. A la izquierda, cápsula todavía no plicada. A la derecha, cápsula ya plicada sobre la meseta tibial.*

## 2.8 Procedimientos asociados

La asociación o combinación con otros procedimientos quirúrgicos, principalmente de restauración del cartílago, reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) y osteotomía correctora tibial o femoral, es más frecuente que el TMA aislado<sup>51</sup>. El procedimiento más comúnmente asociado es la reconstrucción del LCA<sup>50,51,55</sup>, seguido por la reparación del cartílago aislada o combinada con osteotomía<sup>51</sup>.

En general, los resultados del TMA asociados con este tipo de cirugías no son peores que los TMA aislados<sup>50,51,54,65,79</sup>. El TMA asociado a procedimientos de reparación cartilaginosa, como son la implantación de condrocitos autólogos,

los autoinjerto o aloinjertos osteocondrales y las microfracturas, proporcionan una mejora similar en cuanto a alivio del dolor compartimental, puntuaciones funcionales (como el Koos, IKDC, Noyes y Tegner) y nivel de práctica deportiva, en comparación con el TMA aislado<sup>59,76,110-112</sup>. En dos estudios publicados, sólo las escalas de Lysholm y Cincinnati resultaron inferiores en los procedimientos combinados en comparación con los TMA aislados<sup>113-114</sup>. Así, en suma, se puede afirmar que la asociación de estos procedimientos no empeora el alivio de dolor ni los resultados clínicos y funcionales obtenidos con TMA aislados<sup>65,79,115</sup>.

La osteotomía es clave para restituir la alineación de la extremidad y su papel como procedimiento asociado al TMA también ha sido estudiado<sup>50,51,55</sup>. En esencia, el alivio del dolor y de la clínica y los resultados funcionales no se ven agravados por la adición de osteotomías de fémur o tibia<sup>15,52,53,76,102,116</sup>. La evidencia acumulada sugiere que los TMA se puede asociar con cualquier procedimiento adicional que se necesite sin riesgo de empeorar los resultados.

## **2.9 Progresión hacia la artrosis**

El TMA intenta recuperar la mecánica de la rodilla mediante una mejor distribución de cargas en el compartimento implicado y así prevenir o retrasar el proceso de la degeneración del cartílago. Sin embargo, el papel del TMA en la prevención de la artrosis de rodilla no está totalmente aclarado. Varios estudios han mostrado que existe una progresión del deterioro del cartílago después de un TMA<sup>50,51,55</sup>. Aunque muchos pacientes presentan un cierto grado de pinzamiento del espacio articular, este estrechamiento es inferior a 1 mm en numerosas ocasiones<sup>50</sup>. En general, la experiencia acumulada ha demostrado una tendencia a aumentar la gonartrosis cuando se produce un fracaso del TMA, incluso cuando se han tratado las lesiones del cartílago con algún procedimiento de preservación<sup>52,117</sup>.

Aunque en la mayoría de los trabajos no se ha encontrado un claro efecto protector del TMA para el cartílago articular<sup>50,51,55</sup>, varias investigaciones, tanto en modelos animales<sup>118-120</sup> como en humanos, sugieren posibles efectos condroprotectores<sup>75,115,117,121</sup>. La variabilidad técnica, los criterios de indicación, el *timing* del trasplante, el limitado número de casos incluidos en muchas series y un seguimiento corto, no han contribuido a aclarar las dudas generadas acerca de este particular<sup>50,51,55</sup>. En general, los estudios con más largo seguimiento suelen registrar una clara tendencia a la progresión de cambios radiológicos en la rodilla afectada, especialmente en el caso de injertos liofilizados y ultracongelados<sup>122</sup>, siendo esta tendencia menor cuando se utilizaron injertos frescos<sup>15</sup>. Verdonk *et al.* estiman que con el TMA se pueden esperar un efecto condroprotector en aproximadamente el 30% de los pacientes<sup>55</sup>. En suma, a la luz de la literatura actual no puede afirmarse que un aloinjerto meniscal sea capaz de preservar o retrasar la aparición de artropatía degenerativa.

## 2.10 Manejo postoperatorio después de un TMA

Debido a la falta de estudios controlados en relación al postoperatorio después de un TMA, la mayor parte de los investigadores sigue los protocolos establecidos de sutura meniscal. Sin embargo, se puede encontrar en la literatura una amplia gama de diferentes recomendaciones postoperatorias.

Así, algunos autores permiten una carga inmediata de la rodilla, en extensión completa, puesto que se ha sugerido que la carga comprime los bloques de hueso utilizados para fijar el aloinjerto y podría contribuir a una integración ósea más rápida<sup>62</sup>. Además, estudios animales muestran que la carga de peso total e inmediata, no parece comprometer la evolución del injerto<sup>123</sup>. Por el contrario, Fritz *et al.*<sup>124</sup> no recomiendan la carga durante las primeras 6 semanas

postoperatorias, tiempo durante el que también mantienen la extremidad en extensión completa.

Parece razonable seguir un protocolo parecido al de la sutura meniscal, permitiendo un rango limitado de movilidad pasiva de 0 a 60 grados durante las primeras 3 semanas, asumiendo que el movimiento meniscal es mínimo entre 0 y 60 grados de flexión de la rodilla. Durante este tiempo tampoco se permite carga de peso, puesto que es la fase de revascularización del aloinjerto. En este periodo se insiste en conseguir una extensión completa de la rodilla, reducir la tumefacción y controlar el dolor, y activar el cuádriceps mediante contracciones isométricas. Después de la 3ª semana, se incrementa la flexión hasta alcanzar los 90 grados, se inicia la carga progresiva de peso y ejercicios cinéticos de cadena cerrada. La carga total de peso es la meta entre las 6 y 8 semanas después de la operación. Correr en línea recta se recomienda normalmente después de 6 meses de la intervención.

Aunque no hay consenso con respecto al momento del regreso a la flexión forzada, pivotaje y la actividad deportiva, de acuerdo con la biología de la cicatrización del menisco y la literatura disponible, lo más razonable parece ser esperar hasta los 6 a 12 meses y retornar solo a actividades de bajo impacto, puesto que las consecuencias para el aloinjerto de la actividad vigorosa, de alto impacto repetitivo, son desconocidas. Es imprescindible que el paciente sea consciente de estas limitaciones antes del trasplante y que entienda que este es un procedimiento de "rescate" para la rodilla (figura 14).



**Fig. 14**

*Paciente intervenido mediante TMA en rodilla derecha. En la foto, realizando trabajo excéntrico de cuádriceps sobre una máquina inercial mientras se mide el reclutamiento neuromuscular con EMG para valorar simetrías y el ratio vasto medial/vasto lateral. Imagen cedida por el fisioterapeuta Àlex Ballester (Kineosteo).*

### 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis de trabajo de esta tesis se basa en el estudio clínico, radiológico y anatómico realizado en las siguientes 3 publicaciones relacionadas con la extrusión meniscal después de un TMA lateral.

#### Hipótesis del trabajo n.1

El primer estudio (*Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JJ, Pelfort X, Gelber PE. Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results. Arthroscopy. 2018; 34(6):1879-88.*) compara los resultados radiológicos (en términos de extrusión meniscal) y los resultados funcionales de los trasplantes de aloinjerto de menisco lateral (TMA) realizados mediante una técnica de fijación ósea (barra ósea) o mediante una técnica de fijación de tejidos blandos (túneles transóseos) después de realizar previamente una capsulodesis.

En este trabajo, la primera hipótesis fue que la fijación capsular reduciría el grado postoperatorio de extrusión del aloinjerto al menos tanto como la técnica de fijación ósea. La segunda hipótesis era que el TMA fijado con una capsulodesis previa tendría resultados funcionales similares a los obtenidos con una técnica de fijación ósea.

#### Hipótesis del trabajo n.2

El segundo estudio (*Masferrer-Pino A, Monllau JC, Abat F, Gelber PE. Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation. Int Orthop. 2019 Nov;43(11):2549-2556.*) compara la cantidad de extrusión

meniscal después de un TMA lateral realizado con una técnica solamente de sutura, con o sin capsulodesis asociada, además de comparar los resultados funcionales entre ambas técnicas.

En este trabajo la hipótesis fue que la fijación capsular reduciría el grado postoperatorio de extrusión de aloinjerto y no afecta los resultados funcionales durante el período de seguimiento a corto plazo estudiado.

### **Hipótesis del trabajo n.3**

El tercer y último estudio de la tesis (*Masferrer-Pino A, Saenz-Navarro I, Rojas G, Perelli S, Erquicia J, Gelber PE, Monllau JC. The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion. Arthroscopy. 2020 Mar 18. pii: S0749-8063(20)30233-4. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.010. [Epub ahead of print]*) analiza, cuantifica y redefine la anatomía de las fijaciones periféricas del cuerpo del menisco lateral para comprender mejor cómo estas estructuras podrían desempeñar un papel en la prevención de la extrusión meniscal y cómo podría aplicarse a las técnicas quirúrgicas.

En este estudio anatómico la primera hipótesis fue que el menisco lateral tiene una unión intrínseca a la tibia que incluye el ligamento menisco-tibial lateral (LMTL), el ligamento popliteo-fibular (PFL) y el ligamento popliteo-meniscal (PML), formando una combinación que podría denominarse mejor complejo menisco-tibio-poplíteo-fibular (MTPFC). La segunda hipótesis fue que estos ligamentos tienen una anatomía definida (en términos de grosor e histología) y una relación dinámica constante, por lo que actúan juntos para fijar el lado lateral del menisco a la tibia y la cápsula.

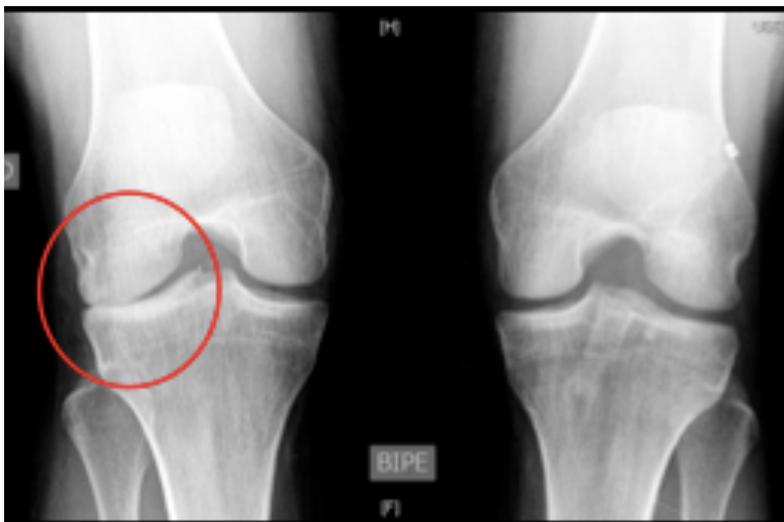
#### 4. MATERIAL Y MÉTODO

En esta tesis por compendio de artículos, el apartado *Material y Método* se corresponde con los datos publicados en cada uno de los trabajos de investigación.

**TRABAJO N°1:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JI, Pelfort X, Gelber PE. Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results. *Arthroscopy*. 2018; 34(6):1879-88.

Se diseñó un ensayo clínico prospectivo y aleatorizado basado en las pautas CONSORT. El protocolo de estudio fue aprobado por el Comité Ético local de Investigación Clínica y se obtuvo el consentimiento informado de todos los pacientes. Veintinueve pacientes consecutivos fueron operados con un TMA lateral entre 2011 y 2015. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente mediante bloques permutados al grupo de fijación ósea (A) o al grupo de capsulodesis (B). Todos los procedimientos quirúrgicos fueron realizados por el mismo autor sénior.

El criterio de inclusión para TMA fue el dolor en la línea articular lateral debido a una meniscectomía previa (total, subtotal o parcial) (Figura 15). Aunque no se ha establecido una relación entre la mala alineación y la extrusión meniscal, la mala alineación se consideró un criterio de exclusión para evitar resultados confusos. Consideramos como mala alineación aquellos sujetos que presentan un genu varo y genu valgo por encima de 5 grados con respecto al eje normal. Los pacientes que tenían un grado Ahlback<sup>125</sup> mayor que II también fueron excluidos. Además, los pacientes con un índice de masa corporal superior a 30 fueron excluidos en esta serie.



**Fig. 15**

*Radiografía con proyección de Schuss o Rosenberg dónde se observan las secuelas producidas por una meniscectomía subtotal en el compartimento lateral de la rodilla derecha.*

Todas las evaluaciones funcionales y radiográficas fueron realizadas por dos observadores independientes (cirujanos ortopédicos). Con respecto a la evaluación funcional, los observadores estaban cegados a los diferentes tipos de fijaciones utilizadas en los aloinjertos meniscales.

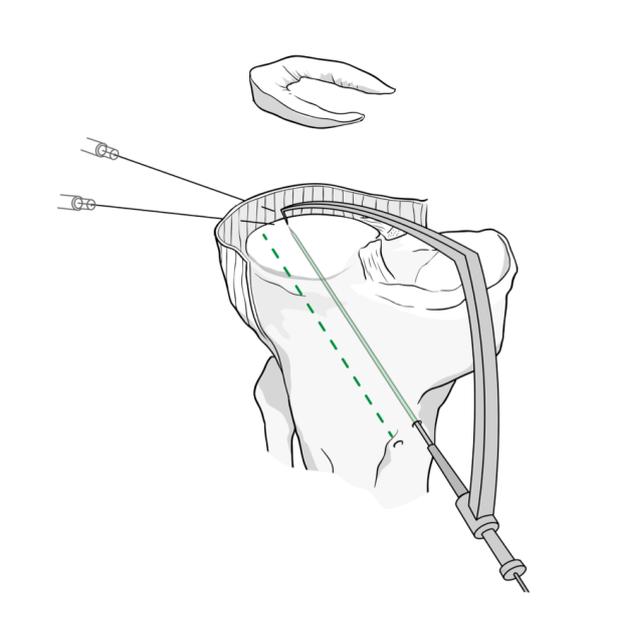
### **Técnica quirúrgica**

En esta serie se usaron aloinjertos meniscales congelados frescos ( $-80^{\circ}\text{C}$ ), no irradiados, no antigénicos. Los aloinjertos fueron suministrados por un banco de tejidos local autorizado. El dimensionamiento del aloinjerto se realizó según el método descrito por Pollard et al.<sup>98</sup>. Las mediciones también se combinaron con las dimensiones morfométricas del donante (peso y tamaño). La técnica quirúrgica fue completamente artroscópica y con la variación técnica según el grupo. Ambas técnicas se han descrito previamente en detalle<sup>20,22</sup>. La preparación del lecho receptor fue similar en todos los casos. Los restos de menisco del huésped (paciente receptor) fueron evaluados y revitalizados utilizando una combinación de “shaving” artroscópico y radiofrecuencia para promover la curación.

- Grupo A. Se usó una técnica de fijación mediante barra ósea para mantener mejor la distancia nativa entre los cuernos y reducir el riesgo de una colocación incorrecta. El procedimiento de puente óseo/barra ósea requiere la creación de un canal en la meseta tibial lateral. A diferencia de la técnica denominada como “dovetail”, donde la cavidad ósea y la ranura tibial tienen una forma semi-trapezoidal<sup>126</sup>, la forma de la cavidad ósea en esta serie fue cuadrangular en todos los casos (figura 10). Para obtener una combinación perfecta entre el canal y el puente óseo del injerto, se utilizó un conjunto de instrumentos (Meniscal Transplant Set. Surgival, Valencia, España) (figura 11). Se crea un portal lateral bajo, adyacente al tendón rotuliano y alineado con la posición del canal planificado. Dependiendo del tamaño de la rodilla, se utilizó una broca y raspa canulada de 7 u 8 mm hasta obtener una caja final de 7 a 8 mm de ancho y 10 mm de profundidad. El injerto óseo se colocó en su lecho simplemente deslizándolo por el portal anterolateral previamente agrandado. Una sutura de tracción colocada en el injerto meniscal, justo anterior al nivel del área del hiato poplíteo, ayuda al cirujano a acomodar el injerto en su lugar. El aloinjerto de menisco se fija al borde mediante 8 a 10 suturas verticales no absorbibles. Las suturas internas (FasT-Fix, Smith & Nephew, Andover, Massachusetts) se utilizan para asegurar la parte más posterior del injerto a fin de minimizar el riesgo de lesiones en las estructuras neurovasculares. Se utilizó una técnica de adentro hacia afuera (Zone Specific® II Meniscal Repair System. Conmed, Largo, FL) o, alternativamente, una técnica de afuera hacia adentro, realizada con la ayuda de agujas espinales de calibre 18, para la mitad anterior del injerto meniscal.

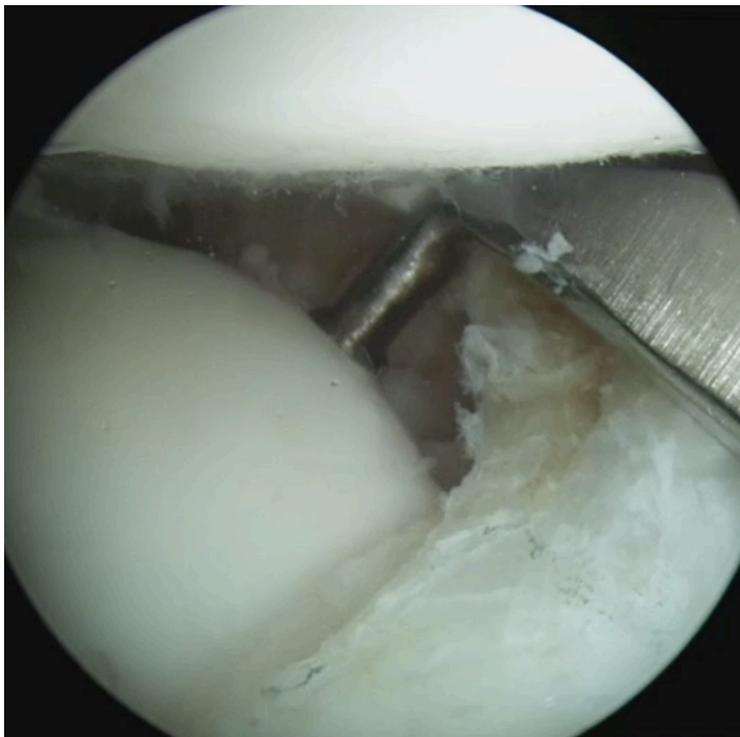
- Grupo B. Se identificó la cápsula lateral redundante y se eliminó cualquier osteofito marginal en el borde lateral de la meseta tibial con la ayuda de una fresa motorizada. Luego se perforaron dos túneles de 2,4 mm colocados a 10 mm de distancia desde la cortical tibial anteromedial en una dirección oblicua que termina en el borde de la meseta lateral donde la cápsula está más desplazada (Figura 16 y 17). Se realizó con la ayuda de una guía tibial regular de LCA (Pinn-

ACL Guide. ConMed, Largo, Florida). Luego se pasaron dos suturas a través de los túneles usando un pasador de suturas. La cápsula y los restos meniscales se capturaron utilizando agujas espinales cargadas con suturas PDS número 2 utilizando una técnica de afuera hacia adentro. Estas suturas provisionales se sustituyeron por suturas de alta resistencia y se recuperaron a través de cada túnel tibial. Una vez capturada, la cápsula se asegura a la meseta tibial lateral (capsulodesis). Finalmente, los dos extremos de las suturas se unieron entre sí en la cortical tibial medial (Figura 18). Una vez realizada la capsulodesis, se perforaron dos túneles óseos de 6 mm directamente en los sitios anatómicos de la inserción meniscal (es decir, en los cuernos anterior y posterior). Después de agrandar el portal anterolateral, la sutura del cuerno posterior, así como una sutura vertical adicional colocada en la esquina posterolateral del injerto, se utilizaron para tirar y acomodar el aloinjerto meniscal en la posición correcta a medida que se introducía en la articulación. Luego, el injerto se fijó al borde combinando una técnica de adentro hacia adentro y de adentro hacia afuera o de adentro hacia afuera, respectivamente, dependiendo del área del menisco como se describió anteriormente. Al final del procedimiento, las suturas colocadas en los cuernos anterior y posterior se unieron sobre la cortical tibial.



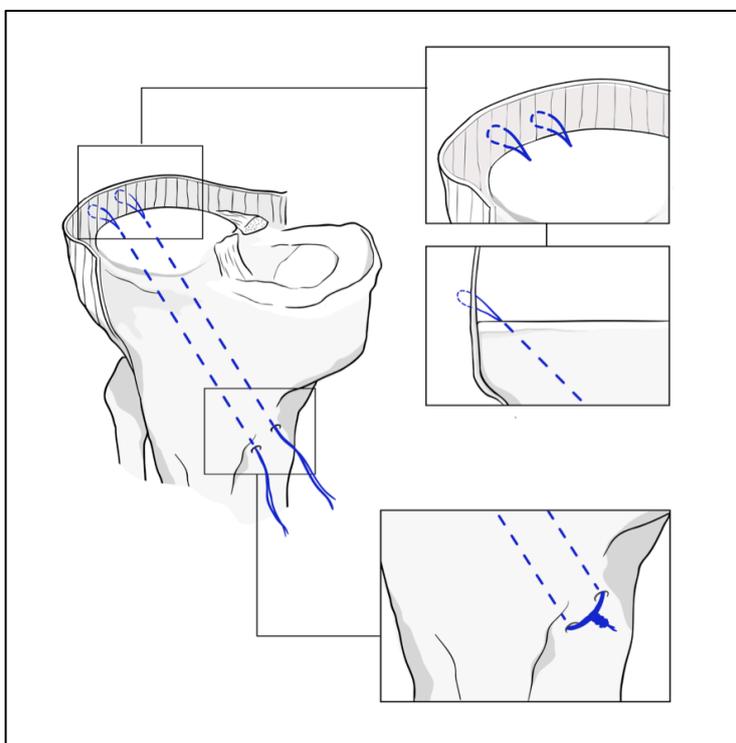
**Fig. 16**

*Rodilla derecha, vista antero-medial. Colocación de túneles de capsulodesis lateral utilizando la guía-pin de LCA a través del portal antero-medial (AM).*



**Fig. 17**

*Visión artroscópica de la posición de la guía de LCA colocada en el margen lateral de la meseta tibial lateral de la rodilla, en el momento de diseñar uno de los túneles para la capsulodesis.*



**Fig. 18**

*La sutura de fijación capsular se pasa a través de cada túnel transtibial y unida entre sí en la cortical medial, de modo que se consigue fijar la cápsula lateral a la meseta tibial.*

## **Rehabilitación**

Ambos grupos siguieron el mismo protocolo. Incluyó carga de peso sólo propioceptiva con un inmovilizador de rodilla en extensión completa durante las primeras 2 semanas de la operación. Luego, se inició la carga de peso progresivamente hasta alcanzar la carga de peso total a las 4-6 semanas de la cirugía. El rango de movimiento se limitó a 60 grados las primeras 2 semanas, hasta 90 grados en la cuarta semana, y progresando a un rango completo de movimiento a partir de la sexta semana, después de la operación. Los pacientes volvieron a una carga de trabajo normal al cuarto mes después de la cirugía.

## **Evaluación de la imagen de resonancia magnética (RM)**

Para examinar el grado de extrusión meniscal, los 29 pacientes se sometieron a un examen de RM de la rodilla operada con extensión completa de la rodilla en posición supina antes de la cirugía y entre los 36 y 48 meses de seguimiento. Todos los estudios se realizaron con un imán superconductor de 1,5 T (Prestige 2T, Elscint, Haifa, Israel) utilizando una bobina circular específica para la rodilla. Se usó un dispositivo de posicionamiento para el tobillo para garantizar la uniformidad. El protocolo estándar de rodilla para cada paciente consistió en esta secuencia: eco de giro rápido axial ponderado en T2 con saturación de grasa (tiempo de repetición [TR], 2300 mseg; tiempo de eco [TE], 30 mseg; ángulo de giro [FA], 90 °; espesor de corte [ST], 3 mm; campo de visión [FOV], 20 cm), eco de giro rápido coronal ponderado intermedio (TR, 2500 mseg; TE, 30 mseg; FA, 90 °; ST, 4 mm; FOV, 18 cm), eco de centrifugado sagital ponderado intermedio (TR, 700 mseg; TE, 14 mseg; FA, 90 °; ST, 4 mm; FOV, 18 cm), y eco de centrifugado rápido sagital ponderado en T2 con saturación de grasa (TR, 2500 mseg; TE, 85 mseg; FA, 90 °; ST, 4 mm; FOV, 18 cm).

Las imágenes de resonancia magnética se evaluaron dos veces, en un intervalo de 2 semanas, y se llevó a cabo por 2 de los autores con experiencia en valoración

de RM de rodilla. El valor promedio de estas dos mediciones se emplearon en el análisis. Para el estudio se utilizó la estación de trabajo PACS (Centricity Enterprise Web V3.0, General Electric Healthcare, Milwaukee, Wisconsin).

Al igual que en investigaciones previas<sup>127</sup>, la posición del injerto se evaluó en imágenes coronales, donde la extrusión era máxima, con el uso de una escala generada por IRM en cada imagen. Esas imágenes coronales generalmente coincidían con el nivel de los ligamentos colaterales correspondientes<sup>128</sup>. La medición se realizó dibujando primero 2 líneas. La primera era una línea vertical que intersectaba el margen periférico de la meseta tibial lateral en el punto de transición de horizontal a vertical. A continuación, se dibujó una línea perpendicular desde el margen exterior del menisco hasta la línea anterior. La longitud de la línea perpendicular en milímetros se definió como la cantidad de extrusión meniscal<sup>88,127</sup>.

Según Costa et al.<sup>88</sup>, cuando el injerto mostró menos de 3 mm de desplazamiento radial, se consideró extrusión menor. Por el contrario, cuando exhibe 3 o más milímetros de subluxación, se define como extrusión mayor.

La extrusión como porcentaje del tamaño del menisco también se calculó para estandarizar los resultados (Figura 19). Esto se realizó dividiendo la cantidad de extrusión meniscal por el ancho total del menisco medido en la misma exploración por resonancia magnética<sup>127</sup>. La extrusión mayor y menor, así como el porcentaje observado de tejido meniscal extruido, se compararon en los grupos A y B.



**Fig. 19**  
*Imagen de resonancia magnética que muestra el método utilizado para el cálculo de extrusión meniscal. Distancia ab, extrusión meniscal en mm;  $ab / ac \times 100$ , porcentaje de extrusión meniscal.*

La evaluación funcional en el seguimiento final incluyó el puntaje de Lysholm, así como el puntaje de Tegner y KOOS. También se usó una escala analógica visual (EVA) de diez puntos para el dolor. Los resultados informados se compararon entre los grupos. La satisfacción del paciente se evaluó con un puntaje subjetivo y se calificó como muy satisfecho (4 puntos), satisfecho (3 puntos), neutral (2 puntos), algo insatisfecho (1 punto) y nada satisfecho (0 puntos).

### **Análisis estadístico**

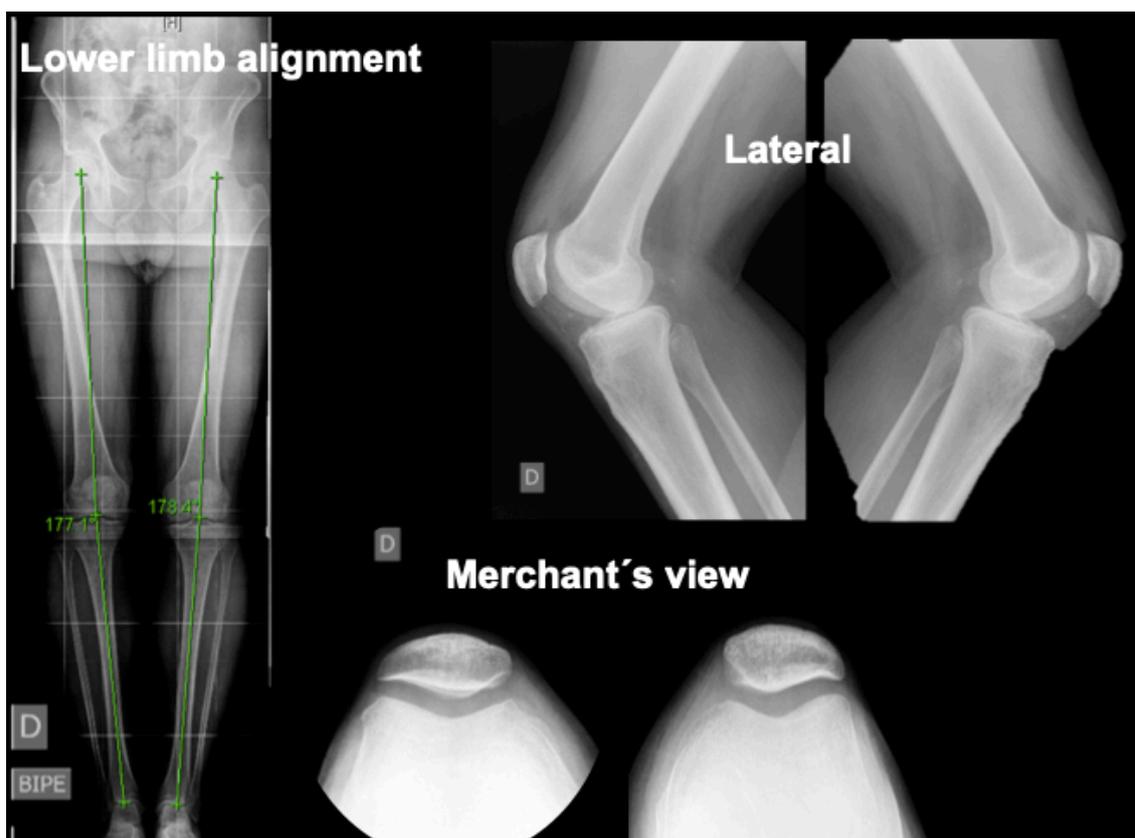
Las variables categóricas se presentan como porcentajes y frecuencias. Las variables continuas se presentan como media +/- desviación estándar. El acuerdo interobservador se analizó utilizando el coeficiente de correlación intraclass en el caso de una variable cuantitativa. Los valores se interpretaron como leve (<0.21), regular (0.21-0.40), moderado (0.41-0.60), sustancial (0.61-0.80) y excelente (0.81-1.00). En todos los casos, se calculó un intervalo de confianza del 95%. Las relaciones entre variables categóricas se describieron con tablas de contingencia. La inferencia se estudió con la prueba de  $\chi^2$  o la prueba exacta de Fisher según lo que correspondía. Las tasas de extrusión meniscal y las puntuaciones funcionales

se compararon entre los 2 grupos mediante la prueba t de Student, dado que todas las variables siguieron las distribuciones normales de acuerdo con el test de Skewness y Kurtosis. El tamaño de la muestra se basó en cálculos de potencia a priori para extrusión. Basado en una prueba t de Student para datos independientes con un poder estadístico del 80% y un error alfa de 0.05, calculamos los pacientes necesarios en los grupos para detectar una diferencia mínima del 10% en el grado de extrusión meniscal como estadísticamente significativo, suponiendo una desviación estándar de 3 y una pérdida de seguimiento máxima del 10%. De nuevo, los resultados homogéneos obtenidos y el uso de la prueba exacta de Fisher para comparar 2 muestras nos lleva a pensar que fue lo suficientemente grande para los fines de esta investigación. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SPSS 19 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). La significación estadística se estableció en 0,05.

**TRABAJO N°2:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Abat F, Gelber PE. Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation. *Int Orthop*. 2019 Nov;43(11):2549-2556.

Se realizó un ensayo clínico aleatorizado y prospectivo siguiendo las pautas CONSORT. El protocolo de estudio fue aprobado por el comité de ética local (ExtMen 2016-01). El consentimiento informado fue firmado por cada paciente. Todos los procedimientos quirúrgicos fueron realizados por dos de los autores (cegados para la revisión). Veintinueve pacientes consecutivos fueron operados mediante un lateral. La técnica de fijación en cada paciente se determinó al azar mediante un sistema de bloques permutados, distribuyéndose entre el grupo de sólo sutura (A) o el grupo de capsulodesis (B). En todos los casos, el TMA estaba indicado para tratar el dolor de la línea articular lateral debido a una amplia meniscectomía previa en pacientes que no habían mejorado con terapias no quirúrgicas. Aunque no se ha establecido una relación entre la mala alineación y la extrusión meniscal, se excluyeron los pacientes con alineación más allá de 5

grados de varo o valgo. Los pacientes que tenían un grado Ahlback mayor que II también fueron excluidos (Figura 20). Tampoco se consideraron para este estudio, los casos asociados a procedimientos quirúrgicos concomitantes o pacientes con un índice de masa corporal mayor de 30 considerados.



**Fig. 20**

*Pruebas radiológicas básicas que se solicitan en un paciente antes de someterse a un TMA que incluyen una radiografía telemétrica de EEII para descartar un eje inadecuado, proyección axial (de Merchant) y perfiles, además de solicitar una proyección de Schuss o Rosenberg (mostrada en la figura 15) y una resonancia magnética para confirmar la ausencia de patología condral en otros compartimentos.*

Las evaluaciones radiográficas y funcionales fueron realizadas por dos observadores independientes (ambos, cirujanos ortopédicos). Con respecto a la evaluación funcional, los observadores estaban cegados al tipo de fijación utilizada en el TMA.

## Técnica quirúrgica

El tamaño del aloinjerto se hizo coincidir con las dimensiones morfométricas del donante (peso y tamaño) y se verificó dos veces con el método descrito por Pollard et al.<sup>98</sup> Los aloinjertos fueron congelados, no irradiados y sin antígeno. Fueron provistos por un banco local autorizado de tejidos.

La técnica quirúrgica se realizó artroscópicamente en todos los casos. Los detalles específicos de la técnica de sólo sutura<sup>20,108</sup>, así como la técnica de capsulodesis se han descrito previamente<sup>22</sup>. En todos los procedimientos, los restos de los meniscos del huésped fueron evaluados y refrescados usando una combinación de “*shaving*”, raspado y trepanación de alta frecuencia para promover la curación. Durante el procedimiento quirúrgico, todos los aloinjertos se remojaron y se mantuvieron en una solución salina de vancomicina a 36°C<sup>129</sup>. En todos los casos, ambos cuernos meniscales se fijaron mediante suturas a través de túneles transóseos de 4,5 mm perforados en los anclajes anatómicos de la raíz meniscal anterior y posterior. Una vez que el aloinjerto se colocó correctamente, la fijación final se realizó con una combinación de suturas verticales y/o horizontales (Fast-Fix; Smith & Nephew, Andover, MA) en la mitad posterior del menisco, hasta el hiato poplíteo, y con suturas de afuera hacia adentro en la mitad anterior. Las suturas se colocaron cada 5 a 10 mm alternando los aspectos superior e inferior del injerto para obtener una mejor posición final del TMA y mejorar su fijación al borde o cápsula original. Al final del procedimiento, las suturas colocadas en los cuernos se unieron sobre la cortical tibial anteromedial.

Todos los aloinjertos que se fijaron solo con suturas transóseas en los cuernos anterior y posterior se consideraron como Grupo A. En el grupo B, el borde meniscal lateral nativo o la cápsula fueron fijadas en el margen lateral de la meseta tibial lateral (capsulodesis), justo antes de realizar el trasplante meniscal. La cápsula lateral redundante o suelta se identificó por primera vez. Si se observó

algún osteofito en el borde lateral de la meseta tibial, se usó una fresa motorizada para eliminarlo. Se perforaron dos túneles de 2.4 mm desde la corteza tibial anteromedial apuntando hacia el borde de la meseta tibial lateral, dejando un puente de 10 mm entre ellos, donde se vio la cápsula más desplazada lateralmente. Se realizó con la ayuda de una guía de LCA tibial (Pinn-ACL Guide. ConMed, Largo, Florida). Luego se pasó una sutura a través de cada túnel. La cápsula que incluía cualquier remanente meniscal fue perforada con una aguja espinal calibre 18 cargada con una sutura PDS #2 usando una técnica de afuera hacia adentro. Estas suturas de lanzadera fueron reemplazadas por suturas de alta resistencia y tiradas hacia abajo a través de cada túnel tibial. Esta maniobra lleva la cápsula sobre el platillo tibial lateral, reduciendo cualquier redundancia (capsulodesis). Finalmente, las dos hebras se unieron entre sí en la cortical tibial, de manera similar a la fijación del asta meniscal. Alternativamente, se pueden atar sobre un botón. Una vez realizada la capsulodesis, se realizó el trasplante meniscal en sí.

### **Cuidados postoperatorios**

Todos los pacientes tenían el mismo protocolo postoperatorio. Las primeras 2 semanas, solo se permitió el soporte de peso propioceptivo con una rodillera bloqueada en extensión completa. Posteriormente se permitió un carga de peso progresiva.

