



Caracterización del desplazamiento generado en la raíz del conjunto menisco-sutura en el postoperatorio inmediato mediante video-fotogrametría

Estebanez B.¹, Nadal F.¹, Pérez de la Blanca A.¹, Prado-Novoa M.¹

¹ Laboratorio de Biomecánica Clínica de Andalucía, Universidad de Málaga, España, maria.prado@uma.es

Introducción

La reparación de la raíz meniscal mediante técnica de sutura transtibial es cada vez más frecuente, a medida que se producen avances en los métodos de diagnóstico de este tipo de lesión. Una complicación tras este tipo de intervenciones es el desarrollo de desplazamientos de la raíz reparada por acumulación de las contribuciones de los distintos componentes involucrados en el sistema de reparación: el material de sutura, la interacción menisco-sutura en los orificios de inserción y el método de cierre de las suturas. Estos desplazamientos pueden propiciar la cicatrización incompleta observada en diversos estudios clínicos sobre la efectividad de la reparación mediante técnicas de sutura transtibial^{1,2}. Así mismo, pueden dar lugar a alteraciones importantes en el contacto de la articulación tibio-femoral, como se ha observado en un modelo porcino para desplazamientos de la raíz de 3 mm respecto a su posición anatómica³.

Estudios biomecánicos previos han constatado la progresión del desplazamiento permanente generado con la aplicación de cargas de tracción cíclicas de baja intensidad^{4,5}, y han relacionado dicha progresión con el corte del tejido ocasionado por la sutura⁴. Sin embargo, la monitorización de la interfase menisco-sutura mediante grabación de imágenes durante los ensayos, no confirma dicha progresión en tejido porcino⁶ y sugiere la conveniencia de investigar otras fuentes de desplazamiento permanente en estas condiciones de carga.

Por otro lado, el desgarro del tejido por la sutura ha sido observado por muchos autores en ensayos de rotura llevados a cabo en estudios experimentales de este tipo de reparaciones⁷, siendo el modo de fallo final más habitual con suturas ultra resistentes. Sin embargo, no se ha abordado ni la detección del comienzo del corte del tejido meniscal por la sutura en su orificio de inserción, ni la caracterización de su progresión con el nivel de fuerzas de tracción aplicadas, aspectos fundamentales para evitar alcanzar desplazamientos permanentes que comprometan la eficacia de la reparación.

En este trabajo se propone un estudio biomecánico del conjunto menisco-sutura aislado para analizar las contribuciones al desplazamiento de la raíz debidas a los alargamientos del hilo de sutura y de su orificio de inserción en el tejido meniscal bajo cargas de tracción.

Materiales y Métodos

Se incluyeron 9 meniscos mediales procedentes de rodillas cadavéricas porcinas frescas, de animales de 5 meses de edad y 100 kg de peso.

En cada espécimen, se aplicó al cuerno posterior una sutura de hilo ultraresistente del N.2 (Force Fiber™, Stryker, Endoscopy, San José CA) en una puntada simple a 5mm de los bordes interior y posterior del cuerno posterior del menisco.

Seguidamente, para facilitar la monitorización de los alargamientos de los distintos componentes, se procedió a realizar las siguientes marcas en el espécimen con un rotulador quirúrgico (Figura 1): 1 sobre el tejido, muy próximo al orificio; 2 sobre el hilo, a una distancia normalizada de 2mm respecto a 1; 3 sobre el hilo, a una distancia normalizada de 40 mm respecto a 2; y 4 sobre el tejido, a una distancia normalizada de 7mm respecto a 1 en la dirección de la fuerza de tracción.

