

Universidad CEU – San Pablo
CEINDO – CEU Escuela Internacional de Doctorado



CEU

*Escuela Internacional
de Doctorado*

Tesis Doctoral

Estudio anatómico y radiográfico de los elementos estabilizadores posteriores de la rodilla

Presentada por:

Fernando Corbí Aguirre

Dirigida por:

Francisco Forriol Campos

Madrid

2022



Estimado director del Departamento de Ciencias Médicas Básicas

Por la presente te comunico que, como director de la Tesis Doctoral de D.Fernando Corbi Aguirre, titulada “Estudio anatómico y radiográfico de los elementos estabilizadores de la rodilla”, considero que el trabajo realizado ha sido satisfactorio y solicito que se proceda a tramitar su presentación, lectura y defensa dentro del Departamento de Ciencias Médicas Básicas, siguiendo las normas establecidas para el caso.

En Madrid, a XX de XX de 2020

Fdo.: Francisco Forriol Campos

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a la Universidad CEU San Pablo por la formación recibida y abrir las puertas a que pueda defender este proyecto de tesis doctoral y quiero agradecer a mi director de tesis, el Dr. Francisco Forriol al que he tenido a mi lado en todo momento y con el que hemos tenido que superar juntos estos años que tanto han complicado el trabajo.

Durante este tiempo he trabajado, simultáneamente, en el Hospital de Manises, en Valencia, por eso quiero recordar aquí a mis compañeros del servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica, que me han dado su apoyo en todo momento y especialmente al servicio de Diagnóstico por la Imagen que me han ayudado, soportado y enseñado a manejar el programa para realizar las mediciones sobre las resonancias magnéticas.

A Juan Muga, de la Sala de Disección de la Facultad de Medicina de la Universidad CEU – San Pablo por su ayuda en la preparación, conservación de las piezas anatómicas

Por último, los que siempre han estado a mi lado, mi esposa Macarena. Así como a mis padres y hermanos, en especial a mi hermana Belén que tan buena acogida me ha hecho en mis viajes a Madrid.

Resumen

Abstract

Introducción

El ligamento cruzado posterior (LCP)

Epidemiología de las lesiones del ligamento cruzado posterior

Mecanismo de lesión

Cirugía del LCP

Anatomía del ligamento cruzado posterior

El ligamento cruzado posterior y sus dos fascículos

Desarrollo del LCP durante el crecimiento

La arteria poplítea y el complejo posterior de la articulación de la rodilla

El complejo póstero – lateral

El cuerno posterior del menisco lateral y el LCP

Los ligamentos menisco- femorales

Biomecánica del LCP y del complejo menisco-capsular posterior

Hipótesis y objetivos

Material y Metodología

Material

Estudio anatómico

Estudio histológico

Estudio en Resonancia Magnética

Estudio estadístico

Resultados

Estudio anatómico

Los ligamentos menisco femorales

Histología de los ligamentos menisco-femorales

Estudio en la Resonancia Magnética

Discusión

La inserción, proximal y distal, del LCP

La inserción femoral del LCP

La inserción tibial del LCP

Los ligamentos menisco - femorales

Conclusiones

Bibliografía

Resumen

Introducción

El ligamento cruzado posterior (LCP) es intraarticular, aunque extrasinovial, ancho, y varía en cada individuo. Sigue un trayecto oblicuo hacia arriba, adelante y adentro, con una configuración curva para salvar el borde posterior de la extremidad proximal de la tibia. Es más plano y delgado que el ligamento cruzado anterior (LCA). La inserción tibial, al contrario que el LCA, se localiza en su cortical posterior y llega un centímetro distal a la interlínea articular y ligeramente lateral; es más pequeña que la femoral. Como el LCA, el LCP está formado por un conjunto de fibras que constituyen dos fascículos, el antero-lateral (AL) y el postero-medial (PM). El fascículo AL se tensa durante la flexión de la rodilla, mientras que el PM lo hace en extensión, pero los dos fascículos del LCP tienen una relación sinérgica durante la movilidad articular.

Por su parte, los ligamentos menisco-femorales (LMF) se originan en el cuerno posterior del menisco externo y se insertan en el cóndilo femoral interno por delante (ligamento de Humphrey) y por detrás (ligamento de Wrisberg) del LCP. Sus dimensiones y presencia son variables. Su función es prevenir la extrusión excesiva del menisco bajo solicitaciones axiales en el caso de roturas del cuerno posterior del menisco externo. El LCP es una estructura anatómica constante, siendo los ligamentos menisco – femorales, estructuras accesorias que estabilizan su anclaje.

En el presente trabajo analizaremos las dimensiones del LCP, LCA, presencia de los ligamentos menisco - femorales en rodillas humanas y la correlación con las dimensiones del esqueleto de la rodilla. Se ha sostenido que los ligamentos menisco-femorales desaparecen con la edad, a causa de microtraumatismos que terminan por romperlos; para ello hemos analizado la presencia de los ligamentos menisco-femorales, en RM, en función del sexo y de la edad, así como las dimensiones del LCA y del LCP.

Material y Metodología

Estudio anatómico sobre 30 especímenes de rodillas humanas, disecadas con el mismo protocolo: disección de la piel y del tejido celular subcutáneo. Se abrió la cápsula con una incisión parapatelar para observar la existencia y visualizar el LCA. Una rodilla presentó un muñón como LCA, por lo que fue desechada; 16 eran del lado derecho y 13 del izquierdo.

Una vez confirmada la presencia del LCA, se procedió a la disección de la cara posterior, visualizando el ligamento cruzado posterior, limpiando su origen, trayecto e inserción, disecando, cuando estaban, los ligamentos menisco-femorales y el cuerno posterior del menisco externo.

Medimos con un pie de rey la longitud y anchura de los ligamentos cruzados, anterior, a 90°, y posterior, en extensión completa. Medimos el diámetro antero-posterior máximo de los cóndilos femorales y de la extremidad proximal de la tibia; diámetro transversal máximo de los cóndilos femorales y de la extremidad proximal de la tibia, así como las dimensiones de la escotadura femoral, altura, anchura y profundidad. Además, medimos y analizamos la presencia de los ligamentos menisco – femorales, anterior y posterior.

La longitud del LCA se midió con diferentes grados de flexión de la rodilla. Para ello colocamos la rodilla sobre un soporte monopódico y se fue midiendo la longitud del LCA en diferentes grados de flexión con un goniómetro.

Cada medición de longitud se realizó tres veces, y se apuntó la media de las tres mediciones. La anchura se midió, en cada uno de los ligamentos, tres veces en la zona proximal y tres veces en la zona distal, apuntando la media de las tres mediciones.

Una vez medidos los ligamentos cruzados, LCA y LCP, se seccionaron en su porción más proximal, tras lo cual extrajimos el cuerno posterior del menisco externo y los dos ligamentos menisco – femorales, midiendo su longitud, apuntando su forma y su presencia. Se hizo un estudio histológico, tinción con tricrómico de Masson, cuando fue posible.

Analizamos 120 resonancias magnéticas (RM), 51 correspondieron a mujeres y 69 a hombres, en personas, que no padecían patología de la rodilla, estudiados en el servicio de Radiodiagnóstico de nuestro hospital. Las rodillas femeninas fueron 25 del lado derecho y 26 del lado izquierdo, la edad media fue 33 (DE: 14; rango: 12 – 63) años y las rodillas masculinas fueron 40 del lado derechas y 29 del izquierdo, la edad media fue 37 (DE: 13; rango: 9 – 65) años. Incluimos en el estudio tres casos de lesión condral en el cóndilo femoral interno, tres casos de luxación de rótula traumática y tres casos de rotura del ligamento lateral interno tratados todos con métodos conservadores, como mínimo, tres años antes.

De cada RM se visualizaron y midieron la longitud del LCA y del LCP, así como la anchura y la longitud del ligamento menisco-femoral anterior y ligamento menisco – femoral posterior. El LMFp, lo encontramos más frecuente, en 67 casos (55,8%) y al LMFa, en 36 (30%) casos.

Estudiamos los resultados globales, por sexo, según el lado y por grupos de edad: <20 años; 21 – 30 años; 31 – 40 años; 41-50 años y >51 años.

[Estudio estadístico](#)

Se realizó el estudio estadístico descriptivo de todas las variables (X, desviación estándar y rango) y se efectuó un estudio comparativo entre sexos, lados y grupos de edad. Para las correlaciones obtuvimos el coeficiente de correlación de Pearson y en algunos casos se completó con la T de Student o el Chi-cuadrado, para en el caso, de que se encuentren analizar el intervalo de confianza para la diferencia de las medias.

Resultados

Encontramos el ligamento menisco – femoral posterior (LMFp) en 21 (72,41%) rodillas y el ligamento menisco – femoral anterior (LMFa) en 6 (20,69%). No encontramos correlación de la longitud del LMFp ni con la longitud del LCA ($p=0,471$), ni con la longitud del LCP ($p=0,742$). Sobre las RM las mediciones se efectuaron colocando los cursores sobre el origen y la inserción distal del ligamento.

La longitud del LCA y del LCP fueron muy semejantes, el LCA presentó una longitud de 37,8 (DE: 5,4; rango: 30 – 47,1) mm y el LCP una longitud media de 36,6 (DE: 3,7; rango: 29,0 -44,5) mm.

La anchura fue más difícil de comparar por la forma cónica del LCA, que midió 14,9 (DE: 2,5; rango: 11,3 – 20,8) mm en su origen femoral y 12,7 (DE: 1,7; rango: 10,6 – 18,2) mm en su inserción tibial. La anchura del LCP fue 13,9 (DE: 2,2; rango: 10,5 – 19,6) mm.

El ligamento menisco – femoral posterior no solo fue más frecuente, también era más largo (31,4; DE: 4,8; rango: 22,5 – 42,6) mm) que el ligamento menisco – femoral anterior (20,6; DE: 3,8; rango: 16,3 – 25,6 mm).

La longitud del LCA se midió con diferentes grados de flexión de la rodilla (30°, 60°, 90°, 120° y 180°), vimos como la longitud aumentaba progresivamente desde la extensión hasta la flexión máxima. Analizando los porcentajes el LCA presentó un 30% de su longitud máxima hasta los 60°, aproximadamente la mitad de su longitud entre los 90° y los 120°, alcanzando su longitud máxima con la flexión no fisiológica de 160°.

Encontramos una correlación entre la longitud del LCA y del LCP ($p=0,001$). Sin embargo, la longitud del LCA no guardó relación ni con la anchura máxima de la extremidad distal del fémur ($p=0,080$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo interno ($p=0,731$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo externo ($p=0,789$), ni con la anchura máxima de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,873$), ni tampoco con el diámetro máximo antero-posterior de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,216$).

Tampoco la longitud del LCA guardó relación con los parámetros de la escotadura intercondílea, ni con su profundidad ($p=0,876$), ni con la anchura ($p=0,587$), ni con la longitud de la escotadura ($p=0,125$). Del mismo modo, la longitud del LCP no guardó

relación ni con la anchura máxima de la extremidad distal del fémur ($p=0,059$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo interno ($p=0,111$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo externo ($p=0,122$), ni con la anchura máxima de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,211$), ni tampoco con el diámetro máximo antero-posterior de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,569$). La longitud del LCP no guardó relación con los parámetros de la escotadura intercondílea, ni con su profundidad ($p=0,456$), ni con la anchura ($p=0,565$), ni con la longitud de la escotadura ($p=0,214$).

No encontramos correlación de la presencia del LMFp ni con la edad ($p=0,307$), ni con el sexo ($p=0,779$), ni con el lado ($p=0,733$). Tampoco vimos una relación entre la presencia del LMFa ni con la edad ($p=0,553$), ni con el sexo ($p=0,913$) ni con el lado ($p=0,082$). La longitud del LMFa no guardó relación ni con la longitud del LCP ($p=0,925$), ni con el LCA ($p=0,456$)

Conclusiones

Encontramos una correlación fuerte ($p=0,000$) entre la longitud del LCA y la longitud del LCP. Sin embargo, no vimos correlaciones entre las dimensiones anatómicas de la extremidad proximal de la tibia y la extremidad distal del fémur. Las dimensiones de la escotadura intercondílea tampoco guardan relación con las dimensiones de los ligamentos cruzados. Tampoco encontramos correlación entre la presencia o ausencia de los LMF con la edad, el sexo o el lado. No compartimos la teoría degenerativa.

En nuestro estudio anatómico y también en las RM la presencia del LMFp fue más frecuente. En las piezas anatómicas los encontramos en 72,41% y en RM, en el 55,68%. El LMFa lo encontramos en el 20,68% de las piezas anatómicas y en el 30% de las RM.

Abstract

Introduction

The posterior cruciate ligament (PCL) is intraarticular, although extrasynovial, wide, and varies in each individual. It follows an oblique path upwards, forwards and inwards, with a curved configuration to save the posterior border of the proximal end of the tibia. It is flatter and thinner than the anterior cruciate ligament (ACL). The tibial insertion, unlike the ACL, is located in its posterior cortex and reaches one centimeter distal to the joint interline and slightly lateral; It is smaller than the femoral.

Like the ACL, the PCL is made up of a set of fibers that constitute two fascicles, the antero-lateral (AL) and the postero-medial (PM). The AL bundle tightens during knee flexion, while the PM does in extension, but the two PCL bundles have a synergistic relationship during joint mobility.

For their part, the menisco-femoral ligaments (MFL) originate in the posterior horn of the external meniscus and insert into the internal femoral condyle in front (Humphrey's ligament) and behind (Wrisberg's ligament) of the PCL. Its dimensions and presence are variable. Its function is to prevent excessive extrusion of the meniscus under axial stresses in the case of tears of the posterior horn of the external meniscus. The PCL is a constant anatomical structure, with the meniscus-femoral ligaments being accessory structures that stabilize its anchorage.

In the present work we will analyze the dimensions of the PCL, ACL, presence of the menisco-femoral ligaments in human knees and the correlation with the dimensions of the knee skeleton. It has been argued that the menisco-femoral ligaments disappear with age, due to microtraumatism that end up breaking them; For this, we have analyzed the presence of the meniscus-femoral ligaments, in MRI, according to sex and age, as well as the dimensions of the ACL and the PCL.

Material and Methodology

Anatomical study on 30 specimens of human knees, dissected with the same protocol: dissection of the skin and subcutaneous cellular tissue. The capsule was opened with a parapatellar incision to observe the existence and visualize the ACL. One knee presented a stump as an ACL, so it was discarded; 16 were on the right side and 13 on the left.

Once the presence of the ACL was confirmed, the posterior aspect was dissected, visualizing the posterior cruciate ligament, cleaning its origin, trajectory and insertion, dissecting, when present, the menisco-femoral ligaments and the posterior horn of the external meniscus.

We measure the length and width of the cruciate ligaments with a vernier caliper, anteriorly at 90° and posteriorly at full extension. We measured the maximum antero-posterior diameter of the femoral condyles and the proximal end of the tibia; maximum transverse diameter of the femoral condyles and of the proximal end of the tibia, as well as the dimensions of the femoral

notch, height, width and depth. In addition, we measure and analyze the presence of the meniscus ligaments – femoral, anterior and posterior.

ACL length was measured with different degrees of knee flexion. To do this, we placed the knee on a monopod support and the length of the ACL was measured at different degrees of flexion with a goniometer.

Each length measurement was made three times, and the mean of the three measurements was noted. The width was measured, in each of the ligaments, three times in the proximal area and three times in the distal area, noting the average of the three measurements.

Once the cruciate, ACL and PCL ligaments were measured, they were sectioned in their most proximal portion, after which we extracted the posterior horn of the external meniscus and the two meniscus-femoral ligaments, measuring their length, noting their shape and presence. A histological study was performed, Masson's trichrome staining, when possible.

We analyzed 120 magnetic resonance imaging (MRI), 51 corresponded to women and 69 to men, in people who did not suffer from knee pathology, studied in the Radiodiagnosis service of our hospital. The female knees were 25 on the right side and 26 on the left side, the mean age was 33 (SD: 14; range: 12 – 63) years, and the male knees were 40 on the right side and 29 on the left, the mean age was 37. (SD: 13; range: 9 – 65) years. We included in the study three cases of chondral injury to the medial femoral condyle, three cases of traumatic patella dislocation, and three cases of medial collateral ligament rupture, all treated with conservative methods at least three years earlier.

The length of the ACL and the PCL, as well as the width and length of the anterior meniscus-femoral ligament and posterior meniscus-femoral ligament, were visualized and measured from each MRI. We found the LMFp more frequent, in 67 cases (55.8%) and the LMFa, in 36 (30%) cases.

We studied the global results, by sex, according to the side and by age groups: <20 years; 21 – 30 years; 31 – 40 years; 41-50 years and >51 years.

Statistical study

A descriptive statistical study of all the variables (X, standard deviation and range) was carried out and a comparative study was carried out between sexes, sides and age groups. For the correlations, we obtained the Pearson correlation coefficient and in some cases it was completed with the Student's T or the Chi-square, in the event that the confidence interval for the difference of the means was found to be analyzed.

Results

We found the posterior meniscus-femoral ligament (LMFp) in 21 (72.41%) knees and the anterior meniscus-femoral ligament (LMFa) in 6 (20.69%). We found no correlation between the

length of the PMFL or with the length of the ACL ($p=0.471$), or with the length of the PCL ($p=0.742$). On the MRI, the measurements were made by placing the cursors on the origin and the distal insertion of the ligament.

The length of the ACL and the PCL were very similar, the ACL had a length of 37.8 (SD: 5.4; range: 30 – 47.1) mm and the PCL a mean length of 36.6 (SD: 3.7, range: 29.0 -44.5) mm.

Width was more difficult to compare because of the conical shape of the ACL, which measured 14.9 (SD: 2.5; range: 11.3 – 20.8) mm at its femoral origin and 12.7 (SD: 1, 7; range: 10.6 – 18.2) mm at its tibial insertion. The width of the PCL was 13.9 (SD: 2.2, range: 10.5 – 19.6) mm.

The posterior meniscus-femoral ligament was not only more frequent, it was also longer (31.4; SD: 4.8; range: 22.5 – 42.6) mm) than the anterior meniscus-femoral ligament (20.6). ; SD: 3.8; range: 16.3 – 25.6 mm).

The length of the ACL was measured with different degrees of knee flexion (30°, 60°, 90°, 120° and 180°), we saw how the length increased progressively from extension to maximum flexion. Analyzing the percentages, the ACL presented 30% of its maximum length up to 60°, approximately half of its length between 90° and 120°, reaching its maximum length with non-physiological flexion of 160°.

We found a correlation between the length of the ACL and the PCL ($=0.001$). However, the length of the ACL was not related to the maximum width of the distal end of the femur ($p=0.080$), nor to the antero-posterior diameter of the internal condyle ($p=0.731$), nor to the antero-posterior diameter of the external condyle ($p=0.789$), nor with the maximum width of the proximal end of the tibia ($p=0.873$), nor with the maximum antero-posterior diameter of the proximal end of the tibia ($p=0.216$).

The length of the ACL was not related either to the parameters of the intercondylar notch, nor to its depth ($p=0.876$), nor to its width ($p=0.587$), nor to the length of the notch ($p=0.125$). Similarly, the length of the PCL was not related to the maximum width of the distal end of the femur ($p=0.059$), nor to the antero-posterior diameter of the internal condyle ($p=0.111$), nor to the antero-posterior diameter of the internal condyle ($p=0.111$). posterior of the external condyle ($p=0.122$), nor with the maximum width of the proximal end of the tibia ($p=0.211$), nor with the maximum antero-posterior diameter of the proximal end of the tibia ($p=0.569$). The length of the PCL was not related to the parameters of the intercondylar notch, neither with its depth ($p=0.456$), nor with the width ($p=0.565$), nor with the length of the notch ($p=0.214$).

We did not find a correlation between the presence of LMFp neither with age ($p=0.307$), nor with sex ($p=0.779$), nor with the side ($p=0.733$). age ($p=0.553$), neither with sex ($p=0.913$) nor with

side ($p=0.082$). The length of the LMFa was not related to the length of the PCL ($p=0.925$) or to the ACL ($p=0.456$).

Conclusions

We found a strong correlation ($p=0.000$) between ACL length and PCL length. However, we did not see any correlations between the anatomical dimensions of the proximal end of the tibia and the distal end of the femur. The dimensions of the intercondylar notch are also not related to the dimensions of the cruciate ligaments. We also found no correlation between the presence or absence of LMFs with age, sex, or side. We do not share the degenerative theory.

In our anatomical study and also in the MRI, the presence of pMLF was more frequent. In the anatomical pieces we find them in 72.41% and in MR, in 55.68%. The LMFa is found in 20.68% of the anatomical pieces and in 30% of the MRI.

Introducción

El ligamento cruzado posterior (LCP)

El ligamento cruzado póstero-interno o ligamento cruzado posterior (LCP) es un ligamento intraarticular, aunque extrasinovial, ancho, que varía según cada individuo, y se adapta a la superficie de la cara lateral del cóndilo femoral medial [239][254]. El LCP sigue un trayecto oblicuo hacia arriba, adelante y adentro, con una configuración curva para salvar el borde posterior de la extremidad proximal de la tibia. Es más plano y delgado que el ligamento cruzado anterior (LCA) y sus inserciones más anchas, aunque la inserción tibial, al contrario que el LCA, es más pequeña que la femoral [93]. El LCP tiene aproximadamente 32 mm de grosor, en un corte sagital, en su inserción femoral y 13,4 mm en la inserción distal [74][217] y de media 13 mm. En la sección coronal, en la inserción tibial [93], es un 50% más ancho que el LCA en su inserción femoral y un 20% en su inserción tibial [165]. La inserción tibial se localiza en la cortical posterior y llega un centímetro distal a la interlínea articular y ligeramente lateral [6][76][230] (Figura 1) (Figura 2).

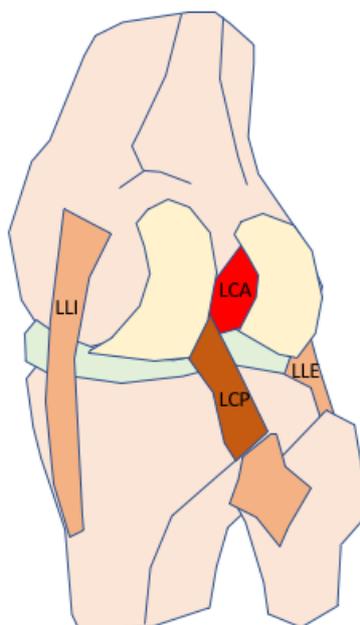


Figura 1. Visión postero interna de la rodilla (LCP: ligamento cruzado posterior; LCA: ligamento cruzado anterior; LLI: ligamento colateral interno; LLE: ligamento colateral externo)

Como el LCA, el LCP está formado por un conjunto de fibras que se ha considerado constituyen dos fascículos, el antero-lateral (AL) y el postero-medial (PM). El fascículo AL se tensa durante la flexión de la rodilla, mientras que el PM lo hace en extensión [74][111][164][238]. Los dos fascículos del LCP se considera que funcionan de manera independiente, con el fascículo AL actuando durante la flexión y el PM durante la extensión [74][213]. Sin embargo, esto no parece que sea tan sencillo, mejor hay que considerar una relación sinérgica de los dos fascículos durante el rango de movilidad articular [1][92][120][176] (Figura 3) (Figura 4).

La relación de longitud es constante entre los dos cruzados; para Kapandji [113], el LCA es 5/3 del LCP siendo una característica esencial de la rodilla y determinante de la función de los ligamentos cruzados, así como de la forma de los cóndilos y la inserción tibial de ambos ligamentos cruzados dista, en el adulto, por término medio, unos 5 cm.

Triantafyllidi et al. [235] eligieron la rodilla en extensión para estudiar la geometría natural del LCA y su relación con el LCP, pues en esta posición el LCP ocupa la mayor parte de la escotadura intercondílea. Con la rodilla a 90° la inserción femoral del LCP deja espacio suficiente para ver la inserción tibial del LCA en la parte anterior de la escotadura. Además, el pinzamiento del LCP con el techo de la escotadura se produce en extensión [226].

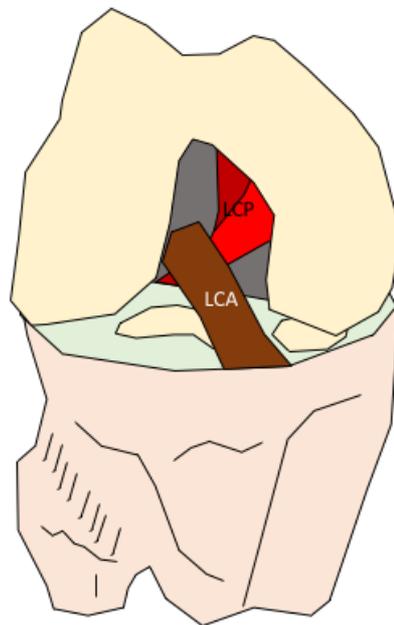


Figura 2. Visión anterior de los ligamentos cruzados, anterior (LCA) y posterior (LCP)

Harner et al. [91][93] midieron las áreas de sección y la forma de los ligamentos cruzados y de los ligamentos menisco-femorales, en cinco puntos distintos, en ocho rodillas de cadáver, a 0°, 30°, 60° y 90° de flexión. El LCP presentó un diámetro medial-lateral mayor, mientras que en el LCA era mayor su eje antero-posterior. La forma del LCA era más circular que la del LCP que, por su parte, se hace más circular en su inserción tibial. El área de sección cambia a lo largo de su longitud; el área del LCA es ligeramente superior en su porción distal mientras que el LCP lo es en la proximal. El ángulo de flexión de la rodilla no afecta sobre el área de sección de los ligamentos, pero altera su forma. Comparando los dos ligamentos cruzados, el área de sección del LCP es 1,5 veces mayor que la del LCA en la zona proximal y 1,2 veces mayor en la porción distal.

El grado de tensión de cada ligamento cruzado y de cada uno de sus fascículos varía según el rango de movimiento. El LCA se tensa durante la extensión y el LCP durante la flexión [113].

Crowninshield et al. [42] con un modelo mecánico sostienen que las fibras anteriores del LCA son más largas en flexión mientras que las posteriores lo están durante la extensión. En el LCP las fibras anteriores son siempre constantes, independiente del ángulo de movimiento mientras que las posteriores se tensan durante la extensión. Según Keller et al., [117] el LCA está sometido a mayor tensión a los 60° de flexión y el LCP, aproximadamente, a los 40°.

Para Kapandji [113] la función de los dos ligamentos cruzados es tirar de los cóndilos femorales para que resbalen sobre las glenoides tibiales en el sentido inverso a su rodadura. Durante la flexión el LCA sería el responsable del deslizamiento del cóndilo hacia delante y durante la extensión, el LCP se encarga del deslizamiento del cóndilo hacia atrás, impidiendo la rotación axial, tanto interna como externa. Ofrecen estabilidad en dirección ántero-posterior, evitando los desplazamientos posteriores, en el caso del LCP, de la tibia sobre el fémur mientras que el LCA lo impide en la dirección anterior [42][74][114].

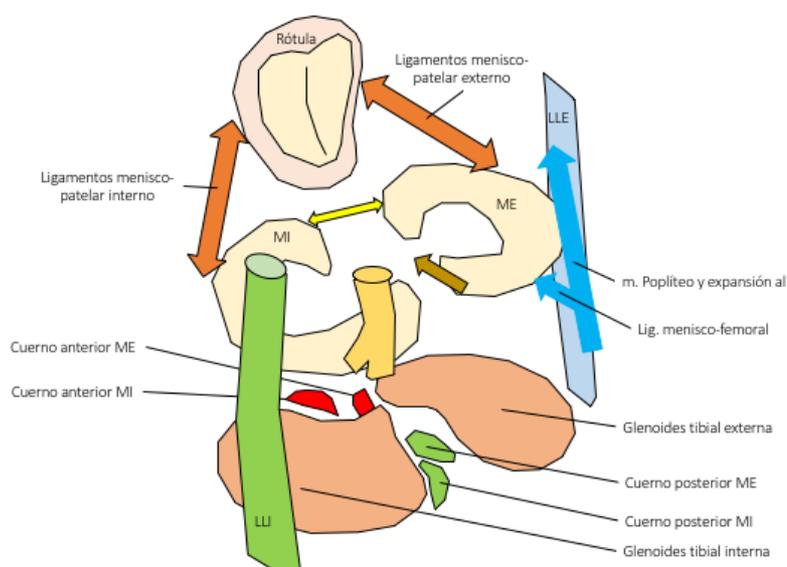


Figura 3. Ligamentos y tendones de la articulación de la rodilla y su relación con las estructuras óseas y los meniscos, interno (MI) y externo (ME).

Por eso, la rotura del LCP aumenta la traslación posterior de la tibia sobre el fémur y será el m. cuádriceps, a través del ligamento rotuliano, quien contrarreste estas fuerzas que produce, a su vez, un aumento de las presiones en la articulación patelo – femoral [20]. Las fuerzas de contacto tibio – femorales se trasladan hacia delante y medial, alterando la cinemática de la rodilla y aumentando el riesgo de artrosis fémoro – tibial [74][221].

La tensión en la cápsula posterior de la rodilla en extensión ofrece resistencia a la rotación interna y un 33% de la resistencia al valgo que disminuye al 4% cuando la rodilla está a 25° de flexión [77][200].

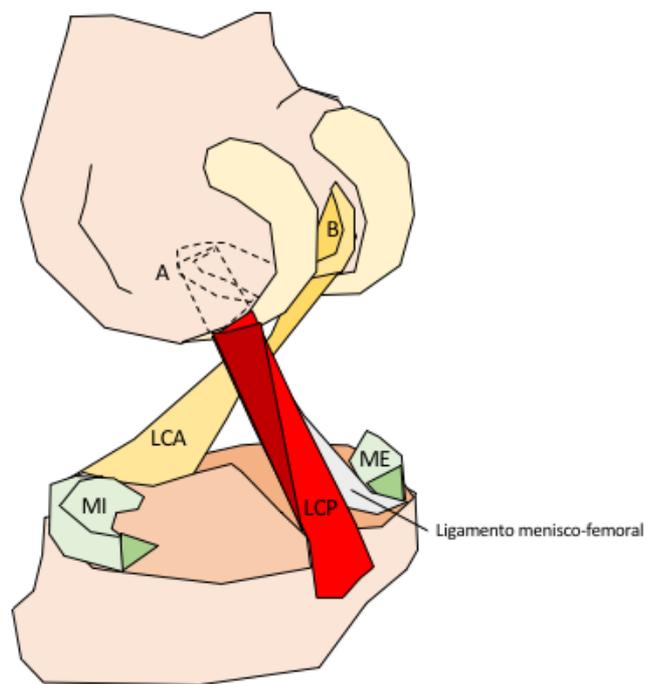


Figura 4. Disposición de los ligamentos cruzados vistos sagitalmente

Epidemiología de las lesiones del ligamento cruzado posterior

El LCP es el ligamento más resistente de la articulación de la rodilla [250]. Sin embargo, la clínica varía mucho de unos casos a otros, desde no producir sintomatología y no interferir con las actividades de la vida diaria y pasar desapercibidas en la evaluación inicial hasta impedir completamente la movilidad articular [247]. Por eso, determinar la epidemiología del LCP es complicado y, además, hay que considerar que muchas son lesiones combinadas del LCP de difícil diagnóstico e incierto mecanismo lesional.

