

# 3D 프린팅 재질에 따른 뇌혈관 팬텀의 재현성 평가

안수진<sup>1</sup>, 박찬술<sup>2</sup>, 김정현<sup>1</sup>, 이영배<sup>3</sup>, 강창기<sup>1\*2</sup>

가천대학교 방사선학과<sup>1</sup>, 가천대학교 일반대학원 보건과학과<sup>2</sup>, 가천대학교 의과대학 신경과<sup>3</sup>

## Evaluation of Reproducibility of Cerebrovascular Phantom by 3D Printing Material

Soojin Ahn<sup>1</sup>, Chansol Park<sup>2</sup>, Jeong-Heon Kim<sup>1</sup>, Yeong-Bae Lee<sup>3</sup> and Chang-ki Kang<sup>1\*2</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, <sup>2</sup>Department of Health Science, Gachon University Graduate School, <sup>3</sup>Department of Neurology, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, Gachon University, Incheon 21936, Republic of Korea

\*ckkang@gachon.ac.kr

### Abstract

Cerebrovascular disease is a serious disease in the blood vessels of the brain due to various causes, and its early diagnosis and prevention are the most important. Among others, circle of Willis (CoW) is a structure to provide collateral blood flow between the anterior and posterior circulations of the brain, playing an important role in the prevention of cerebrovascular disease by compensating for blood flow in areas with insufficient blood flow. In this study, we created CoW phantom models from the vascular images of a normal healthy person according to the 3D printing material, and evaluated their reproducibility. And also possible disease models were created by applying aneurysm and stenosis to the normal CoW model, and examined whether they were made as intended. The results using the stereo lithography apparatus (SLA) resin 3D printer showed a reproducibility of an external and internal diameters of  $101.51 \pm 4.10\%$  and  $96.33 \pm 5.84\%$  based on the modeling, respectively. However, the results using the fused deposition modeling (FDM) poly lactic acid (PLA) 3D printer showed  $105.05 \pm 4.10\%$  and  $89.79 \pm 18.09\%$ , respectively. It was confirmed that the products using the resin was much reproducible than those using PLA.

### 1. 연구 배경

뇌혈관질환은 다양한 원인에 의하여 발생하지만, 외상과 다르게 질환의 진단이 쉽지 않다. 대표적인 뇌혈관질환으로 뇌경색, 뇌출혈 그리고 동맥류 등이 있으며, 대부분의 증상이 급성으로 나타나고 치료 후에도 후유증을 동반할 수 있는 중대한 질환이기 때문에 조기 검진 및 예방이 무엇보다도 중요하다[1]. 이러한 질환에 대비하여 뇌에는 대뇌동맥고리 (circle of Willis; CoW)가 존재하고, CoW의 구성 혈관 중 전교통동맥 (Anterior communicating artery; Acom)과 후교통동맥 (Posterior communicating artery; Pcom)은 혈류가 부족한 영역에 혈류를 보충해주는 통로 역할을 하여 경동맥의 협착 또는 폐색으로 인한 허혈성 뇌졸중의 발생을 낮추는 역할을 하지만, 병변의 악화로 인하여 적정량의 혈류가 공급되지 않을 경우, 뇌관류 압력의 저하가 발생하여 질환으로 이어지게 된다 [1,2].

최근 다양한 연구에서 의료영상을 이용한 3D프린팅 팬텀의 제작이 진행되고 있으며, 다양한 재질과 방식이 적용되고 있다[3-5]. 이에 본 연구에서는 정상인의 CoW 팬텀을 poly lactic acid (PLA)와 resin 재질로 제작하여 3D프린팅의 재질에 따른 재현성을 확인하고, 뇌혈관질환의 조기 예측 및 적절한 치료방법의 모색을 위하여 정상 CoW 모델에 동맥류와 협착을 적용한 뇌혈관질환 팬텀을 제작하고자 한다.

이후 제작된 CoW 팬텀은 자기공명혈관조영술 (Magnetic resonance angiography; MRA)을 이용하여 조영 영상을 획득하고 재질에 따른 재현성 분석과 질환 모델의 출력 여부의 확인을 목표로 한다.