La carga completa se obtuvo aproximadamente entre las semanas 4 y 6, dependiendo de la tolerancia de los pacientes. Los ejercicios de rango de movimiento se limitaron a 90 grados las primeras 4 semanas, aumentaron progresivamente en la semana seis y después se permitió un rango de movimiento completo. A los 4 meses de la cirugía, la mayoría de los pacientes volvieron a la actividad normal y a las cargas de trabajo habituales.

### **Evaluación de resonancia magnética**

Se realizó una resonancia magnética para cada paciente en posición supina antes de la cirugía y entre los 12 y 36 meses de seguimiento. Todas las imágenes de resonancia magnética se realizaron en un imán superconductor de 1,5 T (Prestige 2T, Elscint, Haifa, Israel) utilizando una bobina circular específica para la rodilla. El protocolo para cada estudio fue: eco de giro rápido axial ponderado en T2 con saturación grasa, eco de giro rápido coronal ponderado intermedio, eco de giro sagital ponderado intermedio y eco de giro rápido sagital ponderado en T2 con saturación de grasa. Las imágenes fueron evaluadas dos veces, con 3 semanas de diferencia. Dos observadores independientes (cirujanos ortopédicos) evaluaron las imágenes. La media de estas 2 mediciones se utilizó en el análisis. Para el estudio se utilizó la estación de trabajo PACS (Centricity Enterprise Web V3.0, General Electric Healthcare, Milwaukee, Wisconsin). Como se informó, la posición del injerto se evaluó en imágenes coronales<sup>127</sup>, donde la extrusión es máxima. En general, estos cortes se situaban a nivel del ligamento colateral medial. La medición se realizó dibujando 2 líneas. Una de ellas era una línea vertical que cruzaba el margen periférico del platillo tibial lateral (PTL) en el punto de transición de horizontal a vertical. También se dibujó una línea perpendicular desde el margen exterior del menisco hasta la línea anterior. Este último se realizó específicamente para medir el grado de extrusión<sup>88,127</sup>. Además, cuando el injerto se extruyó menos de 3 mm más allá del PTL, se consideró una extrusión menor<sup>88</sup>. Por el contrario, se consideró una extrusión mayor cuando el aloinjerto exhibió más de 3 milímetros de subluxación<sup>88</sup>. También se calculó el porcentaje de tejido meniscal extruido. Tanto el porcentaje de extrusión como la clasificación en extrusión mayor o menor, fueron comparados entre los grupos.

### **Evaluación funcional**

Los resultados clínicos fueron evaluados antes de la cirugía y al final del seguimiento, mediante la puntuación de Lysholm y la Escala de actividad de Tegner. También se usó una escala analógica visual (EVA) de diez puntos para el

dolor. Además se utilizó la satisfacción del paciente con una puntuación subjetiva. Se calificó como muy satisfecho (4 puntos), satisfecho (3 puntos), neutral (2 puntos), algo insatisfecho (1 punto) y nada satisfecho (0 puntos). Todos los resultados se usaron para comparar los resultados entre los grupos.

### **Análisis de los datos**

El tamaño de la muestra se basó en cálculos de potencia a priori para extrusión. Mientras que las variables categóricas se reflejan en porcentajes y frecuencias, las variables continuas se expresan mediante una media +/- desviación estándar. El acuerdo interobservador se incluyó utilizando el coeficiente de correlación intraclase. Los valores fueron interpretados en base a estudios previos<sup>130</sup>. Se calculó un intervalo de confianza del 95% para todas las variables posibles. La prueba t de Student se utilizó para datos independientes con una potencia estadística del 80% y un error alfa de 0,05 para calcular el número de pacientes necesarios en cada grupo para detectar diferencias mínimas estadísticamente significativas del 10% en relación con el grado de extrusión meniscal .

Hubo una desviación estándar de 3 y una pérdida máxima de seguimiento del 10%. Los resultados obtenidos usando la prueba exacta de Fisher para comparar dos muestras nos lleva a pensar que es lo suficientemente amplio para el análisis de las hipótesis de este estudio. La prueba t de Student también se utilizó para comparar las tasas de extrusión meniscal y las puntuaciones funcionales entre los dos grupos. La prueba de Skewness y Kurtosis demuestran que todas las variables siguieron distribuciones normales.

Todos los análisis de datos se evaluaron utilizando el paquete SPSS 19 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). La significación estadística se estableció en 0,05.

**TRABAJO N°3:** Masferrer-Pino A, Saenz-Navarro I, Rojas G, Perelli S, Erquicia J, Gelber PE, Monllau JC. *The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion. Arthroscopy.* 2020 Mar 18. pii: S0749-8063(20)30233-4. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.010. [Epub ahead of print]

En este trabajo, se utilizaron doce rodillas cadavéricas congeladas frescas sin lesión previa, antecedentes quirúrgicos o anomalías anatómicas groseras. Todas ellas fueron donadas al Laboratorio de Anatomía. Antes de la muerte, todos los donantes habían expresado voluntariamente su voluntad de donar sus cuerpos para la educación anatómica y estudio, de conformidad con la ley vigente. El Comité Ético local de Investigación Clínica de nuestra institución aprobó el protocolo de estudio. Durante la preparación y disección, se excluyeron finalmente dos rodillas del estudio después de observar un proceso degenerativo severo (grado Ahlbäck mayor que II) y / o cambios significativos en el menisco lateral (desgarros visuales del menisco). Finalmente, se incluyeron 10 rodillas (5 rodillas derechas y 5 izquierdas). La mitad de las rodillas correspondía a donantes masculinos y la otra mitad a femeninos. La edad promedio de los donantes fue de 64.7 años (rango de 50 a 84).

El protocolo para la preparación de muestras fue el siguiente. El día antes de la disección (24 horas), se retiró una de las rodillas del congelador (ajustado a -20°C) y se dejó a temperatura ambiente envuelta en una gasa empapada con solución salina. En cada rodillo, todo el trabajo de disección se realizó durante el mismo día, lo que evitó la necesidad de volver a congelar o preservar con otras sustancias químicas que pudieran alterar las propiedades estructurales de los tejidos. Todas las disecciones fueron realizadas por dos cirujanos de rodilla bajo la supervisión de un profesor de anatomía de la universidad local con 21 años de experiencia en el campo. El profesor creó el protocolo de disección seguido para

todas las rodillas. Para evitar confusiones y cambios de criterios durante el estudio, el mismo equipo estuvo siempre presente en todas las disecciones.

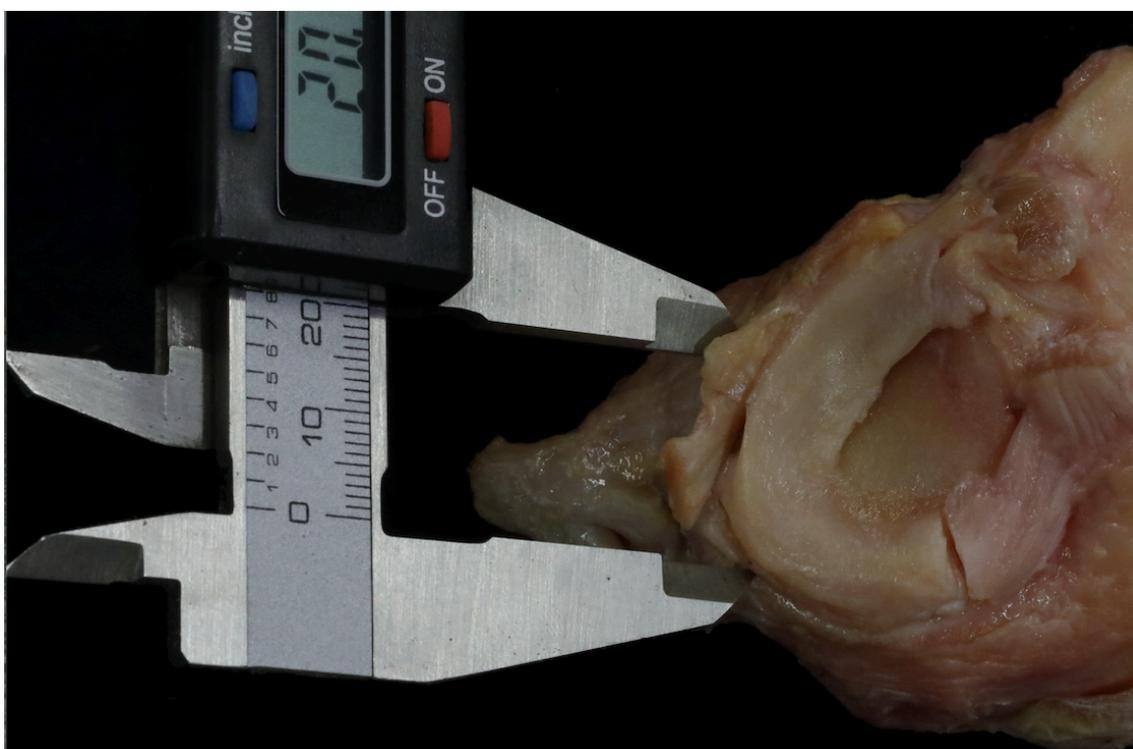
### **Protocolo de disección**

La preparación de las rodillas cadavéricas siguió siempre el mismo protocolo. En primer lugar, la diáfisis femoral y tibial se cortaron a 10cm de la línea articular. Se disecó y rechazó toda la piel cuidadosamente hasta que se visualizó la fascia lata en el lado lateral. Posteriormente, el tubérculo de Gerdy fue disecado, identificado y marcado en su inserción distal. Luego, se identificaron el tendón del bíceps femoral (BFT), el nervio ciático y el nervio peroneo común. Las estructuras laterales principales como el ligamento colateral fibular (FCL), el tendón poplíteo (PT) y el ligamento poplíteo-fibular (PFL), se disecaron cuidadosamente hasta que se visualizaron correctamente. Se realizó una artrotomía parapatelar lateral. A continuación, se disecaron y seccionaron el ligamento cruzado anterior y posterior (ACL y PCL). Posteriormente, el FCL y el PT se marcaron y seccionaron a nivel femoral para desmontar el fémur y exponer todo el compartimento lateral. Además, también se extrajo el hueso rotuliano y el tendón rotuliano se seccionó distalmente. Para facilitar aún más la disección, se realizó una osteotomía sagital a nivel intercondilar asegurando que las raíces meniscales y otras estructuras de interés no sufrieran daños. Después de la disección, las estructuras laterales principales, FCL, PT, PFL, ligamento poplíteo-meniscal (PML) y ligamento menisco-tibial lateral (LMTL), fueron nuevamente identificadas y marcadas correctamente.

### **Mediciones**

Para evitar errores en la medición de los puntos de referencia establecidos por el equipo, todas las mediciones siempre fueron determinadas independientemente por los dos cirujanos de rodilla que participaron en las disecciones bajo la supervisión del profesor de anatomía. Se realizaron con un mismo calibrador

electrónico (Digimatic Caliper, Mitutoyo, Japón) con un grado de precisión de 0.01 mm (Figura 21). Para evitar el movimiento de la rodilla cadavérica durante las mediciones, se fijó en una mesa de trabajo y se perforó delicadamente el menisco lateral con un aguja fina de K quedando fijado a la meseta tibial sin dañar las estructuras periféricas objeto de estudio. Todas las mediciones se tomaron tres veces y el promedio se registró y se utilizó para el estudio. En el caso de tener que determinar mediciones con curvatura, se determinaron mediante la suma de mediciones tridimensionales en la ruta periférica de la estructura medida.



**Fig. 21**

*Discción anatómica de una rodilla derecha. Vista axial donde se muestra un ejemplo de medición anteroposterior utilizando un calibrador electrónico.*

### **Marcas (“landmarks”)**

Para definir mejor las uniones del cuerpo del menisco lateral y su área posterolateral, se planificaron junto con el profesor de anatomía todas las

mediciones (es decir, grosor, amplitud, ubicación y tamaño) de las estructuras involucradas (PFL, PML y LMTL), así como sus relaciones en el compartimento lateral. Se tomó el punto medio del FCL como referencia anatómica para diferenciar mejor entre las estructuras anteriores (ventral) (LMTL) y posteriores (dorsal) (PFL y PML) del complejo menisco-tibio-popliteo-fibular (MTPFC) propuesto.

Las medidas incluyeron: a) el grosor medio-lateral del LMTL, b) el grosor medio-lateral de los ligamentos PFL / PML, c) la distancia anteroposterior del LMTL, d) la distancia anteroposterior de los ligamentos PFL / PML, e) la distancia anteroposterior de todo el complejo (MTPFC), f) la distancia desde el punto medio del MTPFC hasta el punto medio del asta posterior de la raíz del menisco lateral (PHLM), g) la distancia desde el punto medio del MTPFC al asta anterior de la raíz del menisco lateral (AHLM), y h) la distancia desde la unión tibial de LMTL a la superficie articular de la meseta tibial lateral.

### **Estudio histopatológico**

Una vez que se determinaron todas las mediciones necesarias para el estudio, se obtuvieron muestras de las 10 rodillas con el objetivo de realizar un estudio histológico. Se seccionaron las raíces meniscales y se recogió un bloque que incluía todo el menisco lateral unido al MTPFC. Las muestras de tejido se fijaron en formol al 10% a temperatura ambiente durante más de 24 horas y se descalcificaron en una solución que contenía cloruro de aluminio, ácido clorhídrico y ácido fórmico, según el método de Plank y Rychlo<sup>131</sup>. Los bloques fueron incrustados en parafina y seccionados a 7  $\mu$ m. Se cortaron dos secciones coronales para cada bloque. Uno incluía el cuerpo del menisco y el LMTL (anterior al FCL) y otro incluía el cuerpo del menisco y el PFL y PML (posterior al FCL). Algunas secciones se tiñeron con tricromo de Masson y otras con hematoxilina-eosina.

### **Análisis estadístico**

Las variables categóricas se expresan como medias y desviación estándar (DE). En todos los casos, también se calculó un intervalo de confianza del 95%. El acuerdo entre observadores se analizó utilizando el coeficiente de correlación intraclase en el caso de una variable cuantitativa. Una puntuación superior a 0,80 se consideró como un acuerdo excelente. Todos los puntajes de ICC fueron mayores a 0.95 (rango 0.95–0.99). El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete de software SPSS 19 (SPSS Inc, Chicago, Illinois).

## 5. RESULTADOS

En esta tesis por compendio de artículos, el apartado *Resultados* se corresponde con los datos publicados en cada uno de los trabajos de investigación.

**TRABAJO N°1:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JI, Pelfort X, Gelber PE. *Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results. Arthroscopy. 2018; 34(6):1879-88.*

El período de seguimiento promedio fue de 2.1 años (rango, 1-4) y 1.5 años para la resonancia magnética postoperatoria (rango, 1-4). No se perdieron pacientes durante el seguimiento. La serie estaba compuesta por 19 hombres (65,5%) y 10 mujeres (34,5%) con una edad media de 38,2 años (rango, 26 a 51 años). Todos los trasplantes (100%) se realizaron para reemplazar el menisco lateral.

Catorce (48,3%) TMA se realizaron en las rodillas derechas y 15 (51,7%) en rodillas izquierdas. El grupo A, consistió en 15 aloinjertos (51,7%) que se fijaron con una técnica de fijación ósea (barra ósea). El grupo B estaba compuesto por 14 aloinjertos (48,3%) que se aseguraron con túneles transóseos en ambos cuernos y previamente una fijación capsular de tejidos blandos (capsulodesis). Ambos grupos fueron comparables en términos de edad, sexo y hallazgos radiográficos, así como en su estado funcional preoperatorio (Tabla 2), a excepción de la escala preoperatoria de Lysholm.

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Age, yr	35.47 ± 8.50 (30.76, 40.17)	40.93 ± 7.03 (36.87, 44.99)	.86
Gender, male/female, %	60/40	71.5/28.5	.52
Lysholm	61.33 ± 9.93 (55.83, 66.83)	48.79 ± 13.90 (40.76, 56.81)	.05
Tegner	4 (2-5) (2.96, 4.64)	4 (3-5) (2.95, 4.48)	.87
Visual analog scale	7.53 ± 2.53 (5.13, 7.94)	8.21 ± 0.97 (7.65, 8.78)	.51
Rx joint space narrowing, mm	3.10 ± 1.50 (2.74, 3.64)	3.00 ± 1.20 (2.83, 4.01)	.44

NOTE. Values expressed as mean, standard deviation, and 95% confidence interval unless otherwise indicated.

**Tabla 2.** Composición de ambos grupos antes de la cirugía.

### Extrusión meniscal

Según los criterios de extrusión mencionados anteriormente, 17 rodillas (58,62%) exhibieron una extrusión de injerto menor (<3 mm) y 12 (41,38%) tuvieron una extrusión de injerto mayor (> 3 mm). En el grupo A, 7 casos (46,67%) se consideraron extrusión menor y 8 casos (53,33%) extrusión mayor, mientras que hubo 10 (71,43%) y 4 casos (28,57%), respectivamente ( $p = 0,18$ ) en el grupo B (Tabla 3). Al comparar el grado de extrusión meniscal con el tipo de fijación empleada, también se encontró una tendencia hacia un menor porcentaje de extrusión en el grupo B. En el Grupo A, este porcentaje fue 34.40 +/- 12.16, mientras que 24.65 +/- 15.49 se observó en Grupo B ( $p = 0.07$ ) (Tabla 4). La peor tasa de extrusión de injerto en el grupo B se observó en los primeros 4 casos. Si se ignoraran estos 4 casos, los resultados obtenidos serían aún mejores ya que solo se encontraría 1 caso de extrusión mayor en el grupo B ( $p = 0,027$ ) (Tabla 5). Al comparar el grado de extrusión meniscal con el tipo de fijación empleada, se encontró un porcentaje aún menor de meniscos extruidos en el grupo B ( $p = 0.01$ ) (Tabla 6) (Figura 22).

	Minor	Major
Bony fixation	7 (46.67%)	8 (53.33%)
Capsulodesis	10 (71.43%)	4 (28.57%)
Total	17 (58.62%)	12 (41.38%)
		$P = .18$

**Tabla 3.** Frecuencia de extrusión del aloinjerto (todos los casos).

	Minor	Major
Bony fixation	7 (46.67%)	8 (53.33%)
Capsulodesis	9 (90%)	1 (10.00%)
Total	16 (64.00%)	9 (36.00%)
		<i>P</i> = .027

**Tabla 4.** Frecuencia de extrusión del aloinjerto (excluyendo los 4 primeros casos de curva de aprendizaje en el grupo B).

Group	Observations	Mean	SD
Bony fixation	15	34.40	12.16
Capsulodesis	14	24.65	15.49
<i>P</i> value	.07		

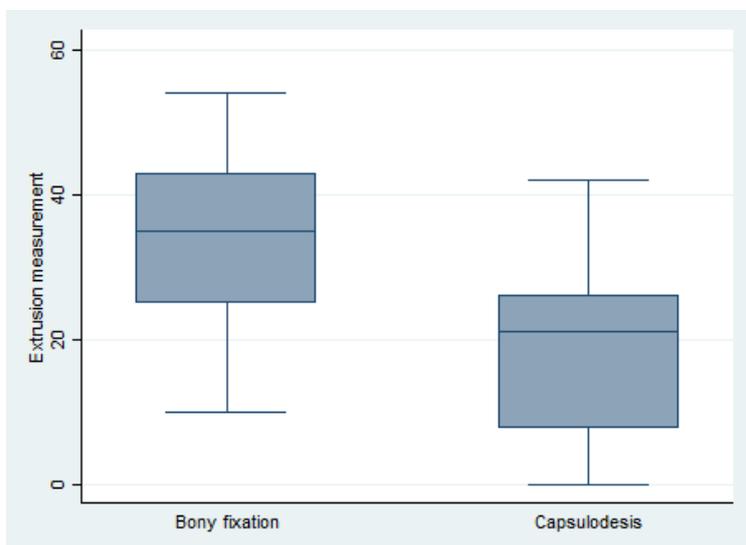
**Tabla 5.** Porcentaje de extrusión meniscal (todos los casos).

SD, standard deviation.

Group	Observations	Mean	SD
Bony fixation	15	34.40	12.16
Capsulodesis	10	19.15	12.41
<i>P</i> value	.01		

**Tabla 6.** Porcentaje de extrusión meniscal (excluyendo los 4 primeros casos de curva de aprendizaje en el grupo B).

SD, standard deviation.

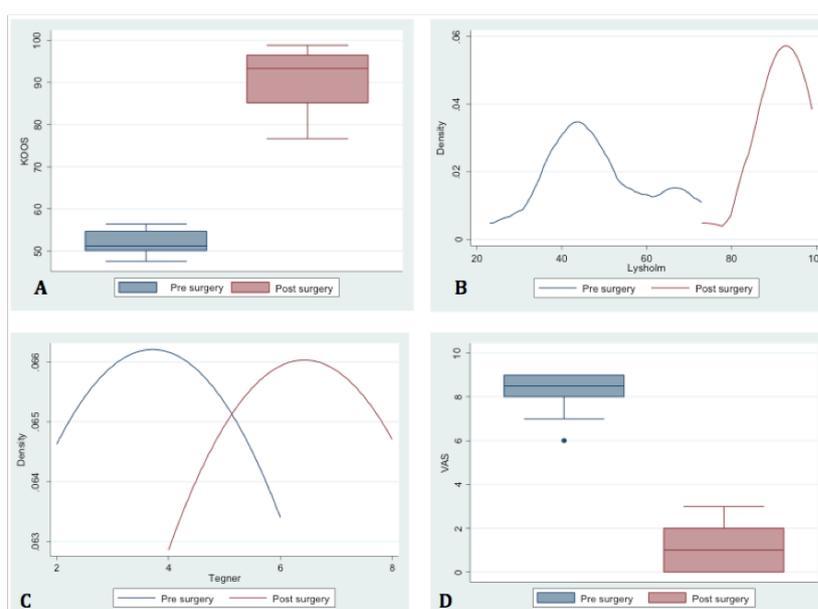


**Figura 22.** Se observó un menor porcentaje de extrusión meniscal en el grupo B.

## Resultados clínicos

Con respecto a los resultados funcionales evaluados con la puntuación de Lysholm, se obtuvo una mejora general independientemente de la técnica

utilizada. A partir de un puntaje inicial de Lysholm de  $61.33 \pm 9.93$  y  $48.79 \pm 3.90$  en el grupo A y B, respectivamente, el puntaje de seguimiento final en el grupo A fue  $94.33 \pm 5.96$  ( $p < 0.001$ ) y  $91.43 \pm 6.19$  ( $p < 0.001$ ) en el grupo B (Figura 23b). Del mismo modo, se obtuvo una mejora general con respecto a los puntajes de Tegner y VAS. El puntaje promedio de Tegner mejoró significativamente de 4 (rango, 2-5) a 7 (rango, 6-9) en el Grupo A ( $p < 0.001$ ) y de 4 (rango, 3-5) a 7 (rango, 6-8) en el Grupo B ( $p < 0,001$ ) (Figura 23c). El puntaje VAS promedio cayó de  $7.53 \pm 2.53$  a  $0.67 \pm 1.11$  en el grupo A ( $p < 0.001$ ) y de  $8.21 \pm 0.97$  a  $0.93 \pm 1.00$  en el grupo B ( $p < 0.001$ ), por lo que disminuyó 5.87 y 7.29 puntos promedio en los grupos A y B, respectivamente (Figura 23d). La puntuación KOOS mejoró de  $51.98 \pm 2.84$  a  $90.88 \pm 7.53$  en el Grupo A ( $p < 0.001$ ) y de  $50.44 \pm 2.32$  a  $92.01 \pm 6.71$  en el Grupo B ( $p < 0.001$ ) (Figura 23a). Finalmente, la satisfacción del paciente con respecto al procedimiento mostró una media general de  $3.6 \pm 0.2$  puntos de un máximo de 4 en el Grupo A y  $3.8 \pm 0.4$  en el Grupo B. No se observaron diferencias cuando se compararon los dos grupos en estudio en cualquiera de las variables analizadas (tabla 7). El coeficiente de correlación intraclase obtenido se consideró excelente (0,94; IC del 95%, 0,81 a 0,97). No se registraron complicaciones en esta serie.



**Figura 23.** Mejora general de las puntuaciones funcionales en el Grupo B: a) KOOS, b) Lysholm, c) Tegner, d) VAS

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Lysholm	94.33 ± 5.96 (89.83, 98.51)	91.43 ± 6.19 (86.34, 97.22)	.05
Tegner	7 (6-9) (5.97, 9.01)	7 (6-8) (5.88, 8.51)	.87
Visual analog scale	0.67 ± 1.11 (0.43, 1.21)	0.93 ± 1.00 (0.52, 1.13)	.51
KOOS	90.88 ± 7.53 (88.64, 92.01)	92.01 ± 6.71 (90.83, 96.77)	.44

NOTE. Values expressed as mean, standard deviation, and 95% confidence interval unless otherwise indicated. KOOS, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score.

**Tabla 7.** Resultados funcionales de ambos grupos después de la cirugía.

**TRABAJO N°2:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Abat F, Gelber PE. Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation. *Int Orthop.* 2019 Nov;43(11):2549-2556.

El período de seguimiento radiológico promedio con RM postoperatoria fue de 1.5 años (rango, 1-3), mientras que para el seguimiento clínico fue de 3.2 años (rango, 1-4). La serie estaba compuesta por 19 hombres (65.5%) y 10 mujeres (34.5%) con una edad promedio de 40.9 años (rango, 26 a 54 años). Dieciséis (55.2%) TMA se realizaron en rodillas derechas mientras que 13 (44.8%) se realizaron en rodillas izquierdas. Hubo 15 casos en el Grupo A (51.7%) y 14 casos en el Grupo B (48.3%). La Tabla 8 muestra que ambos grupos fueron comparables en términos de hallazgos radiográficos, género, edad y estado funcional preoperatorio.

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Age, years	41 ± 8.5 (33.8, 41.7)	40.9 ± 7.0 (36.8, 45)	0.74
Gender, male/female, %	60/40	71.5/28.5	0.55
Lysholm	62.3 ± 11.8 (56.3, 68.4)	48.79 ± 13.90 (40.7, 56.8)	0.07
Tegner	4 (3-5) (2.96, 4.64)	4 (3-5) (2.95, 4.5)	0.87
Visual analog scale	7.3 ± 2.1 (5.17, 7.8)	8.21 ± 1 (7.6, 8.8)	0.51
Rx joint space narrowing, mm	3.1 ± 1.4 (2.62, 3.6)	3 ± 1.2 (2.8, 4.0)	0.33

Values expressed as mean, standard deviation, and 95% CI unless otherwise indicated

**Tabla 8.** Composición de ambos grupos antes de la cirugía.

## Extrusión de injerto

De acuerdo con los criterios de extrusión descritos anteriormente, 14 rodillas (48,3%) mostraron extrusión de injerto menor (<3 mm) mientras que se observó extrusión mayor (> 3 mm) en 15 pacientes (51,7%). Dentro del Grupo A, hubo 4 casos (26.7%) de extrusión menor y 11 casos (73.3%) de extrusión mayor. En el Grupo B, hubo extrusión mayor y menor en 10 (71,4%) y 4 casos (28, 6%), respectivamente (Tabla 9) ( $p = 0,02$ ).

Si nos enfocamos en comparar el grado de extrusión del menisco con el tipo de fijación utilizada, también se observó un menor porcentaje de extrusión en el grupo B. En el grupo A, este porcentaje fue de  $35 \pm 9.8$ . Por el contrario, se observó  $24,6\% \pm 15,5$  de tejido meniscal extruido en el Grupo B ( $p = 0,04$ ) (Tabla 10).

	Minor	Mayor
Suture-only	4 (26.7%)	11 (73.3%)
Capsulodesis	10 (71.4%)	4 (28.6%)
Total	14 (48.3%)	15 (51.7%)

$p = 0.02$

**Tabla 9.** Frecuencia de extrusión meniscal en ambos grupos.

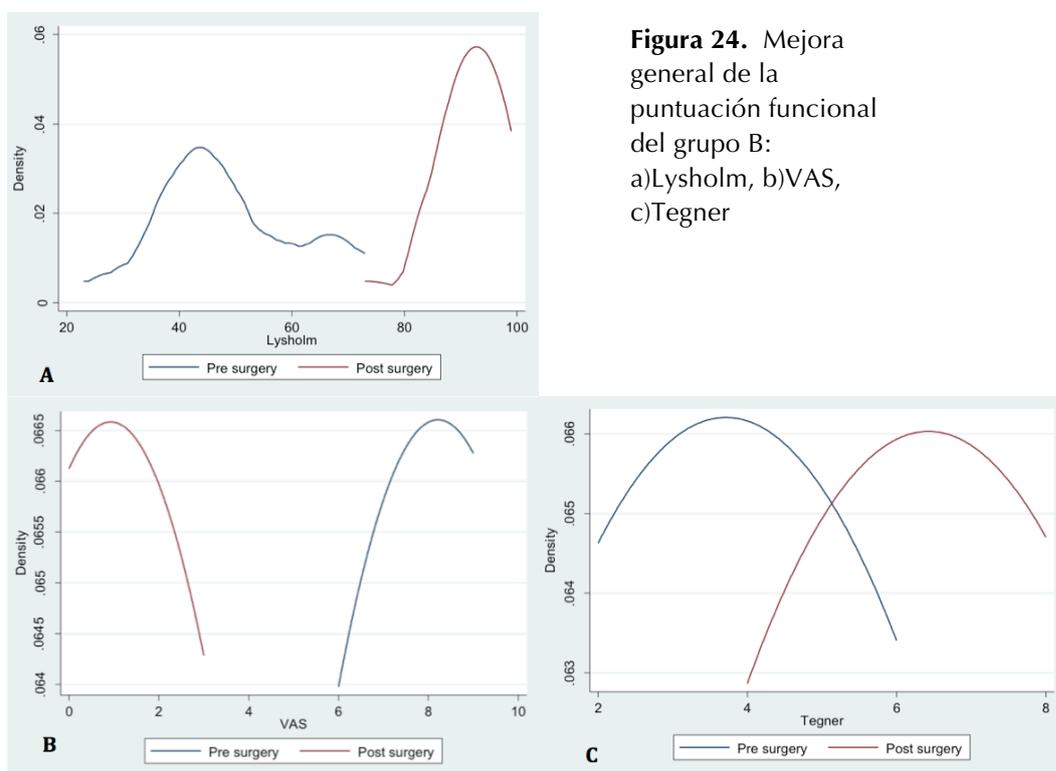
Group	Observations	Mean	S.D.
Suture-only	15	35	9.8
Capsulodesis	14	24.6	15.5
$p$ value	0.04		

**Tabla 10.** Porcentaje de extrusión meniscal en ambos grupos.

## Resultados clínicos

Se observó una mejora significativa en todas las puntuaciones evaluadas cuando se compararon los valores pre y postoperatorios, independientemente de la

técnica utilizada. La puntuación de Lysholm mejoró de  $62.3 \pm 11.8$  y  $48.8 \pm 13.9$  a  $89.6 \pm 6.9$  ( $p < 0.001$ ) y  $91.4 \pm 6.19$  ( $p < 0.001$ ), en los Grupos A y B, respectivamente (Figura 24a). Del mismo modo, la puntuación media de VAS disminuyó de  $7.3 \pm 2.1$  a  $1.3 \pm 1.40$  en el grupo A ( $p < 0.001$ ) y de  $8.2 \pm 1$  a  $0.9 \pm 1$  en el grupo B ( $p < 0.001$ ) (Figura 24b). El puntaje de actividad de Tegner también mejoró de 4 (rango, 3-5) a 7 (rango, 6-9) en el Grupo A ( $p < 0.001$ ) y de 4 (rango, 3-5) a 7 (rango, 6-8 ) en el Grupo B ( $p < 0.001$ ) (Figura 24c). La satisfacción del paciente respecto a la cirugía fue de  $3.4 \pm 0.3$  puntos en el Grupo A y  $3.8 \pm 0.2$  en el Grupo B, sobre un máximo de 4 puntos. No se observaron diferencias al comparar las variables funcionales analizadas entre los dos grupos de estudio. El coeficiente de correlación intraclase se clasificó como excelente (0,89; IC del 95%: 0,81 a 0,95). Finalmente, no se han reportado complicaciones en esta serie.



**Figura 24.** Mejora general de la puntuación funcional del grupo B: a) Lysholm, b) VAS, c) Tegner

**TRABAJO N°3:** Masferrer-Pino A, Saenz-Navarro I, Rojas G, Perelli S, Erquicia J, Gelber PE, Monllau JC. *The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion. Arthroscopy.* 2020 Mar 18. pii: S0749-8063(20)30233-4. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.010. [Epub ahead of print]

### Mediciones anatómicas

Todas las medidas obtenidas se muestran en la Tabla 11, expresadas en milímetros +/- SD (IC 95%). En relación con la medición del grosor mediolateral del LMTL, la media fue de 0.62 +/- 0.18 (0.49 - 0.75). El grosor mediolateral del área formada por el PFL / PML fue 1.05 +/- 0.27 (0.85 - 1.24), siendo esta área (situada posterior a las fibras del FCL) más gruesa que la anterior (situada anterior en relación al FCL). Mientras que la distancia anteroposterior del LMTL fue 15.80 +/- 4.80 (12.40 - 19.30), la distancia anteroposterior del área PFL / PML fue 10.40 +/- 1.70 (9.21 - 11.63). Además, la medición de la distancia anteroposterior de todo el complejo (MTPFC) fue 28.20 +/- 4.95 (24.70 - 31.70). Por otro lado, la distancia promedio desde el punto medio del MTPFC hasta el punto medio de la raíz PHLM fue 29.30 +/- 2.29 (27.60 - 30.90), mientras que la distancia promedio desde el punto medio del MTPFC hasta el punto medio de la raíz AHLM fue 32.00 +/- 4.80 (28.60 - 35.50). Además, la distancia promedio desde la inserción tibial de LMTL hasta la superficie articular de la meseta tibial lateral fue de 5.59 +/- 1.22 (4.72 - 6.46).

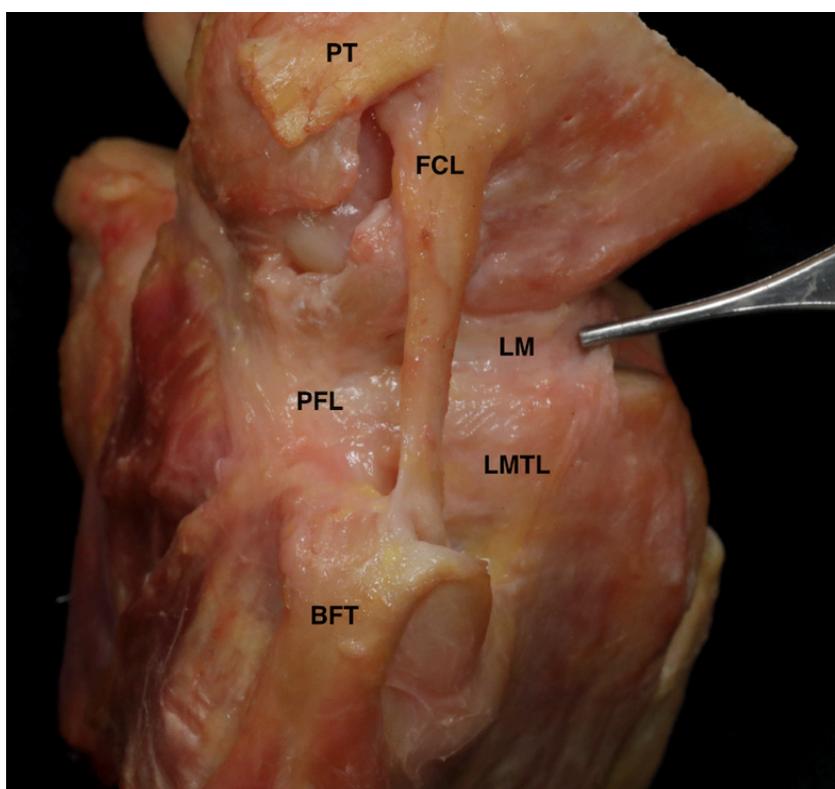
Variable	Mean (N = 10)	SD	95% CI
LMTL thickness, mm	0.62	0.18	0.49-0.75
PFL-PML thickness, mm	1.05	0.27	0.85-1.24
Anteroposterior distance of LMTL, mm	15.80	4.80	12.40-19.30
Anteroposterior distance of PFL-PML, mm	10.40	1.70	9.21-11.63
Anteroposterior distance of MTPFC, mm	28.20	4.95	24.70-31.70
Distance from MTPFC to PHLM, mm	29.30	2.29	27.60-30.90
Distance from MTPFC to AHLM, mm	32.00	4.80	28.60-35.50
Distance from LMTL tibial insertion to articular surface, mm	5.59	1.22	4.72-6.46

AHLM, anterior horn of lateral meniscus; CI, confidence interval; LMTL, lateral meniscotibial ligament; MTPFC, menisco-tibio-popliteus-fibular complex; PFL, popliteofibular ligament; PHLM, posterior horn of lateral meniscus; PML, popliteomeniscal ligament; SD, standard deviation.