Hasta un 40% de las roturas del LCP se consideran lesiones aisladas, aunque hay autores que dudan de las llamadas lesiones aisladas “auténticas” [198]. El 2% de los jugadores de la NFL presentaron lesiones del LCP no diagnosticadas [15][112][257]. Por su parte, la incidencia de lesiones traumáticas del LCP con hemartros es de un 38%, pero en la serie de Fanelli et al., [55-57] solo el 1,4% de los pacientes con hemartros tenían una lesión aislada del LCP mientras que la lesión del complejo postero-lateral con rotura del LCP se encontró en el 16%. Las lesiones aisladas del LCP, en general, tienen un buen pronóstico.

Al contrario de lo que ocurre con las lesiones aisladas del LCP, las lesiones combinadas producen una incapacidad funcional grave, con dolor, inestabilidad y deterioro del cartílago articular, al final inestabilidad y disfunción, comprometiendo las actividades diarias [40][93][203],

pues el ángulo póstero-lateral de la rodilla debe resistir las sollicitaciones de aducción, rotación externa y traslación posterior de la tibia.

La rotura del LCP es rara o al menos son inferiores a las roturas del LCA y presentan una gran variabilidad. Según las poblaciones, constituyen entre el 1% y el 44% de todas las lesiones ligamentosas de la rodilla [55-57][100][155][172][213]. Poco se conoce sobre la historia natural de las lesiones de LCP y disponemos de pocos datos fiables en la bibliografía, pues hay pocos estudios prospectivos. Además, no conviene olvidar que las lesiones de LCP aisladas pasan con frecuencia desapercibidas. Como el LCP es el primer estabilizador posterior de la rodilla, la lesión del LCP puede producir una inestabilidad posterolateral de ligera a moderada [141][250] y las rodillas con una rotura aislada del LCP presentan un aumento de la traslación posterior con la rodilla a 90° de flexión.

El LCP es un ligamento fundamental en el mantenimiento de la estabilidad de la rodilla. La historia natural de los pacientes con una rotura aislada del LCP está bien definida [33][65][233], aunque la incidencia de las lesiones del LCP se consideraban inferiores al 2% [182] y a diferencia de las lesiones del LCA, raramente producen episodios de inestabilidad. En su lugar, los pacientes tienen una sensación de ligera pérdida de fuerza en la pierna, con una progresiva y gradual degeneración articular. Por último, en las lesiones del LCP no siempre es fácil distinguir entre lesiones aisladas y lesiones combinadas [180], pues en las lesiones del LCP suelen estar involucradas las estructuras póstero-laterales de la rodilla; las roturas del LLE se detectan con facilidad, pero, por el contrario, las lesiones del tendón del músculo poplíteo y del ligamento poplíteo-fibular pasan, en muchas ocasiones, desapercibidas. Además, si la relación de las lesiones del LCA con la rotura meniscal están bien documentadas más difíciles de demostrar han sido con el LCP [137] (Figura 3).

Covey et al., [39] describieron tres fases tras la lesión del LCP, una primera fase de adaptación funcional, entre los 3 y los 18 meses; segunda fase de tolerancia funcional, entre 15 y 20 años y la tercera fase se corresponde con la degeneración artrósica, a partir de los 20 años. Pero, al contrario de lo que ocurre con el LCA, no se ha relacionado la degeneración artrósica de la rodilla tras la lesión y reparación del LCP [16].

En principio se ha considerado la lesión aislada del LCP como una situación benigna [38]. De ahí que los planteamientos terapéuticos varíen de unos autores a otros. La rotura aislada del LCP, con un tratamiento conservador, tienen una evolución benigna a corto plazo [65][178][205][234], pero también se ha visto que los buenos resultados van disminuyendo con el tiempo [21], pues hay un gradual aumento del dolor e inestabilidad crónica [21][117][178][228]. Además, se ha señalado

que las lesiones agudas y aisladas del LCP tratadas conservadoramente alcanzan un buen nivel de función independiente de su grado de laxitud [21][178][234].

Dejour et al., [48] recomiendan reparar las lesiones agudas aisladas del LCP solo en gente joven. Torg et al., [234] señalan que la historia natural, la evolución funcional y el pronóstico de la lesión del LCP se puede predecir en base al tipo de inestabilidad. La lesión del LCP sin asociación con una laxitud ligamentosa permanece libre de síntomas. Por el contrario, cuando se acompaña con inestabilidades combinadas siempre dejan trastornos funcionales, aunque sean ligeros [248]. Las indicaciones quirúrgicas de las lesiones del LCP aislado serían aquellas que implican dolor e inestabilidad [247].

Las lesiones combinadas del LCP con una laxitud posterior anormal, superior a los 10 mm, mostrará en poco tiempo lesiones degenerativas del cartílago del cóndilo femoral interno [228]. Covey y Sapega [39] encontraron que las roturas combinadas del LCP terminan con un aumento del varo y de la rotación externa de la tibia, especialmente cuando la rodilla está a 90° de flexión.

Las lesiones combinadas del LCP y de las estructuras postero-laterales producen una grave incapacidad funcional por el dolor y la inestabilidad de la rodilla y por el deterioro del cartílago articular [11][102][103].

Para simplificar estos criterios, Wind et al., [257], distinguen tres grados de lesión el LCP: grado 1: laxitudes pequeñas, entre 0 y 5 mm; grado 2: laxitud entre 5 y 10 mm y grado 3: suele acompañarse de inestabilidad póstero-lateral y presenta laxitudes superiores a 10 mm.

Uno de los primeros problemas en las lesiones del LCP es realizar un diagnóstico adecuado ya que los síntomas agudos en las lesiones aisladas del LCP suelen ser leves, hinchazón, dolor y, ocasionalmente, incapacidad para la deambulación o cojera. Por el contrario, es poco frecuente el derrame tan característico en las lesiones del LCA. Los síntomas de las lesiones crónicas son más “incapacidad que inestabilidad”, es una inestabilidad no específica con aprehensión a bajar escaleras o pendientes. La exactitud de la exploración clínica para detectar la rotura del LCP es del 96% (sensibilidad del 90% y especificidad del 99%) [201] mientras que el diagnóstico por RM alcanza el 100% de sensibilidad y especificidad en las lesiones agudas [28][60][80][99][179][185][237] y tan solo el 23% en las crónicas [232], de aquí el interés de conocer la morfología del LCP en la RM.

En los grados 1 y 2 recomiendan el tratamiento conservador ya que el resto de los estabilizadores de la rodilla están conservados, con tres semanas de inmovilización y descarga, seguidas de movilidad pasiva y potenciación del músculo cuádriceps, comenzando la actividad deportiva entre 4 y 6 semanas después de la lesión. El tratamiento de las lesiones de grado 3 es controvertido [257], el tratamiento conservador se basa en 2 a 4 semanas de inmovilización en extensión completa,

descarga y potenciar el músculo cuádriceps, pudiendo volver a la actividad deportiva de 3 a 4 meses después de la lesión.

Wind et al., [257] recomiendan el tratamiento conservador cuando el cajón posterior es menor de 10 mm y cuando disminuye con la rotación interna del fémur, hay menos de 5° de laxitud anormal durante la rotación y no hay una laxitud anormal en el movimiento de valgo – varo de la rodilla. Cuando no se cumplen estos requisitos recomiendan la cirugía.

El tratamiento quirúrgico no ha mostrado la superioridad sobre el tratamiento conservador en las lesiones aisladas del LCP, aunque no muchos de estos estudios son antiguos con técnicas quirúrgicas menos desarrolladas. También hay que tener en cuenta que los resultados clínicos tempranos son funcionalmente buenos, pero no eliminan la laxitud posterior [13][102][122][139][240][258].

Los protocolos de tratamiento actual están a favor del tratamiento quirúrgico cuando hay una avulsión ósea aguda del LCP, lesiones de varios ligamentos o una rotura crónica sintomática de las lesiones del LCP.

En las lesiones de LCP crónicas se puede indicar el tratamiento conservador con una férula que impida los últimos 15° de extensión. Se permitirá la extensión completa cuando no haya dolor posterior. Si el dolor persiste y no se observan lesiones en la radiografía están indicado un TAC o una RNM, si no hay anomalías, el tratamiento será conservador. Las lesiones complejas del LCP, la laxitud sintomática grado 3 o las avulsiones óseas son indicaciones de cirugía. Pero hay que tener en cuenta en lesiones complejas con alteraciones múltiples que dos o tres semanas después de la lesión será muy difícil efectuar una reconstrucción anatómica.

Las rodillas con lesiones del LCP asociadas a lesiones postero-laterales requieren una reparación de las diferentes estructuras según su gravedad y tipo de lesión. La reconstrucción del LLE o su avance está indicado en rodillas varas con la rodilla en extensión [249]. La reconstrucción del tendón del poplíteo está recomendada en rodillas con aumento de la inestabilidad postero-lateral asociada con aumento de la rotación tibial externa. A menudo es necesario combinar la reconstrucción del m. poplíteo asociado con el avance del LLE en las inestabilidades postero-laterales complejas [249].

Los cambios degenerativos tras una rotura del LCP varían en la bibliografía del 48% al 90% y es proporcional al tiempo transcurrido desde el momento del accidente hasta la cirugía y de la gravedad de la lesión y el tiempo de evolución [33][48][139][248] y son un 44%, más frecuentes en aquellas rodillas que sufrieron una lesión grave, fueron operadas más de un año después de padecer el accidente y con largo tiempo de evolución [247].

Mecanismo de lesión

El mecanismo de rotura suele ser por un golpe sobre la cara anterior de la tibia con la rodilla en flexión, como son las roturas por choques frontales y golpeando la rodilla contra el salpicadero [111]. La hiperflexión e hiperextensión son los mecanismos típicos de rotura [111]. Las lesiones del LCP se producen frecuentemente en la porción media del ligamento; es muy rara la avulsión de la inserción tibial, aunque el diagnóstico clínico no siempre es fácil, por lo que la RM resulta fundamental para el diagnóstico [111].

A la hora de diagnosticar una posible rotura del LCP hay que considerar dos tipos de lesiones, las de causa deportiva, con altas fuerzas de contacto, donde se suele asociar una lesión del complejo postero-lateral, y las lesiones provocadas por accidentes de tráfico, por choque de la rodilla en flexión con el salpicadero del coche, en el asiento del copiloto que producen un impacto directo en la región proximal anterior de la tibia.

El 56% de las lesiones del LCP corresponden a accidentes de tráfico y el 33% a lesiones deportivas [55]. El resto lo comprenden otros mecanismos de lesión menos frecuentes como consecuencia de una avulsión tibial o por una hiperflexión, al producirse una caída sobre la rodilla con el tobillo en flexión plantar que transmite un impacto directo posterior sobre la tuberosidad anterior de la tibia. Por el contrario, la hiperextensión es poco probable que cause una lesión aislada del LCP.

Cirugía del LCP

Como hemos señalado, la cirugía está indicada cuando hay un aumento de la laxitud posterior, aumento de laxitud en varo y un aumento de más de 15° de laxitud en rotación externa, medidos con la rodilla en flexión de 90° y comparando con el lado contralateral sano [166]. Se han propuesto dos métodos, el túnel tibial y el llamado injerto tibial inlay. Cada una de estas técnicas se puede hacer con injerto mono- o bifascicular, que a su vez pueden ser con auto- o aloinjerto. La reconstrucción del LCP presenta, en ocasiones, resultados inconsistentes pues no terminan de eliminar la laxitud posterior anormal [168].

La técnica más frecuente para reparar el LCP utiliza el túnel transtibial en el cual el injerto debe pasar por un ángulo muy agudo para llegar a la cara posterior de la tibia y sufre un continuo roce del injerto en los ángulos, conocido como “curva asesina” (killer curve), con sollicitaciones excesivas y una fricción repetida que termina adelgazando y elongando el injerto y perdiendo su efectividad, aumentando, poco a poco, la laxitud posterior de la rodilla [149].

Por esto, en la reconstrucción del LCP la posición anatómica correcta de los túneles femorales es fundamental. Sin embargo, sobre el cadáver, la orientación del túnel femoral presenta

mayores variaciones que en la inserción tibial [78][189][190][218]. En la cirugía del LCP es más importante para la reconstrucción, conocer la inserción proximal, femoral, que la distal, tibial [108][153][254].

La reconstrucción del LCP con la técnica de injerto tibial inlay la introdujo Berg [15], en 1995, y fue descrita por Thomann y Gaechter [15]; Jakob y Ruedsegger [107] y, un año después, Kim et al., [122] publicaron su técnica por vía artroscópica. Esta técnica evita la “curva asesina” del injerto, fijando directamente el injerto en la cara posterior de la tibia. Por una artrotomía posterior se realiza un pequeño receso en la cara posterior de la tibia en el lugar de inserción del LCP. El injerto queda en una posición más fisiológica, sin zonas mecánicamente comprometidas. Se ha señalado, sin embargo, que con esta técnica la estabilidad disminuye con el tiempo. Generalmente se prefiere un injerto patelo tibial, de hueso – tendón – hueso (H-T-H), que se fija a la superficie tibial con un tornillo y una arandela; con tornillos interferenciales, metálicos o reabsorbibles, o sistemas transfixiantes, tipo Rigidfix® o Transfix®, mejor que con un sistema tipo endobutton®.

Los problemas o posibles complicaciones achacados al injerto inlay con técnicas artroscópicas es que pueden dañar a la arteria poplítea con las agujas o las guías, se puede romper el injerto por la tensión y cambios de dirección a los que se someten y, por último, se puede extravasar el líquido de lavado y producir un síndrome compartimental. Tampoco las técnicas abiertas están exentas de problemas, pues requieren el cambio de posición del paciente, de decúbito supino a decúbito prono y de nuevo a supino, si bien para Wind et al., [257] esto no supone un retraso superior a 15 minutos del acto quirúrgico.

La reconstrucción artroscópica del LCP es el método de elección del tratamiento de las rodillas con una lesión del LCP. Se han obtenido buenos resultados con una reconstrucción con doble fascículo [258]. Para la reconstrucción con un fascículo hay opiniones muy diferentes sobre la mejor posición y la tensión ideal del injerto. Algunos recomiendan la reconstrucción isométrica [181] mientras otros defienden la no-isométrica [25][70][241]. Burns et al., [25] recomiendan el fascículo simple con un injerto tensionado a 90° de flexión; Veltri y Warren [242] vieron que la mejor posición de la rodilla para tensar el injerto es en extensión. Galloway et al., [70] sugirieron que la reconstrucción no isométrica del LCP, en la cual se asegura el injerto a 30° de flexión, produce el mejor patrón cinemático y fisiológico de estabilidad fémoro-tibial. Ohkoshi et al., [171] recomendaron un abordaje antero-lateral para el túnel tibial y minimizar la angulación del injerto y evitar el “killer turn” que potencialmente produce un pinzamiento tras la reconstrucción del LCP.

La tensión ideal para el injerto es desconocida. Burns et al., [25] recomiendan 156 N de fuerza aplicada sobre la superficie anterior de la tibia; Wascher et al. [251] vieron que fuerzas entre 10 a 50 N de torsión tibial externa aumentan la tensión del LCP pero que la tensión decrece cuando la

rodilla estaba en rotación interna o externa. Según Wang et al., [250] en estudios sobre el cadáver, observaron que la mejor tensión para el injerto es tensionarlo a 68 N, a 20°- 30° de flexión.

Anatomía del ligamento cruzado posterior

El LCP se dirige desde el cóndilo femoral medial hasta la cortical posterior de la tibia, un centímetro distal a la interlínea articular y ligeramente lateral [247], en un área de aproximadamente 13 mm²; con una longitud media de 38 mm y un ancho medio de 13 mm [20]. El área de sección disminuye de proximal a distal [38][93][94]74]. La longitud del LCP se estima entre los 32 y 38 mm, con una sección transversal de 31 mm² y un 120% - 150% más largo que el ligamento cruzado anterior (LCA). La inserción femoral deja una huella semicircular, con un diámetro largo de 32 mm y ancho de 5 mm [15][74]. La sección transversal del LCA se sitúa entre 28 y 57 mm² [74][166][169][195][295].

La inserción femoral es variable en tamaño y forma y se ha descrito sobre la superficie de inserción una cresta intercondílea que marca la inserción de los dos haces funcionales, la superficie de inserción femoral tiene forma de “media luna”, con un borde distal curvo junto al cartílago articular y otro borde antero - posterior proximal [74].

El LCP se origina en una zona amplia de la cara interna de la escotadura intercondílea, es decir en la cara externa del cóndilo femoral interno, sobre una superficie horizontal [19] en la proximidad de un borde anterior e inferior [227] siendo, por lo tanto, posterior en la tibia e interno en el fémur, y se dirige hacia abajo para terminar distal en la depresión entre los patillos tibiales conocida como fosa intercondílea posterior [29], en la superficie posterior de la extremidad posterior de la tibia [43] (Figura 5).

El LCP se dispone verticalmente, con la rodilla a 90° de flexión; sin embargo, se horizontaliza cuando se extiende completamente la rodilla. La terminología anatómica se refiere a la rodilla en extensión, incluyendo las direcciones antero-posterior y proximal – distal. Sin embargo, en una rodilla flexionada, como ocurre durante la cirugía artroscópica, la terminología habla, en ocasiones, de superior – inferior, o alto – bajo y profundo – superficial [5].

Como señalaba Testut [231], los ligamentos cruzados presentan una doble oblicuidad, pues no sólo son oblicuos entre sí, sino que también lo son con sus homólogos laterales; el LCA lo es con respecto al ligamento lateral externo o lateral (LLE) mientras que el ligamento cruzado posterior (LCP) es oblicuo en relación al ligamento lateral interno o medial (LLI). La relación de longitud entre ambos cruzados es constante [113], pues el LCA es 3/5 del LCP, siendo esto una de las características esenciales de la rodilla y determinante para la correcta función de los ligamentos

cruzados y para la forma de los cóndilos. Esta disposición permite que ambos cruzados tiren de los cóndilos femorales y resbalen sobre las glenoides tibiales en sentido inverso de su rodadura [113].

Es decir, durante la flexión se produce una torsión del ligamento de 180°, pero además el LCA derecho y el LCP izquierdo giran en el sentido de las agujas del reloj, mientras que el LCA izquierdo y el LCP derecho lo hacen en sentido contrario.



Figura 5. A) Ligamento cruzado posterior visto por delante, b) el ligamento cruzado posterior visto por detrás

Según los estudios de Kriek et al., [124] el LCA se inserta, radiográficamente, en la mitad posterior de los cóndilos femorales superpuestos mientras que el LCP lo hace en la mitad anterior. En la tibia, la eminencia intercondílea se encuentra en el tercio medio y el LCA ocuparía el tercio anterior mientras que el LCP se sitúa en el tercio posterior. La eminencia intercondílea de la tibia es un punto de referencia en la mecánica de los ligamentos cruzados; el LCP se dobla alrededor de ella durante la extensión mientras que el LCA lo hace durante la flexión (Figura 6) (Figura 7).

El ligamento cruzado posterior y sus dos fascículos

Ya hemos comentado que el LCP está formado por dos bandas fibrosas o fascículos [102], uno más grande, antero-lateral (AL), que se tensa en flexión y tiene el doble de grosor y es más fuerte que el póstero-medial (PM) que se tensa en extensión. Aunque Satku et al., [205] afirmaban que el LCP es un ligamento único, otros autores señalan que la división del LCP en dos fascículos es una simplificación de la compleja estructura del LCP.

El LCP se ha descrito como un ligamento formado por dos fascículos funcionales, uno, más grande, antero-lateral orientado en el plano sagital del techo de la escotadura y otro, más pequeño, postero-medial que oblicuamente se dirige desde la pared medial de la escotadura femoral a la cara posterior de la tibia [53][74][91][96][196]. Para algunos autores esta división es simplista y no explica la función del ligamento [146][153]. Incluso Covey et al., [38] lo definieron compuesto por cuatro fascículos: anterior, central, posterior longitudinal y posterior oblicuo, descripción confirmada posteriormente por Makris et al., [145] en 24 rodillas humanas. Según la orientación de las fibras y el comportamiento mecánico del LCP se distinguen cuatro regiones fibrilares: anterior, central, posterior-longitudinal y posterior-oblicua. La regla de los tercios marca la inserción del LCP en anterior, medio y posterior. A su vez, longitudinalmente se divide en distal, medio y próximal.

Race y Amis [189] señalaron que la sección del fascículo AL es cuatro veces mayor y seis veces más resistente que el fascículo PM.

Las inserciones del LCP, tanto proximal como distal, son complejas, pero consistentes [20]. Ambos fascículos se pueden identificar en el origen femoral [7][53][109][129][142], aunque en la inserción tibial se muestran compactos y difíciles de separar [7][53]. La distancia entre los centros de inserción femoral y tibial de los dos fascículos, AL y PM, son 12,1 y 8,9 mm respectivamente.

Se han descrito distintas formas de inserción femoral del LCP, desde una inserción común de forma elíptica hasta inserciones más redondeadas y gruesas.



Figura 6. Ligamento menisco-femoral posterior surgiendo del cuerno posterior del menisco externo y LCP visto por su cara posterior



Figura 7. Inserción proximal del ligamento cruzado posterior, visto por delante. Se aprecia la diferente orientación de sus fibras que describen sus dos fascículos.

La mayor parte de la sustancia del LCP está en las regiones fibrilares anterior y central que se comportan de forma no-isométricas; solo el 15% de las fibras posteriores tienen un comportamiento isométrico [37-39][93][94][190].

La isometría es un concepto poco anatómico, pero muy utilizado en cirugía. Se considera isométrico el ligamento que, con el movimiento articular, sus fibras no cambian de longitud. Esto es difícil de ver en el esqueleto. Lo que puede ocurrir es que los ligamentos están formados por fascículos y cada uno tiene orientaciones diferentes y cada uno de ellos se deforma en un momento determinado. En el LCP, los fascículos se diferencian por su patrón de tensión y orientación de las fibras durante el movimiento de la rodilla [74][190]. El fascículo PM se tensa y resiste la traslación posterior de la tibia durante la extensión e hiperflexión mientras que el fascículo AL, con mayor sección de área, se tensa y resiste la traslación posterior de la tibia durante la fase media del rango de flexión, cuando el fascículo PM está relajado [74][190].

Con la rodilla en extensión, cada uno de los fascículos del LCP, el anterior y el posterior en la inserción femoral corren paralelos en dirección a la inserción tibial. En flexión, los fascículos rotan y se cruzan uno sobre el otro.

A nivel femoral, los dos fascículos del LCP, AL y PM, se insertan en diferentes planos que viene marcado por un cambio en el plano de inclinación de cada una de las inserciones. Una cresta (cresta intercondílea medial) divide a ambas superficies y una cresta medial bifurcada separa las zonas de inserción de cada fascículo [63][64]. El fascículo AL se inserta en la superficie antero-lateral de la escotadura intercondílea y es más fácil de visualizar en artroscopia mientras que el fascículo PM se inserta por detrás y se puede ver ínfero-medial con el artroscopio [63].

Kaya et al., [116] estudiaron por artroscopia, con un portal antero-lateral, en sujetos jóvenes y sin patología, los ángulos del triángulo formado por los ejes longitudinales del LCA y LCP y el techo de la escotadura intercondílea. El ángulo formado por el LCA y el LCP era de aproximadamente 60°, con la rodilla a flexión entre 90° y 120°. Este ángulo cambia con el movimiento sin guardar relación con la edad, sexo, peso o altura. Sin embargo, es una medida poco exacta pues el ángulo cambia dependiendo del portal de acceso y la posición de la fuente de luz.

La inserción tibial del LCP se localiza en la fosa intercondílea posterior [74][135][156], entre los patillos tibiales, 1 - 1,5 cm distal de la línea articular [53][151][244]. El fascículo AL se inserta en la porción supero-lateral de la carilla intercondílea posterior y el fascículo PM se inserta en la porción ínfero-medial de la carilla [63][91][230][244] y, como ocurre en el fémur, cada fascículo tiene diferente plano de inclinación [229].

El cuerno posterior del menisco medial sirve de borde anterior para esa carilla. El centro de los dos fascículos está localizado en el 48%-49% del diámetro transversal de la meseta tibial

[53][76][151][244] y en un estudio radiográfico la inserción tibial del LCP se dispone en el 51% del diámetro transversal de la meseta tibial, a partir del borde externo [143][174]. Los fascículos estarían en el 48% el AL y en el 51% el PM [174] o al 51% y al 50%, para el AL y el PM respectivamente [230] (Figura 8).

En el plano sagital, el centro del LCP queda 7 mm por delante de la cortical posterior de la tibia [156].



Figura 8: Inserción femoral del LCP

Desde el punto de vista anatómico, esta inserción está fuera de la cortical posterior de la tibia y sirve como punto de referencia artroscópico para colocar una aguja en la reconstrucción del LCP [156]. Lee et al., [135] encontraron que la inserción del LCP está en el 48% del área de la fosa del LCP con la cortical posterior o según Moorman et al., [156] en la mitad posterior de la fosa intercondílea posterior. La inserción del haz antero-lateral está localizado virtualmente en el plano articular (0 mm), mientras que el haz postero-medial está a 4,6 mm de la línea articular [230].

La cortical posterior del platillo tibial tiene una curva convexa hacia posterior mientras que la cortical posterior de la fosa intercondílea posterior está deprimida hacia delante [135]. Es una fosa trapezoidal, aunque también presenta otras formas [23][229], que se hace más ancha distalmente. Sheps et al., [217] demostraron que se forman ángulos entre las superficies supero-lateral y supero-medial de la inserción tibial del LCP.

La distancia de la inserción del LCP al punto más cercano del cuerno posterior meniscal interno es de 1 mm [263].

Racanelli y Drez [188] indicaron que el LCP se inserta superior en y a lo largo de una cresta tibial posterior que coincide con el borde superior del músculo poplíteo y el tendón poplíteo y Takahashi et al., [230] vieron que la localización de la inserción del fascículo AL está virtualmente

en la superficie articular mientras que la localización del fascículo PM esta, por término medio, a 4,6 mm de la superficie articular.

La inserción tibial es en la superficie retroespinal, justo por detrás del cuerno posterior del menisco interno, aunque a veces sobrepasa el contorno posterior de la plataforma tibial [118].

En las preparaciones histológicas, la mayoría de las fibras se insertaban en la mitad posterior de la carilla del LCP; pocas fibras se extienden distales por la cortical posterior de la tibia [156].

En radiografías, Lee et al., [135] señalan que la inserción del LCP en la tibia es más alta en las radiografías laterales que en las antero-posteriores.

Estudiando las mediciones de la inserción tibial, Girgis et al., [74] vieron que se encuentra a 2 - 3 mm distal del plano articular; Takahashi et al., [230] señalan que la inserción del fascículo AL está localizada en el plano articular mientras que la inserción del PM se encuentra 4,6 mm distal al plano articular. Para Moorman et al., [156] las fibras más posteriores se mezclan con el periostio y discurren más de 20 mm por distal de la cortical posterior de la tibia. Lee et al., [135], Moorman et al., [156] y Lorenz et al., [143] establecen el centro de inserción tibial a 45 mm del borde lateral del platillo tibial y a 43 mm del borde interno.

Moorman et al., [156] miden la distancia desde la cara anterior del LCP hasta la esquina posterior de la carilla, donde la carilla se une a la cortical posterior de la tibia. Las dimensiones antero – posteriores fueron $15,6 \pm 1,1$ (rango: 14 – 18) mm. Las mediciones de Makris et al., [145] y Inderster et al., [105] obtuvieron 14 mm y 14,6 mm, respectivamente, en la medición del diámetro antero – posterior de la inserción tibial.

La mayoría de los trabajos publicados, cuando hacen referencias anatómicas para la reconstrucción del LCP, señalan que la inserción tibial está “un centímetro distal a la superficie articular” [68][238] [156] o “uno a 1,5 cm a lo largo de la cortical tibial posterior” [34], todas estas determinaciones se basan en el trabajo de Girgis et al., [74].

Según Luo et al., [144], con la rodilla flexionada 90°, la posición horaria de la huella de inserción del fascículo AL es a las $11:21 \pm 0,23$ horas, en la rodilla izquierda y $0:39 \pm 0:23$, en la derecha y las del fascículo PM fueron las $9:50 \pm 0:18$ en la rodilla izquierda o las $2:10 \pm 0:18$ en la derecha. Midiendo la distancia desde el borde del cartílago articular del cóndilo medial fueron $7,79 \pm 1,22$ (rango: 5,1 – 9,52) mm para el AL y $8,36 \pm 1,63$ (rango: 5 – 11,72) mm para el PM. La distancia vertical desde el centro de la inserción femoral de los dos fascículos hasta el borde del cartílago articular inferior del cóndilo femoral medial fue $17,54 \pm 3,34$ (rango: 10,7 – 22,4) mm para el fascículo AL y $10,2 \pm 2,7$ (rango: 5,3 – 15,48) mm para el fascículo PM. La distancia entre los dos centros de las inserciones de ambos fascículos en el fémur fue $8,23 \pm 1,56$ (6 – 12,26) mm.

Tajima et al., [229] vieron que la superficie de inserción media del fascículo PM era mayor que la del fascículo AL. Sheps et al., [217] describieron las características de la inserción tibial del LCP con referencias anatómicas y un esquema sencillo, señalando que la inserción tibial del LCP y sus fascículos era muy compleja, sin llegar a describir las características tridimensionales de la fosa intercondílea posterior. Las improntas óseas son estructuras sutiles muy difíciles de valorar.

Desarrollo del LCP durante el crecimiento

Al contrario que el LCA, el ángulo que forma el LCP con el platillo tibial en fetos varía muy poco, de 35° a 45°, desde la flexión hasta la extensión.

Kim et al., [121] midieron con RM, en niños durante el crecimiento, el índice de la longitud del componente horizontal del LCP, desde el punto de origen hasta el punto donde el LCP cambia su dirección, dividido por la longitud vertical desde este punto hasta el punto más distal de inserción tibial del LCP y midieron el ángulo del LCP formado por una línea que unía el origen del LCP en el fémur hasta el punto situado en el cambio de dirección del LCP y una línea que iba desde este mismo punto de origen hasta el punto más distal de inserción del LCP en la tibia [72].

Observaron cambios morfológicos y angulares de los ligamentos cruzados [121] y como el índice entre el componente horizontal y el vertical, disminuía linealmente y de forma significativa, una media de $0,02 \pm 0,01$ por cada año de crecimiento, sin guardar relación con el sexo. Con el aumento de la edad disminuye el componente horizontal y aumenta el vertical. El ángulo del LCP cambia con la edad $0,68^\circ \pm 0,09^\circ$. También vieron diferencias del ángulo con relación al final del crecimiento, midiendo $113,9^\circ \pm 8,1^\circ$ cuando la fisis está abierta y $121,9^\circ \pm 8,7^\circ$ cuando la fisis se cierra, sin encontrar diferencias entre los dos sexos. En niños de menor edad el LCP se sitúa en la porción más inferior de la epífisis femoral y el ángulo de inclinación del techo intercondíleo se hace más pequeño cuando los pacientes crecen, pensamos que debido al crecimiento óseo ya que resulta un techo más pronunciado.

El ángulo del LCP medio en adultos, con un LCA intacto, es de 123°, pero es mucho menor en pacientes con una rotura del LCA, que tiene 106° de media [72]. Sin embargo, en pacientes jóvenes, el ángulo del LCP medio es de 113,9°, mucho menor que en los adultos sanos [121]. El ángulo del LCP puede tener interés diagnóstico para determinar si hay una rotura.