### 2. 연구 방법

정상 뇌혈관의 모델링은 순환계통 질환이 없으며, CoW를 구성하는 혈관의 직경이 정상범위에 해당하는 20대의 건강한 남성으로부터 획득한 Time-of-Flight (ToF) MRA 영상을 획득하여 제작하였다. 획득한 DICOM 포맷의 ToF영상은 3D 렌더링 소프트웨어 (3D Slicer 4.13.0, [www.slicer.org](http://www.slicer.org))와 모델링 소프트웨어 (Meshmixer 3.5, Autodesk, USA)를 이용하여 CoW 혈류 모델을 제작하였으며, 2.5 mm 두께의 혈관벽을 생성하여 정상 CoW 혈관 모델을 그림 1.의 방식으로 제작하였다.

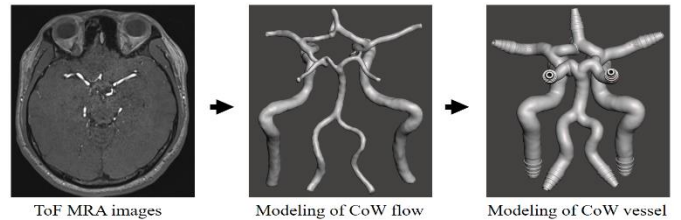


그림 1. CoW의 혈류 및 혈관 모델링 과정

이후 정상 CoW 혈관모델의 우측 전대뇌동맥 (Right anterior cerebral artery; Rt.ACA), 중대뇌동맥 (Right middle cerebral artery; Rt.MCA), 뇌기저동맥 (Basilar artery; BA)에 동맥류를 생성하고, 우측 내경동맥 (Right internal carotid artery; Rt.ICA)에 50 %, 100 %의 협착과 우측 척추동맥 (Right Vertebral artery; Rt.VA)에 100%의 협착을 생성하여 질환 CoW 모델을 제작하였다. 제작한 모델은 PLA를 이용하는 Fused Deposition Modeling (FDM) 방식의 3D프린터 (3DWOX 2X, Sindoh, Korea)와 resin을 이용하는 stereo lithography apparatus (SLA) 방식의 3D프린터 (DM250, Carima, Korea)를 이용하여 출력하였으며, 3T MRI scanner (Vida, Siemens, Germany)의 3D ToF 시퀀스를 이용하여 팬텀의 MRA 데이터를 획득하였다. 획득한 MRA 데이터는 렌더링과 모델링을 거쳐 팬텀 MRA

모델로 제작하였다. 이후 외부 혈관의 재현성 평가를 위하여 CoW 모델과 팬텀에서 혈관 두께를 측정하고, 내부 혈류의 재현성 평가를 위하여 CoW 혈류 모델과 팬텀 MRA 모델에서 혈관의 내경 두께를 측정하였으며, 병변을 생성하지 않은 5개의 영역 (Both ICA upper regions, Both ICA lower regions, and BA middle region)을 선정하여 두께를 측정하였다. 측정된 두께는 CoW 모델에서 측정된 두께로 나누어 변화율로 계산하여 평가하였다. 질환의 생성 여부는 모델링 소프트웨어를 이용하여 질환 CoW 모델과 질환 팬텀 MRA 모델의 영상을 비교하였다.

### 3. 연구 결과

팬텀은 그림 2와 같이 PLA 재질 5개 (정상 및 동맥류)와 resin재질 (정상, 동맥류 및 협착) 9개, 총 14개를 제작하였다.



그림 2. 3D프린팅을 이용한 CoW 팬텀 출력 결과

외부 재현성의 평가결과, PLA 재질을 이용한 CoW 팬텀에서 영역별 두께 변화율의 평균은 최소 95.07% (Lt.ICA lower region), 최대 113.99% (Rt.ICA upper region) 였으며, 5개 영역의 평균은  $105.05 \pm 8.06\%$  (mean  $\pm$  SD)이고, resin 재질에서는 최소 95.09% (Lt.ICA lower region), 최대 104.50% (Lt.ICA lower region) 였으며, 5개 영역의 평균은  $101.51 \pm 4.10\%$ 이었다. 외부 재현성은 resin 재질에서 높게 나왔으며, 출력물의 안정성도 높은 것으로 확인되었다.

