Caracterización de gomas elásticas para su uso en sistemas elásticos tensores, una nueva técnica para corregir la luxación patelar canina

E.P. GUINDAL¹, M.R. MUSTÉ¹, J.J. VÁZQUEZ¹, F.X. VILLASEVIL²

¹Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería, EPSEVG-UPC

²Departamento de Ingeniería Electrónica, EPSEVG-UPC

Resumen

Este artículo presenta el estudio y viabilidad de una nueva técnica para el tratamiento de las luxaciones de rótula canina denominada sistemas elásticos tensores. Los sistemas elásticos sirven para corregir desviaciones óseas por luxación de rodilla canina mediante esfuerzos aplicados a la articulación por mecanismos tensores fijados externamente a la articulación. Primero se caracteriza el material usado en la técnica y luego se describe la biomecánica del conjunto para alcanzar su objetivo funcional. La técnica consiste en el enclavamiento de dos agujas de Kirschner con rosca cerca de la articulación, una en el fémur distal y otra en la tibia proximal, unidas por un elemento tensor que produce un momento angular contrario a la desviación por luxación. Caracterizada la rigidez de los elementos tensores, el sistema se implantó en dos pacientes de distintas razas de perros con luxaciones de rótula medial de grado III, intervenidos en el Hospital Clínic Veterinari de la UAB. No se pudieron concluir los protocolos postoperatorios por complicaciones ajenas, pero los primeros resultados muestran mejoras tanto en la corrección de la desviación tibial, como en la funcionalidad de la marcha del perro. Son necesarios más casos clínicos para obtener datos concluyentes.

Palabras clave: Rótula, luxación, elastómero, tensión, torsión.

Abstract

This article proposes a new technique for treating canine patellar luxation, called elastic tensioning system. The aim is to analyze the biomechanics of the system to achieve its functional purpose and describe the behavior of the most important component, the elastomer, by the characterization of their mechanical properties. The elastic system corrects the luxation deviation by forces applied to the femorotibial joint through tensioning mechanisms fixed externally to the joint. The technique involves the interlocking of two Kirschner wire near the joint, one in the distal femur, and the other one in the proximal tibia, joined by a tensioning element that produces a torque opposite to the angular deviation of the luxation. Elastomers are subjected to mechanical tests to find their stiffness. The system has been implemented in two different dog breeds with grade III of medial patellar luxation. Elastomers effectively produce a torque, tending to align the extensor mechanism as predicted in the biomechanical study. Early results show improvements in both, tibial offset correction and dog's gait functionality. It is necessary to implement the system in different clinical cases to validate the technique.

Keywords: Patella, luxation, elastomer, stress, torque.

Introducción

Una de las patologías más frecuentes en traumatología animal en perros, y en menor grado en gatos, son las luxaciones de rótula. Una luxación o dislocación es el desplazamiento permanente de los extremos óseos que constituyen una articula-

ción, perdiendo parcialmente o por completo las relaciones que normalmente tenían entre sí [1]. Cuando el mecanismo extensor (o cuádriceps), que consiste en el cuádriceps, el tendón patelar, la rótula, el ligamento patelar y el tubérculo tibial, no está alineado desde el fémur proximal, a la mitad del tarso, puede producirse la luxación, en dónde

la rotación de la tibia desplaza la rótula y el tendón rotuliano [1]. La mayoría de las luxaciones de rótula se denominan congénitas porque se producen en edades tempranas y no están asociadas con traumas. Aunque la luxación puede no estar presente al nacer, las deformaciones anatómicas que las provocan sí lo están y son responsables de la consecuente luxación rotuliana recurrente [1]. Las luxaciones de rótula son laterales o mediales, dependiendo de la localización de la rótula en un sentido u otro respecto al surco troclear femoral, y van desde el grado I al IV en función de la deformación esquelética que presenten [1], a partir del grado III la rótula se encuentra permanentemente luxada. La luxación medial es mucho más común que la lateral en todas las razas, representando del 75% al 80% de los casos, observándose bilateralmente de un 20% a un 25% de las ocasiones [1]. La luxación produce en muchos animales un apoyo de la extremidad con la rodilla sostenida en posición semiflexionada. Las técnicas de intervención quirúrgica actuales son complejas y de elevado coste, consisten en la reconstrucción ósea, como el corte de la tuberosidad tibial (transposición de la tuberosidad tibial) para corregir la desviación esquelética [2,3].

