

## Validación del modelo porcino para el análisis comparativo del desplazamiento y la resistencia en la raíz meniscal reparada

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

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

### Introducción

Cuando se aplican técnicas de re inserción mediante sutura transtibial, el desplazamiento de la raíz se produce 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.

Debido a la dificultad para disponer de especímenes de meniscos humanos de calidad similar a la dada en pacientes en los que habitualmente se prescribe la reparación (edad <55 años), en los estudios biomecánicos sobre técnicas de reparación meniscal es habitual el uso de especímenes animales y en particular de origen porcino. Se ha encontrado que la rigidez a compresión del tejido meniscal porcino en dirección supero-inferior es aproximadamente el doble de la del humano<sup>1</sup>, lo que ha cuestionado la validez del uso de modelos porcinos en estudios de reparaciones meniscales<sup>2</sup>. No obstante, la característica mecánica relevante del tejido es su resistencia a la retención de la sutura (SRS), definida en otros campos quirúrgicos<sup>3</sup>, de la que no se han encontrado datos normalizados referidos al cuerno posterior del tejido meniscal, porcino o humano.

Con el objetivo de aportar datos acerca de la validez del uso de modelos porcinos en estudios comparativos de la eficacia de distintas técnicas de reparación de la raíz meniscal, se realiza un análisis comparando los resultados de un modelo porcino y un modelo humano.

### Materiales y Métodos

Para el grupo con tejido de origen porcino (Grupo P), se incluyeron 9 meniscos mediales procedentes de rodillas cadavéricas porcinas frescas (5 meses de edad y 100kg). Para el grupo con tejido de origen humano (Grupo H), los meniscos procedieron de 6 rodillas cadavéricas congeladas de donantes de edad avanzada (media 67.8 años), suministradas por un proveedor especializado (Bevione Tecnología y Servicios, Valencia, España).

Se simuló la reparación de la raíz meniscal con 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, midiendo el espesor del tejido en el punto de sutura.

Sobre cada espécimen se realizaron 4 marcas sobre las 3 componentes que intervienen en el ensayo: 1 sobre el tejido, muy cercana al orificio; 2 sobre el hilo, a una distancia aproximada de 2mm respecto a 1; 3 sobre el hilo, a una distancia de 40 mm respecto a 2; y

4 sobre el tejido, a 7mm respecto a 1 en la dirección de la fuerza de tracción.

El cuerno el menisco se ancló a la base de la máquina de ensayos, orientando las fibras longitudinales de la raíz paralelas a la dirección del eje de carga, y la sutura se sujetó al cabezal de la máquina. El protocolo de ensayo consistió, tras un preacondicionamiento, en un ensayo cíclico a cargas reducidas seguido de ensayo de rotura ( $v=0.5\text{m/s}$ ), como se esquematiza en la Figura 1.

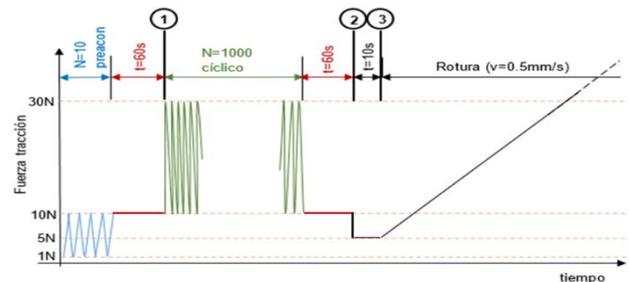


Figura 1- Esquema del protocolo de carga en los ensayos

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 con el espécimen sometido a una carga de 10N. El ensayo de rotura se grabó de forma continua y sincronizada con los sensores de fuerza y desplazamiento a 8 fps.

