

Resumen

En esta tesis, el principal objetivo es analizar el efecto de la osteoporosis en el comportamiento mecánico del hueso trabecular. El comportamiento mecánico del hueso trabecular se ha abordado desde diferentes enfoques, como son los ensayos experimentales, los modelos de elementos finitos (EF) y la imagen médica obtenida por micro-CT.

El impacto de la osteoporosis se ha estudiado en distintas escalas. En primer lugar, se ha abordado un estudio a nivel de tejido lamellar del hueso trabecular para estimar las ecuaciones que nos permitan definir las propiedades elásticas y resistentes en función de la densidad mineral ósea (DMO) y la porosidad del tejido. Estas ecuaciones inferidas en los modelos de elementos finitos permitirán estudiar el comportamiento del tejido óseo lamelar abarcando un amplio rango de porosidades y DMOs.

Se ha realizado un estudio de la estructura trabecular y del tejido lamelar utilizando un estereomicroscopio y el microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM). Al nivel del tejido lamelar, se ha podido observar la disposición de las lamelas en distintas localizaciones, como en las trabéculas y sus intersecciones. Además, se ha podido evaluar la porosidad tisular natural y la producida por enfermedades óseas, como la osteoporosis. Toda esta información ha sido incorporada a los modelos numéricos para poder definir las propiedades en las muestras trabeculares. Las ecuaciones elásticas y resistentes estimadas consideran un comportamiento ortótropo y es posible cuantificar cómo afectan la DMO y la porosidad a estas propiedades.

Por otro lado, se ha estudiado el comportamiento mecánico a compresión de muestras humanas de hueso trabecular procedente de cabezas femorales. Estas muestras se han clasificado en tres grupos de estudio: grupo sano (HG), grupo artrósico (OA) y grupo osteoporótico (OP). Estas muestras se han estudiado mediante ensayos experimentales, imagen médica obtenida por micro-CT y modelos de elementos finitos, permitiendo obtener gran información sobre el comportamiento mecánico del hueso. La respuesta mecánica está fuertemente influenciada por la microarquitectura trabecular. Los resultados obtenidos más importantes son el módulo aparente, la tensión de fallo y la deformación de fallo. Tras la segmentación de imagen, se han podido generar modelos de elementos finitos y estudiar la morfometría de las muestras. Los modelos numéricos han permitido estimar las propiedades a nivel de tejido: el módulo de Young a nivel de tejido y las deformaciones de fluencia y de fallo. Los resultados han revelado que a nivel de tejido no se aprecian variaciones en el módulo de Young aunque el hueso presente una patología ósea. Un comportamiento de fluencia similar se ha observado para todos los grupos, con diferencias únicamente en la deformación de fallo.

El estudio de la morfometría ha permitido analizar los parámetros morfométricos que diferencian las muestras sanas de las enfermas, e incluso a diferenciar entre diferentes patologías. Se han correlacionado los parámetros morfométricos con la respuesta mecánica para analizar aquellos que tienen mayor influencia sobre la respuesta mecánica. Las correlaciones obtenidas permiten estimar la respuesta mecánica del hueso trabecular utilizando las imágenes micro-CT sin necesidad de realizar ensayos experimentales. Los parámetros obtenidos de la respuesta mecánica también se han relacionado entre sí. Estas relaciones permiten conocer el comportamiento de cada una de las muestras que es diferente según la enfermedad que padecen.

Finalmente, se han estudiado muestras bioinspiradas y estructuras triplemente periódicas de mínima superficie (TPMS) obtenidas mediante fabricación aditiva. Estas muestras bioinspiradas se han fabricado con ácido poliláctico (PLA) como material de impresión. Las muestras bioinspiradas muestran un comportamiento ortótropo igual que las muestras trabeculares. Estos simulantes pueden ser utilizados para hacer estudios previos cuando no se disponga de las muestras óseas. El tratamiento de fracturas óseas de gran tamaño requiere de técnicas no convencionales para la fijación del hueso. Suelen utilizarse andamios óseos con triple periodicidad que tienen como resultado propiedades ortótropas iguales en las tres direcciones ortogonales. Estos sistemas deben disponer de rigideces similares al hueso en la vecindad del defecto para evitar el aflojamiento del implante. Con este objetivo, se ha propuesto una metodología

que permite diseñar andamios óseos paciente-específicos que permiten ajustar las propiedades mecánicas ortótropas en cada dirección en función del hueso.