El sistema elástico tensor que se presenta es una nueva técnica para la corrección de luxaciones

de rótula. El sistema corrector se coloca externo a la articulación durante un tiempo adaptado a cada caso clínico, para corregir de forma gradual la desviación existente entre las extremidades óseas. Para ello se clavan dos agujas de Kirschner, ros-cadas en su extremo, respectivamente en la tibia y en el fémur, cerca de la articulación. Las agujas se unen con material elástico que actúa de elemento tensor (Figura 1). Existen otras aplicaciones de bandas elásticas para diferentes patologías, la más común ha sido la de tratar la luxación de cadera [4,5].

El sistema elástico tensor aplica tensión conocida mediante elastómeros. Previamente caracterizadas las propiedades mecánicas de las gomas, es posible conocer la magnitud de la fuerza que el elastómero ejerce sobre las agujas, en función de la elongación y de su sección transversal. Debido a la posición e inclinación relativa entre las agujas de Kirschner, cuando son tensadas por las gomas, transmiten un momento torsor en la articulación. El par torsor produce una rotación de las estructuras óseas respecto de sus ejes longitudinales [2]. Así pues, el sistema elástico produce la rotación de la tibia respecto del fémur, en sentido contrario a los grados desviados por la luxación, alineando gradualmente el mecanismo extensor. La magnitud del par torsor dependerá del grado de la luxación y del tamaño y peso del animal.

Figura 1. Sistema elástico tensor aplicado a luxación de grado III en Chihuahua. Las flechas indican las fuerzas producidas a través de los elastómeros sobre las agujas de Kirchner.

Materiales y métodos

Caracterización de los elastómeros

Para controlar la fuerza que ejercen los sensores sobre las agujas y el par torsor, deben conocerse sus propiedades mecánicas. Los sensores son elastómeros de caucho virgen de origen sintético, con sección rectangular. Se caracterizaron experimentalmente 12 gomas de diferentes secciones (Tabla 1) en laboratorio mecánico para conocer su comportamiento tensión-deformación. Las pruebas consisten en un ensayo uniaxial de tracción, con el que se construye un gráfico sobre el comportamiento fuerza-deformación característico de cada material, y del que también se obtiene la rigidez del material [6]. Las probetas de 50 mm de longitud se sometieron a cargas crecientes en incrementos de 25g cada 24 horas. Para limitar la zona elástica se registró la carga límite para la cual la goma se recuperaba de inmediato, para evitar la histéresis [7]. Los ensayos también revelaron que las cargas aplicadas dentro de la zona elástica garantizaban una tensión constante, sin producirse fluencia [7].

Los gráficos de los elastómeros (Figura 2) son la herramienta con la que se elegirá el elastómero correcto en función de la necesidad clínica. Estos gráficos permiten conocer, para una elongación de goma determinada, la magnitud de fuerza que ejercerá entre las agujas de Kirschner. Se observa que prácticamente todos los elastómeros llegan a doblar su longitud inicial para fuerzas moderadas. Esto indica que es un material poco rígido, y opone poca resistencia a ser deformado. La rigidez es mayor cuanto mayor es la sección de la probeta. Los elastómeros más rígidos pueden usarse para luxaciones de grado IV, pues se deforman poco pero producen elevadas fuerzas tensoras sobre las agujas.

Protocolo quirúrgico

El sistema elástico tensor se implanta en quirófano, con el paciente bajo anestesia general. Para el enclave y condicionamiento de las agujas de Kirschner existen tres factores determinantes: el punto de enclave, la inclinación y la posición relativa entre agujas. La inclinación y posición entre ambas debe provocar un par torsor en la articulación femorotibial, que produzca una rotación angular entre la tibia y el fémur, contraria al giro patológico creado por la luxación. La aguja fijada en el fémur atraviesa el cóndilo de lateral a medial, y la aguja de la tibia es introducida en su cara medial un poco caudal a la tuberosidad tibial para salir lateralmente. Estos enclavamientos son lo suficientemente resistentes, puesto que presentan una amplia superficie y espesor óseo, soportando las concentraciones de tensiones alrededor de las agujas. Colocadas las agujas, se moldea el vástago sobrante formando un gancho que alojará el elastómero (Figura 3).