내부 재현성의 평가결과, PLA 재질을 이용한 CoW 팬텀에서 영역별 두께 변화율의 평균은 최소 72.03% (Lt.ICA lower region), 최대 111.39% (Lt.ICA upper region) 였으며, 5개 영역 평균  $89.79 \pm 18.09\%$ 이고, resin 재질에서는 최소 86.58% (Rt.ICA lower region), 최대 100.54% (Rt.ICA lower region) 였으며, 5개 영역 평균  $96.33 \pm 5.84\%$ 였다. 내부 재현성에서도 resin 재질이 높게 나왔으며, 출력물의 안정성도 높은 것으로 확인되었다.

동맥류와 협착을 적용한 질환 팬텀 모델링은 그림 3.에서 확인할 수 있으며, 동맥류의 경우 PLA 재질로 출력하였을 때, ACA에 생성한 동맥류는 출력이 되었지만, MCA와 BA에 생성한 동맥류는 출력되지 않았다. resin 재질로 출력한

동맥류 모델은 ACA, MCA, BA에 생성한 동맥류가 출력된 것을 확인할 수 있었고, 각 모델에서 측정된 동맥류의 크기는 표 1.과 같았다.

동맥류 위치	모델	질환 CoW 모델		질환 팬텀 모델	
		질환 CoW 모델	PLA	Resin	
ACA 동맥류		5.84	3.89	5.00	
MCA 동맥류		8.38	-	7.05	
BA 동맥류		5.86	-	4.54	

표 1. 재질 및 생성 위치에 따른 동맥류 크기

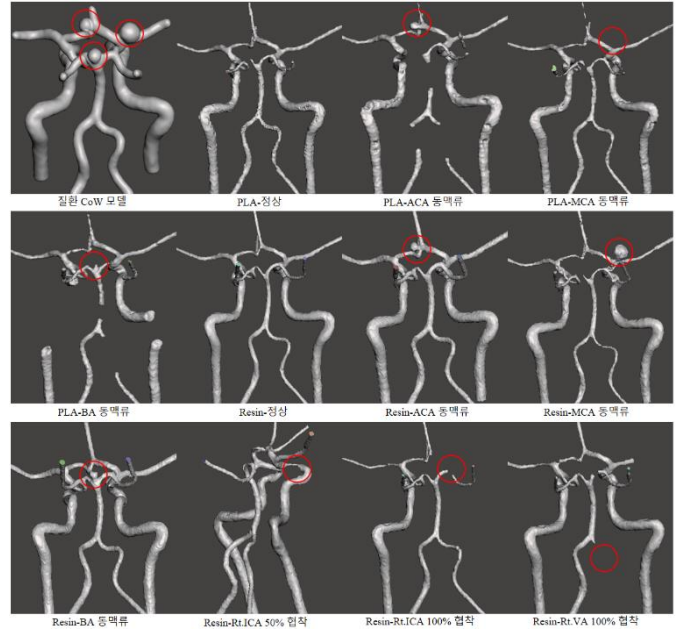


그림 3. 질환 CoW 모델 및 질환 팬텀 모델링 결과

PLA 재질 팬텀의 ACA 동맥류의 크기는 3.89 mm로 66.6%만큼 출력되었으며, resin 재질 팬텀의 동맥류의 크기는 ACA 위치에서 5.00 mm, MCA 위치에서 7.05 mm, BA 위치에서 4.54 mm 로 3곳 평균 82.4%의 재현성으로 출력되었다. Resin으로 출력한 협착 팬텀 모델은 협착을 생성한 Rt.ICA와 Rt.VA 영역에서 혈류가 관찰되지 않는 것과 미세한 Acom, Pcom의 경우 출력이 불안정한 것을 확인할 수 있었다.

이후 다양한 혈관 질환과 혈관의 특성을 반영할 수 있는 재질의 사용으로 생리학적인 한계점을 극복할 수 있는 팬텀을 제작하여 뇌혈관질환의 치료 및 예방에 이용될 수 있을 것이다.

### 4. Acknowledgements

이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 아 수행하였음 (No.2020R1A2C1004355).

### 5.참고 문헌

[1] Hendrikse Jeroen, et al., *Stroke*, vol. 32, no. 12, Art. no. 12, 2001  
 [2] F. Kennedy McConnell and S. Payne, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 64, no. 8, pp. 1793–1802, 2017  
 [3] Jeong-Heon Kim, et al., *Sensors*, 22, no. 6, 2302, 2022  
 [4] Kelsey N. Sommer, et al., *3D Print Med*, Vol 7, p32, 2021  
 [5] Paul Fahy, et al., *Annals of Biomed. Eng.*, Vol 42, p123, 2013