

Meniscos de la rodilla. Relaciones entre anatomía y función mecánica

P. Gelber^(1,2), F. Reina⁽²⁾, E. Cáceres⁽¹⁾, J.C. Monllau⁽¹⁾

⁽¹⁾Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. IMAS. Hospitales del Mar y de l'Esperança.

⁽²⁾Departamento de Ciencias Morfológicas. Unidad de Anatomía y Embriología. Universitat Autònoma de Barcelona

Correspondencia:

P. Gelber

Universitat Autònoma de Barcelona.

Paseo Marítimo 23-25. 08003 Barcelona

Correo electrónico: pgelber@imas.imim.es

Los meniscos deben ser considerados como una unidad funcional junto a sus múltiples inserciones, fundamentalmente las que relacionan a los cuernos anteriores y posteriores con la tibia y el fémur. Su importancia mecánica también viene explicada por la particular estructura de la malla colágena, que muestra diferencias tanto en su composición tisular como en su configuración dependiendo de la zona analizada. El preciso conocimiento de los denominados frenos meniscales contribuye a entender mejor los resultados funcionales que cabe esperar tanto tras la resección de estos sectores meniscales como al realizar la fijación de un sustituto meniscal.

Palabras clave: Menisco. Estructura meniscal. Función mecánica.

INTRODUCCIÓN

Los dos fibrocartílagos que los griegos denominaron *μηνισκος* por su aspecto de media luna, son estructuras de unos 34 mm de diámetro, interpuestas entre el fémur y la tibia, que promedian 110 mm de longitud cuando los medimos en su borde más periférico, considerando también sus ligamentos de inserción⁽¹⁾. El menisco medial tiene un aspecto similar a una C en comparación con el más circular menisco lateral, porque mientras este último tiene las inserciones de sus cuernos anterior y posterior en el área no articular de la meseta tibial, las del menisco medial se insertan en los extremos anterior y posterior del área intercondílea (**Figura 1**).

En general, los fibrocartílagos semilunares de la rodilla son más estrechos en sus cuernos anteriores y se van ensanchando posteriormente, sien-

Knee menisci. Correlations between anatomy and mechanical function. The menisci should be considered as a functional unit together with their many insertions, mainly those relating the anterior and posterior cornua with the tibia and femur. Their mechanical importance is also explained by the particular structure of the collagen network, which evidences differences in both its tissue composition and its configuration depending on the precise area examined. A thorough knowledge of the so-called meniscal frena contributes to a better understanding of the functional results that may be expected both after the resection of these meniscal sectors and when affixing a meniscal substitute.

Key words: Meniscus. Meniscal structure. Mechanical function.

do esta característica más claramente manifiesta en el menisco interno. Ambos meniscos presentan un espesor menguante de la periferia hacia el centro y actúan principalmente como estructuras fibroelásticas compensatorias de la escasa congruencia articular entre el fémur y la tibia, con el objetivo primordial de evitar el daño del cartílagos articular. Son estructuras que se encuentran de forma constante en las rodillas de todos los mamíferos, pero con sustanciales peculiaridades cuando del ser humano se trata, fundamentalmente debido a su particular biomecánica bipodal.

De capital importancia anatómica y funcional son sus fuertes inserciones al hueso –*entesis*–, que proceden de los cuernos anterior y posterior y a las que también se denomina “frenos meniscales” que, tal como ha quedado claramente establecido, juegan un importante papel en la distribución de las cargas⁽²⁾.



Figura 1. Preparación cadavérica donde se puede apreciar la forma de C del menisco interno en contraste con el más circular menisco externo.