Seguidamente el cirujano estima la fuerza que se debe ejercer entre las agujas para corregir el grado de luxación. La fuerza se deducirá con la pata en la posición de extensión. Se mide con dinamómetro la fuerza necesaria para acercar ambas agujas hasta la posición de alineación del mecanismo extensor (fuerza que deberá aplicar el elastómero). En esta posición también se mide la distancia entre agujas con pie de rey. Con estos dos parámetros, fuerza y distancia entre agujas, se escogerá mediante los diagramas tensión-deformación la sección de elastómero que cumpla la siguiente fórmula:

$$L_0 + \Delta L = L$$

Siendo:

L_0 : longitud de elastómero a cortar

ΔL : incremento de longitud del elastómero

L : longitud del elastómero entre las agujas de Kirschner ya tensadas

Secciones [mm ²]		Espesor x Ancho [mm]			
4	0,8x5	4,96	0,8x6,2	8	0,8x10
8	1,6x5	8,8	1,6x5,5	12,5	1,6x7,8
10,5	2,1x5	11,5	2,1x5,3	16,81	2,1x8
14,4	3,6x4	20,52	3,6x5,7	33,84	3,6x9,4

Tabla 1. Secciones de los 12 elastómeros sometidos a ensayos de tracción en laboratorio para su caracterización mecánica.

Figura 2 (páginas 41 y 42). Las gráficas de caracterización de los elastómeros muestran su comportamiento elástico y relacionan la tensión y deformación del elastómero.

Protocolo post-quirúrgico

Durante el seguimiento postoperatorio se debe valorar el tiempo de permanencia del sistema elástico, mediante revisiones periódicas. Radiográficamente se valorará la corrección de la luxación. Se recogerán datos del cambio de la distancia y la fuerza entre agujas en dos posiciones, flexión y extensión. Son necesarios reajustes en el elastómero durante el postoperatorio, debido al aflojamiento de la goma a medida que la articulación se va alineando.

Cuidados Pre y Postoperatorios

Hasta la fecha se han intervenido dos pacientes, ambos fueron medicados con midazolam (0,2 mg/kg vía intramulscular - IM) y morfina (0,4 mg/kg IM). La anestesia general fue inducida con propofol (4 mg/kg vía intravenosa - IV) y diazepam (0,5 mg/kg IV). Los animales fueron intubados y mantenidos en isoflurano en oxígeno al 100%, usando un sistema semi-abierto basado en una pieza en T de Ayre en un paciente, y semi-cerrado en el otro. Después de inducir la anestesia se administró cefazolin (22 mg/kg IV). Durante la cirugía, se administró solución de lactato de Ringer (10 ml/kg/h). Al primer paciente además, se le realizó un control de la glucemia.

Los pacientes se recuperaron de la anestesia sin complicaciones y fueron monitoreados durante 24 h en el postoperatorio en la unidad de cuidados intensivos. Durante la hospitalización, se administró morfina (0,4 mg/kg vía subcutánea - SC cada 6h). Los medicamentos que fueron prescritos de 4 a 6 días incluyen buprenorfina (20 µg/kg cada 8h SC), meloxicam (0,1 mg/kg q24h PO) y cefalexina (25 mg/kg cada 12h vía oral - PO).

Resultados

Las intervenciones realizadas hasta la fecha fueron a una raza pequeña y una grande, en el Hospital Clínic Veterinari de la UAB. La primera intervención se practicó a un Chihuahua de dos años de edad, de 1,6 kg de peso, y luxación de rótula de grado III. Se usó un elastómero con sección de 0.8x5 mm² y 18 mm de longitud. La fuerza ejercida por el elemento tensor fue de 1 N. La segunda intervención se realizó a un cruce de Labrador de 38 kg, 3 años y luxación medial de rótula por traumatismo. El elastómero tenía una sección de 1.6x7.8 mm², y la fuerza ejercida entre agujas fue de 2 N. Los seguimientos se realizaron durante un mes y medio, pero ambos se interrumpieron por complicaciones ajenas a la articulación.

Figura 3. Posicionamiento y dirección de las agujas de Kirschner durante la cirugía a un Chihuahua. El diámetro del vástago es de 1.2 mm, y el diámetro y longitud de rosca es 1.6 mm y 8 mm respectivamente. El material de las agujas de Kirchner es AISI 316 LVM. La distancia medida desde el gancho a la superficie del fémur es 11 mm.

Los datos recogidos en las revisiones semanales indicaron, a partir de la segunda semana, una mejor alineación de la posición de la rótula en la tróclea femoral, así como un desplazamiento medial de la tibia respecto al fémur. No obstante, ninguno de los dos casos se pudo llevar hasta el final del protocolo post-quirúrgico.

Discusión

Cuando los elastómeros se tensan, se producen unas fuerzas en la dirección del elastómero que actúan sobre las agujas de Kirschner. Podemos representar las fuerzas que se originan en el punto de contacto entre la goma y el gancho, sobre el eje longitudinal del elastómero (Figura 1). Se originan dos fuerzas de la misma magnitud y dirección, pero de sentido contrario, por lo que el sistema está en equilibrio estático.

