

# The Correlation Study of the Occurrence of Blooming Artifact according to Dilution Ratio of Contrast Media in CT Angiography

Su-Seong Lee,<sup>1</sup> Se-Jun Baek,<sup>1</sup> Jeong-Yeon Seok,<sup>1</sup> Dae-Yeon Ryu,<sup>2</sup> Seong-Jin Kim,<sup>3</sup> Yeong-Cheol Heo<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Eulji University

<sup>2</sup>Department of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center

<sup>3</sup>Department of Radiology, Bundang Cha Hospital

Received: February 06, 2020. Revised: February 25, 2020. Accepted: February 28, 2020.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the correlation of blooming artifacts according to dilution ratio of contrast agent on CT angiography images. A total of 10 sets were prepared by differently setting the ratio of contrast media and saline in a ball phantom made by a 3D printer. CT scan images were obtained and reconstructed by MIP and MPR techniques to obtain axial, sagittal and coronal images, respectively. After, the diameter of the ball phantom of the image obtained after the test was measured each 30 times, a total 1800 times. As a result, the dilution of 20:80 in the coronal plane was the smallest ( $p<0.05$ ). Similarly, when dilute to 20:80 in the sagittal plane of MIP, it was the smallest as  $20.39 \pm 0.08$  mm ( $p<0.05$ ). Correlation analysis between dilution ratio and measurement size confirmed strong negative correlations in all reconstructed images ( $p<0.05$ ). In conclusion, the higher the dilution ratio of the contrast agent, the more difficult it is to measure actual blood vessel measurement. Therefore, this study may provide basic data in future studies on actual measurement.

Keywords: Computed Tomography Angiography, Blooming Artifact, Dilution ratio of contrast media, 3D printer

## I. INTRODUCTION

2018년 대한민국 노령화 지수는 110.5로 빠른 속도로 증가하고 있으며 2060년에는 현재의 4배 수준인 436.6이 될 것이라 전망하고 있다.<sup>[1]</sup> 뇌혈관 질환은 50세 이상 중·장년층에서 발병률이 90%를 차지할 정도로 노령화 지수와 상관성이 있으며, 이는 향후 대한민국 사망 원인의 지각변동을 예고함을 의미 한다.<sup>[2]</sup> 최근 통계청 발표에 의하면 뇌혈관 질환은 10만 명당 44.4명으로 악성 신생물 암과 심장 질환에 이은 3대 사망원인에 해당 한다.<sup>[3]</sup> 뇌혈관(심혈관)질환의 치료를 위해 현재 까지 다양한 연구가 진행 되어왔으며 최근 비교적 위험도가 높지 않고 재발 방지에 효과적인 스텐트 삽입술이 많이 이용되고 있다.<sup>[4]</sup> 스텐트 삽입술은 협착된 부위의

혈류를 개선시키기 위해 혈관을 확장한 뒤 스텐트를 삽입하여 혈류를 개선시키는 기술이다.<sup>[5]</sup> 스텐트 삽입술을 시행하기 위해서는 환자의 혈관 내경에 일치하는 스텐트를 삽입해야 하는데 이 과정에서 환자의 혈관 내경의 측정이 필요하다. 혈관의 실측이 정확하게 측정되지 않아 환자의 내경보다 크거나 작은 스텐트를 삽입하게 된다면 혈관 내강의 확장으로 혈류 유속이 감소되어 벽면전단응력(WSS: wall shear stress)을 증가시켜 이로 인하여 혈전(thrombosis), 플라그의 정체로 스텐트 내 재협착(ISR: in-stent restenosis)이 발생할 가능성이 높아진다.<sup>[6]</sup> 현재 혈관의 내경을 측정하는 방법으로는 CT Angiography(CTA), MR Angiography, Conventional Angiography를 사용하고 있는데 그 중 CTA는 비침습적이고 시간이 적게 걸리고 위험성이 적다는

