

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO PASIVO ELÁSTICO Y VISCOELÁSTICO EN VENTRÍCULO IZQUIERDO DE CORAZÓN DE CERDO

Nicolás Laita (1), Miguel Ángel Martínez (1,2), Manuel Doblaré (1,2), Estefanía Peña (1,2)

1 Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

2 Centro de Investigación Biomédica en Red. Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), España

Introducción

Las enfermedades de corazón son una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Debido al complejo comportamiento electromecánico de este órgano, el desarrollo de estudios experimentales que brinden información sobre las características mecánicas del tejido es esencial en este campo. En los últimos años, se han realizado numerosos estudios pasivos en diferentes especies con el objetivo de caracterizar su comportamiento, pero siempre en régimen elástico. Debido al comportamiento ortótropo del tejido miocárdico y los complejos esfuerzos a los que está sometido durante el ciclo cardiaco, se requieren diferentes tipos de ensayo para ofrecer una caracterización tridimensional completa. En este estudio, se han llevado a cabo ensayos de extensión biaxial a diferentes ratios de carga y ensayos tangenciales en las diferentes direcciones del tejido, ambos en régimen elástico y viscoelástico.

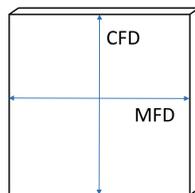
Métodos

Obtención de las muestras

Especimen	Ensayos biaxiales		Ensayos tangenciales	
	Elásticos	Viscoelásticos	Elásticos	Viscoelásticos
I	3	-	7	-
II	3	1	7	-
III	2	1	7	1
IV	2	1	6	1
V	2	1	10	2
VI	2	1	7	1
VII	2	1	7	2
Total (n=7)	16	6	51	7

Ensayos biaxiales

Muestras de 25x25x1 mm obtenidas con vibratomo a lo largo de toda la sección transmural, orientadas según las direcciones de las fibras musculares



Condiciones de ensayo

Ensayos elásticos:

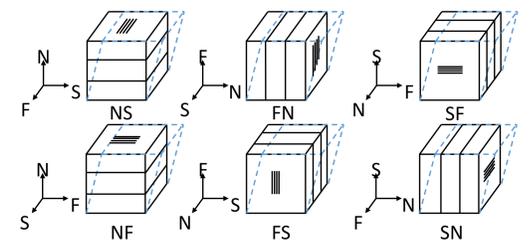
- 4 niveles de deformación (5, 10, 15 y 20%)
- Régimen cuasi estático (3 mm/min)
- 5 ratios de carga (1[MFD]-1[CFD], 1-0.75, 1-0.5, 0.75-1, 0.5-1)
- 5 ciclos por cada ratio de carga

Ensayos viscoelásticos:

- 4 niveles de deformación (5, 10, 15 y 20%)
- 5 ciclos a alta velocidad (30 mm/min)
- Relajación viscoelástica de 15 minutos

Ensayos tangenciales

Muestras miocárdicas cúbicas de 4 mm a lo largo de una sección transmural, desde la base hasta el ápex, siguiendo las direcciones de las fibras



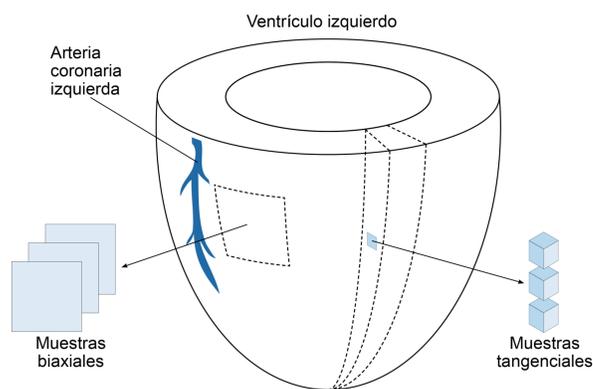
Condiciones de ensayo

Ensayos elásticos:

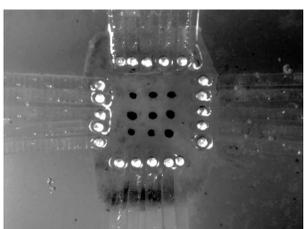
- 5 niveles de deformación (10, 20, 30, 40 y 50%)
- Régimen cuasi estático (2 mm/min)
- 3 ciclos por cada nivel de deformación

Ensayos viscoelásticos:

- 5 niveles de deformación (10, 20, 30, 40 y 50%)
- Carga cíclica de alta velocidad (30 mm/min)
- Relajación viscoelástica de 15 minutos