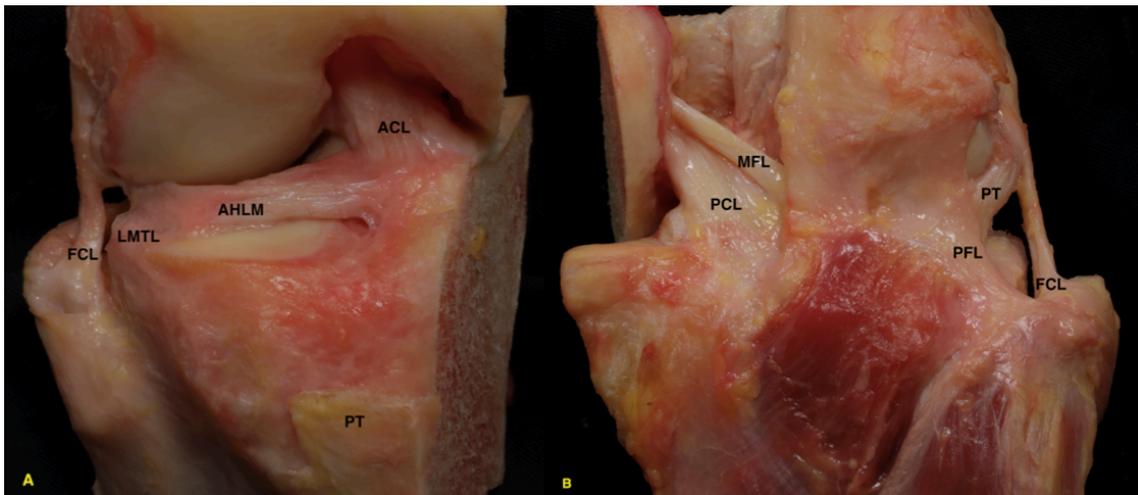
**Tabla 11.** Mediciones anatómicas promedio en las 10 rodillas cadavéricas disecadas

## Resultados morfológicos

Con referencia a los anclajes del cuerpo del menisco lateral, se encontró que las estructuras estaban constantemente relacionadas en todas las rodillas disecadas. Una vez que se seccionaron el BFT y el PT, y antes de seccionar el FCL, se observó una relación entre el LMTL y su continuación con el PFL. En una visión sagital, esa combinación cubre toda la parte lateral de la unión del cuerpo meniscal a la tibia (Figura 25). El origen de la LMTL se observa anterior al FCL, mientras que el final del PFL se encuentra posterior al FCL. Sin embargo, están en una relación continua, formando el MTPFC. El LMTL puede observarse fácilmente en una vista anterior, siendo una estructura delgada y laxa que conecta el cuerpo meniscal con la meseta tibial como se describe en los resultados de las mediciones (Figura 26a). Por otro lado, se puede observar que el PFL es una estructura más gruesa y tensa en comparación con el LMTL en una vista posterior (Figura 26b).

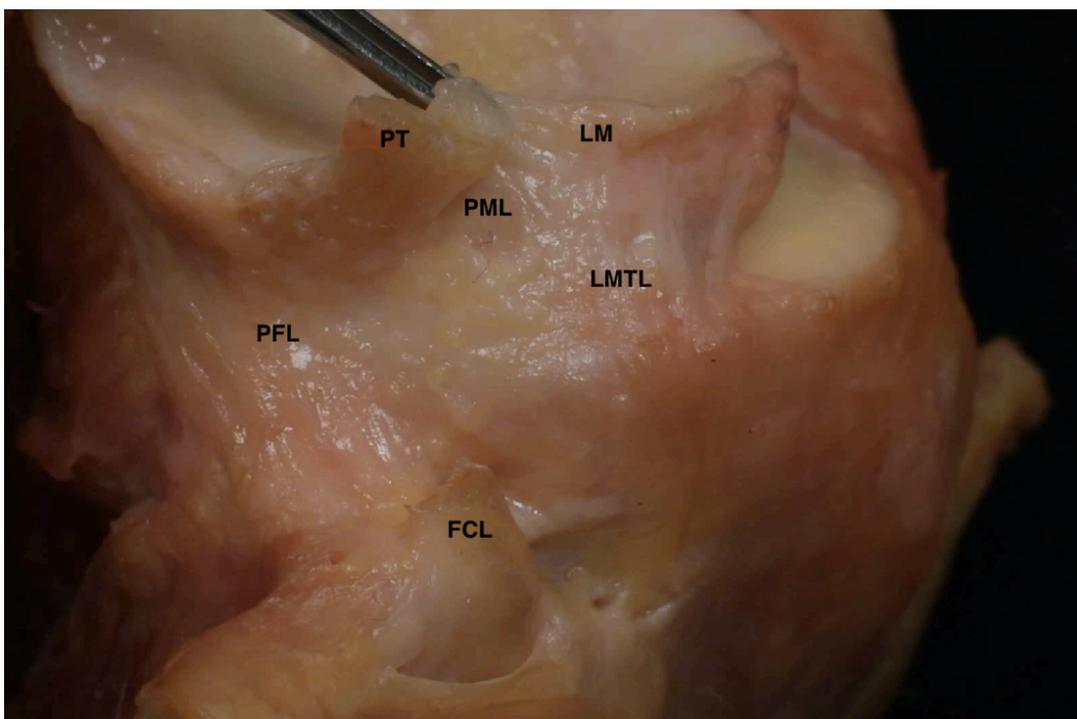


**Figura 25.** Disección anatómica de una rodilla derecha. Vista sagital que muestra las inserciones periféricas del cuerpo meniscal lateral (LM), una vez que el tendón poplíteo (PT) y el tendón femoral del bíceps (BFT) se seccionan, mientras que el ligamento meniscotibial lateral (LMTL) se tensa en su parte más anterior. Se observa todo el complejo menisco-tibio-poplíteo-fibular, con el LMTL posicionado anterior al ligamento colateral fibular (FCL) y el ligamento poplíteo-fibular más posterior (PFL).

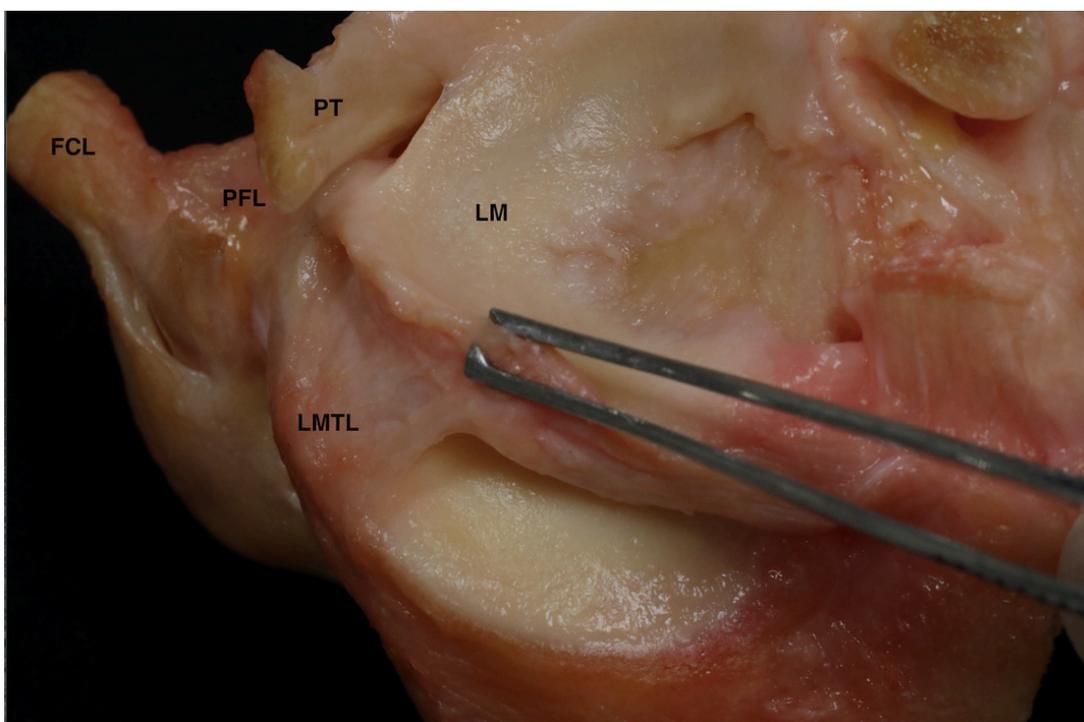


**Figura 26.** Disección anatómica de una rodilla derecha. a) Vista anterior (a la izquierda) que muestra la unión más anterior del ligamento meniscotibial lateral (LMTL), delgada y suelta. b) Vista posterior (a la derecha) que muestra el ligamento popliteo-fibular (PFL), más tenso y más grueso. PT, tendón rotuliano (a) y tendón poplíteo (b); ACL, ligamento cruzado anterior; PCL, ligamento cruzado posterior; FCL, ligamento colateral fibular, AHLM, menisco lateral del asta anterior; MFL, ligamento meniscofemoral (Wrisberg).

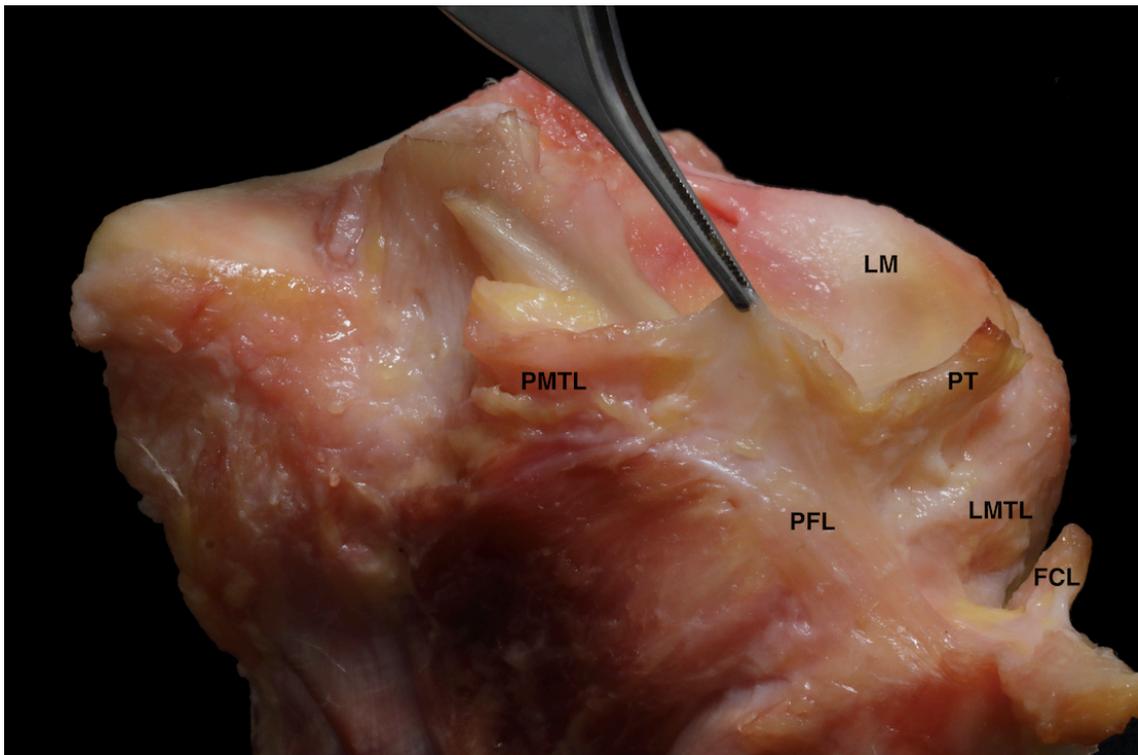
Para explorar más a fondo el compartimento lateral, se seccionaron el FCL, el ligamento cruzado anterior (ACL) y el ligamento cruzado posterior (PCL) y se desarmó el fémur. Se confirmó en todas las rodillas una continuidad de las fibras desde la parte más anterior del LMTL hasta la parte más posterior del PFL, como se ve en una vista lateral. El primero (LMTL) tenía una orientación más vertical, mientras que el segundo (PFL) tenía una orientación más diagonal. Ese cambio de fibra parece ocurrir a nivel del FCL, una de las referencias anatómicas. Independientemente de la orientación, la continuidad entre ellos y la conexión de estas dos estructuras se observó claramente en todas las rodillas. Forman un complejo lateral (MTPFC) junto con las fibras del PML que se encuentran más proximales (Figura 27). Nuevamente, el LMTL en la región más anterior (ventral) del MTPFC es fácilmente identificable (Figura 28), como el PFL en su región más posterior (dorsal) (Figura 29). Por otro lado, el PML se identificó claramente y se encontró en todas las rodillas. Une el PT al cuerpo del menisco lateral con un fascículo anterosuperior y un fascículo posteriosuperior. El PML también vincula el LMTL y el PFL (Figura 30).



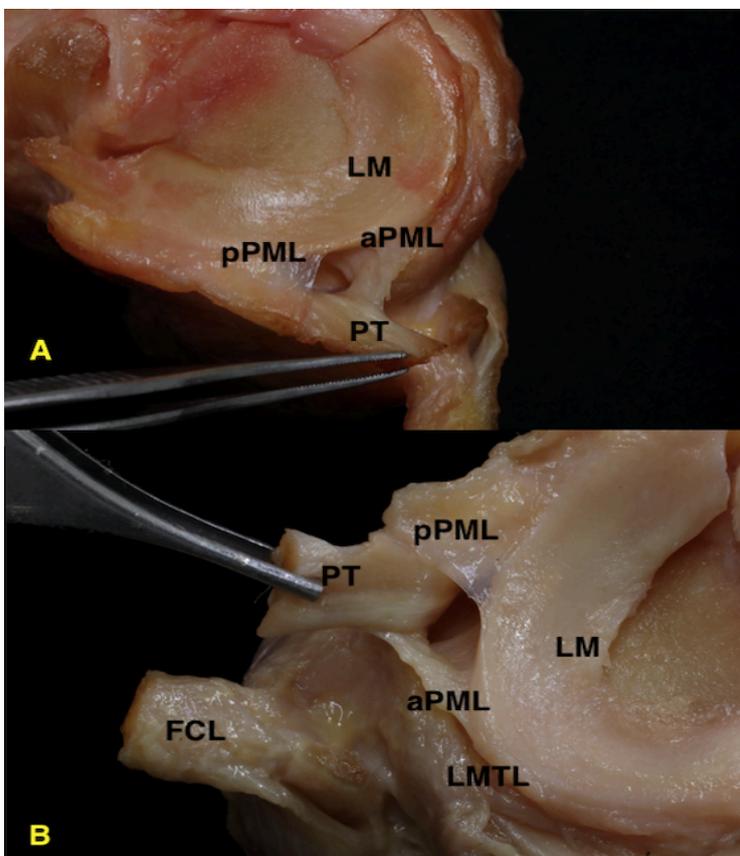
**Figura 27.** Visión sagital, una vez que se corta el ligamento colateral fibular (FCL) y se dismantela el fémur y se tensa el menisco lateral (LM). Una vista completa del complejo menisco-tibio-poplíteo-fibular con el ligamento meniscotibial lateral (LMTL) anterior al FCL, el ligamento popliteofibular (PFL) posterior y el ligamento popliteomeniscal anteriosuperior (PML) más proximal. LM, menisco lateral; PT, tendón poplíteo.



**Figura 28.** Una visión coronal anterior del ligamento meniscotibial lateral (LMTL), que une el cuerpo del menisco lateral (LM) con la meseta tibial. FCL, ligamento colateral fibular; PT, tendón poplíteo; PFL, ligamento popliteofibular.

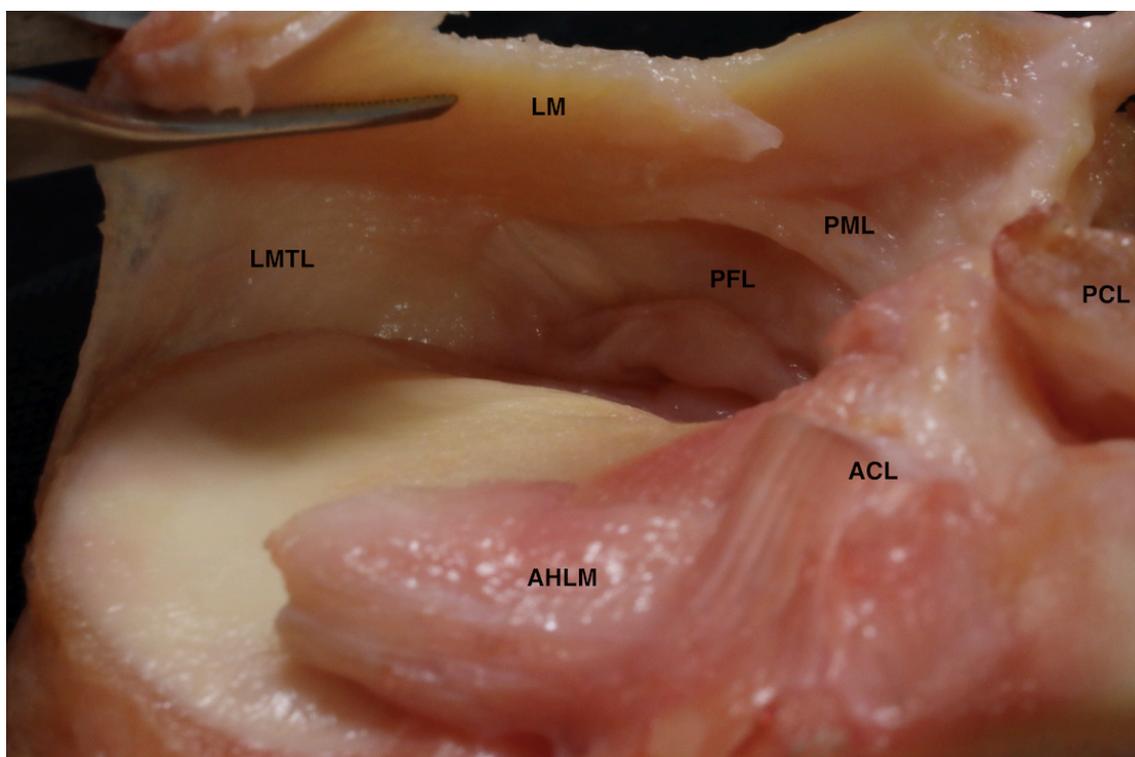


**Figura 29.** El ligamento popliteofibular (PFL) observado desde una vista coronal posterior, mientras que el menisco lateral (LM) está tenso. LMTL, ligamento meniscotibial lateral; PMTL, ligamento meniscotibial posterior; PT, tendón poplíteo; FCL, ligamento colateral fibular.

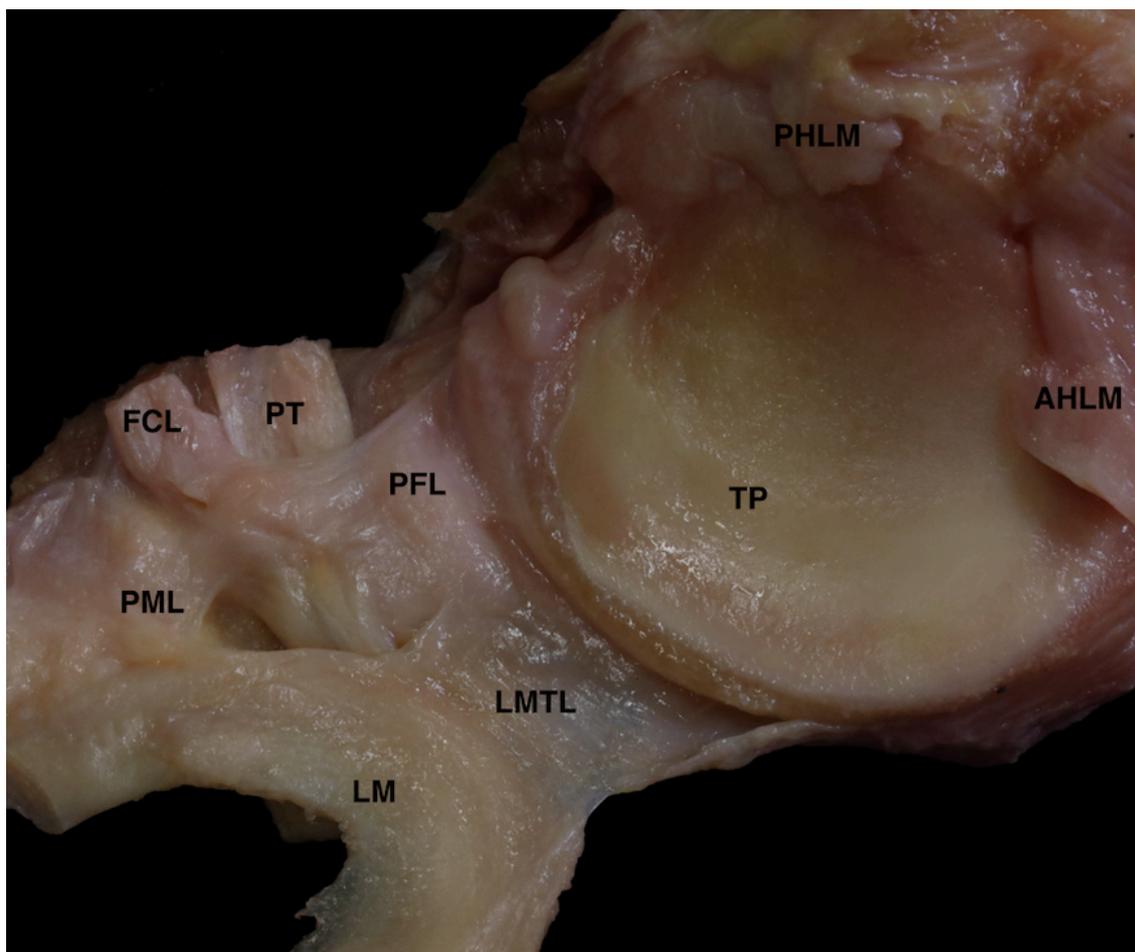


**Figura 30.** Disección anatómica de una rodilla derecha. a) Visión axial posterior del menisco lateral (LM). Los dos fascículos de los ligamentos popliteomeniscales se identifican fácilmente después de un procedimiento de disección cuidadoso: el ligamento popliteomeniscal posterosuperior (pPML) y el ligamento popliteomeniscal anterosuperior (aPML). b) visión axial anterior con el aPML y pPML identificados. FCL, ligamento colateral fibular; PT, tendón poplíteo; LMTL, ligamento meniscotibial lateral.

Finalmente, ambas raíces meniscales se seccionaron para acceder a una vista interna de las estructuras. Una vez más, se observó una disposición anatómica constante y reproducible en todas las rodillas. Eso permitió distinguir las estructuras del MTPFC desde una perspectiva diferente a la visión lateral convencional, verificando nuevamente la relación entre todas las estructuras involucradas (Figura 31). Asimismo, se volteó todo el menisco lateral, obteniendo así una visión interna confiable de los tejidos que conectan el cuerpo del menisco lateral a las estructuras periféricas. (Figura 32).



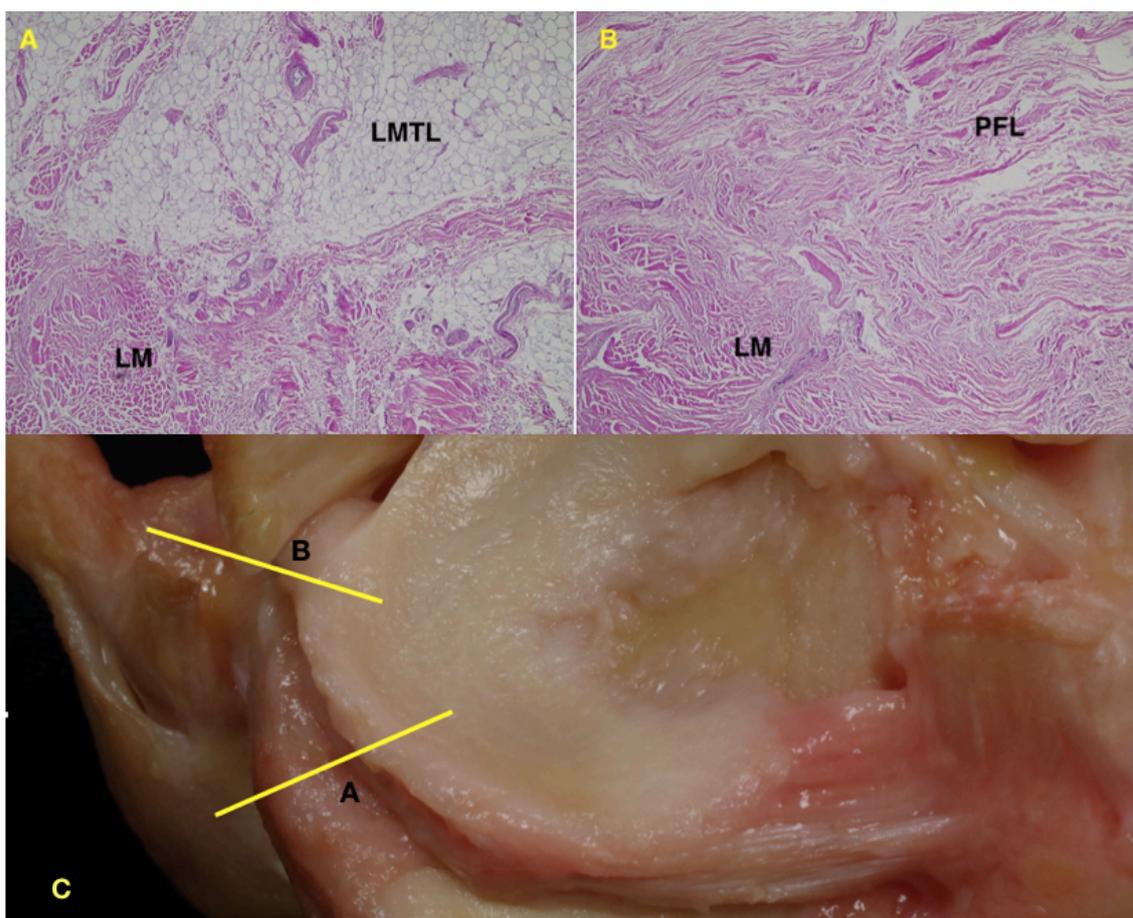
**Figura 31.** Disección anatómica de una rodilla derecha. Visión interna del cuerpo del menisco lateral con ambas raíces seccionadas y el menisco lateral (LM) tensionado proximalmente. El ligamento meniscotibial lateral (LMTL) se localiza anteriormente y posteriormente se observa el ligamento popliteomeniscal (PML) y el ligamento popliteofibular (PFL). AHLM, cuerno anterior menisco lateral; ACL, ligamento cruzado anterior; PCL, ligamento cruzado posterior.



**Figura 32.** Disección anatómica de una rodilla derecha. Las raíces meniscales se seccionan y el menisco lateral (LM) se voltea y se tensa para mostrar todo el complejo menisco-tibio-popliteo-fibular desde una visión interna. AHLM, cuerno anterior menisco lateral; PHLM, cuerno posterior menisco lateral; TP, meseta tibial; PFL, ligamento popliteofibular; PML, ligamentos popliteomeniscales; FCL, ligamento colateral fibular; PT, tendón poplíteo.

### Resultados histopatológicos.

Se recogieron muestras para un estudio patológico de todas las rodillas, tal como se describe en el apartado *Métodos*. Dado que la impresión durante las disecciones fue que podría haber diferencias estructurales entre los tejidos, se realizaron dos secciones coronales del MTPFC, anterior y posterior a las fibras del FCL. En todos los casos, se observó el mismo patrón histológico. Había un tejido fino y laxo en el área del LMTL y un tejido más denso y estructurado en el área del PFL y PML (Figura 33).



**Figura 33.** Disección anatómica de una rodilla derecha. a) Sección histológica de la transición entre el cuerpo del menisco lateral (LM) y el ligamento meniscotibial lateral (LMTL) b) Sección histológica de la transición entre el cuerpo del menisco lateral y el ligamento popliteofibular (PFL). (HE, aumento original x100).

## 6. DISCUSIÓN

En esta tesis por compendio de artículos, el apartado *Discusión* se ha dividido en dos partes. La primera está en relación a los resultados clínicos y radiológicos del TMA con la técnica de Capsulodesis, comparándolos con los TMA realizados con técnica de barra ósea y con los TMA con técnica de suturas solamente, agrupando los artículos nº1 y nº2. El segundo apartado se centra en el estudio anatómico de la región del cuerpo del menisco lateral y sus estructuras adyacentes, que se corresponde con los datos publicados en el artículo nº3.

### 6.1. Resultados clínicos y radiológicos del TMA con técnica de capsulodesis

El principal hallazgo de la primera investigación fue que el TMA lateral fijado con suturas a través de túneles óseos después de una capsulodesis mostró un porcentaje de extrusión menor que los realizados con la técnica de fijación ósea. Estos resultados podrían incluso ser mejores (estadísticamente significativos) si se evitara el efecto de la curva de aprendizaje en la técnica de la capsulodesis. Aunque la técnica descrita se realizó por primera vez en un estudio piloto con muestras cadavéricas y posteriormente en 5 pacientes que no se incluyeron en esta serie, no se puede descartar un efecto de curva de aprendizaje potencialmente largo. Por lo tanto, se confirmó la primera hipótesis. Con respecto a los resultados funcionales, fueron similares en ambos grupos. Eso significa que ambas técnicas de fijación darían buenos resultados a corto plazo, como se ha demostrado en la literatura publicada anteriormente. Por lo tanto, la segunda hipótesis también fue confirmada.

El principal hallazgo de la segunda investigación fue que la capsulodesis disminuyó la extrusión de un TMA lateral fijada con una técnica de sutura solamente. Esto confirmó la primera hipótesis. En segundo lugar, en términos de

función, ambos grupos obtuvieron resultados similares y comparables a corto plazo. Ese hecho confirma la segunda hipótesis del estudio.

Se ha demostrado que los trasplantes meniscales se extruyen más que los meniscos normales<sup>73,84</sup>. Aunque se desconoce el significado final de la extrusión, la posición anómala de esos injertos causa preocupación entre los cirujanos. Para evitar la extrusión, recientemente se han propuesto varias estrategias. En la investigación actual, se compara una fijación simple de tejido blando sin implantes realizada después de una capsulodesis con una técnica de fijación considerada como la más efectiva hasta la fecha para controlar el desplazamiento radial del injerto<sup>20</sup>.

Se han relacionado varios factores con la extrusión del aloinjerto meniscal. Los más destacados son el método de fijación del injerto, trasplante medial versus lateral, el tamaño del injerto y la coincidencia de donante y receptor. La fijación del injerto es crucial para prevenir complicaciones a corto y medio plazo debido al fracaso y la alteración cinemática de la rodilla. Si bien la fijación periférica se logra con suturas en todas las técnicas disponibles, la fijación de los cuernos meniscales se puede lograr mediante suturas a través del hueso o con una fijación hueso a hueso. Algunos estudios han demostrado que la fijación con tacos óseos es mejor en comparación con la fijación del injerto sin tacos óseos en términos de la restauración de la mecánica de contacto normal de la rodilla<sup>19,105</sup> y las complicaciones, incluida la falla del injerto<sup>108</sup>. Sin embargo, investigaciones más recientes no han mostrado diferencias biomecánicas en la fuerza de extracción media entre los dos métodos de fijación<sup>107</sup>. Además, el TMA sin fijación ósea ha mostrado resultados excelentes y buenos en términos de alivio del dolor y a nivel de resultados clínicos y funcionales<sup>58,60,73</sup>, incluido el regreso al deporte en atletas de alto nivel<sup>68,69</sup>.

La extrusión meniscal en el TMA no se ha investigado todavía de forma universal. Sin embargo, la mayoría de los trabajos que investigan este fenómeno encontraron un alto grado de subluxación del injerto<sup>18</sup>. La fijación sólo mediante sutura ha mostrado un mayor grado de extrusión meniscal en comparación con la fijación ósea. Sin embargo, esto no se relacionó con peores resultados funcionales o radiográficos como se muestra en varios estudios que compararon ambos métodos<sup>20,108</sup>.

Hasta donde sabemos, ningún estudio ha demostrado que la extrusión tenga un efecto nocivo en la articulación o produzca resultados clínicos inferiores después de un TMA. Sin embargo, un menisco desplazado radialmente es una preocupación para el cirujano. Por lo tanto, nuestro objetivo es reducir o eventualmente evitar la extrusión.

Se han propuesto diferentes estrategias para disminuir el grado de extrusión de aloinjerto meniscal. Jang et al.<sup>84</sup> informaron que reducir el tamaño del injerto en un 5% disminuye el porcentaje de extrusión sin ningún resultado adverso, ya sea clínica o radiográficamente. Otros estudios han demostrado que el riesgo de extrusión del injerto aumenta a medida que aumenta el ángulo del canal en el plano axial. Este ángulo puede reducirse asegurando que el punto de inicio del canal óseo no se cree en una posición excesivamente lateral. Jeon et al.<sup>132</sup> sugirieron que la escisión de un osteofito periférico mayor de 2 mm en la meseta tibial proximal se asoció con menos extrusión en un TMA. También se sabe que no hay asociaciones entre la subluxación lateral preoperatoria de los meniscos nativos y la subluxación postoperatoria de los trasplantes de menisco en pacientes que se someten a TMA en el compartimento lateral con cambios artríticos de bajo grado<sup>133</sup>. Algunos autores han propuesto estabilizar el cuerpo del menisco a la meseta tibial en un intento por controlar la extrusión del injerto. Sin embargo, esta maniobra puede presentar el riesgo de limitar la movilidad normal del menisco durante el movimiento de la rodilla. Una investigación reciente se ha

centrado en la fijación periférica, ya que un borde meniscal adecuado es importante para promover la curación y la incorporación del injerto<sup>50</sup>. En ese sentido, la técnica informada exploró el papel que podría desempeñar la fijación de la cápsula a la meseta tibial. Se trataba de una nota técnica donde la cápsula se fijó a la meseta tibial<sup>134</sup>. Sin embargo, en esa técnica, la fijación se logró con la ayuda de un ancla de metal. Además, no se informaron resultados. Cuando se utiliza una técnica de barra ósea, cuanto mayor es la oblicuidad del canal en el plano axial, más probable es el riesgo de extrusión del injerto<sup>135</sup>. Por lo tanto, asegurar un punto de partida correcto del canal de hueso disminuye el ángulo y, por lo tanto, la tendencia del TMA a extruirse lateralmente. El proceso de rehabilitación puede incluso influir en el grado de extrusión del injerto<sup>136</sup>. En comparación con la rehabilitación estándar, la rehabilitación tardía mostró menos extrusión de injerto coronal y estrechamiento del espacio articular al soportar peso y redujo la progresión de los cambios degenerativos

El fenómeno de extrusión parece ocurrir de forma temprana después del trasplante (<6 semanas) y no empeora posteriormente<sup>18</sup>. Del mismo modo, aquellos que no se extruyen de forma temprana es poco probable que se extruyan más posteriormente<sup>18</sup>. La gran mayoría de las series que tratan este tema investigaron el desplazamiento radial del injerto solo en el plano coronal. Pocos autores han evaluado la extrusión del TMA en una dirección anterior o posterior<sup>137,138</sup>, lo que también puede ser significativo en términos de comportamiento meniscal final. La extrusión en el TMA es un fenómeno que aparece a menudo después del trasplante<sup>20,50,58,108,133,137,138</sup>, y no tiene relación con la posición preoperatoria del remanente meniscal<sup>133</sup>. Se cree que una fuerte técnica de fijación ósea mantiene el injerto meniscal en su lugar y, por lo tanto, tiende a disminuir la velocidad de extrusión, aunque ese mejor posicionamiento no se ha relacionado con diferencias clínicas, funcionales o radiológicas en comparación con la fijación de tejidos blandos<sup>20,108</sup>. Hasta donde sabemos, el estudio actual es el primero que compara dos métodos diferentes de fijaciones

MAT sin tacos óseos. Esto también puede ser significativo porque algunos bancos de tejidos de todo el mundo solo administran aloinjertos meniscales sin bloques óseos.

