

# Evaluating the Usefulness of Diagnosis through 3D Printing Technology

Chun-Kyu Park<sup>1</sup>, Jung-Hun Kim<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Kyungpook National University

<sup>2</sup>Bio-Medical Research institute, Kyungpook National University Hospital

Received: June 26 2021. Revised: October 20, 2021. Accepted: October 31, 2021.

## ABSTRACT

In order to prevent and treat a patient's disease, the anatomical structure of the lesion through medical imaging is one of the important processes. However, there is a limit to the image displayed on the screen, so many studies are underway to overcome this by using 3D printing technology. To this end, this study implemented a three-dimensional cardiovascular model using actual patient image data, printed it out using a 3D printer, and conducted a usefulness test on current medical professionals. As a result of the usefulness evaluation, when the questionnaire conducted by a total of 5 people was converted to the Likert scale, the average value of all items showed a high result of 4.83 points, and the result of the cross-analysis was  $(P) = 10.000 (0.265)$ , which was equally positive among all the questionnaires survey results were presented. Based on the results, it is expected that 3D printing technology will help advance medical technology.

Keywords: 3D Printing, Medical Imaging, Cardiovascular

## I. INTRODUCTION

환자 진단에 있어 의료 영상은 필수적인 단계로 많은 연구와 발전을 동반했습니다. 현재 임상에서 많이 사용되는 MDCT(Multidetector Computed Tomography)와 MRI(Magnetic Resonance Imaging) 기술은 비침습적으로 고해상도 3차원 이미지 데이터를 제공하고 있습니다<sup>[1,2]</sup>. 또한 수집된 의료 이미지 데이터 영상 처리 기술을 통해 환자의 해부학 및 병리를 평가할 수 있는 다차원적 접근 방식을 제공합니다<sup>[3]</sup>.

현재 임상에서 의료영상 분석은 병리학적 판단을 위한 선택사항이 아닌 필수적인 사항으로 매우 중요하지만, 영상만으로 모든 병리학적 판단을 하는데 한계점이 있다<sup>[4]</sup>. 이를 극복하기 위해 의료영상과 3D 프린팅 기술과 접목한 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[5,6]</sup>.

3D프린팅 기술은 복잡한 해부학적 구조를 정교

하게 제작할 수 있으며, 현재 의료분야에서 보조기, 임플란트, 맞춤형 재활기구 및 수술도구를 제작하는데 사용되고 있다<sup>[7-11]</sup>. 하지만 인체 심혈관 혹은 내부 장기들을 제작 및 활용하는데 있어서는 아직 연구단계에 있다.

본 논문에서는 임상에서 사용되는 의료 영상 데이터와 3D 프린트 기술을 활용하여 심혈관 모델을 제작하였고, 의학전문가가 제작된 심혈관 모델의 유용성 테스트를 진행하여 해부학 및 병리 평가 가능성을 검증한다.

## II. MATERIAL AND METHOD

### 1. 연구 대상

2015년 이후 경북대학교병원에 내원하여 심혈관 CT 촬영을 한 정상 및 질환을 갖는 20세 이상에서 95세 미만 환자 11명의 CT 영상 데이터를 활용하여 실험모델을 제작 및 평가하였다(Table 1).

\* Corresponding Author: Jung-Hun Kim

E-mail: fainal2@naver.com

Tel:

본 연구를 위해 경북대학교병원의 임상시험심사위원회(IRB; Institutional Review, 2020-08-007) 승인 후 진행되었다.

Table 1. Normal and Diseased Cardiovascular Fabrication Sites for Usefulness Evaluation

Cardiovascular	Production Model
Heart	Normal Heart
	Atrial Septal Defect(ASD)
Vessel	Normal Aorta
	Normal Vena Cava
	Aortic Aneurysm
Coronary Artery stenosis	Left Anterior Descending Coronary Artery(LAD)
	Left Circumflex Coronary Artery(LCx)
	Right Coronary Artery(RCA)
Coronary Artery Blocking	Left Anterior Descending Coronary Artery(LAD)
	Left Circumflex Coronary Artery(LCx)
	Right Coronary Artery(RCA)

### 2. 3D 심혈관 모델 제작

3D 심혈관 제작 모델을 위해 MDCT에서 수집한 심혈관 영상 Dicom File을 3D Slicer Program을 이용하여 Fig. 1과 같이 심혈관 내강을 분할하고, 후 처리를 통해 모델링을 재구성하여 STL형식으로 변환하여 Polyjet방식 3D프린터 (Object260 connex, Stratasys, U.S.A)를 사용하여 Agilus 재료를 사용하여 정상심장, 심방중격결손, 대정맥, 정상대동맥, 대동맥류와 관상동맥협착, 관상동맥폐색 심혈관 모델을 제작하였다.