Componente, c	Orificio	Hilo	Tejido
Marca i	1	2	1
Marca j	2	3	4

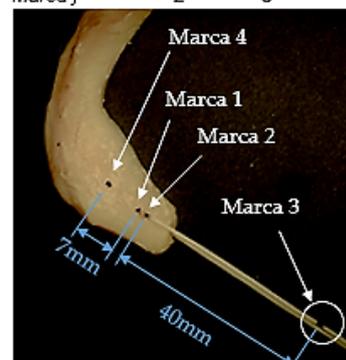


Figura 1-Marcado del espécimen

A continuación, el menisco se ancló a la base de la máquina de ensayos mediante una garra, orientándolo visualmente con las fibras longitudinales de la raíz paralelas a la dirección del eje de carga (Figura 2). La sutura se sujetó al cabezal de la máquina. El protocolo de ensayo consistió en: preacondicionamiento (10 ciclos entre [1,10]N a 0.1Hz); carga cíclica (1000 ciclos entre [10,30]N a 0.5Hz); y ensayo de rotura ($v=0.5$ m/s). Durante el ensayo se monitorizó la interfase menisco-sutura con una cámara digital (Stingray F-504B®, Allied Vision Technologies, Germany), tomándose imágenes al inicio y al final del ensayo cíclico, ambas con el espécimen sometido a una carga de 10N. El ensayo de rotura se grabó de forma continua a una frecuencia de 8 fps, previa sincronización del inicio de las señales de cámara y sensores de carga y desplazamiento de la máquina de ensayos.

Los datos recogidos se analizaron utilizando el software de desarrollo propio INI-cut (Figura 2), que

permite relacionar las imágenes adquiridas y las señales de los sensores, e incorpora un algoritmo SIFT para el análisis de las imágenes mediante viodeogrametría.

En el ensayo cíclico, se calculó el desplazamiento residual de cada componente c:

$$\Delta_{res,c} = L_c^{t2} - L_c^{t1}$$

Siendo L_c^t la distancia entre las marcas representativas del componente c en el instante t, t1 el instante al comienzo del ensayo cíclico y t2 tras transcurrir 60 segundos a carga mínima (10N) una vez finalizado este. Se calculó además la contribución porcentual de cada componente al desplazamiento total:

$$\% \Delta_{cres,c} = \frac{\Delta_{cres,c}}{\sum_c \Delta_{cres,c}}$$

A partir de los datos recogidos en el ensayo de rotura se detectó el instante de inicio del corte del tejido y el nivel de carga al que se produce dicho inicio (F_{cut}) y se registró la curva fuerza-desplazamiento hasta el fallo.

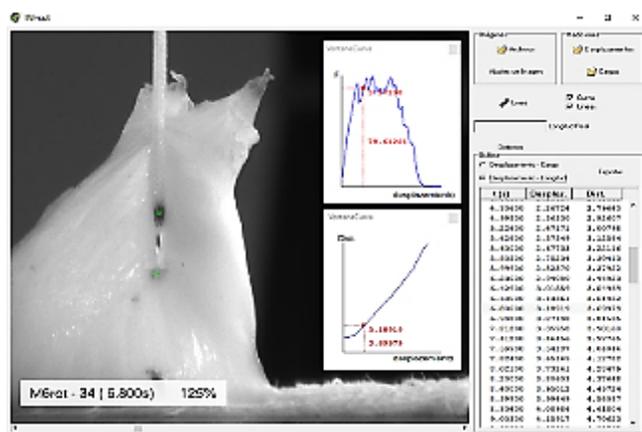


Figura 2: Interfaz del Software INI-cut. Se muestra el espécimen 6 del Grupo P. La curva superior representa la evolución de la carga con el desplazamiento total del espécimen en el ensayo de rotura. La curva inferior muestra la evolución del desplazamiento en la componente orificio durante el ensayo

Resultados y Discusión

Ensayo cíclico: la mayor aportación al desplazamiento residual del conjunto la produce la componente hilo, mientras que la deformación del tejido meniscal próximo a la sutura y del orificio de sutura se reparten de forma muy similar el resto (Tabla 1).