Si bien los anclajes y estructuras de la raíz del menisco han recibido considerable atención en los últimos años<sup>139</sup>, sus anclajes y tejidos periféricos son mucho menos conocidos, particularmente en el lado lateral. Es probable que la capsulodesis lateral imite la función del ligamento menisco-tibial al fijar el menisco en la superficie articular<sup>38</sup>. Por lo tanto, el desplazamiento radial es limitado. Actualmente estamos investigando esta hipótesis (datos no publicados). Aunque se pueden encontrar diferentes métodos de estabilización capsular en la literatura, la técnica actual libre de implantes para la capsulodesis lateral parece ser un método válido, confiable y fácil para prevenir la extrusión del aloinjerto después de un TMA. Permite versatilidad en términos del número de puntos de fijación y ubicaciones sin una pérdida ósea significativa en la meseta tibial, ya que los agujeros de perforación tenían solo un diámetro de 2.4mm. No interfiere con la resonancia magnética posterior y no hay costos adicionales (Figura 34). En esta serie temprana que usa esta técnica, la capsulodesis lateral contribuyó a prevenir la extrusión del injerto y los resultados persisten en el seguimiento de un año con resultados clínicos favorables.

Esta serie de capsulodesis mostró uno de los porcentajes más bajos de extrusión meniscal en TMA que se haya informado hasta la fecha. Se necesitan estudios de seguimiento más largos para confirmar estos resultados y evaluar el impacto que puede tener un menor grado de extrusión meniscal en el futuro de la rodilla involucrada. También se requieren estudios anatómicos para seguir estudiando la anatomía y la biomecánica de las estructuras laterales de la rodilla y su impacto en la cinemática de la rodilla después de un TMA.



**Figura 34.** La resonancia magnética a los 6 meses después de la operación mostró la posición de la mitad del cuerpo del aloinjerto de menisco lateral y la colocación del túnel tibial de la capsulodesis lateral.

## 6.2 Anatomía del complejo menisco-tibio-popliteo-fibular

El hallazgo más importante del tercer estudio fue que se identificó el mismo patrón anatómico de las inserciones alrededor del cuerpo del menisco lateral en todas las muestras. Este patrón del complejo lateral fue constante en todas las rodillas disecadas. Consiste en tres ligamentos interconectados (LMTL, PFL y PML) con la denominación propuesta de MTPFC. Todas las estructuras que componen el MTPFC muestran el mismo patrón cuantitativo en todas las rodillas estudiadas, independientemente de las diferencias morfológicas (es decir, altura y peso del donante). A lo largo de la investigación, las fibras ubicadas antes del FCL (correspondiente al LMTL) eran más flojas (menos tensas) y más delgadas, mientras que las ubicadas más allá del FCL (correspondiente al PFL y PML) eran más densas, más gruesas y tenían mucha más celularidad. Todos estos hallazgos respaldan nuestra hipótesis.

Debido a la terminología confusa y al haber sido descrito de varias maneras, hay poco acuerdo en la literatura sobre la anatomía de esta área y su relación con el cuerpo del menisco lateral. Es cierto que en los tratados clásicos de anatomía se

hace referencia a un refuerzo capsular en la región lateral de la rodilla que unía el menisco lateral a la tibia<sup>23</sup>. Sin embargo, no fue hasta 1964 que apareció específicamente en la literatura<sup>35</sup> con el nombre de ligamento meniscofibular (MFL) a pesar de que se había descrito previamente en animales<sup>140</sup>. Más tarde, otros autores también nombraron esta estructura, especulando que podría ofrecer protección contra el daño al menisco lateral durante los últimos rangos de la extensión de la rodilla y reforzar la parte posterolateral del ligamento coronario<sup>36</sup>. Algunos otros autores afirman que existe una posible relación entre MFL y la articulación tibiofibular proximal. Postulan que el MFL puede ser responsable del desplazamiento hacia atrás y hacia afuera del menisco lateral, ya que el peroné gira lateralmente durante la flexión dorsal de la articulación del tobillo<sup>37</sup>.

La nomenclatura para esta área es errónea y genera confusión, como se muestra en la investigación actual. La estructura a la que se refieren estos autores se origina claramente en el cuerpo del menisco lateral y se inserta alrededor de 5.59 mm +/- 1.22 (4.72 - 6.46) debajo de la superficie articular tibial (Figura 26a). Aquí, se diferencia de las estructuras más posteriores, como el PFL con el que tiene continuidad (Figura 27), que también forma parte del complejo lateral descrito. Por lo tanto, creemos que la nomenclatura correcta para esta estructura debería ser la de "ligamento menisco-tibial lateral" (LMTL), como se conoce consensualmente en el lado medial de la rodilla<sup>141,142</sup>. De hecho, en la literatura, muy pocos autores se refieren al ligamento meniscotibial. Cuando lo hacen, se describe como fibras capsulares con un origen proximal en el borde lateral de los meniscos y una inserción distal en el borde lateral de la meseta tibial. Para confundir aún más, también se ha denominado ligamento coronario. A diferencia de nuestro estudio, esos pocos autores solo lo encontraron en el 23% de las rodillas evaluadas<sup>38,143</sup>. Además, en otros estudios se hace referencia a esta estructura lateral que se describe simplemente como una porción del ligamento capsular del tercio medio en otros estudios. Se considera clínicamente importante por ser un área de tejido blando o una zona de avulsión ósea de Segond durante

las lesiones de esquina posterolateral<sup>25,39</sup>. Un estudio reciente describe cualitativa y cuantitativamente la anatomía del asta posterior del menisco lateral, los fascículos popliteomeniscales y la cápsula posterolateral<sup>144</sup>. Sin embargo, describen el ligamento meniscotibial como una estructura posterior. En nuestro estudio esto corresponde al ligamento coronario o al ligamento meniscotibial posterior. Si bien describen como "cápsula" una gran parte de las estructuras laterales adyacentes al cuerpo del menisco lateral, creemos que pasaron por alto estructuras importantes como el LMTL.

El PFL se extiende desde el tendón del músculo poplíteo (proximal a la unión miotendinosa) hasta la cabeza fibular (posteriormente a la unión del ligamento colateral fibular)<sup>145</sup>. Sin embargo, también hemos visto porciones de esta estructura que unen el cuerpo del menisco lateral, el LMTL y la meseta tibial (Figura 27 y 29). La literatura describe dos tipos de PFL. Hay el tipo I con una capa y tipo II con dos capas. En estudios de cadáveres, se identificó el PFL tipo I en 69,2% y el tipo II en 30,8% de las muestras<sup>146</sup>. En el estudio actual, hemos observado que el grosor medio de las estructuras correspondientes a la LMTL fueron 0.62 +/- 0.18 (0.49 - 0.75) y 1.05 +/- 0.27 (0.85 - 1.24) para el PFL, mientras que Bozkurt et al. descubrió que el grosor medio de la MFL es de 3,84 mm, que oscila entre 2,6 mm y 6,1 mm, incluida la cápsula a la que se adhiere<sup>37</sup>. Se encontró que dicho grosor es mayor que el grosor detectado por nosotros y por Zivanovic. Creemos que sus medidas incorporaron parte de la cápsula lateral, ya que hemos observado que son consistentemente estructuras más finas en todas nuestras disecciones. Además, nos fue posible diferenciarlos claramente de los tejidos más superficiales como los de la cápsula lateral (Figuras 28,31 y 32). Por esta razón y por la histología observada, planteamos la hipótesis de que todo el MTPFC desempeña un papel en la prevención de la extrusión del menisco lateral. No obstante, el PFL y PML contribuirían más a la estabilización rotacional y el LMTL a la estabilización axial debido a la ubicación, distribución y orientación de sus fibras.

El término ligamento coronario (CL), que se encuentra en el área posterior cerca de la raíz meniscal, también se usa para referirse al ligamento meniscotibial posterior<sup>25,39</sup>. Tiene una estructura y ubicación que es totalmente diferente de la LMTL, como se demuestra en el presente estudio. El CL en el lado medial ha sido ampliamente estudiado<sup>142,147</sup> y relacionado con lesiones de la región posteromedial. Además, las estructuras posteriores del compartimento lateral han sido revisadas y relacionadas con lesiones en esta área<sup>148-150</sup>. Se sabe que el menisco lateral tiene mayor movilidad anteroposterior que el menisco medial y es aquí donde el CL o el ligamento meniscotibial posterior pueden tener un papel restrictivo<sup>151</sup>. El papel que tienen los ligamentos meniscofemoral<sup>152</sup> y popliteomeniscal<sup>42-44</sup> en relación con la estabilidad del menisco lateral también es ampliamente conocido. Además, el menisco lateral juega un papel importante en las restricciones de carga axial<sup>153</sup>. Por lo tanto, creemos que el MTPFC puede tener un papel restrictivo en la prevención de la extrusión axial del menisco lateral. En este sentido, aplicado a la práctica clínica, algunos autores han intentado reproducir técnicas quirúrgicas que pueden imitar el papel que pueden desempeñar el LMTL, el PFL o el PML en la prevención de la extrusión en el menisco nativo. Su objetivo era limitar la extrusión lateral después del trasplante de aloinjerto meniscal lateral. Serían necesarios estudios biomecánicos centrados en este aspecto para corroborar aún más nuestra hipótesis.

### **6.3 Limitaciones**

Las presentes investigaciones tienen algunas limitaciones. Aunque las mismas técnicas, realizadas por un solo cirujano, se han utilizado siempre en ambos grupos, hubo una curva de aprendizaje inevitable en el grupo de capsulodesis. Sin embargo, si no se consideran los primeros cuatro casos de ese grupo, los resultados obtenidos habrían sido aún más claros y evidentes. El tamaño limitado de la muestra es otra limitación obvia, además de no haber estudiado las radiografías postoperatorias. Si consideramos que las diferencias encontradas

pueden no ser clínicamente significativas a corto plazo, existe la posibilidad de un error tipo II o beta para los resultados, ya que no se observaron diferencias y el estudio no fue diseñado para tal efecto. Otra limitación es que los criterios de inclusión / exclusión no son estrictos y no discutimos los procedimientos concomitantes. Además, de todas las variables preoperatorias descritas en la Tabla 2, incluidas las diferentes puntuaciones funcionales, solo la puntuación de Lysholm mostró diferencias significativas entre los dos grupos. Por esta razón, todavía consideramos que ambos grupos son homogéneos. Además, nuestro seguimiento clínico fue de un mínimo de un año y hay una falta de evaluación intraobservador. Solo se compararon dos métodos para limitar la extrusión. Por lo tanto, no se sabe que eficientes podrían ser otros métodos. Además, las diferencias en los resultados clínicos podrían haber sido diferentes si se hubiera llevado a cabo un seguimiento más prolongado. Sin embargo, el objetivo principal del estudio fue evaluar el grado de extrusión meniscal y éste es un fenómeno que ocurre en las primeras semanas después de la cirugía<sup>18</sup>. No se calculó el acuerdo intraobservador del método de medición en las RMN.

Deben abordarse las diferentes limitaciones de la última investigación. Como no se utilizaron las rodillas de donantes menores de 50 años, no podemos asegurar que las estructuras estudiadas se sometan a un proceso de degeneración a lo largo de la vida que podría alterar las mediciones realizadas. Esas medidas pueden diferir de las de la población menor de 50 años. Sin embargo, puede existir un cierto grado leve de degeneración meniscal o extrusión preexistente en las rodillas disecadas que podrían haber pasado desapercibidas y haber alterado la anatomía y sus medidas. Del mismo modo, no sabemos si hay variantes anatómicas en términos de raza, ya que todas las rodillas eran de donantes caucásicos, aunque todos los resultados fueron constantes y homogéneos en nuestro estudio. Finalmente, en el caso de tener que determinar mediciones con curvatura, puede haber sido más preciso medirlas directamente en el hueso.

## 7. CONCLUSIONES

**TRABAJO N°1:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JI, Pelfort X, Gelber PE. Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results. *Arthroscopy*. 2018; 34(6):1879-88.

La técnica de capsulodesis en el TMA lateral demostró no ser estadísticamente diferente para disminuir el grado de extrusión meniscal con respecto a la fijación del puente óseo. Sin embargo, si los primeros cuatro casos con la nueva técnica de capsulodesis no se hubieran incluido en los resultados (curva de aprendizaje), la técnica de capsulodesis habría presentado mejores resultados en relación con el grado de extrusión meniscal en comparación con la técnica de fijación con barra ósea. Además, los resultados funcionales fueron similares.

**TRABAJO N°2:** Masferrer-Pino A, Monllau JC, Abat F, Gelber PE. Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation. *Int Orthop*. 2019 Nov;43(11):2549-2556.

En el TMA lateral fijado con sólo suturas, la técnica de capsulodesis descrita minimiza la extrusión meniscal. En términos de resultados funcionales, no hubo diferencias entre los grupos en un seguimiento medio de 3,4 años.

**TRABAJO N°3:** Masferrer-Pino A, Saenz-Navarro I, Rojas G, Perelli S, Erquicia J, Gelber PE, Monllau JC. The menisco-tibio-popliteus-fibular complex: Anatomical description of the structures that could avoid lateral meniscal extrusion. *Arthroscopy*. 2020 Mar 18. pii: S0749-8063(20)30233-4. doi: 10.1016/j.arthro.2020.03.010. [Epub ahead of print]

Se ha identificado un patrón anatómico consistente entre el cuerpo del menisco lateral y el LMTL, PFL y PML, formando un complejo interconectado que parece apropiado denominar como MTPFC. Un estudio preciso de esta región y una nomenclatura adecuada para ella podría contribuir a una mejor comprensión del mecanismo de las lesiones del menisco lateral a este nivel, así como al desarrollo de técnicas quirúrgicas para tratar estas lesiones y prevenir la extrusión.

## 8. COPIA DE LOS TRABAJOS

### Trabajo nº1

ARTICLE IN PRESS

# Capsulodesis Versus Bone Trough Technique in Lateral Meniscal Allograft Transplantation: Graft Extrusion and Functional Results

Angel Masferrer-Pino, M.D., Joan C. Monllau, M.D., Ph.D., Maximiliano Ibáñez, M.D., Juan I. Erquicia, M.D., Xavier Pelfort, M.D., Ph.D., and Pablo E. Gelber, M.D., Ph.D.

**Purpose:** To compare the radiographic results (in terms of graft extrusion) and the functional results of lateral meniscus allograft transplantations (MAT) performed with a bony fixation technique or with a soft tissue fixation technique after capsulodesis. **Methods:** A prospective series of 29 consecutive lateral MAT was analyzed. The inclusion criterion for MAT was lateral joint line pain due to a previous meniscectomy. Malalignment, patients who had an Ahlback grade greater than II, and patients with a body mass index over 30 were considered as the exclusion criterion to prevent confounding results. Fifteen of the grafts were fixed with a bony fixation technique (group A). The remaining 14 cases (group B) were fixed with sutures through bone tunnels after lateral capsular fixation (capsulodesis). All patients were studied with magnetic resonance imaging to determine the degree of meniscal extrusion at an average of 18 months of surgery (range, 12-48 months). Meniscal extrusion was measured on coronal magnetic resonance imaging. To standardize the results, the percentage of meniscus extruded for each group was also calculated and compared. The functional results were analyzed by means of standard knee scores (Lysholm, Tegner, and visual analog scale). **Results:** If we consider the first 4 cases of group B as the learning curve of the new technique, we observe that group A had 8 cases (53.3%) of major extrusion, whereas group B had 1 case (7.1%) ( $P = .02$ ). When comparing the degree of meniscal extrusion with the type of fixation employed, an even lower percentage of extruded meniscus was found in group B ( $P = .01$ ). The final follow-up Lysholm score in group A was  $94.33 \pm 5.96$  ( $P < .001$ ) and  $91.43 \pm 6.19$  ( $P < .001$ ) in group B. The median follow-up Tegner score significantly improved from 4 (range, 2-5) to 7 (range, 6-9) in group A ( $P < .001$ ) and from 4 (range, 3-5) to 7 (range, 6-8) in group B ( $P < .001$ ). The average visual analog scale score dropped down 5.87 and 7.29 points in groups A and B, respectively ( $P < .001$ ). The Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score improved from  $51.98 \pm 2.84$  to  $90.88 \pm 7.53$  in group A ( $P < .001$ ) and from  $50.44 \pm 2.32$  to  $92.01 \pm 6.71$  in group B ( $P < .001$ ). Patient satisfaction with regard to the procedure stood at a mean of  $3.6 \pm 0.2$  points out of a maximum of 4 in group A and  $3.8 \pm 0.4$  in group B. There were no complications in this series. **Conclusions:** The capsulodesis technique in lateral MAT proved not to be statistically different at decreasing the degree of meniscal extrusion with respect to the bone-bridge fixation. If the first 4 cases using the new capsulodesis technique had not included in the results, the capsulodesis technique would have effectively presented better results relative to the degree of meniscal extrusion compared with the bone-bridge fixation technique. In addition, the functional results were similar. **Level of Evidence:** Level II, prospective comparative study.

From the ICATME, Hospital Universitari Dexeus—Universitat Autònoma de Barcelona (A.M.-P., J.C.M., M.I., J.I.E., X.P., P.E.G.); Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar—Universitat Autònoma de Barcelona (J.C.M.), Barcelona; Department of Orthopaedic Surgery, Consorci Sanitari de l'Anoia (X.P.), Igualada; and Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Sta Creu i Sant Pau (P.E.G.), Barcelona, Spain.

The authors report that they have no conflicts of interest in the authorship and publication of this article. Full ICMJE author disclosure forms are available for this article online, as supplementary material.

Received June 26, 2017; accepted January 7, 2018.

Address correspondence to Angel Masferrer-Pino, M.D., Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, ICATME, Hospital Universitari Dexeus—Universitat Autònoma de Barcelona, Sabino Arana, 5-19, 08028, Barcelona, Spain. E-mail: angel.masferrer@gmail.com

© 2018 by the Arthroscopy Association of North America  
0749-8063/17753/\$36.00

<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.01.017>

With the aim of trying to replace lost tissue as well as to prevent progressive deterioration of the joint, meniscal allograft transplantation (MAT) was introduced into clinical practice in the mid-1980s.<sup>1</sup> MAT has shown favorable clinical results in terms of pain relief and functional improvement on a short- and medium-term basis.<sup>2</sup> Over the years, several surgical soft-tissue and bone fixation techniques have been described to fix the graft. However, the best treatment option remains unclear because no significant clinical differences have been found between them.<sup>2</sup> A tendency to a radial displacement of the transplanted menisci that exceeded the tibial plateau, the so-called extrusion, was found in most of the published series.<sup>3</sup> From a biomechanical standpoint, an extruded meniscus results in decreased

ARTICLE IN PRESS

2

A. MASFERRER-PINO ET AL.

resistance to hoop strain. Thus, it cannot fulfill its biomechanical properties. Extrusion is an intriguing phenomenon that is usually identified shortly after transplantation and seems to be stable over time.<sup>4</sup> Early studies have shown that bony fixation is biomechanically superior<sup>5</sup> and so it can better prevent extrusion. In addition, more recent clinical reports have also shown more extrusion when the allografts are only fixed to soft tissue.<sup>6,7</sup> However, it has not shown to have any clinical relevance. Although the final significance of extrusion is unknown, the anomalous position of those grafts causes concern among surgeons. Therefore, several strategies have been developed over recent years to limit or prevent MAT extrusion.

The purpose of this study was to compare the radiographic results (in terms of graft extrusion) and the functional results of lateral MAT performed with a bony fixation technique or with a soft tissue fixation technique after capsulodesis. The first hypothesis was that capsular fixation would reduce the postoperative degree of allograft extrusion as much as the bony fixation technique. The second hypothesis was that MAT fixed with a previous capsulodesis would have similar functional results to those obtained with a bony fixation technique.

**Methods**

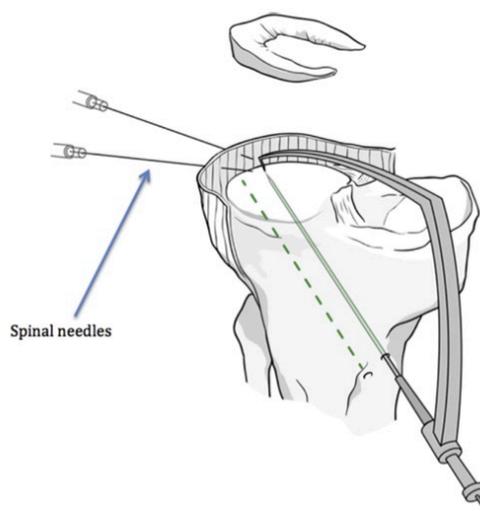
A prospective, randomized clinical trial was designed based on the CONSORT guidelines. The study protocol was approved by the local ethical committee for clinical research, and informed consent was obtained from all patients. Twenty-nine consecutive patients were operated on with a lateral MAT between 2011 and 2015. The patients were randomly assigned with permuted blocks to the bony fixation group (group A) or the capsulodesis group (group B). All the surgical procedures were performed by the senior author (J.C.M.).

The inclusion criterion for MAT was lateral joint line pain due to a previous meniscectomy (total, subtotal, or partial). Although no relationship between malalignment and meniscal extrusion has been established, malalignment was considered an exclusion criterion to prevent confounding results. We consider genu varus and genu valgo above 5° with respect to the normal axis as malalignment. Patients who had an Ahlback<sup>8</sup> grade greater than II were also excluded. Moreover, patients with a body mass index over 30 were excluded in this series.

All the functional and radiographic evaluations were performed by 2 independent observers (orthopaedic surgeons). With regard to the functional evaluation, the observers were blinded to the different types of allograft fixations used.

**Surgical Technique**

Fresh-frozen (-80°C), nonirradiated, nonantigen matched meniscal allografts were used in this series.



**Fig 1.** Right knee, anteromedial view. Lateral capsulodesis tunnels placement using the anterior cruciate ligament pin guide through the anteromedial portal.

The allografts were supplied by an authorized local tissue bank. Allograft sizing was performed based on the method described by Pollard et al.<sup>9</sup> The measurements were also matched with the donor's morphometric dimensions (weight and size).

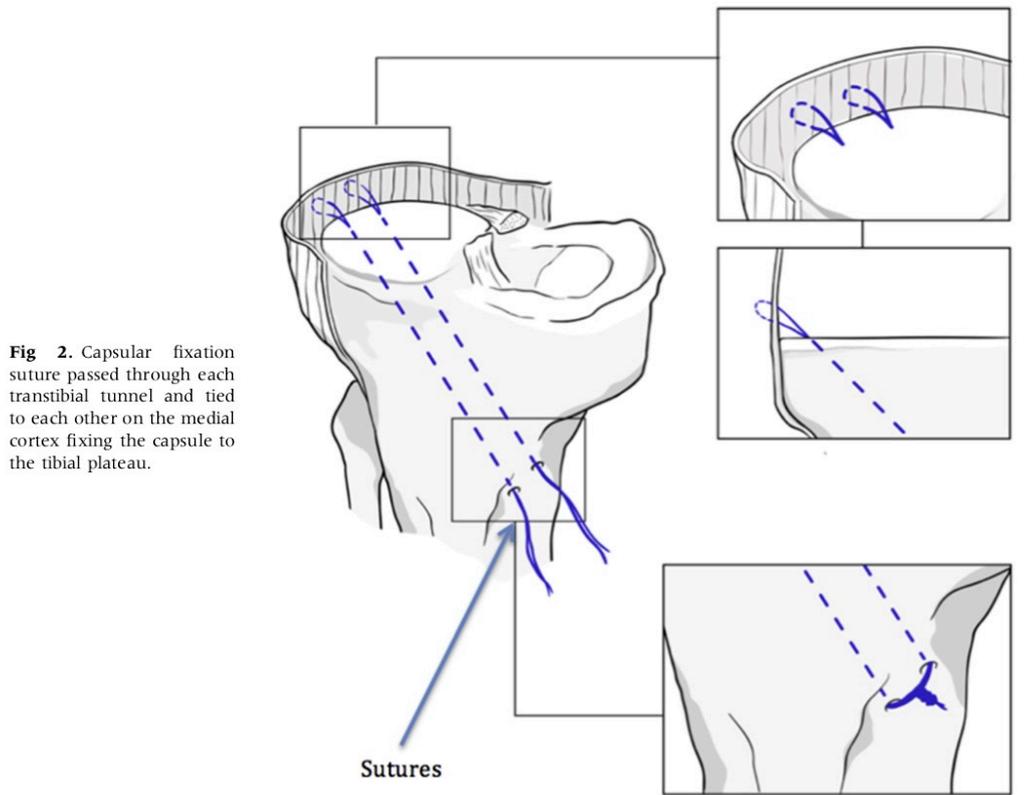
The surgical technique was completely arthroscopic and varied depending on the group. Both techniques have been previously described in detail.<sup>6,10</sup> The recipient bed preparation was similar in all cases. The remains of the host meniscus were assessed and revitalized using a combination of arthroscopic shaving and radiofrequency to promote healing.

- Group A: A bone bridge-in-slot technique was used to better maintain the native distance between the horns and reduce the risk of incorrect placement. The bone-bridge procedure requires the creation of a trough in the lateral tibial plateau. Differently to the dovetail technique where the bone trough and tibial slot have both a semitrapezoidal shape,<sup>11</sup> the shape of the bone trough in this series was quadrangular in all cases. To get a perfect match between the trough and the bone-bridge graft, a set of instruments was used (Meniscal Transplant Set, Surgival, Valencia, Spain). A low lateral portal, adjacent to the patellar tendon and aligned with the position of the planned trough, is created. Depending on the knee size, a 7 or 8 mm cannulated drill and rasp was used until a final 7 to 8 mm wide and 10 mm deep box was obtained. The bone graft was placed in its bed simply by sliding it through the previously enlarged anterolateral portal.

ARTICLE IN PRESS

LATERAL CAPSULODESIS TECHNIQUE

3



**Fig 2.** Capsular fixation suture passed through each transtibial tunnel and tied to each other on the medial cortex fixing the capsule to the tibial plateau.

A traction suture placed on the meniscal graft, just anterior to the level of the popliteal hiatus area, helps the surgeon to accommodate the graft in place. The meniscus allograft is then fixed to the rim by 8 to 10 nonabsorbable vertical mattress sutures. All-inside sutures (Fast-Fix, Smith & Nephew, Andover, MA) are used to secure the most posterior part of the graft to minimize the risk of injury to neurovascular structures. An inside-out technique (Zone Specific II Meniscal Repair System, Conmed, Largo, FL) or alternatively an outside-in technique, performed with the help of 18 gauge spinal needles, was used for the anterior half of the meniscal graft.

- Group B: The redundant or loose lateral capsule was identified and any marginal osteophyte on the lateral edge of the tibial plateau was removed with the help of a motorized burr. Two 2.4-mm tunnels placed 10 mm apart were then drilled from the anteromedial tibial cortex in an oblique direction ending at the

edge of the lateral plateau where the capsule is most displaced (Fig 1). It was done with the help of a regular tibial anterior cruciate ligament guide (Pinn-ACL Guide, ConMed). Two sutures were then passed through the tunnels using a suture passer. The capsule and meniscal remnants were captured using spinal needles loaded with number 2 polydioxanone sutures using an outside-in technique. These shuttle sutures were substituted by high-strength sutures and recovered through each tibial tunnel. Once captured, the capsule is secured to the lateral tibial plateau (capsulodesis). Finally, the 2 limbs were tied to each other on the medial tibial cortex (Fig 2). Once the capsulodesis has been performed, two 6-mm bone tunnels were drilled directly at the anatomic sites of the meniscal insertion (i.e., at the anterior and posterior horns). After enlarging the anterolateral portal, the posterior-horn suture as well as an additional vertical suture placed at the posterolateral

ARTICLE IN PRESS

4

A. MASFERRER-PINO ET AL.



**Fig 3.** Magnetic resonance image showing the method used for meniscal extrusion calculation. Distance ab, meniscal extrusion in mm;  $ab/ac \times 100$ , percentage of meniscal extrusion.

corner of the graft was used to pull and accommodate the meniscal allograft in the right position as it was being introduced into the joint. Then, the graft was fixed to the rim by combining an all-inside and an inside-out or outside-in technique, respectively, depending on the area of the meniscus as described earlier on. At the end of the procedure, the sutures placed at the anterior and posterior horns were tied together over the tibial cortex.

**Rehabilitation**

Both groups followed the same protocol. It included proprioceptive weight-bearing with a knee immobilizer at full extension for 2 weeks postoperatively. Then, weight-bearing was progressively initiated until total weight-bearing was reached at 4 to 6 weeks from the surgery. Range of motion was limited to 60° the first 2 weeks, to 90° by week 4, progressing to full range of motion by week 6, postoperatively. Patients returned to a normal workload by the fourth month after surgery.

**Magnetic Resonance Imaging Evaluation**

To examine the degree of meniscal extrusion, all 29 patients underwent a magnetic resonance imaging (MRI) examination on the operated knee joint with full knee extension in the supine position before surgery and between 36 and 48 months of follow-up. All studies were performed with a 1.5-T superconducting magnet (Prestige 2T, Elscint, Haifa, Israel) using a knee-specific circular coil. A positioning device for the ankle was used to ensure uniformity. The standard knee protocol for each patient consisted of this sequence: axial fast spin echo T2-weighted with fat saturation (repetition time [TR], 2,300 ms; echo time [TE], 30 ms;

flip angle [FA], 90°; slice thickness [ST], 3 mm; field of view [FOV], 20 cm), coronal fast spin echo intermediate-weighted (TR, 2,500 ms; TE, 30 ms; FA, 90°; ST, 4 mm; FOV, 18 cm), sagittal spin echo intermediate-weighted (TR, 700 ms; TE, 14 ms; FA, 90°; ST, 4 mm; FOV, 18 cm), and sagittal fast spin echo T2-weighted with fat saturation (TR, 2,500 ms; TE, 85 ms; FA, 90°; ST, 4 mm; FOV, 18 cm).

The MRI scans were evaluated twice, at an interval of 2 weeks, and carried out by 2 of the authors with experience in knee MRI. The averages of these 2 measurements were employed in the analysis. The PACS workstation (Centricity Enterprise Web V3.0, General Electric Healthcare, Milwaukee, WI) was used for the study.

As in previous investigations,<sup>12</sup> the graft position was evaluated on coronal images, where extrusion was maximum, with the use of an MRI-generated scale on each image. Those coronal images usually coincided with the level of the corresponding collateral ligaments.<sup>13</sup> Measurement was performed by first drawing 2 lines. The first one was a vertical line that intersected the peripheral margin of the lateral tibial plateau at the point of transition from horizontal to vertical. Next, a perpendicular line was drawn from the outer margin of the meniscus to the former line. The perpendicular line's length in millimeters was defined as the amount of meniscal extrusion.<sup>12,14</sup> According to Costa et al.,<sup>14</sup> when the graft showed less than 3 mm of radial displacement, it was considered minor extrusion. Conversely, when it exhibited 3 or more millimeters of subluxation, it was defined as major extrusion. Extrusion as a percentage of meniscus size was also calculated to standardize the results (Fig 3). This was done by dividing the quantity of meniscal extrusion by the total width of the meniscus as measured in the same MRI scan.<sup>12</sup> Major and minor extrusion as well as the observed percentage of extruded meniscal tissue was compared in groups A and B.

Functional evaluation at the final follow-up included the Lysholm score as well as the Tegner score and Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). A 10-point visual analog scale (VAS) for pain was also used. The reported results were compared between groups. Patient satisfaction was evaluated with a subjective score and graded as very satisfied (4 points), satisfied (3 points), neutral (2 points), somewhat dissatisfied (1 point), and not satisfied at all (0 points).

**Statistical Analysis**

Categorical variables are presented as percentages and frequencies. Continuous variables are presented as mean ± standard deviation. Interobserver agreement was analyzed using the intraclass correlation coefficient in the case of a quantitative variable.<sup>15</sup> The values were interpreted as slight (<0.21), fair (0.21-0.40), moderate

ARTICLE IN PRESS

**Table 1.** Composition of Both Groups Before Surgery

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Age, yr	35.47 ± 8.50 (30.76, 40.17)	40.93 ± 7.03 (36.87, 44.99)	.86
Gender, male/female, %	60/40	71.5/28.5	.52
Lysholm	61.33 ± 9.93 (55.83, 66.83)	48.79 ± 13.90 (40.76, 56.81)	.05
Tegner	4 (2-5) (2.96, 4.64)	4 (3-5) (2.95, 4.48)	.87
Visual analog scale	7.53 ± 2.53 (5.13, 7.94)	8.21 ± 0.97 (7.65, 8.78)	.51
Rx joint space narrowing, mm	3.10 ± 1.50 (2.74, 3.64)	3.00 ± 1.20 (2.83, 4.01)	.44

NOTE. Values expressed as mean, standard deviation, and 95% confidence interval unless otherwise indicated.

(0.41-0.60), substantial (0.61-0.80), and excellent (0.81-1.00).<sup>16</sup> In all cases, a 95% confidence interval was calculated. The relationships between categorical variables were described with contingency tables. The inference was studied with the  $\chi$ -square test or Fisher exact test depending on what corresponded. Meniscal extrusion rates and functional scores were compared between the 2 groups using Student's *t*-test given that all the variables followed normal distributions according to the skewness and kurtosis test. The sample size was based on a priori power calculations for extrusion. On the basis of a Student's *t*-test for independent data with a statistical power of 80% and an alpha error of 0.05, we calculated the patients needed in the groups to detect a minimum difference of 10% in the degree of meniscal extrusion as statistically significant, assuming a standard deviation of 3 and a maximum follow-up loss of 10%. Again, the homogeneous results obtained and the use of Fisher's exact test for comparing 2 samples led us to think that it was big enough for the purposes of this investigation.

The statistical analysis was performed using the SPSS 19 package (SPSS, Chicago, IL). Statistical significance was set at .05.

**Results**

The average follow-up period was 2.1 years (range, 1-4 years) and 1.5 years for the postoperative MRI (range, 1-4). No patients were lost during follow-up. The series was composed of 19 men (65.5%) and 10 women (34.5%) with a mean age of 38.2 years (range, 26-51 years). All transplantations (100%) were performed to replace the lateral meniscus. Fourteen (48.3%) MAT were performed on right knees and 15 (51.7%) on left knees. Group A consisted of 15 grafts (51.7%) that were fixed with a bony fixation technique, the bone bar-trough technique. Group B were composed of 14 grafts (48.3%) that were secured with bone tunnels at

both horns and soft tissue capsular fixation after the capsulodesis was performed. Both groups were comparable in terms of age, gender, and radiographic findings as well as their functional preoperative status (Table 1), except for the preoperative Lysholm scale.

**Graft Extrusion**

Based on the aforementioned extrusion criteria, 17 knees (58.62%) exhibited minor graft extrusion (<3 mm) and 12 (41.38%) had major graft extrusion (>3 mm). In group A, 7 cases (46.67%) were considered minor extrusion and 8 cases (53.33%) major extrusion, whereas there were 10 (71.43%) and 4 cases (28.57%), respectively (*P* = .18), in group B (Table 2). When comparing the degree of meniscal extrusion with the type of fixation employed, a tendency toward a lower percentage of extrusion was also found in group B. In group A, this percentage was 34.40 ± 12.16, whereas 24.65 ± 15.49 observed in group B (*P* = .07) (Table 3).

The worst rate of graft extrusion in group B was seen in the first 4 cases. If these 4 cases were ignored, the obtained results would be even better as only 1 case of major extrusion would be found in group B (*P* = .027) (Table 4). When comparing the degree of meniscal extrusion with the type of fixation employed, an even lower percentage of extruded menisci was found in group B (*P* = .01) (Table 5; Fig 4).