### 3. 유용성 평가

현재 임상에 중사중인 영상의학과 전문의 5인의 설문문을 통해 진행되었다. 평가 방법은 환자 CT 영상과 출력한 3D 심혈관 모델을 비교하여 해부학적 구조와 유용성에 관하여 평가를 하여 평균적인 점수를 측정하였다 평가 기준은 리커트 척도를 사용하여 1점 ‘매우 그렇지 않다’부터 5점 ‘매우 그렇다’로 스코어링 하여 SPSS 프로그램을 통해 설문자의 평균점수를 산출하고 카이제곱 검정을 통해 평가하였다<sup>[12]</sup>.

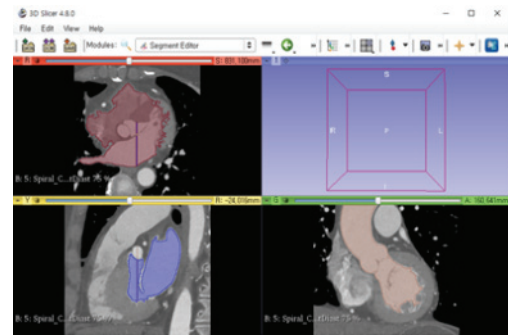


Fig. 1. 3D Slicer Segmentation Operation and STL File Conversion.

## III. RESULT

### 1. 3D 심혈관 모델 제작

환자 심혈관 Dicom 파일을 3D Slicer Program을 통해 구현된 3D 심장 모형을 Fig. 2, Fig. 3과 같이 심장 및 혈관, 관상동맥 병변을 구현하여 출력하였다.

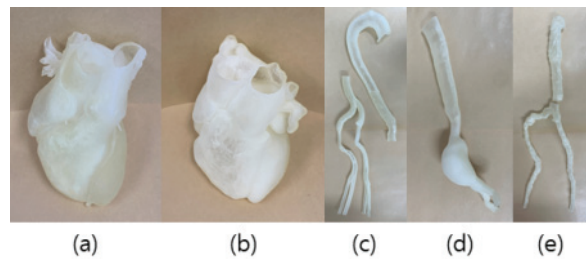


Fig. 2. Cardiac and Blood Vessel Model Making. (a) Normal Heart, (b) Atrial Septal Defect, (c) Normal Aorta, (d) Aortic Aneurysm, (e) Normal Vena Cava Model.

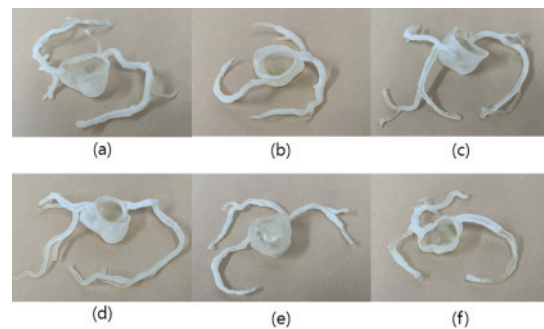


Fig. 3. Coronary artery stenosis and occlusion model fabrication. (a) Left Anterior Descending Coronary Artery(LAD) Stenosis, (b) Left Circumflex Coronary Artery(LCx) Stenosis, (c) Right Coronary Artery(RCA) Stenosis, (d)Left Anterior Descending Coronary Artery(LAD) Blocking, (e) Left Circumflex Coronary Artery (LCx) Blocking, (f) Right Coronary Artery (RCA) Blocking Model.

## 2. 유용성 평가

임상에 중사중인 영상의학과 전문의 5인을 대상으로 유용성 평가 결과 Table 2와 같이 해부학적 구조 및 유용성에 대하여 높은 점수로 활용가치가 있다고 평가하였다. 또한 각 설문자간의 유용성 평가의 차이를 알아보기 위해 교차분석을 실시하였다.

Table 3에서 결과적으로  $\chi^2(P)=10.000(0.265)$ 으로 각 설문자간 동일하게 긍정적인 설문 결과를 나타냈고 추가적인 의견으로 병변 또한 직관적으로 확인할 수 있게 구현하였다고 평가하였다.

Table 2. Usability evaluation items and average score of 5 specialists.