\* Corresponding Author: Yeong-Cheol Heo E-mail: eehrn@hanmail.net

Tel: +82-31-740-7134

장점이 있어 CTA 검사를 기본 검사로 사용하고 있다. CTA는 조영제를 혈관에 주입하고 조영제의 선풍수계수 차를 이용하여 혈관 대조도를 증가시키는 방법을 사용한다.<sup>[7]</sup> CTA는 원 데이터(Raw data)를 이용하여 3차원 영상 재구성을 통해 다양한 형태의 영상을 얻을 수 있으며 대표적으로 사용하는 재구성 기법으로는 MPR(multi planar reformation : 다면 재구성 기법), MIP(maximum intensity projection: 최대강도투사) 기법이 있다.<sup>[8,9]</sup> 하지만 이전 연구들은 CT 검사에서 조영제를 사용하여 CT image를 얻을 때 MPR과 MIP에서 실측보다 혈관 내경이 확대된다는 보고가 있었다.<sup>[10,11]</sup> 많은 연구에서 실측을 측정하기 위한 시도가 있었지만 조영제 원액을 사용하여 발생하는 Blooming artifact로 인해 실측에 근접하지 못한 결과들이 보고되었다.<sup>[12-16]</sup> 따라서 CTA에서 실측을 측정하기 위해 조영제 희석비율에 대한 연구가 반드시 필요하며 이에 본 연구에서 조영제 희석 비율에 따른 실측과의 상관성에 대해 분석하고자 한다.

## II. MATERIALS AND METHODS

### 1. Phantom Production Process

본 연구에서는 PLA(Poly Lactic Acid) 재질로 된 내경 20 mm의 ball phantom을 3D 프린터를 이용하여 자체 제작하였다. PLA는 옥수수 전분에서 추출한 원료로 만든 친환경 수지이며 60-70도 정도의 온도가 되면 쉽게 변형이 된다. 또한, 3D프린터에 가장 많이 사용되는 고분자이고, 재건수술시 인체에 삽입하는 부품을 만들 때 널리 사용된다.<sup>[17]</sup>

그림 1과 같이 3D 프린터를 이용하여 ball phantom을 제작하기 위하여 3D CAD프로그램인 solidworks을 이용하여 설계를 하였다. 설계된 파일을 3D 프린터에 입력할 수 있도록 대표적인 파일 형식(Standard Template Library: STL)을 선택하여 저장하였다. 그리고 3D 프린터에 호환된 Layer Slicing 프로그램에 STL파일을 열고 출력 속도 및 서포터 등의 출력에 대한 모든 설정을 하였다. 설정 값을 입력한 후 3D 프린터로의 출력을 위해 전송을 누른 후 3D 프린터에 입력되는 값(G-code)으

로 변환하였다. G-code의 값이 3D 프린터에 전송이 되면 3D 프린팅을 위한 조건들을 확인한 후 출력하였다.

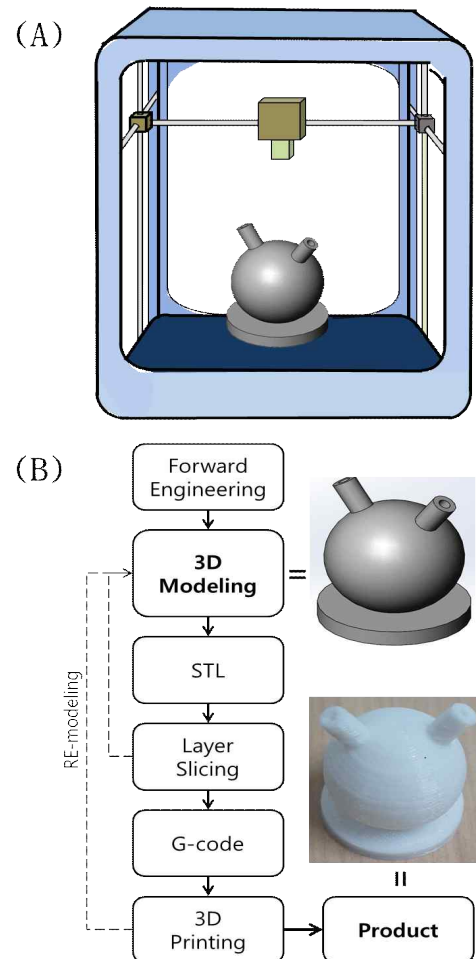


Fig. 1. The manufacturing process of the phantom used in this study. Ball phantom made by 3D printer(A) and 3D printing algorithm(B).

### 2. Experimental Material

본 연구에 사용된 CT scanner는 light speed V-CT (GE Healthcare, USA, Boston)로 검사 시 조건은 표 1과 같이 관전압 100 kVp, 관전류 300 mAs, slice thickness : 0.625 mm, rotation time : 0.5, pitch : 0.984 mm/rot, matrix : 512×512, FOV : 24 cm<sup>2</sup>, algorithm : standard로 설정하였다.

