

Proposition de thèse 2015

Segmentation d'images pour le remodelage aortique et l'analyse d'endofuite en chirurgie endovasculaire

University of Strasbourg – CNRS

<http://icube.unistra.fr/>

Equipe MIV (Models, Images, Vision - <http://icube-miv.unistra.fr/>)

Strasbourg, FRANCE

Encadrement de la thèse :

- Pr Christophe COLLET (PU, DT, iCube/MIV),
- Pr Nabil CHAKFE (PUPH, DT, chef du service de chirurgie vasculaire (Nouvel Hopital Civil - Strasbourg),
- Benoit NAEGEL (MdC, iCube/MIV)
- Pr Marc GARBEY (University of Houston, USA - Methodist Hospital (MITIE) - NSF IUCRC CYBHOR)

Durée : 3 ans

Financement: Contrat doctoral de l'Université de Strasbourg

Domaine: Traitement d'images médicales, chirurgie endovasculaire

Partenariat : Université de Houston - Methodist Hospital (MITIE) <http://mitietexas.com/>

Problématique générale

L'approche endovasculaire des pathologies impliquant l'aorte a modifié les pratiques chirurgicales. Il est actuellement possible de traiter par cette approche des pathologies aussi variées que les dissections aortiques ou les anévrismes, quelque soit le segment aortique (aorte thoracique, aorte abdominale). Cette approche nécessite une imagerie optimisée pour bien planifier ces procédures et en suivre l'évolution après traitement.

A. Dissection aortique de type B

La dissection aortique de type B résulte d'une déchirure des couches les plus internes de l'aorte (intima + 2/3 interne de la média), le plus souvent au niveau d'une lésion préexistante. Cette déchirure va être à l'origine d'un clivage de la paroi aortique dans le sens longitudinal avec la création d'un faux chenal de perfusion. Selon la classification de Stanford, la dissection aortique de type B peut toucher tous les segments aortiques hormis l'aorte ascendante.

Deux évolutions sont à distinguer : aiguë et chronique.

- *Dissection de type B aiguë :* Lors de la dissection aiguë, la prise en charge varie selon qu'elle est compliquée ou non. Les complications regroupent : la rupture aortique, la malperfusion de membre ou d'organe (rein, intestin), la douleur et l'hypertension artérielle persistantes malgré un traitement médical optimal. Dans ce cas, il y a indication à un traitement chirurgical en urgence. Depuis le développement de la chirurgie endovasculaire, le traitement actuel consiste en la mise en place d'une endoprothèse de l'aorte thoracique qui va couvrir la porte d'entrée de la dissection. Le but de ce traitement est d'obtenir un remodelage aortique : ré-expansion du vrai chenal et thrombose du faux chenal aortique afin de traiter les complications, et de prévenir la dilatation du faux chenal à long terme.

- *Dissection de type B chronique* : L'évolution d'une dissection aortique non traitée se fait dans la plupart des cas vers la dilatation anévrysmale progressive du faux chenal. A partir d'un diamètre aortique supérieur à 60mm, il y a indication à un traitement chirurgical au vu du risque de rupture aortique. Là aussi le traitement actuel est endovasculaire et consiste en la mise en place d'une endoprothèse aortique qui couvre la porte d'entrée dans le but de créer un phénomène de remodelage.

La difficulté porte aujourd'hui sur la prédiction de l'évolution de ce remodelage aortique, à court et long terme, et de son impact sur la survenue de complications et réinterventions secondaires.

B. Anévrysme aortique

Un anévrysme aortique, le plus fréquemment localisé au niveau de l'aorte abdominale, est une dilatation localisée et permanente de l'aorte abdominale avec perte du parallélisme de ces parois, dont le diamètre dépasse 30 mm. C'est une pathologie grave dont l'incidence est en augmentation du fait du vieillissement de la population. L'évolution naturelle de ces anévrysmes tend vers une augmentation de leurs diamètres, pouvant aller jusqu'à la rupture avec 80% de décès avant l'hospitalisation ou en péri-opératoire. Le but du traitement est donc d'éviter la rupture.

