

Tesista: Ariel A. Ibarra Pino

Ingeniero Electromecánico. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Magister Scientiae en Ciencia y Tecnología de Materiales. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tema: “Estudio del comportamiento mecánico del hueso trabecular mediante técnicas de homogeneización”

Director de Tesis: Dr. Adrián Cisilino. **Co-director:** Dr. Mirco Chapetti

Lugar de Trabajo: INTEMA - Facultad de Ingeniería – UNMDP.

Fecha de Defensa: 28 de octubre de 2011

Jurados: Dr. Martín Idiart (Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP)

Dr. Santiago Urquiza (Facultad de Ingeniería, UNMdP).

Dr. Gustavo A. Abraham (Facultad de Ingeniería, UNMDP)

Resumen:

En este trabajo se desarrollan e implementan herramientas numéricas para el análisis mecánico multiescala del hueso trabecular y, las herramientas computacionales para la reconstrucción de modelos tridimensionales de la geometría trabecular a partir de imágenes médicas.

Se presenta una revisión de los métodos de homogenización. Sus características son analizadas y discutidas considerando su aplicación al hueso trabecular. A partir de los resultados de este estudio, se seleccionan a los métodos de homogenización directa y asintótica como los más adecuados para computar el tensor de elasticidad del material aparente que caracteriza el comportamiento mecánico de una muestra de hueso trabecular.

Los métodos de homogenización directo y asintótico se implementan numéricamente usando el método de los elementos finitos. Con este propósito, varios programas se implementaron usando Matlab y Abaqus. La implementación de los métodos de homogenización se discute detalladamente. Las formulaciones e implementaciones se verifican y validan. De este modo, se demuestra que el método de homogenización asintótica provee los mejores resultados para el análisis del hueso trabecular.

Se presenta un novedoso procedimiento para la construcción de los modelos de elementos finitos de la geometría trabecular. Este procedimiento permite analizar muestras detalladas de hueso trabecular discretizadas con elementos hexaédricos. Se propone un nuevo índice para la evaluación de la calidad de la representación geométrica de los modelos reconstruidos.

Se presenta una revisión de las técnicas disponibles para la medición de las propiedades elásticas del tejido trabecular. Se determina que las técnicas de indentación instrumentada son las más adecuadas. Por consiguiente, se desarrollaron e implementaron procedimientos para la conservación, preparación y ensayo de muestras de hueso trabecular. Las propiedades del tejido trabecular se emplean luego como datos de entrada para los estudios de homogenización.

Finalmente, los procedimientos numéricos y experimentales desarrollados e implementados en este trabajo se aplican a una muestra de hueso trabecular de origen bovino.

Abstract

This thesis is devoted to the developing and implementation of a computational and experimental procedure for multi-scale analysis of the mechanical properties of the trabecular bone.

A review of homogenization methods in the context of linear elasticity is presented first. The pros and cons of the different techniques are analyzed and discussed considering its application to trabecular bone. As a result, the direct and asymptotic homogenization methods are selected as the most suitable techniques for the computation of the homogenized apparent elastic tensor of trabecular bone samples.

The direct and asymptotic homogenization methods are numerically implemented using the finite element method. To this end, a number of programs are developed using Matlab and Abaqus. Implementation issues are discussed in detail. The formulations and implementations are verified and validated. As a result of verification and validation analyses, the asymptotic homogenization method is found to provide the best results for the analysis of trabecular bone.

A novel procedure to build finite element models of the trabecular architecture from microtomographic images is developed. The procedure enables analysis of trabecular bone in full detail using hexahedral elements. A new index is proposed to assess the quality of the finite element reconstruction.

Experimental techniques available in order to measure the elastic properties of trabecular tissue are reviewed. Instrumented indentation is found to be the most suitable. Thus, procedures for storage, preparation and testing of trabecular bone samples are developed and implemented. The elastic properties of trabecular tissue are input data for the homogenization analyses.

Both, experimental and numerical procedures developed and implemented in the thesis, are applied for the homogenization of samples of bovine trabecular bone.