Tabla1: Resultados del ensayo cíclico

	Orificio	Sutura	Tejido	Total
	Mean(DE)	Mean(DE)	Mean(DE)	Mean(DE)
$\Delta_{res,c}$ (mm)	0.37(0.25)	1.14(0.70)	0.50(0.35)	2.01(0.90)
$\% \Delta_{res,c}$	21.19(12.48)	51.20(18.90)	27.61(15.74)	

Ensayo de rotura: un espécimen deslizó en la garra de sujeción a la base de la máquina y sus resultados no fueron incluidos. El análisis de las curvas obtenidas a partir de los datos recogidos por los sensores, en sincronía con las imágenes capturadas, permitieron detectar el instante de inicio del corte del tejido por la sutura. Se observa que todas las curvas fuerza-desplazamiento presentan un primer máximo local, F_p , a partir del cual, en la mayoría de los casos, la fuerza fluctúa mientras progresa el corte pudiendo elevarse

hasta el máximo absoluto de carga para el que el alargamiento del conjunto toma valores muy elevados, a los que contribuye en su mayoría la progresión del corte por la sutura en el orificio (Figura 3). La diferencia entre los valores medios de las cargas de inicio del corte, F_{cut} , y la del primer pico, F_p , resultó inferior al 5% (Tabla 2).

La fuerza de corte se correlacionó positivamente con F_p ($R^2=0.9661$, $p=0.0001$). Sin embargo, la correlación entre la fuerza de inicio del corte y la carga última resultó más débil ($R^2=0.7702$, $p=0.0253$).

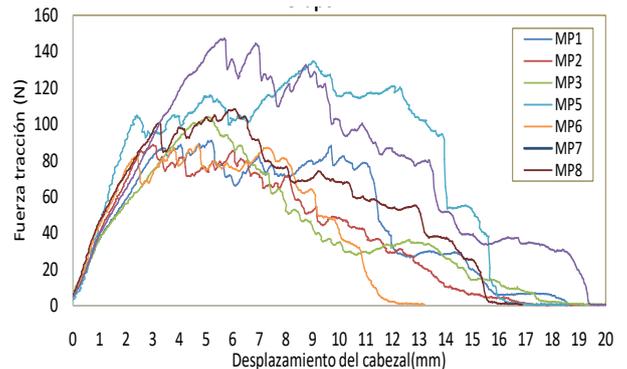


Figura 3: Curvas del ensayo de rotura.

Una vez iniciado, el corte progresa generando desplazamientos permanentes de magnitud impredecible asociados a fluctuaciones en la carga de patrón indefinido. En esta fase, se alcanza la carga última, F_{ult} , cuyo valor medio difiere del de F_{cut} en un 11.4% (Tabla 2).

Tabla2: Resultados del ensayo de rotura

	$\% (F_{cut} / F_p)$		$\% (F_{cut} / F_{ult})$		$\hat{\Delta}_{TOTAL}^{t_{ult}}$	
	media	DE	media	DE	media	DE
Grupo P	95.85	5.00	89.78	89.78	6.90	2.17

Conclusión

- La mayor aportación al desplazamiento de la raíz la produce el hilo de sutura para una longitud típica del túnel óseo de 40mm.
- El inicio de la rotura del tejido meniscal se inicia a valores de carga muy próximos a la carga última en el ensayo de tracción.
- En ausencia de monitorización, la fuerza del primer máximo local F_p , de la curva del ensayo de rotura es una medida más representativa de la resistencia a la retención de la sutura del tejido meniscal que F_{ult} .

Referencias

- [1] Kim JH et al., Arthroscopy, 27(12): 1644-1653, 2011.
- [2] Feucht MJ et al., Arthroscopy, 31:1808-1816, 2015.
- [3] Starke C et al., Arthroscopy, 26:358-365, 2010.
- [4] Cerminara AJ et al., Am J Sports Med,42: 2988-95, 2014.
- [5] Feucht MJ et al., Am J Sports Med,42(1):187-193, 2014.
- [6] Pérez-Blanca A et al., Int Orthop., 42(4), 2018.
- [7] Feucht MJ et al., Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc., 23:132–139, 2015.