**Ensayo cíclico:** se calculó el desplazamiento residual unitario de cada componente  $c$  como:

$$\varepsilon_{res,c} = \frac{\Delta_{res,c}}{L_C^0} \quad (1)$$

Siendo  $\Delta_{res,c}$  la variación de la distancia entre las marcas correspondientes a la componente  $c$  al inicio y final del ensayo cíclico y  $L_C^0$  la distancia entre esas marcas al inicio del ensayo. Se calculó así mismo el desplazamiento residual normalizado a una longitud característica:

$$\hat{\Delta}_{res,c} = \varepsilon_{res,c} \hat{L}_C^0 \quad (2)$$

La longitud de normalización seleccionada para cada componente fue:  $\hat{L}_{orificio}^0=2\text{mm}$ ,  $\hat{L}_{hilo}^0=40\text{mm}$  y  $\hat{L}_{tejido}^0=7\text{mm}$ . Finalmente se calculó la contribución porcentual del desplazamiento normalizado de cada componente al final del ensayo cíclico como:

$$\% \hat{\Delta}_{res,c} = \frac{\hat{\Delta}_{res,c}}{\sum_c \hat{\Delta}_{res,c}} \times 100 \quad (3)$$

**Ensayo de rotura:** se identificó el instante de inicio del corte del tejido y el nivel de carga al que se produce,  $F_{cut}$ . En las curvas carga-desplazamiento se identificó la fuerza del primer máximo local,  $F_p$ , y la carga máxima

absoluta,  $F_{ult}$ . Se calcularon además los desplazamientos normalizados de cada componente al inicio del corte,  $\hat{\Delta}_{res,c}^{t_{cut}}$ , según las expresiones (1) y (2) particularizadas para ese instante, y sus contribuciones porcentuales al desplazamiento total,  $\%_0\hat{\Delta}_{res,c}^{t_{cut}}$ , según (3).

## Resultados y Discusión

Aunque se intentó situar las marcas siempre a la misma distancia, la medición de las longitudes de los tramos representativos de las distintas componentes al inicio del ensayo cíclico y de el de rotura, arrojó diferencias significativas, lo que mostró la necesidad de adoptar los valores normalizados calculados según (2) para permitir comparaciones inter-especímen en cada grupo y entre los grupos de estudio.

Los desplazamientos normalizados totales de cada componente y sus contribuciones porcentuales se resumen en la Tabla 1 para ambos grupos. No pudieron determinarse diferencias para los desplazamientos residuales normalizados de ninguna de las componentes individuales, obteniéndose valores p elevados que hacen sospechar que la influencia de cada una de las componentes sobre el valor total es similar en ambos grupos. Además siempre fue la sutura el componente con mayor contribución, en torno al 45%.

Tabla1: Alargamientos en ensayo cíclico. Media (DE)

	Orificio	Sutura	Tejido	Total
$\hat{\Delta}_{res,c}$				
Grupo P	0.43(0.32)	1.07(0.58)	0.57(0.45)	2.31(0.90)
Grupo H	0.68(0.41)	1.04(0.53)	0.44(0.31)	2.16(0.74)
valor p	0.29	0.92	0.18	0.99
$\%_0\hat{\Delta}_{res,c}$				
Grupo P	24.53(13.40)	45.53(17.07)	29.94(18.03)	
Grupo H	31.95(16.37)	45.87(12.63)	22.19(14.62)	
valor p	0.34	0.96	0.36	

En los ensayos de rotura, un espécimen del grupo P y uno del grupo H presentaron incidencias que llevaron a descartarlos del estudio. El valor de las fuerzas características del ensayo de rotura se muestra en la Tabla 2. El modelo porcino resultó significativamente más resistente al corte y con mayor carga última. La similitud de espesores en el orificio encontrada entre los especímenes de uno y otro grupo (con  $p=0.95$ ) y el haber utilizado el mismo tipo de hilo de sutura, hace descartar que la diferencia encontrada entre los valores sea debida a factores geométricos. Es más, el análisis de correlaciones entre el espesor medido en el orificio y el desplazamiento residual debido a esta componente no pudo establecer influencia de este parámetro en ninguno de los grupos de estudio ( $R^2=0.0008$ , grupo P;  $R^2=0.0228$ , grupo H).