Inserciones del menisco medial

A través del cuerno anterior se inserta, mediante una estructura acintada en el área o fosa intercondílea anterior, 6 o 7 mm por delante de la inserción del ligamento cruzado anterior (LCA)⁽¹⁾. Un estudio de Berlet y Fowler de 1998 clasificó esta inserción en 4 diferentes tipos⁽³⁾. El tipo I: región intercondílea del patillo tibial; el II: entre la región intercondílea y la pendiente del patillo medial; el III: en la cara anterior de la pendiente del patillo tibial; y, finalmente el tipo IV: sin inserción ósea fija. Un reciente trabajo de Puig y cols. encontró una correlación entre la extrusión del menisco medial y los tipos de inserción más anteriores (III y IV)⁽⁴⁾. Las fibras más posteriores de los frenos meniscales anteriores se unen con el correspondiente sector del menisco externo hasta en el 94% de los casos, configurando el ligamento transversal, yugal o intermeniscal anterior⁽⁵⁾. Éste promedia unos 33 mm de longitud y 3,3 mm de espesor, estando separado del LCA por unos 7,8 mm; aunque se desconoce su significado funcional, se han descrito dos variantes: la forma membranosa y la forma acordonada.

Otra variante anatómica observada muy raramente es el denominado *ligamento intermeniscal oblicuo*, que relaciona el cuerno anterior del

menisco medial con el cuerno posterior del menisco lateral⁽⁶⁾.

El cuerno posterior se inserta en la fosa intercondílea posterior encerrado entre la más ventral inserción posterior del menisco lateral y la más dorsal inserción del ligamento cruzado posterior (LCP). Se ha descrito en la bibliografía un caso de inserción del cuerno posterior del menisco interno con el LCA en su zona media, hecho posiblemente atribuible a su origen mesenquimal compartido⁽⁷⁾.

Otras uniones meniscales de relevancia funcional más limitada son las fibras meniscocapsulares, entre las cuales encontramos

uniones al ligamento colateral medial profundo, las uniones con el borde medial del cóndilo tibial interno llamados ligamentos coronarios, fibras menisco-rotulianas y fibras indirectas de unión, a través de la cápsula, al músculo semimembranoso.

Inserciones del menisco lateral

Sus entesis se encuentran muy aproximadas entre ellas, tanto es así que, en individuos caucásicos, en el 1,5-4,6% de los casos confluyen formando un menisco discoideo⁽⁸⁾.

La parte anterior se inserta lateral a la eminencia o tubérculo intercondíleo lateral, justo detrás de la inserción del LCA con quien confluye parte de sus fibras.

Su entesis posterior se encuentra entre la inserción del menisco medial y el tubérculo intercondíleo lateral. En un porcentaje aproximado del 50%^(9,10), sus fibras más anteriores acompañan la cara ventral del LCP hasta insertarse en la fosa intercondílea del cóndilo femoral interno, configurando el ligamento meniscofemoral anterior, descrito inicialmente por Humphry en 1858⁽¹¹⁾, que promedia 5,09 mm de ancho y 27,09 mm de longitud, constituyendo aproximadamente un 39% del grosor total del LCP⁽⁹⁾ (Figura 2).



Figura 2. Vista posterior de una meseta tibial derecha con el LCP seccionado a nivel de su inserción femoral, flanqueado anteriormente por el ligamento meniscofemoral anterior de Humphry.



Figura 3. Vista posterior de una rodilla derecha donde se aprecia el ligamento meniscofemoral posterior de Wrisberg cruzando verticalmente el lado dorsal del LCP.

Con una frecuencia algo más alta (70%), es posible encontrar el ligamento meniscofemoral posterior de Wrisberg, que flanquea también al LCP pero por su lado dorsal. Sus medidas promedio son de 31,13 mm de longitud y 5,48 mm de ancho, esto es, un 42% de la masa del LCP^(1,9,10) (Figura 3).