Para el estudio biomecánico de fuerzas se toma la hipótesis de que el eje de rotación entre el fémur y la tibia se encuentra en el centro del plato tibial. Para analizar cómo actúan los esfuerzos de los elementos tensores en la rodilla, se fija un sistema de coordenadas de referencia situado en el centro de plato tibial de la articulación (Figura 4). El eje y se dirige hacia

la parte frontal de la articulación (hacia el tendón patelar en rodilla sana). El eje z, perpendicular al eje y, cruza lateralmente la articulación. El eje x, perpendicular al plano yz, apunta hacia la tibia.

Cuando se produce luxación, fémur y tibia rotan alrededor del eje x. Para alinear ambos huesos es preciso un par torsor que produzca la rotación en sentido contrario a la luxación. Un par torsor se produce por la acción de una fuerza contenida excéntricamente en un plano transversal al eje longitudinal respecto del cual se produce la rotación [6]. Así pues, un par torsor alrededor del eje x se logra con fuerzas paralelas al plano transversal zy. Para analizar el efecto de las fuerzas generadas por las gomas sobre la articulación, se descomponen en los tres ejes coordenados de referencia (Figura 4.). Las componentes que toma la dirección z producen el par torsor deseado alrededor del eje x, haciendo que fémur y tibia roten hacia la correcta alineación del mecanismo extensor. El par de componentes en dirección y aumentarían la luxación. Deben evitarse procurando que el elastómero, y por tanto, las fuerzas que producen, estén contenidas en el plano xz. Jugando con la inclinación de las agujas se consigue que el elastómero quede contenido en un único plano. Las fuerzas en la di-

Figura 4. Vista frontal de luxación de rodilla canina de grado III en Chihuahua. Sobre la imagen se representan: las fuerzas (flechas gruesas) producidas por el elastómero (línea negra), actuando sobre las agujas de Kirschner, el sistema de coordenadas de referencia (flechas discontinuas), descomposición de las fuerzas en los ejes de referencia (flechas punteadas). El eje y perpendicular al plano de la imagen se representa con un círculo concéntrico que indica la cabeza de flecha.

rección x tampoco interesan, pues comprometen la articulación comprimiéndola. Para minimizar la componente x las agujas deben colocarse lo más paralelas posible al eje z, para evitar que la goma desde el gancho superior del fémur, al inferior de la tibia, se incline bruscamente y aumente la componente de fuerza en x (Figura 4).

Conclusión

El sistema elástico tensor produce un par de torsión que rota la rodilla en dirección contraria a la rotación producida por la luxación.

Es necesario caracterizar la rigidez de los elastómeros para controlar la fuerza que ejercen, según la elongación a la que son sometidos entre las agujas.

El material elástico se escogerá en función de la medida del animal y del grado de luxación.

Son necesarios más casos clínicos y el seguimiento completo del protocolo postoperatorio para obtener resultados concluyentes de la técnica.

Referencias

1. **Brinker W, Piermattei D, Flo G.** Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Treatment. Saunders Editors. 1990. ISBN: 0721628087, 9780721628080.
2. **Gillet P, Lemaire R, Chaar O.** Transposition of the tibial tuberosity in recurrent dislocations and painful femoro-patellar syndromes. Study of a continuous series of 140 operated knees. Acta Orthop Belg 1989;55(3):429-38.
3. **Yeadon R, Fitzpatrick N, Kowaleski MP.** Tibial tuberosity transposition-advancement for treatment of medial patellar luxation and concomitant cranial cruciate ligament disease in the dog Surgical technique, radiographic and clinical outcomes. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology 2011;24(1):18-26.
4. **Hunt C, Henry W.** Transarticular Pinning for Repair of Hip Dislocation in the Dog. A Retrospective Study of 40 Cases. J Am Vet Med Assoc 1985;187(8):828-833.
5. **McLaughlin R, Tillson D.** Flexible External Fixation for Craniocaudal Coxofemoral Luxations in Dogs. Vet Surg 1994 JAN-FEB;23(1):21-30.
6. **Marghitu DB, Diaconescu CI, Ciocirlan BO.** Mechanics of Materials. In: Dan B. Marghitu, editor. Mechanical Engineer's Handbook San Diego: Academic Press; 2001. p. 119-188.
7. **Clarke DE, McCullen SD, Chow AGY, Stevens MM.** Functional Biomaterials. In: Editor-in-Chief: Murray Moo-Young, editor. Comprehensive Biotechnology (Second Edition) Burlington: Academic Press; 2011. p. 3-10.