



De l'imagerie médicale à la modélisation numérique personnalisée du corps humain

H. Delingette

Asclepios Team, INRIA Sophia-Antipolis, France, {Herve.Delingette}@inria.fr

Résumé — L'imagerie médicale fournit des informations très riches sur l'anatomie et la physiologie d'un patient. L'analyse par ordinateur de ces images permet d'extraire des quantités géométriques, cinématiques ou fonctionnelles. Ces grandeurs peuvent servir à personnaliser des modèles computationnels du corps humain afin qu'ils soient spécifiques à un patient donné. Trois exemples de tels modèles personnalisés sont décrits par la suite.

Mots clés — imagerie médicale, biomécanique, personnalisation

1 Couplage entre l'imagerie médicale et la simulation numérique

L'imagerie médicale est à présent au centre de la pratique médicale depuis l'établissement d'un diagnostic jusqu'à la planification de thérapie en incluant également le suivi temporel de pathologies ou encore le guidage de gestes chirurgicaux. Ces images peuvent être générées par de multiples modalités (Imagerie par Résonance Magnétique, scanner ou Tomodensitomètre par rayons X, échographie, imagerie par émission de positons etc) et être de multiples formats : images 2D, images tridimensionnelles reconstruites par tomographie ou encore séquences temporelles d'images 3D. Depuis plus de 15 ans, de nombreux travaux ont permis d'analyser par ordinateur ces images afin d'en extraire de manière reproductible et objectives des informations quantitatives telles que la forme de structures anatomiques, leur volume, ou encore leur déformation au cours du temps.

Les informations extraites de ces images peuvent être couplées avec des modèles numériques du corps humain pouvant être de plusieurs natures :

- **Géométrique.** Cela conduit à la construction de maillages surfaciques ou volumiques de structures anatomiques. Cela peut également inclure la description explicite ou sous forme de tenseurs des structures fibreuses dans le cerveau ou les muscles. La construction de ces modèles permet de définir des modèles computationnels.
- **Physique.** Par exemple, la modélisation biomécanique du cerveau ou celle du foie ont été étudiées pour l'aide à la planification de chirurgie. Ces modèles peuvent être couplés comme dans le cas de la modélisation électro-mécanique du coeur.
- **Physiologique.** On peut modéliser la croissance ou l'apoptose de cellules par exemple tumorales et étudier leur couplage avec des phénomènes physiques (biomécanique dans le cas de l'effet de masse lié à la croissance tumorale).

De plus, on peut aborder ces modélisations sous un angle multi-échelle (depuis une échelle microscopique vers une échelle macroscopique) ou encore en s'intéressant à une population (aspect statistique) plutôt qu'à un individu.

Le couplage entre ces modèles computationnels du corps humain et des images médicales d'un patient s'effectue tout d'abord en les personnalisant. La personnalisation de modèles géométriques consiste à faire en sorte que les maillages de structures anatomiques correspondent à leurs frontières visibles dans ces images : il s'agit essentiellement une étape de segmentation d'images. Pour la personnalisation de modèles physiques ou physiologiques, on cherche à estimer les paramètres de ces modèles afin que les résultats de la simulation (déformation d'organes, croissance de tumeurs, battement du myocarde) correspondent aux phénomènes observés dans les images médicales.

Une fois effectuée cette personnalisation, on peut utiliser les modèles géométriques ou encore les paramètres estimés pour aider le praticien à établir un diagnostic par exemple en calculant le volume d'une

pathologie ou en détectant des mouvements anormaux du coeur. De plus, grâce à la personnalisation de modèles physiques ou physiologiques, on peut utiliser leur caractère prédictif pour évaluer la pertinence d'une thérapie (faut-il implanter un stimulateur cardiaque à ce patient et si c'est le cas où faut-il le faire ?) ou encore prédire l'évolution future d'une pathologie.

2 Exemple de modèles personnalisés

On présente ici très succinctement trois exemples de modèles personnalisés grâce à l'imagerie médicale.

2.1 Modélisation biomécanique du foie

Un modèle biomécanique du foie a été développé afin d'être inclus dans un simulateur interactif de chirurgie adapté à la formation des jeunes chirurgiens. Ce modèle dont la géométrie repose sur l'imagerie scanner de l'abdomen prend en compte le caractère visqueux et poro-élastique[1] du foie. Certains paramètres mécaniques ont été estimés à partir de mesures mécaniques dynamiques in vitro.

2.2 Modélisation de la croissance de tumeurs du cerveau

On s'intéresse ici à modélisation la croissance de certaines tumeurs gliales[2] dans le cerveau. Ces tumeurs (partie nécrotique, proliférante et oedème) sont visibles grâce à plusieurs modalités d'imagerie IRM. Un modèle mathématique de type réaction-diffusion permet de prendre en compte la prolifération des cellules tumorales mais aussi leur diffusion particulièrement anisotrope dans les fibres de matière blanche. A partir de l'acquisition de plusieurs images IRM sur un même patient lors de la progression de ces tumeurs, il est possible d'estimer plusieurs paramètres de ces modèles conduisant à une évaluation fine de la vitesse de progression des lésions.

2.3 Modélisation électromécanique du coeur

Le mouvement cardiaque peut être observé grâce à plusieurs modalités d'imagerie telles que l'IRM ou le scanner. Celui-ci peut être simulé en modélisant la propagation d'un potentiel d'action dans le coeur et en couplant cette propagation avec une contraction ou relaxation des fibres cardiaques. Un tel modèle électromécanique du coeur a été personnalisé[3] avec les observations électrophysiologiques et cinématiques présentes dans des images ou signaux. Il est ensuite utilisé pour aider à la planification de thérapies telles que la resynchronisation cardiaque ou l'ablation radiofréquence.

Références

- [1] Stéphanie Marchesseau, Tobias Heimann, Simon Chatelin, Rémy Willinger, and Hervé Delingette. Fast porous visco-hyperelastic soft tissue model for surgery simulation : application to liver surgery. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 2010. to appear.
- [2] Ender Konukoglu, Olivier Clatz, Bjoern H. Menze, Marc-André Weber, Bram Stieltjes, Emmanuel Mandonnet, Hervé Delingette, and Nicholas Ayache. Image guided personalization of reaction-diffusion type tumor growth models using modified anisotropic eikonal equations. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 29(1) :77–95, 2010.
- [3] M Sermesant, J M Peyrat, P Chinchapatnam, F Billet, T Mansi, K Rhode, H Delingette, R Razavi, and N Ayache. Toward patient-specific myocardial models of the heart. *Heart Failure Clinics*, 4(3) :289–301, July 2008.