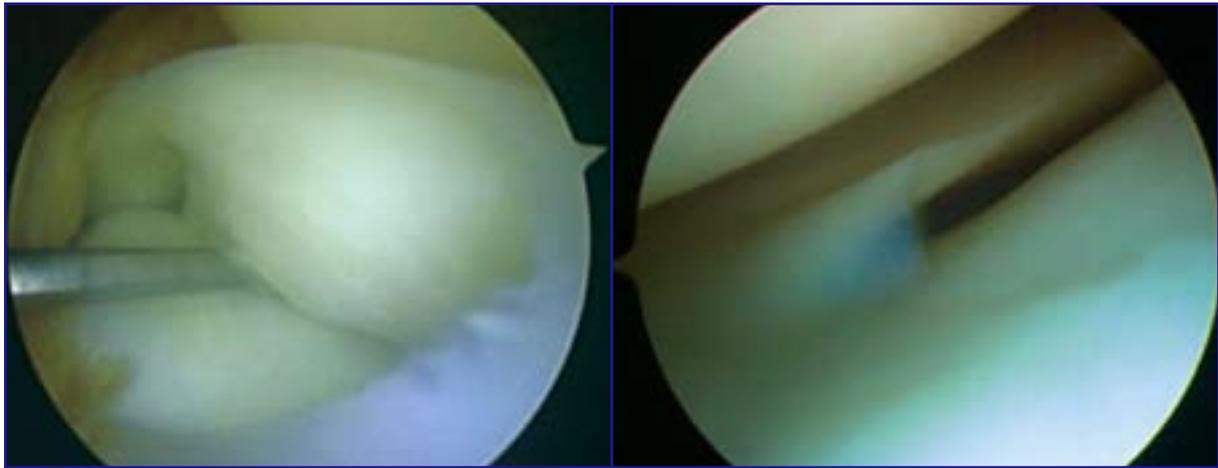
Se han descrito meniscos laterales de morfología normal donde su única inserción ósea posterior se producía a través de este ligamento. Este tipo de meniscos resultan hipermóviles y, con frecuencia, producen un bloqueo característico de la rodilla conocido en

la literatura anglosajona como *snapping knee*, se les considera como una variante de discoideos. Este tipo de unión meniscofemoral es filogenéticamente constante en mamíferos inferiores donde el menisco externo se inserta posteriormente en el cóndilo femoral interno, por detrás del LCP, no presentando ninguna inserción en la tibia y se cree relacionada con un mayor poder de rotación de la rodilla^(12,13).

Inserciones secundarias relacionan también al menisco lateral con la cápsula articular; estas uniones son más escasas y laxas que en el menisco medial e incluso se ven interrumpidas a nivel del hiato poplíteo (aunque se describen fibras meniscofemorales variables en frecuencia). A diferencia del menisco medial, no hay fibras de unión con el ligamento colateral correspondiente, pero sí está fuertemente unido al complejo arqueado.

ANOMALÍAS CONGÉNITAS

La forma y proporción definitivas de cada menisco ya quedan establecidas hacia los 4 meses de gestación, donde alcanzan a cubrir un promedio del 60% de la meseta tibial en su compartimiento medial y un 80% en el lateral, porcentajes que permanecen invariables durante la vida adulta. Se han descrito numerosas anomalías congénitas de los meniscos. Algunas de ellas tienen que ver con un aumento



Figuras 4 y 5. Visión artroscópica de un menisco discoideo completo (tipo I) e incompleto (tipo II).

en estos porcentajes de cobertura de la superficie articular, por ejemplo cuando el menisco adquiere una forma de disco, la cual configura su anomalía congénita más frecuente, sobre todo en el menisco externo (1,5-4,6% versus 0,3%)^(8,12) (Figuras 4 y 5). Clásicamente, se describían tres variantes de meniscos discoideos: el completo, el incompleto y el tipo de Wrisberg. Más recientemente, Monllau y cols. propusieron una cuarta variante, el menisco discoideo en anillo⁽¹³⁾.

Mucho más excepcionalmente, se han descrito la hipoplasia de los meniscos, asociada o no a otras anomalías intrarticulares⁽¹⁴⁾.

ANATOMÍA FUNCIONAL Y BIOMECÁNICA

El escaso área de contacto que existiría de articularse directamente una superficie femoral convexa y una tibial plana (meseta interna) o incluso convexa (meseta externa), se ve sustancialmente aumentada por la concavidad de la superficie meniscal superior (Figura 6); como consecuencia, el estrés sobre el cartílago articular de la tibia se ve reducido⁽¹⁵⁾.