연구에 사용된 조영제는 비이온성 요오드 조영제로 요오드 함유율 32% (320 mg/ml)을 이용하였다.

### 3. Experimental Method

본 연구에서는 그림 2와 같이 실측을 알고 있는 자체 제작한 ball phantom을 CT scanner의 테이블 위에 위치시킨 후 장비의 laser 중심선에 ball phantom의 중앙부를 gantry의 iso-center에 맞추었다.

Table 1. The test condition table used in this study

Condition	Value
kVp	100
mAs	300
slice thickness(mm)	0.652
rotation time(sec)	0.5
pitch(mm/rot)	0.984
matrix	512 × 512
FOV(cm <sup>2</sup> )	24
algorithm	standard

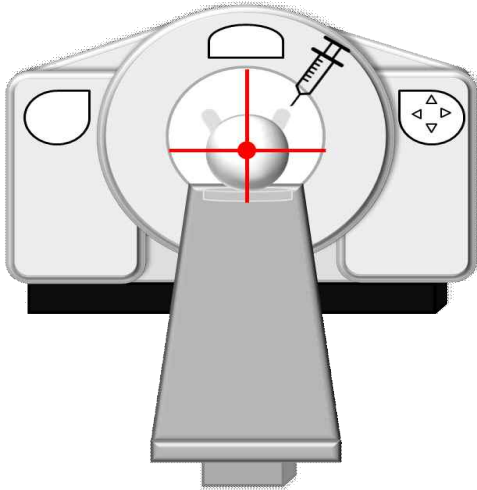


Fig. 2. Ball phantom is located in iso-center and injected to diluted Contrast media in the ball phantom.

Ball phantom내에는 Syringe를 이용하여 조영제와 saline의 비율을 각각 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 으로 설정하여 총 10 set의 비율이 다른 phantom을 준비하였다. CT scan을 통하여 axial 영상을 얻고 raw data를 MIP, MPR기법으로 재구성하여 각각 axial, sagittal, coronal 영상을 얻었다.

검사 후 얻은 영상은 장비사에서 제공하는 Advantage work station을 이용하여 measurement program을 통해 각 axial, sagittal, coronal 방면의 영상에서 자체 제작한 ball phantom의 직경을 각각 그림 3과 같이 30회씩 총 1800회 측정하였다.

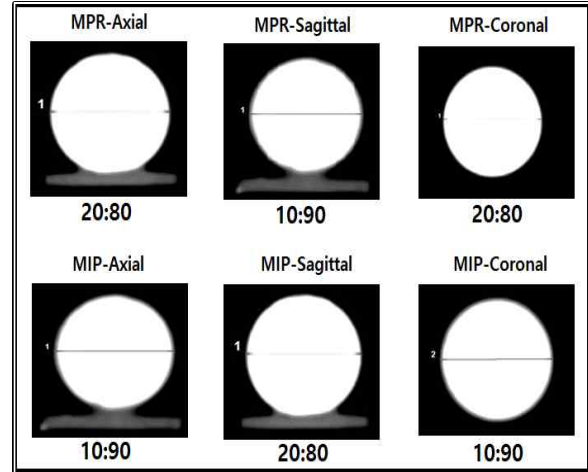


Fig. 3. Measurement of ball phantom measured in MPR, MIP(CM:Sa), CM(ContrastMedia), Sa(Saline).

### 4. Data Analysis

측정한 데이터는 SPSS 18.0(IBM, USA, Chicago)를 이용하였다. 데이터의 평균 차이를 분석하기 위해 일원배치분산분석(ANOVA)을 하였고, 각 데이터들의 사후분석(Post hoc test)하였다. 조영제 희석비율과 실측의 상관성을 분석하기 위해 Pearson의 상관분석을 이용하였다. 이 때 p값이 0.05보다 작을 때 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

## III. RESULT

본 연구의 결과는 표 2.에서와 같이 MPR기법을 적용 후 측정된 고식적 측정법에서 sagittal plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 100:0 일 때 21.76±0.23 mm로 가장 크게 측정되었고, 조영제 비율이 90:10 일 때 20.49±0.11 mm로 가장 작게 측정되었다( $p < 0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의 상관성은 -.895로 매우 강한 음의 상관성이 나타났다( $p < 0.05$ ). coronal plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 80:20일 때 20.97±0.07 mm로 가장 크게 측정되었고, 조영제 비

율이 20:80일 때 20.47±0.05 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의 상관성은 -.798로 강한 음의 상관성이 나타났다( $p<0.05$ ).

axial plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 100:0일 때 21.08±0.02 mm로 가장 크게 측정되었고, 조영제 비율이 20:80일 때 20.49±0.11 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의 상관성은 -.796으로 강한 음의 상관성이 나타났다( $p<0.05$ ).