Le traitement endovasculaire consiste à exclure cet anévrysme en déployant une endoprothèse à l'intérieur de l'aorte. Cette chirurgie est nettement moins invasive qu'une prise en charge conventionnelle par chirurgie ouverte, et les complications à court terme sont significativement diminuées. L'inconvénient majeur est un taux élevé de complications à long terme qui requièrent un nombre important de réinterventions et une surveillance systématique à vie.

L'histoire naturelle de l'interaction du couple aorte/endoprothèse est peu étudiée et les complications à long terme restent peu comprises.

Une analyse anatomique et fonctionnelle, précise et comparative des angioscanners pré et postopératoires devrait nous permettre une plus grande compréhension de l'impact du traitement endovasculaire aortique, et d'émettre des hypothèses quant aux facteurs prédictifs. Cette analyse nécessite une segmentation quasi-automatique des différents chenaux car même s'il existe des logiciels de dimensionnement ("sizing"), leur mise en œuvre demeure fastidieuse et peu automatisée.

Contexte Recherche clinique

Dans le cadre du traitement endovasculaire de la dissection aortique de type B, l'évolution du remodelage aortique induit par l'endoprothèse est mal connue à ce jour : chez certains patients, on observe une thrombose complète du faux chenal, on parle alors de guérison de la dissection. Chez d'autres, la thrombose est partielle avec persistance d'un faux chenal circulant, associé ou non à une dilatation du faux chenal. Les chronologies de remodelage sont de plus très aléatoires d'un patient à l'autre. On ne sait pas quelle est la longueur optimale d'aorte à couvrir, ni à quel moment après la dissection l'impact sur le remodelage sera le plus bénéfique. L'évolution semble dépendante entre autre du caractère aigu ou chronique de la dissection, de la longueur de couverture initiale, de l'étendue de la dissection, de la présence et des différentes localisations de porte de ré-entrée entre vrai et faux chenal tout le long de la dissection. Une meilleure compréhension passe par l'analyse rétrospective précise des scanners de suivi des patients. Depuis 2005, les patients opérés sont suivis dans le service du Pr Chakfe après traitement endovasculaire d'une dissection aortique, aiguë ou chronique. Le développement d'un programme automatisé d'analyse des scanners est indispensable à l'étude du suivi ; il faudrait entre autre pouvoir effectuer :

- des mesures de diamètre et surface du vrai chenal et du faux chenal, circulant et thrombose, à

- plusieurs niveaux aortiques, au temps aortique et portal
- des mesures de volume global des différents chenaux, au temps aortique et portal
- Détecter les portes d'entrée et de réentrée ainsi que leur localisation et formes précises pour pouvoir les modéliser en 3D

De manière optimale, ces mesures devraient toujours être faites au même moment du rythme cardiaque (variation de l'ordre de 10-20% selon la diastole ou la systole). Ces perspectives requièrent des outils de segmentation d'images rapides et quasi-automatiques, ainsi qu'une représentation volumiques 3D interactive permettant l'accès aux données géométriques complètes avant et après remodelage : une étude des variations de flux dans les différents chenaux et du comportement du flap intimal selon le rythme cardiaque permettrait une caractérisation plus précise de l'évolution de la dissection.

Par ailleurs, dans le cadre de la mise en place d'une endoprothèse dans le traitement d'anévrysmes aortiques (prothèse caractérisée par une membrane étanche et maintenue par des stents à l'intérieur de l'anévrysme pour éviter la répercussion de la pression artérielle sur le sac anévrysmal), des complications a type de reperfusion du sac anévrysmal peuvent apparaître en postopératoire : les endofuites. Parmi les quatre types d'endofuites, les endofuites de type 2 correspondent à des réinjections de sang à contre-courant à partir des artères qui initialement naissent du sac anévrysmal. Les endofuites de type 2 posent un problème particulier. Même si elles induisent une reperfusion à faible pression, elles s'accompagnent parfois d'une augmentation de la taille du sac anévrysmal et font craindre leur rupture. Elles peuvent être présentes immédiatement en postopératoire, de manière permanente ou transitoire ; elles peuvent également apparaître secondairement, plusieurs années après l'intervention.