La carga sobre la tibia es transmitida en un 70 y un 50% a través de los meniscos externos e internos, respectivamente, reflejando estos diferentes porcentajes el tamaño del fibrocartilago correspondiente⁽¹⁶⁾.

Esta transmisión de carga aumenta a medida que lo hace la flexión y se realiza principalmente a través de los segmentos meniscales posteriores. La eficacia en la distribución y transmisión de carga se creen explicadas por las fuertes inserciones de los cuernos meniscales, los cuales previenen la extrusión meniscal que se produciría al recibir una carga axial. Tanto es así que un trabajo de Paletta y cols. demostraba que la sección de dichos anclajes conduciría a una situación similar a la de meniscectomía



Figura 6. Preparación anatómica. Detalle de un corte frontal de la rodilla derecha en el compartimento externo. Puede apreciarse la íntima relación y congruencia entre el cóndilo femoral, el menisco y el platillo tibial.

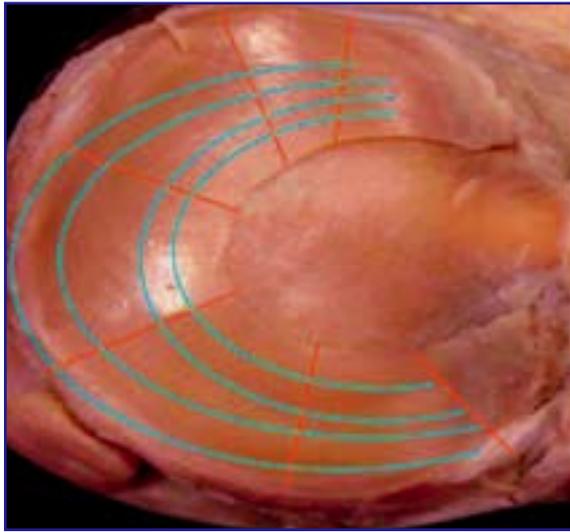


Figura 7. Representación esquemática de la distribución principal de las fibras de colágeno meniscal, aplicada sobre una imagen de preparación cadavérica.

total⁽¹⁷⁾. La capacidad de absorción y redistribución de la carga está también favorecida por la particular ultraestructura meniscal, en la que las fibras de colágeno dispuestas longitudinalmente, convierten las cargas axiales en esfuerzos circunferenciales, efecto denominado *hoop stress* en la literatura anglosajona (Figura 7).

Esto queda biomecánicamente demostrado por el trabajo de Burke y cols., donde se de-

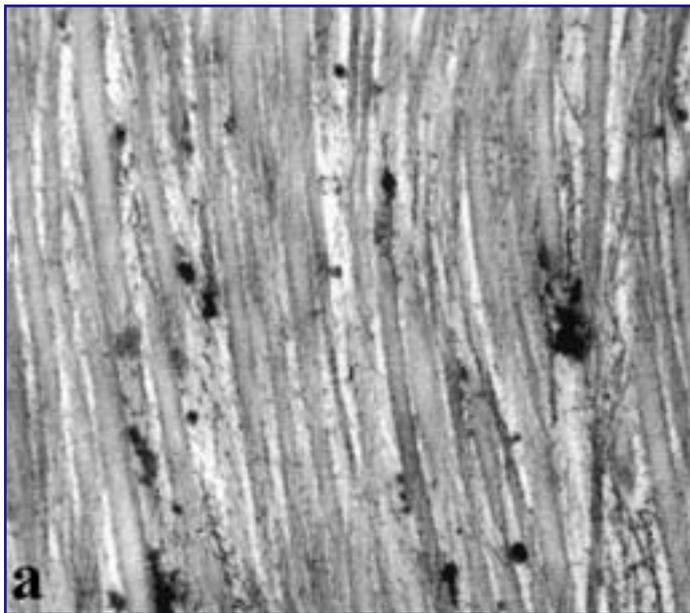


Figura 8. Imagen de microscopía electrónica de transmisión donde se evidencia la organización en paralelo de las fibras de colágeno meniscal.

mostraba que tras una meniscectomía de la parte central del cuerpo meniscal, conservando su sector más periférico, la carga se seguía transmitiendo considerablemente a través del sector meniscal remanente⁽¹⁸⁾.

