Apprentissage profond pour la segmentation, la classification et la caractérisation géométrique de crosses aortiques

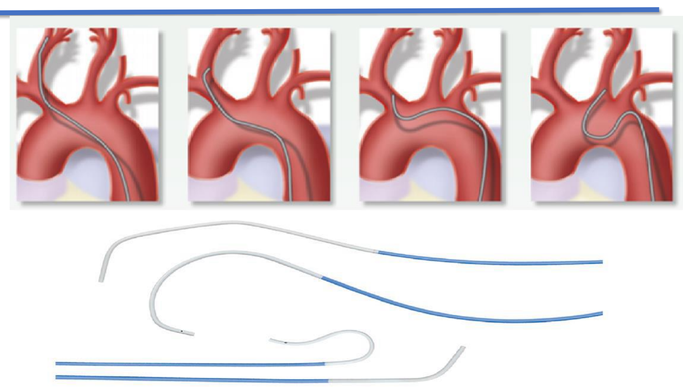
LAHLOUH Mounir[1,2,4], BLANC Raphaël[3,4], SZEWCZYK Jérôme[4,5], CHENOUNE Yasmina[2,6], PASSAT Nicolas[1]

[1]Université de Reims Champagne-Ardenne, CReSTIC EA 3804, Reims 51100, France
[2]ESME Sudria Research Lab, Paris, France
[3]Fondation Ophtalmologique de Rothschild, Département de Neuroradiologie Interventionnelle, Paris, France
[4]Basecamp Vascular, Paris, France
[5]Sorbonne Université, CNRS UMR 7222, Inserm U1150, ISIR, F-75005, Paris, France
[6]Université Paris-Est, LISSI (EA 3956), UPEC, F-94010, Vitry-sur-Seine, France

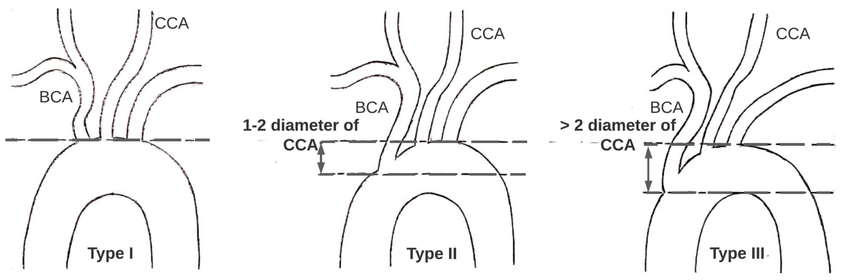
1. Contexte et motivation

La connaissance de l'anatomie de l'arc aortique est primordiale en neuroradiologie interventionnelle.

Les difficultés de navigation avec les cathéters se situent au niveau de l'arc, particulièrement lorsque ces derniers sont dilatés ou à cause de l'élongation, des angulations et de la tortuosité des troncs supra-aortiques.



2. Impact clinique de l'anatomie de l'arc aortique



Classification des arcs aortiques selon Madhwal [1]

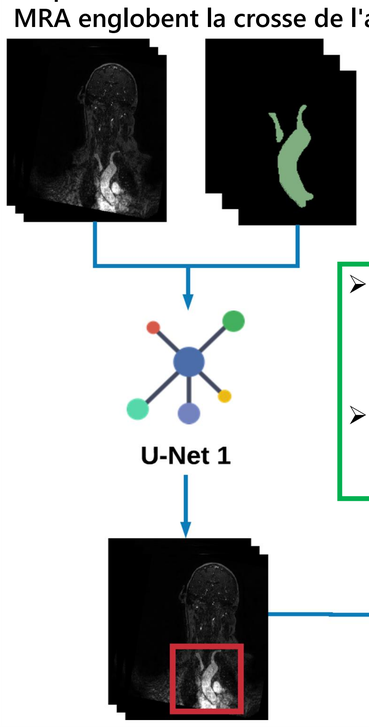
Etude	Caractéristiques et apports
Classification des arcs aortiques [1]	• La comparaison entre le diamètre de l'artère carotide commune gauche et la distance verticale entre le sommet de l'arc aortique et l'origine du tronc brachiocéphalique détermine le type d'arc (I, II ou III). • Dans la classification de Madhwal, chaque type d'arc possède ses propres caractéristiques anatomiques qui ont des implications cliniques dans la prévalence des maladies neurovasculaires.
Relation entre le type de la crosse et la dissection aortique [2]	• La crosse aortique de type III est caractérisée par une augmentation de l'angulation et de la tortuosité des troncs supra-aortiques. • L'arc de type III est fortement corrélé au risque de dissection aortique de type B et d'hématome intramural de type B.
Impact des types d'arc sur le succès des procédures endovasculaires [3, 4]	• Dans le stenting de l'artère carotide (ACS), le temps de manipulation du cathéter (TMC) est significativement influencé par le type d'arc. • Les patients avec un arc de type III ont un TMC plus long et sont associés à davantage de difficultés et de complications dans les procédures ACS par rapport au type I ou II.
Impact de l'anatomie des troncs supra-aortiques sur le succès des procédures endovasculaires [5]	• La tortuosité et l'élongation des troncs supra-aortiques prolongent significativement le délai de revascularisation lors d'une thrombectomie mécanique.