**Clinical Outcomes**

With regard to the functional results assessed with the Lysholm score, an overall improvement was obtained regardless of the technique used. Starting from a Lysholm score of 61.33 ± 9.93 and 48.79 ± 13.90 in groups A and B, respectively, the final follow-up score in group A was 94.33 ± 5.96 (*P* < .001) and 91.43 ± 6.19 (*P* < .001) in group B (Fig 5A). Similarly, an

**Table 2.** Frequency of Graft Extrusion (All Cases)

	Minor	Major
Bony fixation	7 (46.67%)	8 (53.33%)
Capsulodesis	10 (71.43%)	4 (28.57%)
Total	17 (58.62%)	12 (41.38%)
		<i>P</i> = .18

**Table 3.** Frequency of Graft Extrusion (Excluding the 4 Cases of Learning Curve)

	Minor	Major
Bony fixation	7 (46.67%)	8 (53.33%)
Capsulodesis	9 (90%)	1 (10.00%)
Total	16 (64.00%)	9 (36.00%)
		<i>P</i> = .027

ARTICLE IN PRESS

6

A. MASFERRER-PINO ET AL.

**Table 4.** Graft Extrusion Percentage (All Cases)

Group	Observations	Mean	SD
Bony fixation	15	34.40	12.16
Capsulodesis	14	24.65	15.49
P value	.07		

SD, standard deviation.

overall improvement was obtained with regard to the Tegner and VAS scores. The average Tegner score significantly improved from 4 (range, 2-5) to 7 (range, 6-9) in group A ( $P < .001$ ) and from 4 (range, 3-5) to 7 (range, 6-8) in group B ( $P < .001$ ) (Fig 5B). The average VAS score dropped from  $7.53 \pm 2.53$  to  $0.67 \pm 1.11$  in group A ( $P < .001$ ) and from  $8.21 \pm 0.97$  to  $0.93 \pm 1.00$  in group B ( $P < .001$ ), so decreased 5.87 and 7.29 points average in groups A and B, respectively (Fig 5C). The Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score improved from  $51.98 \pm 2.84$  to  $90.88 \pm 7.53$  in group A ( $P < .001$ ) and from  $50.44 \pm 2.32$  to  $92.01 \pm 6.71$  in group B ( $P < .001$ ) (Fig 5D). Finally, patient satisfaction with regard to the procedure showed an overall mean of  $3.6 \pm 0.2$  points out of a maximum of 4 in group A and  $3.8 \pm 0.4$  in group B. No differences were observed when the 2 groups under study were compared in any of the analyzed variables (Table 6). Finally, the intra-class correlation coefficient obtained was considered excellent (0.94; 95% confidence interval, 0.81 to 0.97). No complications were recorded in this series.

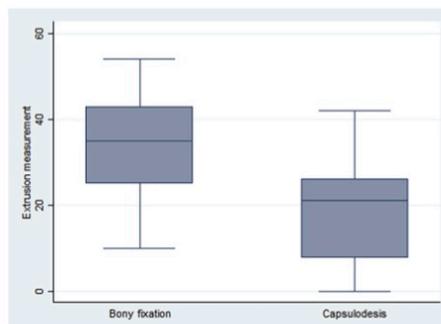
**Discussion**

The principal finding of the present investigation was that lateral MAT fixed with sutures through bone tunnels after a capsulodesis showed a lower percentage of extrusion than those performed with the bony fixation technique. These results could even be better (statistically significant) if the effect of the learning curve was avoided. It is likely that it may be due to the learning curve of the new technique. Although the described technique was first performed in a pilot study with cadaveric specimens and 5 patients who were not included in this series, a potentially long learning curve effect cannot be discarded. Therefore, the first hypothesis was confirmed. With regard to the functional results, they were similar in both groups. This means that both fixation techniques would give good short-term

**Table 5.** Graft Extrusion Percentage (Excluding the 4 Cases of Learning Curve)

Group	Observations	Mean	SD
Bony fixation	15	34.40	12.16
Capsulodesis	10	19.15	12.41
P value	.01		

SD, standard deviation.



**Fig 4.** A lower meniscal extrusion percentage was observed in group B.

outcomes as has been shown in previously published literature. Therefore, the second hypothesis was also confirmed. Although there is a statistical difference in the outcome scores, there does not appear to be a clinical difference in the form of minimal clinically important differences.<sup>17</sup>

Meniscal transplants have been shown to extrude more than normal menisci.<sup>18,19</sup> Although the final significance of extrusion is unknown, the anomalous position of those grafts causes concern among surgeons. To avoid extrusion, a number of strategies have recently been proposed. In the current investigation, a simple, implant-free soft tissue fixation performed after a capsulodesis is compared with a fixation technique considered to be the most effective to control graft radial displacement.<sup>6</sup>

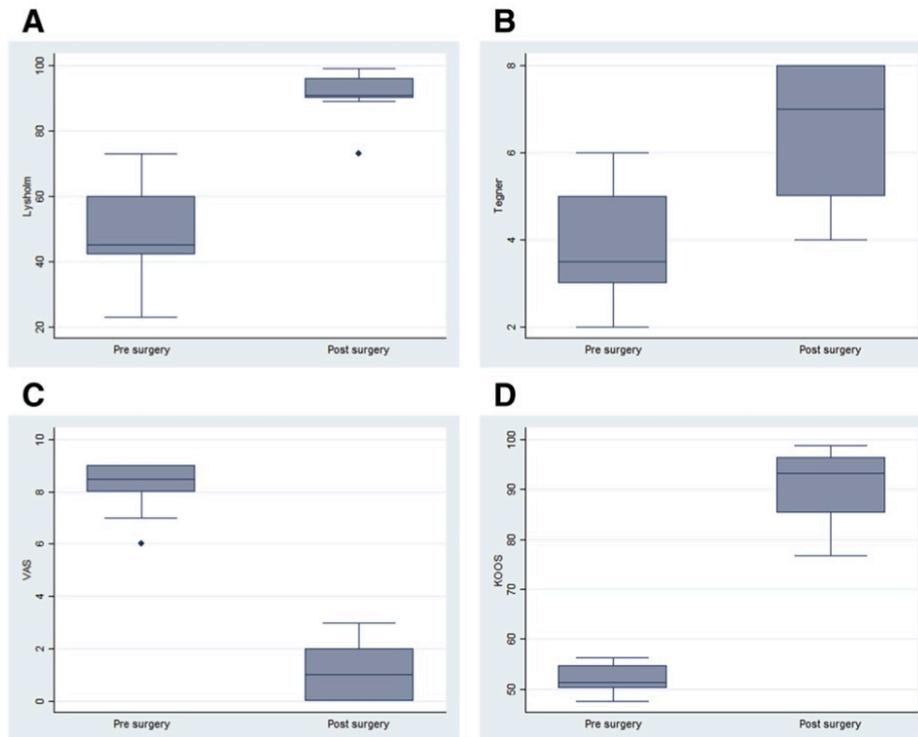
Several factors have been related to meniscal allograft extrusion. They are the graft fixation method, medial versus lateral, the graft size, and the donor and recipient matching being among the most prominent. Graft fixation is crucial to preventing short- and mid-term complications due to failure and altered knee kinematics. Although peripheral fixation is achieved with sutures in all of the available techniques, the fixation of meniscal horns may be achieved either by sutures through the bone or with a bone-to-bone fixation. Some studies have shown that fixation with bone plugs is better compared with graft fixation without bone plugs in terms of the restoration of the normal contact mechanics of the knee<sup>5,20</sup> and complications, including graft failure.<sup>21</sup> However, more recent investigations have shown no biomechanical differences in the mean pullout strength between the 2 fixation methods.<sup>22</sup> Furthermore, MAT without bone fixation has shown good and excellent results in terms of pain relief and clinical and functional outcomes,<sup>18,23,24</sup> including the return to sport in top level athletes.<sup>25,26</sup>

Meniscal extrusion was not universally investigated in MAT. However, most of the works that look for this

ARTICLE IN PRESS

LATERAL CAPSULODESIS TECHNIQUE

7



**Fig 5.** Overall improvement of functional scores in group B: (A) Lysholm, (B) Tegner, (C) Visual analog scale, and (D) Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score.

phenomenon found a high degree of graft subluxation.<sup>4</sup> Suture-only fixation has shown a higher degree of meniscal extrusion when compared with bone fixation. However, this was not related to worse functional or radiographic outcomes as shown in several studies comparing both methods.<sup>6,21</sup>

As far as we know, no study has proven that extrusion has either a deleterious effect on the joint or brings about inferior clinical outcomes after MAT. However, a radially displaced meniscus is a concern for the surgeon. Therefore, we aim to reduce or eventually avoid extrusion.

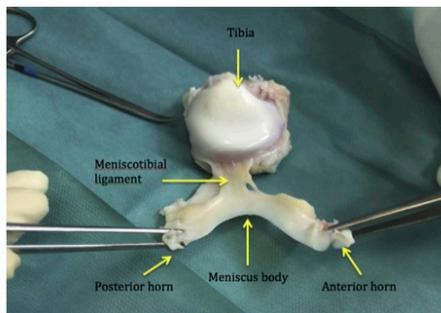
Different strategies have been proposed to decrease the degree of meniscal allograft extrusion. Jang et al.<sup>19</sup> reported that reducing the graft size by 5% decreases the percentage of extrusion without any adverse outcome either clinically or radiographically. Other studies have shown that the risk of graft extrusion increases as the axial plane trough angle increases. This angle can be reduced by ensuring that the bony trough starting point is not created in an excessively lateral position. Jeon et al.<sup>27</sup> suggested that the excision of a peripheral osteophyte larger than 2 mm in the proximal tibial plateau was

**Table 6.** Functional Results of Both Groups After Surgery

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Lysholm	94.33 ± 5.96 (89.83, 98.51)	91.43 ± 6.19 (86.34, 97.22)	.05
Tegner	7 (6-9) (5.97, 9.01)	7 (6-8) (5.88, 8.51)	.87
Visual analog scale	0.67 ± 1.11 (0.43, 1.21)	0.93 ± 1.00 (0.52, 1.13)	.51
KOOS	90.88 ± 7.53 (88.64, 92.01)	92.01 ± 6.71 (90.83, 96.77)	.44

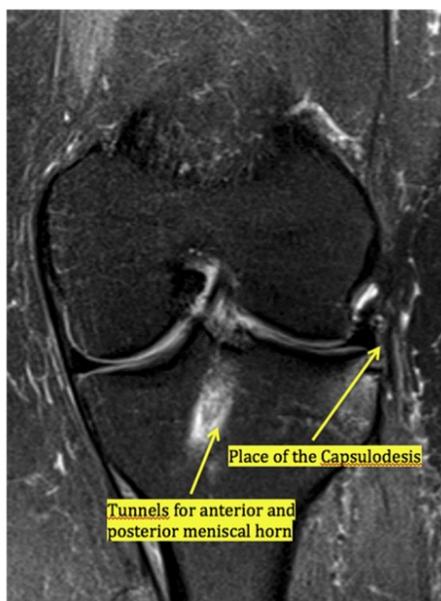
NOTE. Values expressed as mean, standard deviation, and 95% confidence interval unless otherwise indicated. KOOS, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score.

ARTICLE IN PRESS



**Fig 6.** Gross anatomy of the lateral meniscotibial ligament during preparation of the lateral meniscus allograft. The meniscus has been detached from the roots and flipped. Note its strong attachments at both the meniscus and the tibial site.

associated with less MAT extrusion. It is also known that there are no associations between preoperative lateral subluxation of the native menisci and postoperative subluxation of meniscal transplants in patients who undergo MAT on the lateral compartment with low-grade arthritic changes.<sup>28</sup> Some authors have proposed stabilizing the meniscus body to the tibial plateau in an attempt to control graft extrusion. However, this



**Fig 7.** Magnetic resonance image at 6 months postoperatively showed the position of the mid-body of the lateral meniscus allograft and the lateral capsulodesis tibial tunnel placement.

maneuver may present the risk of limiting the normal mobility of the meniscus during knee motion. A recent investigation has focused on peripheral fixation, because an adequate meniscal rim is important to promoting healing and the incorporation of the graft.<sup>29</sup> In that sense, the reported technique explored the role that capsule fixation to the tibial plateau might play. A technical note was published by Jung et al. where the capsule was fixed to the tibial plateau.<sup>30</sup> However, in that technique, fixation was achieved with the help of a metal anchor. In addition, no outcomes were reported.

Although the menisci root attachments have received considerable attention in recent years,<sup>31</sup> their peripheral attachments are much less understood, particularly in the lateral side. It is likely that lateral capsulodesis mimics the function of the meniscotibial ligament by fixing the meniscus in the articular surface<sup>32</sup> (Fig 6). Thereby radial displacement is limited. We are currently investigating this hypothesis (unpublished data).

Although different methods of capsular stabilization can be found in the literature, the current implant-free technique for lateral capsulodesis seems to be a valid, reliable, and an easy method to prevent MAT extrusion. It allows for versatility in terms of the number of fixation points and locations without a significant bone loss in the tibial plateau because the drill holes had only a 2.4 mm diameter. It does not interfere with subsequent MRI and there are no additional costs (Fig 7). In this early series using this technique, the lateral capsulodesis contributed to preventing graft extrusion and the results persist at the 1-year follow-up with favorable clinical outcomes. This series of capsulodesis showed one of the lowest percentages of meniscal extrusion in MAT ever reported. Longer follow-up studies are needed to confirm these results and to assess the impact that a lower degree of meniscal extrusion may have on the future of the knee involved.

**Limitations**

The present investigation has some limitations. Although the same techniques, which were performed by a single surgeon, have always been used in both groups, there was unavoidable learning curve in the capsulodesis group. However, if the first 4 cases of that group are not considered, the results obtained would have been even clearer. The limited sample size is another obvious limitation along with not having studied the postoperative radiographs. If we consider that the differences found may not become clinically significant in the short term, there is the possibility of a type II or beta error for outcomes because no difference was seen and the study was not powered to such. Another limitation is that the inclusion/exclusion criteria are not strict and we do not discuss concomitant procedures. In addition, of all the preoperative variables described in Table 1, including the different functional

ARTICLE IN PRESS

scores, only the Lysholm score showed significant differences between the 2 groups. For this reason, we still consider both groups homogeneous. Furthermore, our clinical follow-up was only a minimum 1 year and there is a lack of intraobserver evaluation. Finally, only 2 methods of limiting extrusion were compared. So, it is unknown how efficient other methods might be.

**Conclusions**

The capsulodesis technique in lateral MAT proved not to be statistically different at decreasing the degree of meniscal extrusion with respect to the bone-bridge fixation. If the first 4 cases using the new capsulodesis technique had not been included in the results, the capsulodesis technique would have effectively presented better results relative to the degree of meniscal extrusion compared with the bone-bridge fixation technique. In addition, the functional results were similar.

**Acknowledgment**

The authors thank Julio Florentino Del Corral for assisting in the statistical analysis as well as Eric Goode for his help in correcting the manuscript.

**References**

1. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ. Homologous meniscus transplantation: Experimental and clinical results. *Int Orthop* 1989;13:1-11.
2. Rosso F, Bisicchia S, Bonasia DE, Amendola A. Meniscal allograft transplantation: A systematic review. *Am J Sports Med* 2015;43:998-1007.
3. Samitier G, Alentorn-Geli E, Taylor DC, et al. Meniscal allograft transplantation. Part 1: Systematic review of graft biology, graft shrinkage, graft extrusion, graft sizing, and graft fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:310-322.
4. Lee DH, Kim TH, Lee SH, Kim CW, Kim JM, Bin S. Evaluation of meniscus allograft transplantation with serial magnetic resonance imaging during the first post-operative year: Focus on graft extrusion. *Arthroscopy* 2008;24:1115-1121.
5. Alhalki MM, Howell SM, Hull ML. How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics. *Am J Sports Med* 1999;27:320-328.
6. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC. Suture-only fixation technique leads to a higher degree of extrusion than bony fixation in meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2012;40:1591-1596.
7. De Coninck T, Huyse W, Verdonk R, Verstraete K, Verdonk P. Open versus arthroscopic meniscus allograft transplantation: Magnetic resonance imaging study of meniscal radial displacement. *Arthroscopy* 2013;29:514-521.
8. Ahlbäck S, Rydberg J. X-ray classification and examination techniques in gonarthrosis. *Lakartidningen* 1980;77:2091-2093.
9. Pollard ME, Kang Q, Berg EE. Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy* 1995;11:684-687.
10. Monllau JC, Ibañez M, Masferrer-Pino A, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X. Lateral capsular fixation: An implant-free technique to prevent meniscal allograft. *Arthrosc Tech* 2017;6:e269-e274.
11. Lee AS, Kang RW, Kroin E, Verma NN, Cole BJ. Allograft meniscus transplantation. *Sports Med Arthrosc* 2012;20:106-114.
12. Puig L, Monllau JC, Corrales M, Pelfort X, Melendo E, Caceres E. Factors affecting meniscal extrusion: Correlation with MRI, clinical, and arthroscopic findings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:394-398.
13. Sharma L, Eckstein F, Song J, et al. Relationship of meniscal damage, meniscal extrusion, malalignment, and joint laxity to subsequent cartilage loss in osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum* 2008;58:1716-1726.
14. Costa CR, Morrison WB, Carrino JA. Medial meniscus extrusion on knee MRI: Is extent associated with severity of degeneration or type of tear? *Am J Roentgenol* 2004;183:17-23.
15. Hale CA, Fleiss JL. Interval estimation under two study designs for kappa with binary classification. *Biometrics* 1993;49:523-534.
16. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159-174.
17. Harris JD, Brand JC, Cote MP, Faucett SC, Dhawan A. Research pearls: The significance of statistics and perils of pooling. Part 1: Clinical versus statistical significance. *Arthroscopy* 2017;33:1102-1112.
18. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R. Transplantation of viable meniscal allograft. Survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:715-724.
19. Jang SH, Kim JG, Ha JG, Shim JC. Reducing the size of the meniscal allograft decreases the percentage of extrusion after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2011;27:914-922.
20. Paletta GA, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J. The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. *Am J Sports Med* 1997;25:692.
21. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Tey M, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC. Prospective comparative study between two different fixation techniques in meniscal allograft transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:1516-1522.
22. Hunt S, Kaplan K, Ishak C, Kummer FJ, Meislin R. Bone plug versus suture fixation of the posterior horn in medial meniscal allograft transplantation: A biomechanical study. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2008;66:22-26.
23. Alentorn-Geli E, Seijas R, García M, et al. Arthroscopic meniscal allograft transplantation without bone plugs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:174-182.
24. González-Lucena G, Gelber PE, Pelfort X, Tey M, Monllau JC. Meniscal allograft transplantation without bone blocks: A 5- to 8-year follow-up of 33 patients. *Arthroscopy* 2010;26:1633-1640.
25. Alentorn-Geli E, Vazquez RS, Diaz PA, Cuscó X, Cugat R. Arthroscopic meniscal transplants in soccer players:

ARTICLE IN PRESS

10

A. MASFERRER-PINO ET AL.

- Outcomes at 2- to 5-year follow-up. *Clin J Sport Med* 2010;20:340-343.
26. Chalmers PN, Karas V, Sherman SL, Cole BJ. Return to high-level sports after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2013;29:539-544.
  27. Jeon B, Kim JM, Kim JM, Lee CR, Kim KA, Bin SI. An osteophyte in the tibial plateau is a risk factor for allograft extrusion after meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2015;43:1215-1221.
  28. Lee BS, Bin SI, Kim JM, Kim JH, Lim EJ. Meniscal allograft subluxations are not associated with preoperative native meniscal subluxations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:200-206.
  29. Matava MJ. Meniscal allograft transplantation: A systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2007;455:142-157.
  30. Jung Y, Choi N, Victoroff BN. Arthroscopic stabilization of the lateral capsule of the knee in meniscal transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:189-191.
  31. LaPrade CM, Ellman MB, Rasmussen MT, et al. Anatomy of the anterior root attachments of the medial and lateral menisci: A quantitative analysis. *Am J Sports Med* 2014;42:2386-2392.
  32. Bezerra FS, Alves JN, Silva MAS, et al. Quantitative and descriptive analysis of the meniscotibial ligament in human corpses. *Braz J Morphol Sci* 2007;24:211-213.

## Trabajo nº2

International Orthopaedics  
https://doi.org/10.1007/s00264-019-04398-8

ORIGINAL PAPER



# Capsular fixation limits graft extrusion in lateral meniscal allograft transplantation

Angel Masferrer-Pino<sup>1</sup> · Joan C. Monllau<sup>1,2</sup> · Ferran Abat<sup>3</sup> · Pablo E. Gelber<sup>1,4</sup>

Received: 3 June 2019 / Accepted: 15 August 2019  
© SICOT aisbl 2019

### Abstract

**Purpose** The main purpose of this investigation was to compare the amount of graft extrusion of lateral meniscal allograft transplantation (MAT) performed with a suture-only technique with or without a capsulodesis. Secondly, the assessment of functional results was also covered. We hypothesized that capsular fixation reduces the post-operative degree of allograft extrusion and it does not affect the functional outcomes during the short-term follow-up period studied.

**Methods** Prospective series of 29 lateral MAT. Fifteen were fixed with a suture-only technique (group A). The remaining 14 cases (group B) also included arthroscopic lateral capsular fixation (capsulodesis). Functional results were assessed with Lysholm, Tegner, and VAS for pain. Magnetic resonance imaging (MRI) was performed to determine the degree of meniscal extrusion. Millimeters of extrusion and percentage of extruded meniscal tissue were calculated for both groups. The degree of extrusion was considered minor if it was < 3 mm or major if it was > 3 mm.

**Results** Group A had 11 cases (73.3%) of major extrusion and group B had 4 cases (28.6%) ( $p = 0.02$ ). The percentage of extruded meniscal tissue was 35% in group A and 24.6% in group B ( $p = 0.04$ ). At a mean 3.4 years (range 1–4) post-operatively, the Lysholm score had a mean  $89.60 \pm 6.93$  and  $91.43 \pm 6.19$  points in groups A and B, respectively ( $p < 0.001$ ). The median follow-up Tegner score improved from 4 (range 3–5) to 7 (range 6–9) in group A ( $p < 0.001$ ) and from 4 (range 3–5) to 7 (range 6–8) in group B ( $p < 0.001$ ). VAS dropped 5 and 7.3 points in groups A and B, respectively ( $p < 0.001$ ). There were no complications in this series.

**Conclusions** In lateral MAT with the suture-only fixation technique, the described capsulodesis minimized meniscal extrusion. In terms of functional results, there were no differences between the groups at a mean 3.4-year follow-up.

**Keywords** Meniscal transplantation · Meniscal extrusion · Meniscus · Knee · Capsulodesis

### Introduction

Meniscal allograft transplantation (MAT) was developed in Germany in the mid-1980s [1]. This procedure replaces the lost meniscal tissue to eventually prevent progressive deterioration

of the joint due to a previous meniscectomy [2, 3]. To address the problems of meniscectomized patients, there are ongoing efforts to develop techniques for meniscus regeneration or meniscus scaffolding using tissue engineering strategies [4, 5]. Progressively, MAT has become a valid treatment option in relatively young and active patients symptomatic due to a prior meniscectomy [6]. It is currently accepted that MAT provides favorable clinical results on at least the short- and medium-term basis [7]. Several soft tissue and bone fixation surgical techniques have been described to better fix the graft and to prevent mechanical failures. However, no significant clinical differences have been reported between them to date [7]. Extrusion is an interesting phenomenon that is usually identified shortly after transplantation and seems to be stable over time [8]. It is defined as a tendency toward radial displacement of the graft beyond the tibial margin and has been often observed after MAT [9]. Biomechanically, an extruded meniscus would

✉ Pablo E. Gelber  
personal@drgelber.com

<sup>1</sup> Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, ICATME, Hospital Universitari Dexeus - Universitat Autònoma de Barcelona, Sabino Arana, 5-19, 08028 Barcelona, Spain

<sup>2</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Parc de Salut Mar – Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain

<sup>3</sup> ReSport Clinic, Barcelona, Spain

<sup>4</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau - Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain

decrease the resistance to hoop strains. The MAT with suture-only fixation has shown a greater degree of extrusion when compared to bony fixation [10, 11]. Although extrusion has not shown to have any clinical consequences yet, the abnormal position of those grafts causes concern among surgeons. Therefore, different strategies have been suggested to limit or prevent MAT extrusion. Recently, a technique that aims to stabilize the residual meniscus rim or the lateral capsule to the tibial plateau (capsulodesis) has been implemented to reduce extrusion in lateral MAT [12].

The main purpose of this investigation was to compare the amount of graft extrusion of lateral MAT performed with a suture-only technique with or without a capsulodesis. Secondly, the assessment of functional results was also covered. We hypothesized that capsular fixation reduces the post-operative degree of allograft extrusion and it does not affect the functional outcomes during the short-term follow-up period studied.

## Methods

A randomized and prospective clinical trial was performed following the CONSORT guidelines. The study protocol was approved by the institutional review board (*ExtMen 2016-01*). Informed consent was signed from each patient. All the surgical procedures were performed by two of the authors. Twenty-nine consecutive patients were operated on with a lateral MAT. The fixation technique in each patient was randomly determined with permuted blocks for the suture-only group (A) or the capsulodesis group (B).

In all the cases, MAT was indicated for lateral joint line pain due to a previous large meniscectomy that had not improved with non-surgical therapies. Although no relationship between malalignment and meniscal extrusion has been established, patients with alignment beyond 5 degrees of varus or valgus were excluded. Patients who had an Ahlback grade greater than II were also excluded. Neither were cases performed with any concomitant surgical procedure or patients with a body mass index greater than 30 considered for this study.

Radiographic and functional evaluations were performed by two independent observers (both, orthopaedic surgeons). With regard to the functional evaluation, the observers were blinded to the type of MAT fixation used.

## Surgical technique

Allograft sizing was matched with the donor's morphometric dimensions (weight and size) and double-checked with the method described by Pollard et al. [13]. The allografts were fresh-frozen, non-irradiated and non-antigen matched. They were provided by an authorized local tissue bank.

The whole surgical technique was performed arthroscopically in all the cases. The specific details of the suture-only [10, 14] as well as the capsulodesis techniques have been previously described [12, 15]. In all the procedures, the remains of the host menisci were assessed and refreshed using a combination of shaving, rasping, and high-frequency trephination to promote healing [16]. During the surgical procedure, all the allografts were soaked and kept in a vancomycin-saline solution at 36 °C [17]. In all the cases, both allograft horns were fixed to 4.5-mm transtibial tunnels drilled at the anatomic anterior and posterior meniscal root attachments [18]. Once the allograft was correctly placed, final fixation was accomplished with a combination of all-inside (Fast-Fix; Smith & Nephew, Andover, MA) vertical or horizontal sutures in the posterior half of the meniscus, up to the popliteus hiatus, and with outside-in sutures in the anterior half. The sutures were placed every 5 to 10 mm alternating on the superior and inferior aspects of the graft to obtain a better end-position of the MAT and improve its fixation to the original rim or capsule. At the end of the procedure, the sutures placed on the horns were tied together over the tibial cortex.

All the allografts that were fixed with only transosseous sutures in the anterior and posterior horns were considered as group A. In group B, prior to the graft transplantation, the lateral meniscal rim or capsule was also fixed to the lateral tibial plateau margin. The redundant or loose lateral capsule was first identified. If any osteophyte was observed on the lateral edge of the tibial plateau, a motorized burr was used to remove it. Two 2.4-mm tunnels were drilled from the antero-medial tibial cortex aiming to the edge of the lateral tibial plateau, leaving a bridge of 10 mm between them, where the capsule was seen more laterally displaced (Fig. 1). It was done with the help of a tibial ACL guide (Pinn-ACL Guide, ConMed, Largo, Florida).

One suture was then passed through each tunnel. The capsule including any meniscal remnant was pierced with an 18-gauge spinal needle loaded with a #2 PDS suture using an outside-in technique. These shuttle sutures were replaced by high strength sutures and pulled down through each tibial tunnel. This maneuver brings the capsule over the LTP, reducing any redundancy (capsulodesis). Finally, the two strands were tied to each other on the tibial cortex, similarly to the meniscal horn fixation (Fig. 2). Alternatively, they can be tied over a button. Once the capsulodesis had been done, the meniscal transplantation itself was performed.

## Post-operative care

All the patients had the same post-operative protocol. The first two weeks, only proprioceptive weight-bearing with a knee brace blocked in full-extension was allowed. Progressive weight-bearing was subsequently encouraged. Full weight-

bearing was regularly obtained by week four to six, depending on the patients' tolerance. Range of motion exercises was limited to 90 degrees the first four weeks, increased progressively by week six and then to full range of motion afterwards. At four months of index surgery, most of the patients returned to normal activity and workloads.

### Magnetic resonance imaging evaluation

An MRI was performed on each patient in the supine position before surgery and between the 12 and 36-month follow-up. All the MRIs were done in a 1.5-T superconducting magnet (Prestige 2T, Elscint, Haifa, Israel) using a knee-specific circular coil. The protocol for each study was axial fast spin echo T2-weighted with fat saturation, coronal fast spin echo intermediate-weighted, sagittal spin echo intermediate-weighted, and sagittal fast spin echo T2-weighted with fat saturation. The images were evaluated twice, three weeks apart. Two independent observers (orthopaedic surgeons) assessed the images. The mean of these two measurements was used in the analysis. The PACS workstation (Centricity Enterprise Web V3.0, General Electric Healthcare, Milwaukee, Wisconsin) was used for the study. As reported, the graft position was evaluated on coronal images [16], where extrusion is maximum. In general, those images were at the level of the medial collateral ligament. Measurement was performed drawing two lines. One of them was a vertical line intersecting the peripheral margin of the LTP at the point of transition from horizontal to vertical. A perpendicular line was also drawn from the outer margin of the meniscus to the former line.

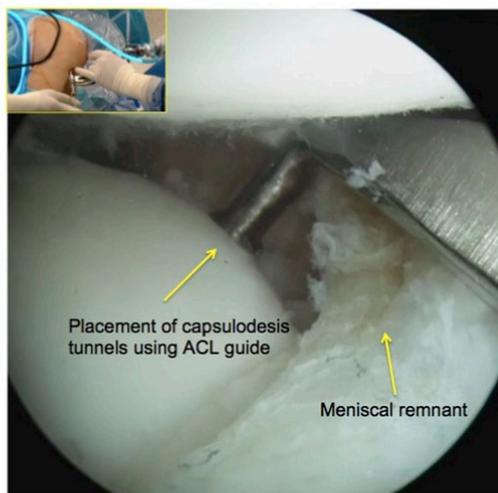


Fig. 1 Left knee, antero-medial view. Lateral capsulodesis tunnels placement using the ACL pin guide through the antero-lateral (AL) portal

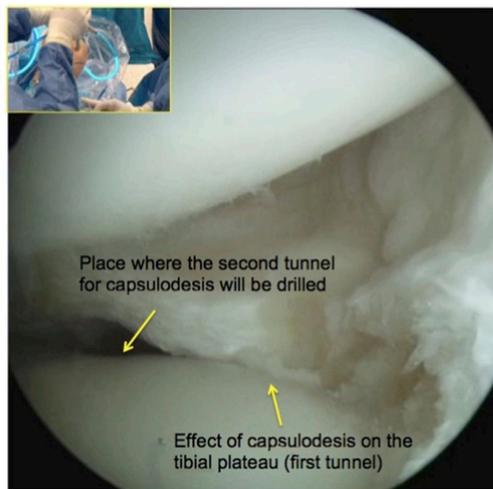


Fig. 2 Capsular fixation suture passed through transtibial tunnel and tied to each other on the medial cortex fixing the capsule to the tibial plateau

The latter was specifically done to measure the degree of extrusion [19, 20]. Additionally, when the graft was extruded less than 3 mm beyond the LTP, it was considered minor extrusion [20]. Conversely, major extrusion was considered when the allograft exhibited more than 3 mm of subluxation [20]. The percentage of extruded meniscal tissue was also calculated. Both the percentage of extrusion as well as it being classified as either major or minor extrusion were then compared between groups.

### Functional evaluation

Before surgery and at the final follow-up, clinical outcomes were evaluated with the Lysholm score as well as Tegner Activity Scale. A 10-point visual analogical scale (VAS) for pain was also used. Patient satisfaction with a subjective score was also used. It was graded as very satisfied (4 points), satisfied (3 points), neutral (2 points), somewhat dissatisfied (1 point), and not satisfied at all (0 points). All the results were used to compare outcomes between groups.

### Data analysis

The sample size was based on a priori power calculations for extrusion. While the categorical variables are reflected in percentages and frequencies, the continuous variables are expressed by a mean  $\pm$  standard deviation. The interobserver agreement was included using the intraclass correlation coefficient [21]. The values were interpreted based on previous studies [22]. A 95% confidence interval was calculated for all possible variables. Student's *t* test was used for independent

data with a statistical power of 80% and an alpha error of 0.05 to calculate the number of patients needed in each group to detect statistically significant minimum differences of 10% in relation to the degree of meniscal extrusion. There was a standard deviation of 3 and a maximum follow-up loss of 10%. The results obtained using Fisher's exact test to compare two samples leads us to think that it is broad enough for the analysis of the hypotheses of this study. Student's *t* test was also used to compare meniscal extrusion rates and functional scores between the two groups. The skewness and kurtosis test demonstrate that all the variables followed normal distributions.

All data analysis was assessed using the SPSS 19 package (SPSS Inc., Chicago, Illinois). Statistical significance was set at .05.

## Results

The average radiological follow-up period with postoperative MR was 1.5 years (range, 1–3), while it was 3.2 years (range, 1–4) for clinical follow-up. All the patients were available for assessment. The series had 19 men (65.5%) and ten women (34.5%) with an average age of 40.9 years (range, 26 to 54 years). Sixteen (55.2%) MAT were performed in right knees while 13 (44.8%) were performed in left knees. There were 15 cases in group A (51.7%) and 14 cases in group B (48.3%). Table 1 shows that both groups were comparable in terms of radiographic findings, gender, age, and the pre-operative functional status.

### Graft extrusion

In accordance with the extrusion criteria described above, 14 knees (48.3%) showed graft extrusion as minor (< 3 mm) while major extrusion (> 3 mm) was observed in 15 patients (51.7%). Within group A, there were four cases (26.7%) of minor extrusion and 11 cases (73.3%) of major extrusion. In group B, there were major and minor extrusion in ten (71.4%) and four cases (28, 6%), respectively (Table 2) ( $p = 0.02$ ).

If we focus on comparing the degree of meniscus extrusion with the type of fixation used, a lower percentage of extrusion was also observed in group B. In group A, this percentage was  $35 \pm 9.8$ . Conversely,  $24.6 \pm 15.5$  of extruded meniscal tissue was seen in group B ( $p = 0.04$ ) (Table 3).

### Clinical outcomes

A significant improvement in all the assessed scores was observed when the pre- and post-operative values were compared, regardless of the technique used. The Lysholm score improved from  $62.3 \pm 11.8$  and  $48.8 \pm 13.9$  to  $89.6 \pm 6.9$  ( $p < 0.001$ ) and  $91.4 \pm 6.19$  ( $p < 0.001$ ), in groups A and B, respectively (Fig. 3a). Similarly, the mean VAS score

decreased from  $7.3 \pm 2.1$  to  $1.3 \pm 1.40$  in group A ( $p < 0.001$ ) and from  $8.2 \pm 1$  to  $0.9 \pm 1$  in group B ( $p < 0.001$ ) (Fig. 3b). The Tegner activity score also improved from 4 (range, 3–5) to 7 (range, 6–9) in group A ( $p < 0.001$ ) and from 4 (range, 3–5) to 7 (range, 6–8) in group B ( $p < 0.001$ ) (Fig. 3c).

Patient satisfaction with the surgery with a maximum of 4 was  $3.4 \pm 0.3$  points in group A and  $3.8 \pm 0.2$  in group B. No differences were observed when comparing the functional variables analyzed between the two study groups. The intraclass correlation coefficient was classified as excellent (0.89, 95% CI 0.81 to 0.95). Finally, no complications have been reported in this series.

## Discussion

The main finding of this investigation was that capsulodesis decreased the extrusion of a lateral MAT fixed with a suture-only technique. This confirmed the first hypothesis. Secondly, in terms of function, both groups obtained similar and comparable results in the short term. That fact confirms the second hypothesis of the study.

Several investigations have shown that transplanted menisci tend to extrude more than native menisci [23, 24]. Despite this extrusion, most series have shown good clinical results. Many aspects of meniscal extrusion are still unknown. Regarding the cause, it could be multifactorial. However, it remains unanswered as to whether this abnormal position may cause any alteration of the meniscus' biomechanics or not. However, concern exists that the non-anatomical position of the MAT might likely produce further damage to the knee in the long-term. The extrusion phenomenon seems to occur early after transplantation (< 6 weeks) and does not worsen posteriorly [8]. Similarly, those that do not extrude early are unlikely to further extrude [8]. The vast majority of series that deal with this topic investigated the radial displacement of the graft only on the coronal plane. Few authors have assessed MAT extrusion in an anterior or posterior direction [25, 26], which may also be significant in terms of final meniscal behaviour.

Several different strategies have been proposed to limit or minimize extrusion. Although the final cause is unknown, it is quite common to see a very loose and redundant capsule in lateral symptomatic meniscectomized compartments. That is probably the reason that the capsulodesis technique has been so effective at minimizing extrusion in the current series when compared to the otherwise widely used only-suture technique [10].