MIP 기법을 적용 후 측정된 sagittal plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 100:0일 때 21.33±0.20 mm로 가장 크게 측정되었고 조영제 비율이 20:80일 때 20.39±0.08 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의

상관성은 -.894로 매우 강한 음의 상관성이 나타났다( $p<0.05$ ).

coronal plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 100:0일 때 20.89±0.10 mm로 가장 크게 측정되었고, 조영제 비율이 10:90일 때 20.40±0.09 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의 상관성은 -.869로 강한 음의 상관성이 나타났다( $p<0.05$ ). axial plane의 ball phantom 내경 크기의 평균값은 조영제 비율이 100:0일 때 21.00±0.12 mm로 가장 크게 측정되었고, 조영제 비율이 10:90일 때 20.44±0.12 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 조영제 희석비율에 따른 실측의 상관성은 -.861로 강한 음의 상관성이 나타났다.

Table 2. Measurement values of each image according to dilution ratio of contrast media

D/R (CM:Sa)	Unit : mm					
	MPR_Sag	MPR_Cor	MPR_Axial	MIP_Sag	MIP_Cor	MIP_Axial
100:0	21.76 ± 0.23	20.91 ± 0.14	21.08 ± 0.02	21.33 ± 0.20	20.89 ± 0.10	21.00 ± 0.12
90:10	21.21 ± 0.12	20.91 ± 0.10	20.88 ± 0.10	21.07 ± 0.08	20.84 ± 0.07	20.85 ± 0.09
80:20	21.31 ± 0.14	20.97 ± 0.07	20.97 ± 0.10	21.38 ± 0.10	20.86 ± 0.09	20.85 ± 0.07
70:30	21.16 ± 0.11	20.89 ± 0.07	20.90 ± 0.09	20.87 ± 0.08	20.75 ± 0.11	20.78 ± 0.06
60:40	20.80 ± 0.10	20.75 ± 0.10	20.69 ± 0.09	20.84 ± 0.11	20.61 ± 0.07	20.67 ± 0.08
50:50	20.74 ± 0.08	20.75 ± 0.07	20.75 ± 0.09	20.72 ± 0.08	20.65 ± 0.09	20.65 ± 0.07
40:60	20.73 ± 0.08	20.66 ± 0.06	20.67 ± 0.07†	20.67 ± 0.10	20.57 ± 0.07	20.52 ± 0.07
30:70	20.72 ± 0.09	20.69 ± 0.07	20.55 ± 0.07†	20.60 ± 0.08	20.51 ± 0.07	20.49 ± 0.05†
20:80	20.53 ± 0.08†	20.47 ± 0.05	20.49 ± 0.11	20.39 ± 0.08†	20.43 ± 0.12†	20.56 ± 0.13
10:90	20.49 ± 0.11†	20.58 ± 0.12	20.61 ± 0.07†	20.41 ± 0.10†	20.40 ± 0.09†	20.44 ± 0.12†
p1	.000	.000	.000	.000	.000	.000
p*	.000	.000	.000	.000	.000	.000
CC	-.895	-.798	-.796	-.894	-.869	-.861

D/R(Dilution Rate), CM(Contrast Media), Sa(Saline), MPR(Multi Planar Reformation), MIP(Maximum Intensity Projection), Sag(Sagittal), Cor(Coronal). p1 is ANOVA test.  
 The sign of average value † means  $p>0.05$  in post hoc test.  
 p\* means significance probability of pearson's correlation analysis.  
 CC is correlation coefficient.

