
Distribución de las cargas en los cóndilos femorales de la rodilla

Estudio Biomecánico en perros

Pier Francesco Indelli *, Renato Vestri***, John A. Szivek**, Andrew Schnepf**, William A.

RESUMEN:

El objetivo de este estudio fue determinar las "áreas de contacto" y el "estrés localizado" en la interfase Femoro-meniscal durante el rango de movimiento fisiológico y con sobrecarga axial en la rodilla de tres perros de caza, y además, determinar la influencia de la meniscectomía parcial y total. Ambas rodillas congeladas de 3 perros, fueron evaluadas en una maquina de evaluación universal configurada para aplicar una carga axial de 90 y 120 N. Las mediciones del área de contacto y del estrés localizado, fueron realizadas en 3 ángulos de flexión de la rodilla (30°, 50° y 70°), y con ambos meniscos intactos, luego de realizar una meniscectomía parcial, y luego de una meniscectomía total. La distribución de la presión fue calculada utilizando un film sensitivo de presión insertado sobre el menisco.

Luego de la Meniscectomía Parcial, el área de contacto disminuyó aproximadamente un 25 % en ambos cóndilos femorales, mientras que el estrés localizado aumentó un 30 % en el cóndilo femoral interno, pero se mantuvo invariable en el cóndilo femoral externo.

Luego de la Meniscectomía Total, el área de contacto disminuyó aproximadamente un 75 % en ambos cóndilos femorales, y el estrés localizado, aumentó un 60 % en el compartimiento interno y un 100 % en el externo. Estos datos sugieren que luego de una meniscectomía parcial, el menisco ofrece un "efecto espaciador" suficiente para proteger el cartilago del cóndilo femoral. Los valores del área de contacto y el estrés localizado difirieron mínimamente en la rodilla intacta y luego de la meniscectomía parcial cuando fueron evaluadas con poca carga axial en la posición fisiológica (50°), pero una notable disminución del área de contacto, y un aumento marcado del estrés localizado se encontraron cuando la meniscectomía fue total.

ABSTRACT:

The objective of this study was to determine the contact areas and local contact stresses at the menisco-femoral interface during physiologic range of motion and axial-loading in the canine knee, and to determine the influence of a partial or total meniscectomy. Both fresh-frozen knees of 3 hound-type canines were tested in a universal testing machine configured for an axial-load of 90-120 N. Measurement of the contact area and the local contact stress was done at three different knee angles (30; 50; 70) and with both menisci intact, after partial meniscectomy, and after total meniscectomy. Pressure distribution was estimated using pressure sensitive film inserted above the menisci. After partial meniscectomy, contact areas decreased approximately 25% on both femoral condyles, and local contact stress increased 30% on the medial femoral condyle but remained unchanged on the lateral. After total meniscectomy, contact areas decreased approximately 75% on both femoral condyles, and local contact stress increased approximately 60% on the medial compartment and 100% on the lateral compartment. These data suggest that also partially excised menisci offer a sufficient "spacer effect" to protect the cartilage covering the femoral condyles. The values of the contact area and the local contact stress differ minimally, both in the intact knee and after partial meniscectomy when tested with low loads during physiologic gait. A dramatic decrease of contact area followed by an increase of local contact stress was noted after a total meniscectomy.

INTRODUCCION

La función de los meniscos en preservar el estrés localizado en la articulación de la rodilla, fue tema de

estudio a lo largo de los años. Luego de las observaciones de King (12) y Fairbank (6), varias técnicas fueron utilizadas para demostrar la capacidad de los meniscos en distribuir el peso.

Distintos estudios, utilizando mediciones directas (1,7,18), demostraron cómo los meniscos ayudan en la transmisión y en la distribución del peso sobre los platillos tibiales, aumentando la superficie de contacto sobre la cual se transmite el peso. El efecto de una meniscectomía parcial o total en el cartilago de los platillos tibiales fue reportada como una disminución en el área de contacto y un aumento del es-

* Departamento de Ortopedia y Traumatología

Gruppo C.R.E.A - Milán, Italia

** Orthopaedic Research Laboratory, Department of Orthopaedic Surgery, University of Arizona, Tucson, AZ, USA

*** Servicio de Ortopedia y Traumatología

Clinica Espora - Adrogué - Buenos Aires, Argentina

Pier Francesco Indelli

Departamento de Ortopedia - Gruppo C.R.E.A Milán - Italia

Via Beatrice D'Este, 17 - 20122 - Milano

Tel: 00-39-02-5830-6944 E-mail: pfindelli@virgilio.it

trés localizado (9), llevando a cambios degenerativos en el futuro. Existen muy pocas publicaciones sobre la influencia de los meniscos en la distribución del estrés sobre los cóndilos femorales, especialmente con cargas fisiológicas.

