

Introduction

L'investigation de l'intérieur du corps humain peut être effectuée soit directement, à l'aide d'une intervention chirurgicale, soit indirectement, en ayant recours à un endoscope basé essentiellement sur l'utilisation d'un tube optique muni d'un système d'éclairage, qui, en traversant le corps, transmet une image à un dispositif d'éclairage. Cependant, ces deux méthodes représentent des techniques d'investigation invasives, engendrant des traumatismes ou des endommagements relativement potentiels.

Le besoin d'utiliser des méthodes moins invasives pour visualiser l'anatomie et la composition interne du corps a conduit au développement de diverses techniques d'imagerie médicale. Ces techniques ont connu une expansion spectaculaire grâce aux contributions importantes des sciences informatiques, de l'ingénierie, de la physique médicale, des mathématiques appliquées, de la biologie et de la chimie. D'une manière générale, l'imagerie médicale fait référence au processus impliquant l'utilisation d'une source d'énergie traversant le corps, permettant de créer des images de l'anatomie interne du corps ou de la région d'intérêt et de fournir des informations pertinentes sur la composition et le fonctionnement des différentes structures biologiques. L'imagerie par rayons X, la tomodensitométrie, l'imagerie par résonance magnétique, ainsi que l'imagerie par ultrasons représentent les techniques d'imagerie médicale les plus fréquemment utilisées, chacune représentant des avantages et des inconvénients, ainsi que des domaines d'application spécifiques.

Plus loin, les images médicales obtenues à l'aide de ces techniques d'imagerie peuvent être utilisées pour reconstruire des modèles bi- ou tridimensionnels des organes ou structures cibles. La méthode des éléments finis représente une des méthodes les plus utilisées à ces fins, impliquant la génération de modèles selon une planification en trois étapes principales, à savoir le prémaillage, le maillage et le

post-maillage. La planification pré-maillage comprend la segmentation et le recalage d'images médicales, ainsi que le lissage des surfaces et l'extraction des régions d'intérêt, à l'aide de logiciels scientifiques spécifiques. Ensuite, les maillages sont générés selon plusieurs approches en utilisant différents algorithmes en fonction de la taille et du type d'élément (triangulaire, tétraédrique, hexaédrique, brique, etc.). Pour le maillage de volumes tridimensionnels, la génération d'éléments tétraédriques est relativement facile, car la formation des éléments bruts nécessite la connexion de plusieurs sommets. Les éléments de brique sont en réalité plus précis sur le plan informatique mais, pour être formés, la topologie de surfaces de conception compliquée assistée par ordinateur est nécessaire, en plus d'efforts supplémentaires. Après la génération préliminaire du maillage, il est important de vérifier la qualité des éléments afin de garantir une solution robuste du modèle en éléments finis. L'attribution de propriétés matérielles précises doit être suivie afin de présenter les caractéristiques de rigidité pour les mailles de tissu. Cependant, l'étape la plus importante du traitement des images médicales et la principale difficulté de leur analyse résident dans leur segmentation, en raison du défi que représente le traitement de l'inhomogénéité de l'intensité dans les régions à segmenter, ce qui influera sur le résultat de l'analyse dans son ensemble. Plus précisément, l'inhomogénéité d'intensité résulte généralement des imperfections du processus d'acquisition des images, tandis que l'arrière-plan représente la structure anatomique essentielle de plusieurs images médicales. La segmentation d'images consiste à extraire la région d'intérêt à l'aide d'un processus automatique ou semi-automatique. De nombreuses méthodes de segmentation dans de nombreuses applications médicales ont été utilisées.

Les modèles numériques basés sur les données d'images médicales ont récemment été largement répandus en biomécanique. Particulièrement, les modèles numériques de l'os sont significativement utiles pour mieux comprendre le comportement de l'os et le processus de fracture, en aidant, par exemple, à l'évaluation du risque de fracture sur la base du diagnostic d'image. Les fractures osseuses ne sont pas faciles à modéliser numériquement, car l'os est un matériau composite hétérogène et sa modélisation est fortement influencée par ses propriétés mécaniques. Il est à noter que les prévisions précises dépendent de la caractérisation réaliste du comportement du matériau. Les modèles numériques sont obtenus à partir d'images volumétriques en utilisant deux catégories principales de procédures, à savoir la méthode à base de voxel et la méthode à base de géométrie, les deux étant basées sur la méthode des éléments finis. L'analyse par éléments finis, développée en génie mécanique, a été introduite pour la première fois à la biomécanique orthopédique au début des années 1970, afin d'évaluer les contraintes appliquées à l'os humain. Depuis lors, cette méthode d'analyse a été largement utilisée pour étudier la mécanique des os.

Dans ce présent ouvrage, le premier chapitre représente les principes physiques, les applications ainsi que les avantages et les inconvénients des quatre techniques d'imagerie les plus fréquemment utilisées pour le diagnostic et l'investigation des structures osseuses. Le deuxième chapitre représente les étapes principales du traitement des images médicales générées à l'aide de ces quatre techniques d'imagerie. Le troisième chapitre représente une revue des études récentes traitant la reconstruction de modèles en éléments finis de structures osseuses, en se basant sur des images médicales, et le quatrième chapitre représente une revue des travaux récents utilisant la méthode des éléments finis pour modéliser et analyser le comportement osseux au niveau de différents sites du squelette humain.