PEUT-ON SEGMENTER AUTOMATIQUEMENT LE RÉSEAU ARTÉRIEL CÉRÉBRAL DISTAL À L'AIDE DE L'IA ET AINSI OUVRIR LA PORTE À UNE ANALYSE QUANTITATIVE DU RÉSEAU ARTÉRIEL?

Université de Sherbrooke

Dr William Yip, Dr Kevin Whittingstall, Gabriel Bouchard. Faculté de médecine, Université de Sherbrooke

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Les maladies cérébrovasculaires représentent une cause importante de morbidité et de mortalité, et l'imagerie vasculaire occupe une place centrale dans leur évaluation. L'angio-TDM cérébral permet aujourd'hui de visualiser et évaluer les artères cérébrales et ses branches distales.

La segmentation automatique des artères cérébrales par IRM (TOF-MRA) a déjà été développée et étudiée,[1, 2] mais ce même développement pour les angio-TDM, bien qu'il nécessite un processus plus ardu, pourrait permettre à un plus grand bassin de population d'en bénéficier.

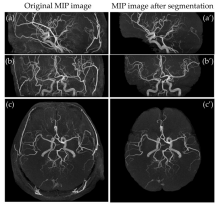


Figure 1: Image MIP d'IRM générée après segmentation automatique par IA (Yamada et al., 2025)

Plus on s'éloigne du cercle de Willis, plus le réseau vasculaire devient complexe et petit, avec une grande variabilité anatomique. L'évaluation de l'ensemble du réseau artériel repose donc sur une évaluation manuelle et fastidieuse.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de développer une méthode pour segmenter automatiquement les artères cérébrales distales au cercle de Willis sur les angio-TDM cérébrales. L'intelligence artificielle pourrait être un outil pour permettre d'automatiser la segmentation du réseau artériel distal.

MÉTHODE

1. Pré-traitement des angio-TDM

- L'objectif est d'isoler le cerveau et d'enlever les structures pouvant interférer à la segmentation automatique, comme le crâne
- Le volume cérébral sera ainsi isolé pour la segmentation, en combinant une méthode d'intelligence artificielle préexistante et une méthode développée lors de ce projet

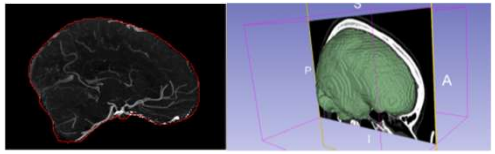


Figure 2: Séparation du cerveau et le contour 3D du cerveau

2. Application de filtres tubulaires et segmentation des vaisseaux

- Application de filtres qui font ressortir les structures qui sont en forme de tube et de densité (en HU) similaires, qui correspondent probablement à des vaisseaux sanguins

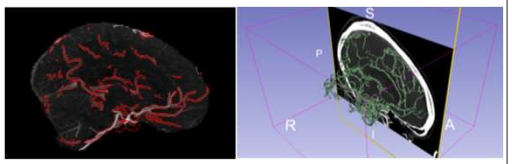


Figure 3: Filtre tubulaires de vaisseaux cérébraux en 2D et 3D

3. Entrainement de l'IA

- Entrainement d'une première intelligence artificielle, capable de générer algorithmiquement la majorité du travail de segmentation d'artères cérébrales distales sur 10 sujets
- Correction manuelle de ces segmentations en enlevant les faux positifs (glande pinéale, segment de crâne restant)
- Les 10 examens segmentés automatiquement par la première IA, à l'aide de corrections, constitueront les données d'entrainement pour le développement d'une deuxième IA
- Cette deuxième IA aura comme objectif de produire une segmentation automatisée, ou une «labelmap», à partir d'une angio-TDM cérébrale

4. Séparation des artères

- Nous nous sommes également basés sur des projets précédents sur la segmentation d'artères plus proximales, au cercle de Willis, dans le but de différencier les différentes artères principales distales au cercle de Willis
- Notamment, à la FMSS de l'Université de Sherbrooke, une IA segmentant les artères du cercle de Willis par angio-TDM a été développée par Omar Aljubairi, mais le projet n'a pas encore été publié

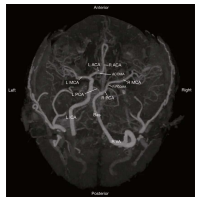


Figure 4: Cercle de Willis sur angio-TDM en MIP 3D

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Les premières itérations de l'IA pourraient permettre d'obtenir une segmentation automatisée du réseau artériel cérébral distal au cercle de Willis avec une qualité prometteuse.