El propósito de este trabajo, fue evaluar y predecir la distribución del estrés y el área de contacto a nivel menisco-cóndilo femoral en forma in vitro en la rodilla de perros con meniscos intactos, luego de meniscectomías parciales y totales.

MATERIAL Y METODO

Ambas rodillas congeladas de 3 perros de caza, de 16 a 24 Kg de peso, seleccionados en forma randomizada, fueron sometidos a una evaluación biomecánica. Luego del sacrificio indoloro de los 3 perros, ambos miembros inferiores posteriores fueron desarticulados a nivel de la cadera. Todos los tejidos blandos del fémur y de la tibia, fueron disecados, dejando intactos el aparato extensor, el LCA, y el LCP. Todas las articulaciones fueron embebidas en gasas húmedas con solución salina para evitar que se secan los tejidos blandos. Fémur, tibia, y peroné, fueron seccionados a 10 cm de la superficie articular, fijados con un steiman y montados en una manga cilíndrica con pegamento. Cada rodilla se colocó en una máquina de evaluación universal (MTS 810, MTS Systems Corporation, MN) (Fig. 1). Una cuerda de tensión fue atada al tendón cuadriceps, y una fuerza de 3 N fue aplicada para simular la función del aparato extensor. La máquina de evaluación universal fue configurada para aplicar una carga axial de peso de 90-120 N (9-12 Kg), aplicada en un ciclo de 6 segundos. Todos los especímenes fueron evaluados en posición neutra (50°), en hiperextensión (30°), y en flexión (70°). Los patrones de carga aplicada fueron monitoreados, para asegurar una carga uniforme, por un sistema de adquisición de datos computarizado (Labview 501, National Instruments, TX). Las mediciones del Area de Contacto y del estrés localizado en la articulación, fueron realizadas en 3 situaciones diversas: con ambos meniscos intactos, luego de meniscectomías parciales bilaterales resecaando la mitad del cuerno posterior, y luego de realizar la meniscectomía total bilateral (Fig. 2 y 3).

Luego de la aplicación de una carga axial, la distribución de la presión fue estimada usando un film sensitivo de presión con una sensibilidad de 5-25 kgf/cm² (Pressurex SuperLow, Sensor Products Inc.,



Figura 1: Máquina de Evaluación Universal en donde se fijaron las rodillas para la evaluación.



Figura 2: Meniscectomia Parcial realizada, en donde se reseca la mitad del cuerno posterior de ambos meniscos



Figura 3: Meniscectomia Total externa no realizada

NJ) insertados sobre el menisco a través de 2 incisiones realizadas en la cápsula articular anteromedial y poeteromedial (Fig. 4). Para mantener el film seco dentro de la articulación lubricada por el líquido sinovial, los 2 films fueron envueltos por dos hojas de polietileno de 0,05 mm de espesor, formando un "paquete"(3,8). Se aplicó la carga sobre las rodillas, el film fue removido, y el patrón de presión resultante en el film, se grabó usando un densitómetro



Figura 4: Film sensible de presión que se colocó sobre el menisco, y que registró los distintos patrones de presión

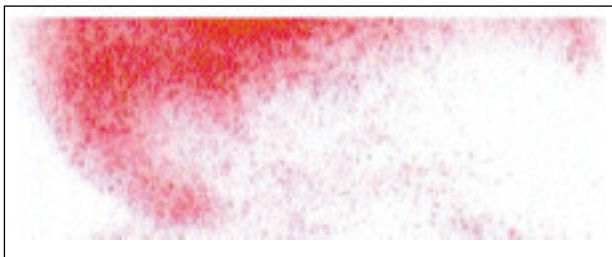


Figura 5: Densitometría utilizada para convertir intensidad de dolor a presión y analizar el área de contacto

(Image J 1.29X, Nacional Institute of Health, MD) (Fig. 5). El densitómetro estuvo precalibrado para convertir intensidad de color a estrés (presión) en Megapascales (MPa). A través de la medición del pico de intensidad en cada distribución, se obtuvo una estimación del estrés localizado. A partir de los patrones de presión y esquemas obtenidos, se calcularon las áreas de contacto.

El análisis estadístico se realizó usando el Test de ANOVA. La diferencia fue estadísticamente significativa cuando $P < 0,05$.

RESULTADOS

- *Menisco Interno a 50°* (posición de pie): El promedio del Área de Contacto disminuyó de 2,1 cm² en la

rodilla intacta (rango 1,2 a 2,8 cm²) a 1,6 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 0,9 a 2,2 cm²), y a 0,5 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,2 a 0,7 cm²) con una $p=0,002$.