As mentioned earlier on, the cause of meniscal extrusion could be multifactorial. The size of the graft [24], as well as the mismatching of recipient and donor [13, 18], the compartment location (medial versus lateral) [26], and the type of fixation [10, 12, 14], all have been suggested as possible

International Orthopaedics (SICOT)

**Table 1** Composition of both groups before surgery

Variable	Group A	Group B	Significance (P)
Age, years	41 ± 8.5 (33.8, 41.7)	40.9 ± 7.0 (36.8, 45)	0.74
Gender, male/female, %	60/40	71.5/28.5	0.55
Lysholm	62.3 ± 11.8 (56.3, 68.4)	48.79 ± 13.90 (40.7, 56.8)	0.07
Tegner	4 (3–5) (2.96, 4.64)	4 (3–5) (2.95, 4.5)	0.87
Visual analog scale	7.3 ± 2.1 (5.17, 7.8)	8.21 ± 1 (7.6, 8.8)	0.51
Rx joint space narrowing, mm	3.1 ± 1.4 (2.62, 3.6)	3 ± 1.2 (2.8, 4.0)	0.33

Values expressed as mean, standard deviation, and 95% CI unless otherwise indicated

factors related to graft extrusion. With regard to the graft fixation method, investigated in the current study, it may influence both the failure rate and the kinematics of the knee joint. It has been shown, biomechanically, that extrusion might cause abnormal load transmission and later chondral impairment [27, 28]. It is likely that the extruded menisci tend to fail due to the incongruence with the femoral condyle. Therefore, maintaining the correct position of the allograft seems crucial to restoring the normal kinematics of the operated knee. While fixation of the graft meniscal body to the capsule or the meniscal remnant is usually performed with a standard meniscal repair technique, meniscal horn fixation is much trickier. Horn attachment is a critical step that requires strong fixation. In lateral MAT, to that end, the two most commonly used techniques are trans tibial fixation with either only soft tissue or with a bone block in the allograft meniscal horns or the bone bridge in a trough technique [29]. Some authors sustain that bony fixation technique is superior to the only-suture technique in terms of restoring the normal biomechanics of the compartment and having fewer complications [30, 31]. However, MAT without bone fixation has also shown good and excellent results in terms of pain relief and clinical and functional results [23, 32, 33], allowing for a return to sports activities in top-level athletes [34, 35]. As has been recently shown, the graft also exhibits less extrusion when compared to bony fixation if capsulodesis is added to the lateral MAT fixed without bone plugs [12].

MAT extrusion is a phenomenon that appears often after transplantation [10, 12, 14, 26, 29, 32, 37–39], and has no

relationship with the pre-operative position of the meniscal remnant [36]. It is thought that a strong bony fixation technique keeps the meniscal graft in place and so tends to decrease the rate of extrusion even though that better positioning has not been related to clinical, functional, or radiological differences when compared to soft tissue fixation [10, 16]. As far as we know, the current study is the first comparing two different methods of MAT fixations without bone plugs. This may also be significant because some tissue banks worldwide only deliver meniscal allografts without bone blocks.

To date, different methods have been described to reduce the degree of MAT extrusion. Jang et al., in his series [24], suggested reducing the size of the graft by 5%. That approach makes for a reduction in the percentage of meniscal extrusion without producing any deterioration at the clinical or radiological level. When using a bone-bridge technique, the greater the obliquity of the trough on the axial plane, the more likely the risk of graft extrusion [38]. Therefore, assuring a correct starting point of the bone trough diminishes the angle and so the tendency of the MAT to laterally dislocate. Moreover, a simple resection of an osteophyte greater than 2 mm in the lateral tibial plateau can also reduce the extrusion of lateral MAT [39]. The rehabilitation process may even influence the degree of graft extrusion [37]. When compared to standard rehabilitation, delayed rehabilitation showed less coronal graft extrusion and joint space narrowing on weight-bearing and reduced the progression of degenerative changes. Lastly, to limit graft subluxation, some surgeons have suggested the fixation of the meniscal graft to the tibial plateau. Although that technique can be effective, it has the inherent risk of reducing the normal mobility of the meniscus during knee motion, particularly in the lateral compartment where the meniscus presents greater extrusion. Therefore, that technique

**Table 2** Frequency of graft extrusion

	Minor	Major
Suture-only	4 (26.7%)	11 (73.3%)
Capsulodesis	10 (71.4%)	4 (28.6%)
Total	14 (48.3%)	15 (51.7%)

*p* = 0.02

**Table 3** Graft extrusion percentage

Group	Observations	Mean	S.D.
Suture-only	15	35	9.8
Capsulodesis	14	24.6	15.5
<i>p</i> value	0.04		

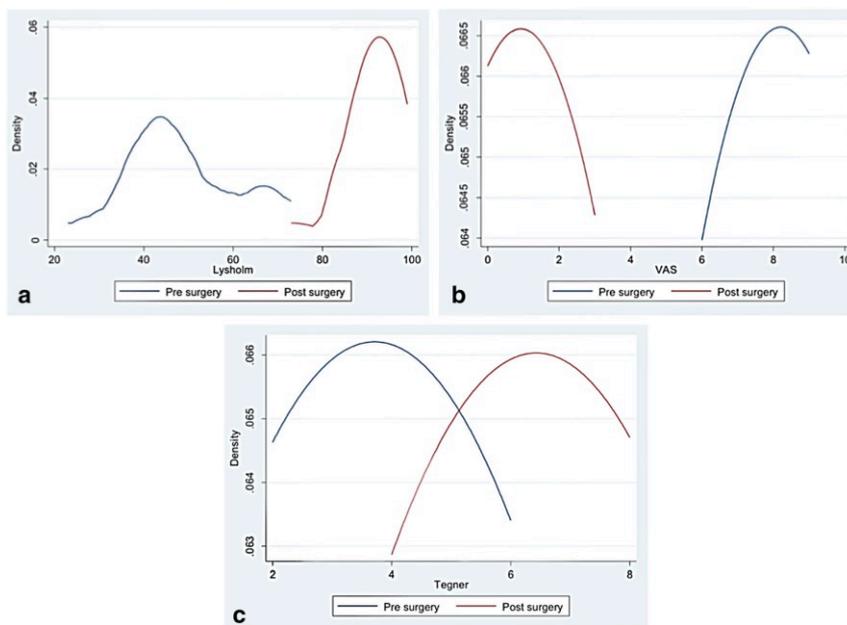


Fig. 3 Overall improvement of functional scores in group B: a Lysholm, b VAS, c Tegner

was refined to preserve the meniscal motion by fixing the peripheral capsule or meniscal rim to the tibial plateau instead. Therefore, the MAT is subsequently secured to a firm lateral



Fig. 4 MRI at 6 months post-operatively showing the position of the mid-body of lateral meniscus allograft and the lateral capsulodesis tibial tunnel placement. In the superior right quadrant, arthroscopic view of the transplanted allograft performed after the capsulodesis

wall that has been freshened beforehand to promote healing and graft incorporation [40]. This technique emphasizes the role that the fixation of the capsule could have on the tibial plateau. However, those authors used metallic anchors to fix the graft and failed to provide nor radiological neither clinical outcomes [40].

Despite the efforts to reduce graft extrusion after lateral MAT, there are still pre- and postoperative factors related to graft extrusion. Although the native lateral meniscal roots have been well studied [41], some of their peripheral and meniscal body attachments are still relatively unknown. Some authors consider that the lateral meniscotibial ligament (MTL) plays an important role in stabilizing the body of the lateral meniscus [42]. It could then be hypothesized that extrusion of the graft is to some extent due to the lack of MTL reconstruction during the MAT procedure. Thus, the current capsulodesis technique, with the tunnels drilled at the level of the anatomical attachments of the MTL, is somehow reproducing its function and so limiting the extrusion of the allograft [12]. In terms of extrusion, the proposed capsulodesis added to a soft tissue fixation through bone tunnels positively compares to bony fixation methods [12].

The described technique may thus provide additional biomechanical benefits to the MAT procedure. It is a versatile technique that avoids additional hardware while preserving good bone stock (2.4-mm transosseous tunnels). It also

provides a satisfactory option to reduce lateral MAT extrusion when the graft is supplied by the tissue bank without bone blocks. Last but not least, being an implant-free technique allows for optimal postoperative MRI assessment (Fig. 4).

Although there is still a big dilemma regarding the impact of the meniscal extrusion on the future of the knee joint, this series showed one of the lowest meniscal extrusion rates to date [7, 9, 10, 12, 14, 26, 29, 32, 37–39]. Longer follow-up studies are needed to confirm these results. Anatomical studies are also required to further study the anatomy and biomechanics of the knee lateral structures and their impact on knee kinematics after MAT.

Different limitations to this investigation need to be addressed. A larger sample size could have reflected some differences in the clinical outcomes and thus, the possibility of a type II or beta error cannot be excluded. Also, differences in the clinical results could have been different if a longer follow-up had been carried out. However, the main objective of the study was to assess the degree of meniscal extrusion. It is a phenomenon that occurs in the first weeks after the surgery [8]. The intra-observer agreement of the MRI measurement method was not calculated.

## Conclusions

In the lateral MAT suture-only fixation technique, the described capsulodesis minimized meniscal extrusion. In terms of functional results, there were no differences between groups at a mean 3.4-year follow-up.

**Acknowledgments** The authors thank Julio Florentino Del Corral for assisting in the statistical analysis as well as Eric Goode for his help in correcting the manuscript.

## References

1. Milachowski KA, Weismeyer K, Wirth CJ (1989) Homologous meniscus transplantation: experimental and clinical results. *Int Orthop* 13(1):1–11
2. DeHaven KE (1999) Meniscus repair. *Am J Sports Med* 27(2):242–250
3. Zhang P, Zhao Q, Shang X, Wang Y (2018) Effect of arthroscopic resection for discoid lateral meniscus on the axial alignment of the lower limb. *Int Orthop* 42(8):1897–1903
4. Verdonk R, Madry H, Shabshin N, Dirisamer F, Peretti GM, Pujol N, Spalding T, Verdonk P, Scil R, Condello V, Di Matteo B, Zellner J, Angele P (2016) The role of meniscal tissue in joint protection in early osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24(6):1763–1774
5. Xu C, Zhao J (2015) A meta-analysis comparing meniscal repair with meniscectomy in the treatment of meniscal tears: the more meniscus, the better outcome? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23(1):164–170
6. Kim J-H, Lee S, Ha DH, Lee SM, Jung K, Cho W (2018) The effects of graft shrinkage and extrusion on early clinical outcomes

- after meniscal allograft transplantation. *J Orthop Surg Res* 13(1):181
7. Rosso F, Bisicchia S, Bonasia DE, Amendola A (2015) Meniscal allograft transplantation: a systematic review. *Am J Sports Med* 43(4):998–1007
8. Lee DH, Kim TH, Lee SH, Kim CW, Kim JM, Bin S (2008) Evaluation of meniscus allograft transplantation with serial magnetic resonance imaging during the first postoperative year: focus on graft extrusion. *Arthroscopy* 24(10):1115–1121
9. Samitier G, Alentorn-Geli E, Taylor DC, Rill B, Lock T, Moutzouras V, Kolowich P (2015) Meniscal allograft transplantation. Part 1: systematic review of graft biology, graft shrinkage, graft extrusion, graft sizing, and graft fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23(1):310–322
10. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC (2012) Suture-only fixation technique leads to a higher degree of extrusion than bony fixation in meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 40(7):1591–1596
11. De Coninck T, Huysse W, Verdonk R, Verstraete K, Verdonk P (2013) Open versus arthroscopic meniscus allograft transplantation: magnetic resonance imaging study of meniscal radial displacement. *Arthroscopy* 29(3):514–521
12. Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JI, Pelfort X, Gelber PE (2018) Capsulodesis versus bone trough technique in lateral meniscal allograft transplantation: graft extrusion and functional results. *Arthroscopy* 34(6):1879–1888
13. Pollard ME, Kang Q, Berg EE (1995) Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy* 11(6):684–687
14. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Tey M, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC (2013) Prospective comparative study between two different fixation techniques in meniscal allograft transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21(7):1516–1522
15. Monllau JC, Ibáñez M, Masferrer-Pino A, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X (2017) Lateral capsular fixation: an implant-free technique to prevent meniscal allograft. *Arthrosc Tech* 6(2):e269–e274
16. Furumatsu T, Miyazawa S, Fujii M, Tanaka T, Kodama Y, Ozaki T (2019) Arthroscopic scoring system of meniscal healing following medial meniscus posterior root repair. *Int Orthop* 43(5):1239–1245
17. Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Gelber PE, Shehata TM, Pelfort X, Monllau JC (2016) Autograft soaking in vancomycin reduces the risk of infection after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24(9):2724–2728
18. Perez-Blanca A, Prado Nóvoa M, Lombardo Torre M, Espejo-Reina A, Ezquerro Juanco F, Espejo-Baena A (2018) The role of suture cutout in the failure of meniscal root repair during the early post-operative period: a biomechanical study. *Int Orthop* 42(4):811–818
19. Puig L, Monllau JC, Corrales M, Pelfort X, Melendo E, Caceres E (2006) Factors affecting meniscal extrusion: correlation with MRI, clinical, and arthroscopic findings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14(4):394–398
20. Costa CR, Morrison WB, Carrino JA (2004) Medial meniscus extrusion on knee MRI: is extent associated with severity of degeneration or type of tear? *Am J Roentgenol* 183(1):17–23
21. Hale CA, Fleiss JL (1993) Interval estimation under two study designs for kappa with binary classifications. *Biometrics* 49(2):523–534
22. Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33(1):159–174
23. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R (2005) Transplantation of viable meniscal allograft. Survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases. *J Bone Joint Surg Am* 87(4):715–724
24. Jang SH, Kim JG, Ha JG, Shim JC (2011) Reducing the size of the meniscal allograft decreases the percentage of extrusion after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 27(7):914–922

26. Kim NK, Bin SI, Kim JM, Lee CR, Kim JH (2017) Meniscal extrusion does not progress during the midterm follow-up period after lateral meniscal transplantation. *Am J Sports Med* 45(4):900–908
27. Lee DH, Lee CR, Jeon JH, Kim KA, Bin SI (2015) Graft extrusion in both the coronal and sagittal planes is greater after medial compared with lateral meniscus allograft transplantation but is unrelated to early clinical outcomes. *Am J Sports Med* 43(1):213–219
28. Chen MI, Branch TP, Hutton WC (1996) Is it important to secure the horns during lateral meniscal transplantation? A cadaveric study. *Arthroscopy* 12(2):174–118
29. Kim JG, Lee YS, Bac TS, Ha JK, Lee DH, Kim YJ, Ra HJ (2013) Tibiofemoral contact mechanics following posterior root of medial meniscus tear, repair, meniscectomy, and allograft transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21(9):2121–2125
30. Matava MJ (2007) Meniscal allograft transplantation: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 455:142–157
31. Alhalki MM, Howell SM, Hull ML (1999) How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics. *Am J Sports Med* 27(3):320–328
32. Paletta GA, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J (1997) The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. *Am J Sports Med* 25(5):692–698
33. Alentorn-Geli E, Seijas R, García M, Alvarez P, Steinbacher G, Cuscó X, Vilarrubia R, Cugat R (2011) Arthroscopic meniscal allograft transplantation without bone plugs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(2):174–182
34. González-Lucena G, Gelber PE, Pelfört X, Tey M, Monllau JC (2010) Meniscal allograft transplantation without bone blocks: a 5- to 8-year follow-up of 33 patients. *Arthroscopy* 26(12):1633–1640
35. Alentorn-Geli E, Vazquez RS, Diaz PA, Cuscó X, Cugat R (2010) Arthroscopic meniscal transplants in soccer players: outcomes at 2- to 5-year follow-up. *Clin J Sport Med* 20(5):340–343
36. Chalmers PN, Karas V, Sherman SL, Cole BJ (2013) Return to high-level sport after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 29(3):539–544
37. Lee BS, Bin SI, Kim JM, Kim JH, Lim EJ (2017) Meniscal allograft subluxations are not associated with preoperative native meniscal subluxations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25(1):200–206
38. Lee DW, Lee JH, Kim DH, Kim JG (2018) Delayed rehabilitation after lateral meniscal allograft transplantation can reduce graft extrusion compared with standard rehabilitation. *Am J Sports Med* 46(10):2432–2440
39. Lee DH, Kim JM, Lee BS, Kim KA, Bin SI (2012) Greater axial trough obliquity increases the risk of graft extrusion in lateral meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 40(7):1597–1605
40. Jeon B, Kim JM, Kim JM, Lee CR, Kim KA, Bin SI (2015) An osteophyte in the tibial plateau is a risk factor for allograft extrusion after meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 43(5):1215–1221
41. Jung Y, Choi N, Victoroff BN (2011) Arthroscopic stabilization of the lateral capsule of the knee in meniscal transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(2):189–191
42. LaPrade CM, Ellman MB, Rasmussen MT, James EW, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF (2014) Anatomy of the anterior root attachments of the medial and lateral menisci: a quantitative analysis. *Am J Sports Med* 42(10):2386–2392
43. Bezerra FS, Alves JN, Silva MAS, Trajano ETL, Ferreira TA, Vasconcelos HA, Valença SS (2007) Quantitative and descriptive analysis of the meniscotibial ligament in human corpses. *Braz J Morphol Sci* 24(4):211–213

**Publisher's note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## Trabajo nº3

ARTICLE IN PRESS

### The Menisco-Tibio-Popliteus-Fibular Complex: Anatomic Description of the Structures That Could Avoid Lateral Meniscal Extrusion

Angel Masferrer-Pino, M.D., Ivan Saenz-Navarro, M.D., Gonzalo Rojas, M.D.,  
Simone Perelli, M.D., Juan Erquicia, M.D., Pablo E. Gelber, M.D., Ph.D., and  
Joan C. Monllau, M.D., Ph.D.

**Purpose:** To analyze, quantify, and redefine the anatomy of the peripheral attachments of the lateral meniscal body to further understand how the structures might play a part in preventing meniscal extrusion and how it might be applied to surgical techniques. **Methods:** Ten nonpaired fresh-frozen cadaveric knees without prior injury, a surgical history, or gross anatomic abnormality were included. There were 5 right and 5 left knees, and 50% were from male donors and 50% were from female donors. All the dissections were performed by a group of 3 experts in knee surgery (2 knee surgeons and 1 anatomy professor who oversaw the design of the dissection protocol and guided this protocol). The main peripheral structures associated with the lateral meniscus body were dissected to determine the insertion, size, thickness, and location of the lateral meniscotibial ligament (LMTL), popliteofibular ligament (PFL), and popliteomeniscal ligament (PML). The distance to various landmarks in the lateral compartment was also determined using an electronic caliper. Moreover, a histopathologic study was carried out. **Results:** The average thickness of the LMTL was  $0.62 \pm 0.18$  mm (95% confidence interval [CI], 0.49-0.75 mm); that of the PFL-PML area was  $1.05 \pm 0.27$  mm (95% CI, 0.85-1.24 mm). The anteroposterior distance measured  $15.80 \pm 4.80$  mm (95% CI, 12.40-19.30 mm) for the LMTL and  $10.40 \pm 1.70$  mm (95% CI, 9.21-11.63 mm) for the PFL-PML area. The anteroposterior distance of the whole menisco-tibio-popliteus-fibular complex (MTPFC) was  $28.20 \pm 4.95$  mm (95% CI, 24.70-31.70 mm). The average distance from the MTPFC to the posterior horn of the lateral meniscal root was  $29.30 \pm 2.29$  mm (95% CI, 27.60-30.90 mm), whereas that to the anterior horn was  $32.00 \pm 4.80$  mm (95% CI, 28.60-35.50 mm). The average distance from the tibial insertion of the LMTL to the articular surface was  $5.59 \pm 1.22$  mm (95% CI, 4.72-6.46 mm). In all the anatomic components of the knee, a consistent morphologic and histologic pattern was observed between the fibers of the LMTL, PFL, and PML and those of the lateral meniscal body, making up the proposed MTPFC. **Conclusions:** A consistent anatomic pattern has been identified between the lateral meniscal body and the LMTL, PFL, and PML, forming an interconnected complex that would seem appropriate to denominate the MTPFC. A precise study of this region and appropriate nomenclature for it could contribute to a better understanding of the mechanism of lateral meniscal injuries at this level, as well as the development of surgical techniques to treat these lesions and prevent extrusion. **Clinical Relevance:** This study contributes to the understanding of the lateral meniscal body attachments and the functions they serve. This will lead to improvements in the treatment of lesions in this region, including the development of surgical techniques.

From Institut Català de Traumatologia i Medicina de l'Esport (ICATME), Hospital Universitari Dexeus—Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain (A.M.-P., S.P., J.E., P.E.G., J.C.M.); Department of Orthopaedic Surgery, Fundació Hospital Esperit Sant, Barcelona, Spain (I.S.-N.); Department of Anatomy, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain (I.S.-N.); Department of Orthopaedic Surgery, Hospital Regional de Talca, Talca, Chile (G.R.); Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona, Spain (P.E.G.); and Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar—Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain (J.C.M.).

The authors report the following potential conflicts of interest or sources of funding: P.E.G. receives personal fees from ConMed, outside the submitted

work. J.C.M. receives personal fees from ConMed and Smith & Nephew, outside the submitted work. Full ICMJE author disclosure forms are available for this article online, as supplementary material.

Received September 12, 2019; accepted March 1, 2020.

Address correspondence to Angel Masferrer-Pino, M.D., Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, ICATME, Hospital Universitari Dexeus—Universitat Autònoma de Barcelona, Sabino Arana, 5-19, 08028, Barcelona, Spain. E-mail: angel.masferrer@gmail.com

© 2020 by the Arthroscopy Association of North America  
0749-8063/191092/\$36.00

<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2020.03.010>

## ARTICLE IN PRESS

2

A. MASFERRER-PINO ET AL.

The anatomy of the lateral compartment of the knee, specifically the lateral meniscus and its peripheral structures, has been studied and documented.<sup>1-4</sup> It is widely known that the meniscus plays a crucial role in knee function and homeostasis.<sup>5</sup> Particularly, the lateral meniscus has greater mobility, fewer peripheral attachments, and a thinner and looser posterolateral capsule. These characteristics are probably due to the anatomy and function of the lateral compartment.<sup>6,7</sup> Furthermore, the existence of the popliteal hiatus causes capsule disruption and reduces vascularization in that area.<sup>8</sup>

Historically, there have been some differences in the way the singular anatomy of this area has been labeled and interpreted that has led to some confusion when studying it.<sup>9-12</sup> One of the most relevant structures is the meniscal-fibular ligament (MFL), first described in humans by Zivanovic.<sup>13</sup> Its existence, morphology, and histology, as well as its biomechanical characteristics, were verified later.<sup>14,15</sup> More recently, another structure has been described as the “meniscotibial ligament”<sup>16</sup> or “coronary ligament,” thus further confusing the issue. It corresponds to a short and confluent ligament band that adheres peripherally to the meniscal body and serves to stabilize and maintain the meniscus in the proper position on the tibial plateau. Similarly to the MFL, the meniscotibial ligament has been defined differently in various studies over time.<sup>17,18</sup> It is interesting to note that the meniscocapsular ligament, coronary ligament, and popliteomeniscal ligament (PML) have received special attention in recent years.<sup>19-22</sup>

These meniscocapsular and meniscotibial attachments may contribute to holding the lateral menisci in place and thereby preventing extrusion. Although the final consequences of meniscal extrusion are poorly understood, every effort made to prevent radial displacement is reasonable.

Because the current definition and terminology are confusing, the purpose of this study was to analyze, quantify, and redefine the anatomy of the peripheral attachments of the lateral meniscal body to further understand how the structures might play a part in preventing meniscal extrusion and how it might be applied to surgical techniques. The first hypothesis was that the lateral meniscus would have an intricate attachment to the tibia that included the lateral meniscotibial ligament (LMTL), popliteofibular ligament (PFL), and PML, forming a combination that might be better denominated the “menisco-tibio-popliteus-fibular complex” (MTPFC). The second hypothesis was that these ligaments would have a defined anatomy (in terms of thickness and histology) and constant dynamic relation, so they would act together to fix the lateral side of the meniscus to the tibia and capsule.

## Methods

Twelve nonpaired fresh-frozen cadaveric knees without prior injury, a surgical history, or gross anatomic abnormalities were used in this work. All were donated to the anatomy laboratory. Prior to death, all the donors had voluntarily expressed their will to donate their bodies for anatomic education and study in accordance with current law. The local ethical committee for clinical research of our institution approved the study protocol. During preparation and dissection, we excluded 2 knees from the study after observing severe osteoarthritis (Ahlbäck grade > II) and/or significant changes in the lateral meniscus (visual meniscal tears). Finally, 10 knees were included (5 right and 5 left knees). Half of the knees corresponded to male donors and the other half, to female donors. The average age of the donors was 64.7 years (range, 50-84 years).

The protocol for specimen preparation was as follows: The day before dissection (24 hours), one of the knees was removed from the freezer (set at  $-20^{\circ}\text{C}$ ) and left at room temperature while wrapped in gauze soaked with saline solution. All dissection work was carried out throughout the same day, which avoided the need for refreezing or preservation with other chemical substances that could alter the structural properties of the tissues. The dissections were all performed by 2 knee surgeons (A.M.-P., G.R.) under the supervision of an anatomy professor (I.S.-N.) from the local university with 21 years of experience in the field. The professor created the dissection protocol followed for all the knees. To avoid confusion and changes in criteria during the study, the same team members were always present for all the dissections.

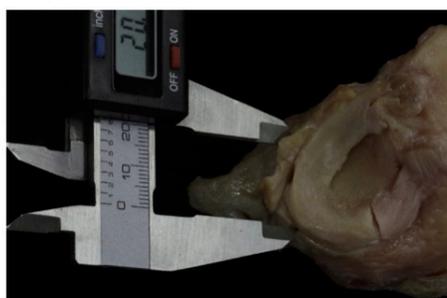
## Dissection Protocol

The preparation of the cadaveric knees always followed the same protocol: First, the femoral and tibial diaphysis was cut 10 cm from the joint line. All the skin was carefully removed until the fascia lata was visualized on the lateral side. Subsequently, it was dissected, identified, and marked at its distal insertion in the Gerdy tubercle. Next, the biceps femoris tendon, the sciatic nerve, and the common peroneal nerve were all identified. The main lateral structures—the fibular collateral ligament (FCL), popliteal tendon (PT), and PFL—were carefully dissected until they were correctly visualized. A lateral parapatellar arthrotomy was performed. Then, the anterior and posterior cruciate ligaments were removed. Subsequently, the FCL and PT were marked and sectioned at the femoral level to disassemble the femur to expose the entire lateral compartment. In addition, the patellar bone was removed, and the patellar tendon was sectioned distally. To further facilitate the dissection, a sagittal osteotomy at the intercondylar level was performed while ensuring that the meniscal roots and other structures of interest were left undamaged. After the dissection, the main lateral

ARTICLE IN PRESS

MENISCO-TIBIO-POPLITEUS-FIBULAR COMPLEX

3



**Fig 1.** Anatomic dissection of a right knee. An axial view shows an example of an anteroposterior measurement using an electronic caliper.

structures—the FCL, PT, PFL, PML, and LMTL—were again correctly identified and marked.

**Measurements**

To prevent mistakes in measuring the landmarks established by the team, all the measurements were always determined independently by the 2 knee surgeons who participated in the dissections while under the supervision of the anatomy professor. They were performed using an electronic caliper (Digimatic Caliper; Mitutoyo, Kawasaki, Japan) with a degree of accuracy to within 0.01 mm (Fig 1). To prevent movement of the cadaveric knee during the measurements, it was fixed on a working table, and the lateral meniscus was pierced with a K-wire and fixed to the tibial plateau without damaging the peripheral attachments. All measurements were taken 3 times, and the average was recorded and used for the study. In the case of having to determine measurements with curvature, they were calculated as the sum of 3-dimensional measurements on the peripheral path of the measured structure.

**Landmarks**

To better define the attachments of the lateral meniscal body and its posterolateral area, all the measurements (i.e., thickness, amplitude, location, and size) of the involved

structures (PFL, PML, and LMTL), as well as their relations in the lateral compartment, were in agreement with those determined by the anatomy professor. The midpoint of the FCL was taken as the anatomic reference to better differentiate between the anterior (ventral) structures (LMTL) and posterior (dorsal) structures (PFL and PML) of the proposed lateral complex (MTPFC). The measurements included (1) the mediolateral thickness of the LMTL, (2) the mediolateral thickness of the PFL-PML ligaments, (3) the anteroposterior distance of the LMTL, (4) the anteroposterior distance of the PFL-PML ligaments, (5) the anteroposterior distance of the entire complex (MTPFC), (6) the distance from the midpoint of the MTPFC to the midpoint of the posterior horn of the lateral meniscal root, (7) the distance from the midpoint of the MTPFC to the anterior horn of the lateral meniscal root, and (8) the distance from the tibial attachment of the LMTL to the articular surface of the lateral tibial plateau.

**Histopathologic Study**

Once all the necessary measurements were determined, samples from the 10 knees were obtained to perform a histologic study. The meniscal roots were detached, and a block that included the entire lateral meniscus attached to the MTPFC was collected. Tissue samples were fixed in 10% buffered formalin at room temperature for more than 24 hours and decalcified in a solution containing aluminum chloride, hydrochloric acid, and formic acid, based on the method of Plank and Rychlo.<sup>23</sup> The block was embedded in paraffin and sectioned at 7 μm. Two coronal sections were cut for each block. One included the meniscal body and the LMTL (anterior to the FCL); the other included the meniscal body and the PFL and PML (posterior to the FCL). Some sections were stained with Masson trichrome, and others, with hematoxylin-eosin.

**Statistical Analysis**

Categorical variables are expressed as means and standard deviations. In all cases, 95% confidence intervals (CIs) were also calculated. Interobserver agreement was analyzed using the intraclass correlation coefficient in the case of quantitative variables.<sup>24</sup> A score above 0.80 was defined as excellent agreement. All ICC

**Table 1.** Average Anatomic Measurements in 10 Cadaveric Knees Dissected

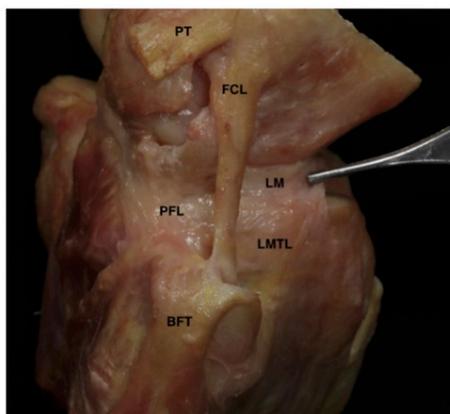
Variable	Mean (N = 10)	SD	95% CI
LMTL thickness, mm	0.62	0.18	0.49-0.75
PFL-PML thickness, mm	1.05	0.27	0.85-1.24
Anteroposterior distance of LMTL, mm	15.80	4.80	12.40-19.30
Anteroposterior distance of PFL-PML, mm	10.40	1.70	9.21-11.63
Anteroposterior distance of MTPFC, mm	28.20	4.95	24.70-31.70
Distance from MTPFC to PHLM, mm	29.30	2.29	27.60-30.90
Distance from MTPFC to AHLM, mm	32.00	4.80	28.60-35.50
Distance from LMTL tibial insertion to articular surface, mm	5.59	1.22	4.72-6.46

AHLM, anterior horn of lateral meniscus; CI, confidence interval; LMTL, lateral meniscotibial ligament; MTPFC, menisco-tibio-popliteus-fibular complex; PFL, popliteofibular ligament; PHLM, posterior horn of lateral meniscus; PML, popliteomeniscal ligament; SD, standard deviation.

ARTICLE IN PRESS

4

A. MASFERRER-PINO ET AL.



**Fig 2.** Anatomic dissection of a right knee. A sagittal view shows the peripheral insertions of the lateral meniscal body (LM) after the popliteal tendon (PT) and biceps femoral tendon (BFT) are sectioned, whereas the lateral meniscotibial ligament (LMTL) is tightened at the level of its most anterior meniscal insertion. The entire menisco-tibio-popliteus-fibular complex is observed, with the LMTL positioned anterior to the fibular collateral ligament (FCL) and the more posterior popliteofibular ligament (PFL).

scores were greater than 0.95 (range, 0.95-0.99). Statistical analysis was performed using the SPSS software package (version 19; SPSS, Chicago, IL).

**Results**

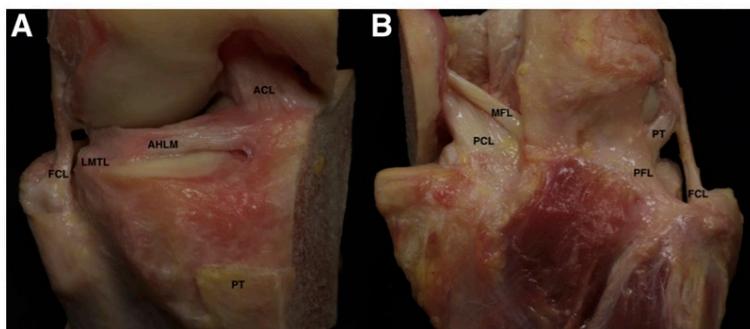
**Anatomic Measurements**

All the measurements obtained are shown in Table 1, expressed in millimeters ± standard deviation (95%

CI). In relation to the mediolateral thickness measurement of the LMTL, the mean was  $0.62 \pm 0.18$  mm (95% CI, 0.49-0.75 mm). The mediolateral thickness of the PFL-PML area was  $1.05 \pm 0.27$  mm (95% CI, 0.85-1.24 mm); this area (posterior to the FCL) was thicker than the previous area (anterior to the FCL). The anteroposterior distance of the LMTL was  $15.80 \pm 4.80$  mm (95% CI, 12.40-19.30 mm), whereas the anteroposterior distance of the PFL-PML area was  $10.40 \pm 1.70$  mm (95% CI, 9.21-11.63 mm). In addition, the anteroposterior distance of the whole complex (MTPFC) measured  $28.20 \pm 4.95$  mm (95% CI, 24.70-31.70 mm). The average distance from the midpoint of the MTPFC to the midpoint of the posterior horn of the lateral meniscal root was  $29.30 \pm 2.29$  mm (95% CI, 27.60-30.90 mm), whereas the average distance from the midpoint of the MTPFC to the midpoint of the anterior horn of the lateral meniscal root was  $32.00 \pm 4.80$  mm (95% CI, 28.60-35.50 mm). Furthermore, the average distance from the tibial insertion of the LMTL to the articular surface of the lateral tibial plateau measured  $5.59 \pm 1.22$  mm (95% CI, 4.72-6.46 mm).

**Morphologic Results**

With reference to the attachments of the lateral meniscal body, the structures were found to be consistently related in all the knees dissected. Once the biceps femoris tendon and PT were sectioned and before sectioning of the FCL, a relation between the LMTL and its continuation with the PFL was observed. On a sagittal view, this combination covers the entire lateral part of the attachment of the meniscal body to the tibia (Fig 2). The origin of the LMTL is observed anterior to the FCL, whereas the end of the PFL is located posterior to the FCL. However, they are in a continuous relation, forming the MTPFC. The LMTL

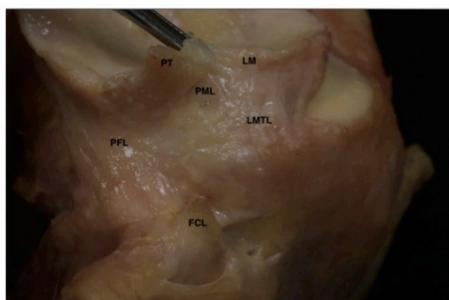


**Fig 3.** Anatomic dissection of a right knee. (A) Anterior view showing the more anterior attachment of the lateral meniscotibial ligament (LMTL); it is thin and loose. (ACL, anterior cruciate ligament; AHLM, anterior horn of lateral meniscus; FCL, fibular collateral ligament; PT, patellar tendon.) (B) Posterior view showing the popliteofibular ligament (PFL); it is more tense and thicker. (FCL, fibular collateral ligament, MFL, meniscofemoral ligament [ligament of Wrisberg]; PCL, posterior cruciate ligament; PT, popliteal tendon.)

ARTICLE IN PRESS

MENISCO-TIBIO-POPLITEUS-FIBULAR COMPLEX

5



**Fig 4.** Anatomic dissection of a right knee: sagittal view, after the fibular collateral ligament (FCL) is sectioned, the femur is dismantled, and the lateral meniscus (LM) is tensed. A complete view of the menisco-tibio-popliteus-fibular complex is obtained, with the lateral meniscotibial ligament (LMTL) anterior to the FCL, the popliteofibular ligament (PFL) posterior, and the anteriosuperior popliteomeniscal ligament (PML) more proximal. (PT, popliteal tendon.)

can be easily observed on an anterior view, being a lax thin structure that connects the meniscal body to the tibial plateau as described in the measurement results (Fig 3A). On the other hand, the PFL can be observed to be a thicker and tenser structure in comparison to the LMTL on a posterior view (Fig 3B).