La arteria poplítea y el complejo posterior de la articulación de la rodilla

Un aspecto del mayor interés es la relación del LCP con el paquete neuro-vascular posterior de la rodilla. En un estudio de RM, en cadáveres, Smith et al., [222] encontraron que dos de nueve de los especímenes sanos tenían un desplazamiento anterior de los vasos poplíteos cuando se

flexionaba la rodilla. La flexión de la rodilla no siempre garantiza el desplazamiento posterior de la arteria poplítea.

La distancia del LCP a la arteria poplítea es variable, entre 1,1 mm y 10,3 mm, dependiendo del grado de flexión articular [3][15][27][106][151][154][165][241]. Para Matava et al., [151] la distancia, medida en RM, es máxima, 9,9 mm en el plano axial y 9,3 mm en el sagital, con la rodilla a 100° de flexión. Sin embargo, hay otros factores que pueden influir en esta distancia como son la presión durante la artroscopia y el desbridamiento capsular [2][151]. Ahn et al., [2] han visto que la liberación de la cápsula posterior aumenta la distancia entre la inserción tibial del LCP y la arteria poplítea.

En la línea articular, la distancia del LCP a la arteria poplítea era de $7,86 \pm 2,26$ mm. Datos similares fueron presentados por Matava et al., [151] y Ahn y Ha [2] con la rodilla a 0°. Difieren de los resultados obtenidos por Pace y Wahl [175] ya que estos efectuaron una capsulotomía por lo que las distancias eran mayores. A este nivel, el nervio para el músculo sartorio (ramo del nervio safeno) recorre por fuera del m sartorio y se localiza a $2,41 \pm 0,12$ mm posterior de la cápsula articular. El ramo infrapatelar discurre a $3,71 \pm 0,48$ mm antero-medial al ramo sartorio. El paquete neurovascular poplíteo discurre por fuera del nervio sartorio a una distancia de $37,57 \pm 1,45$ mm [225].

A nivel de la inserción tibial del LCP la distancia de la arteria poplítea es de $5,91 \pm 3,61$ mm y el nervio sartorio está situado a $4,36 \pm 0,43$ mm por detrás de la cápsula articular. El nervio infrapatelar se sitúa a $8,44 \pm 0,55$ mm por delante y por dentro del n safeno. La distancia del n safeno y el paquete neuro-vascular es $37,1 \pm 1,87$ mm. No se ha visto el n safeno dispuesto por delante del m sartorio en ningún caso [51][225].

La distancia del borde posterior del LCP y la cápsula es de 1,7 mm, pero cuando se desbrida esta zona, se puede aumentar la distancia y permite visualizar mejor esta región y aumenta la seguridad para no dañar la arteria poplítea [192][193].

El septo posterior de la rodilla, en la cara posterior de la rodilla, está entre la cápsula posterior y los ligamentos cruzados y divide la articulación en dos compartimentos, lateral y medial, compuesto por tejido conjuntivo y adiposo [2][192]. Se dispone entre el tejido sinovial [2][3] y contiene numerosas estructuras neuro-vasculares, una de las cuales es la arteria genicular medial que nutre al LCP [206]; un ligamento muy rico en mecanorreceptores y vasos sanguíneos, especialmente en su porción proximal.

La vascularización de las estructuras intercondíleas proviene de tres fuentes, la A. genicular medial, la arteria genicular medial accesoria y la arteria genicular inferior [192][206]. Los vasos que

se aprecian en el septo posterior son ramas de la A. genicular medial la cual, procede de la arteria poplítea [196].

Las arterias de los ligamentos cruzados proceden de la A. genicular media que envía cuatro ramas al LCP y una sola al LCA. El LCP está vascularizado por tres pedículos, el pedículo superior y medio da entrada a ramos de la A. articular media y por el pedículo inferior penetra una rama de la A. poplítea, con numerosas ramas musculares y cinco ramas articulares. La arteria genicular media atraviesa el ligamento posterior oblicuo para vascularizar la cápsula posterior y estructuras internas como los cuernos posteriores de los meniscos, mientras que las ramas ligamentosas de la arteria poplítea atraviesan la sinovial y forman un plexo vascular que recubre al LCA y al LCP a los cuales también les llegan ramas de la arteria genicular inferior.

En la inserción de los ligamentos, los vasos se anastomosan con la red vascular subcortical del fémur y de la tibia, anastomosis muy pequeñas e incapaces de reparar un ligamento roto. La inserción de los ligamentos cruzados, LCA y LCP, están libres de vasos, nutriéndose de los vasos sinoviales que se anastomosan con los vasos perióísticos [219] (Figura 9).

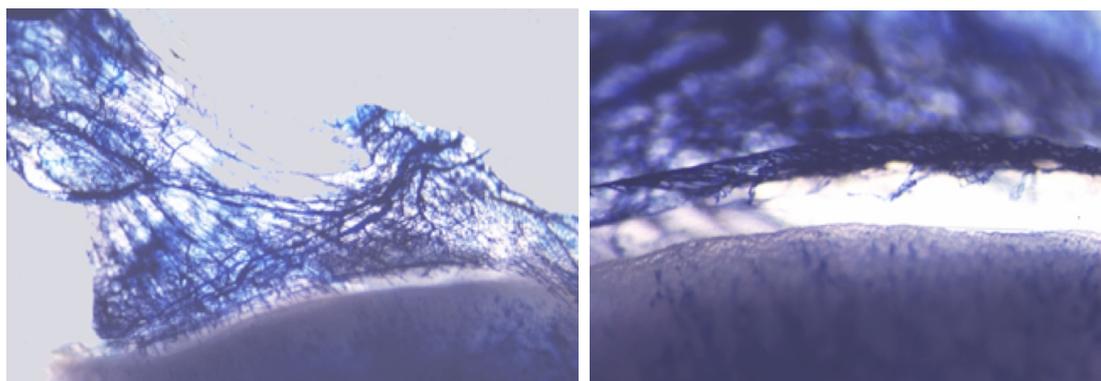


Figura 9. Vascularización del LCA en la oveja. Apréciase que la inserción en el platillo tibial se realiza a través de un fibrocartílago avascular (Técnica de Spalteholz)

La arteria genicular lateral inferior bordea el menisco externo y es la responsable de su aporte vascular. Termina en el intercóndilo femoral, siendo responsable de parte de la irrigación de los ligamentos centrales de la rodilla. Durante su trayecto hay una interacción compleja entre esta arteria y la grasa del menisco externo [10].

Las ramas de la arteria genicular lateral superior están concentradas en el cóndilo femoral lateral. Es el responsable de la vascularización de todo el cóndilo con una arteria muy pequeña conocida como arteria supracondílea lateral. El gran número de ramas que penetran en el hueso subcondral alrededor del cóndilo lateral puede explicar la baja incidencia de necrosis, comparado con el cóndilo interno [10].

Tres son los nervios que inervan la rodilla, el nervio articular posterior, una rama del n. tibial e inerva la porción posterior de la rodilla, el n. articular posterior entra en la rodilla junto con la arteria genicular medial y se divide en pequeños ramos para inervar el tejido sinovial intercondíleo y el septo posterior [223].

El n. articular lateral, que procede del n. peroneo común y el n. articular medial que procede del n. safeno e inerva las estructuras internas de la rodilla, el paquete adiposo de Hoffa y el tendón rotuliano.

Se han descrito mecanorreceptores con funciones propioceptivas en las inserciones tibiales y femorales. La arteria genicular medial penetra, entre los cóndilos, por un septo que divide el compartimento posterior de la rodilla en dos partes [193]. Este septo puede ser resecado, sin peligro, en el tercio inferior pues la arteria genicular media emerge en la parte superior, aunque no es necesario manipular esta zona cuando se quiere hacer una vía posterior [2]. La única estructura que separa el paquete neurovascular y la inserción tibial del LCP es la cápsula [193].

Los mecanorreceptores en los ligamentos cruzados se disponen en la superficie y son más prevalentes en la proximidad de la inserción femoral [49]. En todo el septo, pero más en la porción craneal, predominan los receptores tipo II y tipo IV [67]. Los de tipo II, conocidos como de Krause, Meissner y Pacini, responden a los estímulos mecánicos [161]. Los mecanorreceptores tipo IV no están especializados, aferentes, con terminaciones no mielínicas presentes en ligamentos, tejido sinovial y en la cápsula articular [115].

El nervio safeno, como un ramo del nervio femoral, pasa por dentro de la arteria femoral y penetra en el canal del aductor y sale y se divide en dos ramos, el ramo del n. sartorio y el ramo infrapatelar. El n. sartorio corre por detrás del n. infrapatelar y desciende por la cara externa del m. sartorio. El ramo infrapatelar discurre hacia distal para inervar la cara antero-medial de la rodilla. Sora et al., [225], vieron que la arteria poplítea, la estructura más ventral del paquete neurovascular, está situada a $8,66 \pm 2,17$ mm dorsal a la cápsula articular, a nivel de epicóndilo interno. Al mismo nivel, el paquete neuro-vascular se encuentra a $45,58 \pm 3,27$ mm lateral del epicóndilo interno siendo la arteria poplítea la estructura más próxima. El nervio sartorio está, en el mismo nivel, $10,39 \pm 0,21$ mm lateral del epicóndilo medial y $4,27 \pm 0,05$ mm dorsal a la cápsula articular. El ramo infrapatelar recorre $1,62 \pm 0,18$ mm antero-medial del nervio sartorio [225].

El complejo póstero – lateral

La anatomía del complejo postero-lateral es compleja y la mayoría de los autores incluyen entre sus estructuras al ligamento colateral lateral (LLE), el ligamento arcuato, el músculo y tendón del poplíteo incluyendo, además, al ligamento fibular y a la porción postero-lateral de la cápsula

[52][89][241]. Sin embargo, es variable y tiene una terminología inconsistente [11] (Figura 10) (Figura 11) (Figura 12).

El ligamento colateral lateral, el tendón del m. poplíteo y el ligamento poplíteo-peroneo son los principales estabilizadores de la porción postero-lateral de la rodilla, sobre todo con pequeños grados de flexión de la rodilla [131]. Aunque hay que tener en cuenta que estas estructuras postero-laterales no previenen la translación anterior de la tibia [26].

La función principal de la cápsula póstero-lateral es evitar el varo, la rotación externa y la translación anterior de la tibia [203]. Los componentes más importantes de la esquina posterolateral son:

- la banda iliotibial que tiene su origen en la espina iliaca postero-superior y se dirige al tubérculo de Gerdy, con una capa superficial y otra más profunda.

- el m. bíceps femoral, un músculo fusiforme con dos cabezas, la cabeza larga se origina en la tuberosidad isquiática, formando parte del origen de los músculos isquio-tibiales, y la cabeza corta que desde la línea áspera femoral forma una estructura óseo-capsular en la cara posterior de la rodilla, terminando distalmente en la punta de la cabeza del peroné.

- el ligamento colateral peroneo, de origen extrarticular, en la parte posterior del epicóndilo lateral y se dirige hacia abajo directamente para insertarse en la parte lateral de la cabeza del peroné. Es un estabilizador primario en varo de la rodilla que se relaja con la flexión de la rodilla y produce resistencia con la rotación externa de la tibia.

- el complejo poplíteo, constituido por el músculo poplíteo, de orientación oblicua, que desde la porción póstero-medial de la cara posterior de la tibia se dirige hacia arriba y adelante para terminar en un pequeño tendón en la cara externa del cóndilo femoral lateral, por debajo del ligamento lateral externo. Durante su recorrido entra en la articulación por el hiato poplíteo, por debajo del ligamento arcuato de la cápsula posterior, y se hace intrarticular dejando tres fascículos poplíteo-meniscales que favorecen la estabilidad del menisco lateral. El ligamento arcuato, tiene forma de arco y está formado por dos ramas, la poplíteo tibial y la poplíteo-peronea que es un estabilizador lateral y postero-lateral de la rodilla restringiendo el varo, la rotación externa y la translación posterior de la tibia. El músculo poplíteo también es un rotador de la tibia a la vez que actúa como un estabilizador dinámico del menisco lateral.

- la cápsula articular que se divide en una capa superficial y otra profunda. La capa superficial acompaña al ligamento colateral peroneo hasta el ligamento fabelo-peroneo. La capa más profunda se extiende en dirección anterior formando el ligamento coronario y el hiato popliteo para el tendón poplíteo.

- el ligamento coronario del menisco lateral se encuentra en el tercio medio posterior del ligamento capsular lateral. Es la porción menisco-tibial de la cápsula posterior que se extiende del margen anterior del hiato popliteo. Asegura la inserción del cuerno posterior a la tibia y provoca la resistencia a la hiperextensión y la rotación postero-lateral de la tibia.

- el ligamento popliteo oblicuo (ligamento de Winslow) es una de las tres inserciones distales del m. semimembranoso, expansión capsular del ligamento posterior oblicuo. El ligamento poplíteo oblicuo es la mayor estructura en la cápsula posterior [192] y fácil de identificar. Está formado en su porción más medial por la confluencia de la expansión lateral del tendón común del m. semimembranoso (próximo) y la porción capsular del ligamento posterior oblicuo (distal) discurrendo por la parte posterior de la rodilla hasta la cara postero-lateral. Sus orígenes en el cóndilo femoral lateral, zona donde se engrosa la cápsula, y su inserción distal está próxima al tendón del m. semimembranoso, en la región postero-lateral de la rodilla. Tiene una longitud media de 42 mm y es una referencia para efectuar la capsulotomía. Según LaPrade et al., [131] el ligamento poplíteo oblicuo mide 10,4 mm de ancho en su porción central y 48 mm de largo. Park et al., [177], en cadáveres, vieron que la capsulotomía posterior produce un aumento de la traslación posterior de la rodilla. Por eso cabe suponer que el ligamento poplíteo oblicuo tiene una función, no siempre bien reconocida, para prevenir la hiperextensión y la rotación externa.

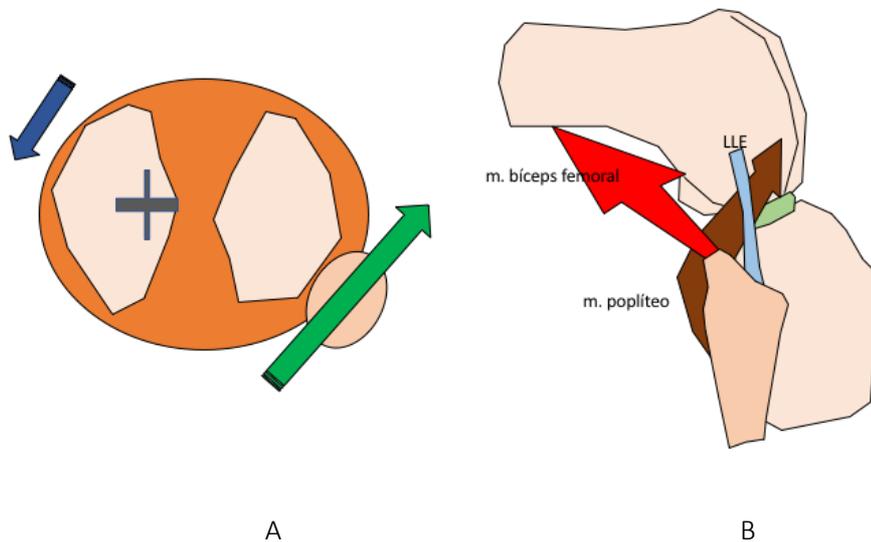


Figura 10. a) Dirección de tracción del m. poplíteo (flecha verde) y dirección de tracción de los músculos isquiotibiales con un efecto de flexión y rotación en la articulación de la rodilla, b) porción postero-lateral de la rodilla con el m. poplíteo, el ligamento lateral externo (LLE) y el m. bíceps femoral

- el ligamento fabelo-peroneo, capsular es la parte más distal de la porción corta del m. biceps femoral. Transcurre desde el borde lateral de la fabella, en dirección distal y lateral, hasta la cabeza del peroné en una posición posterior a la división del ligamento poplíteo-peroneo. En ausencia de fabella algunos autores llaman a este ligamento ligamento corto lateral [130][131] (Figura 12)

- el ligamento poplíteo-peroneo desde el borde lateral de la unión miotendinosa del tendón poplíteo llega al borde medial de la estiloides peronea.

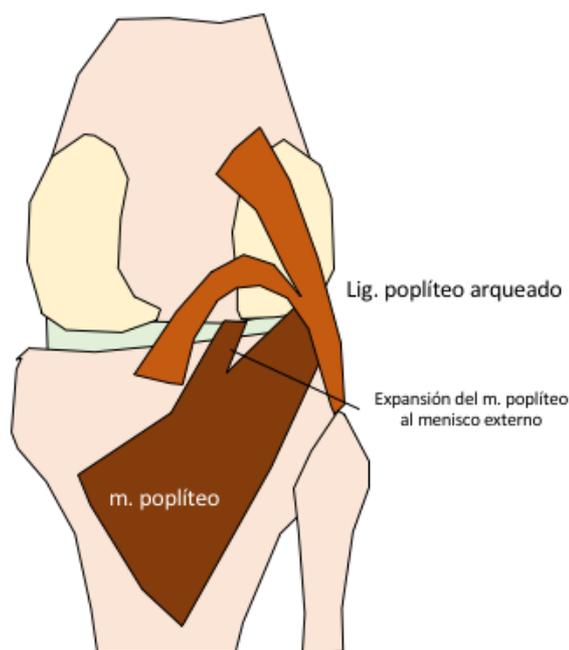


Figura 11. Recorrido del m. poplíteo para insertarse en la cara externa del cóndilo femoral lateral pasando por debajo del ligamento poplíteo arqueado

Seebacher et al., [209] dividieron el complejo postero-lateral en tres capas que, de superficial a profundo,

(1) la capa superficial por el tracto ilio-tibial y el m. bíceps femoral con su expansión posterior. El n. peroneo común pasa por detrás del tendón del bíceps. La parte posterior de la cápsula articular está formada por una fascia fibrosa, ligamentosa y tendinosa más compleja que la anterior, la medial y la lateral.

(2) En la capa media, donde se encuentra el retináculo cuadrípital, estarían los ligamentos fémoro-patelares y el LLE.

(3) en la capa profunda se hallan el ligamento coronario que es la inserción capsular del menisco externo y el tendón del m. poplíteo. Hay que incluir el ligamento arcuato, con su forma en

'Y', con un brazo lateral desde la cápsula posterior sobre el m. poplíteo en la cabeza del peroné y el brazo medial desde la cápsula posterior sobre el m. poplíteo al ligamento poplíteo oblicuo. El ligamento poplíteo fibular procede del tendón del m. poplíteo y se inserta en la cara posterior de la cabeza del peroné.

La cápsula posterior se origina en el borde proximal de los cóndilos femorales posteriores y se inserta distalmente por debajo de los platillos tibiales. La cápsula recibe fibras del tendón del m. semimembranoso, de las inserciones femorales de los m. gemelos, del m. delgado plantar y también contribuye, aunque en menor medida, el m. poplíteo [20].

La cápsula presenta distintos grosores incluyendo el ligamento poplíteo oblicuo que termina insertando lateralmente en una formación ósea, la fabela [20]. La cápsula continua hacia dentro con la superficie del ligamento lateral interno y con el ligamento oblicuo posterior [131]. La porción posterior de la inserción tibial del LCP está 1 o 2 mm distal a la cápsula posterior, rodeada por una reflexión de la sinovial medial y lateral [193] y la arteria poplítea desciende aproximadamente a 7 - 10 mm del borde posterior del LCP [151].

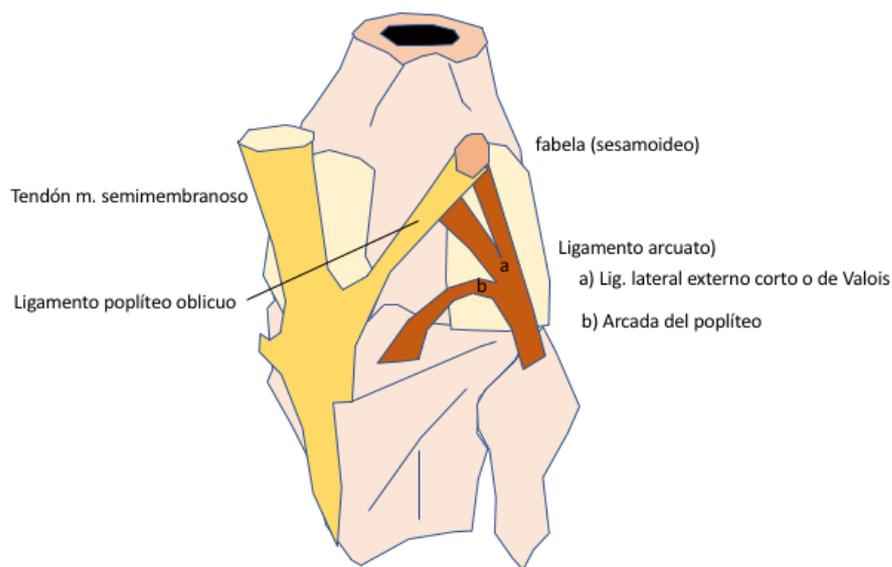


Figura 12. Inserción del tendón del m. semimembranoso y la formación del ligamento poplíteo oblicuo y el ligamento poplíteo arqueado con la fabela.

El cuerno posterior del menisco lateral y el LCP

En el complejo postero-lateral de la rodilla no se pueden olvidar el cuerno posterior del menisco lateral. El LCP discurre por la cápsula posterior, por el centro hacia medial. En relación con el menisco interno. Sin embargo, guarda una estrecha relación con el menisco externo por medio de los los ligamentos menisco-femorales. Las estructuras posteriores deben prevenir la extrusión meniscal y evitar la rigidez del menisco cuando con la movilidad de la rodilla se aplican sollicitaciones

a cizallamiento directamente sobre los meniscos. Los meniscos se deben desplazar para evitar el bloqueo articular. El menisco se expande gracias a la flexibilidad de sus cuernos anteriores y posteriores y permiten la transferencia de cargas del fémur a la tibia de forma homogénea, sin romperse, y protegiendo al cartílago articular [30][31][210].

El cuerno posterior del menisco externo se continua con los ligamentos menisco-femorales.

El ligamento postero – medial del cuerno posterior del menisco lateral (LPMM) se inserta en la fosa intercondílea, entre las inserciones del cuerno posterior del menisco externo y el LCP [243], aunque presenta muchas variaciones. En caso de lesión del ligamento póstero - medial del cuerno posterior del menisco lateral (LPMM) el diagnóstico se efectúa por RM [31][136]. Choi et al., [31] en 419 pacientes consecutivos, revisados por RM, encontraron un 28,6% de lesiones del LPMM, incluyendo roturas en el 14,3%. Otros estudios también observaron este tipo de patología con una prevalencia de roturas entre el 0,4% y el 29,5% [41][54][81][104][135][199] (Figura 13).

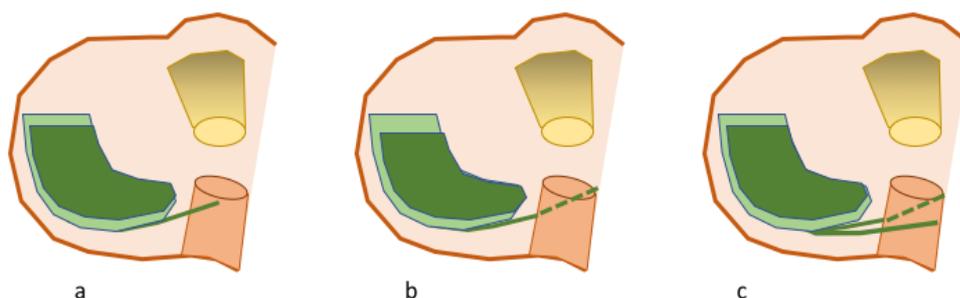


Figura 13. El ligamento menisco femoral posterior y sus variedades

El cuerno posterior del menisco externo se inserta en la parte media de la fosa interglenoidea posterior, pero hay variaciones importantes [126][127], se dispone por fuera de la inserción posterior del menisco interno sobre una banda alargada de forma piramidal oblicua dirigida hacia dentro y adelante, puede ser largo y llegar a la vertiente posterior de la espina tibial interna o puede ser corto. Aunque Zivanovic et al., [264] señalaron que también es posible no encontrar la inserción.

Por su parte, el cuerno posterior del menisco interno se inserta en la superficie retroespinal y está fijado a la superficie tibial por un ligamento o freno meniscal póstero-interno, entre el cuerno posterior del menisco externo por delante y el LCP por detrás.

En ocasiones surgen expansiones a la cara lateral del cóndilo femoral medial, conocidas como ligamentos menisco femorales, bien por detrás del LCP (ligamento de Wrisberg) o por delante del mismo (ligamento de Humphrey), estos pequeños ligamentos actúan limitando y orientando el movimiento del cuerno posterior del menisco externo, además está relacionado con el complejo arqueado formado por el ligamento arqueado, porción capsular que se arquea sobre el m. poplíteo, el tendón del m. poplíteo y el ligamento colateral externo.

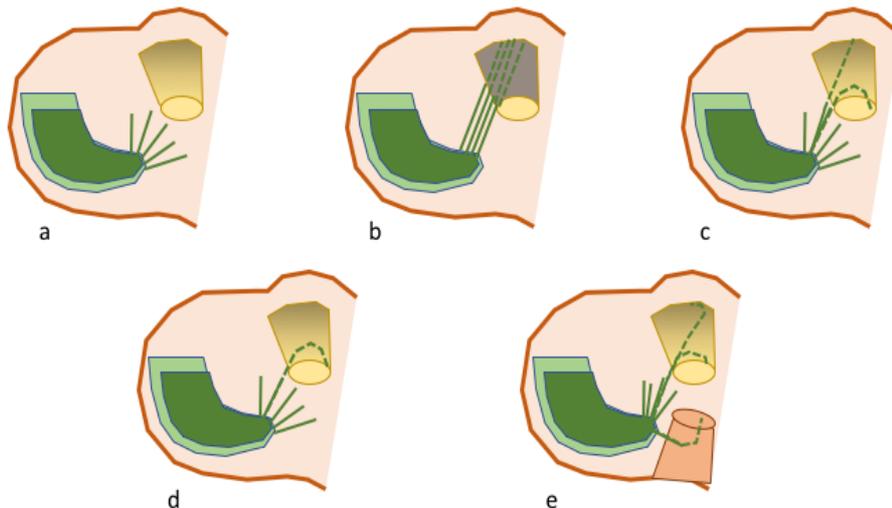


Figura 14. Diferentes tipos de inserción del cuerno posterior del menisco externo, según Lahlaidi [126][127]

Pero, además, hay unos fascículos fibrosos que son el medio de fijación del cuerno posterior del menisco externo sobre el platillo tibial y sobre el fémur. Según Lahlaidi [126][127], hay seis grupos de inserciones del cuerno posterior del menisco externo: 1. Ligamentos menisco-femorales póstero-externos, 2. Inserciones menisco tibiales, 3. Inserciones menisco ligamentosas, 4. Ligamentos intermeniscales oblicuos, 5. Ligamentos intermeniscales posteriores y 6. Inserciones menisco-capsulares y menisco tendinosas (Figura 14).

Los ligamentos menisco- femorales

Llamarles “ligamentos” es un término erróneo ya que estas estructuras conectan un menisco con el hueso, no hueso con hueso, además, por su consistencia, parecen prolongaciones del propio menisco. La primera descripción de los LMF fue realizada por Poirier y Charpy, en 1899.

El cuerno posterior del menisco externo termina en la cara externa del cóndilo femoral interno por medio de dos ligamentos menisco-femorales [98][246][260]. También se han descrito

este tipo de ligamentos en el menisco interno y en el cuerno anterior del menisco lateral, pero son infrecuentes [246][260].

Los LMF se originan en el cuerno posterior del menisco externo y se insertan en el cóndilo femoral interno por delante (ligamento de Humphrey) y por detrás (ligamento de Wrisberg) del LCP. El LCP y los LMFs se combinan para formar el complejo del LCP [91]. El área de sección del LMF, anterior y posterior, son un 17,2% del complejo del LCP [162]. Heller y Langman [98] vieron que por lo menos uno de los LMF estaba presente en el 71% de los casos, pero otros autores encuentran uno de ellos entre el 93% y el 100% de las disecciones [6][22][87][98][125-127][186][246][260]. Los dos LMF están presentes en el 50% de las ocasiones [87][186][260]. En muchos estudios al realizar una visión anterior (artroscópica) o una disección anterior no se ve el LMF posterior o se puede confundir, como ha ocurrido, con las fibras oblicuas de inserción del LCP (Figura 15) (Figura 16) (Figura 17).

La función de los LMFs es importante en la transmisión de solicitaciones del compartimento tibio-femoral externo [4][82-88]. La inserción tangencial de los LMFs en el cuerno posterior del menisco aumenta las solicitaciones de cizallamiento que se transmiten al menisco externo [4][61]; es más, los LMFs previenen la extrusión excesiva del menisco bajo solicitaciones axiales en el caso de roturas del cuerno posterior del menisco externo [2][12][23][24][187].

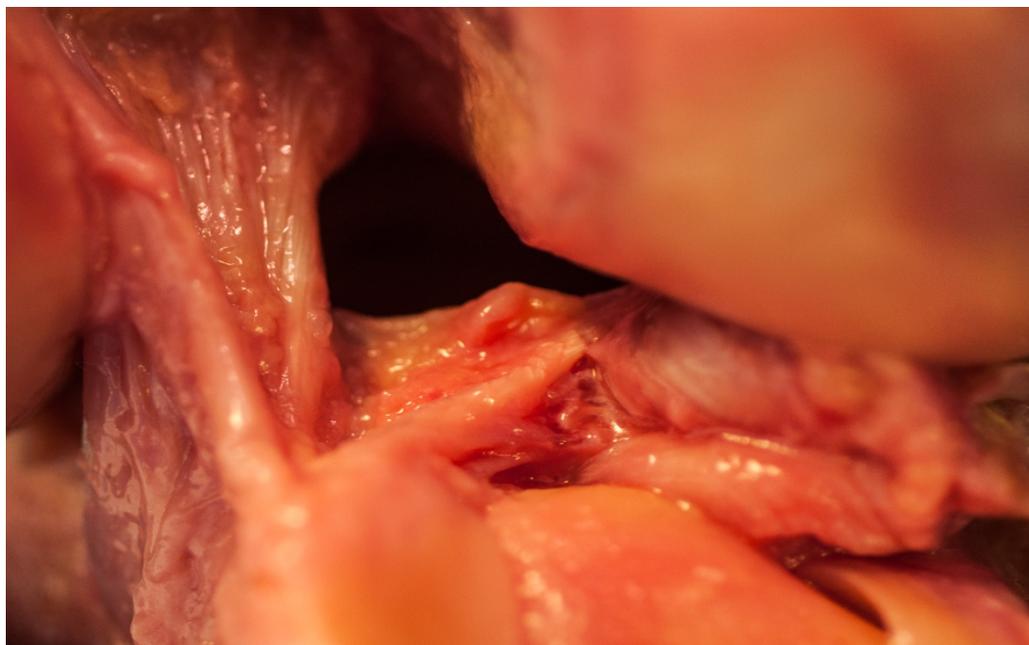


Figura 15. Inserción del menisco externo con los dos ligamentos menisco-femorales, anterior y posterior, y el LCP.



Figura 16. Ligamento menisco-femoral posterior, una prolongación del cuerno posterior del menisco externo



Figura 17. Ligamento menisco-femoral posterior y el LCP. Se ha desinsertado la cápsula para observar el desplazamiento del menisco externo traccionado por el LMFp

Biomecánica del LCP y del complejo menisco-capsular posterior

Cada vez más se cuestiona el concepto estructural del LCP formado por dos fascículos independientes en lugar de describirlo como una estructura multifibrilar compleja con un continuo

de fibras de diferente longitud y orientación que contribuye a estabilizar la rodilla en un momento determinado [202].