El promedio del Estrés Localizado aumentó de 1,3 MPa en la rodilla intacta (rango 0,9 a 1,5 MPa), a 1,7 MPa luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,3 a 2,7 MPa), y a 2,1 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 0,9 a 3,0 MPa), con una $p=0,296$. (Tabla 1)

- *Menisco Interno a 30°*: El promedio del Área de Contacto disminuyó de 1,7 cm² en la rodilla intacta (rango 0,8 a 2,4 cm²) a 1,3 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 0,7 a 2,0 cm²), y a 0,4 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,2 a 0,7 cm²) con una $p=0,002$.

El promedio del Estrés Localizado aumentó de 1,2 MPa en la rodilla intacta (rango 0,6 a 1,4 MPa), a 1,5 MPa luego de la Meniscectomía Parcial (rango 0,7 a 2,1 MPa), y a 2,5 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 0,9 a 3,4 MPa), con una $p=0,046$.

- *Menisco Interno a 70°*: El promedio del Área de Contacto disminuyó de 2,4 cm² en la rodilla intacta (rango 1,9 a 3,0 cm²) a 1,7 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,2 a 2,4 cm²), y a 0,5 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,1 a 0,7 cm²) con una $p=0,001$.

El promedio del Estrés Localizado se mantuvo en 1,7 MPa en la rodilla intacta (rango 1,1 a 2,4 MPa) y luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,1 a 2,7 MPa), pero aumentó a 2,3 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 0,8 a 3,4 MPa) con una $p=0,692$.




Menisco Interno						
Resultados – Posición de pie (50°)						
	Menisco Intacto		Meniscec. Parcial		Meniscec. Total	
	A.C	Es.L	A.C	Es.L	A.C	Es.L
Valor Promedio	2.1 cm ²	1.3 MPa	1.6 cm ²	1.7 MPa	0.5 cm ²	2.1 MPa
						
A.C - Área de Contacto (cm ²)					A.C: $p=0,002$	
Es.L - Estrés Localizado (MPa)					Es.L: $p=0,296$	

Tabla 1. Resultado de la evaluación en posición Fisológica del Menisco Interno donde se observa que a medida que disminuye el área de contacto (cm²), la presión localizada (Mpa) aumenta.


Menisco Externo						
Resultados – Posición de pie (50°)						
	Menisco Intacto		Meniscec. Parcial		Meniscec. Total	
	A.C	Es.L	A.C	Es.L	A.C	Es.L
Valor Promedio	3.3 cm ²	1.5 MPa	2.4 cm ²	1.5 MPa	0.7 cm ²	2.9 MPa
						
A.C - Area de Contacto (cm ²)			A.C: p = 0,002			
Es.L - Estrés Localizado (MPa)			Es.L: p = 0,008			

Tabla 2. Resultados de la evaluación en posición fisiológica del Menisco Externo en donde se observa que luego de la meniscectomía parcial, el área de contacto (cm²) disminuye y la presión localizada (Mpa) se mantiene invariable, mientras que luego de la meniscectomía total, la presión aumento en forma considerable.

- *Menisco Externo a 50°*: (posición de pie): El promedio del Area de Contacto disminuyó de 3,3 cm² en la rodilla intacta (rango 2,2 a 4,3 cm²) a 2,4 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,9 a 3,0 cm²), y a 0,7 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,5 a 0,8 cm²) con una p=0,002.

El promedio del Estrés Localizado se mantuvo en 1,5 MPa en la rodilla intacta (rango 0,9 a 2,1 MPa) y luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,0 a 2,0 MPa), pero aumentó a 2,9 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 1,9 a 3,8 MPa) con una p=0,008. (Tabla 2)

- *Menisco Externo a 30°*: El promedio del Area de Contacto disminuyó de 3,0 cm² en la rodilla intacta (rango 2,6 a 3,9 cm²) a 2,3 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,8 a 3,3 cm²), y a 0,5 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,2 a 0,8 cm²) con una p<0,001.

El promedio del Estrés Localizado se mantuvo en 1,3 MPa en la rodilla intacta (rango 0,7 a 2,0 MPa) y luego de la Meniscectomía Parcial (rango 0,8 a 1,7 MPa), pero aumentó a 2,4 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 0,7 a 3,7 MPa) con una p=0,473.

- *Menisco Externo a 70°*: El promedio del Area de Contacto disminuyó de 3,2 cm² en la rodilla intacta (rango 2,8 a 4,0 cm²) a 2,4 cm² luego de la Meniscectomía Parcial (rango 2,0 a 3,0 cm²), y a 0,8 cm² luego de la Meniscectomía Total (rango 0,5 a 1,1 cm²) con una p<0,001.