To further explore the lateral compartment, the FCL and the anterior and posterior cruciate ligaments were sectioned and the femur was disassembled. The continuity of ligament fibers from the most anterior part of the LMTL to the most posterior part of the PFL, as seen on a lateral view, was confirmed in all the knees. The former (LMTL) had a more vertical orientation, whereas the latter (PFL) had a more diagonal orientation. This fiber change seemed to happen at the level of the FCL, one of the anatomic references. Regardless of the orientation, continuity between them and the connection of these 2 structures was clearly observed in all the knees. They make up a lateral complex (MTPFC) together with the PML that is located more proximal (Fig 4). Again, the LMTL in the most anterior (ventral) region of the MTPFC is easily identifiable (Fig 5), similarly to the PFL in its more posterior (dorsal) region (Fig 6). On the other hand, the PML was clearly identified and found in all the knees. It joins the PT to the lateral meniscal body with an anteriosuperior fascicle and a posterosuperior fascicle. The PML also links the LMTL and PFL (Fig 7).

Finally, both meniscal roots were sectioned to access an internal view of the structures. Once again, a constant and reproducible anatomic disposition was observed in all the knees. This made it possible to distinguish the MTPFC structures from a perspective

different from the conventional lateral view, again verifying the relation between all the structures involved (Fig 8). Likewise, the entire lateral meniscus was flipped, thereby obtaining a reliable internal view of the tissues that connect the body of the lateral meniscus to the peripheral structures (Fig 9).

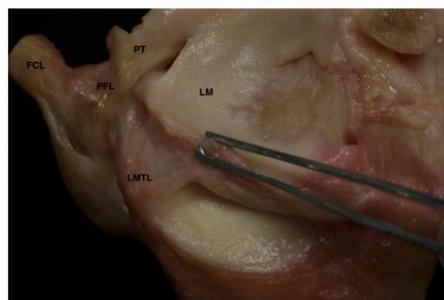
**Histopathologic Results**

Samples were collected for a pathologic study of all the knees, as described in the “Methods” section. Because the impression during the dissections was that there might be structural differences between the 2 tissues, 2 coronal sections of the MTPFC, anterior and posterior to the FCL fibers, were performed. In all cases, the same histologic pattern was observed. There was loose, thin tissue in the LMTL area and more dense and structured tissue in the PFL and PML area (Fig 10).

**Discussion**

The most important finding in this study was that the same anatomic pattern of the lateral meniscal attachment was identified in all specimens around the lateral meniscal body. This lateral complex pattern was constant in all the knees dissected. It consists of 3 interconnected ligaments (LMTL, PFL, and PML) with the proposed denomination of “MTPFC.” All the structures composing the MTPFC displayed the same quantitative pattern in all the studied knees regardless of the morphologic differences (i.e., donor height and weight). Throughout the investigation, the fibers located anterior to the FCL (corresponding to the LMTL) were looser and thinner whereas those located beyond the FCL (corresponding to the PFL and PML) were denser and thicker and had much more cellularity. All these findings support our hypotheses.

Because of the confusing terminology and the various ways in which it has been described, there is little

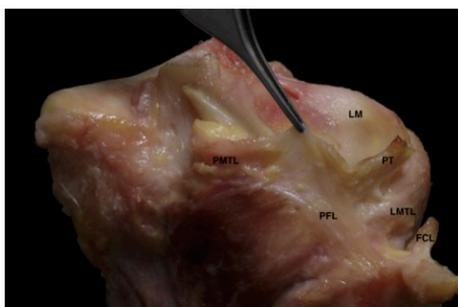


**Fig 5.** Anatomic dissection of a right knee: anterior coronal view of the lateral meniscotibial ligament (LMTL), linking the lateral meniscal (LM) body to the tibial plateau. (FCL, fibular collateral ligament; PFL, popliteofibular ligament; PT, popliteal tendon.)

ARTICLE IN PRESS

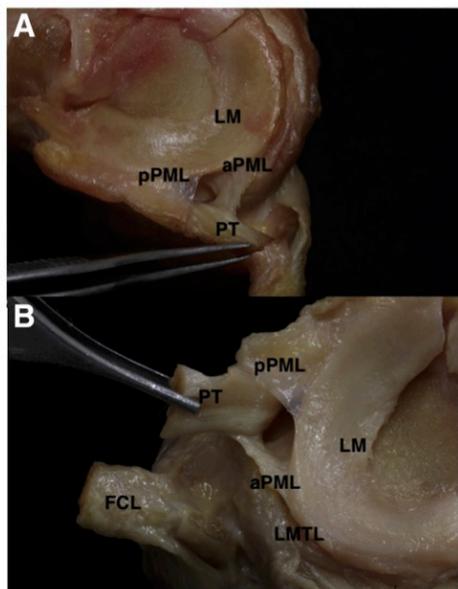
6

A. MASFERRER-PINO ET AL.



**Fig 6.** Anatomic dissection of a right knee. The popliteofibular ligament (PFL) is observed from a posterior coronal view while the lateral meniscus (LM) is tensed. (FCL, fibular collateral ligament; LMTL, lateral meniscotibial ligament; PMTL, posterior meniscotibial ligament; PT, popliteal tendon.)

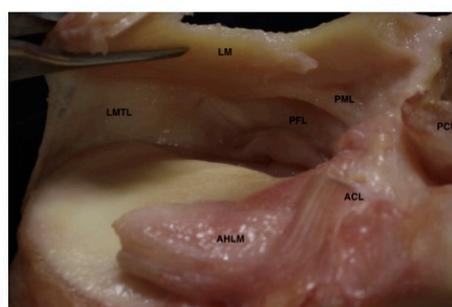
agreement in the literature around the anatomy of this area and its relation with the body of the lateral meniscus. It is true that a reference was made to a



**Fig 7.** Anatomic dissection of a right knee. (A) Posterior axial view of the lateral meniscus (LM). The 2 fascicles of the popliteomeniscal ligament are easily identified after a careful dissection procedure: posterosuperior popliteomeniscal ligament (pPML) and anterosuperior popliteomeniscal ligament (aPML). (B) Anterior axial view with the aPML and pPML identified. (FCL, fibular collateral ligament; LMTL, lateral meniscotibial ligament; PT, popliteal tendon.)

capsular reinforcement in the lateral region of the knee attached from the lateral meniscus to the tibia<sup>1</sup> in classic treatises on anatomy. However, it was not until 1964 that it appeared specifically in the literature with the name of “MFL,”<sup>13</sup> even though it had previously been described in animals.<sup>25</sup> Later, other authors also referenced this structure, speculating that it might offer protection from damage to the lateral meniscus during the last stages of knee extension and reinforcement of the posterolateral part of the coronary ligament.<sup>14</sup> Still other authors have affirmed that there is a potential relation between the MFL and the proximal tibiofibular joint. They have postulated that the MFL may be responsible for the backward and outward displacement of the lateral meniscus because the fibula rotates laterally during dorsiflexion of the ankle joint.<sup>15</sup>

The nomenclature for this area is erroneous and gives rise to confusion, as shown in our investigation. The structure to which these authors refer clearly originates in the body of the lateral meniscus and inserts about  $5.59 \pm 1.22$  mm (95% CI, 4.72-6.46 mm) under the tibial articular surface (Fig 3A). Here, it is differentiated from more posterior structures such as the PFL with which it has continuity (Fig 4), which is also part of the described lateral complex. Therefore, we believe that the correct nomenclature for this structure should be “lateral meniscotibial ligament” (LMTL), as it is consensually known on the medial side of the knee.<sup>26,27</sup> In fact, in the literature, very few authors have referred to the “meniscotibial ligament.” When they have, it was described as capsular fibers with a proximal origin in the lateral border of the menisci and a distal insertion in the lateral border of the tibial plateau. To confuse the issue even more, it has also

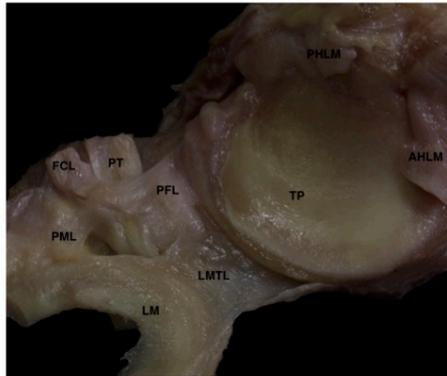


**Fig 8.** Anatomic dissection of a right knee: internal view of the lateral meniscal body with both roots detached and the lateral meniscus (LM) pulled proximally. The lateral meniscotibial ligament (LMTL) is located anteriorly; subsequently, the popliteomeniscal ligament (PML) and popliteofibular ligament (PFL) are observed posteriorly. (ACL, anterior cruciate ligament; AHLM, anterior horn of lateral meniscus; PCL, posterior cruciate ligament.)

ARTICLE IN PRESS

MENISCO-TIBIO-POPLITEUS-FIBULAR COMPLEX

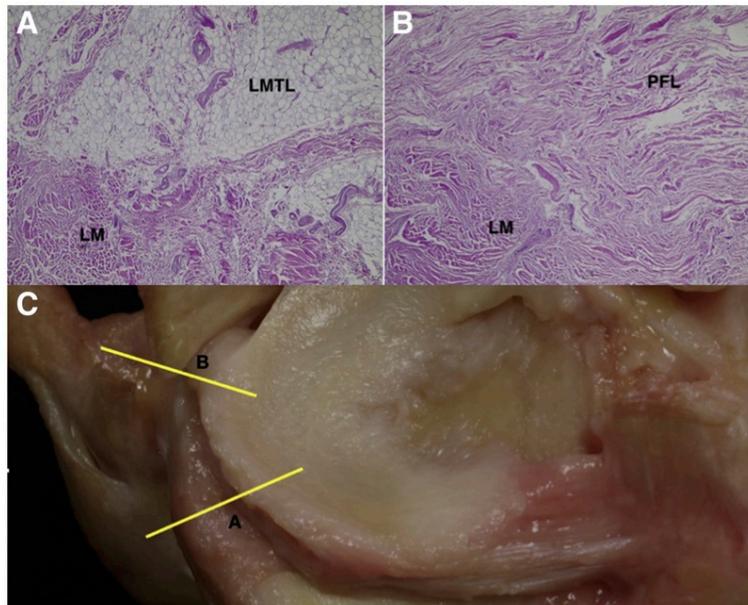
7



**Fig 9.** Anatomic dissection of a right knee. The meniscal roots are sectioned, and the lateral meniscus (LM) is flipped and tensioned to show the entire menisco-tibio-popliteus-fibular complex from an inner side. (AHLM, anterior horn of lateral meniscus; FCL, fibular collateral ligament; LMTL, lateral meniscotibial ligament; PFL, popliteofibular ligament; PHLM, posterior horn of lateral meniscus; PML, popliteomeniscal ligament; PT, popliteal tendon; TP, tibial plateau.)

been referred to as the “coronary ligament.” Unlike in our study, those few authors found this structure in only 23% of the knees evaluated.<sup>16,28</sup> Furthermore, other studies have made reference to this lateral structure in which it was simply described as a portion of the mid-third capsular ligament. It is considered clinically important for being an area of either soft-tissue or bony Segond avulsion during posterolateral corner injuries.<sup>3,17</sup> A recent study has qualitatively and quantitatively described the anatomy of the posterior horn of the lateral meniscus, the popliteomeniscal fascicles, and the posterolateral capsule.<sup>29</sup> However, the authors described the meniscotibial ligament as a posterior structure. In our study, this corresponds to the coronary ligament or posterior meniscotibial ligament. Whereas they described a large part of the lateral structures adjacent to the lateral meniscal body as the “capsule,” we believe they overlooked important structures such as the LMTL.

The PFL runs from the tendon of the popliteal muscle (proximal to the myotendinous junction) to the fibular head (posterior to the attachment of the FCL).<sup>30</sup> However, we also have seen portions of this structure linking the lateral meniscal body, the LMTL, and the tibial plateau (Figs 4 and 6). The literature describes 2 types



**Fig 10.** Histologic sections of the transition between the lateral meniscal body (LM) and the lateral meniscotibial ligament (LMTL) (A) and the transition between the lateral meniscal body and the popliteofibular ligament (PFL) (B) (hematoxylin-eosin stain, original magnification  $\times 100$ ) and anatomic dissection (C) of a right knee.

of PFL: type I has 1 layer, whereas type II has 2 layers. In a cadaveric study, type I PFL was identified in 69.2% of specimens and type II, in 30.8%.<sup>31</sup> In our study, we observed that the mean thickness of the structures corresponding to the LMTL was  $0.62 \pm 0.18$  mm (95% CI, 0.49-0.75 mm) and that of the PFL was  $1.05 \pm 0.27$  mm (95% CI, 0.85-1.24 mm), whereas Bozkurt et al.<sup>15</sup> found the mean thickness of the MFL to be 3.84 mm, ranging from 2.6 to 6.1 mm, including the capsule to which it adheres. Such a thickness was greater than the thickness detected by us and by Zivanovic.<sup>13</sup> We believe that their measurements incorporated part of the lateral capsule given that we have observed that they are consistently finer structures in all our dissections. In addition, it was possible for us to clearly differentiate them from more superficial tissues such as those of the lateral capsule (Figs 5, 8, and 9). For this reason and on the basis of the observed histology, we hypothesized that the entire MTPFC would play a role in preventing lateral meniscal extrusion. Nonetheless, the PFL and PML would contribute more to rotational stabilization and the LMTL to axial stabilization because of the location, distribution and orientation of their fibers.

The term "coronary ligament," which is located in the posterior area near the meniscal root, is also used to refer to the posterior meniscotibial ligament.<sup>3,17</sup> It has a structure and location that are totally different from those of the LMTL, as shown in our study. The coronary ligament on the medial side has been extensively studied<sup>27,32</sup> and related to lesions of the posteromedial region. In addition, the posterior structures of the lateral compartment have been revised and related to lesions in this area.<sup>33-35</sup> It is known that the lateral meniscus has greater anteroposterior mobility than the medial meniscus, and it is here where the coronary ligament or the posterior meniscotibial ligament can have a restrictive role.<sup>36</sup> The role that the meniscofemoral ligament<sup>37</sup> and PML<sup>20-22</sup> have relative to the stability of the lateral meniscus is also widely known. In addition, the lateral meniscus plays an important role in axial load restrictions.<sup>38</sup> Therefore, we believe that the MTPFC may have a restrictive role in preventing axial extrusion of the lateral meniscus. In this sense, with application to clinical practice, some authors have tried to reproduce surgical techniques that can mimic the role that the LMTL, PFL, or PML may play in preventing extrusion in the native meniscus.<sup>39</sup> Their aim was to limit lateral extrusion after lateral meniscal allograft transplantation. Biomechanical studies focused on this aspect would be necessary to further corroborate our hypothesis.

#### Limitations

Different limitations to this investigation need to be addressed. Because knees of donors younger than 50 years were not used, we cannot ensure that the studied

structures did not undergo a process of degeneration throughout life that could have altered the measurements made. These measurements might differ from those in the population younger than 50 years. However, some mild degree of meniscal degeneration or pre-existing extrusion in the dissected knees that could have altered the anatomy and its measurements could have gone unnoticed. Likewise, even though all the results were constant and homogeneous in our study, we do not know whether there are anatomic variants in terms of race because all the knees were from white donors. Finally, in the case of having to determine measurements with curvature, it may have been more accurate to measure directly on the bone.

#### Conclusions

A consistent anatomic pattern has been identified between the lateral meniscal body and the LMTL, PFL, and PML, forming an interconnected complex that would seem appropriate to denominate the MTPFC. A precise study of this region and appropriate nomenclature for it could contribute to a better understanding of the mechanism of lateral meniscal injuries at this level, as well as the development of surgical techniques to treat these lesions and prevent extrusion.

#### Acknowledgment

The authors thank Sergi Mojal for assisting in the statistical analysis as well as Eric Goode for his help in correcting the manuscript and Francesc Tresserra-Casas, M.D., Ph.D., for contributing to the histopathologic study.

#### References

1. Testut L. *Traité d'anatomie humaine*. Paris: Doin, 1904;964-965.
2. Testut L, Jacob O. *Tratado de anatomía topográfica*. Ed 8, Vol 2. Barcelona: Salvat, 1972.
3. Moorman CT III, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the posterolateral corner of the knee. *J Knee Surg* 2005;18:137-145.
4. Thaanat M, Pioger C, Chatellard R, et al. The arcuate ligament revisited: Role of the posterolateral structures in providing static stability in the knee joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;22:2121-2127.
5. Rath E, Richmond JC. The menisci: Basic science and advances in treatment. *Br J Sports Med* 2000;34:252-257.
6. Servien E, Acquitter Y, Hulet C, Seil R, French Arthroscopy Society. Lateral meniscus lesions on stable knee: A prospective multicenter study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009;95:S60-S64 (suppl 1).
7. Van Steyn MO, Mariscalco MW, Pedroza AD, Smerek J, Kaeding CC, Flanigan DC. The hypermobile lateral meniscus: A retrospective review of presentation, imaging, treatment, and results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:1555-1559.

ARTICLE IN PRESS

MENISCO-TIBIO-POPLITEUS-FIBULAR COMPLEX

9

8. Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med* 1982;10:90-95.
9. Raheem O, Philpott J, Ryan W, O'Brien M. Anatomical variations in the anatomy of the posterolateral corner of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15: 895-900.
10. Davies H, Unwin A, Aichroth P. The posterolateral corner of the knee: Anatomy, biomechanics and management of injuries. *Injury* 2004;35:68-75.
11. Cooper JM, McAndrews PT, LaPrade RF. Posterolateral corner injuries of the knee: Anatomy, diagnosis, and treatment. *Sports Med Arthrosc Rev* 2006;14:213-220.
12. LaPrade RF, Morgan PM, Wentorf FA, Johansen S, Engebretsen L. The anatomy of the posterior aspect of the knee: An anatomic study. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89: 758-764.
13. Zivanovic S. The menisco-fibular ligament of the knee joint. *Acta Vet* 1973;23:89-94.
14. Natsis K, Paraskevas G, Anastasopoulos N, Papamitsou T, Sioga A. Menisofibular ligament: Morphology and functional significance of a relatively unknown anatomical structure. *Anat Res Int* 2012;2012:214784.
15. Bozkurt M, Elhan A, Tekdemir I, Tönük E. An anatomical study of the menisofibular ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004;12:429-433.
16. Bezerra FS, Alves JN, Silva MAS, et al. Quantitative and descriptive analysis of the meniscotibial ligament in human corpses. *Braz J Morphol Sci* 2007;24:211-213.
17. Terry GC, LaPrade RF. The biceps femoris muscle complex at the Knee. Its anatomy and injure patterns associated with acute anterolateral-anteromedial rotatory instability. *Am J Sports Med* 1996;24:2-8.
18. Gupte CM, Bull AM, Murray R, et al. Comparative anatomy of the menisofemoral ligament in humans and some domestic mammals. *Anat Histol Embryol* 2007;36: 47-52.
19. Terry GC, LaPrade RF. The posterolateral aspect of the knee. Anatomy and surgical approach. *Am J Sports Med* 1996;24:732-739.
20. Staubli HU, Birrer S. The popliteus tendon and its fascicles at the popliteal hiatus: Gross anatomy and functional arthroscopic evaluation with and without anterior cruciate ligament deficiency. *Arthroscopy* 1990;6:209-220.
21. Simonian PT, Sussmann PS, van Trommel M, Wickiewicz TL, Warren RF. Popliteomeniscal fasciculi and lateral meniscal stability. *Am J Sports Med* 1997;25: 849-853.
22. Simonian PT, Sussmann PS, Wickiewicz TL, et al. Popliteomeniscal fasciculi and the unstable lateral meniscus: Clinical correlation and magnetic resonance diagnosis. *Arthroscopy* 1997;13:590-596.
23. Plank J, Rychlo A. A method for quick decalcification. *Zentralbl Allg Pathol* 1952;89:252-254 [in German].
24. Hale CA, Fleiss JL. Interval estimation under two study designs for kappa with binary classification. *Biometrics* 1993;49:523-534.
25. Haines RW. The tetrapod knee joint. *J Anat* 1942;76: 270-301.
26. LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, et al. The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89: 2000-2010.
27. Peltier A, Lording T, Maubisson L, Ballis R, Neyret P, Lustig S. The role of the meniscotibial ligament in post-eromedial rotational knee stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:2967-2973.
28. Wang YJ, Yu JK, Luo H, et al. An anatomical and histological study of human meniscal horn bony insertions and peri-meniscal attachments as a basis for meniscal transplantation. *Chin Med J (Engl)* 2009;122:536-540.
29. Aman ZS, DePhillipo NN, Storaci HW, et al. Quantitative and qualitative assessment of posterolateral meniscal anatomy: Defining the popliteal hiatus, popliteomeniscal fascicles, and the lateral meniscotibial ligament. *Am J Sports Med* 2019;47:1797-1803.
30. Bolog N, Hodler J. MR imaging of the posterolateral corner of the knee. *Skeletal Radiol* 2007;36:715-728.
31. Ishigooka H, Sugihara T, Shimizu K, Aoki H, Hirata K. Anatomical study of the popliteofibular ligament and surrounding structures. *J Orthop Sci* 2004;9:51-58.
32. DePhillipo NN, Moatshe G, Brady A, et al. Effect of meniscocapsular and meniscotibial lesions in ACL-deficient and ACL-reconstructed knees: A biomechanical study. *Am J Sports Med* 2018;46:2422-2431.
33. Diamantopoulos A, Tokis A, Tzurbakis M, Patsopoulos I, Georgoulis A. The posterolateral corner of the knee: Evaluation under microsurgical dissection. *Arthroscopy* 2005;21:826-833.
34. Frank JM, Moatshe G, Brady AW, et al. Lateral meniscus posterior root and menisofemoral ligaments as stabilizing structures in the ACL-deficient knee: A biomechanical study. *Orthop J Sports Med* 2017;5:2325967117695756.
35. Geeslin AG, Civitarese D, Turnbull TL, Dornan GJ, Fuso FA, LaPrade RF. Influence of lateral meniscal posterior root avulsions and the menisofemoral ligaments on tibiofemoral contact mechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:1469-1477.
36. Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF. Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *Am J Sports Med* 1991;19: 210-216.
37. Poynton A, Moran CJ, Moran R, O'Brien M. The menisofemoral ligaments influence lateral meniscal motion at the human knee joint. *Arthroscopy* 2011;27:365-371.e2.
38. Musahl V, Citak M, O'Loughlin PE, Choi D, Bedi A, Pearle AD. The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 2010;38:1591-1597.
39. Masferrer-Pino A, Monllau JC, Ibáñez M, Erquicia JL, Pelfort X, Gelber PE. Capsulodesis versus bone trough technique in lateral meniscal allograft transplantation: Graft extrusion and functional results. *Arthroscopy* 2018;34:1879-1888.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. King D. The function of semilunar cartilages. *J Bone Joint Surg Am.* 1936;18:1069.
2. Fairbank TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30:664–670.
3. Jackson JP. Degenerative changes in the knee after meniscectomy. *Br Med J.* 1968;2:525–527.
4. Tapper EM, Hoover NW. Late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 1969;51:517–526.
5. Lanzer WL, Komenda G. Changes in articular cartilage after meniscectomy. *Clin Orthop.* 1990;252:41–48.
6. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, et al. Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58:599–604.
7. Kurosawa H, Fukubayashi T, Nakajima H. Load-bearing mode of the knee joint. *Clin Orthop.* 1980;149:283–290.
8. Seedhom BB, Hargreaves DJ. Transmission of load in the knee joint with especial reference to the role of menisci, part II: experimental results, discussions, and conclusions. *Eng Med Biol.* 1979;8:220–228.
9. Bhatia S, LaPrade CM, Ellman MB, LaPrade RF. Meniscal root tears: significance, diagnosis, and treatment. *Am J Sport Med* 2014; 42:3016-30.
10. Sonnery-Cottet B, Conteduca J, Thaunat M, Gunepin FX, Seil R. Hidden lesions of the posterior horn of the medial meniscus: a systematic arthroscopic exploration of the concealed portion of the knee. *Am J Sports Med* 2014; 42 (4):921-926.

11. Milachowski K, Weismeier K, Wirth C. Homologous meniscus transplantation: experimental and clinical results. *Int Orthop*. 1989;13:1–11.
12. Zukor DJ, Cameron JC, Brooks PJ, et al. The fate of human meniscal allografts. In: Ewing JW, ed. *Articular Cartilage and Knee Joint Function: Basic Science and Arthroscopy*. New York: Raven Press; 1990:147.
13. Loch RC, Gross AE, Langer F. Late osteochondral resurfacing for tibial plateau fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1984;66:328–335.
14. Wirth CJ, Peters G, Milachowski KA, et al. Long-term results of meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med*. 2002;30:174–181.
15. Verdonk PCM, Verstraete KL, Almqvist KF, et al. Meniscal allograft transplantation: long-term clinical results with radiological and magnetic resonance imaging correlations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14:694–706.
16. Rosso F, Bisicchia S, Bonasia DE, Amendola A. Meniscal Allograft Transplantation: A Systematic Review. *Am J Sports Med* 2015; 43:998-1007.
17. Samitier G, Alentorn-Geli E, Taylor DC, Rill B, Lock T, Moutzouros V, Kolowich P. Meniscal allograft transplantation. Part 1: systematic review of graft biology, graft shrinkage, graft extrusion, graft sizing, and graft fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015; 23:310-322.
18. Lee DH, Kim TH, Lee SH, Kim CW, Kim JM, Bin S. Evaluation of meniscus allograft transplantation with serial magnetic resonance imaging during the first postoperative year: focus on graft extrusion. *Arthroscopy* 2008; 24:1115-1121.
19. Alhalki MM, Howell SM, Hull ML. How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics. *Am J Sports Med* 1999; 27:320-328.
20. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC. Suture-only fixation technique leads to a higher degree of extrusion than bony

fixation in meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2012; 40:1591-1596.

21. De Coninck T, Huysse W, Verdonk R, Verstraete K, Verdonk P. Open versus arthroscopic meniscus allograft transplantation: magnetic resonance imaging study of meniscal radial displacement. *Arthroscopy* 2013; 29:514-521.

22. Monllau JC, Ibañez M, Masferrer-Pino A, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X. Lateral Capsular Fixation: An Implant-Free Technique to Prevent Meniscal Allograft Extrusion. *Arthrosc Tech*. 2017 Mar 6;6(2):e269-e274.

23. Testut L. *Traité d'anatomie humaine*. Paris: Doin; 1904. p.964-5 .

24. Testut L, Jacob O: *Tratado de Anatomía Topográfica*, 8º Edición Salvat, Tomo II, 1972.

25. Moorman CT III, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the posterolateral corner of the knee. *J Knee Surg*. 2005;18: 137–145.

26. Thaunat M, Pioger C, Chatellard R, et al. The arcuate ligament revisited: role of the posterolateral structures in providing static stability in the knee joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22:2121–2127.

27. Rath E, Richmond JC. The menisci: basic science and advances in treatment. *Br J Sports Med*. 2000;34(4):252–257

28. Servien E, Acquitter Y, Hulet C, Seil R; French Arthroscopy Society. Lateral meniscus lesions on stable knee: a prospective multicenter study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2009;95(8)(suppl 1):S60-S64.

29. Van Steyn MO, Mariscalco MW, Pedroza AD, Smerek J, Kaeding CC, Flanigan DC. The hypermobile lateral meniscus: a retrospective review of presentation, imaging, treatment, and results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1555-1559.

30. Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med*. 1982;10(2):90-95.

31. Raheem O, Philpott J, Ryan W, O'Brien M. Anatomical variations in the anatomy of the posterolateral corner of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 Jul;15(7):895-900. Epub 2007 Feb 15.
32. Davies H, Unwin A, Aichroth P. The posterolateral corner of the knee: anatomy, biomechanics and management of injuries. *Injury.* 2004;35(1):68–75.
33. Cooper JM, McAndrews PT, LaPrade RF. Posterolateral corner injuries of the knee: anatomy, diagnosis, and treatment. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2006 Dec;14(4):213-20
34. LaPrade RF, Morgan PM, Wentorf FA, Johansen S, Engebretsen L. The anatomy of the posterior aspect of the knee: an anatomic study. *J Bone Joint Surg Am.* 2007 Apr;89(4):758-64.
35. Zivanovic S. The menisco-fibular ligament of the knee joint. *Acta Veterinaria.* 1973;23:89–94.
36. Natsis K, Paraskevas G, Anastasopoulos N, Papamitsou T, Sioga A. Menisofibular Ligament: Morphology and Functional Significance of a Relatively Unknown Anatomical Structure. *Anat Res Int.* 2012;2012:214784.
37. Bozkurt M, Elhan A, Tekdemir I, Tonuk E. An anatomical study of the menisofibular ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004 Sep;12(5):429-33.
38. Bezerra FS, Alves JN, Silva MAS, et al. Quantitative and descriptive analysis of the meniscotibial ligament in human corpses. *Braz J Morphol Sci.* 2007; 24 (4):211-3.
39. Terry GC, Laprade RF. The biceps femoris muscle complex at the Knee. Its anatomy and injure patterns associated with acude anterolateral-anteromedial rotatory instability. *Am J Sports Med.* 1996;24:2-8
40. Gupte CM, Bull, AM, Murray R, et al. Comparative anatomy of the menisofemoral ligament in humans and some domestic mammals. *Anat Histol Embryol.* 2007 Feb;36(1):47-52.

41. Terry GC, LaPrade RF. The posterolateral aspect of the knee. Anatomy and surgical approach. *Am J Sports Med.* 1996 Nov-Dec; 24(6): 732-9.
42. Staubli HU, Birrer S. The popliteus tendon and its fascicles at the popliteal hiatus: gross anatomy and functional arthroscopic evaluation with and without anterior cruciate ligament deficiency. *Arthroscopy.* 1990;6(3):209-20.
43. Simonian PT, Sussmann PS, van Trommel M, Wickiewicz TL, Warren RF. Popliteomeniscal fasciculi and lateral meniscal stability. *Am J Sports Med.* 1997;25(6):849-53.
44. Simonian PT, Sussmann PS, Wickiewicz TL, et al. Popliteomeniscal fasciculi and the unstable lateral meniscus: clinical correlation and magnetic resonance diagnosis. *Arthroscopy.* 1997;13(5):590-6.
45. Baker BE, Peckham AC, Puppato F, Sanborn JC. Review of meniscal injury and associated sports. *Am J Sports Med* 1985; 13: 1-4.
46. Englund M, Guermazi A, Gale D, et al. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons. *N Engl J Med* 2008; 359: 1108-1115.
47. Lee SJ, Aadalen KJ, Malaviya P, et al. Tibiofemoral contact mechanics after serial medial meniscectomies in the human cadaveric knee. *Am J Sports Med* 2006; 34: 1334-1344.
48. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1756-1769.
49. Roos H, Laurén M, Adalberth T, et al. Knee osteoarthritis after meniscectomy: prevalence of radiographic changes after twenty-one years, compared with matched controls. *Arthritis Rheum* 1998; 41: 687-93.
50. Matava MJ. Meniscal allograft transplantation: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 455: 142-157.

51. Elattar M, Dhollander A, Verdonk R, Almqvist KF, Verdonk P. Twenty-six years of meniscal allograft transplantation: is it still experimental? A meta-analysis of 44 trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19: 147-157.
52. Cameron JC, Saha S. Meniscal allograft transplantation for unicompartmental arthritis of the knee. *Clin Orthop*. 1997; 337:164–171.
53. Stone KR, Walgenbach AW, Turek TJ, et al. Meniscus allograft survival in patients with moderate to severe unicompartmental arthritis: a 2- to 7-year follow-up. *Arthroscopy*. 2006; 22:469–478.
54. Harris JD, Cavo M, Brophy R, Siston R, Flanigan D. Biological knee reconstruction: a systematic review of combined meniscal allograft transplantation and cartilage repair or restoration. *Arthroscopy* 2011; 27: 409-418.
55. Verdonk R, Volpi P, Verdonk P, Van der Bracht H, Van Laer M, et al. Indications and limits of meniscal allografts. *Injury* 2013; 44 Suppl 1: S21-S27.
56. Rijk PC. Meniscal allograft transplantation--part I: background, results, graft selection and preservation, and surgical considerations. *Arthroscopy* 2004; 20: 728-743.
57. Hergan D, Thut D, Sherman O, Day MS. Meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2011; 27: 101-112.
58. Alentorn-Geli E, Seijas Vázquez R, García Balletbó M, Alvarez Díaz P, Steinbacher G, et al. Arthroscopic meniscal allograft transplantation without bone plugs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011. Feb;19(2):174-82.
59. Cole BJ, Dennis MG, Lee SJ, Nho SJ, Kalsi RS, et al. Prospective evaluation of allograft meniscus transplantation: a minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 2006; 34: 919-927.
60. González-Lucena G, Gelber PE, Pelfort X, Tey M, Monllau JC. Meniscal allograft transplantation without bone blocks: a 5- to 8-year follow-up of 33

patients. *Arthroscopy* 2010; 26: 1633-1640.

61. Hommen JP, Applegate GR, Del Pizzo W. Meniscus allograft transplantation: ten-year results of cryopreserved allografts. *Arthroscopy* 2007; 23: 388-393.

62. Stollsteimer GT, Shelton WR, Dukes A, Bomboy AL. Meniscal allograft transplantation: a 1- to 5-year follow-up of 22 patients. *Arthroscopy* 2000; 16: 343-347.

63. Wirth CJ, Peters G, Milachowski KA, Weismeier KG, Kohn D. Long-term results of meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2002; 30: 174-181.

64. Rueff D, Nyland J, Kocabey Y, Chang HC, Caborn DN. Self-reported patient outcomes at a minimum of 5 years after allograft anterior cruciate ligament reconstruction with or without medial meniscus transplantation: an age-, sex-, and activity level-matched comparison in patients aged approximately 50 years. *Arthroscopy* 2006; 22: 1053-1062.

65. Ryu RK, Dunbar V WH, Morse GG. Meniscal allograft replacement: a 1-year to 6-year experience. *Arthroscopy* 2002; 18: 989-994.

66. Sekiya JK, Giffin JR, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Clinical outcomes after combined meniscal allograft transplantation and anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2003; 31: 896-906.

67. Sekiya JK, West RV, Groff YJ, Irrgang JJ, Fu FH, et al. Clinical outcomes following isolated lateral meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2006; 22: 771-780.

68. Alentorn-Geli E, Vázquez RS, Díaz PA, Cuscó X, Cugat R. Arthroscopic meniscal transplants in soccer players: outcomes at 2- to 5- year follow-up. *Clin J Sport Med* 2010; 20: 340-343.

69. Chalmers PN, Karas V, Sherman SL, Cole BJ. Return to high-level sport after

meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2013; 29: 539-544.

70. Marcacci M, Marcheggiani Muccioli GM, Grassi A, Ricci M, Tsapralis K, et al. Arthroscopic meniscus allograft transplantation in male professional soccer players: a 36-month follow-up study. *Am J Sports Med* 2014; 42: 382-388.

71. Van Arkel ER, de Boer HH. Survival analysis of human meniscal transplantations. *J Bone Joint Surg Br* 2002; 84: 227-231.

72. Goble EM, Kohn D, Verdonk R, Kane SM. Meniscal substitutes -- human experience. *Scand J Med Sci Sports* 1999; 9: 146-157.

73. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, et al. Transplantation of viable meniscal allograft. Survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases. *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 715-724.

74. Verdonk R, Almqvist KF, Huysse W, Verdonk PC. Meniscal allografts: indications and outcomes. *Sports Med Arthrosc* 2007; 15: 121-125.

75. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, et al. Transplantation of viable meniscal allograft. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88 Suppl 1 Pt 1: 109-118.

76. Noyes FR, Barber-Westin SD, Rankin M. Meniscal transplantation in symptomatic patients less than fifty years old. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86-86A: 1392-1404.

77. Lee SR, Kim JG, Nam SW (2012) The tips and pitfalls of meniscus allograft transplantation. *Knee Surg Relat Res* 24: 137-145.

78. Rodeo SA, Seneviratne A, Suzuki K, et al. Histological analysis of human meniscal allografts. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 2000; 82-82A: 1071-1082.

79. Graf KW Jr, Sekiya JK, Wojtys EM, et al. Long- term results after combined

medial meniscal allograft transplantation and anterior cruciate ligament reconstruction: minimum 8.5-year follow-up study. *Arthroscopy* 2004; 20: 129-140.

80. Lee BS, Chung JW, Kim JM, et al. Morphologic changes in fresh-frozen meniscus allografts over 1 year: a prospective magnetic resonance imaging study on the width and thickness of transplants. *Am J Sports Med* 2012; 40: 1384-1391.