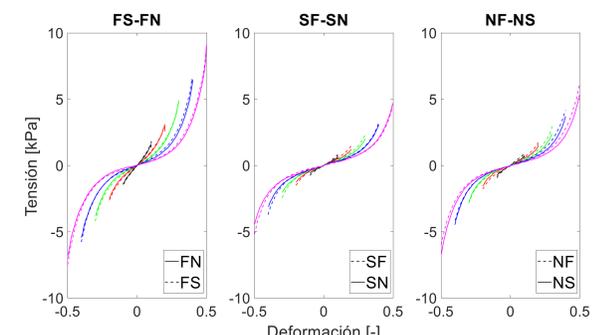
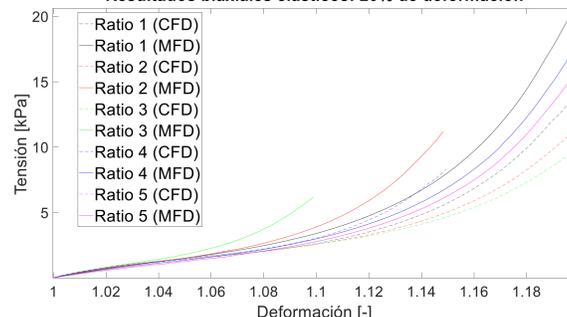


Resultados

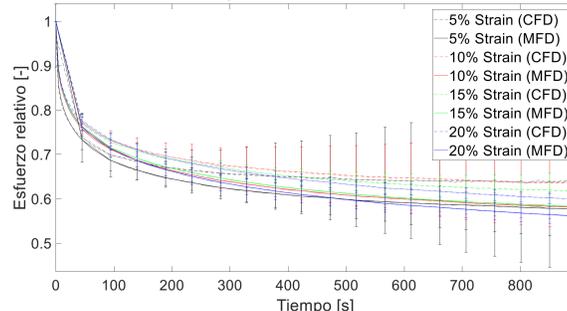


- Respuesta biaxial anisótropa, más rígida en MFD
- Respuesta tangencial más rígida en F que en S-N. Valores de tensión similares entre S y N
- Los resultados muestran una viscoelasticidad lineal, con una relajación muy similar para todos los niveles de extensión previa, tanto en régimen biaxial como en tangencial
- Relajación viscoelástica relativamente isotrópica, con tensiones similares para los dos ejes, pero ligeramente mayores en CFD

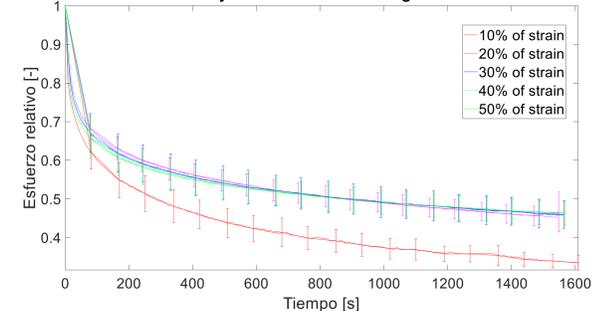
Resultados biaxiales elásticos: 20% de deformación



Relajación viscoelástica biaxial



Relajación viscoelástica tangencial



Conclusiones y líneas futuras

- ✓ Los resultados obtenidos muestran un comportamiento ortótropo del tejido, coherente con lo observado en literatura en ensayos de corazón
- ✓ Los tipos de ensayos realizados nos permiten caracterizar este tejido con cualquier modelo de material de los existentes en literatura
- ✓ El siguiente paso es el ajuste de los modelos de material seleccionados con las propiedades obtenidas en este estudio
- ✓ En los próximos meses se repetirá este estudio con corazones infartados de cerdo para estudiar la influencia mecánica de dicha patología

Referencias

- Holmes et al, Annu. Rev. Biomed. Eng. 27 (2005) 223-253.
- Dokos et al, J. Biomech. Eng. 122 (2000) 471-478.
- Holzappel et al, Philo. Trans. R. Soc. 367 (2009) 3445-3475
- Yin et al, J. Biomech. 20 (1987) 577-589.
- Dokos et al, Am. J. Physiol. 283 (2002) H2650-2659.
- Sommer et al, Acta biomat., 24, (2005) 172-192

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la investigación de la Comunidad Económica Europea a través del Proyecto BRAV3, C1-BHC-07-2019, H2020 y al Ministerio de Economía a través del proyecto DPI2016-76630-C2-1-R.