El promedio del Estrés Localizado aumentó de 1,4 MPa en la rodilla intacta (rango 0,7 a 1,7 MPa), a

1,6 MPa luego de la Meniscectomía Parcial (rango 1,0 a 2,0 MPa), y a 2,9 MPa luego de la Meniscectomía Total (rango 1,0 a 3,5 MPa), con una p=0,040.

DISCUSION

En este trabajo se estudió la transmisión de carga fémoro-meniscal en la articulación de la rodilla del perro, bajo 3 situaciones distintas: Con meniscos intactos, luego de realizar una meniscectomía parcial resecaando la mitad del cuerno posterior, y luego de realizar la meniscectomía total. Los resultados muestran que la resección parcial del menisco, ofrece un efecto “espaciador” suficiente como para proteger el cartílago que recubre a los cóndilos femorales. Los valores del Area de Contacto y del estrés localizado variaron minimamente cuando la evaluación se realizó en la posición fisiológica y con carga, en la rodilla del perro, con meniscos intactos o parcialmente resecaados. Una importante disminución del Area de Contacto, seguida de un aumento marcado del estrés localizado se encontró cuando la meniscectomía realizada fue total.

Numerosos investigadores intentaron demostrar la disminución del Area de Contacto y el aumento localizado de la concentración del estrés en los platillos tibiales luego de una meniscectomía, utilizando diversas técnicas (16), pero pocas se focalizaron en el espacio fémoro-meniscal. La artrografía (10), métodos con yesos articulares (14,18,19), y técnicas de films sensitivos de presión, fueron los métodos mas utilizados (3,7,9). El objetivo en este trabajo, fue exclusivamente el espacio fémoro-meniscal, diferenciándose así de los trabajos previamente publicados. Los resultados obtenidos demuestran que el Area de Contacto y el estrés localizado pueden ser medidos firmemente en la interfase fémoro-meniscal en la rodilla de perros, utilizando films sensitivos de presión, al menos con cargas de peso bajas. El film es delgado y flexible, y puede ser insertado sobre el menisco, con suficiente conservación de la anatomía, y puede generar estimaciones del área de contacto y de la distribución del estrés durante la carga. Las mayores desventajas de esta técnica, son, el limitado rango de respuesta (5-25 Kgf/cm²), la sobreestimación del área de contacto y del estrés cuando se aplican fuerzas combinadas sobre un radio de curvatura pequeño como el de los cóndilos femorales, especialmente con cargas elevadas.

En la rodilla intacta, con bajas cargas de peso (90-120 N), poco o nada de contacto se evidenció en el

cartilago femoral expuesto, ya que la gran mayoría ocurrió en el propio menisco.

Los aumentos en la flexión de la rodilla, de 30° a 70°, demostraron un cambio progresivo posterior en el área de contacto, con un correspondiente cambio en la localización del estrés.

La meniscectomía parcial, le permite al menisco una función de distribuir cargas considerables, protegiendo al cartilago que recubre a los cóndilos femorales.

El valor del Area de Contacto disminuyó aproximadamente un 25 % luego de la meniscectomía parcial interna o externa cuando las rodillas se evaluaron en la posición fisiológica de 50° de flexión ($p=0,002$); mientras que el valor del estrés localizado aumentó un 30 % luego de la meniscectomía parcial medial ($p=0,296$), pero se mantuvo invariable (o no cambio) luego de la meniscectomía parcial lateral ($p=0,001$).

Luego de la meniscectomía total a 50° de flexión, es decir, en la posición fisiológica del perro, el valor del Area de Contacto disminuyó un 75 % en ambos cóndilos femorales interno y externo ($p=0,002$), mientras que el estrés localizado aumentó un 60 % en el compartimiento medial ($p=0,296$), y un 100 % en el compartimiento lateral ($p=0,008$).

Los datos presentados del Area de Contacto y del estrés localizado durante los distintos rangos de flexión, son similares a los reportados previamente por otros autores con respecto a los platillos tibiales, quienes informan que luego de la meniscectomía parcial, el Area de Contacto tibial disminuyó entre un 7 % y un 20 % (3,9), mientras que luego de la meniscectomía total la disminución del área de contacto resultó entre un 17 % y 75 % (2,3,9,14). El estrés de contacto tibial fue demostrado que aumentó luego de una meniscectomía parcial entre un 67 % y un 300 % (3,17). Se debe considerar que las cargas aplicadas en estos estudios previos, eran 20 veces mayores a las aplicadas en este trabajo.