La importancia de los meniscos en la amortiguación y distribución de la carga fueron observadas ya en los clásicos trabajos de King⁽¹⁹⁾ y Fairbank⁽²⁰⁾. Ambos autores constataron la existencia de una relación directa entre meniscectomía y degeneración del respectivo compartimiento. Una rodilla que carece de su fibrocartilago meniscal ve disminuida la superficie de contacto femorotibial un 75% y aumentada la carga hasta en un 235%.

Los meniscos son estructuras que acompañan a los cóndilos femorales durante el movimiento de flexo-extensión, aunque este efecto es más claramente manifiesto en el compartimiento externo, donde se puede alcanzar los 10 mm de traslación, el doble que en el interno⁽²¹⁾. Esta movilidad es más importante en los sectores anteriores de los meniscos, posiblemente debido a las uniones menisco-rotulianas, determinando también una modificación de la forma meniscal. También es importante el movimiento del cuerno posterior del menisco lateral, condicionado por sus uniones con el tendón del músculo poplíteo y el complejo arcuato. Estas últimas estructuras determinan una traslación posterior del citado cuerno meniscal al producirse la rotación interna de la tibia, principalmente mientras se inicia la flexión desde la extensión completa.

También es conocido el papel de estabilizador anteroposterior secundario que ejercen los meniscos. Este efecto es especialmente evidente en casos de insuficiencia del LCA, donde la resección meniscal comporta una mayor laxitud articular⁽²²⁾.

COMPOSICIÓN DEL TEJIDO MENISCAL

El principal componente encontrado es el agua, que supone el 72% del contenido meniscal, proporción más acentuada en las zonas meniscales posteriores⁽²³⁾. En el menisco seco, las fibras de colágeno constituyen el 78% del contenido, mientras que el 8% son proteínas

no colágenas y un 1% hexosamina. El componente celular es escaso, en las capas más superficiales está caracterizado por células fusiformes dispuestas de forma paralela, con características mixtas entre fibroblastos y condrocitos. En los estratos más profundos las células presentan una forma más ovoide o poligonal⁽²⁴⁾. Es característica la ausencia de células con capacidad migratoria del sistema inmunitario.

La densa arquitectura meniscal (**Figura 8**) está formada básicamente por fibras de colágeno tipo I (90% del total), preponderantemente dispuestas de forma circunferencial, característica más manifiesta en los cuerpos meniscales, aunque también la hay del tipo II en la zona central o avascular. Las fibras se organizan de forma longitudinal y radial, aunque también las hay distribuidas al azar que ocupan la región intermedia central.

Las fibras radiales, más escasas, se piensa que sirven a manera de anclaje de las circunferenciales, oponiéndose a la rotura longitudinal del menisco⁽²⁵⁾. Una característica de los otros tipos de colágeno (tipos II, III y V) y proteínas no colágenas es que se encuentran claramente disminuidos en las zonas de degeneración meniscal⁽²³⁾. Por último, los proteoglicanos encontrados son en un 40% del tipo condroitín 6 sulfato, 10 a 20% de condroitín 4 sulfato, 20 al 30% dermatán sulfato y un 15% de keratán sulfato. Estos glicosaminoglicanos se encuentran en mayor proporción en las zonas centrales de los meniscos.

