

Identification du risque individuel de rupture des anévrismes cérébraux intracrâniens : une approche biomécanicienne

M. Sanchez¹, D. Ambard¹, V. Costalat², F. Jourdan¹, F. Nicoud³,

¹LMGC, Université Montpellier 2, France, {dominique.ambard, franck.jourdan, mathieu.sanchez}@univ-montp2.fr

²Département de Neuroradiologie, CHU Gui de Chauliac, Montpellier, France,

³I3M, Université Montpellier 2, France, franck.nicoud@univ-montp2.fr

1 Contexte

Les anévrismes intracrâniens sont des anomalies vasculaires en rapport avec une ectasie localisée de la paroi artérielle. Ils correspondent à une hernie de la paroi au niveau d'une zone de faiblesse. Ils sont présents dans 2 à 6 % de la population selon les séries autopsiques. Leur traitement, autrefois exclusivement chirurgical, est partagé avec les neuroradiologues interventionnels, par un abord mini invasif endovasculaire. Seulement 0,5 % sont responsables d'un saignement, ce qui correspond en France à plusieurs milliers d'accidents hémorragiques. La rupture anévrysmale est la deuxième cause d'hémorragie intracérébrale. En cas d'hémorragie méningée secondaire à la rupture de l'anévrysme, les conséquences pour le patient peuvent être très graves, avec des risques de séquelles et de décès importants. A l'heure actuelle, le dépistage des anévrismes n'est pas organisé et les anévrismes non rompus sont découverts de manière fortuite. Dans le cas où un anévrysme est détecté, les médecins ne sont pas en mesure aujourd'hui de savoir si celui-ci est réellement dangereux (à risque élevé de rupture). Pour poser les indications de traitement, les neuroradiologues se basent sur des études statistiques réalisées sur une population de patients victimes d'une rupture anévrysmale. Les paramètres susceptibles d'influencer le risque de rupture étant très nombreux et variés (sexe, âge, origine ethnique, hypertension, cholestérol, tabagisme, forme-taille-position de l'anévrysme), l'approche statistique s'avère insuffisante en pratique et ne permet pas de définir un risque individuel de rupture.

2 Présentation des travaux

L'objectif de cette étude est de proposer et évaluer une ou plusieurs mesures du risque de rupture d'anévrysme associé à la pathologie d'un patient donné. Dans ce cadre, une chaîne numérique de traitement des images morphologiques, des données hémodynamiques et rhéologiques, issues d'exams cliniques et essais expérimentaux est mise en œuvre afin d'avoir accès aux données biomécaniques inaccessibles directement par l'imagerie médicale. Ce travail se situe dans un contexte international très actif. On peut citer les travaux d'ANEURIST [1] soutenus par la communauté européenne et qui a essentiellement contribué à la simulation des écoulements fluides dans les anévrismes cérébraux. Nos travaux s'appuient sur le consortium européen IRRAs que nous avons mis en place et qui rassemble des chercheurs et des praticiens hospitaliers de différents pays. Cette étude se distingue actuellement par la prise en compte d'une chaîne complète d'investigations expérimentales et numériques.

- L'approche expérimentale consiste dans un premier temps à réaliser des essais de traction uniaxiaux sur des poches anévrysmales prélevées chirurgicalement. Les essais sont réalisés grâce à un protocole rigoureux de prélèvement des poches lors d'interventions chirurgicales et de conservation des échantillons pour ne pas altérer les propriétés mécaniques de la paroi. Ces séries de mesures permettent de proposer un modèle de comportement du tissu en grandes déformations. Les essais, réalisés sur 4 poches anévrysmales, ont révélé un comportement hyperélastique de type Mooney Rivlin à 3 paramètres.