3. Deep learning pour la segmentation aortique

Approche	Réalisations
3D Inception U-Net [6]	• Localisation et segmentation de la valve aortique en scanner coronaire. • Test de plusieurs architectures U-Net, les meilleurs résultats ont été obtenus par 3D Inception U-Net.
Multi vues 2D CNNs [7]	• Segmentation de la paroi aortique : de l'aorte ascendante aux artères iliaques. • Segmentation par agrégation de classifications des voxels dans les coupes axiales, sagittales et coronales des volumes CTA.
CNNs en cascade [8]	• Pipeline de segmentation multi-étapes de la dissection aortique de type B sur des volumes CTA. • Simplification géométrique de l'anatomie basée sur le redressement de la courbure aortique. • Utilisation de CNNs en cascade, le premier pour la segmentation des troncs aortiques et le second pour la segmentation du faux canal artériel de la dissection aortique.

4. Matériel et méthodes

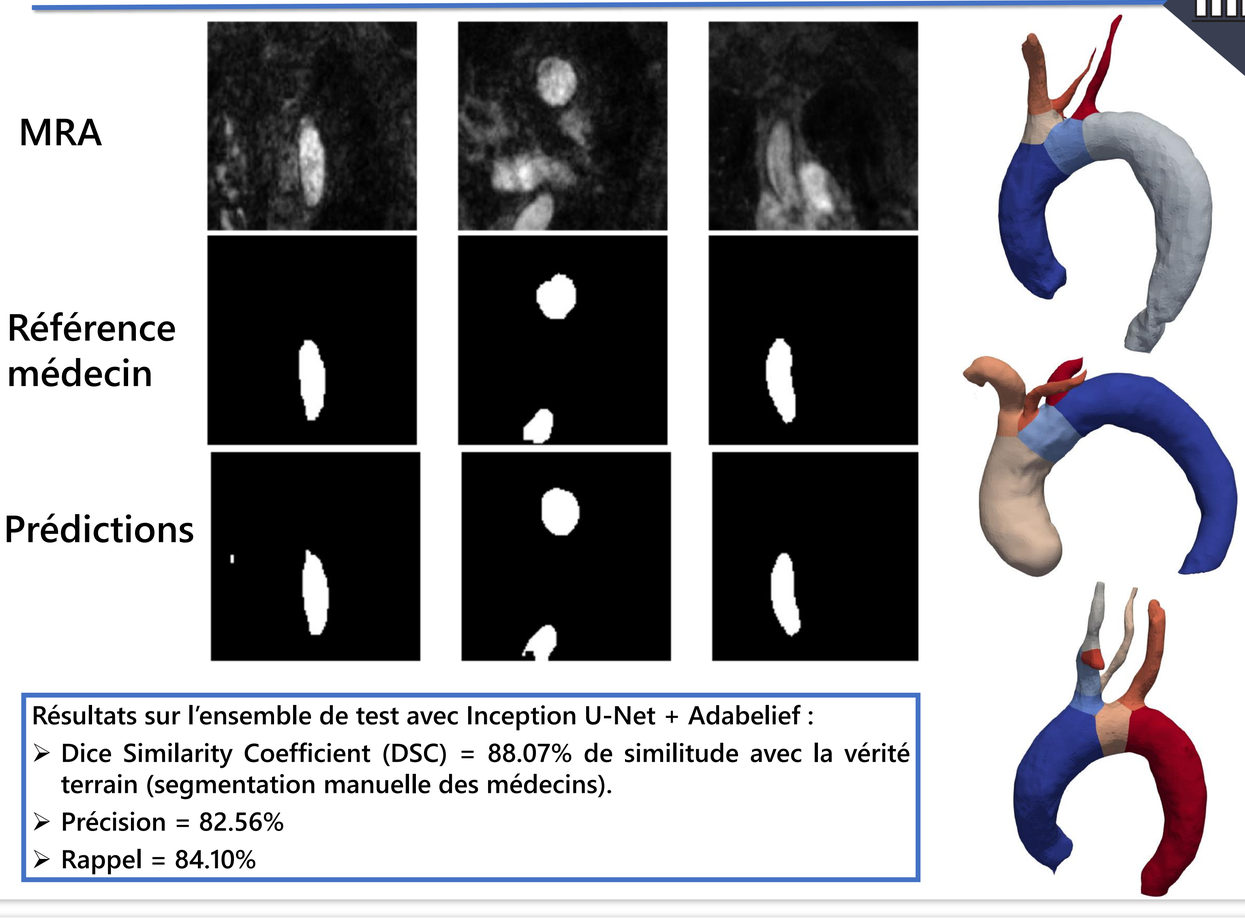
27 patients ont subi des examens MRA 3T avec un imageur Philips Ingenia, Best, Pays-Bas. Ces MRA englobent la crosse de l'aorte, les troncs supra-aortiques et les vaisseaux intracrâniens.



