Modélisation comportementale du poumon pour l'amélioration des traitements oncologiques

Pierre-Frédéric Villard, Vincent Baudet

▶ **To cite this version:**

Pierre-Frédéric Villard, Vincent Baudet. Modélisation comportementale du poumon pour l'amélioration des traitements oncologiques. 10ème Journée des jeunes chercheurs, SFGBM, 2003, Nantes, France. pp.182–183. hal-00849208

HAL Id: hal-00849208

https://inria.hal.science/hal-00849208

Submitted on 30 Jul 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation comportementale du poumon pour l'amélioration des traitements oncologiques.

Lung behaviour model to improve cancer treatments.

P.F. Villard, V. Baudet
[pvillard, vbaudet]@ligim.univ-lyon1.fr
LIRIS, bat nautibus, 43 bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne CEDEX

Abstract

Curative treatment of lung cancer is difficult because of organ motions. A treatment improvement consists in tracking the tumour displacement and deformation during patient breathing in order to optimise the ballistics of the particles. The aim of this work is to simulate the motions and deformations of the lung using personalised parameters for each patient. At LIRIS, we work on tumour deformations simulation based on an inflatable elastic model of object in interaction with its environment (the rib cage). We study the finite-element models or simplified models such as mass-spring type or particle system.

keywords conformal radiotherapy, hadrontherapy, compliance, finite elements, mass spring systems, Young modulus.

INTRODUCTION

La radiothérapie conformationnelle et l'hadronthérapie visent à envoyer une dose létale de rayons ionisants dans la zone des cellules cancéreuses, tout en réduisant l'impact sur les tissus sains voisins. La planification du traitement se base sur des volumes tumoraux augmentés d'une marge de sécurité pour prendre en compte les imprécisions éventuelles dues aux déformations et aux déplacements de la cible, augmentant ainsi le risque d'irradiation des cellules saines.

Afin de réduire cette marge, nous recherchons à quantifier les déformations et les déplacements de tumeurs pulmonaires.

Dans la suite de l'article nous présentons le contexte de notre étude puis faisons un bref état de l'art des modèles existants. Nous présentons ensuite les modèles que nous allons utiliser.

I PERSONNALISATION D'UN MODELE DE POUMON

Les poumons sont enveloppés dans une fine peau: la plèvre. Ils se déforment sous l'action des muscles diaphragmatiques et costaux qui provoquent des changements de pressions dans la plèvre, et ainsi le gonflement des poumons. Les tumeurs pulmonaires bougent du fait de la respiration et de leur environnement (battement du cœur) [6].

Notre étude fait l'objet d'une collaboration avec le centre anticancéreux Léon Bérard (CLB).

La modélisation de l'appareil respiratoire et de ses organes voisins nécessite la saisie de leur forme géométrique et les paramètres physiques associés. Pour cela, au CLB, nous avons défini un protocole expérimental qui nous permet d'avoir des examens scanner thoraciques pris d'un même patient à des temps respiratoires différents, mais avec à chaque fois, une quantité d'air insufflé connue grâce à un système de contrôle actif: l'ABC (*Active Breathing Coordinator*) [7].

De ces scanners, on peut extraire une segmentation claire puis un contourage (fig. 1).

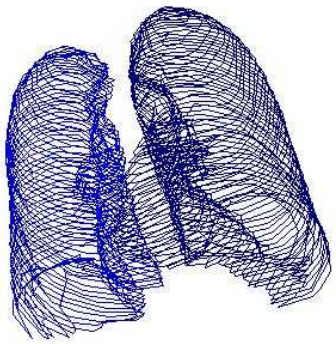

fig. 1 poumons segmentés à partir d'images scanners

Le bilan fonctionnel respiratoire réalisé à l'EFR de l'hôpital Louis Pradel nous fourni la compliance qui est un paramètre physiologique [5] donnant le rapport d'un volume d'air et d'une pression d'air. Nous avons su la relier avec le module de Young qui représente le coefficient d'élasticité linéaire.