Le caractère morphologique des endofuites est variable. Il s'agit parfois de zones en forme de lac bien circonscrit ou parfois de zones plus étendues infiltrant le thrombus. Les vaisseaux qui alimentent ces endofuites sont importants à connaître, et notamment leurs caractères multiples puisque des flux trans-anévrysmaux à partir d'une artère vers une autre ont été évoqués comme facteur péjoratif d'évolution. Enfin la localisation précise de ces endofuites à l'intérieur du sac anévrysmal est importante à connaître puisque dans certaines conditions, il peut être proposé des traitements par embolisation trans-pariétale (à travers la paroi abdominale ou à travers la veine cave inférieure).

La localisation et caractérisation des artères collatérales perméables, des endofuites, l'évaluation de leur volume et leur évolution dans le temps ainsi que leur localisation précise par rapport à des repères prédéfinis (veine ou origine de vaisseaux afférents de l'aorte) nécessite une segmentation 3D du réseau de vascularisation de très bonne qualité. C'est un des objectifs de ce travail de recherche.

Travail de recherche

Les perspectives de ce travail sont donc de permettre un meilleur suivi du patient et de l'évolution de sa pathologie aortique au travers d'une segmentation semi-automatisée des images scanner 2D pré et postopératoires, permettant de passer rapidement en volume pour toute la zone traitée, d'en déduire dans un premier temps l'évolution de la géométrie et l'histoire naturelle des complications, et de définir des facteurs prédictifs dans un second temps.

Le travail consistera en la mise au point d'un programme automatisé d'analyse des scanners, comportant entre autre

- Mesure de surface du vrai chenal, faux chenal, faux chenal circulant à plusieurs niveaux aortiques, temps aortique + portal
- Mesure de volume global des différents chenaux, temps aortique + portal
- Détection des portes d'entrée et réentrée avec une localisation précise et une modélisation 3D de leur forme
- Modélisation 3D des endofuites

Il sera donc nécessaire de réaliser la segmentation semi-automatique 3D des images permettant de positionner précisément la lumière vasculaire puis de quantifier finement la géométrie aux différents points d'intérêt. L'algorithme cible devra mettre en œuvre un petit nombre d'entrées et de paramètres à régler tout en assurant une robustesse et une bonne reproductibilité.

On distinguera [2,3] les approches de segmentation 3D sans modèle géométrique (seuillage, croissance de régions, méthode de réhaussement de structures tubulaires utilisant la distribution spatiale des intensités dans le volume, etc.) des approches avec modèle géométrique (surfaces actives, modèles déformables, ensemble de niveaux, etc.) généralement plus robustes.

Les approches privilégiées pour l'opération de segmentation seront basées sur des modèles géométriques [4] comme l'approche de type "vessel tracking" (e.g., modèle cylindrique continue [1]) ou plus généralement les approches de segmentation intégrant simultanément différentes contraintes géométriques [5,6] et aboutissant à une optimisation ad-hoc (e.g., Lagrangien, graph-cut, level set,...). L'ensemble des développements fera l'objet d'une interaction constante avec les praticiens hospitaliers afin d'envisager à terme une implémentation en routine clinique.

Mots-clés: Segmentation d'images médicales, modèles déformables, détection et segmentation aortique (vrai/faux chenal), apprentissage de paramètres.

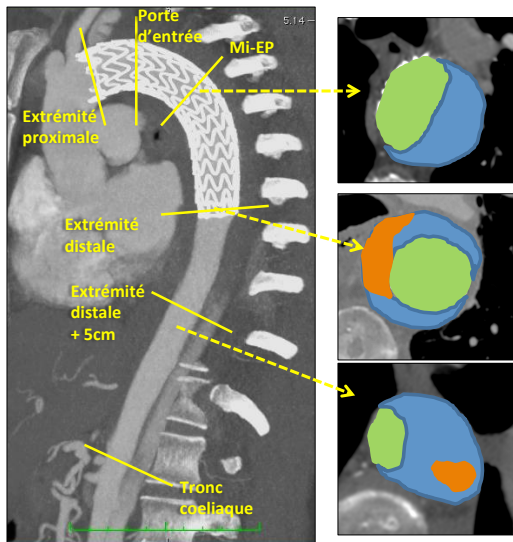
Laboratoire d'accueil : iCube UMR 7357 - Equipe MIV - Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie, 300 bd Sébastien Brant - BP 10413 - F-67412 Illkirch Cedex - <http://icube.unistra.fr/>

