

Modélisation du système artéroveineux complet, simulateur numérique.

2 avril 2014

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire :

Institut Jean le Rond d'Alembert

Etablissement de rattachement :

UPMC-CNRS

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS :

Lagrée P-Y Fullana J-M CNU 60

Titre de la thèse : Etude multi échelle des réseaux artériels

Collaborations dans le cadre de la thèse :

Doshisha University Kyoto Japan

Pitié Salpêtrière Paris

IMFT Toulouse

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Résumé du sujet :

Le cadre général est celui de la compréhension des écoulements biologiques dans les réseaux artério-veineux en vue de faire un simulateur mécanique complet du corps humain pour comprendre et simuler les pathologies du système cardio vasculaire. Les méthodes employées seront celle de la modélisation mécanique (écoulement Newtonien ou non en interaction avec une paroi visco-élastique) avec des approches semi analytiques (différents niveaux de simplification) et numériques (interaction fluide structure, mise en oeuvre de schémas adaptés). A noter une collaboration avec le Japon qui développe un modèle expérimental, et une thèse de médecine de la Pitié.

Etude multi échelle des réseaux artériels

Le cadre général est celui de la compréhension des écoulements biologiques dans les réseaux artérioveineux en vue de faire un simulateur mécanique complet du corps humain. Les méthodes employées seront celle de la modélisation mécanique avec des approches semi analytiques et numériques.

Les échelles mises en oeuvre étant très différentes, du diamètre des capillaires à la taille de l'homme, il est nécessaire de faire des simplifications. On étudiera donc des effets locaux à l'aide des équations complètes de Navier Stokes (pour calculer finement les champs de vitesse dans des configurations locales) que l'on couplera à des équations plus simplifiées de type 2D, 1D voire 0D pour simuler les conditions d'entrée et de sortie dont le rôle est fondamental dans ce type de problème.

La méthode la plus simplifiée pour obtenir les équations 1D consiste à supposer, suite à une intégration d'un profil de base, que la vitesse est constante dans chaque section, et on peut ensuite ajouter un terme de frottement modélisant la viscosité. On peut aussi résoudre un système d'équations différentielles obtenues à partir de Navier Stokes mais en négligeant par analyse phénoménologique certains termes. Différentes méthodes numériques de type volumes finis seront utilisées et comparées sur des cas de réseaux. Une méthode intermédiaire de type onde longue/ couche limite se plaçant entre le 1D et l'axi sera développée pour affiner l'estimation du frottement pariétal qui est trop grossière en 1D.

Les méthodes qui seront développées permettront de calculer l'écoulement du sang dans des réseaux réalistes de plusieurs centaines (voir de milliers) de vaisseaux.

On étudiera les interactions entre ces différentes modélisations et la validité de ces simplifications. On veut connaître tous les champs de pressions et de vitesse, leur connaissance est importante pour les pathologies. On étudiera la réponse du réseau à différents changements simulant diverses pathologies (sténose, hypertension...).

Les collaborations (effectives) expérimentales et médicales permettront d'ancrer les simulations dans la réalité et d'interagir avec des praticiens.

Dans ce dernier cas, les simulations seront une aide chirurgicale effective pour les opérations de pontage.

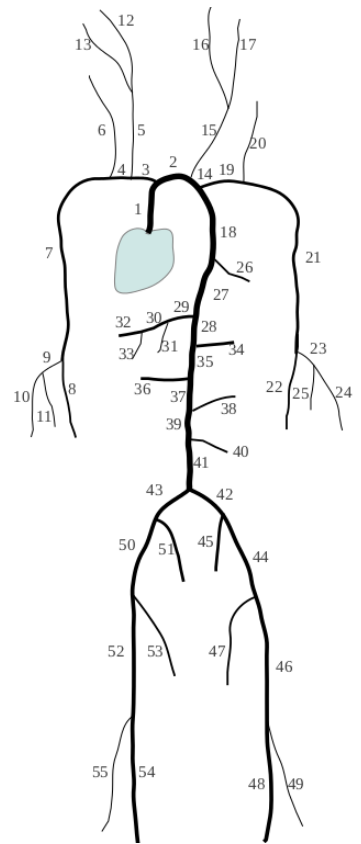


FIGURE 1 – modèle en cours

Bibliographie

Masashi Saito, Yuki Ikenaga, Mami Matsukawa, Yoshiaki Watanabe, Takaaki Asada, and P.-Y. Lagrée (2011) : "One-dimensional Propagation Model of Pressure Wave in a Model of Human Arterial Network : Comparative Study of Theory and Experiments", Journal of Biomechanical Engineering DECEMBER 2011, Vol.133 / 121005-1

S. J. Sherwin, L. Formaggia, J. Peiró, and V. Franke. Computational modelling of 1d blood flow with variable mechanical properties and its application to the simulation of wave propagation in the human arterial system. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 43 :673–700, 2003.

X.-F. Wang, J.-M. Fullana, P.-Y. Lagrée Verification and comparison of four numerical schemes for a 1D viscoelastic blood flow model Subm

Contacts :

Pierre-Yves Lagrée, (pierre-yves.lagree@upmc.fr) (01 44 27 25 59)

Jose-Maria Fullana, (jose.fullana@upmc.fr) (01 4427 71 41)