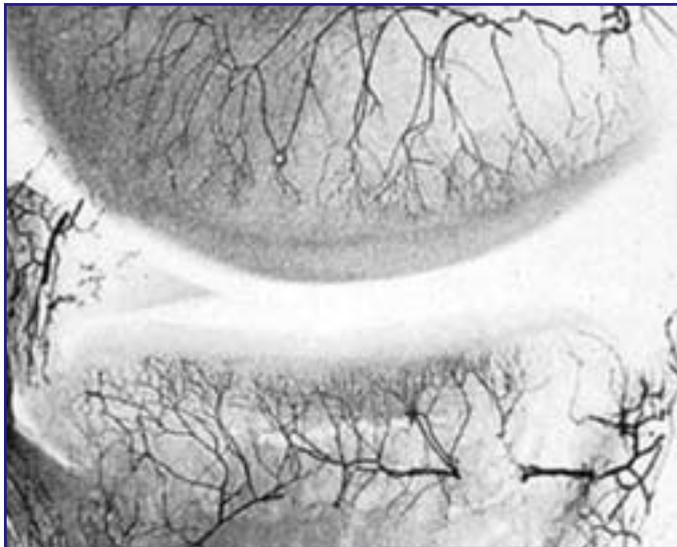


Figura 9. Sección histológica del espécimen. Detalle de la vascularización subcondral y del plexo vascular perimeniscal.

NUTRICIÓN MENISCAL

La conocida irrigación que alcanza solamente el tercio periférico de los meniscos⁽²⁶⁾ es una característica que se va adquiriendo con los primeros meses de vida, ya que al nacimiento toda la estructura meniscal se encuentra vascularizada. El clásico trabajo de Arnoczky y Warren de 1982 nos mostraba cómo el plexo capilar parameniscal, formado a partir de ramas de las arterias geniculadas laterales y mediales, se distribuye centrípetamente penetrando una media del 10 al 30% en el menisco interno y 10 al 25% en el externo⁽²⁶⁾ (**Figura 9**).

Las capas más profundas son nutridas por difusión, siendo necesario para ello que el menisco conserve su normal estructura colágena⁽²⁷⁾. Por otro lado, a nivel de las astas anterior y posterior se evidencia una mayor densidad vascular en comparación con el cuerpo meniscal.

INERVACIÓN

El tejido perimeniscal está ricamente inervado⁽²⁸⁾. La mayor concentración de estructuras nerviosas se encuentra en los cuernos meniscales y son mecanorreceptores del tipo III (Golgi), aunque también se describen de los tipos I y II. Es por esto que a estas regiones del fibrocartilago se les asigna un importante papel propioceptivo⁽²⁹⁾. Los cuerpos meniscales, al igual que sucede con la irrigación⁽²⁶⁾, presentan una menor densidad de fibras nerviosas, siendo en este caso las terminaciones nerviosas libres las que predominan. Parece deducirse que los meniscos son capaces de emitir impulsos aferentes de importancia para la función biomecánica de la articulación.