Plus d'une centaine d'examens ont été segmentés dans le but ultime que le modèle d'IA final soit capable de segmenter automatiquement les artères cérébrales distales au cercle de Willis sur des angio-TDM.

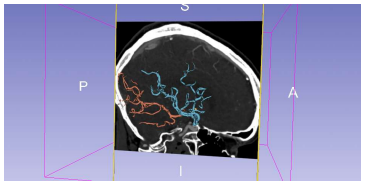


Figure 5: Séparation préliminaire des artères pour les circulations moyenne et postérieure

PROCHAINES ÉTAPES À VENIR

- Le processus d'entrainement sera itératif, avec des cycles successifs d'évaluation, de correction et de réentraînement de l'IA jusqu'à l'obtention d'une performance satisfaisante pour des applications scientifiques ultérieures.
- Le modèle final sera évalué en comparaison avec un **vérité terrain** établi par segmentation manuelle des artères cérébrales distales par un résident en radiologie. Cette comparaison permettra de déterminer la concordance entre la segmentation automatisée et la segmentation de référence.
- La segmentation manuelle des artères cérébrales du vérité terrain se fait par le logiciel 3D Slicer et constitue un travail ardu et méthodique. La qualité de l'examen n'est pas nécessairement optimale pour la visualisation des artères très distales, et une évaluation subjective est parfois nécessaire pour différencier les veines des artères.

VALIDATION DU MODÈLE

Modèle IA final
Segmentation automatisée

⟺

Vérité terrain
Segmentation manuelle

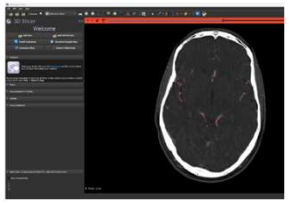


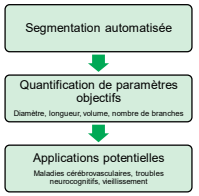
Figure 6: Segmentation manuelle préliminaire du vérité terrain

DISCUSSION / PERSPECTIVES

La segmentation automatisée du réseau artériel distal pourrait éventuellement faciliter la détection et la quantification d'anomalies vasculaires, notamment des sténoses distales. Elle permettrait également d'extraire des paramètres objectifs tels que la longueur, le nombre de branches, le volume et le diamètre vasculaire.

Ces mesures pourraient ouvrir la voie à l'étude à grande échelle des variations du réseau artériel avec le vieillissement et les maladies cérébrovasculaires.[3]

Une question d'intérêt serait notamment de déterminer si certaines caractéristiques (sténoses, occlusions) du réseau artériel distal sont associées aux **troubles neurocognitifs ou à la démence**, puisque athérosclérose intracrânienne est déjà associée au déclin cognitif.



LIMITES

- Qualité et résolution variables des examens, pouvant limiter la visualisation des petits vaisseaux
- Importante variabilité du réseau artériel cérébral distal pouvant représenter un défi dans le développement et l'entrainement de l'IA
- Données d'entrainement provenant du CHUS seulement, ce qui peut amener un biais de performance de l'IA selon une démographie de Sherbrooke

CONCLUSION

La segmentation automatisée des artères cérébrales distales par IA pourrait permettre de standardiser leur analyse et d'en extraire des paramètres vasculaires quantitatifs.

La caractérisation à grande échelle de ces réseaux pourrait contribuer à une meilleure compréhension des maladies cérébrovasculaires et, à long terme, favoriser le développement de nouvelles applications diagnostiques et de recherche.

RÉFÉRENCES

1. Yamada T, et al. *Applied Sciences*. 2025;15:3034.
2. Zhang J, et al. *npj Digital Medicine*. 2025;8:483.
3. Sabayan B. et al. *Journal of the American Heart Association*. 2023