Gollehon et al., [75] demostraron que el LCP es la estructura fundamental para prevenir la traslación posterior de la rodilla sin tener efecto sobre el varo o la rotación externa. La principal acción del LCP es impedir la traslación posterior de la tibia durante todo el rango de movilidad, pero especialmente cuando la articulación alcanza los 90° de flexión. También actúa como un estabilizador secundario del varo y del valgo y, además estabiliza la articulación de la rodilla cuando se encuentra en rotación externa, a 90° de flexión. Por su parte, los ligamentos menisco - femorales contribuyen a resistir la traslación posterior, a 90° de flexión, pues refuerzan las fibras del LCP a la vez que estabilizan el menisco externo. El LCP está localizado ligeramente póstero-externo al eje de rotación y produce una rotación externa durante su desplazamiento posterior [69]; la rotación tibial será proporcional a la distancia entre el punto de inserción y el eje [69]. Para Ficat et al., [59], el LCP estabiliza el eje de rotación de la rodilla que pasa por su extremo superior por lo que lo considera como el pivot central del aparato estabilizador.

La biomecánica de los meniscos depende de su estructura, pero también de sus inserciones pues el menisco y los ligamentos meniscales forman una unidad funcional, el complejo menisco – ligamentos meniscales, que explica su respuesta a la carga [150]. Las fibras de colágeno circunferenciales del cuerpo meniscal se continúan con los ligamentos de inserción anteriores y posteriores que se anclan en el hueso subcondral por medio de capas de fibrocartílago calcificado y sin calcificar; estas capas diferenciadas producen cambios en la elasticidad entre el menisco y el hueso. Kohn y Moreno [123] estudiaron la anatomía de inserción del menisco en la rodilla de 46 cadáveres y encontraron que las áreas de inserción eran $139 \pm 43 \text{ mm}^2$ para la inserción anterior del menisco interno; $80 \pm 10 \text{ mm}^2$ para la inserción posterior del menisco interno; $93 \pm 25 \text{ mm}^2$ para la inserción anterior del menisco lateral y $115 \pm 51 \text{ mm}^2$ para la inserción posterior del menisco lateral.

El LCP no es isométrico [189][190] a pesar de que bastantes trabajos han buscado su punto de isometría y se ha dicho que en el fémur no existe; el área con la mínima longitud de fibras en relación con la inserción tibial del LCP se ha señalado que está en el borde proximal de la inserción del LCP, aproximadamente en la unión entre el techo y la cara medial de la escotadura intercondílea [79][189][218]. Sin embargo, se ha insistido en el punto isométrico para la reconstrucción del LCP, que se ha querido ver en el ángulo postero-lateral del área intercondílea, justo coincidiendo con la inserción del “fascículo posterior oblicuo” [156].

La mayoría de las fibras del LCP cambian su longitud durante la flexo-extensión y solo el 5-15% de la huella femoral es realmente isométrica [36][173][204]. Ogata y McCarthy [170] y Trus et al., [236] sitúan el punto isométrico en el borde póstero-superior de la inserción anatómica del LCP

mientras que Covey et al. [36-38] notaron que la isometría se encontraba en una zona donde se insertan una parte, relativamente pequeña, de fibras posteriores. Para Jeong et al., [108] el punto isométrico femoral está situado en la porción posterior de la escotadura intercondílea [36-38][148][149][181][236]. Mientras el fascículo AL ocupa gran parte del volumen del LCP, es el fascículo PM quien actúa como punto isométrico [108][149].

Wascher et al., [251] y Markolff et al., [149] midieron la tensión del LCP en la rodilla de cadáver, de 0° a 90°. Sin aplicar fuerzas antero-posteriores ni torsiones la tensión del LCP era de 10 N, es decir, aproximadamente un kilogramo. También Blacharski et al., [17] llegaron a la conclusión de que la acción de los ligamentos cruzados es pequeña y solo actúan en los extremos del rango de movilidad de la rodilla. No hay que olvidar que se refieren en condiciones de descarga y que la rodilla, durante la actividad diaria y, sobre todo, deportiva está sometida a sollicitaciones antero-posteriores y torsionales mayores [101][149][163][251].

Según Walker et al., [245], las fibras anteriores del LCA mantienen una longitud constante durante la flexión, por lo que serán éstas las que se aproximarán a un comportamiento isométrico, mientras que las fibras posteriores disminuyen un 15% su longitud. Con la rodilla en flexión, entre 105° y 140°, disminuye la longitud del LCA un 10%, mientras que el LCP lo hace entre los 120° y los 0°, siendo en la extensión completa un 80% más corto [79]. Con modelos experimentales, la longitud del LCA varía entre 3 y 6 mm durante un arco completo de movimiento [50][208].

Según DeFrate et al., [47] durante la flexión el LCP aumenta su longitud y su inserción tibial gira hacia dentro, sobre su eje longitudinal, unos 80° en el arco entre 0° y 90°. Jeong et al., [108] sostienen que la inserción femoral del LCP es más importante que la inserción tibial; cualquiera de los 6 fascículos que se insertan en la parte más posterior de la inserción femoral tienen propiedades isométricas similares.

Covey et al. (2004) demostraron que las fibras del LCP actúan de manera diferente dependiendo del ángulo de flexión y la carga a la que está sometida la rodilla. Durante la flexión inicial de la rodilla, la acción del m. cuádriceps produce una relajación de la mayoría de las fibras del LCP debido a la traslación anterior de la tibia que acorta la distancia lineal entre el origen y la inserción de las fibras del LCP. Covey et al., [36] no vieron el efecto contrario, es decir el engrosamiento de las fibras de las fibras del LCP cuando se llega a la extensión completa de la rodilla. Höher et al., [101] examinaron el efecto de la acción muscular sobre el LCP con diferentes ángulos de flexión y encontraron que las sollicitaciones sobre el LCP dependen de la acción de los m. isquio-tibiales, m. cuádriceps o la combinación de ambos que varía con los cambios del ángulo de flexión. La acción aislada de los m. isquiotibiales (40 N) reduce significativamente las sollicitaciones sobre el LCP cuando se contrae el m. cuádriceps con una tensión de 200 N.

Durante la rotación interna de la rodilla se produce un engrosamiento generalizado de las fibras del LCP, mientras que durante la rotación externa ocurre lo contrario [9][160][238]. Sin embargo, el engrosamiento de las fibras es lo que predomina a lo largo de todo el rango de movimiento, siempre en función del ángulo de flexión, variando según la zona de las fibras del LCP. Con un ángulo de flexión pequeño (<15°) la rotación interna relaja las fibras anteriores y centrales del LCP. Por el contrario, con un ángulo de flexión grande, la rotación externa engrosa el LCP comparado con la tibia en rotación neutra. Por esto Covey et al., [36] señalan que la rotación interna de la tibia con la rodilla muy flexionada es peligrosa, mientras que la rotación externa es problemática con ángulos de flexión superiores a 40° - 50°.

La rodilla normal tiene, aproximadamente, 10° de rotación externa tibial, entre los 30° y los 90° de flexión. Una rotura aislada del LCP produce un pequeño aumento de la rotación externa tibial de 15,1°, en flexión de 30°, a 16,2°, con 90° [211][212]. La rotación interna también está afectada por la rotura del LCP, aumentando hasta 2,6°, a 90° de flexión.

Estudios biomecánicos en el cadáver muestran un aumento significativo en la rotación externa después de la resección del LCP [71][73], pero también la sección del LCP conlleva un aumento de las rotaciones, tanto interna como externa [118-120][255].

La tensión soportada por el LCP es la mayor de todos los ligamentos de la rodilla, debido, sobre todo, a la densidad de fibras de colágeno y a su área de sección que es entre 120% y 150% mayor que la del LCA. El mayor contribuidor de las propiedades mecánicas del LCP es su fascículo AL que tiene una resistencia a la tensión de 1.620 N, comparado con los 285 N del fascículo PM [120][189], aunque debemos considerar que muchos de estos estudios se efectúan sobre cadáveres de edad avanzada por lo que hay que pensar que en pacientes jóvenes los valores deben ser más elevados [20]. En cuanto a la resistencia de cada fascículo, Fox et al., [66] señalan que las solicitaciones aumentan, tanto en el fascículo AL como PM, cuando la flexión aumenta aplicando tensiones posteriores sobre la tibia.

Skyhar et al., [221] en un modelo cadavérico, demostraron que aumenta la presión de contacto en el compartimento medial de la rodilla tras la sección del LCP. Pearsall et al., [180] señalan que tras la sección del LCP y su posterior reconstrucción también afecta a la deformación meniscal. La deformación meniscal no varía entre 0° y 30° de flexión entre el LCP intacto, roto o reconstruido únicamente lo hace entre los 60° y los 90° de flexión, ya que el LCP impide la translación posterior inicial de la tibia en los ángulos más extremos de la flexión [26][69][102]. Una rodilla con un LCP deficiente presenta un aumento de la traslación posterior que puede aumentar la deformación meniscal cuando el menisco es estirado en su inserción capsular [180].

El fascículo PM del LCP está sometido a mayor tensión y resiste la traslación tibial posterior a menores grados de flexión, este fascículo es un 50% más pequeño que el fascículo AL, así como también sus características mecánicas son inferiores a las del fascículo AL [92].

La función estabilizadora posterior del LCP va en aumento cuando la rodilla se flexiona procurando el 95% de la estabilidad posterior, entre 30° y 90° de flexión [26]. Con ángulos de flexión mayores de 30° actúa el LCP como el primer freno de la traslación posterior mientras que con ángulos de flexión inferiores a 30°, el LCP se ayuda de frenos y estabilizadores secundarios, especialmente el complejo postero-lateral [140].

Markolf et al., [147] señalan que la mayor traslación posterior es de 1,06 mm a 0° sin aumento apreciable a 90° de flexión. La inestabilidad posterior de la tibia, con la rodilla en extensión, después de seccionar el LCP es entre 1 y 3 mm; cuando comienza la flexión de la articulación, aplicando una fuerza posterior de 100 N, el desplazamiento es de 6,5 – 7,1 mm a 30° y entre 11,4 – 15,3 mm, a 90° [15][78].

La rotura completa del LCP aumenta la traslación posterior de la tibia entre 0° y 120° y aumenta la rotación interna entre los 90° y los 120° de flexión [120]. La magnitud de una traslación anormal y de la rotación dependen de si se rompen uno o los dos fascículos.

Cuando se efectúa la sección aislada del fascículo AL hay una traslación hacia posterior, a 90° de flexión, de 0,9 mm [120]. La rotura completa de los dos fascículos produce una mayor traslación posterior en el arco de flexión de 0° a 120° comparado con la sección aislada de cada uno de los fascículos con un aumento de 11,7 mm a 90° de flexión. También Harner et al., [92] encontraron que la sección completa del LCP aumentaba 11,4 mm de traslación posterior a 90° de flexión. De esto se deduce que una sección aislada de un fascículo del LCP provoca una significación clínica mínima si nos fijamos en la traslación posterior de la tibia.

Si se secciona el LCP aumenta la presión en el compartimento fémoro – tibial medial mientras que la sección del LCP junto con las estructuras postero-laterales incrementa la presión de la articulación patelo-femoral y la tensión del m. cuádriceps necesaria para mantener la rodilla estable [221]. Grood et al., [78] vieron, tras seccionar el LCP, que la traslación posterior era mayor a 90° de flexión y menor a 0° como consecuencia de la laxitud de la cápsula posterior. Tras seccionar las estructuras pótero-laterales la magnitud del varo y de la rotación externa de la tibia fueron mayores a 30° de flexión y mínimas a 90° de flexión. Cuando se cortan ambas estructuras aumenta la traslación posterior, el aumento de la traslación y de la rotación externa de la tibia fue más significativa a los 30° y 90° de flexión. Veltri et al., [240] demostraron que la sección combinada del LCP y de los ligamentos postero-laterales aumenta la traslación posterior, el varo y la rotación externa.

Wiley et al., [256] seccionando el LCP y cortando el complejo postero-lateral, en cadáveres, vieron un aumento de 10° de laxitud en rotación externa, con la rodilla a flexión de 90° y al ser menor que los criterios clínicos establecidos piensan que muchas de las roturas de LCP son infravaloradas.

Morrison et al., [159] calcularon las sollicitaciones que actúan sobre los ligamentos cruzados durante la marcha en llano (LCA: 169 N; LCP: 352 N); al subir (LCA: 67 N; LCP: 641 N) o bajar escaleras (LCA: 445 N; LCP: 262 N). Las pruebas ascendiendo (LCA: 27 N; LCP: 1215 N) y bajando una rampa de 9,5° (LCA: 93 N; LCP: 449 N). Estas tensiones aumentan proporcionalmente con la velocidad de la marcha. Como se puede observar, las sollicitaciones sobre el LCP son, generalmente, mayores que las que actúan sobre el LCA y, sin embargo, las roturas son menos frecuentes. El LCA supera al LCP únicamente en la actividad de bajar escaleras. En el resto de las actividades estudiadas las sollicitaciones que actúan sobre el LCA no superan los 20 kg lo que nos hace pensar que el LCA es una estructura biológicamente adaptada y mecánicamente muy bien diseñada para soportar la actividad normal, mientras que cuando aumentan las sollicitaciones sobre él, como ocurre en el deporte, o se somete a posiciones inadecuadas se puede encontrar muy cerca de su límite de rotura. Por su parte, el LCP es dos veces más resistente que el LCA y, por lo tanto, sus lesiones serán mucho más raras y la mayoría de las veces serán lesiones asociadas [111].

Volviendo al comportamiento de los fascículos del LCP, Ahmad et al., [1] estudiaron la orientación espacial de los fascículos del LCP y vieron los cambios de cada fascículo durante la flexo-extensión de la rodilla, cada fascículo ayuda a prevenir el desplazamiento posterior de la tibia. Papannagari et al., [176] vieron que los fascículos no actúan de una manera recíproca, pues lo hacen de forma conjunta y sinérgica durante todo el rango de movimiento [146]. Durante la flexión de la rodilla las fibras del LCP cambian de longitud y también de orientación [47][138][146].

El fascículo AL es más horizontal desde la extensión de rodilla hasta los 120°, a partir de este momento, el fascículo PM se dispone más horizontal y aumenta su contribución a la función del LCP [1]. Existe una relación recíproca en la tensión y relajación de cada uno de los fascículos del LCP estando el fascículo AL muy relajado con la rodilla en extensión y se tensa progresivamente cuando la rodilla está en flexión; con el fascículo PM ocurre lo contrario, está tenso con la rodilla en extensión y se relaja con la rodilla en flexión [189]. El fascículo AL absorbe entre el 50% y el 74% de las sollicitaciones aplicadas para forzar el cajón posterior, aplicada entre los 40° y los 120° de flexión. Por su parte, el fascículo PM absorbe el 57% de las tensiones de traslación posterior, pasados los 120° [26].

En un estudio con robot, Kennedy et al., [119] señalan que cada fascículo individualmente ayuda a evitar el desplazamiento posterior de la tibia y estabilizan la rodilla. Cada fascículo tiene

una significación pequeña pero significativa en resistir la rotación de la tibia y hay una relación de actuación de ambos fascículos durante todo el arco de movimiento.

También hay que considerar que, durante los últimos grados de flexión, el fascículo AL restringe la traslación proximal – distal e induce una traslación femoral posterior mientras que el fascículo PM puede ser más eficiente para resistir la traslación posterior de la tibia [6][47][176][262]. Como han visto Yue et al., [262] ambos fascículos son importantes para mantener la cinemática normal de la rodilla.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

El ligamento cruzado posterior es una estructura anatómica constante, de límites mal definidos y dimensiones muy variadas. Los ligamentos menisco-femorales son estructuras variables, de escasa frecuencia, que no responden a la definición de ligamento, pues son una prolongación del cuerno posterior del menisco lateral para estabilizar su anclaje.

Objetivos

Estudiar la presencia y dimensiones del ligamento cruzado posterior y ligamento cruzado anterior en rodillas humanas, tras disección anatómica y con la Resonancia Magnética

Estudiar la presencia y dimensiones de los ligamentos menisco - femorales en rodillas humanas, tras disección anatómica y en Resonancia Magnética

Establecer la relación entre las dimensiones del ligamento cruzado posterior y el ligamento cruzado anterior

Determinar la relación entre las dimensiones de las estructuras óseas de la rodilla y la longitud de los ligamentos cruzados, anterior y posterior, tras la disección anatómica.

Establecer el comportamiento del ligamento cruzado anterior con distintos grados de flexión (0°, 30°, 60°, 90° y 120°) de la rodilla tras la disección anatómica.

Buscar la relación del tamaño de los ligamentos cruzados, anterior y posterior, y los ligamentos menisco femorales con la estructura ósea de la rodilla.

Material y Metodología

Material

El estudio se dividió en dos partes, (1) el estudio anatómico sobre 30 especímenes de rodillas humanas, procedentes de cursos de habilidades quirúrgicas de la extremidad inferior, realizados en la facultad de medicina, de la universidad CEU – San Pablo, sin afectar a la articulación de la rodilla y (2) el análisis de 120 resonancias magnéticas de rodillas, analizadas en el Hospital de Manises, Valencia, que no padecían patología de la rodilla estudiada.

Estudio anatómico

Se disecaron 30 especímenes de rodillas humanas. En todas las piezas se siguió el mismo protocolo, disección de la piel y del tejido celular subcutáneo. Se abrió la cápsula con una incisión parapatelar para observar la existencia y visualizar el ligamento cruzado anterior (LCA). Una rodilla presentó un muñón en su lugar, por lo que desechamos la pieza; 16 eran del lado derecho y 13 del izquierdo.

Una vez confirmada la presencia del LCA, se procedió a la disección de la cara posterior, disecando y visualizando el ligamento cruzado posterior, limpiando su origen, trayecto e inserción y disecando, cuando estaban, los ligamentos menisco-femorales y el cuerno posterior del menisco externo.

Una vez visualizadas las estructuras objetivo de nuestro estudio, procedimos a medir la longitud y anchura del LCA y del LCP.

Cada medición de longitud se realizó tres veces, y se apuntó la media de las tres mediciones. La anchura se midió, en cada uno de los ligamentos, tres veces en la zona proximal y tres veces en la zona distal, apuntando la media de las tres mediciones. Para medir los LM-Fs, primero se midió el posterior, si se encontraba, y después de medir el LCP y seccionarlo se midió el LM-Fa, si se encontraba.

La longitud del LCA se midió con diferentes grados de flexión de la rodilla. Para ello colocamos la rodilla sobre un soporte monopódico y se fueron midiendo los grados de flexión con un goniómetro.

Una vez medidos los ligamentos cruzados, LCA, LCP y los LM-Fs, se seccionaron en su porción más proximal, tras lo cual extrajimos el cuerno posterior del menisco externo y los dos ligamentos menisco – femorales, apuntando su forma y su presencia.

En el fémur medimos la anchura máxima de la porción distal del fémur, el mayor diámetro antero – posterior, así como las anchuras del cóndilo interno y del cóndilo externo. En la escotadura intercondílea del fémur se midió su profundidad, su anchura máxima y su altura máxima.

En la tibia se obtuvo las dimensiones de su anchura máxima y su diámetro antero-posterior máximo.

Las mediciones se introdujeron en una base de datos para realizar una estadística descriptiva con la media aritmética, la desviación estándar y el rango de valores, máximo y mínimo.

Realizamos un estudio de la correlación entre algunos de los valores, la longitud del LCA y del LCP, así como la relación y ancho de los ligamentos cruzados con las dimensiones anatómicas óseas.

Estudio histológico

Tras extraer el cuerno posterior de los meniscos con los ligamentos menisco-femorales fueron tratados histológicamente, después de fijados en formaldehído al 4%, se incluyeron en parafina y se colocaron paralelos al plano de la mesa, en algunos casos los mantuvimos previamente a la inclusión con peso para intentar mantener el cuerno posterior y los ligamentos menisco-femorales en el mismo plano. Posteriormente fueron seccionados con cortes de 4 micras para su tinción en tricrómico de Masson.

De los 29 meniscos extraídos conseguimos cortar once de ellos e intentar determinar si los LMF son una estructura independiente o forman parte del propio menisco.

Estudio en Resonancia Magnética

Se analizaron la resonancia magnética (RM) de 120 rodillas, 51 correspondieron a mujeres y 69 a hombres, en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital de Manises, Valencia. Las imágenes se realizaron con una resonancia magnética de 1.5-T (Signa; GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA). A todas las rodillas se les realizó una RM en los planos coronal, sagital y axial. Se obtuvieron secuencias potenciadas en T1 y T2.

Las rodillas femeninas fueron 25 del lado derecho y 26 del lado izquierdo, la edad media fue 33 (DE: 14; rango: 12 – 63) años y las rodillas masculinas fueron 40

del lado derecho y 29 del izquierdo, la edad media fue 37 (DE: 13; rango: 9 – 65) años.

Las patologías asociadas se representan en la Tabla 1. Admitimos en el estudio tres casos de lesión condral en el cóndilo femoral interno, tres casos de luxación de rótula traumática sin precisar cirugía y dos casos de esguince del ligamento lateral interno tratados con métodos conservadores por considerar que no afectaban a las estructuras analizadas.

Como criterios de inclusión establecimos la presencia del LCA y LCP desde su inserción tibial hasta la inserción femoral. Como criterios de exclusión establecimos no haber sido sometido a cirugía de rodilla, no haber seguido un tratamiento conservador ni tampoco quirúrgico por un traumatismo de la rodilla y no presenciar en la RM patología degenerativa de rodilla.

Tabla 1

Patologías asociadas

| Patología | Casos |
|--------------------------------|-------|
| Sin patología asociada | 112 |
| Lesión condral cóndilo femoral | 3 |
| Luxación de rótula | 3 |
| Esguince LLI | 2 |

De cada RM se anotó la visualización de los ligamentos menisco – femorales, anterior o posterior, la longitud del LCA y del LCP, así como la anchura y la longitud del ligamento menisco-femoral anterior y ligamento menisco – femoral posterior.

Las mediciones se efectuaron colocando los cursores sobre el origen y la inserción distal del ligamento. Las mediciones, tanto de la longitud como de la anchura, de los ligamentos menisco-femorales se realizaron en la secuencia T1, en el

plano sagital. Para ello, colocamos el cursor en el origen del ligamento, trazando una línea hasta la inserción de este.

Para la medición de la anchura del ligamento se estableció el mismo método de medición, así como la misma secuencia y plano, midiendo en la porción más ancha del ligamento, de manera perpendicular a ambos extremos del ligamento.

Para la medición de la longitud de los ligamentos cruzados se realizaron en la secuencia T1 en el plano sagital. Para el LCA se colocó el cursor en el plano sagital buscando la visualización de las inserciones femoral y tibial trazando una línea recta. Para calcular las dimensiones del LCP se colocó el cursor en el plano sagital buscando las inserciones femoral y tibial. Dado que el LCP presenta una curvatura cóncava, se trazó con el cursor una línea paralela al ligamento hasta el ápex desde la inserción tibial y desde este punto se trazó en continuidad una línea hasta la inserción femoral del ligamento.

Todas las mediciones se obtuvieron en milímetros (mm).

Estudiamos los resultados globales, por sexo, según el lado y por grupos de edad (<20 años; 21 – 30 años; 31 – 40 años; 41-50 años y >51 años).

Estudio estadístico

Se hizo un estudio estadístico descriptivo de todas las variables (X, desviación estándar y rango).

Se efectuó un estudio comparativo entre sexos, lados y grupos de edad

Se estableció la relación en las piezas anatómicas entre la longitud y ancho de los ligamentos con las dimensiones de las variables obtenidas en la tibia y en el fémur.

Para estudiar las correlaciones realizamos el coeficiente de correlación de Pearson y en algunos casos se completó con la T de Student o el Chi-cuadrado, para en el caso, de que se encuentren analizar el intervalo de confianza para la diferencia de las medias.

La figura 18, es del tamaño de los ligamentos en resonancias magnéticas. Habría que mover la tabla de aquí y quitar la referencia.

También modificar el 180 por 170

Estudio anatómico

Se midieron en las 29 piezas anatómicas en todas ellas el LCA y LCP

El LCA presentó una longitud de 37,8 (DE: 5,4; rango: 30 – 47,1) mm y el LCP con una longitud media de 36,6 (DE: 3,7; rango: 29,0 -44,5) mm (Figura 18) (Tabla 2).

La anchura fue difícil de comparar por la forma cónica del LCA, que midió 14,9 (DE: 2,5; rango: 11,3 – 20,8) mm en su origen femoral y 12,7 (DE: 1,7; rango: 10,6 – 18,2) mm en su inserción tibial. La anchura del LCP fue 13,9 (DE: 2,2; rango: 10,5 – 19,6) mm en la inserción tibial (Tabla 2).

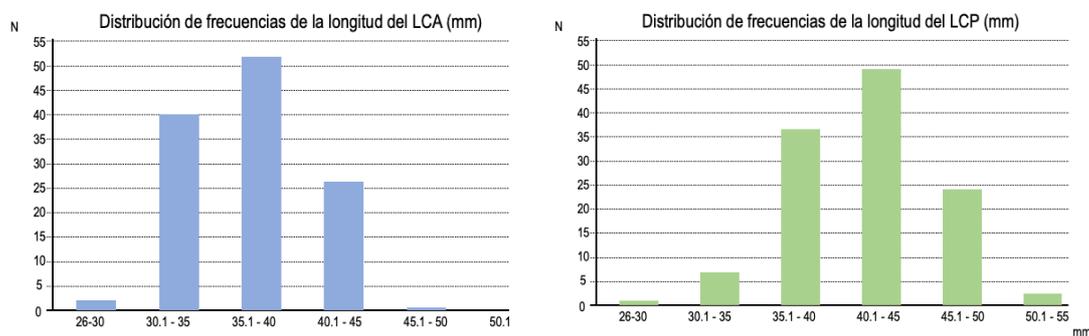


Figura 18. Distribución de frecuencias de la longitud (mm) a) del LCA, b) del LCP

La longitud del LCA se midió con diferentes grados de flexión de la rodilla (30°, 60°, 90°, 120° y 180°). Los resultados se presentan en la tabla 3.

La longitud aumenta progresivamente desde la extensión hasta la flexión máxima, analizando los porcentajes el LCA presentó un 30% de su longitud máxima hasta los 60°, aproximadamente la mitad de su longitud entre los 90° y los 120°, alcanzando su longitud máxima con la flexión no fisiológica de 170° (Tabla 3) (Figura 19) (Figura 20).

Tabla 2

Dimensiones anatómicas de los ligamentos cruzados y ligamentos menisco-

femorales (mm)

Aquí, solo se habla de los ligamentos

| | N | Ancho X (DE) Rango | N | Longitud X (DE) Rango |
|-----|----|---|---|-----------------------------|
| LCP | 29 | Tibial: 12,7 (1,7) 10,6 – 18,2 Femoral: 14,9 (2,5) 11,3 – 20,8 | | 36,6 (3,7) 29,00 – 44,5 |
| LCA | 29 | 14,9 (2,5) 11,3 – 20,8 | | 37,8 (5,4) 30,00 – 47,1 |

Las mediciones del ancho están al revés. El del LCP es 13,9 (no 14,9) en su origen tibial

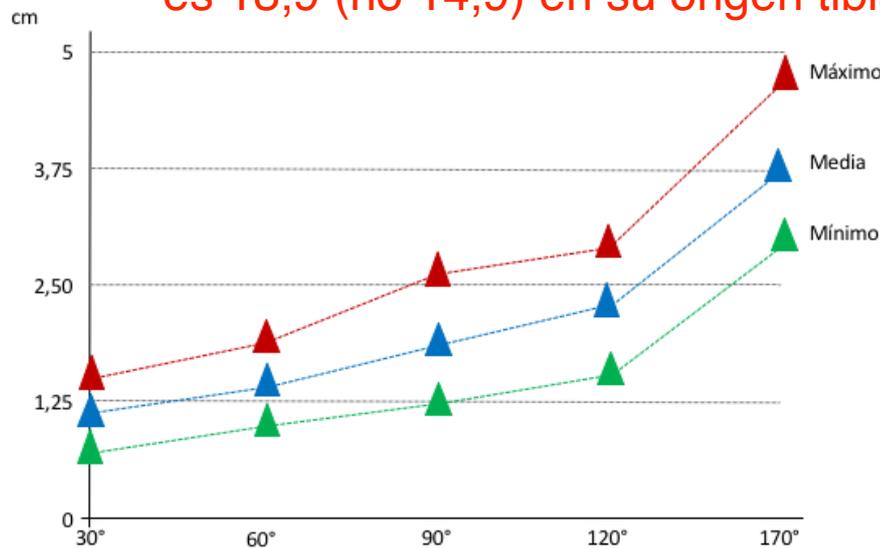


Figura 19. Longitud media del LCA con diferentes ángulos de flexión de la rodilla (triángulo azul), con el rango máximo (triángulo rojo) y mínimo (triángulo verde)

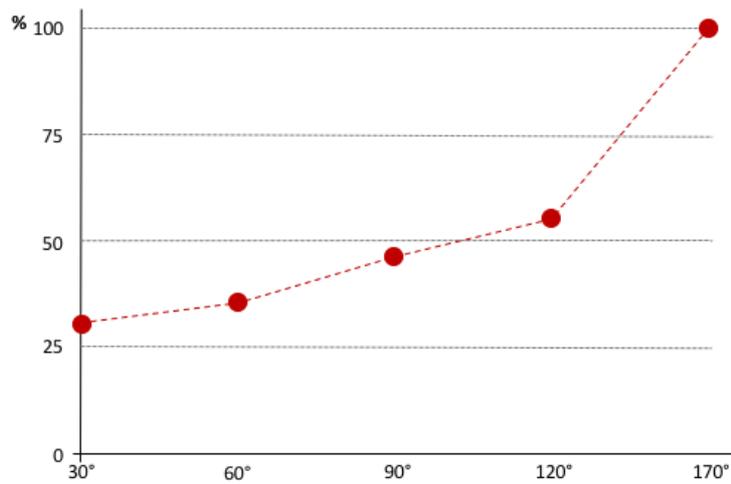


Figura 20. Evolución de la longitud del LCA porcentual en función del grado de flexión

Tabla 3

Evolución del porcentaje de longitud del LCA con diferentes grados de flexión

| Ángulo (°) | X (mm) | DE (mm) | % total | Rango (mm) |
|------------|--------|---------|---------|------------|
| 30° | 1,16 | 0,21 | 30,69 | 0,7- 1,46 |
| 60° | 1,35 | 0,22 | 35,71 | 1 – 1,85 |
| 90° | 1,76 | 0,32 | 46,56 | 1,18 - 2,6 |
| 120° | 2,09 | 0,36 | 55,29 | 1,53 - 2,9 |
| 170° | 3,78 | 0,54 | 100 | 3 – 4,71 |

De las estructuras óseas analizadas obtuvimos los siguientes resultados (Tabla 4), en el fémur encontramos un ancho máximo medio de 8,54 (DE: 0,48; rango: 07,7– 9,7) cm. Presenta un diámetro en el plano antero-posterior del cóndilo interno de 6,16 (DE: 0,58; rango: 4,7,7– 7,35) cm y en el cóndilo externo de 6,16 (DE: 0,78; rango: 4,16– 7,53) cm.