#### IV. DISCUSSION

국내 3대 사망원인중 하나인 뇌혈관(심혈관)질환을 치료하기 위해 최근 비교적 위험도가 높지 않고 재발 방지에 효과적인 스텐트 삽입술을 많이 이용하고 있다.<sup>[18]</sup> 스텐트 삽입술 시행 시 환자의 혈관 크기에 맞고, 보다 좋은 예후를 가져다주기 위해서는 혈관 내경의 정확한 실측이 필수적이다.<sup>[19]</sup> CT 영상에서의 확대는 많은 원인이 존재할 수 있다고 보고되었다. M. Castilo 등은 무작위로 선택한 혈관 협착이 의심되는 환자에게 CTA 검사를 두 가지의 재구성 기법을 적용한 연구에서 단면의 두께가 두꺼울수록 재구성 기법에서 실측보다 확대될 수 있다고 보고하였다.<sup>[20]</sup> 즉, 단면두께가 증가하면 CTA 영상에서 확대의 원인이 되기 때문에 본 연구에서는 이러한 변수를 제외하기 위해 0.652 mm의 얇은 두께로 단면을 설정하였다. 또 다른 확대의 원인으로 CT number의 증가를 꼽을 수 있다. 혈관 실측을 측정하기 위한 여러 연구에서 조영제 원액을 사용하여 발생하는 Blooming artifact로 인해 실측에 근접하지 못한 결과들이 있었다고 보고되었다.<sup>[10-16]</sup> 따라서 본 연구에서는 CTA 영상의 혈관 실측에 변수를 줄 수 있는 단면 두께를 고정한 채 조영제의 희석비율만을 변수로 두어 조영제 희석 비율에 따른 실측과의 상관성에 대해 분석하고자 하였다.

연구결과 MPR에서 조영제 희석 비율과 실측은 강한 음의 상관성이 있음을 확인하였다. 이는 조영제의 희석비율이 증가할수록 실측에 가까운 값을 얻을 수 있음을 의미한다. 실제로 MPR sagittal에서 측정된 ball phantom의 길이는 조영제와 생리식염수가 10:90으로 희석하였을 때 실측과 약 0.49 mm의 차이가 나타났다. 또한 MPR coronal과 axial에서도 20:80으로 희석하였을 때 실측에 가장 가까운 값을 얻을 수 있었다. MIP에서도 조영제 희석 비율과 실측은 강한 음의 상관성이 있었고 sagittal은 20:80에서, coronal과 axial에서 10:90의 희석비율이 가장 실측에 가까웠다. 이와 관련된 연구 중 허 등은 혈관모형 phantom을 이용하여 CTA검사로 혈관모형의 실측을 측정하는 연구에서 MIP 기법을 이용하였을 때 실측보다 약 258% 확대되었다고 보고하였다.<sup>[10]</sup> 허 등의 연구가 단순히 CTA검사에서

MIP 영상이 확대되고 있다는 보고였다면 이에 대한 문제를 해결하기 위해 이 등은 실측을 알고 있는 Iron ball 을 이용하여 고식적 측정법과 상대적 확대율을 이용한 상대적 측정법을 제안하였으며 MPR 기법에서 33%, MIP 기법에서 34% 확대율을 줄일 수 있다고 보고하였다.<sup>[11]</sup> 허와 이 등의 연구를 종합하여 볼 때 CTA 검사는 혈관의 직경이 과 측정 될 수 있으며, 측정법을 달리하면 실측에 조금은 가까워 질 수 있지만 여전히 실측보다 확대되고 있음을 알 수 있다. 두 연구에서는 확대의 원인 중 하나로 Blooming artifact의 가능성을 제기하였다. 또한 정 등과 S. Yan 등 국내 외 많은 연구에서 CT 영상의 확대 원인에 대해 Blooming artifact에 대해 언급하고 있다.<sup>[12-16]</sup> Blooming artifact란 조영제 원액처럼 고 밀도의 물체일수록 영상에서 실제 영역보다 더 넓게 분포된 것처럼 확장되어 나타나는 현상을 말한다.<sup>[21-23]</sup> 본 연구에서는 조영제 원액에서 확대율이 가장 컸고 희석률이 높아질수록 실측에 가까운 데이터를 얻었다. 따라서 기존의 연구들과 본 연구 결과를 종합하였을 때 본 연구에서 조영제 원액일수록 실측보다 확대되었던 원인이 Blooming artifact였음을 알 수 있다.