II MODELES EXISTANTS

La recherche d'une modélisation des poumons ou de la respiration n'est pas une nouveauté [1,2,3], mais les propositions qui ont été faites sont soit très illustratives et inadaptées à la description d'un comportement réel personnalisé ou n'ont jamais été développés pour une

personnalisation. Dans [4], l'auteur a développé un premier modèle fondé sur les systèmes de particules qu'il déforme suivant des obstacles tels que les côtes. Cependant, dans cette approche, les paramètres physiques ne sont pas définis de manière explicite.

III METHODES PROPOSEES

Nous recherchons un modèle de comportement tumoral personnalisable à la physiologie et à l'anatomie du patient.
Pour modéliser la géométrie, nous utilisons la segmentation des sections scanners (fig. 1). Ensuite, nous appliquons un maillage tétraédrique qui nous permettra de conserver la connexité de la tumeur à l'intérieur du poumon.
Cette tumeur pourra également être perturbée par d'autres organes (cœur, cage thoracique ou diaphragme) qu'il nous faudra prendre en compte.
Pour modéliser le comportement de la tumeur , des poumons et de leurs interactions nous utiliserons des lois mécaniques basées sur l'étude de la compliance.
Le pilotage du modèle se fera par la simulation d'un scénario de respiration obtenu par enregistrements ABC du patient.
Pour nos études, nous développons deux approches, une très précise fondée sur la méthode des éléments finis, et une autre, appelée méthode hybride, qui recherche un gain en temps de calcul.

a METHODE DES ELEMENTS FINIS

C'est une méthode numérique, couramment utilisé en mécanique, qui permet de calculer le comportement d'un objet soumis à diverses sollicitations (force, pression …) en discrétisant son volume en petits éléments. Ces éléments étant régis par un ensemble de lois de la mécanique des milieux continus.
Ainsi, le gonflement du poumon est simulé par un ensemble de déplacements en surface calculés à partir des différents scanners. Le calcul est effectué en dynamique.

b METHODE HYBRIDE

En parallèle, nous développons un simulateur permettant de faire interagir plusieurs types de modèles tels que des systèmes masses ressorts ainsi que les surfaces implicites intéressants pour modéliser des objets peu déformables.
Pour le gonflement des poumons, nous appliquons une pression sur la surface du modèle qui nous est donnée par la compliance combinée aux données du système ABC, en chacune des facettes et nous laissons les forces d'interactions entre les nœuds se propager pour arriver à une nouvelle situation d'équilibre.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons deux modèles complémentaires de système masse ressorts et d'éléments finis simulant le gonflement.
Partir d'une valeur mesurée de la compliance semble être un bon point de départ. Ceci permet, entre autre, d'avoir une mesure "personnalisée" pour chaque patient.
Mais, cette valeur est une représentation d'élasticité globale qui n'illustre pas l'hétérogénéité du poumon. De plus, elle impose un modèle d'élasticité linéaire car il n'y a aucune relation entre la déformation et le module de Young.
Pour vérifier l'impact de ces hypothèses simplificatrices, une étude sur le déplacement des pixels par analyse d'images scanner est en cours.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Centre Léon Bérard, le projet ETOILE et la ligue Nationale contre le cancer pour leur soutient.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Q. Grimal, A. Watzky and S. Naili, A one-dimensional model for the propagation of transient pressure waves through the lung, J. of Biomechanics, 35, pp. 1081-1089, 2002
[2] J. Kaye, D.N.Metaxas, F.P.Primiano, A 3D Virtual Environment for Modeling Mechanical Cardiopulmonary Interactions, National Library of Medicine and the Philadelphia VAMC, 1-LM-4-3515, 1998
[3] Promayon, Modélisation et simulation de la respiration, Thèse d'informatique de l'université Joseph Fourier, Grenoble. November 1997.
[4] Morade Amrani, Modélisation et simulation d'objets déformables, Thèse d'informatique de l'UCBL, 12/2002.
[5] Moy Loring, Compliance, Seminars in respiratory and critical care medicine, 19(4), pp. 349-359, 1998
[6] K.M. Langen et D.T.L. Jones, Organ Motion and its Management, Int. J. Radiation Onc. Biol. Phys., 50(1), pp 265-278, 2001
[7] J.W.Wong et al., The use of Active Breathing Control (ABC) to reduce margin for breathing motion, Int. J. Radiation Onc. Biol. Phys., 44(4), pp 911-919, 1999