Con respecto a la tibia observamos una anchura máxima media de 7,22 (DE: 0,79; rango: 5,56– 8,16) cm. Se observó un diámetro en el plano antero-posterior máximo de 6,09 (DE: 0,99; rango: 5,03– 8,8) cm.

De la escotadura intercondílea observamos una profundidad media de 3,32 (DE: 0,36; rango: 07,7– 9,7) cm. La anchura de la escotadura fue de 2,06 (DE: 0,25; rango: 1,46– 2,4) cm y presentó una longitud de 2,59 (DE: 0,34; rango: 1,74– 3,23) cm

La longitud del LCA no guardó relación ni con la anchura máxima de la extremidad distal del fémur ($p=0,080$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo interno ($p=0,731$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo externo ($p=0,789$), ni con la anchura máxima de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,873$), ni tampoco con el diámetro máximo antero-posterior de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,216$).

La longitud del LCA no guardó relación con los parámetros de la escotadura intercondílea, ni con su profundidad ($p=0,876$), ni con la anchura ($p=0,587$), ni con la longitud de la escotadura ($p=0,125$).

Los ligamentos menisco femorales

Encontramos el ligamento menisco – femoral posterior (LMFP) en 21 (72,41%) rodillas y el ligamento menisco – femoral anterior (LMFA) en 6 (20,69%) rodillas (Tabla 5) y ambos en el 13,8% de las rodillas.

No encontramos correlación de la longitud del LMF posterior ni con la longitud del LCA ($p=0,471$), ni con la longitud del LCP ($p=0,742$).

Tabla 4

Medidas del fémur y de la tibia

| | X (cm) | DE (cm) | Rango (cm) |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|
| Fémur | | | |
| Ancho máximo | 8,54 | 0,48 | 7,7 – 9,7 |
| Diámetro A-P | | | |
| cóndilo interno | 6,16 | 0,58 | 4,7 – 7,35 |
| cóndilo externo | 6,16 | 0,78 | 4,16 – 7,53 |
| Tibia | | | |
| Ancho máximo | 7,22 | 0,79 | 5,56 – 8,16 |
| Diámetro AP max | 6,09 | 0,99 | 5,03 – 8,8 |
| Escotadura intercondílea | | | |
| Profundidad | 3,32 | 0,36 | 2,84 – 4,1 |
| Ancho | 2,06 | 0,25 | 1,46 – 2,4 |
| Longitud | 2,59 | 0,34 | 1,74 – 3,23 |

Tabla 5

Presencia de los ligamentos menisco-femorales (29 rodillas)

| | Total | Visibles | Porcentaje |
|--------------------|-------|----------|------------|
| Lig. M-F anterior | 29 | 6 | 20,69 % |
| Lig. M-F posterior | 29 | 21 | 72,41 % |
| Ambos | 29 | 4 | 13,8 % |

Histología de los ligamentos menisco-femorales

No fue fácil determinar la estructura de los LMFs, solo en algún caso pudimos observar como el cuerno posterior se bifurca, en algún caso, o continua con su estructura adelgazada, formando como un cordón y en otras ocasiones se detiene finalmente. Las pocas observaciones realizadas nos muestran que el LMF es una continuación del propio menisco (Figura 21) (Figura 22) (Figura 23) (Figura 24) (Figura 25) (Figura 26).



Figura 21. Cuerno posterior menisco externo, a) con dos ramas correspondientes al LMFa y LMFp, de consistencia dura equivalente a la del menisco, b) terminación del cuerno del menisco lateral con una única rama de consistencia dura, meniscal, correspondiente al LMFp.

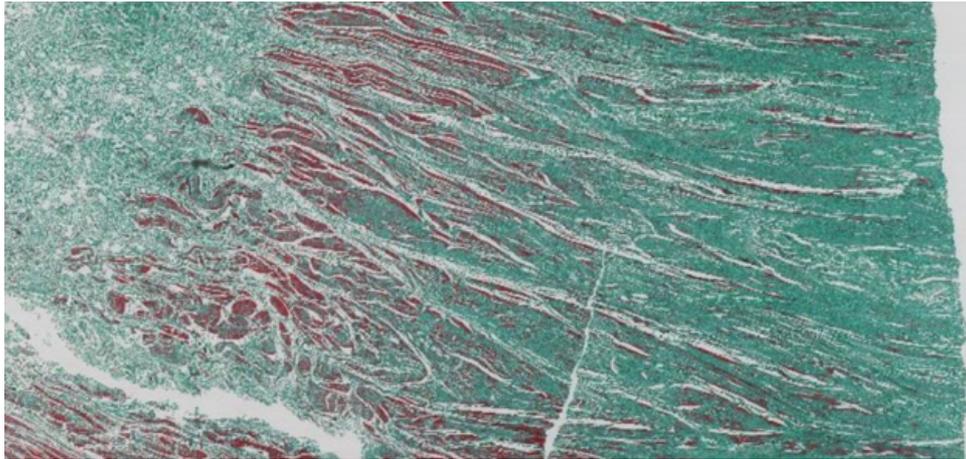


Figura 22. Cuerno posterior menisco externo #1. Terminación del cuerno posterior sin prolongación

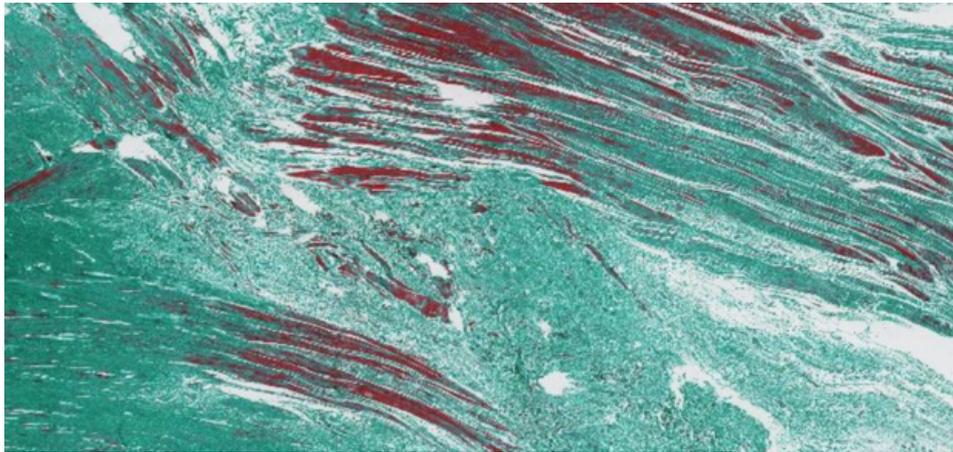


Figura 23. Cuerno posterior menisco externo #2. Terminación del cuerno posterior del menisco lateral con una única prolongación (LMFp). La porción anterior termina con una estructura fibrosa y vascular.

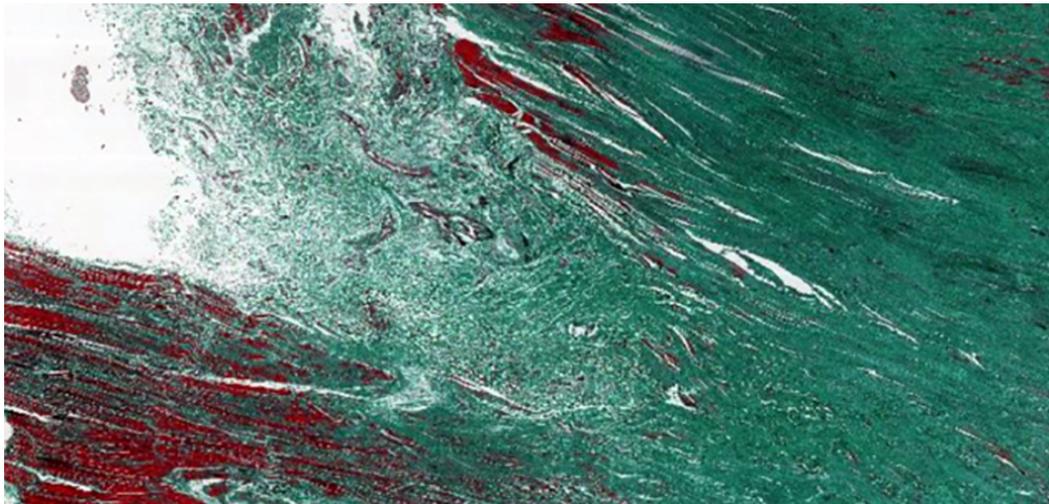


Figura 24. Cuerno posterior menisco externo #9. Finaliza el cuerno lateral del menisco lateral con dos prolongaciones. Se observa la bifurcación de las fibras hacia anterior y hacia posterior.

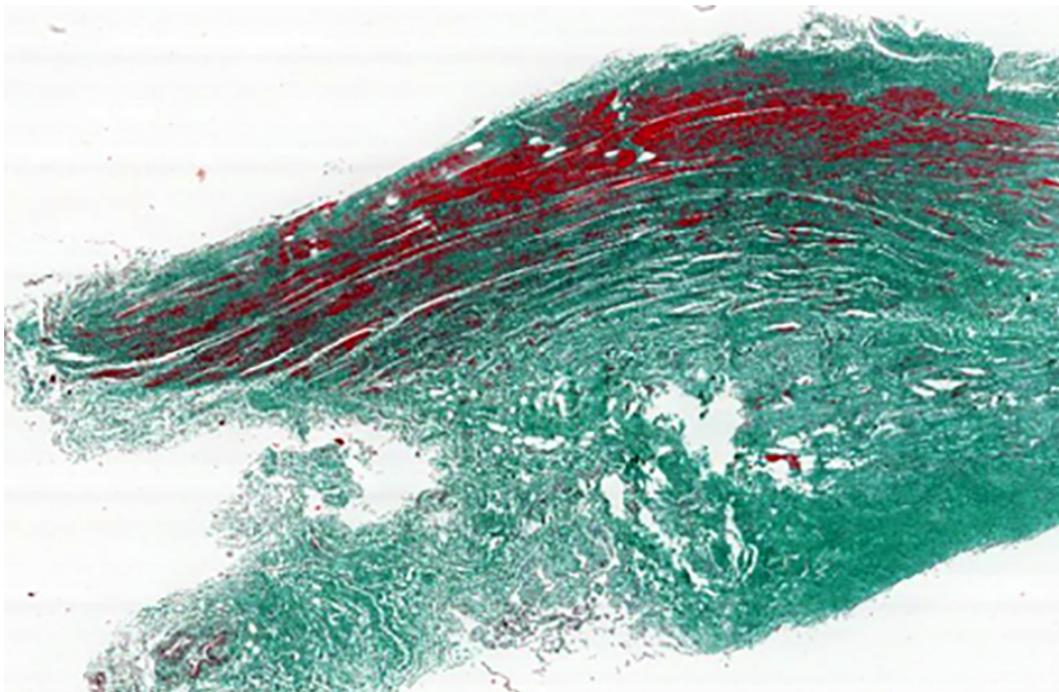


Figura 25. Cuerno posterior menisco externo #10, termina con una prolongación única, el LMFp

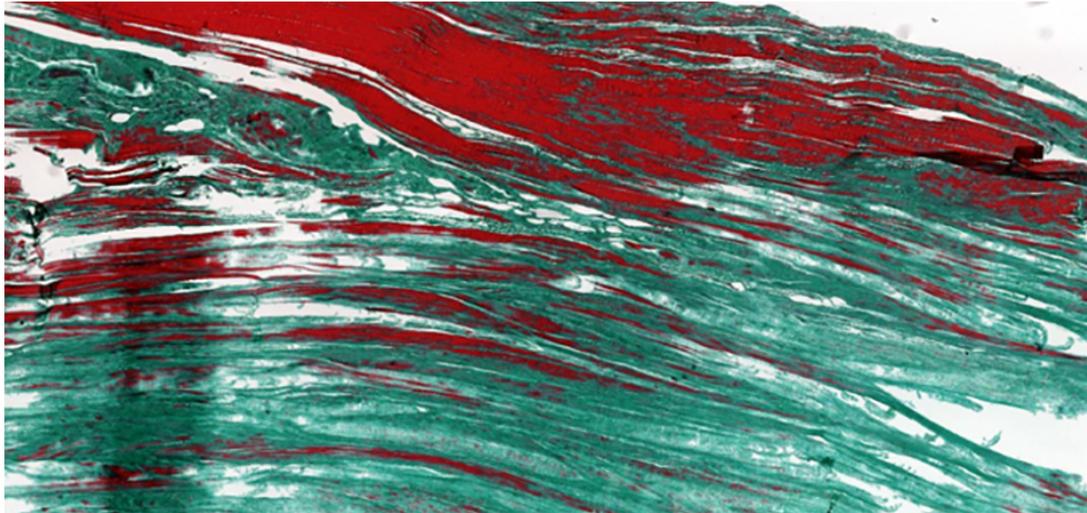


Figura 26. Cuerno posterior menisco externo #16. Bifurcación de las fibras meniscales hacia anterior y posterior para formar los dos LMFs

Estudio en la Resonancia Magnética

En las 120 RM estudiadas medimos el LCP, el LCA y, cuando estaban presentes también los LMF, anotando su presencia o ausencia. Las mediciones fueron globales (Tabla 6) y también según el sexo (Tabla 7) (Tabla 8), la edad (Tabla 9) (Tabla 10) y el lado (Tabla 11).

El LMFp presentó una longitud media de 24,71 (DE: 3,32; rango: 18,86 – 32,82) mm. El LMFa tenía una longitud media de 11,53 (DE: 3,75; rango: 7,57 – 21,24) mm. La anchura media del LMFp midió 4,51 (DE: 0,82; rango: 2,38 – 5,72) mm. La anchura media del LMFa fue similar, 4,51 (DE: 1,36; rango: 2,33 – 7,97) mm en su inserción tibial (Tabla 6).

La longitud media observada en el total de rodillas del LCP fue de 41,75 (DE: 4,64; rango: 28,48 – 53,38) mm, siendo la longitud media del LCA 36,92 (DE: 3,93; rango: 28,19 – 48,09) mm (Tabla 6).

En la RM fue más frecuente hallar al LMFp, en 67 (55,8%) ocasiones, que al LMFa, en 36 (30%) resonancias y ambos estuvieron presentes en 27 (22,5%) rodillas.

El LCA y el LCP fueron menores en tamaño en las mujeres que en hombres, aunque las diferencias no fueron significativas.

El ligamento menisco – femoral posterior fue más frecuente y más largo (31,4; DE: 4,8; rango: 22,5 – 42,6) mm) que el ligamento menisco – femoral anterior (20,6; DE: 3,8; rango: 16,3 – 25,6 mm).

Si separamos las mediciones de los ligamentos por sexo, en las mujeres tuvimos un LMFp con una longitud de 24,24 (DE: 3,67; rango: 18,66 – 32,83) mm y una anchura de 4,67 (DE: 0,6; rango: 0 – 0) mm. El LMFa presentó una longitud menor de 12,78 (DE: 2,91; rango: 9,36 – 18,26) mm, con un ancho inferior, de 3,63 (DE: 0,92; rango: 9,36 – 18,26) mm. De los ligamentos cruzados se observó una mayor longitud en el LCP, con una media de 39,88 (DE: 3,68; rango: 28,48 – 48,05) mm, mientras que el LCA presentó una longitud de 34,95 (DE: 3,28; rango: 28,19 – 42,11) mm (Tabla 7).

En cuanto a los hombres obtuvimos una media de la longitud del LMFp de 25,03 (DE: 3,07; rango: 20,09 – 32,75) mm y una anchura de 4,34 (DE: 1,01; rango: 2,38 – 5,72) mm. El LMFa presentó una longitud menor, 10,66 (DE: 4,15; rango: 7,57 – 21,24) mm, teniendo un ancho inferior al LMFp; pero, sin embargo, más ancho que

en las mujeres con un tamaño de 5,01 (DE: 1,33; rango: 2,7 – 9,7) mm. De los ligamentos cruzados se observó una mayor LCP con una media de 43,13 (DE: 4,8; rango: 30,07 – 53,38) mm, mientras que el LCA presentó una longitud de 38,37 (DE: 3,76; rango: 30,85 – 46,09) mm (Tabla 7).

Realizamos un estudio estadístico para analizar las posibles relaciones entre los parámetros analizados.

La longitud del LCP no guardó relación ni con la anchura máxima de la extremidad distal del fémur ($p=0,059$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo interno ($p=0,111$), ni con el diámetro antero-posterior del cóndilo externo ($p=0,122$), ni con la anchura máxima de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,211$), ni tampoco con el diámetro máximo antero-posterior de la extremidad proximal de la tibia ($p=0,569$).

La longitud del LCP no guardó relación con los parámetros de la escotadura intercondílea, ni con su profundidad ($p=0,456$), ni con la anchura ($p=0,565$), ni con la longitud de la escotadura ($p=0,214$).

Tabla 6

Dimensiones de los ligamentos cruzados y ligamentos menisco-femorales en Resonancia Magnética (mm)

| | N | Ancho X (DE) Rango | N | Longitud X (DE) Rango |
|------|-----|----------------------------|----|-------------------------------|
| LMFp | 20 | 4,51 (0,82) 2,38 – 5,72 | 67 | 24,71 (3,32) 18,86 – 32,83 |
| LMFa | 36 | 4,51 (1,36) 2,33 – 7,97 | 17 | 11,53 (3,75) 7,57 – 21,24 |
| LCP | 120 | | | 41,75 (4,64) 28,48 – 53,38 |
| LCA | 120 | | | 36,92 (3,93) 28,19 – 48,09 |

Tabla 7

Medidas RM en función del sexo

| | LMFp | | LMFa | | LCP | LCA |
|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | ancho | longitud | ancho | longitud | longitud | longitud |
| Femenino | | | | | | |
| | 10 | 27 | 13 | 7 | 51 | 51 |
| | 4,67 (0,6) 3,71- 5,53 | 24,24 (3,67) 18,66- 32,83 | 3,63 (0,92) 2,33-5,35 | 12,78 (2,91) 9,36-18,26 | 39,88 (3,68) 28,48- 48,05 | 34,95 (3,28) 28,19- 42,11 |
| Masculino | | | | | | |
| | 10 | 40 | 23 | 10 | 69 | 69 |
| | 4,34 (1,01) 2,38-5,72 | 25,03 (3,07) 20,09- 32,75 | 5,01 (1,33) 2,7-9,7 | 10,66 (4,15) 7,57-21,24 | 43,13 (4,8) 30,07- 53,38 | 38,37 (3,76) 30,85- 46,09 |

La presencia de los LMF, anterior y posterior, fue semejante en hombres y en mujeres (Tabla 8)

Tabla 8

Presencia de los ligamentos menisco-femorales en función del sexo

| Sexo | LMFp (%) | LMFa (%) |
|--------|----------|----------|
| Hombre | 57,97 | 33,3 |
| Mujer | 53 | 25,5 |

La presencia porcentual del LMFp fue superior en las edades más avanzadas, pero no encontramos diferencias significativas (Tabla 9).

Separando los resultados obtenidos de los ligamentos menisco-femorales por rango de edad (Tabla 10), observamos que, en un grupo de 21 pacientes menores de

20 años, el LMFp tenía una longitud de 23,37 (DE: 3,15; rango: 19,21– 29,34) mm y una anchura de 4,32 (DE: 1,07; rango: 2,38– 5,27) mm. Por su parte, el LMFa tenía una longitud de 10,67 (DE: 2,13; rango: 8,67 – 14) mm y una anchura de 4,82 (DE: 0,98; rango: 3,41 – 5,6) mm. El LCP presentó una longitud de 39,75 (DE: 4,79; rango: 28,48 – 48,09) mm y el tamaño del LCA fue de 35,69 (DE: 3,46; rango: 30,22–42,65) mm.

Tabla 9

Distribución porcentual del LMFp por grupos de edad

| Edad (años) | Rodillas (N) | LMFp (N) | % |
|-------------|--------------|----------|-------|
| <20 años | 21 | 11 | 52,38 |
| 21-30 años | 24 | 12 | 50 |
| 31-40 años | 26 | 12 | 46,15 |
| 41-50 años | 31 | 19 | 61,3 |
| >51 años | 18 | 13 | 72,22 |

En 24 pacientes con una edad comprendida entre 21 y 30 años, el LMFp tuvo una longitud de 25,37 (DE: 4,73; rango: 18,86– 32,75) mm y una anchura de 4,62 (DE: 0,34; rango: 4,21– 4,97) mm. La longitud del LMFa fue de 11,18 (DE: 4,72; rango: 8,73 – 18,26) mm con un ancho de 5,04 (DE: 1,92; rango: 2,85– 7,97) mm. El LCP presentó una longitud de 41,14 (DE: 5,26; rango: 34,2 – 53,38) mm y el tamaño del LCA fue 37,35 (DE: 4,4; rango: 28,78–49,09) mm (Tabla 10).

Entre 31 y 40 años, con un total de 26 pacientes, observamos que el LMFp tenía una longitud de 25,01 (DE: 3,34; rango: 20,52– 32,83) mm. En este grupo de edad no pudimos medir la anchura del LMFp. La anchura del LMFa fue de 4,36 (DE: 1,49; rango: 2,73– 6,63) mm. El LCP presentó una longitud de 43,53 (DE: 3,63; rango: 36 – 49,11) mm y el tamaño del LCA fue 37,66 (DE: 4,15; rango: 28,78–49,09) mm (Tabla 10).

En el grupo de edad comprendido entre los 41 y 50 años, con un total de 31 personas, obtuvimos datos muy similares al grupo anterior, con una longitud del

LMFp de 25,34 (DE: 2,94; rango: 20,09– 29,44) mm. En este grupo de edad no pudimos medir la anchura del LMFp así como la longitud del LMFa. La anchura del LMFa fue 4,62 (DE: 1,21; rango: 2,5– 6,68) mm. El LCP presentó una longitud de 42,06 (DE: 4,13; rango: 31,91 – 50,09) mm y el tamaño del LCA fue 36,93 (DE: 3,47; rango: 28,10–42,68) mm (Tabla 10).

Tabla 10

Medidas RM en función de la edad

| Edad | LMFp | | LMFa | | LCP | LCA |
|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| | ancho | longitud | ancho | longitud | longitud | longitud |
| <20 a | 4,32 (1,07) 2,38-5,27 | 23,37 (3,15) 19,21-29,34 | 4,82 (0,98) 3,41-5,6 | 10,67 (2,13) 8,67-14,4 | 39,75 (4,79) 28,48-48,09 | 35,69 (3,46) 30,22- 42,65 |
| N = 21 | 7 | 11 | 4 | 6 | 21 | 21 |
| 21-30 a. | 4,62 (0,34) 4,21-4,97 | 25,37 (4,73) 18,86-32,75 | 5,04 (1,92) 2,85-7,97 | 11,18 (4,72) 8,73-18,26 | 41,14 (5,26) 34,2-53,38 | 37,35 (4,4) 28,78- 49,09 |
| N = 24 | 4 | 12 | 6 | 4 | 24 | 24 |
| 31 - 40 a | - | 25,01 (3,34) 20,52-32,83 | 4,36 (1,49) 2,73-6,63 | - | 43,53 (3,63) 36-49,11 | 37,66 (4,15) 30,6-42,94 |
| N = 26 | 2 | 12 | 8 | | 26 | 26 |
| 41 - 50 a | - | 25,34 (2,94) 20,09-29,44 | 4,62 (1,21) 2,52-6,68 | - | 42,06 (4,13) 31,91-50,09 | 36,93 (3,47) 28,10- 42,68 |
| N = 31 | 3 | 19 | 11 | | 31 | 31 |
| >51 a | 3,96 (0,62) 3,33-4,71 | 24,04 (2,33) 19,19-27,2 | 3,86 (1,14) 2,33-5,4 | - | 41,83 (5,11) 30,07-51,02 | 36,67 (4,3) 30,28- 44,55 |
| N = 18 | 4 | 13 | 7 | 3 | 18 | 18 |

Un total de 18 rodillas medidas superaban los 51 años. En estas mediciones la longitud del LMFp fue 24,04 (DE: 2,33; rango: 19,19– 27,02) mm. La anchura del LMFp fue 3,96 (DE: 0,62; rango: 3,33– 4,71) mm. La anchura media del LMFa obtuvo

3,86 (DE: 1,14; rango: 2,33– 5,4) mm. El LCP presentó una longitud de 41,83 (DE: 5,11; rango: 30,07 – 51,02) mm y el LCA 36,67 (DE: 4,3; rango: 30,28–44,55) mm (Tabla 10).

En cuanto al lado (Tabla 11), observamos que en las rodillas derechas el LMFp presentó una longitud media de 24,24 (DE: 3,21; rango: 19,19– 32,83) mm. La anchura media de este ligamento fue 4,29 (DE: 0,91; rango: 2,38– 5,53) mm. Con respecto al LMFa se observó una longitud de 4 (DE: 3,63; rango: 7,57– 18,26) mm y una anchura media de 4,69 (DE:1,31; rango: 7,57– 18,26) mm. La longitud media del LCP en este lado fue 41,69 (DE: 4,78; rango: 30,07– 53,38) mm. La longitud media del LCA fue 36,87 (DE: 3,84; rango: 30,22– 49,09) mm. **No fue posible medir la anchura de dichos ligamentos**

En las rodillas del lado izquierdo el LMFp presentó una longitud media de 25,3 (DE: 3,42; rango: 18,86– 32,75) mm y una anchura de 4,82 (DE: 0,6; rango: 3,87– 5,72) mm. Del LMFa se observó una longitud de 11,52 (DE: 4,07; rango: 7,92– 21,24) mm y una anchura de 4,36 (DE: 1,41; rango: 2,33– 7,97) mm. La longitud del LCP fue 41,83 (DE: 4,5; rango: 28,48- 50,09) mm. La longitud del LCA medida fue 36,97 (DE: 4,07; rango: 28,19– 44,55) mm.

Estudiamos las correlaciones de las variables obtenidas en la RM.

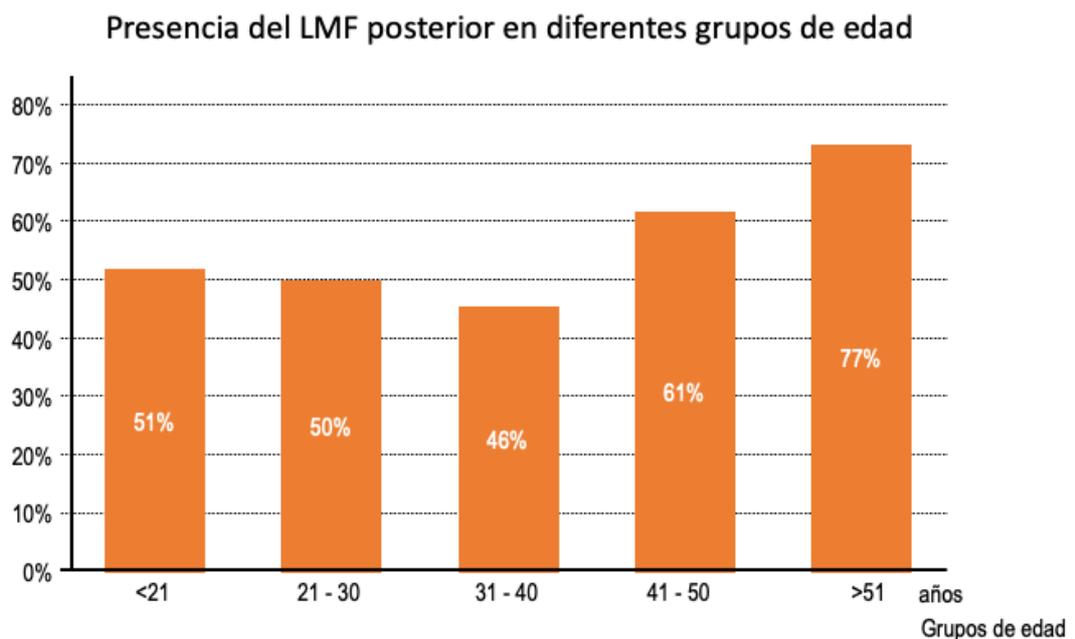


Figura 27. Visualización en RM del ligamento Menisco-femoral posterior según los grupos de edad

Esta figura esta relacionada con la tabla 9, en los menores de 20 años y los mayores de 51 el porcentaje no cuadra

Tabla 11

Mediciones según lado

| | LMFp | | LMFa | | LCP | LCA |
|-----------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | ancho | longitud | ancho | longitud | longitud | longitud |
| Derecho | 4,29 (0,91) 2,38-5,53 | 24,24 (3,21) 19,19- 32,83 | 4,69 (1,31) 2,72-6,68 | 4 (3,63) 7,57-18,26 | 41,69 (4,78) 30,07- 53,38 | 36,87 (3,84) 30,22- 49,09 |
| N = 21 | 12 | 37 | 16 | 8 | 21 | 21 |
| Izquierdo | 4,82 (0,6) 3,87-5,72 | 25,3 (3,42) 18,86- 32,75 | 4,36 (1,41) 2,33-7,97 | 11,52 (4,07) 7,92-21,24 | 41,83 (4,5) 28,48- 50,09 | 36,97 (4,07) 28,19- 44,55 |
| N = 24 | 8 | 30 | 20 | 9 | 24 | 24 |

Encontramos una fuerte correlación entre la longitud del LCA y la longitud del LCP ($p=0,000$).

No encontramos correlación de la presencia del LMFp ni con la edad ($p=0,307$), ni con el sexo ($p=0,779$), ni con el lado ($p=0,733$).

Tampoco vimos una relación entre la presencia del LMFa ni con la edad ($p=0,553$), ni con el sexo ($p=0,913$) ni con el lado ($p=0,082$).

La longitud del LMFa no guardó relación ni con la longitud del LCP ($p=0,925$), ni con el LCA ($p=0,456$).

Discusión

Para el diagnóstico por la imagen de una sospecha de lesión del LCP, inicialmente se solicitarán radiografías simples, con proyección ántero – posterior, en carga, a 45° de flexión en carga y con la proyección de Merchant. La proyección lateral es de interés para determinar signos degenerativos, especialmente en la articulación patelo-femoral y en el compartimento medial. Son de utilidad para determinar fracturas por avulsión y observar el cajón posterior, la decoaptación lateral y la pendiente tibial posterior.

Las radiografías funcionales permiten efectuar mediciones objetivas más exactas que con el KT-1000 o la exploración física. Están indicadas realizarlas aplicando una fuerza antero-posterior, simulando al cajón posterior, para forzar y detectar la “subluxación posterior fija” [14]. Con una rotura completa del LCP el desplazamiento alcanza 8 mm y más de 12 mm cuando hay lesiones asociadas [207]. Sin embargo, la sección del fascículo postero-medial en cadáveres produce leves desplazamientos posteriores, a 0° de 1,06 mm y a 10° de 0,83 mm y no hay cambios con otros grados de flexión, por lo que se ha cuestionado la necesidad de reconstruir dicho fascículo [147].

Pero, para observar el LCP, la RM es la técnica de elección por su alta fiabilidad, entre el 96% y el 100%. Presenta un LCP oscuro, tanto en T1 como en T2, y en forma de coma. Los fallos de diagnóstico suelen producirse en las lesiones crónicas, grado 1 y 2 (Figura 28) (Figura 29).

La reducción del índice del ancho del cóndilo femoral externo en relación con la longitud del LCP indica una elongación del ligamento. Sin embargo, en vista de la variación de tamaños de la articulación de la rodilla en la población, la longitud absoluta del LCP es una medición inexacta para diagnosticar su lesión [215]; por eso, en los pacientes con sospecha clínica de rotura del LCP y que tengan una RM normal, se debe medir la anchura del cóndilo femoral lateral [172].