Question	Score
1. 정상 심장 모델에서 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	5
2. ASD(심방중격결손) 모델에서 병변이 잘 묘사되어 있는가?	4.8
3. 정상적인 대동맥 궁 모델에서 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.8
4. 정상적인 정맥 모델에서 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.8
5. 대동맥류 모델에서 병변이 잘 묘사되어 있는가?	5
6. LAD(좌전하행관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	5
7. LCx(좌선회관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	5
8. RCA(우관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.8
9. LAD(좌전하행관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.6
10. LCx(좌선회관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.8
11. RCA(우관상동맥)의 해부학적 구조가 잘 묘사되어 있는가?	4.8
12. 모델의 크기가 심장의 구조를 파악하는데 유용한 정도인가?	5
13. 심장 교보계와 비교하여 심장 출력물이 시뮬레이션 모델로서 심장의 구조를 배우는 데 도움이 된다고 생각하는가?	4.6
14. 심장 2D 영상과 비교하여 심장 출력물이 시뮬레이션 모델로서 심장의 구조를 배우는 데 도움이 된다고 생각하는가?	4.8
15. 심장 3D 영상을 보는 것과 비교하여 심장 출력물이 시뮬레이션 모델로서, 심장의 구조를 배우는 데 도움이 된다고 생각하는가?	4.6
Combined Score	4.83

Table 3. Chi-square value using the scoring result using the Likert scale.

Di vision	Frequency(%)					Full Question (N=15)
	매우 그렇지 않다 (1점)	그렇지 않다 (2점)	보통이다 (3점)	그렇다 (4점)	매우 그렇다 (5점)	
Doctor 1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4	11	15 (100)
Doctor 2	0 (0)	0 (0)	1	3	11	15 (100)
Doctor 3	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5	10	15 (100)
Doctor 4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	15	15 (100)
Doctor 5	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	15	15 (100)
$\chi^2(p)$	10.000(0.265)					

## IV. DISCUSSION

현재 3D프린팅 기술은 의학의 다양한 분야에 활용되고 있다. 현재 3D프린팅 기술이 임상에서 사용되는 분야는 임플란트, 보조기구, 보철기 제작 등에 사용되고 있다.

병변의 해부학적인 구조 파악 또한 질환을 치료 및 예방에 있어 중요한 과정중 하나이다. 그러므로 3D 프린팅 기술을 이용하여 병변을 파악하는데 있어 영상의 한계점을 극복하는 방법은 또 다른 의료 서비스를 제공 할 수 있을 것이다.

우리는 실제 환자 영상데이터를 활용하여 3D 심혈관 모델을 제작하고 이를 영상의학 전문가에게 정상심장, 심방중격결손, 정상 대동맥, 대동맥류, 정상 대정맥, 관상동맥협착, 관상동맥 폐색의 유용성 평가를 진행하였다.

3D프린팅 기술을 활용하여 병변의 해부학적 구조를 파악하는데 있어 전반적으로 구조물을 판단하는데 효과적이며 유용성이 인정된다는 결과를 얻었다. 하지만 아직 관상동맥과 같이 실제로 크기가 병변은 내강 정보를 파악하는 데 제한이 있다는 의견과 모델 제작에 질감과 탄성력 등이 묘사된다면 더욱 범용성이 높은 교육 및 시뮬레이션 도구로 사용될 수 있다고 평가하였다.

현재 3D 프린팅 기술을 활용하여 다양한 의료분야에 적용되고 긍정적인 결과를 나타내고 있다. 3D 프린팅을 활용한 손가락 보조기(3D print finger orthosis)를 제작하여 기존의 손가락 보조기(Medical finger orthosis)와 만족도 테스트를 진행한 결과 3D 프린팅을 활용한 보조기(3D print finger orthosis)가 내구성과 사용 용이성에 관련하여 만족도가 높게 나타나고, 치과에서는 3D프린팅을 이용하여 제작된 의치와 기존의 자가중합형 의치를 비교하였을 때 굴곡강도, 굴곡계수가 높거나 같고 점도가 낮으며 생체적합성에 더욱 높아져 임상에서 사용가능하다는 연구가 있다. 이처럼 발전하는 3D 프린팅 기술은 의료 기술의 향상을 가져오고 이는 본 연구를 통해 심혈관계에도 적용 할 수 있다<sup>[7,13]</sup>.

추후 재료연구를 통해 실제 심혈관과 동일한 물성의 출력물을 제작 할 수 있다면 의료진과 환자 모두에게 도움이 될 것이다.

## V. CONCLUSION

본 연구는 실제 환자 영상데이터를 통해 3D 심혈관 모델을 제작하고, 제작된 모델과 영상데이터를 비교하고, 임상의를 통해 유용성 평가를 진행하였다.

유용성 평가 결과 3D프린팅을 활용하여 병변의 해부학적 구조를 파악하는데 긍정적인 결과를 얻게 되었다. 이를 통해 의료진 교육과, 환자 진단에 적용하게 된다면 보다 향상된 의료진 육성과 환자 진단을 통해 의료 발전에 기여 할 수 있을 것이다.