Tabla2: Fuerzas en el ensayo de rotura. Media (DE)

	Grupo P	Grupo H	valor p
$F_{cut}$ (N)	97.48 (20.02)	54.78(7.72)	0.001*
$F_p$ (N)	101.60 (19.15)	58.90(7.36)	0.0002*
$F_{ult}$ (N)	109.17(20.32)	68.64(10.78)	0.0005*

$F_p$  se encontró muy próximo y después del inicio del corte en todos los especímenes, excepto cuando  $F_p=F_{ult}$ . La carga última fue algo mayor, aunque con un aumento muy moderado que responde a la relativamente fácil progresión del corte una vez superada la fuerza del primer pico.  $F_{cut}$  se correlacionó positivamente con  $F_p$  en ambos grupos (Grupo P;  $R^2=0.9661$ ,  $p=0.0001$ ; Grupo H;  $R^2=0.7839$ ,  $p=0.0213$ ). Sin embargo, la correlación entre la  $F_{cut}$  y  $F_{ult}$  resultó más débil en el grupo P ( $R^2=0.7702$ ,  $p=0.0253$ ) mientras que en el grupo H ni siquiera pudo establecerse ( $R^2=0.2507$ ,  $p=0.5493$ ).

Los valores de los alargamientos de cada componente en el instante de inicio del corte y su contribución porcentual al alargamiento total se resumen en la Tabla 3. La comparación de alargamientos normalizados muestra valores significativamente mayores para todas las componentes en los especímenes del grupo P. Este resultado es consecuencia de la mayor resistencia al corte del tejido porcino, que en el instante del corte se ven sometidos a una carga cuya media es más de un 80% superior. Sin embargo, cuando se analiza la contribución de los alargamientos de orificio, hilo y tejido al alargamiento total de los especímenes no se encuentran diferencias significativas entre ambos grupos, apoyando la asunción de que los resultados comparativos en estas contribuciones obtenidos con modelos porcinos son extensibles a los modelos humanos.

Tabla3: Alargamientos al inicio del corte. Media (DE)

	Orificio	Sutura	Tejido	Total
$\hat{\Delta}_{res,c}^{t_{cut}}$				
Grupo P	0.72(0.23)	1.59 (0.59)	0.88(0.43)	3.19(1.09)
Grupo H	0.25(0.19)	0.61(0.17)	0.31(0.17)	1.17(0.38)
valor p	0.001*	0.003*	0.010*	0.001*
$\%_0\hat{\Delta}_{res,c}^{t_{cut}}$				
Grupo P	23.72(6.17)	49.84(5.62)	26.44(6.32)	
Grupo H	18.92(8.87)	54.95(11.14)	26.13(8.70)	
valor p	0.26	0.30	0.94	

## Conclusión

- Las contribuciones porcentuales de las componentes estudiadas al desplazamiento de la raíz meniscal son similares en los modelos porcino y humano de edad avanzada utilizados, tanto tras el ensayo cíclico como al inicio del corte, lo que valida el uso del modelo porcino para estudios comparativos.

-  $F_{cut}$  muestra valores muy cercanos a  $F_p$  y con una fuerte correlación positiva en modo humano y porcino. Mientras que  $F_{ult}$  no se correlaciona con  $F_{cut}$  en modelo humano, aunque si en modelo porcino. El primer máximo local se propone como el valor más adecuado para analizar la resistencia a la retención de la sutura cuando no se monitoriza la entrefase menisco-sutura.

-La resistencia a la retención de la sutura es significativamente mayor en modelo porcino que en modelo humano de edad avanzada.

## Referencias

- [1] Sandman G.H. et al., BMC Musculoskeletal Disord: 314-324,2013.
- [2] LaPrade R.F. et al, Am J Sports Med, 43: 892-898,2015.
- [3] ISO 7198,2016.