La inserción, proximal y distal, del LCP

Se han utilizado diferentes métodos, tanto en radiografías como en el cadáver, para determinar la situación y extensión de las inserciones, femoral y tibial, del LCP. El método más utilizado es identificar el borde anterior del fémur y medir la distancia con la escotadura intercondílea (tangente a la línea de Blumensaat).

En los estudios anatómicos quitar el cóndilo femoral externo y desinsertar las fibras de los fascículos en su origen antes de marcar con un colorante o un contraste radiopaco para realizar una técnica de disección microquirúrgica pueden ser una técnica de interés para obtener mediciones más fiables [174].

Van Hoof et al., [239] confirman la gran diferencia entre las zonas de inserción femoral y tibial del LCA, siendo ésta última más pequeña. La inserción tibial del LCP se caracteriza por presentar una carilla con dos superficies con dos planos diferentes.



Figura 28. LCP y LMFa



Figura 29. LCP y LMFp

En una revisión de la bibliografía, Lee et al., [134] señalan que los estudios por la imagen no muestran los puntos de inserción y origen del LCP, ni tampoco distinguen entre sus dos fascículos.

Por ello, mantienen que en los trabajos sobre la reconstrucción del LCP no hay sistemas fiables para perforar y orientar los túneles y resulta importante determinar la situación de la fóvea del LCP, como marca anatómica, para disponer de técnicas fiables y reproducibles.

Apsingi et al., [8] utilizaron el método del reloj y encontraron mucha variabilidad en la altura y profundidad de la inserción de los fascículos en la escotadura. Además, este método convierte

una inserción tridimensional en bidimensional, despreciando una de las variables como es la profundidad de la inserción.

El patrón de inserción femoral es muy parecido en todas las piezas, mientras que la forma de la inserción tibial puede ser dividida en tipo parabólico y tipo transverso [97].

Girgis et al., [74] y Harner et al., [91] han defendido que la inserción femoral del LCP es sobre una superficie plana y en forma de media luna. Lopes et al., [142] en cambio, la definen como cóncava y con forma semicircular, en 15/20 fémures, y oval, en 5/20. Vieron, además, que los dos fascículos se localizaban en diferentes planos y había un cambio de pendiente entre la carilla para el AL y la del PM.

Hay discusión en relación con la forma, longitud y ancho de la inserción femoral del fascículo AL y PM y las dudas se plantean, en parte, por la interpretación del ligamento de membrana [97].

El área de sección del fascículo AL y del fascículo PM en sus inserciones, femoral y tibial, en el estudio de Osti et al., [174] y de Takahashi et al., [230] son similares excepto para el fascículo PM en su inserción distal que es la mitad (OSTI) comparado con los resultados de Takahashi et al., [230]. Harner et al., [91] encontraron valores superiores de las áreas de inserción comparado con el trabajo de Osti et al., [174].

Lorenz et al., [143] vieron que la inserción femoral de los fascículos, AL y PM, están al 62% y 51% respectivamente, de la profundidad de la escotadura intercondílea mientras que las alturas intercondíleas relativas de los dos fascículos se localizan en el 16% y el 35% respectivamente.

La inserción femoral del LCP

Poliacu-Prose et al., [184] concluyen que las zonas de inserción del LCA, tanto en la tibia como en el fémur, son prácticamente iguales, existiendo una relación, de sus superficies de inserción, entre ellas de 0,9. Sin embargo, la zona de inserción tibial del LCP es más pequeña que la femoral encontrando una relación entre ambas de 0,6. Para Blauth [18], las dos áreas son del mismo tamaño mientras que Girgis et al., [74] consideran que el área correspondiente al LCP es mayor.

El área de inserción del LCP en el fémur y en la tibia se han presentado en numerosos estudios. Son datos que varían mucho de unos autores a otros y se han realizado muchos intentos para describir la huella femoral de inserción del LCP. Estos estudios incluyen trabajos sobre cadáver [53][91][153][230]; otros estudios se han efectuado sobre radiografías marcando puntos [143] o con el TAC [76], apoyándose en la posición de la línea de Blumensaat. Ramme et al., [191] desarrollaron una metodología de imagen para determinar la inserción del LCP y la posición de los túneles en la reconstrucción del LCP.

Nuestros resultados los hemos realizado directamente sobre el hueso utilizando un pie de rey. No siempre la huella está bien marcada y no todos los huesos presentan las mismas características.

Los centros de los dos fascículos del LCP, en 20 rodillas, medidos por Morgan et al., [158], fueron en una rodilla flexionada a 90°, el fascículo AL estaba centrado “posterior” a la unión del cartílago articular del cóndilo medial femoral y la pared interna de la escotadura intercondílea.

El fascículo AL del LCP es el más importante tanto por su tamaño como por su acción [20][97][128][239], aunque analizando la huella de inserción, es semejante a la del fascículo PM [6][15][20][96][97][143][230] y el área de la inserción femoral tiene casi el doble tamaño que el área tibial, entre 112 -118 mm² [7][142].

Como referencia artroscópica [7][142] el fascículo AL, en el fémur, lo describen a 7,4 mm del punto troclear, 11 mm del punto del arco medio y a 7,9 mm del cartílago articular distal. Una prominencia ósea, llamada el “bundle ridge” (cresta de los fascículos) separa los dos fascículos [7]. Forsythe et al., [64] encontraron de forma constante la “cresta intercondílea medial” que determina la extensión proximal de la huella de inserción del LCP femoral. Sin embargo, van Hoof et al., [239] no vieron, en ninguna de sus piezas, la cresta bifurcada medial, señalando que el área de inserción es muy variable. La descripción más frecuente de la inserción del fascículo AL es, imaginando la esfera de un reloj, a la 1, centrado 5-8 mm profundo al límite del cartílago articular, pero con amplias variaciones, desde 4,5 a 13 mm.

La inserción femoral del fascículo PM ocupa una superficie de entre 60 y 90 mm² [7][131][142]. Anderson et al., [7] lo describen limitado proximalmente por la cresta intercondílea medial, por delante del fascículo AL y distalmente, cuando está presente, con el ligamento menisco-femoral anterior (Tabla 12).

Tabla 12

Área media de las zonas de inserción del LCP en el fémur y en la tibia [64][142][229]

| | Global | Fascículo AL | Fascículo PM |
|-------|-------------|--------------|--------------|
| Fémur | 209 (33,82) | 118 (23,95) | 90 (16,13) |
| Tibia | 243 (38,2) | 93,1 (16,6) | 150,8 (31,0) |

Las referencias artroscópicas, el centro de la inserción femoral del PM está a 11,1 mm del punto del arco medio y a 10,8 mm del punto posterior del borde del cartílago articular [7].

Takahashi et al., [230] encuentran que la inserción femoral del fascículo AL está 9,6 mm y el PM está a 10,6 mm del cartílago articular utilizando una línea paralela a la línea de Blumensaat.

Morgan et al., [158] señalan que el fascículo AL se origina a 13 mm posterior a la unión cartílago articular – pared intercondílea medial y 13 mm inferior a la unión cartílago articular – techo intercondíleo. El fascículo PM se origina a 8 mm posterior a la unión cartílago articular – pared intercondílea medial y 20 mm inferior a la unión cartílago articular – techo intercondíleo.

Girgis et al. () evaluaron la longitud de la inserción femoral del LCP que alcanzó un valor de 32 mm. Lo midieron como una línea recta entre los dos extremos más lejanos y despreciaron su formato oval. Cho et al., [30] consideraron, en la inserción, la superficie en forma de media circunferencia y obtuvieron un valor de 28,6 mm. Esta forma oval, de 30 mm, complica la técnica quirúrgica de la reconstrucción del LCP roto [30].

Durante la flexión la longitud del LCP no varía, pero aumenta la separación entre sus inserciones. Las fibras posteriores del LCP son una excepción ya que, durante la hiperextensión, están en tensión bien por el desplazamiento posterior del fémur o por la curvatura anterior del LCP.

Nakagawa et al., [163] estudiaron el LCP, con imágenes de RM, durante la flexión de la rodilla con una rotación tibial neutra en 6 cadáveres que fueron disecados y en 20 rodillas en descarga y 13 rodillas en cuclillas con voluntarios. El aspecto del ligamento fue el mismo en los tres grupos. En extensión el LCP es curvo cóncavo hacia delante, entre 60° y 120° de flexión, el LCP se estira completamente más allá de su longitud original, alcanzando la vertical, y, finalmente, cuando se llega a la extensión completa el ligamento se curva de nuevo, pero, en este caso, con una curva convexa hacia delante sobre el techo de la escotadura intercondílea.

Forsythe et al., [64] señalan, en 18 de 20 fémures, una huella de inserción del LCP en el fémur única con una cresta intercondílea medial, que determina el límite proximal de la huella de inserción del LCP, y una cresta de bifurcación medial, con una longitud media de $5,8 \pm 1,38$ mm y un ángulo de las dos vertientes, las superficies de inserción de ambos fascículos, de $140^\circ \pm 12,8^\circ$ [142]. En 8 de 20 fémures, observaron, además, una pequeña prominencia ósea entre las inserciones de los fascículos AL y PM del LCP [64]. La superficie media de inserción del LCP en el fémur fue de $209 \pm 33,82$ mm²; la superficie de inserción media del fascículo AL fue $118 \pm 23,95$ mm² y del fascículo PM de $90 \pm 16,13$ mm² [64][142].

Harner et al., [93], con un sistema de medición láser (error: 0,8 mm), determinó que la superficie de inserción del LCP era de 128 ± 22 mm², sin encontrar diferencias entre las superficies de los fascículos AL y PM. Por su parte Takahashi et al. [230], por medio de fotografías, señalaron que el área de inserción del fascículo AL fue de $58 \pm 25,4$ mm² y el del PM $64,6 \pm 24,7$ mm². La huella femoral tenía una superficie, para el fascículo AL, de $78,53 \pm 28,38$ (rango: 30,53 – 139,5) mm² para el fascículo PM, de $72,71 \pm 28,39$ (rango: 30,53 – 142,56) mm² para el fascículo PM, con una

diferencia significativa ($p < 0,05$). Los diámetros de cada superficie fueron $9,84 \pm 1,82$ (rango: 6,23 – 13,33) mm para el fascículo AL y $9,44 \pm 1,89$ (rango: 6,23 – 13,47) mm para el PM [144].

La longitud de la “cresta intercondílea medial” es de $14,24 \pm 2,3$ mm y la distancia media entre la cresta y el punto central del LCP, el fascículo AL y el fascículo PM fue de $4,36 \pm 0,61$, $3,63 \pm 0,4$ mm y $3,13 \pm 0,4$ mm, respectivamente [63][64][142] (Tabla XX). Harner et al., [91] y Morgan et al., [158] señalaron que la inserción femoral del LCP tiene una longitud media de 32 mm, de anterior a posterior.

La distancia media entre los puntos centrales de los fascículos fue de $11 \pm 1,18$ mm. Con la rodilla a 90° de flexión, la distancia más corta media de los centros del fascículo AL y PM al borde del cartílago articular fue de $7 \pm 1,02$ mm y $8 \pm 0,99$ mm [142].

En la bibliografía se señala que la distancia del fascículo AL hasta el techo de la escotadura es de 13 a 4,8 mm y la distancia del fascículo PM hasta el techo es de 20 a 11,4 mm [7][142][158][230]. Estas diferencias son frecuentes ya que son valores absolutos y se ven influidas por el método, el evaluador y la pieza [30].

La distancia desde el fascículo AL al cartílago anterior es de 13 a 7 mm mientras que para el fascículo PM la distancia es de 10,6 a 8 mm.

Westermann et al., [254], con un sistema propio de imagen tridimensional, concluyeron que el punto medio del centro del LCP está localizado un 25% por debajo del techo de la escotadura y en el 38% de la porción anterior del cóndilo.

La localización de las huellas de inserción del LCP se han descrito de manera muy diversa [53][153][158][230][257]. Wind et al., [257] consideraron el centro de la huella a 1 cm proximal del cartílago articular. Por su parte, Takahashi et al., [230] midieron la distancia entre los centros de los fascículos AL PM y el borde anterior del cartílago articular utilizando una línea paralela a la línea de Blumensaat. La distancia media fue de 9,6 mm y 10,6 mm para el fascículo AL y PM respectivamente. Sus resultados demostraron que el centro del fascículo AL se origina 13 mm por detrás y 13 mm por debajo del borde del cartílago articular mientras que el centro del fascículo PM se origina 8 mm posterior y 20 mm inferior al borde del cartílago articular.

Narvy et al., [164] vieron que la huella del fascículo AL está al 40% del borde anterior del cartílago y al 14,5% de la tangente; el PM está al 56% y al 36,5% respectivamente. Proponen que los cirujanos que efectúen una reparación de la rotura del LCP con una técnica de doble fascículo, deben hacer los túneles femorales, si no quieren utilizar fluoroscopio, a 8 mm del borde cartilaginoso anterior (27,5% de la línea de Blumensaat) y a 4,7 mm tangente de la línea de Blumensaat hacia la escotadura (22,5% de la distancia a la tangente). El PM debe colocarse a 11,9 mm del borde de cartílago anterior (42,5%) y 10,9 mm a lo largo de la tangente (57,5%).

La orientación de la escotadura femoral, en el plano coronal es, aproximadamente, entre las 4 y las 12 horas en la rodilla derecha y entre las 8 y 12 en la rodilla izquierda, aunque la porción supero-externa de la huella de inserción cruza frecuentemente el vértice de la escotadura [20][153]. También Edwards et al., [53] utilizaron el sistema del reloj y el centro de una circunferencia que remarca la cara posterior del cóndilo interno como referencia. Los centros de las superficies de inserción del LCP se encontraron en posiciones muy diferentes, según se midiesen paralelos al techo de la escotadura intercondílea femoral o a la diáfisis femoral. En el fémur, el centro del fascículo AL estaba, de media, 7 ± 2 mm del borde del cartílago articular, a las 10:20±00:30 horas, y el centro del fascículo PM estaba 10 ± 3 mm del cartílago articular, a las 08:30±00:30 horas. La inserción femoral del LCP se extiende desde aproximadamente de las 12 a las 5 horas, en la escotadura intercondílea derecha, con la rodilla a 90° de flexión y vista de distal a proximal [53][146].

Con TAC, Greiner et al., [76] encontraron, en la inserción del LCP, que la distancia al borde anterior del cartílago articular es de 18,7 mm y la distancia a la línea de Blumensaat de 8,9 mm. Osti et al., [174], con RX, encuentran distancias de 20,5 mm y 3,3 mm para el fascículo AL, y 30 mm y 9,5 mm para el fascículo PM, muy semejantes a los datos presentados por Takahashi et al., [230] en su estudio anatómico.

Estas valoraciones como se puede comprobar muestran grandes discrepancias y tampoco consideramos que sean de ninguna utilidad en la clínica ni en la cirugía.

La inserción tibial del LCP

La inserción tibial del LCP también tiene controversias en cuanto a la forma y el área [53][151] [156] [230]. La inserción tibial del LCP ocupa la fosa intercondílea posterior [53]. Para Amis et al., [6] visto por su cara posterior, la inserción tibial del LCP se extiende sobre el borde posterior de la cara posterior de la tibia. La superficie más proximal es la inserción de las fibras del fascículo AL. La inserción del fascículo PM son las áreas más posteriores, proximales y distales. Para Moorman et al., [156] la inserción tiene lugar 7 mm por delante de la cortical posterior de la tibia a lo largo de la carilla para el LCP. Como hemos señalado se clasifica según dos patrones, parabólico o transverso [97].

Según Anderson et al., [7] la inserción tibial ocupa 88 mm^2 y está limitada medial y posterior por el fascículo PM.

El centro de la inserción tibial del fascículo AL está a 6,1 mm de las fibras del cuerno posterior del menisco interno [7] [129].

La inserción tibial del PM tiene un área aproximada de 105 mm² y es más compacto que el fascículo AL. El fascículo PM tiene forma de abanico en su inserción a lo largo de la cara pósterointerna del fascículo AL y por eso se describe, en ocasiones, que tiene “dos brazos” [7]. El centro del fascículo PM se encuentra a 3,1 mm por fuera del surco medial de la superficie articular del platillo tibial interno [7].

La distancia vertical del platillo tibial es de 1,6 mm [76], 0 mm, para el AL y 4,6 mm para el PM [230]; 1,5 mm y 6 mm [229] y 5,3 mm y 12,8 mm sobre imágenes digitales y 3,5 mm y 8,3 mm en R-X [174] y, sobre radiografías, 8 mm [188].

La inserción tibial del LCP se realiza en un área localizada a 1,5 cm de la superficie articular, con un área cuadrada de 153±37 mm² delimitada por el borde posterior de la tibia y las inserciones posteriores de los meniscos interno y externo [193]. El área comprende una depresión entre el borde posterior entre los márgenes de los meniscos, interno y externo, y se corresponde con el centro de los platillos tibiales en el plano coronal [53][217][230].

Según Luo et al., [144] la distancia vertical del centro de la inserción tibial del AL a la superficie articular de la tibia era 3,25±1,2 (rango: 1,6 – 6) mm para el fascículo AL y 6,91±1,57 (rango: 3,6 – 9,2) mm para el fascículo PM. La distancia entre los dos centros de la inserción tibial de los dos fascículos del LCP fue 7,18±0,96 (rango: 5,3 – 9) mm.

La superficie de la huella de inserción del AL fue 83,99±23,29 (rango: 39,52 – 141,55) mm² para el fascículo AL y 76,01±15,76 (rango: 49,03 – 102,7) mm² para el fascículo PM, con una diferencia significativa. En relación con las áreas, los diámetros de inserción fueron 10,24±1,45 mm para el fascículo AM y 9,79±1,04 (rango: 7,9 – 11,44) mm para el fascículo PM.

Medimos longitudes y anchuras buscando conocer sus dimensiones y las posibles correlaciones entre ellos, obviando las superficies de inserción por las dificultades que presentan.

En nuestro estudio medimos la longitud de los dos ligamentos cruzados observando que tienen longitudes semejantes, el LCA tuvo una longitud media de 37,8 (±5,4) mm, con un rango entre 30 mm y 47,1 mm. Por su parte, el LCP presentó una longitud media de 36,6 (±3,7) mm y un rango entre 29,0 mm y 44,5 mm. Las longitudes obtenidas en RM fueron muy parecidas a las mediciones anatómicas para el LCA, 36,92 (±3,93) mm, con valores entre 28,19 mm y 48,09 mm, mientras que fueron superiores en el LCP, con un valor medio de 41,75 (±4,64) mm y valores entre 28,48 mm y 53,38 mm. Esto puede ser debido a la mayor muestra disponible o a la técnica de medición, pues en la RM medimos el trayecto curvo del ligamento mientras que en la disección anatómica lo medimos en línea recta. Encontramos una fuerte correlación entre la longitud del LCA y el LCP (p=0,000).

Las mediciones no siempre son fáciles de efectuar por la divergencia de las fibras, especialmente del LCA, de proximal a distal, que le da un aspecto cónico. Más que considerar fascículos deberíamos pensar en fibras de un ligamento con distinta orientación. En este aspecto los ligamentos cruzados son diferentes, uno de forma cónica, como hemos dicho del LCA, y el LCP una banda fibrosa rectangular gruesa, dispuesta en un plano oblicuo que también permite que sus fibras tengan una orientación diferente y se puede hablar de sus dos fascículos. Cuando los diferentes autores hablan de fascículos habría que hacer referencia a la orientación de las fibras. Además, el LCP tiene otros inconvenientes a la hora de su medición, uno es el abombamiento con convexidad posterior al pasar por el borde posterior de la meseta tibial y otra que posee una inserción distal, sobre la cara posterior de la extremidad posterior de la tibia, poco definida.

La anchura fue más difícil de comparar por la forma cónica del LCA, que midió 14,9 (DE: 2,5; rango: 11,3 – 20,8) mm en su origen femoral y 12,7 (DE: 1,7; rango: 10,6 – 18,2) mm en su inserción tibial. La anchura del LCP fue 13,9 (DE: 2,2; rango: 10,5 – 19,6) mm.

En las rodillas diseccionadas medimos los cambios de longitud del LCA, viendo como aumenta un 30% de su longitud con 30° de flexión que apenas varía con los 60° (35%), aumenta casi hasta la mitad de su longitud (46%), a los 90° y aumenta muy poco (55%) con los 120°, para finalmente duplicar su longitud (100%) con la hiperflexión (170°).

En cuanto a las medidas óseas realizadas no hemos encontrado ninguna relación con la longitud de los ligamentos cruzados. Sonnery-Cottet et al., [224] asocia un mayor riesgo de rotura del ligamento cruzado anterior cuando existe un aumento de la pendiente tibial posterior y un estrechamiento de la escotadura intercondilea y existe un riesgo de rotura de LCA, del 80%, cuando está presente uno de estos dos factores. Meister et al., [152] no encontraron correlación entre el aumento de pendiente tibial posterior y la rotura del LCA. Sin embargo, se ha asociado el aumento de la pendiente tibial posterior con un riesgo de rotura mayor en la mujer, pero no en el hombre. Simon et al () correlacionó el estrechamiento de la escotadura intercondílea con una orientación más vertical del LCA y, por tanto, con mayor riesgo de ruptura. Otros autores como Shelbourne et al., [214][216] no encontraron relación entre el estrechamiento de la escotadura intercondílea y el riesgo de rotura del LCA.

Los ligamentos menisco - femorales

Los LMF son estructuras estabilizadoras y protectoras del compartimento menisco- condíleo postero-lateral de la rodilla y un limitador secundario de la traslación tibial hacia posterior [35]; estos ligamentos completan los fascículos individuales del LCP con una función secundaria en la estabilidad de la rodilla [87].

Los dos LMF conectan el cuerno posterior del menisco lateral a la cara interna del cóndilo interno del fémur como estructuras independientes con diferentes inserciones meniscales y femorales [87-89] [157]. El LMFa pasa por delante del LCP y se inserta distal muy cerca del límite de la superficie del cartílago articular y una porción de sus fibras se entremezclan con las fibras del LCP en su inserción femoral [5]; el LMFp transcurre por detrás del LCP y se inserta más proximal, muy cerca del techo de la escotadura intercondílea, pero sus fibras no se mezclan con las fibras del LCP.

En referencia a la longitud de los dos LMF, uno es siempre mayor cuando coexisten los dos [87][186][260].

El LMF anterior, también conocido como ligamento de Humphrey, y el LMF posterior, o ligamento de Wrisberg, están presentes en el 75% y en el 60% a 80% de las rodillas [6][7][87][230]. El LMF anterior tiene una inserción femoral de 35 mm² y una inserción tibial que se asocia al cuerno posterior del menisco externo [6][7]. La inserción femoral es variable con el 80% de los especímenes uniéndose al fascículo PM y el 20% restante al fascículo AL del LCP [7].

El LMF posterior tiene una superficie de inserción similar, 31 mm², y se localiza proximal a la cresta intercondílea medial y al fascículo PM [7]. El fascículo PM también se inserta distal al cuerno posterior del menisco externo [6]. Son múltiples los estudios que hacen referencia a la presencia de los ligamentos menisco-femorales en los estudios de resonancia magnética, con una presencia entre el 78% y el 87% de al menos uno de los ligamentos [31][87][95][134].

Las fibras oblicuas del LCP se denominaron “LMF posterior falso” ya que algunos trabajos [198] las confunden con un LMF. Estas fibras también se confunden con frecuencia en RM o son consideradas como una variación anatómica del LCP [29] y está presente en el 20% de los casos.

Para Kaplan et al., [114] el LMFa se origina del LMFp, como si fuera su rama anterior; Gupte et al., [87] los consideran estructuras independientes que coexisten en el 50% de las rodillas, con orígenes e inserciones individualizados. Lahlaidi y Vaclavek [126] proponen una explicación embriológica para comprender las variaciones anatómicas observadas, sugiriendo que el sitio del LCP durante el desarrollo embriológico determina la presencia y posición de los LMF. Para nosotros no son ligamentos proiamente dichos, los consideramos después de los cortos estudios histológicos efectuados prolongaciones del cuerno posterior del menisco externo.

Los LMF anterior y posterior se encuentran más frecuentemente en pacientes jóvenes lo cual puede indicar que son estructuras que sufren lesiones durante la vida que las desinserta del cóndilo femoral y lleva a la degeneración y atrofia [85][87]. Se han señalado diferencias raciales [85], Además, el LMF posterior se ha encontrado en cuadrúpedos y en humanos mientras que el anterior

no se ha visto nunca en cuadrúpedos [83][87]. No hemos encontrado correlación de la presencia de los LMF con la edad, ni con el lado ni tampoco con el sexo.

Le-Minor [133] señala que mientras el LMFp está presente en todos los animales, como la oveja, perro y caballo, y está ausente, en ocasiones, en el hombre. Por ello, señala que el LMFp en el hombre es una estructura recesiva y vestigial mientras que el LMFa es progresiva, pero para llegar a esta conclusión sería necesario un estudio más serio y con mayor número de muestras.

En los LMF, en perros, se encontraron terminaciones de mecanorreceptores [167] que sugieren una función en la propiocepción y requiere un estudio en el hombre.

El cuerno posterior del menisco externo tiene una doble inserción: la porción anterior se inserta en la eminencia intercondílea tibial mientras, en la mayoría de los casos, la porción posterior se inserta en el fémur por medio de los LMFs, tirando el cuerno posterior del menisco lateral medialmente y ligeramente hacia delante. Para algunos autores esta acción sirve para aumentar la congruencia menisco – tibial y el cóndilo femoral lateral durante el movimiento de flexo-extensión de la rodilla [44][45][84-88][134][157]. Last [132] propuso que el menisco externo tiene menos roturas por la movilidad que le produce el LMF.

Los LMF trabajan de una manera recíproca durante la flexión y la extensión: el LMF anterior desarrolla tensión durante la flexión y el LMF posterior lo hace durante la extensión [157]. El LMFp es grueso con la rodilla extendida y adelgaza con la rodilla en flexión, mientras que el LMFa es delgado con la rodilla en extensión y engrosa con la rodilla en flexión [6].

El cajón posterior está reducido en aquellas roturas del LCP en las que el LMFp está presente e intacto [33][125]; por eso se ha sugerido que los LMFs son limitadores secundarios de la traslación posterior de la tibia

Los LMFs contribuyen al 30% de la resistencia del cajón posterior y puede alcanzar el 70% cuando hay una rotura del LCP. En estas condiciones los LMFs ayudan a estabilizar la rodilla con un LCP deficiente y pueden ser útiles cuando se efectúa un tratamiento conservador [5][84][86][157] y ayudan en la estabilización y reparación de rodillas que precisan cirugía del LCP [33].

Son estabilizadores secundarios de la traslación posterior de la tibia [85] y también se ha sugerido que controlan el movimiento del cuerno posterior del menisco lateral durante la flexión de la rodilla [138], es más, actúan como una férula ante una rotura aislada del LCP [85]; de hecho, los LMF permanecen intactos en las roturas del LCP, esto es debido a su inserción distal con un menisco móvil que se sale del platillo tibial en el momento de una lesión. Amadi et al., [4] observaron que una rodilla con unos LMF deficientes aumentan en un 10% las tensiones de contacto con el cartílago durante la compresión axial con la rodilla en extensión completa.

También se ha publicado que los LMF actúan como estabilizadores secundarios [15][33][125][198]. Clancy et al., [33] vieron que los pacientes con una rodilla con rotura del LCP cuando están intactos los LMF tienen un menor cajón posterior y tendrán mejor pronóstico. Lee et al., [87] no encontraron ninguna relación entre la presencia de ligamento menisco femoral con la rotura del cuerno posterior del menisco externo ($p=0,85$). De Abreu et al., [45] tampoco vieron la relación de la presencia de uno o dos ligamentos menisco-femorales con la ruptura de de menisco lateral o medial.

La reinserción y reconstrucción de los LMFs puede tener su función en la reinserción del cuerno posterior del menisco externo. Puede influir en la técnica de la meniscectomía lateral.

La unión firme de los MFL al menisco lateral puede aumentar el riesgo de dañar el LCP al extirpar o reparar el cuerno posterior. Si se extrae el cuerno posterior sin despegar el MFL, las fibras poplíteas y la cápsula, también podría dañar el compartimento posterior de la rodilla. Esta advertencia rara vez se ha mencionado en las técnicas artroscópicas y abiertas de meniscectomía lateral y requiere una mayor consideración. En el 33% de los casos, la única inserción posterior del menisco lateral es el LMFp o de Wrisberg [84][86][157].

En nuestro estudio el ligamento menisco – femoral posterior fue más frecuente y más largo (31,4; DE: 4,8; rango: 22,5 – 42,6 mm) que el LMFa (20,6; DE: 3,8; rango: 16,3 – 25,6 mm).

Las mediciones anatómicas de la longitud de los LMF en nuestro estudio fueron mayores que en la RM, siendo la longitud del LMFp en la pieza anatómica 31,4 ($\pm 4,8$) mm, con un rango entre 22,5 mm y 42,6 mm y en RM el valor medio fue 24,71 ($\pm 3,32$) mm y un rango entre 18,86 mm y 32,83 mm. Por su parte, el LMFa en la pieza anatómica tuvo una longitud media de 20,6 ($\pm 3,8$) mm y un valor mínimo de 22,5 m y máximo de 42,6 mm, mientras que en la RM su longitud promedio fue de 11,53 ($\pm 3,75$) mm y un rango entre 7,57 mm y 21,24 mm.

No hemos encontrado ninguna correlación de la presencia o no de los ligamentos menisco-femorales, anterior o posterior, ni con la edad, ni con el sexo, ni tampoco con el lado. Tampoco hemos encontrado correlación entre la longitud de los ligamentos menisco-femorales y la longitud del LCA o la del LCP. No hemos encontrado estudios que hagan referencia a la relación radiológica entre el tamaño de los ligamentos menisco-femorales y los ligamentos cruzados, así como variables como la edad, el lado o el sexo.

La teoría degenerativa sostiene que los LMF están inicialmente siempre presentes, pero con el tiempo van desapareciendo. Esto tiene una explicación embriológica pues en el 100% de los fetos se han encontrado presentes los LMF [84][126][186]. Han et al., [90] vieron que el LMFp está ausente con más frecuencia en hombres que en mujeres y sospechan que se debe a la diferente actividad de unos y otros, influida también por la edad [84]. Nuestro estudio no demuestra la teoría

degenerativa, los LMFs se mantienen constantes en todos los grupos y son similares en ambos sexos. Por la distribución poblacional, incluso en los grupos de más edad se observa un mayor porcentaje de LMF.

Gupte et al., [86] sospecharon que había grandes diferencias en la frecuencia de los LMF raciales, entre occidentales y asiáticos y que los LMFs son más frecuentes en países occidentales que en los países asiáticos [22][29][84][85][98][125][162][186][260] (Tabla 13). En especímenes anatómicos occidentales se ha visto que todas las piezas tienen al menos un LMF [22][125][260], mientras que en los especímenes asiáticos se han encontrado pocos LMFa (0-3,8%). En general, el LMFp es ligeramente más frecuente en asiáticos que en occidentales, aunque debido a falta de datos, es difícil determinar las diferencias entre los LMFp en contraste con el LMFa [90].