Praticiens hospitaliers participant au projet : Adeline SCHWEIN (Methodist Hospital (MITIE) et NHC), Yannick GEORG (Nouvel Hôpital de Strasbourg, Service de chirurgie vasculaire)

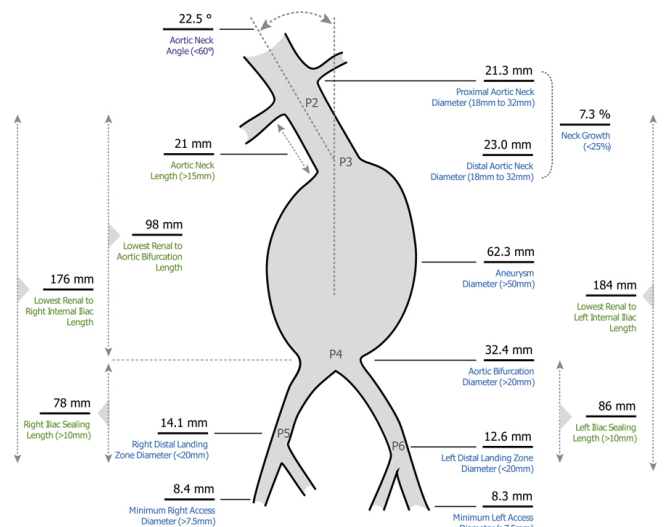
Compétences attendues

Le candidat aura une solide formation en Master (M2) Recherche et/ou 3ème année de cursus ingénieur dans le domaine du traitement des images. Il maîtrisera les outils statistiques de traitement d'images, les approches par morphologie mathématique et plus globalement par les modélisations en traitement d'images médicale. Le candidat saura utiliser et développer sous Matlab/C++/Python et maîtrisera l'anglais scientifique. Il sera en capacité de dialoguer dans un contexte interdisciplinaire, et sera ouvert à la discussion scientifique.

Contact : Envoyer Curriculum Vitae, lettre de motivation, résultats et classements de Master ou Ecole d'ingénieurs à Pr Christophe Collet (c.collet@unistra.fr).



Etude du remodelage aortique au cours des dissections de type B



Sizing préopératoire avant traitement endovasculaire d'un anévrysme de l'aorte abdominale

Bibliographie

1. Modèle d'état de cylindre généralisé et quantification de sténoses artérielles en imagerie 3D, PhD L. Florez-Valencia, 2006
2. Statistical shape models for 3D medical image segmentation : a review, T. Heimann, H.-P. Meinzer, MIA, 2009
3. A review of 3D vessel lumen segmentation techniques : models, features and extraction schemes, D. Lesage, E. Angelini, I. Bloch and G. Funka-Lea, 2009
4. CURVES : Curve evolution for vessel segmentation, L.M. Lorigo, O.D. Faugeras, W.E.L. Grimson et al., MIA, 2001
5. TRIC : Trust Region for Invariant Compactness and its application to Abdominal Aorta Segmentation, I.B. Ayed, M. Wang B. Miles and G.J. Garvin, MICCAI, 2014
6. Preoperative predictive factors of aneurysmal regression using the reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. Kaladji A, et al. J Vasc Surg. 2012 May;55(5):1287-95
7. Evolution of the upper and lower landing site after endovascular aortic aneurysm repair. Kaladji A, et al. J Vasc Surg. 2012 Jan;55(1):24-32
8. Sizing for endovascular aneurysm repair: clinical evaluation of a new automated three-dimensional software. Kaladji A, et al. Ann Vasc Surg. 2010 Oct;24(7):912-20