- En ce qui concerne l'approche numérique, une chaîne de traitement des images morphologiques et des données hémodynamiques issues d'examen clinique a été mise en œuvre, basée sur les travaux de [2]. Ces relevés expérimentaux et traitements numériques permettent d'obtenir l'évolution de la géométrie de l'anévrisme au cours du cycle cardiaque. Ces relevés ont pour objectif de servir de repère pour procéder à l'identification des paramètres mécaniques manquants et en particulier l'épaisseur de la paroi anévrysmale. Cette épaisseur ne peut pas être atteinte par la résolution des moyens d'imagerie actuels. Nous proposons de remonter à l'épaisseur et donc aux contraintes dans la paroi, par un processus d'optimisation, en considérant que les propriétés des matériaux sont déterminées par la partie expérimentale présentée dans le paragraphe précédent, puis en utilisant un modèle numérique de couplage fluide/structure. La mécanique des fluides permet d'accéder aux pressions et cisaillements induits par l'écoulement sanguin sur la paroi interne de l'artère et de l'anévrisme. L'étude est régie par les équations de Navier Stokes et les équations de continuité. L'écoulement est considéré comme laminaire. Le sang est considéré comme un fluide newtonien incompressible. L'analyse en structure est réalisée à l'aide d'une interaction fluide/structure faiblement couplée. Les résultats en pression de l'analyse en fluide sont importés comme conditions aux limites dans l'analyse en structure, à chaque pas de temps. Deux matériaux différents sont utilisés sur les parties solides, poche anévrysmale et artère. Les calculs sont réalisés en utilisant le logiciel ANSYS. L'épaisseur de la paroi anévrysmale est identifiée en minimisant l'erreur entre les données géométriques issues de la chaîne de traitement d'images présentée ci-dessus et les résultats des simulations numériques. Un exemple de résultats de simulation est présenté dans la figure 1.

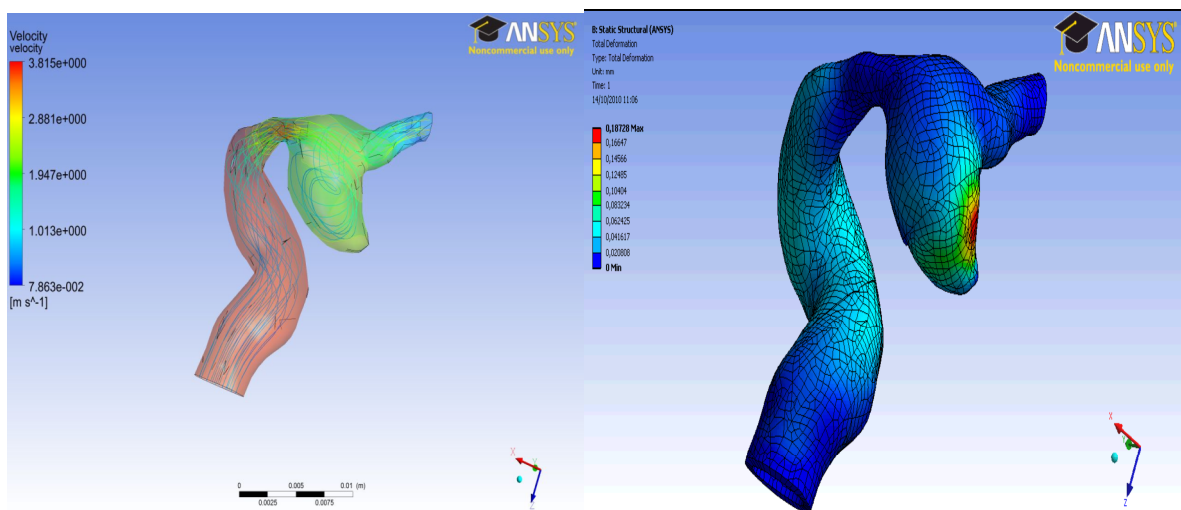


FIG. 1 – Représentation de la trajectoire et variation de vitesse du sang dans l'anévrisme (image de droite), Représentation de la déformation de la paroi anévrysmale sous la pression induite pas le sang (image de droite)

Références

- [1] A.Molyneux. *International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised trial*, The Lancet, Volume 360, Issue 9342, Pages 1267-1274, 2002
- [2] C. Zhang, M.C. Villa-Uriol, M. Craene, J. Pozo, A. Frangi. *Morphodynamic analysis of cerebral aneurysm pulsation from time-resolved rotational angiography*. IEEE Trans Med Imaging. Volume 28:, pages 1105–1116, 2009