Tabla 13

Frecuencia del LMFa y LMFp en diferentes estudios. Resultados expresado en porcentajes

| Autor | Población | Si uno | LMFa (solo) | LMFp (solo) | Ambos | Ninguno |
|----------------------|--------------|--------|-------------|-------------|-------|---------|
| Han [90] | Corea | 87 | 1 | 87 | 87 | 13 |
| Cho [29] | Corea | 89,3 | 0 | 89,3 | | 10,7 |
| Nagasaki [162] | Japón | - | 3,8 | 86,3 | - | - |
| Brantingan [22] | EEUU | 100 | 34 | 60 | 66 | 0 |
| Heller -Langman [98] | Canadá | 71 | 30 | 35,7 | 5,7 | 35 |
| Kusayama [125] | EEUU | 100 | 23 | 31 | 46 | 0 |
| Yamamoto [260] | Alemania | 100 | 27 | 24 | 49 | 0 |
| Poynton [186] | Irlanda | - | 83,3 | 90,5 | 64,3 | - |
| Gupte [82-88] | Gran Bretaña | 93 | 24 | 19 | 69 | 50 |

La población coreana y japonesa parece mostrar la tendencia contraria a la población occidental [90]; estas diferencias pueden ser consecuencia de la falta de identificación del fascículo oblicuo del LCP, la conservación de las piezas, en el caso de cadáveres, o de la técnica artroscópica o por el hecho de sentarse en cuclillas [6][84][162]. Además, la exactitud es mayor cuando se estudian rodillas de cadáver que cuando se hace sobre RM o artroscopia [90]. Cho et al., [29] reflejan una incidencia del LMFa del 0% en cadáveres y del 17% en RM; Nagasaki et al., [162] dicen que la incidencia del LMFa es diferente en la artroscopia (36,8%) que al examen por disección (16,7%). Hassine et al., [95] examinaron las rodillas por RM después de la disección y obtuvieron diferentes resultados. A pesar de todo, la RM es un método adecuado para visualizar los LMF, es sencilla, pero también fácil de sobrevalorar [90] (Tabla 14).

En la disección anatómica encontramos el LMFP en casi tres cuartas partes de las piezas (72,41%), mientras que LMFA tan solo en la quinta parte (20,88%). Únicamente en cinco casos (17,2%) de las 29 piezas analizadas se observaron los dos LMF. En las RM la proporción del LMFA fue el 30% de las imágenes y el LMFP en el 56%. No observamos una disminución de su frecuencia con la edad, lo que nos hace desechar la teoría degenerativa o traumática, ni tampoco con el sexo, siendo similar el porcentaje en hombres y en mujeres.

Tabla 14

Incidencia de LMFA y LMFP en población coreana [29]

| | LMFA | | LMFP | |
|----------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| | Si | No | Si | No |
| Hombres (n=54) | 1 (1,9%) | 5/3 (98,1%) | 4/3 (79,6%) | 1/1 (20,4%) |
| Mujeres (n=46) | 0 (0%) | 4/6 (100%) | 4/4 (95,7%) | 2 (4,3%) |
| Total (n=100) | 1 (1%) | 9/9 (99%) | 8/7 (87%) | 13 /(13%) |

El LMFP además de su presencia o ausencia, tiene formas y tamaños muy diferentes, asociado con la interposición de una imagen de una franja de grasa entre el LMFP y el cuerno posterior del menisco lateral [95][162]. El fascículo oblicuo del LCP se confunde, también en disección, con el LMFP [5][6][86][186]; es más, Hassine et al., [95] describen la fusión de estas dos estructuras. El ligamento menisco-femoral desde el cuerno posterior del menisco externo pasa por la cara anterior del LCP para terminar en la cara externa del cóndilo interno, a veces puede estar individualizado desde su origen hasta su inserción [231] y cita un fascículo accesorio posterior cuyo origen está en el cuerno posterior del menisco externo y cruzando la cara posterior del LCP llega al cóndilo interno [231]. Satku et al., [205] en tres cadáveres de once disecados encontraron vestigios de este ligamento. Spalteholz [227] no cita el fascículo accesorio anterior y solo nombra uno que va por detrás (lig. menisci fibularis). Sin embargo, Kapandji [113] señala que suele ir por delante del LCP y que existe un equivalente para el menisco interno pues algunas fibras del LCA se fijan en el cuerno anterior del menisco interno cerca del transverso.

El ligamento posterior del menisco externo es una estructura plana y ancha con una inserción en forma de abanico [110][123]. El área de inserción medio difiere según los estudios y mide entre 28,5 a 115 mm² [109][110][123]. La huella de inserción está localizada por delante del cuerno posterior del menisco interno, por dentro del borde articular del platillo tibial externo y por detrás

de la inserción del LCA [110]. Comparado con la inserción del cuerno posterior del menisco interno, la inserción posterior del menisco externo es más compleja y presenta más variedades [123][197].

You et al., [261] estudiaron la inserción posterior del menisco externo en 105 rodillas con RM y describieron tres tipos diferentes de patrones de inserción, en el 76% de los casos presentaba dos lugares de inserción con la mayor porción insertándose en la zona intertubercular con una extensión anterior en el tubérculo interno y una porción mucho menor terminando en la pendiente posterior del tubérculo tibial externo. El 24% restante, el ligamento de inserción posterior del menisco externo mostró una inserción solidaria bien en el área intertubercular o bien en la pendiente posterior del tubérculo externo.

En RM, con cortes en T2, el LCP normal aparece como una estructura uniforme bien definida con una señal de intensidad baja. Cuando está relajado en extensión muestra una curva de convexidad posterior. Una estructura pequeña redonda u oval de baja intensidad se puede apreciar, a menudo, por delante o por detrás del LCP; son los ligamentos menisco-femorales que discurren oblicuamente desde el cuerno posterior del menisco lateral al cóndilo medial [111].

Los estudios han señalado una variedad de posibilidades de que tanto la frecuencia como la disposición de los LMFs estando presentes entre el 70% y 100% de los especímenes. El posterior se ha encontrado entre un 33% y un 93% y el anterior entre el 30% y el 100% de las rodillas [5][85][87][134]. El estudio que ha demostrado mayor frecuencia de LMF anterior (100%) está basado en artroscopias de pacientes jóvenes con rotura del LCA [194]. Uno de los dos LMF, anterior o posterior, se ha identificado entre el 30% y el 94% de los pacientes con RM, aunque como se puede ver las discrepancias son grandes. Watanabe et al., [252] han encontrado el LMF anterior en el 33% y el posterior en el 33% de sus pacientes en RM, mientras que de Abreu et al., [44] encontraron el anterior en el 55% y el posterior en el 94% de una serie de 49 pacientes. El LMF de Wrisberg se identificó en el 40% de las rodillas [192]. Las dimensiones anatómicas de la extremidad proximal de la tibia o distal del fémur no guardan relación ni con la longitud de los ligamentos cruzados, ni tampoco con las dimensiones medidas de los LMF's. Tampoco en las medidas obtenidas con la RM se han observado correlaciones significativas.

Los LMF pueden servir para controlar el movimiento del cuerno posterior del menisco lateral, no olvidemos, que tiene una superficie de inserción menor que el menisco interno, durante la flexión poniéndose en tensión durante la extensión de la rodilla para tirar del cuerno anterior hacia dentro y hacia delante [87][98][132][260]. Los LMF se oponen al movimiento de tirar hacia atrás y abajo del m. poplíteo [220] y Last [132] sugiere que son el fino control ejercido por los LMF juntamente con el m. poplíteo quienes protegen al menisco lateral de un mayor número de lesiones. El menisco interno no tiene esta protección y, por ello, sufre más lesiones. Pero, como ya

señalaron Lee et al., [134] no encontraron relación, en RM, entre la existencia o no de LMF y las roturas del menisco externo.

En RM, el LMF posterior es visible y está separado del LCP, es pequeño de forma ovoide con señal poco intensa, inmediatamente por detrás del LCP y el anterior aparece como un bulto discreto de baja señal a lo largo de la superficie cóncava del LCP o como una pequeña formación ovoide de baja señal justo por delante del LCP. Cuando son visibles en RM, el LMF anterior y el posterior tienen una inclinación diferente debido al distinto punto de inserción en el cóndilo femoral lateral; la oblicuidad del LMF posterior es más acentuada que el anterior [35].

Gupte et al., [85] encontraron, en 28 rodillas de cadáver, que el área, carga a rotura y módulo de tensión del LMFa y LMFp fue de $14,17 \pm 14,8$ y $20,9 \pm 11,6$ mm²; 300 ± 155 y 302 ± 158 N y 281 ± 239 y 227 ± 128 MPa, respectivamente. El alto módulo de tensión de los LMF indica que actúan junto con el resto de las estructuras de la rodilla. La longitud del LMFa, medido en 62 rodillas, fue de $20,7 \pm 3,9$ mm y la longitud del LMFp, medido en 58 rodillas, fue de $23,0 \pm 4,3$ mm.

Nagasaki et al., [162] clasificaron el LMF posterior en cinco variedades según la inserción en el menisco lateral, utilizando especímenes obtenidos tras la resección para las artroplastias de rodilla, dividiendo en proximal, central, distal, superficie posterior entera y superficie femoral del menisco lateral.

Cho et al., [29] en un estudio sobre 28 piezas quirúrgicas y 100 resonancias magnéticas de rodilla dividió las variaciones proximales de los LMF en tres grupos: inserción en el cóndilo femoral interno, inserción en el cóndilo femoral interno y entremezclado con las fibras de la mitad proximal del LCP e inserción en el cóndilo femoral interno entremezclado con las fibras de la mitad distal del LCP. Realizaron una clasificación radiográfica basada en la disección de piezas anatómicas. La alta incidencia de variaciones anatómicas que presentaron los ligamentos menisco-femorales, en concreto el LMFp, y por el pequeño tamaño muestral no establecimos un patrón en cuanto a la clasificación de dichos ligamentos en la disección anatómica [29].

Han et al., [90] distinguen seis tipos que dividen en tipo I, cuando están ausentes los LMF, el tipo Ia, no presenta tampoco el fascículo oblicuo del LCP o tipo Ib, que si que se observa dicho fascículo. Los tipos II, son cuando está presente el LMF, y serán IIa, cuando el LMFp se dirige hacia la cara externa del cóndilo interno hacia arriba; IIb, cuando su trayecto es hacia abajo; el tipo IIc cuando las fibras del LMFp se entremezclan con las del LCP y el tipo IId, sería cuando el LMFp se dirige hacia arriba y se aprecia el el fascículo oblicuo del LCP.

Se han descrito tres diferentes sistemas para clasificar las lesiones de la inserción del cuerno posterior del menisco externo [2][3][61][253]. West y Amin [253] y Ahn et al., [2] se basaron en observaciones artroscópicas mientras que Forkel y Petersen [62] describieron un sistema que tiene

en cuenta la integridad de los LMFs; tipo 1, sería la avulsión del cuerno posterior con LMFs integros; tipo 2, rotura radial con LMFs intactos y tipo 3, avulsión del cuerno posterior o rotura radial con rotura o ausencia de los LMFs.

Las lesiones de la inserción del cuerno posterior del menisco externo se asocian con las roturas del LCA [58]. De Smet et al., [46] en 559 rodillas donde correlacionaron la RM con la artroscopia, la lesión del cuerno posterior del menisco externo la encontraron en el 8% de los pacientes con rotura del LCA, pero solo en el 0,8% de los pacientes con un LCA normal. También Brody et al., [23] vieron, con RM, que las lesiones del cuerno posterior del menisco externo, en pacientes con rotura del LCA, eran mayores que las roturas del menisco interno. En 264 pacientes con una rotura de LCA, la lesión del cuerno posterior del menisco externo estaba presente en el 10%, mientras que la del menisco interno se encontró únicamente en el 3%. Otros autores han encontrado estas lesiones en un porcentaje que varía entre el 7% y el 12% de los pacientes a los que les fueron reconstruidos el LCA [2][3][61][253].

El estudio tiene limitaciones, en primer lugar, el tamaño de la muestra, aunque teniendo en consideración que es un estudio anatómico no fue fácil conseguir más de treinta rodillas frescas. La medición de las dimensiones de los ligamentos cruzados y los ligamentos menisco-femorales no es fácil, ni anatómica ni tampoco en RM, especialmente el LCP por la convexidad posterior que dificulta su medición. También hay que tener en cuenta la forma y estructura de los ligamentos analizados, con inserciones mal delimitadas, con fibras de diferente orientación y si se consideran los ligamentos menisco-femorales son de pequeño tamaño, no siempre están presentes y, además, siguen un trayecto transversal y oblicuo.

Conclusiones

1. Hemos encontrado una correlación fuerte ($p=0,000$) entre la longitud del ligamento cruzado anterior y la longitud del ligamento cruzado posterior
2. No hemos encontrado correlaciones entre las dimensiones anatómicas de la extremidad proximal de la tibia y la extremidad distal del fémur. Las dimensiones de la escotadura intercondílea tampoco guardan relación con las dimensiones de los ligamentos cruzados.
3. No hemos encontrado correlación entre la presencia o ausencia de los ligamentos menisco femorales con la edad, el sexo o el lado. No compartimos la teoría degenerativa.
4. En nuestro estudio anatómico y en RM la presencia del ligamento menisco femoral posterior fue más frecuente. En las piezas anatómicas los encontramos en 72,41% y en RM, en el 55,68%. El ligamento menisco femoral anterior lo encontramos en el 20,68% de las piezas anatómicas y en el 30% de las RM. Ambos se encontraron en las piezas anatómicas solo en el 13,8% y en la RM en el 22,5%.

Bibliografía

1. Ahmad CS, Cohen ZA, Levine WN, Gardner TR, Ateshian GA, Mow VC. Codominance of the individual posterior cruciate ligament bundles. An analysis of bundle lengths and orientation. *Am J Sports Med.* 2003; 31:221-5.
2. Ahn JH, Ha CW. Posterior trans-septal portal for arthroscopic surgery of the knee joint. *Arthroscopy.* 2000; 16:774-9.
3. Ahn JH, Wang JH, Lee SH, Yoo JC, Jeon WJ. Increasing the distance between the posterior cruciate ligament and the popliteal neurovascular bundle by a limited posterior capsular release during arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric angiographic study. *Am J Sports Med.* 2007; 35:787-92.
4. Amadi HO, Gupte CM, Lie DT, McDermott ID, Amis AA, Bull AM. A biomechanical study of the menisiofemoral ligaments and their contribution to contact pressure reduction in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008; 16:1004-8.
5. Amis AA, Bull AM, Gupte CM, Hijazi I, Race A, Robinson JR. Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and menisiofemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003; 11:271-81.
6. Amis AA, Gupte CM, Bull AM, Edwards A. Anatomy of the posterior cruciate ligament and the menisiofemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006; 14:257-63.
7. Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2012; 94-A:1936-45.
8. Apsingi S, Bull AM, Deehan DJ, Amis AA. Review: femoral tunnel placement for PCL reconstruction in relation to the PCL fibre bundle attachments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17:652-9.
9. Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, Fischer RA, Arvidsson I, Eriksson E. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med.* 1984; 12:8-18.
10. Astur DC, Arliani GG, Kaleka CC, Jalikjian W, Golano P, Cohen M. A three-dimensional anatomy of the posterolateral compartment of the knee: the use of a new technology in the study of musculoskeletal anatomy. *Open Access J Sports Med.* 2012 Jan 23;3:1-5.
11. Baker CL Jr, Norwood LA, Hughston JC. Acute combined posterior cruciate and posterolateral instability of the knee. *Am J Sports Med.* 1984; 12:204-8.
12. Bao HR, Zhu D, Gong H, Gu GS. The effect of complete radial lateral meniscus posterior root tear on the knee contact mechanics: a finite element analysis. *J Orthop Sci.* 2013; 18:256-63.
13. Becker R, Röpke M, Nebelung W. [Clinical outcome of arthroscopic posterior cruciate ligament-plasty]. *Unfallchirurg.* 1999; 102:354-8.
14. Bennett CH, Herbst K. Review of emerging surgical techniques for posterior cruciate ligament reconstruction. *Current Opinion in Orthopaedics* 2004; 15:75-8.
15. Bergfeld JA, McAllister DR, Parker RD, Valdevit AD, Kambic H. The effects of tibial rotation on posterior translation in knees in which the posterior cruciate ligament has been cut. *J Bone Joint Surg (Am)* 2001; 83-A:1339-43.
16. Binks DA, Bergin D, Freemont AJ, Hodgson RJ, Yonenaga T, McGonagle D, et al. Potential role of the posterior cruciate ligament synovio-entheseal complex in

- joint effusion in early osteoarthritis: a magnetic resonance imaging and histological evaluation of cadaveric tissue and data from the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis Cartilage*. 2014; 22:1310-7.
17. Blacharski PA, Somerset JH, Murray DG. A three-dimensional study of the kinematics of the human knee. *J Biomech*. 1975; 8:375-84.
 18. Blauth M, Tillmann B. Stressing on the human femoro-patellar joint. I. Components of a vertical and horizontal tensile bracing system. *Anat Embryol (Berl)*. 1983; 168:117-23.
 19. Bouchet A, Cuilleret J. Anatomía descriptiva, topográfica y funcional. Miembros inferiores. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1979.
 20. Bowman KF Jr, Sekiya JK. Anatomy and biomechanics of the posterior cruciate ligament, medial and lateral sides of the knee. *Sports Med Arthrosc*. 2010; 18:222-9.
 21. Boynton MD, Tietjens BR. Long-term followup of the untreated isolated posterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*. 1996; 24:306-10.
 22. Brantigan OC, Voshell AF. Ligaments of the knee joint; the relationship of the ligament of Humphry to the ligament of Wrisberg. *J Bone Joint Surg (Am)*. 1946; 28-A:66.
 23. Brody JM, Hulstyn MJ, Fleming BC, Tung GA. The meniscal roots: gross anatomic correlation with 3-T MRI findings. *AJR Am J Roentgenol*. 2007; 188:446-50.
 24. Brody JM, Lin HM, Hulstyn MJ, Tung GA. Lateral meniscus root tear and meniscus extrusion with anterior cruciate ligament tear. *Radiology*. 2006; 239:805-10.
 25. Burns WC 2nd, Draganich LF, Pyevich M, Reider B. The effect of femoral tunnel position and graft tensioning technique on posterior laxity of the posterior cruciate ligament-reconstructed knee. *Am J Sports Med*. 1995; 23:424-30.
 26. Butler DL, Grood ES, Noyes FR, Olmstead ML, Hohn RB, Arnoczky SP, et al. Mechanical properties of primate vascularized vs. nonvascularized patellar tendon grafts; changes over time. *J Orthop Res*. 1989; 7:68-79.
 27. Chen CH. Surgical treatment of posterior cruciate ligament injury. *Chang Gung Med J*. 2007; 30:480-92.
 28. Chen HC, Hsu CY, Shih TT, Huang KM, Li YW. MR imaging of displaced meniscal tears of the knee. Importance of a "disproportional posterior horn sign". *Acta Radiol*. 2001; 42:417-21.
 29. Cho DK, Rosa SP, Prestes GB, da Cunha LA, de Moura MF, Stieven Filho E. Anatomical study of the posterior cruciate ligament with the knee flexed at 90°. *Rev Bras Ortop*. 2014; 49:494-8.
 30. Cho JM, Suh JS, Na JB, Cho JH, Kim Y, Yoo WK, et al. Variations in meniscofemoral ligaments at anatomical study and MR imaging. *Skeletal Radiol*. 1999; 28:189-95.
 31. Choi CJ, Choi YJ, Lee JJ, Choi CH. Magnetic resonance imaging evidence of meniscal extrusion in medial meniscus posterior root tear. *Arthroscopy*. 2010; 26:1602-6.
 32. Choi JY, Chang EY, Cunha GM, Tafur M, Statum S, Chung CB. Posterior medial meniscus root ligament lesions: MRI classification and associated findings. *AJR Am J Roentgenol*. 2014; 203:1286-92.

33. Clancy WG Jr, Shelbourne KD, Zoellner GB, Keene JS, Reider B, Rosenberg TD. Treatment of knee joint instability secondary to rupture of the posterior cruciate ligament. Report of a new procedure. *J Bone Joint Surg Am*. 1983; 65:310-22.
34. Cosgarea AJ, Jay PR. Posterior cruciate ligament injuries: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 2001; 9:297-307.
35. Coulier B. Signification of the unusual delineation of the anterior menisofemoral ligament of Humphrey during knee arthro-CT. *Surg Radiol Anat*. 2009; 31:121-8.
36. Covey DC, Sapega AA, Marshall RC. The effects of varied joint motion and loading conditions on posterior cruciate ligament fiber length behavior. *Am J Sports Med*. 2004; 32:1866-72.
37. Covey DC, Sapega AA, Riffenburgh RH. The effects of sequential sectioning of defined posterior cruciate ligament fiber regions on translational knee motion. *Am J Sports Med*. 2008; 36:480-6.
38. Covey DC, Sapega AA, Sherman GM. Testing for isometry during reconstruction of the posterior cruciate ligament. Anatomic and biomechanical considerations. *Am J Sports Med*. 1996; 24:740-6.
39. Covey DC, Sapega AA. Anatomy and function of the posterior cruciate ligament. *Clin Sports Med*. 1994; 13:509-18.
40. Covey DC. Injuries of the posterolateral corner of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2001; 83-A:106-18.
41. Crema MD, Roemer FW, Felson DT, Englund M, Wang K, Jarraya M, et al. Factors associated with meniscal extrusion in knees with or at risk for osteoarthritis: the Multicenter Osteoarthritis study. *Radiology*. 2012; 264:494-503.
42. Crowninshield R, Pope MH, Johnson RJ. An analytical model of the knee. *J Biomech*. 1976; 9:397-405.
43. Cury RPL, Severino NR, Camago OPA, Aihara T, Batista Neto LV, et al. Estudo anatômico da inserção femoral do ligamento cruzado posterior. *Rev Bras Ortop* 2011; 46:591-5.
44. de Abreu MR, Chung CB, Trudell D, Resnick D. Menisofemoral ligaments: patterns of tears and pseudotears of the menisci using cadaveric and clinical material. *Skeletal Radiol*. 2007; 36:729-35.
45. de Abreu MR, Kim HJ, Chung CB, Jesus JM, Cho J, Trudell D, et al. Posterior cruciate ligament recess and normal posterior capsular insertional anatomy: MR imaging of cadaveric knees. *Radiology*. 2005; 236:968-73.
46. De Smet AA, Blankenbaker DG, Kijowski R, Graf BK, Shinki K. MR diagnosis of posterior root tears of the lateral meniscus using arthroscopy as the reference standard. *AJR Am J Roentgenol*. 2009; 192:480-6.
47. DeFrate LE, Gill TJ, Li G. In vivo function of the posterior cruciate ligament during weightbearing knee flexion. *Am J Sports Med*. 2004; 32:1923-8.
48. Dejour H, Walch G, Peyrot J, Eberhard P. [The natural history of rupture of the posterior cruciate ligament]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1988; 74:35-43.
49. Del Valle ME, Harwin SF, Maestro A, Murcia A, Vega JA. Immunohistochemical analysis of mechanoreceptors in the human posterior cruciate ligament: a demonstration of its proprioceptive role and clinical relevance. *J Arthroplasty*. 1998; 13:916-22.

50. Dorlot JM, Christel P, Meunier A, Sedel L, Witvoet J. Analyse du role mecanique des ligaments croisés dans la laxité antero-posterieure du genou. *Int Orthop* 1983; 7:91-7.
51. Dunaway DJ, Steensen RN, Wiand W, Dopirak RM. The sartorial branch of the saphenous nerve: its anatomy at the joint line of the knee. *Arthroscopy*. 2005; 21:547-51.
52. Duri ZA, Aichroth PM, Zorrilla P. The posterior cruciate ligament: a review. *Am J Knee Surg*. 1997; 10:149-64;
53. Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the anteromedial and posterolateral fibre bundles of the anterior cruciate ligament. Part 2: femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008; 16:29-36.
54. Englund M, Guermazi A, Gale D, Hunter DJ, Aliabadi P, Clancy M, et al. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons. *N Engl J Med*. 2008; 359:1108-15.
55. Fanelli GC, Beck JD, Edson CJ. Current concepts review: the posterior cruciate ligament. *J Knee Surg*. 2010; 23:61-72.
56. Fanelli GC, Giannotti BF, Edson CJ. Arthroscopically assisted combined anterior and posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1996; 12:5-14.
57. Fanelli GC, Larson RV. Practical management of posterolateral instability of the knee. *Arthroscopy*. 2002; 18(Suppl 1):1-8.
58. Feucht MJ, Salzmann GM, Bode G, Pestka JM, Kühle J, Südkamp NP, et al. Posterior root tears of the lateral meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015; 23:119-25.
59. Ficat P, Cuzacq JP, Ricci A. [Surgical repair of chronic instabilities of the cruciate ligaments of the knee]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1975; 61:89-100.
60. Fischer SP, Fox JM, Del Pizzo W, Friedman MJ, Snyder SJ, Ferkel RD. Accuracy of diagnoses from magnetic resonance imaging of the knee. A multi-center analysis of one thousand and fourteen patients. *J Bone Joint Surg Am*. 1991; 73-A:2-10.
61. Forkel P, Herbort M, Sprenger F, Metzloff S, Raschke M, Petersen W. The biomechanical effect of a lateral meniscus posterior root tear with and without damage to the meniscomfemoral ligament: efficacy of different repair techniques. *Arthroscopy*. 2014; 30:833-40.
62. Forkel P, Petersen W. Posterior root tear fixation of the lateral meniscus combined with arthroscopic ACL double-bundle reconstruction: technical note of a transosseous fixation using the tibial PL tunnel. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012; 132:387-91.
63. Forsythe B, Harner Ch, Martins CAQ, Shen W, Lopes OV, Fu FH. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg (Am)* 2009; 91-A (suppl 2):89-100.
64. Forsythe B, Kopf S, Wong AK, Martins CA, Anderst W, Tashman S, Fu FH. The location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models. *J Bone Joint Surg (Am)*. 2010; 92-A:1418-26.
65. Fowler PJ, Messieh SS. Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes. *Am J Sports Med*. 1987; 15:553-7.

66. Fox RJ, Harner CD, Sakane M, Carlin GJ, Woo SL. Determination of the in situ forces in the human posterior cruciate ligament using robotic technology. A cadaveric study. *Am J Sports Med.* 1998; 26:395-401.
67. Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat.* 1967; 101:505-32.
68. Fu FH, Harner CD, Johnson DL, Miller MD, Woo SL. Biomechanics of knee ligaments: basic concepts and clinical application. *Instr Course Lect.* 1994; 43:137-48.
69. Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF. An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. Tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg (Am).* 1982; 64-A:258-64.
70. Galloway MT, Grood ES, Mehalik JN, Levy M, Saddler SC, Noyes FR. Posterior cruciate ligament reconstruction. An in vitro study of femoral and tibial graft placement. *Am J Sports Med.* 1996; 24:437-45.
71. Garofalo R, Jolles BM, Moretti B, Siegrist O. Double-bundle transtibial posterior cruciate ligament reconstruction with a tendon-patellar bone-semitendinosus tendon autograft: clinical results with a minimum of 2 years' follow-up. *Arthroscopy.* 2006; 22:1331-8.
72. Gentili A, Seeger LL, Yao L, Do HM. Anterior cruciate ligament tear: indirect signs at MR imaging. *Radiology* 1994; 193:835-40.
73. Gill TJ, DeFrate LE, Wang C, Carey CT, Zayontz S, Zarins B, et al. The biomechanical effect of posterior cruciate ligament reconstruction on knee joint function. Kinematic response to simulated muscle loads. *Am J Sports Med.* 2003; 31:530-6.
74. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res* 1975; 216-31.
75. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69-A:233-42.
76. Greiner P, Magnussen RA, Lustig S, Demey G, Neyret P, Servien E. Computed tomography evaluation of the femoral and tibial attachments of the posterior cruciate ligament in vitro. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19:1876-83.
77. Grood ES, Hefzy MS, Lindenfield TN. Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. Part I: The posterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 1989; 17:197-207.
78. Grood ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg (Am).* 1981; 63-A:1257-69.
79. Grood ES, Stowers SF, Noyes FR. Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *J Bone Joint Surg Am.* 1988; 70-A:88-97.
80. Gross ML, Grover JS, Bassett LW, Seeger LL, Finerman GA. Magnetic resonance imaging of the posterior cruciate ligament. Clinical use to improve diagnostic accuracy. *Am J Sports Med.* 1992; 20:732-7.
81. Guermazi A, Hayashi D, Jarraya M, Roemer FW, Zhang Y, Niu J, et al. Medial posterior meniscal root tears are associated with development or worsening of

- medial tibiofemoral cartilage damage: the multicenter osteoarthritis study. *Radiology*. 2013; 268:814-21.
82. Gupte CM, Bull AM, Atkinson HD, Thomas RD, Strachan RK, Amis AA. Arthroscopic appearances of the meniscopefemoral ligaments: introducing the "meniscal tug test". *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006; 14:1259-65.
 83. Gupte CM, Bull AM, Murray R, Amis AA. Comparative anatomy of the meniscopefemoral ligament in humans and some domestic mammals. *Anat Histol Embryol*. 2007; 36:47-52.
 84. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. A review of the function and biomechanics of the meniscopefemoral ligaments. *Arthroscopy*. 2003; 19:161-71.
 85. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. The meniscopefemoral ligaments: secondary restraints to the posterior drawer. Analysis of anteroposterior and rotary laxity in the intact and posterior-cruciate-deficient knee. *J Bone Joint Surg (Br)*. 2003; 85-B:765-73.
 86. Gupte CM, Shaerf DA, Sandison A, Bull AM, Amis AA. Neural Structures within Human Meniscopefemoral Ligaments: A Cadaveric Study. *ISRN Anat*. 2014; 2014:719851.
 87. Gupte CM, Smith A, Jamieson N, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. Meniscopefemoral ligaments--structural and material properties. *J Biomech*. 2002; 35:1623-9.
 88. Gupte CM, Smith A, McDermott ID, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. Meniscopefemoral ligaments revisited. Anatomical study, age correlation and clinical implications. *J Bone Joint Surg (Br)*. 2002; 84-B:846-51.
 89. Hagemester N, Duval N, Yahia L, Krudwig W, Witzel U, de Guise JA. Computer based method for the three-dimensional kinematic analysis of combined posterior cruciate ligament and postero-lateral complex reconstructions on cadaver knees. *Knee*. 2003; 10:249-56.
 90. Han SH, Kim DI, Choi SG, Lee JH, Kim YS. The posterior meniscopefemoral ligament: morphologic study and anatomic classification. *Clin Anat*. 2012; 25:634-40.
 91. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*. 1999; 15:741-9.
 92. Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, Yagi M, Vogrin TM, Woo SL. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2000; 28:144-51.
 93. Harner CD, Livesay GA, Kashiwaguchi S, Fujie H, Choi NY, Woo SLY. Comparative study of the size and shape of human anterior and posterior cruciate ligaments. *J Orthop Res* 1995; 13:429-34.
 94. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, Carlin GJ, Smith BA, Kusayama T, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med*. 1995; 23:736-45.
 95. Hassine D, Feron JM, Henry-Feugeas MC, Schouman-Claeys E, Guérin Surville H, Fria G. The meniscopefemoral ligaments: magnetic resonance imaging and anatomic correlations. *Surg Radiol Anat*. 1992; 14:59-63.
 96. Hatayama K, Higuchi H, Kimura M, Kobayashi Y, Asagumo H, Takagishi K. A comparison of arthroscopic single- and double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: review of 20 cases. *Am J Orthop* .2006; 35:568-71.