CONCLUSIONES

Los meniscos y sus entesis deben ser considerados como una unidad funcional de gran importancia para el mantenimiento de la homeostasis articular. Conforman una estructura muy compleja que muestran diferencias sustanciales, tanto en su composición tisular como en su configuración, dependiendo de la zona analizada. El complejo entramado de los frenos meniscales supone un gran reto cuando entramos en el terreno tanto de la resección como de la sustitución meniscal.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Khon D, Moreno B. Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement: a morphological cadaveric study. *Arthroscopy* 1995; 11: 96-103.
- 2 Gao J, Räsänen T, Persliden J, Messner K. The morphology of ligament insertions alter failure at low strain velocity: an evaluation of ligament enteses in the rabbit knee. *Journal of Anatomy* 1996; 189: 127-33.
- 3 Berlet GC, Fowler PJ. The anterior horn of the medial meniscus. An anatomic study of its insertion. *Am J Sports Med* 1998; 26: 540-3.
- 4 Puig L, Monllau JC, Corrales M, Pelfort X, Melendo E, Cáceres E. Factors affecting meniscal extrusion: correlation with MRI, clinical, and arthroscopic findings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 394-8.
- 5 Nelson EW, LaPrade RF. The anterior intermeniscal ligament of the knee. An anatomic study. *Am J Sports Med* 2000; 28: 74-6.
- 6 Dervin GF, Paterson RS. Oblique menisco-meniscal ligament of the knee. *Arthroscopy* 1997; 13: 363-5.
- 7 Bhargava A, Ferrari DA. Posterior medial meniscus-femoral insertion into the anterior cruciate ligament. A case report. *Clin Orthop* 1998; 348: 176-9.
- 8 Smillie IS. The congenital discoid meniscus. *J Bone Jt Surg* 1948; 30B: 671-82.
- 9 Gelber PE, Piantino J, Sëller J, Paronetto A, Salceda JA, Daneri PM. Ligamentos meniscofemorales. Libro de abstracts. XXXV Congreso Rioplatense de Anatomía, 1998.
- 10 Poynton AR, Javadpour SM, Finegan PJ, O'Brien M. The meniscofemoral ligaments of the knee. *J Bone Jt Surg Br* 1997; 79: 327-30.
- 11 Humphry GM. A treatise on the human skeleton including the joints. Cambridge: Macmillan 1858: 545-6.
- 12 Nathan PA, Cole SC. Discoid meniscus. A clinical and pathological study. *Clin Orthop* 1969; 64: 107-13.
- 13 Monllau JC, León A, Cugat R, Ballester J. Ring-shaped lateral meniscus. *Arthroscopy* 1998; 14: 502-4.
- 14 Monllau JC, González G, Puig L, Cáceres E. Bilateral hypoplasia of the medial meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 112-3.
- 15 Kettelkamp DB, Jacobs AW. Tibiofemoral contact area-determination and implications. *J Bone Joint Surg* 1972; 54A: 349-56.
- 16 Kurosawa H, Fukubayashi T, Nakajima H. Load-bearing mode of the knee joint: physical behaviour of the knee joint with or without meniscus. *Clin Orthop* 1980; 149: 283-90.
- 17 Paletta Jr GA, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J. The effect of allograft meniscal replacement on intrarticular contact area and pressures in the human knee: a biomechanical study. *Am J Sports Med* 1997; 25: 692-8.
- 18 Burke DL, Ahmed AH, Millar J. A biomechanical study of partial and total meniscectomy of the knee. *Trans of the Orthop Res Society* 1978; 3: 91.
- 19 King D. The function of semilunar cartilages. *J Bone Jt Surg* 1936; 18: 1069.
- 20 Fairbank TJ. Knee joint changes alter meniscectomy. *J Bone Jt Surg* 1948; 30B: 664-70.
- 21 Kapandji IA. *Fisiología Articular*. 5ª ed.,. Ed. Panamericana 1998; vol II: 104-106.
- 22 Shoemaker SC, Markolf KL. The role of the meniscus in the anterior-posterior stability of the loaded anterior cruciate-deficient knee. Effects of partial versus total excision. *J Bone Jt Surg Am* 1986; 68: 71-9.
- 23 Herwig J, Egner E, Buddecke E. Chemical changes of human knee joint meniscus in various stages of degeneration. *Annals Rheumatol* 1984; 43: 635-40.
- 24 Ghadially FN, Thomas I, Yong N, Lalonde JMA. Ultrastructure of rabbit semilunar cartilages. *J Bone Jt Surg* 1986; 125: 449-517.
- 25 Ghosh P, Taylor TKF. The knee joint meniscus: a fibrocartilage of some distinction. *Clin Orthop* 1987; 224: 52-63.
- 26 Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med* 1982; 10: 90-5.
- 27 Ochi M, Kanda T, Sumen Y, Ikuta Y. Changes in the permeability and histologic findings of rabbit menisci after immobilization. *Clin Orthop* 1997; 334: 305-15.
- 28 Day B, Mackenzie WG, Shim SS, Leung G. The vascular and nerve supply of the human meniscus. *Arthroscopy* 1985; 1 (1): 58-62.
- 29 Zimny ML, Albright D, Dabezies E. Mechanoreceptors in the human medial meniscus. *Acta Anat (Basel)* 1988; 133: 35-40.