## Reference

- [1] T. Kido, A. Kurata, H. Higashino, Y. Sugawara, H. Okayama, J. Higaki, et al., "Cardiac imaging using 256-detector row four-dimensional CT: preliminary clinical report", *Radiation medicine*, Vol. 25, No. 1, pp. 38-44, 2007.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11604-006-0097-z>
- [2] J. F. Meaney, M. Goyen, "Recent advances in contrast-enhanced magnetic resonance angiography", *European radiology*, Vol. 17, No. 2, pp. 2-6, 2007.
- [3] H. Von Tengge-Kobligk, T. Weber, F. Rengier, D. Kotelis, P. Geisbüsch, D. B. ckler, et al., "Imaging modalities for the thoracic aorta", *Journal of cardiovascular surgery*, Vol. 49, No. 4, pp. 429, 2008.
- [4] F. Rengier, A. Mehndiratta, H. Von Tengge-Kobligk, C. M. Zechmann, R. Unterhinninghofen, H.-U. Kauczor, et al., "3D printing based on imaging data: review of medical applications", *International journal of computer assisted radiology and surgery*, Vol. 5, No. 4, pp. 335-341, 2010.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- [5] G. T. Klein, Y. Lu, M. Y. Wang, "3D printing and neurosurgery-ready for prime time?", *World neurosurgery*, Vol. 80, pp. 233-235, 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.07.009>
- [6] K. Tappa, U. Jammalamadaka, "Novel biomaterials used in medical 3D printing techniques", *Journal of functional biomaterials*, Vol. 9, No. 1, pp. 17, 2018.  
<https://doi.org/10.3390/jfb9010017>
- [7] H. W. Choi, J. E. Park, J. H. Kim, A. N. Seo, J. M. Lee, "Produced Body Customized 3D Print Finger Brace using Dicom File", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 4, pp. 597-603, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.4.597>
- [8] C. L. Ventola, "Medical applications for 3D printing: current and projected uses", *Pharmacy and Therapeutics*, Vol. 39, pp. 704, 2014.
- [9] J. Banks, "Adding value in additive manufacturing: researchers in the United Kingdom and Europe look to 3D printing for customization", *IEEE pulse*, Vol. 4, No. 6, pp. 22-26, 2013.  
<https://doi.org/10.1109/mpul.2013.2279617>
- [10] C. Schubert, M. C. Van Langeveld, L. A. Donoso, "Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs", *British Journal of Ophthalmology*, Vol. 98, No. 2, pp. 159-161, 2014.  
<https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304446>
- [11] N. S. Birbara, J. M. Otton, N. Pather, "3D Modelling and Printing Technology to Produce Patient-Specific 3D Models", *Heart, Lung and Circulation*, Vol. 28, No. 2, pp. 302-313, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.hlc.2017.10.017>
- [12] A. Joshi, S. Kale, S. Chandel, D. K. Pal, "Likert scale: Explored and explained", *British Journal of*

Applied Science & Technology, Vol. 7, No. 4, pp. 396, 2015.

<http://dx.doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>

- [13] D. R. Park and J. M. Bae, "Mechanical properties and biocompatibility of experimental 3D printing denture base resin", Korean Journal of Dental Materials, vol. 46, pp. 253-262, 2019.

## 3D프린팅 기술을 이용한 심혈관 질환 진단의 유용성 평가

박천규<sup>1</sup>, 김정훈<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교대학원 의용생체공학과

<sup>2</sup>경북대학교병원 생명의학연구원

### 요 약

환자의 질병을 예방 및 치료를 위해서는 의료영상을 통한 병변의 해부학적 구조 파악은 중요한 과정중 하나이다. 하지만 스크린으로 통해 보여 지는 영상으로는 한계가 있으므로 3D 프린팅 기술을 이용하여 이를 극복하고자 하는 많은 연구가 진행 중이다. 이를 위해 본 연구는 실제 환자 영상데이터를 이용하여 3차원 심혈관 모델을 구현하였고, 이를 3D 프린터를 이용하여 출력하여 현재 종사하고 있는 의료전문가에게 유용성 테스트를 진행하였다. 유용성 평가 결과 총 5인이 실시한 설문을 리커트 척도로 변환하였을 때 모든 항목 평균값이 4.83점의 높은 결과를 나타내고, 교차분석 결과  $\chi^2(P)=10.000(0.265)$ 의 수치로 모든 설문자간 동일하게 긍정적인 설문 결과를 나타냈다. 결과를 바탕으로 3D프린팅 기술이 의료기술 발전에 도움을 줄 것으로 기대한다.

중심단어: 3D프린팅, 의료영상, 심혈관

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박천규	경북대학교 의용생체공학과	석사과정
(교신저자)	김정훈	경북대학교병원 생명의학연구원	박사