- 97.Hatsushika D, Nimura A, Mochizuki T, Yamaguchi K, Muneta T, Akita K. Attachments of separate small bundles of human posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21:998-1004.
- 98.Heller I, Langman J. The menisco-femoral ligaments of the human knee. *J Bone Joint Surg (Br).* 1964; 46-B:307-13.
- 99.Heron CW, Calvert PT. Three-dimensional gradient-echo MR imaging of the knee: comparison with arthroscopy in 100 patients. *Radiology.* 1992; 183:839-44.
- 100.Hochstein P, Schmickal T, Grützner PA, Wentzensen A. [Diagnostic and incidence of the rupture of the posterior cruciate ligament]. *Unfallchirurg.* 1999; 102:753-62.
- 101.Höher J, Vogrin TM, Woo SL, Carlin GJ, Arøen A, Harner CD. In situ forces in the human posterior cruciate ligament in response to muscle loads: a cadaveric study. *J Orthop Res.* 1999; 17:763-8.
- 102.Hughston JC, Bowden JA, Andrews JR, Norwood LA. Acute tears of the posterior cruciate ligament. Results of operative treatment. *J Bone Joint Surg (Am).* 1980; 62-A:438-50.
- 103.Hughston JC, Jacobson KE. Chronic posterolateral rotatory instability of the knee. *J Bone Joint Surg (Am).* 1985; 67-A:351-9.
- 104.Hwang BY, Kim SJ, Lee SW, Lee HE, Lee CK, Hunter DJ, et al. Risk factors for medial meniscus posterior root tear. *Am J Sports Med.* 2012; 40:1606-10.
- 105.Inderster A, Benedetto KP, Klestil T, Künzel KH, Gaber O. Fiber orientation of posterior cruciate ligament: an experimental morphological and functional study, Part 2. *Clin Anat.* 1995; 8:315-22.
- 106.Jackson DW, Proctor CS, Simon TM. Arthroscopic assisted PCL reconstruction: a technical note on potential neurovascular injury related to drill bit configuration. *Arthroscopy.* 1993; 9:224-7.
- 107.Jakob RP, Rügsegger M. [Therapy of posterior and posterolateral knee instability]. *Orthopade.* 1993; 22:405-13.
- 108.Jeong WS, Yoo YS, Kim DY, Shetty NS, Smolinski P, Logishetty K, et al. An analysis of the posterior cruciate ligament isometric position using an in vivo 3-dimensional computed tomography-based knee joint model. *Arthroscopy.* 2010; 26:1333-9.
- 109.Johannsen AM, Civitarese DM, Padalecki JR, Goldsmith MT, Wijdicks CA, LaPrade RF. Qualitative and quantitative anatomic analysis of the posterior root attachments of the medial and lateral menisci. *Am J Sports Med.* 2012; 40:2342-7.
- 110.Johnson DL, Swenson TM, Livesay GA, Aizawa H, Fu FH, Harner CD. Insertion-site anatomy of the human menisci: gross, arthroscopic, and topographical anatomy as a basis for meniscal transplantation. *Arthroscopy.* 1995; 11:386-94.
- 111.Kam CK, Chee DW, Peh WC. Magnetic resonance imaging of cruciate ligament injuries of the knee. *Can Assoc Radiol J.* 2010; 61:80-9.
- 112.Kannus P, Bergfeld J, Järvinen M, Johnson RJ, Pope M, Renström P, et al. Injuries to the posterior cruciate ligament of the knee. *Sports Med.* 1991; 12:110-31.
- 113.Kapandji A. Cuadernos de fisiología articular. Tomo 2. Miembros inferiores. Barcelona: Editorial Toray-Masson, 3ª ed, 1980.

- 114.Kaplan E. The lateral menisco-femoral ligament of the knee joint. *Bull Hosp Joint Dis* 1956; 17:176-82.
- 115.Katonis P, Papoutsidakis A, Aligizakis A, Tzanakakis G, Kontakis GM, Papagelopoulos PJ. Mechanoreceptors of the posterior cruciate ligament. *J Int Med Res*. 2008; 36:387-93.
- 116.Kaya A, Köken M, Akan B, Karagüven D, Güçlü B. The triangle between the anterior and posterior cruciate ligaments: an arthroscopic anatomy study. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2015; 49:478-82.
- 117.Keller PM, Shelbourne KD, McCarroll JR, Rettig AC. Nonoperatively treated isolated posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*. 1993; 21:132-6.
- 118.Kennedy JC, Grainger RW. The posterior cruciate ligament. *J Trauma*. 1967; 7:367-77.
- 119.Kennedy NI, LaPrade RF, Goldsmith MT, Faucett SC, Rasmussen MT, Coatney GA, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 1: biomechanical evaluation for anatomic single-bundle reconstruction. *Am J Sports Med*. 2014; 42:2338-45.
- 120.Kennedy NI, Wijdicks CA, Goldsmith MT, Michalski MP, Devitt BM, Årøen A, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 1: the individual and collective function of the anterolateral and posteromedial bundles. *Am J Sports Med*. 2013; 41:2828-38.
- 121.Kim HK, Laor T, Shire NJ, Bean JA, Dardzinski BJ. Anterior and posterior cruciate ligaments at different patient ages: MR imaging findings. *Radiology* 2008; 247:826-35.
- 122.Kim S-J, Kim T-E, Jo S-B, Kung Y-P. Comparison of the clinical results of three posterior cruciate ligament reconstruction techniques. *J Bone Joint Surg (Am)* 2009; 91-A:2543-9.
- 123.Kohn D, Moreno B. Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement: a morphological cadaveric study. *Arthroscopy*. 1995; 11:96-103.
- 124.Kriek HR, Poliacu-Prose L, Luth WJ, Lohman AHM. The attachments of the anterior and posterior cruciate ligaments in man. An anatomical and radiological study. 7. *Arbeitsstagung Anat Ges. Würzburg*, 1988.
- 125.Kusayama T, Harner CD, Carlin GJ, Xerogeanes JW, Smith BA. Anatomical and biomechanical characteristics of human meniscofemoral ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1994; 2:234-7.
- 126.Lahlaidi A, Vaclavek J. [The posterior menisco-femoral ligaments and their significance in organogenesis]. *Bull Assoc Anat (Nancy)*. 1975; 59:177-83.
- 127.Lahlaidi A. [Morphological value of posterior insertion of the external meniscus in the human knee]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1971; 57:593-600.
- 128.Lahner M, Vogel T, von Engelhardt LV, Schulz MS, Strobel MJ. Isolated AL bundle reconstruction of the PCL. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012; 132:363-70.
- 129.LaPrade CM, Civitarese DM, Rasmussen MT, LaPrade RF. Emerging Updates on the Posterior Cruciate Ligament: A Review of the Current Literature. *Am J Sports Med*. 2015; 43:3077-92.
- 130.LaPrade RF, Kimber KA, Wentorf FA, Olson EJ. Anatomy of the posterolateral aspect of the goat knee. *J Orthop Res*. 2006; 24:141-8.

131. 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-A:758-64.
132. Last R. The popliteus muscle and the lateral meniscus. *J Bone Joint Surg (Br)* 1950; 32-B:93-9.
133. Le Minor JM. Comparative morphology of the lateral meniscus of the knee in primates. *J Anat*. 1990; 170:161-71.
134. Lee BY, Jee WH, Kim JM, Kim BS, Choi KH. Incidence and significance of demonstrating the menisiofemoral ligament on MRI. *Br J Radiol*. 2000; 73:271-4.
135. Lee DY, Kim DH, Park JS, Nam DC, Cho SH, Jeong JH, et al. Systematic review of cadaveric studies on anatomic posterior cruciate ligament reconstruction: the landmarks in anatomic posterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Relat Res*. 2014; 26:191-8.
136. Lee J, Papakonstantinou O, Brookenthal KR, Trudell D, Resnick DL. Arcuate sign of posterolateral knee injuries: anatomic, radiographic, and MR imaging data related to patterns of injury. *Skeletal Radiol*. 2003; 32:619-27.
137. Levy YD, Hasegawa A, Patil S, Koziol JA, Lotz MK, D'Lima DD. Histopathological changes in the human posterior cruciate ligament during aging and osteoarthritis: correlations with anterior cruciate ligament and cartilage changes. *Ann Rheum Dis*. 2013; 72:271-7.
138. Li G, Papannagari R, Li M, Bingham J, Nha KW, Allred D, et al. Effect of posterior cruciate ligament deficiency on in vivo translation and rotation of the knee during weightbearing flexion. *Am J Sports Med*. 2008; 36:474-9.
139. Lobenhoffer P. [Importance of osteotomy around to the knee for medial gonarthrosis. Indications, technique and results]. *Orthopade*. 2014; 43:425-31.
140. Logan M, Williams A, Lavelle J, Gedroyc W, Freeman M. The effect of posterior cruciate ligament deficiency on knee kinematics. *Am J Sports Med*. 2004; 32:1915-22.
141. Loomer RL. A test for knee posterolateral rotatory instability. *Clin Orthop Relat Res*. 1991; 264:235-8.
142. Lopes OV Jr, Ferretti M, Shen W, Ekdahl M, Smolinski P, Fu FH. Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg (Am)*. 2008; 90-A:249-55.
143. Lorenz S, Elser F, Brucker PU, Obst T, Imhoff AB. Radiological evaluation of the anterolateral and posteromedial bundle insertion sites of the posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009; 17:683-90.
144. Luo H, Ao YF, Zhang WG, Liu SY, Zhang JY, Yu JK. Anatomical study of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament for double-bundle reconstruction using the quadruple bone-tunnel technique. *Chin Med J* 2012; 125:3872-6.
145. Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, Moebius UG, Soucacos PN. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under microsurgical dissection. *Arthroscopy*. 2000; 16:627-32.
146. Mannor DA, Shearn JT, Grood ES, Noyes FR, Levy MS. Two-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. An in vitro analysis of graft placement and tension. *Am J Sports Med*. 2000; 28:833-45.

147. Markolf KL, Feeley BT, Jackson SR, McAllister DR. Biomechanical studies of double-bundle posterior cruciate ligament reconstructions. *J Bone Joint Surg (Am)*. 2006; 88-A:1788-94.
148. Markolf KL, Slauterbeck JR, Armstrong KL, Shapiro MS, Finerman GA. A biomechanical study of replacement of the posterior cruciate ligament with a graft. Part II: Forces in the graft compared with forces in the intact ligament. *J Bone Joint Surg (Am)*. 1997;79-A:381-6.
149. Markolf KL, Zemanovic JR, McAllister DR. Cyclic loading of posterior cruciate ligament replacements fixed with tibial tunnel and tibial inlay methods. *J Bone Joint Surg (Am)* 2002; 84-A:518-24.
150. Masouros SD, McDermott ID, Amis AA, Bull AM. Biomechanics of the meniscus-meniscal ligament construct of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008; 16:1121-32.
151. Matava MJ, Sethi NS, Totty WG. Proximity of the posterior cruciate ligament insertion to the popliteal artery as a function of the knee flexion angle: implications for posterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2000; 16:796-804.
152. Meister K, Talley MC, Horodyski MB, Indelicato PA, Hartzel JS, Batts J. Caudal slope of the tibia and its relationship to noncontact injuries to the ACL. *Am J Knee Surg*. 1998; 11:217-9.
153. Mejia EA, Noyes FR, Grood ES. Posterior cruciate ligament femoral insertion site characteristics. Importance for reconstructive procedures. *Am J Sports Med*. 2002; 30:643-51.
154. Miller MD, Cooper DE, Fanelli GC, Harner CD, LaPrade RF. Posterior cruciate ligament: current concepts. *Instr Course Lect*. 2002;51:347-51.
155. Miyasaka KC, Daniel DM. The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg* 1991; 4:3-8.
156. Moorman CT^{3rd}, Murphy Zane MS, Bansai S, Cina SJ, Wickiewicz TL, Warren RF, et al. Tibial insertion of the posterior cruciate ligament: a sagittal plane analysis using gross, histologic, and radiographic methods. *Arthroscopy*. 2008; 24:269-75.
157. Moran CJ, Poynton AR, Moran R, Brien MO. Analysis of menisiofemoral ligament tension during knee motion. *Arthroscopy*. 2006; 22:362-6.
158. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM. The anatomic origin of the posterior cruciate ligament: where is it? Reference landmarks for PCL reconstruction. *Arthroscopy*. 1997; 13:325-31.
159. Morrison JB. The mechanics of the knee in relation to normal walking. *J Biomech* 1970; 3:51-61.
160. Moyer RA, Marchetto PA. Injuries of the posterior cruciate ligament. *Clin Sports Med*. 1993; 12:307-15.
161. Muaidi QI, Nicholson LL, Refshauge KM, Adams RD, Roe JP. Effect of anterior cruciate ligament injury and reconstruction on proprioceptive acuity of knee rotation in the transverse plane. *Am J Sports Med*. 2009; 37:1618-26.
162. Nagasaki S, Ohkoshi Y, Yamamoto K, Ebata W, Imabuchi R, Nishiike J. The incidence and cross-sectional area of the menisiofemoral ligament. *Am J Sports Med*. 2006; 34:1345-50.

163. Nakagawa S, Johal P, Pinskerova V, Komatsu T, Sosna A, Williams A, et al. The posterior cruciate ligament during flexion of the normal knee. *J Bone Joint Surg (Br)*. 2004; 86-B:450-6.
164. Narvy SJ, Pearl M, Vrla M, Yi A, Hatch GF 3rd. Anatomy of the femoral footprint of the posterior cruciate ligament: a systematic review. *Arthroscopy*. 2015; 31:345-54.
165. Noyes FR, Barber-Westin SD. Posterior cruciate ligament revision reconstruction, part 1: causes of surgical failure in 52 consecutive operations. *Am J Sports Med* 2005; 33:646-54.
166. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg (Am)* 1984; 66-A:344-52.
167. O'Connor BL. The mechanoreceptor innervation of the posterior attachments of the lateral meniscus of the dog knee joint. *J Anat*. 1984; 138:15-26.
168. Oakes DA, Markolf KL, McWilliams J, Young CR, McAllister DR. The effect of femoral tunnel position on graft forces during inlay posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2003; 31:667-72.
169. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg (Am)* 1985; 67-A:257-62.
170. Ogata K, McCarthy JA. Measurements of length and tension patterns during reconstruction of the posterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 1992; 20:351-5.
171. Ohkoshi Y, Nagasaki S, Shibata N, Yamamoto K, Hashimoto T, Yamane S. Two-stage reconstruction with autografts for knee dislocations. *Clin Orthop Relat Res*. 2002; 398:169-75.
172. Orakzai SH, Egan CM, Eustace S, Kenny P, O'flanagan SJ, Keogh P. Correlation of intra-articular osseous measurements with posterior cruciate ligament length on MRI scans. *Br J Radiol*. 2010; 83:23-7.
173. Ortiz GJ, Schmotzer H, Bernbeck J, Graham S, Tibone JE, Vangsness CT Jr. Isometry of the posterior cruciate ligament. Effects of functional load and muscle force application. *Am J Sports Med*. 1998; 26:663-8.
174. Osti M, Tschann P, Künzel KH, Benedetto KP. Anatomic characteristics and radiographic references of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 2012; 40:1558-63.
175. Pace JL, Wahl CJ. Arthroscopy of the posterior knee compartments: neurovascular anatomic relationships during arthroscopic transverse capsulotomy. *Arthroscopy*. 2010; 26:637-42.
176. Papannagari R, DeFrate LE, Nha KW, Moses JM, Moussa M, Gill TJ, et al. Function of posterior cruciate ligament bundles during in vivo knee flexion. *Am J Sports Med*. 2007; 35:1507-12.
177. Park SE, Stamos BD, DeFrate LE, Gill TJ, Li G. The effect of posterior knee capsulotomy on posterior tibial translation during posterior cruciate ligament tibial inlay reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004; 32:1514-9.
178. Parolie JM, Bergfeld JA. Long-term results of nonoperative treatment of isolated posterior cruciate ligament injuries in the athlete. *Am J Sports Med* 1986; 14:35-8.

179. Patten RM, Richardson ML, Zink-Brody G, Rolfe BA. Complete vs partial-thickness tears of the posterior cruciate ligament: MR findings. *J Comput Assist Tomogr.* 1994; 18:793-9.
180. Pearsall AW^{4th}, Hollis JM. The effect of posterior cruciate ligament injury and reconstruction on meniscal strain. *Am J Sports Med.* 2004; 32:1675-80.
181. Petermann J, Gotzen L, Trus P. Posterior cruciate ligament (PCL) reconstruction--an in vitro study of isometry. Part II. Tests using an experimental PCL graft model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994; 2:104-6.
182. Pickett JC, Altizer TJ. Injuries of the ligaments of the knee. A study of types of injury and treatment in 129 patients. *Clin Orthop Relat Res.* 1971; 76:27-32.
183. Poirier y Charpy, 1899
184. Poliacu-Prose L, Kriek HR, Schurink CAM, Lohman AHM. The attachments and length pattern of the anterior and posterior cruciate ligaments in man. 7. Arbeitstagung der Anatomischen Gesellschaft. Würzburg, 1988.
185. Polly DW Jr, Callaghan JJ, Sikes RA, McCabe JM, McMahan K, Savory CG. The accuracy of selective magnetic resonance imaging compared with the findings of arthroscopy of the knee. *J Bone Joint Surg (Am).* 1988; 70-A:192-8.
186. Poynton AR, Javadpour SM, Finegan PJ, O'Brien M. The meniscofemoral ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg (Br).* 1997; 79-B:327-30.
187. Pula DA, Femia RE, Marzo JM, Bisson LJ. Are root avulsions of the lateral meniscus associated with extrusion at the time of acute anterior cruciate ligament injury? A case control study. *Am J Sports Med.* 2014; 42:173-6.
188. Racanelli JA, Drez D Jr. Posterior cruciate ligament tibial attachment anatomy and radiographic landmarks for tibial tunnel placement in PCL reconstruction. *Arthroscopy.* 1994; 10:546-9.
189. Race A, Amis AA. PCL reconstruction. In vitro biomechanical comparison of 'isometric' versus single and double-bundled 'anatomic' grafts. *J Bone Joint Surg (Br).* 1998; 80-B:173-9.
190. Race A, Amis AA. The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. *J Biomech.* 1994; 27:13-24.
191. Ramme AJ, Wolf BR, Warme BA, Shivanna KH, Willey MC, Britton CL, et al. Surgically oriented measurements for three-dimensional characterization of tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Comput Aided Surg.* 2012; 17:221-31.
192. Ramos LA, Astur D, Novaretti JV, Ribeiro LM, Carvalho RT, Cohen M, et al. An anatomic study of the posterior septum of the knee. *Arthroscopy.* 2012; 28:100-4.
193. Ramos LA, de Carvalho RT, Cohen M, Abdalla RJ. Anatomic relation between the posterior cruciate ligament and the joint capsule. *Arthroscopy.* 2008; 24:1367-72.
194. Ranalletta M, Rossi W, Paterno M, Brigatti NA, Ranalletta A. Incidence of the anterior meniscofemoral ligament: an arthroscopic study in anterior cruciate ligament-deficient knees. *Arthroscopy.* 2007; 23:275-7.
195. Rauch G, Allzeit B, Gotzen L. Biomechanische Untersuchungen zur Zugfestigkeit des vorderen Kreuzbandes unter besonderer Berücksichtigung der Altersabhängigkeit. *Unfallchirurg* 1988; 91:437-43.

- 196.Reddy AS, Frederick RW. Evaluation of the intraosseous and extraosseous blood supply to the distal femoral condyles. *Am J Sports Med.* 1998; 26:415-9.
- 197.Ren AH, Zheng ZZ, Shang Y, Tian CY. An anatomical study of normal meniscal roots with isotropic 3D MRI at 3T. *Eur J Radiol.* 2012; 81:783-8.
- 198.Ritchie JR, Bergfeld JA, Kambic H, Manning T. Isolated sectioning of the medial and posteromedial capsular ligaments in the posterior cruciate ligament-deficient knee. Influence on posterior tibial translation. *Am J Sports Med* 1998; 26:389-94.
- 199.Robertson DD, Armfield DR, Towers JD, Irrgang JJ, Maloney WJ, Harner CD. Meniscal root injury and spontaneous osteonecrosis of the knee: an observation. *J Bone Joint Surg (Br).* 2009; 91-B:190-5.
- 200.Robinson JR, Bull AM, Thomas RR, Amis AA. The role of the medial collateral ligament and posteromedial capsule in controlling knee laxity. *Am J Sports Med.* 2006; 34:1815-23.
- 201.Rubinstein RA Jr, Shelbourne KD, McCarroll JR, VanMeter CD, Rettig AC. The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1994; 22:550-7.
- 202.Saddler SC, Noyes FR, Grood ES, Knochenmuss DR, Hefzy MS. Posterior cruciate ligament anatomy and length-tension behavior of PCL surface fibers. *Am J Knee Surg.* 1996; 9:194-9.
- 203.Sanchez AR 2nd, Sugalski MT, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee. *Sports Med Arthrosc.* 2006; 14:2-11.
- 204.Sapega AA, Covey DC. The biomechanics of femoral and tibial posterior cruciate ligament graft placement. *Clin Sports Med.* 1994; 13:553-9.
- 205.Satku K, Chew CN, Seow H. Posterior cruciate ligament injuries. *Acta Orthop Scand.* 1984; 55:26-9.
- 206.Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat.* 1997; 10:151-62.
- 207.Schulz MS, Steenlage ES, Russe K, Strobel MJ. Distribution of posterior tibial displacement in knees with posterior cruciate ligament tears. *J Bone Joint Surg (Am).* 2007; 89-A:332-8.
- 208.Schutzer SF, Christen S, Jakob RP. Further observations on the isometricity of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Rel Res.* 1991; 242:245-55.
- 209.Seebacher JR, Inglis AE, Marshall JL, Warren RF. Th estructure of the posterolateral aspect of the knee. *J Bone Joint Surg (Am)* 1982; 64-A:536-41.
- 210.Seedhom BB. Loadbearing function of the menisci. *Physiotherapy.* 1976; 62:223.
- 211.Sekiya JK, Haemmerle MJ, Stabile KJ, Vogrin TM, Harner CD. Biomechanical analysis of a combined double-bundle posterior cruciate ligament and posterolateral corner reconstruction. *Am J Sports Med.* 2005; 33:360-9.
- 212.Sekiya JK, Whiddon DR, Zehms CT, Miller MD. A clinically relevant assessment of posterior cruciate ligament and posterolateral corner injuries. Evaluation of isolated and combined deficiency. *J Bone Joint Surg (Am).* 2008; 90-A:1621-7.
- 213.Shelbourne KD, Davis TJ, Patel DV. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999; 27:276-83.

214. Shelbourne KD, Facibene WA, Hunt JJ. Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1997; 5:229-33.
215. Shelbourne KD, Jennings RW, Vahey TN. Magnetic resonance imaging of posterior cruciate ligament injuries: assessment of healing. *Am J Knee Surg.* 1999; 12:209-13.
216. Shelbourne KD, Muthukaruppan Y. Subjective results of nonoperatively treated, acute, isolated posterior cruciate ligament injuries. *Arthroscopy* 2005; 21:457-61.
217. Sheps DM, Otto D, Fernhout M. The anatomic characteristics of the tibial insertion of the posterior cruciate ligament. *Arthroscopy.* 2005; 21:820-5.
218. Sidles JA, Larson RV, Garbini JL, Downey DJ, Matsen FA. Ligament length relationship in the moving knee. *J Orthop Res* 1988; 6:593-610.
219. Simank HG, Graf J, Schneider U, Fromm B, Niethard FU. Die darstellung der Blutgefäßversorgung des menschlichen Kreuzbandes mit der Plastinationsmethode. *Z Orthop* 1995; 133:39-42.
220. Simonian PT, Sussmann PS, van Trommel M, Wickiewicz TL, Warren RF. Popliteomeniscal fasciculi and lateral meniscal stability. *Am J Sports Med.* 1997; 25:849-53.
221. Skyhar MJ, Warren RF, Ortiz GJ, Schwartz E, Otis JC. The effects of sectioning of the posterior cruciate ligament and the posterolateral complex on the articular contact pressures within the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1993; 75-A:694-9.
222. Smith PN, Gelinas J, Kennedy K, Thain L, Rorabeck CH, Bourne RB. Popliteal vessels in knee surgery. A magnetic resonance imaging study. *Clin Orthop Relat Res.* 1999; 367:158-64.
223. Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports.* 2001; 11:64-80.
224. Sonnery-Cottet B, Archbold P, Cucurulo T, Fayard JM, Bortolletto J, Thauinat M, Prost T, et al. The influence of the tibial slope and the size of the intercondylar notch on rupture of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg (Br).* 2011; 93-B:1475-8.
225. Sora MC, Dresenkamp J, Gabriel A, Matusz P, Wengert GJ, Bartl R. The relationship of neurovascular structures to the posterior medial aspect of the knee: an anatomic study using plastinated cross-sections. *Rom J Morphol Embryol.* 2015; 56:1035-41.
226. Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med.* 1988; 16:449-54.
227. Spalteholz W. *Atlas de anatomía humana.* Barcelona: editorial Labor, 1ª ed, 1944.
228. Strobel MJ, Weiler A, Eichhorn HJ. [Diagnosis and therapy of fresh and chronic posterior cruciate ligament lesions]. *Chirurg.* 2000; 71:1066-81.
229. Tajima G, Nozaki M, Iriuchishima T, Ingham SJ, Shen W, Smolinski P, et al. Morphology of the tibial insertion of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg (Am).* 2009; 91-A:859-66.
230. Takahashi M, Matsubara T, Doi M, Suzuki D, Nagano A. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anterolateral and posteromedial bundles of

- human posterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006; 14:1055-9.
231. Testut L. Anatomía humana. Osteología, artrología, miología. Tomo I. Barcelona: Salvat editorial, 7ª ed, 1932.
232. Tewes DP, Fritts HM, Fields RD, Quick DC, Buss DD. Chronically injured posterior cruciate ligament: magnetic resonance imaging. *Clin Orthop Relat Res.* 1997; 335:224-32.
233. Tibone JE, Antich TJ, Perry J, Moynes D. Functional analysis of untreated and reconstructed posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* 1988; 16:217-23.
234. Torg JS, Barton TM, Pavlov H, Stine R. Natural history of the posterior cruciate ligament-deficient knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1989; 246:208-16.
235. Triantafyllidi E, Paschos NK, Goussia A, Barkoula NM, Exarchos DA, Matikas TE, et al. The shape and the thickness of the anterior cruciate ligament along its length in relation to the posterior cruciate ligament: a cadaveric study. *Arthroscopy.* 2013; 29:1963-73.
236. Trus P, Petermann J, Gotzen L. Posterior cruciate ligament (PCL) reconstruction--an in vitro study of isometry. Part I. Tests using a string linkage model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994; 2:100-3.
237. Turner DA, Prodromos CC, Petasnick JP, Clark JW. Acute injury of the ligaments of the knee: magnetic resonance evaluation. *Radiology.* 1985; 154:717-22.
238. Van Dommelen BA, Fowler PJ. Anatomy of the posterior cruciate ligament. A review. *Am J Sports Med.* 1989; 17:24-9.
239. Van Hoof T, Cromheecke M, Tampere T, D'herde K, Victor J, Verdonk PC. The posterior cruciate ligament: a study on its bony and soft tissue anatomy using novel 3D CT technology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21:1005-10.
240. Veltri DM, Deng XH, Torzilli PA, Warren RF, Maynard MJ. The role of the cruciate and posterolateral ligaments in stability of the knee. A biomechanical study. *Am J Sports Med* 1995; 23:436-43.
241. Veltri DM, Warren RF. Anatomy, biomechanics, and physical findings in posterolateral knee instability. *Clin Sports Med.* 1994; 13:599-614.
242. Veltri DM, Warren RF. Posterolateral instability of the knee. *Instr Course Lect.* 1995; 44:441-53.
243. Villegas DF, Donahue TL. Collagen morphology in human meniscal attachments: a SEM study. *Connect Tissue Res.* 2010; 51:327-36.
244. Voos JE, Mauro CS, Wente T, Warren RF, Wickiewicz TL. Posterior cruciate ligament: anatomy, biomechanics, and outcomes. *Am J Sports Med.* 2012; 40:222-31.
245. Walker A, Hing W, Lorimer A, Rathbone E. Rehabilitation characteristics and patient barriers to and facilitators of ACL reconstruction rehabilitation: A cross-sectional survey. *Phys Ther Sport.* 2021; 48:169-76.
246. Wan AC, Felle P. The menisco-femoral ligaments. *Clin Anat.* 1995; 8:323-6.
247. Wang CJ, Chen CY, Chen LM, Yeh WL. Posterior cruciate ligament and coupled posterolateral instability of the knee. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000; 120:525-8.

248. Wang CJ. Injuries to the posterior cruciate ligament and posterolateral instabilities of the knee. *Chang Gung Med J*. 2002; 25:288-97.
249. Wang J, Ao YF. [The effect of rupture and reconstruction of posterior cruciate ligament on the degeneration of articular cartilage in rabbit knee]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2005; 43:1598-601.
250. Wang YJ, Yu JK, Luo H, Yu CL, Ao YF, Xie X, 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; 122:536-40.
251. Wascher DC, Markolf KL, Shapiro MS, Finerman GA. Direct in vitro measurement of forces in the cruciate ligaments. Part I: The effect of multiplane loading in the intact knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1993; 75:377-86.
252. Watanabe Y, Moriya H, Takahashi K, Yamagata M, Sonoda M, Shimada Y, et al. Functional anatomy of the posterolateral structures of the knee. *Arthroscopy*. 1993; 9:57-62.
253. West JA, Amin NH. In-office arthroscopy for the evaluation of chronic knee pain: A case report. *SAGE Open Med Case Rep*. 2017.
254. Westermann RW, Sybrowsky C, Ramme AJ, Amendola A, Wolf BR. Three-dimensional characterization of the femoral footprint of the posterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2013; 29:1811-6.
255. Wijdicks CA, Kennedy NI, Goldsmith MT, Devitt BM, Michalski MP, Årøen A, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 2: a comparison of anatomic single- versus double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med*. 2013; 41:2839-48.
256. Wiley WB, Askew MJ, Melby A^{3rd}, Noe DA. Kinematics of the posterior cruciate ligament/posterolateral corner-injured knee after reconstruction by single- and double-bundle intra-articular grafts. *Am J Sports Med*. 2006; 34:741-8.
257. Wind WM, Bergfeld JA, Parker RD. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries: revisited. *Am J Sports Med* 2004; 32:1765-75.
258. Wirth CJ, Jager M. Dynamic double tendon replacement of the posterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 1984; 12:39-43.
259. Woo SLY, Vogrin T, Abramowitch S. Healing and repair of ligament injuries in the knee. *J Am Acad Ortho Surg* 2000; 8:364-72.
260. Yamamoto M, Hirohata K. Anatomical study on the menisco-femoral ligaments of the knee. *Kobe J Med Sci*. 1991; 37:209-26.
261. You MW, Park JS, Park SY, Jin W, Ryu KN. Posterior root of lateral meniscus: the detailed anatomic description on 3T MRI. *Acta Radiol*. 2014; 55:359-65.
262. Yue B, Varadarajan KM, Rubash HE, Li G. In vivo function of posterior cruciate ligament before and after posterior cruciate ligament-retaining total knee arthroplasty. *Int Orthop*. 2012; 36:1387-92.
263. Zheng L, Harner CD, Zhang X. The morphometry of soft tissue insertions on the tibial plateau: data acquisition and statistical shape analysis. *PLoS One*. 2014; 9:e96515.
264. Zivanović S. Menisco-meniscal ligaments of the human knee joint. *Anat Anz*. 1974; 135:35-42.