81. Carter T, Economopoulos KJ. Meniscal allograft shrinkage-MRI evaluation. *J Knee Surg* 2013; 26: 167-171.

82. Koh YG, Moon HK, Kim YC, et al. Comparison of medial and lateral meniscal transplantation with regard to extrusion of the allograft, and its correlation with clinical outcome. *J Bone Joint Surg Br* 2002; 94: 190-193.

83. Lee BS, Chung JW, Kim JM, Kim KA, Bin SI. Width is a more important predictor in graft extrusion than length using plain radiographic sizing in lateral meniscal transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 179-186.

84. Jang SH, Kim JG, Ha JG, Shim JC. Reducing the size of the meniscal allograft decreases the percentage of extrusion after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2011; 27: 914-922.

85. Ha JK, Shim JC, Kim DW, et al. Relationship between meniscal extrusion and various clinical findings after meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2010; 38(12): 2448-2455.

86. Gale DR, Chaisson CE, Totterman SM, Schwartz RK, Gale ME, Felson D. Meniscal subluxation: association with osteoarthritis and joint space narrowing. *Osteoarthritis cartilage*. 1999 Nov;7(6):526-32.

87. Adams JG, McAlindon T, Dimasi M, Carey J, Eustace S. Contribution of meniscal extrusion and cartilage loss to joint space narrowing in osteoarthritis. *Clin Radiol*. 1999 Aug;54(8):502-6.

88. Costa CR, Morrison WB, Carrino JA. Medial meniscus extrusion on knee MRI: is extent associated with severity of degeneration or type of tear? *Ajr Am J roentgenol.* 2004 Jul;183(1):17-23.
89. Packer JD, Rodeo SA. Meniscal allograft transplantation. *Clin Sports Med* 2009; 28: 259-283.
90. Jackson DW, Whelan J, Simon TM. Cell survival after transplantation of fresh meniscal allografts. DNA probe analysis in a goat model. *Am J Sports Med* 1993; 21: 540-550.
91. Gelber PE, Gonzalez G, Torres R, et al. Cryopreservation does not alter the ultrastructure of the meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 639-644.
92. Villalba R, Peña J, Navarro P, et al. Cryopreservation increases apoptosis in human menisci. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 298-303.
93. Gelber PE, Gonzalez G, Lloreta JL, et al. Freezing causes changes in the meniscus collagen net: a new ultrastructural meniscus disarray scale. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16: 353-359.
94. Jackson DW, Windler GE, Simon TM. Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried, ethylene oxide-sterilized bone- patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 1990; 18: 1-10.
95. Yahia L, Zukor D. Irradiated meniscal allotransplants of rabbits: study of the mechanical properties at six months postoperation. *Acta Orthop Belg* 1994; 60: 210-215.
96. Monllau JC, Alentorn-Geli, Pelfort X, Torres R, Leal-Balnquet J, Hinarejos  
Meniscal Allograft Transplantation. Where are we standing? *J Transplant Technol Res.* 2014; 4:1

97. Monllau JC, Gonzalez-Lucena G, Gelber P, Pelfort X. Allograft Meniscus Transplantation: A current review. *Techniques in Knee Surgery*. 2010; 9(2):107-113
98. Pollard ME, Kang Q, Berg EE. Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy* 1995; 11: 684-687.
99. Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J, Yao L. Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation. *Am J Sports Med* 2000; 28: 524-533.
100. Prodromos CC, Joyce BT, Keller BL, Murphy BJ, Shi K. Magnetic resonance imaging measurement of the contralateral normal meniscus is a more accurate method of determining meniscal allograft size than radiographic measurement of the recipient tibial plateau. *Arthroscopy* 2007; 23: 1174-1179.e1.
101. Dienst M, Greis PE, Ellis BJ, Bachus KN, Burks RT. Effect of lateral meniscal allograft sizing on contact mechanics of the lateral tibial plateau: an experimental study in human cadaveric knee joints. *Am J Sports Med* 2007; 35: 34-42.
102. Garret J, Stevenson R. Meniscal transplantation in the human knee: a preliminary report. *Arthroscopy*. 1991;7:57-62.
103. Sekaran SV, Hull ML, Howell SM. Nonanatomic location of the posterior horn of a medial meniscal autograft implanted in a cadaveric knee adversely affects the pressure distribution on the tibial plateau. *Am J Sports Med* 2002; 30: 74-82.
104. Shelton WR, Dukes AD. Meniscus replacement with bone anchors: a surgical technique. *Arthroscopy* 1994; 10: 324-327.
105. Paletta GA Jr, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J. The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. A biomechanical study. *Am J Sports Med* 1997; 25: 692-698.
106. Chen MI, Branch TP, Hutton WC. Is it important to secure the horns during

lateral meniscal transplantation? A cadaveric study. *Arthroscopy* 1996; 12: 174-181.

107. Hunt S, Kaplan K, Ishak C, Kummer FJ, Meislin R. Bone plug versus suture fixation of the posterior horn in medial meniscalallograft transplantation: a biomechanical study. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2008; 66: 22-26.

108. Abat F, Gelber PE, Erquicia JJ, et al. Prospective comparative study between two different fixation techniques in meniscal allograft transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 1516-1522.

109. Szomor ZL, Martin TE, Bonar F, Murrell GA (2000) The protective effects of meniscal transplantation on cartilage. An experimental study in sheep. *J Bone Joint Surg Am* 82: 80-88.

110. Rue JP, Yanke AB, Busam ML, McNickle AG, Cole BJ. Prospective evaluation of concurrent meniscus transplantation and articular cartilage repair: minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 2008; 36: 1770-1778.

111. Gersoff W. Combined meniscal allograft transplantation and autologous chondrocyte implantation. *Oper Tech Sports Med* 2002; 10:165-167.

112. Gomoll AH, Kang RW, Chen AL, Cole BJ. Triad of cartilage restoration for unicompartmental arthritis treatment in young patients: meniscus allograft transplantation, cartilage repair and osteotomy. *J Knee Surg* 2009; 22: 137-141.

113. Farr J, Rawal A, Marberry KM. Concomitant meniscal allograft transplantation and autologous chondrocyte implantation: minimum 2- year follow-up. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1459-1466.

114. Bhosale AM, Myint P, Roberts S, Menage J, Harrison P, et al. Combined autologous chondrocyte implantation and allogenic meniscus transplantation: a biological knee replacement. *Knee* 2007; 14: 361-368.

115. Yoldas EA, Sekiya JK, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Arthroscopically assisted

meniscal allograft transplantation with and without combined anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2003; 11:173-182.

116. Garrett JC. Meniscal transplantation: a review of 43 cases with 2- to 7-year follow-up. *Sports Med Arthroscopy Rev* 1993; 1: 164-167.

117. Van Arkel ER, de Boer HH. Human meniscal transplantation. Preliminary results at 2 to 5-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 1995; 77: 589-595.

118. Aagaard H, Jørgensen U, Bojsen-Møller F. Reduced degenerative articular cartilage changes after meniscal allograft transplantation in sheep. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999; 7: 184-191.

119. Cummins JF, Mansour JN, Howe Z, Allan DG. Meniscal transplantation and degenerative articular change: an experimental study in the rabbit. *Arthroscopy* 1997; 13: 485-491.

120. Kelly BT, Potter HG, Deng XH, et al. Meniscal allograft transplantation in the sheep knee: evaluation of chondroprotective effects. *Am J Sports Med* 2006; 34: 1464-1477.

121. Rath E, Richmond JC, Yassir W, Albright JD, Gundogan F. Meniscal allograft transplantation. Two- to eight-year results. *Am J Sports Med* 2001; 29: 410-414.

122. Von Lewinski G, Milachowski KA, Weismeier K, Kohn D, Wirth CJ. Twenty-year results of combined meniscal allograft transplantation, anterior cruciate ligament reconstruction and advancement of the medial collateral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007; 15: 1072-1082.

123. Jackson DW, McDevitt CA, Simon TM, et al. Meniscal transplantation using fresh and cryopreserved allograft: an experimental study in goats. *Am J Sports Med*. 1992;20:644-656.

124. Fritz JM, Irrgang JJ, Harner CD. Rehabilitation following allograft meniscal transplantation: a review of the literature and case study. *J Orthop Sports Phys*

*Ther.* 1996;24:98–106.

125. Ahlbäck S, Rydberg J. X-ray classification and examination techniques in gonarthrosis. *Lakartidningen* 1980;77:2091-2093.

126. Lee AS, Kang RW, Kroin E, Verma NN, Cole BJ. Allograft meniscus transplantation. *Sports Med Arthrosc* 2012;20:106-114.

127. Puig L, Monllau JC, Corrales M, Pelfort X, Melendo E, Caceres E. Factors affecting meniscal extrusion: correlation with MRI, clinical, and arthroscopic findings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:394-398.

128. Sharma L, Eckstein F, Song J, et al. Relationship of meniscal damage, meniscal extrusion, malalignment, and joint laxity to subsequent cartilage loss in osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum* 2008;58:1716-1726

129. Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Gelber PE, Shehata TM, Pelfort X, Monllau JC, (2016) Autograft soaking in vancomycin reduces the risk of infection after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 24(9):2724-2728.

130. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33:159-174.

131. Plank J, Rychlo A. A method for quick decalcification. *Zentralbl Allg Pathol.* 1952;89:252–4

132. Jeon B, Kim JM, Kim JM, Lee CR, Kim KA, Bin SI. An osteophyte in the tibial plateau is a risk factor for allograft extrusion after meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2015;43:1215-1221.

133. Lee BS, Bin SI, Kim JM, Kim JH, Lim EJ. Meniscal allograft subluxations are not associated with preoperative native meniscal subluxations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:200-206.

134. Jung Y, Choi N, Victoroff BN. Arthroscopic stabilization of the lateral capsule of the knee in meniscal transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:189-191
135. Lee D.H., Kim J.M., Lee B.S., Kim K.A., Bin S.I. Greater axial trough obliquity increases the risk of graft extrusion in lateral meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2012, 40:1597–1605
136. Lee DW, Lee JH, Kim DH, Kim JG. Delayed rehabilitation after lateral meniscal allograft transplantation can reduce graft extrusion compared with standard rehabilitation. *Am J Sports Med* 2018, 46(10):2432-2440.
137. Kim NK, Bin SI, Kim JM, Lee CR, Kim JH. Meniscal extrusion does not progress during the midterm follow-up period after lateral meniscal transplantation. *Am J Sports Med* 2017, 45:900-908.
138. Lee DH, Lee CR, Jeon JH, Kim KA, Bin SI. Graft extrusion in both the coronal and sagittal planes is greater after medial compared with lateral meniscus allograft transplantation but is unrelated to early clinical outcomes. *Am J Sports Med* 2015, 43:213-219.
139. LaPrade CM, Ellman MB, Rasmussen MT, et al. Anatomy of the anterior root attachments of the medial and lateral menisci: a quantitative analysis. *Am J Sports Med* 2014;42:2386-2392.
140. Haines RW. The tetrapod knee joint. *J Anat.* 1942 Apr;76(3):270-301
141. LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, et al. The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg A.* 2007 Sep;89(9):2000-10.
142. Peltier A, Lording T, Maubisson L, Ballis R, Neyret P, Lustig S. The role of the meniscotibial ligament in posteromedial rotational knee stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015 Oct;23(10):2967-73.

143. Wang YJ, Yu JK, Luo H, et al. An anatomical and histological study of human meniscal horn bony insertions and peri-meniscal attachments as a basis for meniscal transplantation. *Chin Med J (Engl)*. 2009 Mar 5;122(5):536-40.
144. Aman ZS, DePhillipo NN, Storaci HW, et al. Quantitative and Qualitative Assessment of Posterolateral Meniscal Anatomy: Defining the Popliteal Hiatus, Popliteomeniscal Fascicles, and the Lateral Meniscotibial Ligament. *Am J Sports Med*. 2019 Jul;47(8):1797-1803.
145. Bolog N, Hodler J. MR imaging of the posterolateral corner of the knee. *Skeletal Radiol*. 2007;36(8):715-28.
146. Ishigooka H, Sugihara T, Shimizu K, Aoki H, Hirata K. Anatomical study of the popliteofibular ligament and surrounding structures. *J Orthop Sci*. 2004;9(1):51-8.
147. DePhillipo NN, Moatshe G, Brady A, et al. Effect of Meniscocapsular and Meniscotibial Lesions in ACL-Deficient and ACL-Reconstructed Knees: A Biomechanical Study. *Am J Sports Med*. 2018 Aug;46(10):2422-31
148. Diamantopoulos A, Tokis A, Tzurbakis M, Patsopoulos I, Georgoulis A. The posterolateral corner of the knee: evaluation under microsurgical dissection. *Arthroscopy*. 2005;21(7):826-33.
149. Frank JM, Moatshe G, Brady AW, et al. Lateral meniscus posterior root and meniscofemoral ligaments as stabilizing structures in the ACL-deficient knee: a biomechanical study. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(6):2325967117695756.
150. Geeslin AG, Civitaresse D, Turnbull TL, Dornan GJ, Fuso FA, LaPrade RF. Influence of lateral meniscal posterior root avulsions and the meniscofemoral ligaments on tibiofemoral contact mechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1469-77.
151. Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF. Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *Am J Sports Med*. 1991;19(3):210-6.

152. Poynton A, Moran CJ, Moran R, O'Brien M. The meniscofemoral ligaments influence lateral meniscal motion at the human knee joint. *Arthroscopy*. 2011;27(3):365-71.e2.

153. Musahl V, Citak M, O'Loughlin PF, Choi D, Bedi A, Pearle AD. The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*. 2010;38(8):1591-7.

## 10. APÉNDICES

### Lateral Capsular Fixation: An Implant-Free Technique to Prevent Meniscal Allograft Extrusion



Joan C. Monllau, M.D., Ph.D., Maximiliano Ibañez, M.D., Angel Masferrer-Pino, M.D., Pablo E. Gelber, M.D., Ph.D., Juan I. Erquicia, M.D., and Xavier Pelfort, M.D., Ph.D.

**Abstract:** Although several surgical techniques have been described to perform meniscal allograft transplantation with good clinical results and although different methods of capsular stabilization can be found in the literature, there is no standard surgical technique to prevent a common complication in the most of series: the tendency to a radial displacement or extrusion of the transplanted meniscus. We present a simple, reproducible, and implant-free technique to perform a lateral capsular fixation (capsulodesis) at the time of only the soft-tissue fixation technique of meniscal allograft transplantation in an effort to reduce or prevent the risk of graft extrusion. Using a minimum of two 2.4-mm tunnels drilled from the contralateral side of the tibia with the help of a regular tibial anterior cruciate ligament guide, a capsular attachment to the lateral tibial plateau is obtained.

In an attempt to replace the lost meniscal tissue as well as to prevent progressive deterioration of the joint, meniscal allograft transplantation (MAT) was introduced into clinical practice.<sup>1</sup> Since then, several surgical techniques have been described for MAT with good short-, mid-, and even long-term clinical results in cases of painful meniscectomized compartments of the knee.<sup>2</sup>

However, most of the series found a tendency to a radial displacement or extrusion of the transplanted meniscus.<sup>3</sup> In the same way, meniscal transplants have been shown to extrude more than normal meniscus.<sup>4</sup>

Extrusion is seen shortly after transplantation and tends to stabilize over time.<sup>5</sup> From a biomechanical standpoint, an extruded meniscus results in decreased resistance to hoop strain. However, it has not been shown to have any clinical relevance. Although the final significance of extrusion is unknown, the anomalous position of those grafts causes concern among surgeons. In recent years, several technical steps have been implemented to limit or prevent allograft extrusion.

The aim of this study was to present a simple, reproducible, and implant-free technique to perform a lateral capsular fixation (capsulodesis) at the time of lateral MAT in an effort to reduce or prevent graft extrusion.

#### Surgical Technique

The arthroscopic lateral capsulodesis is performed in cases where a redundant capsule is observed or where extrusion of the midbody of the lateral meniscus has been identified with magnetic resonance imaging before MAT.

Fresh-frozen ( $-80^{\circ}\text{C}$ ), nonirradiated, bone-free, non-antigen-matched meniscal allografts were used in this series. Local authorized tissue banks supplied the allografts. Allograft sizing was performed in accordance with the method described by Pollard et al.<sup>6</sup>

The surgical technique is completely arthroscopic and includes only soft-tissue fixation. Routine anterolateral and anteromedial portals are performed (Video 1). Two 5-mm bone tunnels are drilled at the anatomic sites of

From the Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar (J.C.M.); ICATME, Hospital Universitari Dexeus (J.C.M., M.I., A.M-P., P.E.G., J.I.E., X.P.); Department of Orthopaedic Surgery, Hospital de la Sta Creu i Sant Pau (P.E.G.), Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Barcelona; and Department of Orthopaedic Surgery, Consorci Sanitari de l'Anoia (X.P.), Igualada, Spain.

The authors report the following potential conflicts of interest or sources of funding: J.C.M. receives support from ConMed Linvatec, Smith & Nephew, Surgival, BioIberica, Spanish Arthroscopy Association, and Spanish Ministry of Health, Social Service and Equality. He is also a board member of ESSKA. P.E.G. receives support from Spanish Arthroscopic Association, ConMed, and Hospital de Sant Pau, Barcelona, Spain.

Received July 27, 2016; accepted September 20, 2016.

Address correspondence to Joan C. Monllau, M.D., Ph.D., Department of Orthopedic Surgery and Traumatology, Hospital del Mar, Universitat Autònoma de Barcelona, Passeig Marítim 25, 08003 Barcelona, Spain. E-mail: jmonllau@parcdesalutmar.cat

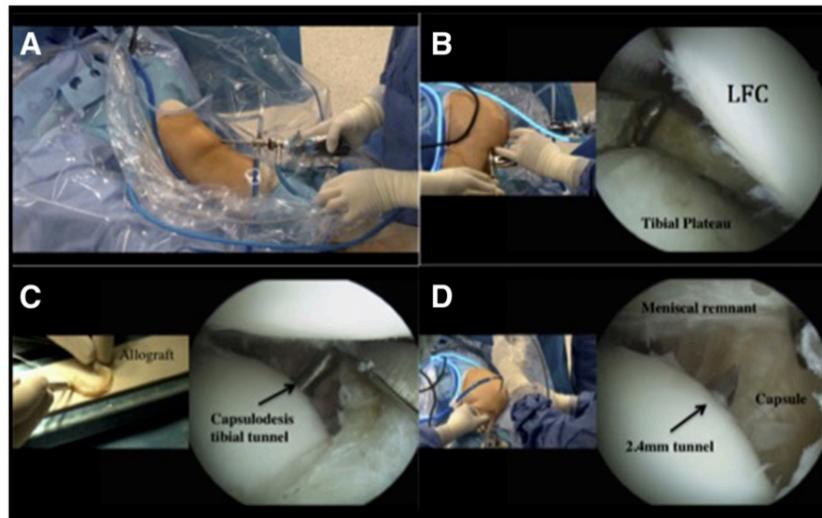
© 2016 by the Arthroscopy Association of North America

2212-6287/16727/\$36.00

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeats.2016.09.032>

e270

J. C. MONLLAU ET AL.



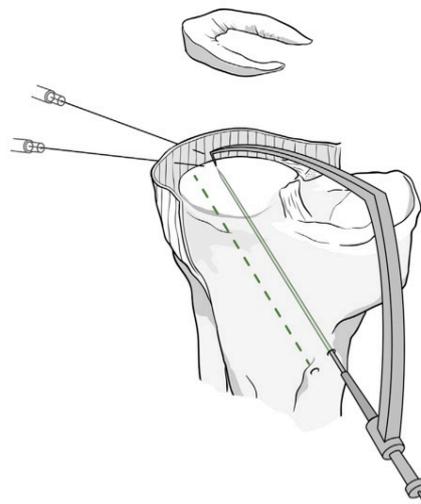
**Fig 1.** Left knee image showing (A) patient positioning on the operating table. Arthroscopic image viewed through the anterolateral portal (B) drilling the posterior horn in the tibial plateau. (LFC, lateral femoral condyle.) Arthroscopic image through the anteromedial portal (C and D) showing the 2.4-mm tibial tunnel drilled from the anteromedial aspect of the tibia with the help of an anterior cruciate ligament tibial guide.

the lateral meniscal attachments, one at the anterior horn and the other at the posterior horn. In every case, No. 2 high-strength sutures (Hi-Fi, ConMed, Largo, FL) with a Krackow mattress are placed at both horns. One additional vertical mattress suture is placed at the junction between the posterior horn and the body of the meniscus. This suture will later help in introducing the graft into the joint.

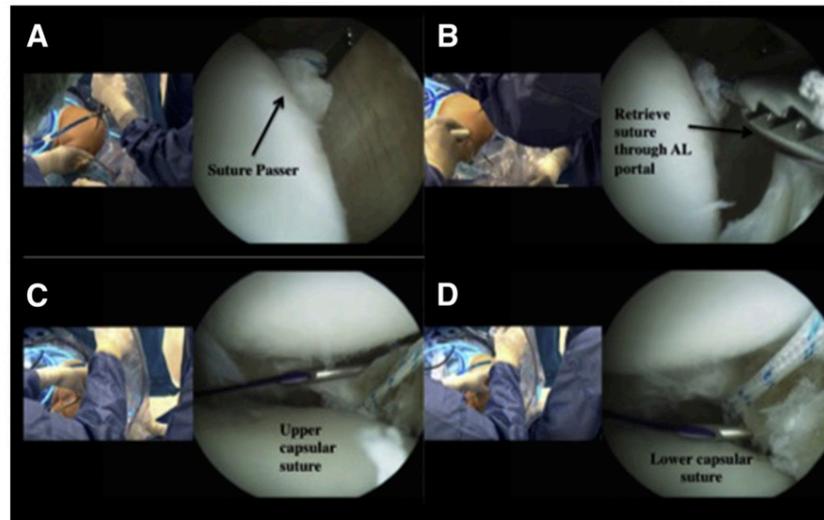
#### Lateral Capsulodesis

A motorized arthroscopy shaver is used to remove any marginal osteophyte on the lateral edge of the tibial plateau. The place where the lateral capsule is most displaced from the edge of the lateral tibial plateau is identified. In this area, a minimum of two 2.4-mm tibial tunnels are performed (Fig 1). The tunnels are drilled from the anteromedial aspect of the tibia with the help of an anterior cruciate ligament tibial guide (Pinn-ACL Guide, ConMed) with a distance of 1 cm between each one (Fig 2). Care should be taken to avoid tunnel collision. Using a suture passer, each tunnel is identified by a different colored thread, leaving a small loop inside the joint to retrieve the capsulodesis suture strand (Fig 3). Then, two 19-gauge spinal needles loaded with a No. 1 PDS (polydioxanone) suture are used to pierce the peripheral rim of the meniscus remnant or the capsule with an outside-in technique. This shuttle suture is substituted by a high-strength suture and retrieved through each tibial tunnel (Fig 4). The 2 limbs

are then tied to each other on the anteromedial tibial cortex, bringing together the capsule to the tibial plateau (Fig 5). This step must always be performed



**Fig 2.** Right knee, anteromedial view. Lateral capsulodesis tunnel placement using the anterior cruciate ligament tibial guide through the anteromedial portal.



**Fig 3.** Left knee, arthroscopic image through the anteromedial portal. Using a suture passer, (A) identify the tunnel leaving a small loop inside the joint (B) to retrieve the capsulodesis suture strand. Then use two 19-gauge spinal needles (C and D) loaded with No. 1 polydioxanone suture to pierce the peripheral rim of the meniscus remnant or the capsule with an outside-in technique. (AL, anterolateral.)

before the meniscal graft introduction and fixation. A step-by-step summary of this technique is provided in Table 1.

**Graft Placement**

Once the capsulodesis has been secured and the anterolateral portal enlarged, the posterior-horn suture is used to pull the meniscal allograft in place. The vertical stitch placed between the posterior horn and the body of the meniscus helps to accommodate the graft in the proper position by pulling the sutures from the posterolateral corner. The allograft is then fixed to the rim by combining all-inside meniscal repair

implants (FasT-Fix, Smith & Nephew, Andover, MA) in the posterior horn and the meniscal body and an outside-in technique in the anterior horn. Finally, the sutures placed in the anterior and posterior horns are tied together over the tibial cortex. Pearls and pitfalls to performing this surgical procedure are listed in Table 2.

**Rehabilitation Protocol**

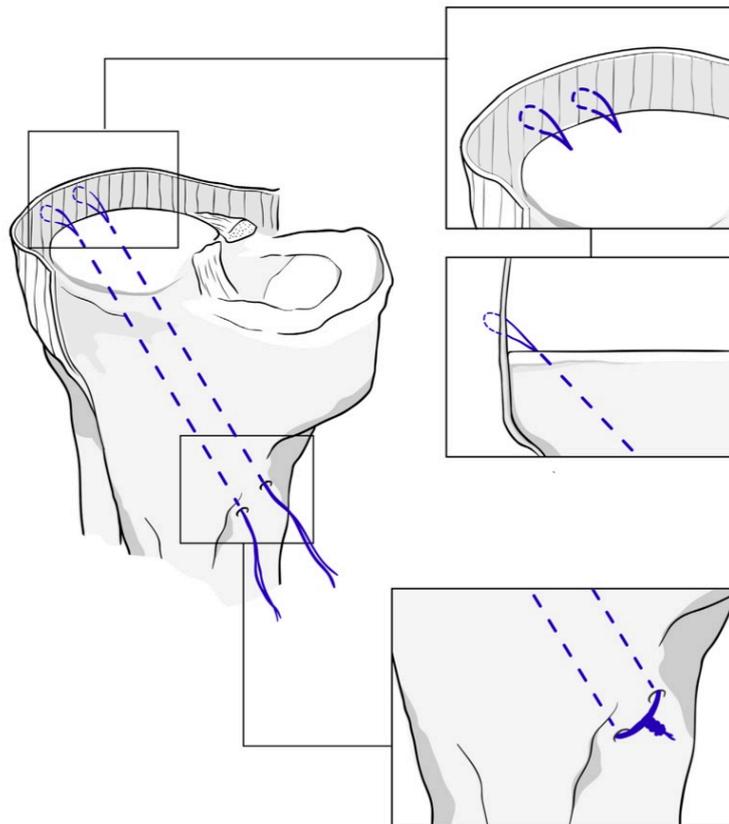
Partial weight bearing with a knee immobilizer is allowed at 3 weeks and progressed to full weight bearing at approximately 6 weeks. Progressive range of motion without exceeding 90° of flexion until the



**Fig 4.** Shuttle suture replaced by a high-strength strand and retrieved through the tibial tunnel. Tie the 2 suture ends together on the anteromedial tibial cortex to secure the capsulodesis.

e272

J. C. MONLLAU ET AL.



**Fig 5.** Capsular fixation suture passed through each trans-tibial tunnel and tied to each other on the anteromedial cortex fixing the capsule to the tibial plateau.

fourth week is followed by unrestricted progression per tolerance. Patients may return to a normal workload by the fourth month after surgery.

### Discussion

Because MAT is carried out with the hope of preventing the progression of osteoarthritis, the presence of graft extrusion is a matter of concern for the surgeon. To avoid meniscal extrusion, a simple, implant-free capsulodesis technique is presented in this Technical Note.

Several factors have been related to an extruded meniscal allograft. They are the fixation method, the type of allograft (medial or lateral), the investigated meniscal area, and the graft size.

MAT fixation is crucial to preventing short- and mid-term complications due to altered knee kinematics. Although peripheral fixation is achieved with sutures in

any of the available techniques, the fixation of meniscal horns may be achieved through either sutures or a bone plug or a bone bridge. In general, bone plugs are preferred for the medial meniscus when using bone-to-bone fixation and a bone bridge for the lateral meniscus. Some in vitro studies have shown that fixation with bone plugs is better compared with graft fixation without bone plugs in terms of the restoration of the normal contact mechanics of the knee.<sup>7,8</sup> Nonetheless, other biomechanical in vitro studies have shown no differences in the mean pull-out strength of the medial meniscus allograft between the 2 fixation methods.<sup>9</sup> Moreover, MAT without bone plugs has shown good and excellent results in terms of pain relief and clinical and functional outcomes.<sup>10-12</sup> Clinical studies comparing both fixation methods have shown no differences in clinical, functional, or radiographic outcomes.<sup>13</sup> However, because

**Table 1.** Step-by-Step Arthroscopic Lateral Capsular Fixation to Prevent Meniscal Allograft Extrusion

Step	Description
1	The patient is placed in the supine position on the operating table. A well-padded high-thigh tourniquet is subsequently placed on the operative leg.
2	Standard anterolateral and anteromedial portals are created and the joint is visualized with a 30° arthroscope.
3	Perform joint evaluation to confirm the diagnosis and the absence of significant chondral lesions.
4	An arthroscopic shaver is inserted into the knee, and the remnants of the meniscal tissue are debrided to a bleeding rim.
5	Drill two 5-mm bone tunnels at the anatomic sites of the lateral meniscal horns attachments.
6	Use a shaver to remove any marginal osteophyte on the lateral edge of the tibial plateau and identify the place where the lateral capsule is most displaced.
7	Perform a minimum of two 2.4-mm tibial tunnels from the anteromedial aspect of the tibia with the help of an anterior cruciate ligament tibial guide with a distance of 1 cm between them.
8	Identify each tunnel with a different colored thread, leaving a small loop inside the joint to retrieve the capsulodesis suture strand.
9	Use two 19-gauge spinal needles loaded with a No. 1 polydioxanone suture to pierce the peripheral rim of the meniscus remnant or the capsule with an outside-in technique.
10	Replace this shuttle suture by a high-strength strand and retrieve it through each tibial tunnel.
11	Tie the 2 suture ends to each other on the anteromedial tibial cortex, and secure the capsulodesis.

suture-only fixation has shown a higher degree of meniscal extrusion,<sup>14</sup> this capsulodesis technique was developed to prevent or decrease this lateral displacement.

Several technical recommendations have been made to limit or prevent allograft extrusion. Jang et al.<sup>15</sup> reported that reducing the graft size by 5% decreases the percentage of extrusion without any adverse outcome either clinically or radiographically. Other studies showed that in the bone bridge technique, the risk of graft extrusion increases as the angle of the trough on the axial plane increases.<sup>16</sup> Jeon et al.<sup>17</sup> suggested that the excision of a peripheral osteophyte larger than 2 mm in the proximal tibial plateau was associated with less MAT extrusion. Some surgeons fix the meniscus body to the tibial plateau in an attempt to control graft extrusion. However, this maneuver may present the risk of limiting the normal mobility of the meniscus during knee motion.

A recent investigation showed that peripheral fixation in an adequate remnant meniscal rim is not only important to promoting healing of the graft but also crucial to prevent peripheral extrusion.<sup>18</sup> In that sense, we are currently exploring the role that a capsule fixation to the tibial plateau might play. A list of

**Table 2.** Pearls, Pitfalls, and Risks

<p>Pearls:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The arthroscopic lateral capsulodesis is performed in cases where a redundant capsule is observed or where extrusion of the midbody of the lateral meniscus has been identified with magnetic resonance imaging before meniscal allograft transplantation (MAT).</li> <li>• Remove any marginal osteophyte on the lateral edge of the tibial plateau.</li> <li>• Perform a minimum of two 2.4-mm tibial tunnels from the anteromedial aspect of the tibia with the help of an anterior cruciate ligament tibial guide with a distance of 1 cm in between.</li> <li>• Identify each tunnel to avoid tunnel collision.</li> <li>• Using a suture passer, leave a small suture loop inside the joint to retrieve the capsulodesis suture strand.</li> <li>• Use No. 1 polydioxanone as a shuttle suture, replace it by a high-strength strand, and retrieve it through each tibial tunnel.</li> <li>• Tie the 2 suture ends on the anteromedial tibial cortex always before the meniscal graft introduction and fixation.</li> </ul> <p>Pitfalls and risks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Failure to address concomitant conditions such as chondral lesions or instability will lead to poor results.</li> <li>• An error in the sequence of tying the sutures, after graft introduction and fixation, can lead to poor results and MAT extrusion.</li> <li>• To avoid tunnel collision, make sure to identify each tunnel and place the guide with a minimum of 1 cm of distance between them.</li> <li>• Stiffness can occur if the patient is not able to follow the established rehabilitation protocol. Partial weight bearing with a knee immobilizer is allowed at 3 wk and progressed to full weight bearing at approximately 6 wk. Progressive range of motion without exceeding 90° of flexion until the fourth week is followed by unrestricted progression per tolerance.</li> </ul>
---

advantages and limitations of our procedure can be found in Table 3.

Although different methods of capsular stabilization have been described, the present technique based on an implant-free lateral capsulodesis seems to be a valid, reliable, and easy method to prevent or decrease lateral MAT extrusion. It allows for versatility in terms of number of fixation points and locations, without a significant bone loss in the tibial plateau because the diameters of the drill holes are only 2.4 mm. It does not interfere with subsequent magnetic resonance imaging (Fig 6) and adds no additional costs.

**Table 3.** Advantages and Limitations

<p>Advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple, reproducible, and implant-free technique</li> <li>• Reduces and prevents the risk of graft extrusion</li> <li>• Allows for versatility in terms of number of fixation points and locations</li> <li>• No significant bone loss in the tibial plateau because the diameters of the drill holes are only 2.4 mm</li> <li>• It does not interfere with subsequent magnetic resonance imaging and adds no additional costs</li> </ul> <p>Limitations:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risk of tunnel collision</li> <li>• Requirement for an outside-in technique with small incisions to perform the capsular suture</li> </ul>
---



**Fig 6.** Coronal view of magnetic resonance imaging at 6 months postoperatively. We see the midbody position of the lateral meniscus allograft and the lateral capsulodesis tibial tunnel placement (arrows) with no extrusion of the graft.

**References**

1. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ. Homologous meniscus transplantation: Experimental and clinical results. *Int Orthop* 1989;13:1-11.
2. Rosso F, Bisicchia S, Bonasia DE, Amendola A. Meniscal allograft transplantation: A systematic review. *Am J Sports Med* 2015;43:998-1007.
3. Samitier G, Alentorn-Geli E, Taylor DC, et al. Meniscal allograft transplantation. Part I: Systematic review of graft biology, graft shrinkage, graft extrusion, graft sizing, and graft fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:310-322.
4. Verdonk P, Depaeppe Y, Desmyter S, et al. Normal and transplanted lateral knee menisci: Evaluation of extrusion using magnetic resonance imaging and ultrasound. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004;12:411-419.
5. Lee DH, Kim TH, Lee SH, Kim CW, Kim JM, Bin S. Evaluation of meniscus allograft transplantation with

- serial magnetic resonance imaging during the first post-operative year: Focus on graft extrusion. *Arthroscopy* 2008;24:1115-1121.
6. Pollard ME, Kang Q, Berg EE. Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy* 1995;11:684-687.
7. Paletta GA, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J. The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. *Am J Sports Med* 1997;25:692.
8. Alhalki MM, Howell SM, Hull ML. How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics. *Am J Sports Med* 1999;27:320-328.
9. Hunt S, Kaplan K, Ishak C, Kummer FJ, Meislin R. Bone plug versus suture fixation of the posterior horn in medial meniscal allograft transplantation: A biomechanical study. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2008;66:22-26.
10. Alentorn-Geli E, Seijas R, García M, et al. Arthroscopic meniscal allograft transplantation without bone plugs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:174-182.
11. González-Lucena G, Gelber PE, Pelfort X, Tey M, Monllau JC. Meniscal allograft transplantation without bone blocks: A 5- to 8-year follow-up of 33 patients. *Arthroscopy* 2010;26:1633-1640.
12. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R. Transplantation of viable meniscal allograft. Survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:715-724.
13. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Tey M, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC. Prospective comparative study between two different fixation techniques in meniscal allograft transplantation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:1516-1522.
14. Abat F, Gelber PE, Erquicia JI, Pelfort X, Gonzalez-Lucena G, Monllau JC. Suture-only fixation technique leads to a higher degree of extrusion than bony fixation in meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2012;40:1591-1596.
15. Jang SH, Kim JG, Ha JG, Shim JC. Reducing the size of the meniscal allograft decreases the percentage of extrusion after meniscal allograft transplantation. *Arthroscopy* 2011;27:914-922.
16. Lee DH, Kim JM, Lee BS, Kim KA, Bin SI. Greater axial trough obliquity increases the risk of graft extrusion in lateral meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2012;40:1597-1605.
17. Jeon B, Kim JM, Kim JM, Lee CR, Kim KA, Bin SI. An osteophyte in the tibial plateau is a risk factor for allograft extrusion after meniscus allograft transplantation. *Am J Sports Med* 2015;43:1215-1221.
18. Matava MJ. Meniscal allograft transplantation: A systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2007;455:142-157.