El estrés de contacto tibial, fue demostrado que aumentó, luego de una meniscectomía total en rodillas de seres humanos, entre un 15 % y un 300 % (1,3,4,13,14), mientras que el estrés de contacto femoral, fue demostrado que aumentó un 200 % luego de una meniscectomía total en rodillas de seres humanos cuando se aplicó una carga de 1000 N (16).

Las limitaciones de este trabajo son el uso de carga axial inferior a la aplicada en otros trabajos publicados de estudios en animales y seres humanos, y la

posibilidad de crear artefactos en el film, debido al pequeño radio de curvatura de los cóndilos femorales. Analizando el uso de la aplicación de una baja carga axial en este estudio, 2 trabajos previos analizaron la distribución del peso en los miembros inferiores de perros, durante la postura fisiológica: Kimura y colaboradores (11), reportan un porcentaje promedio de carga axial del peso corporal en las patas traseras del perro del 45 %; Budsberg y col (5), reportan en estudios similares, valores del 20 %. Numerosos trabajos (4,14,18) reportan que el tamaño del área de contacto en rodillas humanas aumenta rápidamente con baja carga axial (<500 N), pero luego, gradualmente este rango de crecimiento, disminuye.

Estos estudios (4,5,11,14,18) sugieren al presente trabajo, que el uso de una elevada carga axial, no es probablemente fundamental en el orden para tener resultados similares a los in vivo.

En conclusión, este trabajo, demuestra que luego de una meniscectomía parcial conservativa, y bajo una carga de peso de hasta el 50 % del peso corporal, el remanente meniscal conserva función considerable de distribución del peso, protegiendo así al cartilago que recubre a los cóndilos femorales.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahmed AM, Burke DL: In vitro measurement of static pressure distribution in synovial joints. I. Tibial surface of the knee. *J Biomech Eng* 105: 216-225, 1983.
2. Anderson DR, Newman AP, and Daniels AU: In vitro load transmission in the canine knee: the effect of medial meniscectomy and varus rotation. *Knee Surg Traumatol Arthroscopy* 1: 44-50, 1993.
3. Baratz ME, Fu FH, and Mengato R: Meniscal tears. The effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report. *Am J Sports Med* 14 (4): 270-275.
4. Brown TD and Shaw DT: In vitro contact stress distribution on the femoral condyles. *JOR* 2: 190-199, 1984.
5. Budsberg SC, Verstraete MC, and Soutas-Little RW: Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *Am J Vet Res* 48: 915-918, 1987.
6. Fairbank TJ: Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 30B: 664-670, 1948.
7. Fukubayashi T, Kurosawa H: The contact area and pressure distribution pattern of the knee. *Acta Orthop Scand* 51: 871-879, 1980.
8. Huberti HH, and Hayes WC: Patellofemoral contact pressures. *J Bone Joint Surg* 5: 715-724, 1984.
9. Ihn JC, Kim SJ, and Park IH: In vitro study of con-

- tact area and pressure distribution in the human knee after partial and total meniscectomy. *Int Orthop* 17: 214-218, 1993.
10. Kettlekamp DB, Jacobs AW: Tibiofemoral contact area. Determination and implications. *J Bone Joint Surg* 54-A: 349-356, 1972.
 11. Kimura T, and Endo B: Comparison of force of foot between quadrupedal walking of dog and bipedal walking of man. *J Faculty Science* 4: 119-130, 1972.
 12. King D: The function of the semilunar cartilage. *J Bone Joint Surg* 18A: 1069-1076, 1936.
 13. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, and Wilder DJ: Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 58-A: 599-604, 1976.
 14. Kurosawa H, Fukubayashi T, and Nakajima H: Load-bearing mode of the knee joint: physical behavior of the knee with or without menisci. *Clin Orthop* 149: 283-290, 1980.
 15. Maquet PG, Van de Berg A, and Simonet JC: Femoro-tibial weightbearing areas. Experimental determination. *J Bone Joint Surg*: 57-A: 766-771, 1975.
 16. Radin EL, De Lamotte F, and Maquet P: Role of the menisci in the distribution of stress in the knee. *Clin Orthop* 185: 290-294, 1984.
 17. Seedhom BB: Transmission of the load in the knee joint with special reference to the role of the menisci. *Eng Med Imeche B*: 207-228, 1979.
 18. Walker PS, Erkman MJ: The role of the menisci in force-transmission across the knee. *Clin Orthop* 109: 184-192, 1975.
 19. Walker PS, Hajek JV: The load-bearing area in the knee joint. *J Biomech* 5: 581-592, 1972.