Paramètres d'acquisition : couverture du plan coronal : 250 coupes de 256 x 256 pixels interpolées à 0,495 x 0,495 x 0,500 mm, TR/TE actif = 5,5/2,2 ms, angle de bascule = 27, nombre d'excitations = 1, largeur de bande = 476,7 Hz ; FOV = 380 x 321, temps d'imagerie = 69 s, injection en bolus.

- Chaque volume MRA passe par le réseau de localisation U-Net 1 pour obtenir les volumes d'intérêt (ROI) contenant uniquement les arcs et les débuts des supra-aortiques. Ensuite, ces ROI passent par le module de segmentation U-Net 2 afin d'obtenir les masques binaires.
- Un maillage STL est obtenu par empilement des coupes segmentées en 2D. Ces modèles 3D sont post-traités et constituent l'entrée pour une caractérisation géométrique des arcs aortiques.

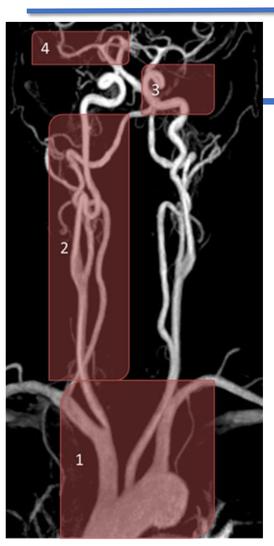
5. Résultats



Résultats sur l'ensemble de test avec Inception U-Net + Adabelief :

- Dice Similarity Coefficient (DSC) = 88.07% de similitude avec la vérité terrain (segmentation manuelle des médecins).
- Précision = 82.56%
- Rappel = 84.10%

6. Conclusion et perspectives



Structures vasculaires de différentes tailles : le diamètre des vaisseaux sanguins diminue en remontant au cerveau.
La segmentation devient ainsi plus fine en passant de l'arc aortique au troncs supra-aortiques.

Réalisation d'un pipeline basé CNN pour la localisation et segmentation automatique des crosses à des fins de caractérisation géométrique.

Validation quantitative par comparaison à la référence médecin avec une bonne précision de 82.56%.

- Enrichissement de la base de volumes MRA par des vérités-terrain robustes et éventuellement partageables.
- Amélioration de l'architecture deep learning pour prendre en considération le rétrécissement du diamètre des vaisseaux pour une segmentation et une caractérisation complète de l'arc et de ses bifurcations supra-aortiques.

Références

[1] S. Madhwal, V. Rajagopal, D. L. Bhatt, C. T. Bajzer, P. Whit low, and S. R. Kapadia, "Predictors of difficult carotid stenting as determined by aortic arch angiography," *J. Invasive. Cardiol.*, vol. 20, pp. 200–204, 2008.

[2] M. M. Marrocco-Trischitta et al., "Prevalence of type III arch configuration in patients with type B aortic dissection," Eur. J. Cardiothorac. Surg., vol. 56, no. 6, pp. 1075–1080, 2019.

[3] F. Burzotta et al., "Clinical and procedural impact of aortic arch anatomic variants in carotid stenting procedures," Catheter. Cardiovasc. Interv., vol. 86, no. 3, pp. 480–489, 2015.

[4] S. Shen et al., "Effect of aortic arch type on technical indicators in patients undergoing carotid artery stenting," J. Int. Med. Res., vol. 47, no. 2, pp. 682–688, 2019.

[5] M. Mokin et al., "Semi-automated measurement of vascular tortuosity and its implications for mechanical thrombectomy performance," Neuroradiology, vol. 63, no. 3, pp. 381–389, 2021.

[6] S. R. Ravichandran et al., "3D Inception U-Net for Aorta Segmentation using Computed Tomography Cardiac Angiography," in 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical Health Informatics (BHI), 2019, pp. 1–4.

[7] A. Fantazzini et al., "3D Automatic Segmentation of Aortic Computed Tomography Angiography Combining Multi-View 2D Convolutional Neural Networks," Cardiovasc. Eng. Technol., vol. 11, no. 5, pp. 576–586, 2020.

[8] D. Chen et al., "Multi-stage learning for segmentation of aortic dissections using a prior aortic anatomy simplification," Med. Image Anal., vol. 69, p. 101931, 2021.