본 연구에서는 실제 혈관처럼 흐르는 모형의 phantom이 아닌 조영제가 고여 있는 형태의 ball phantom을 사용하였기 때문에 혈류의 유속에 따른 변화를 적용하지 못했다는 제한점이 있다. 하지만 임상에서 CTA 검사를 할 때 조영제 원액을 사용하는 것이 일반적임을 감안할 때 조영제 원액에 의한 blooming artifact의 상관성을 명확하게 규명하였는데 본 연구의 의의가 있다. 따라서 혈관과 동일한 모형의 phantom을 이용한 추가 연구가 필요하며 추후 혈관 실측에 관한 연구를 진행할 때 본 연구가 기초자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

#### V. CONCLUSION

결론적으로 조영제의 희석비율이 높을수록 혈관의 실측을 측정하기 어려우며 이에 대한 원인으로 blooming artifact가 있음을 확인하였다. 혈관의 실측을 측정한다는 것은 스텐트 삽입술에서 환자의 예후를 결정지을 만큼 중요한 부분이기 때문에 앞으

로 CTA에서 혈관의 실측에 관한 연구는 매우 중요할 것이라 할 수 있다. 지금까지 혈관의 실측 연구에서 blooming artifact로 인해 실측에 가까운 데이터를 얻기가 어려웠으며 또한 조영제와 blooming artifact의 상관성에 대한 보고가 부족하였다. 본 연구에서는 조영제와 blooming artifact의 상관성을 확인하였고 이에 혈관 실측에 관한 추후 연구에서 본 연구가 기초자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

## Reference

- [1] H. R. Choi, "Present and future of Korean geriatrics," *Journal of the Korean Geriatrics Society*, Vol. 15, No. 2, pp. 71-79, 2011.
- [2] Health Insurance Review & Assessment Service, <http://opendata.hira.or.kr/op/opc/olap3thDsInfo.do>, 2017.
- [3] Statistics Korea, [http://kostat.go.kr/portal/korea/kor\\_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=370779](http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=370779), 2018.
- [4] L. I. V. Oel, W. J. V. Rooji, M. Sluzewski, et al, "Reconstructive Endovascular Treatment of Fusiform and Dissecting Basilar Trunk Aneurysms with Flow Diverters, Stents, and Coils," *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 34, No. 3, pp. 589-595, 2013.
- [5] M. Peter, A. Gerhard, Holzapfel, et al, "A Novel Simulation Strategy for Stent Insertion and Deployment in Curevd Coronary Bifucations: Comparison of Three Drug-Eluting Stents," *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 38, No. 1, pp. 88-99, 2010.
- [6] H. Y. Chen, J. Hermiller, A. K. Shinha, et al, "Effects of stent sizing on endothelial and vessel wall stress: potential mechanisms for in-stent restenosis," *American Physiological Society*, Vol. 106, No. 5, pp. 1686-1691, 2009.
- [7] S Napel, M. P. Marks, G. D. Rubin, et al, "CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection," *Radiology*, Vol. 185, No. 2, 1992.
- [8] U. Hoffmann, M. Ferencik, R. C. Cury, et al, "Coronary CT Angiography," *The Journal of nuclear medicine*, Vol. 47, No. 5, pp. 797-809, 2006.
- [9] H. S. Choi, B. W. Choi, K. O. Choe, et al. "Pitfalls, Artifacts, and Remedies in Multi-Detector Row CT Coronary Angiography," *Radiographics*, Vol. 24, No. 3, 2004.
- [10] Y. C. Heo, H. K. Lee, J. H. Cho, et al, "Analysis of Enlarged Images Using Time-of-Flight Magnetic Resonance Angiography, Computed Tomography and Conventional Angiography," *Journal of Medical Systems*, Vol. 38, No. 12, pp. 146-154, 2014.
- [11] S. Y. Lee, H. W. Hong, Y. C. Heo, et al, "Fundamental study of Relative Measurement for Accurate Measurement of Stent Size in Computed Tomography Angiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 5, pp. 713-720, 2019.
- [12] J. I. Jung, "Multidetector CT Imaging of Coronary Artery Stents: In This Method Ready for Use?," *Korean Circulation Journal*, Vol. 37, No. 11, pp. 521-529, 2007.
- [13] N. Manghat, R. V. Lingen, P. Hewson, et al, "Usefulness of 64-Detector Row Computed Tomography for Evaluation of Intracoronary Stents in Symptomatic Patients With Suspected In-Stent Restenosis," *The American Journal of Cardiology*, Vol. 101, No. 11, pp. 1567-73, 2008.
- [14] S. Yan, Q. Chenm X. Zhang, et al, "Extensive blooming artifact predicts no recanalization after intravenous thrombolysis," *European Journal of Neurology*, Vol. 23, No. 4, pp. 737-743, 2016.
- [15] S. Steckmann, M. Kachelri g† al, "Blooming artifact reduction for cardiac CT," *IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference*, Oct. 30th - 6th Nov, pp. 2030-2035, 2010.
- [16] M. Otsuka, "'Radio-lucent' and 'radio-opaque' coronary stents characterized by multislice computed tomography," *International Journal of Cardiology*, Vol. 132, No. 1, pp. e8-e10, 2009.
- [17] T. Letcher, M. Waytashek, "Material Property Testing of 3D-Printed Specimen in PLA on an Entry-Level 3D Printer," *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, American Society of Mechanical Engineers Digital Collection*, Nov. 14 - 20th, 2014.
- [18] P. Gao, D. Wang, Z. Zhao, et al, "Multicenter prospective trial of stent placement in patients with symptomatic high intracranial stenosis," *American*

---

journal of Neuroradiology, Vol. 37, No. 7, pp. 1275-80, 2016.

- [19] Y. C. Heo, H. G. Lee, J. H. Cho, et al, "Accuracy Analysis of Magnetic Resonance Angiography and Computed Tomography Angiography Using a Flow Experimental Model," Journal of Magnetism, Vol. 20, No. 1, pp. 40-46, 2015.
- [20] M. Castillo, J. D. Wilson, "CT Angiography of the common carotid artery bifurcation: comparison between two techniques and conventional angiography," Neuroradiology, Vol. 36, No. 8, pp. 602-604, 1994.
- [21] H. Scheffel, P. Stolzmann, C. L. Schlett, et al, "Coronary artery plaques: Cardiac CT with model-based and adaptive-statistical iterative reconstruction technique," European Journal of Radiology, Vol. 81, No. 3, pp. e363-e369, 2012.
- [22] Z. Sun, R. Davidson, C. H. Kin, "Multi-detector row CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: A systematic review," European Journal of Radiology, Vol. 69, No. 3, pp. 489-495, 2009.
- [23] T. G. Flohr, U. J. Schoepf, A. Kuettner, et al, "Advances in Cardiac Imaging with 16-Section CT Systems," Academic Radiology, Vol. 10, No. 4, pp. 386-401, 2003.

## CT Angiography 영상에서 조영제 희석비율에 따른 Blooming Artifact 발생의 상관성 연구

이수성,<sup>1</sup> 백세준,<sup>1</sup> 석정연,<sup>1</sup> 류대연,<sup>2</sup> 김성진,<sup>3</sup> 허영철<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>을지대학교 보건과학대학 방사선학과

<sup>2</sup>서울아산병원 영상의학과

<sup>3</sup>분당차병원 영상의학과

### 요약

본 연구에서는 CT 혈관조영 영상에서 조영제 희석비율에 따른 Blooming 인공물 발생의 상관성에 대하여 알아보려고 한다. 3D 프린터를 이용하여 PLA(Poly Lactic Acid)재질의 구형 팬텀을 자체 제작하였고 구형 팬텀 내부에 조영제와 식염수의 비율을 100:0부터 10:90으로 희석하여 총 10세트를 준비하였다. 이후 CT 횡단면 영상을 얻고 raw 데이터를 최대강도투사법, 다중평면 재구성기법으로 재구성하여 각각 횡단면, 시상면, 관상면의 영상을 얻었다. 검사 후 얻은 영상의 구형 팬텀의 직경을 각각 30회씩 총 1800회 측정하였다. 측정결과, 다중 평면 재구성 기법 중 관상면에서 20:80으로 희석하였을 때 20.47±0.05 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 마찬가지로 최대강도투사법 중 시상면에서 20:80으로 희석하였을 때 20.39±0.08 mm로 가장 작게 측정되었다( $p<0.05$ ). 희석비율과 측정 크기의 상관성 분석에서는 모든 재구성 영상에서 강한 음의 상관성을 확인하였다( $p<0.05$ ). 결론적으로 조영제 희석비율이 높을수록 혈관의 실측을 측정하기 어려우며 이에 대한 원인으로 Blooming 인공물이 있음을 확인하였다. 따라서 실측에 관한 추후 연구에서 본 연구가 기초자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

중심단어: CT Angiography, Blooming artifact, 조영제 희석비율, 3D 프린터

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이수성	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
(공동저자)	백세준	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	석정연	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	류대연	서울아산병원 영상의학과	방사선사
	김성진	분당차병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	허영철	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	교수