

Analysis of Signal Changes In-stent Thrombus with Variation in Contrast Medium Dilution Rates using Automatic Exposure Control

Ji-Yun Kim¹, Myeong-Ji Kim¹, Da-Yeon Jung¹, Ju-Hyung Lee², Yeong-Cheol Heo^{1,*}

¹Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Eulji University

²Department of Radiology, Korea University Anam Hospital

Received: September 02, 2024. Revised: October 24, 2024. Accepted: October 31, 2024.

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze changes in thrombus signal within a stent in relation to contrast media dilution ratios during the use of an automatic exposure control (AEC) system. A custom-built flow model phantom was used, with contrast media concentrations increased by 5% increments from 5% to 100%, resulting in a total of 20 variations. The signal intensity(SI) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the model vessel, stent, and thrombus were analyzed. The results demonstrated that under no-flow conditions, signal intensity and CNR increased linearly with higher contrast media concentrations. However, under flow conditions, the CNR peaked at concentrations between 60% and 70%. Particularly, in models with thrombi within the stent, the use of undiluted contrast media resulted in the highest CNR, indicating that using undiluted contrast media is effective for detecting thrombi within stents in clinical settings.

Keywords: Contrast media dilution, Automatic exposure control, Contrast-to-noise ratio, Stent, In-stent thrombus

I. INTRODUCTION

조영제 자동주입기는 현대 영상의학 분야에서 진단 정확도를 높이고 절차의 효율성을 개선하는데 중요한 역할을 하고 있다. 조영제의 주입 속도와 양을 자동으로 조절할 수 있는 이 기기는 특히 혈관 내 스텐트 기술과 같은 인터벤션 절차에서 유용하다. 연구에 따르면, 조영제의 적절한 사용은 스텐트 내 혈전 형성 및 혈류 상태를 평가하는 데 필수적이며, 이는 기술의 성공률과 직결된다^[1,2].

조영제의 희석비율은 혈관 영상의 품질에 중요한 영향을 미친다. 조영제의 농도가 조절되지 않을 경우, 스텐트 내 혈전의 신호 강도와 해상도가 변동될 수 있으며, 이는 혈전의 정확한 평가를 어렵게 만들 수 있다^[3,4]. 희석비율에 따른 혈전 신호 변화는 영상의 해석뿐만 아니라 후속 치료 결정에도

영향을 미친다^[5,6]. 이전 연구들은 조영제의 농도와 분포가 혈전 신호에 미치는 영향을 다양한 방식으로 조사했지만, 스텐트 기술에 특화된 분석은 상대적으로 부족하다^[7,8].

최근 연구에서는 조영제 희석비율이 스텐트 내 혈전의 영상적 특성에 미치는 영향을 조사하여, 보다 정밀한 진단이 가능하도록 하는 방법론을 제시하고 있다^[9,10]. 이러한 연구들은 최적의 조영제 희석비율을 규명하고, 스텐트 기술 중 발생할 수 있는 합병증을 예방하는 데 기여할 수 있다.

따라서, 본 연구는 조영제 자동노출제어장치 사용 시 조영제의 희석비율이 스텐트 내 혈전 신호에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 스텐트 기술 후 혈전의 신호 강도와 해상도를 개선할 수 있는 최적의 조영제 희석비율을 도출하고자 한다.

* Corresponding Author: Yeong-Cheol Heo E-mail: heoyc@eulji.ac.kr

Tel: +82-31-740-7134

II. MATERIALS AND METHODS

1. 팬텀 제작

본 연구에 사용된 팬텀 제작 과정은 먼저, 폴리 카보네이트 재질의 수조(크기: 30 × 18 × 12 cm)를 준비하고, 중앙부에 직경 9 mm의 구멍을 뚫어 실리콘 재질의 인공혈관 모델(내경 7 mm, 외경 9 mm)을 연결하여 고정하였다. 이때 인공혈관 모델의 직경은 경동맥(Carotid artery)과 유사한 크기로 선정하였다^[11,12]. 팬텀은 Fig. 1와 같이 인공혈관 모델의 중심부에 Carotid Wallstent를 삽입하여 배치하였고, 끝부분에는 고무 파이프(내경 2 cm, 외경 3 cm)를 연결하였다. 이어서, 고무 파이프에는 식염수를 주입할 5 Fr 쉬스와 조영제를 주입할 9 Fr 쉬스를 연결하였다.

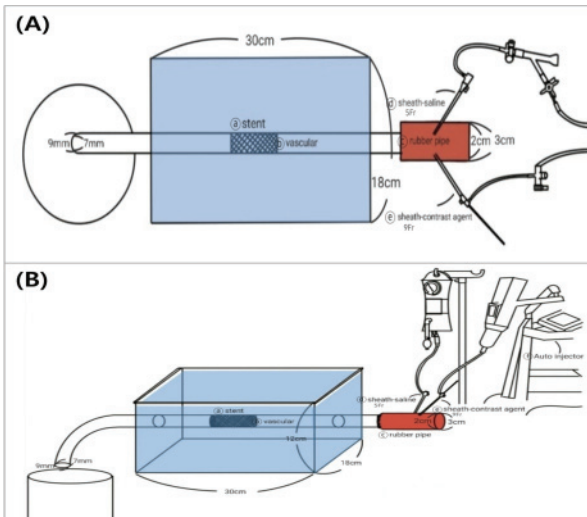


Fig. 1. Phantom with artificial blood vessel model and contrast media setup.

(A) The top view of the phantom demonstrates the positioning of the artificial blood vessel model and (B) The side view of the phantom

2. 실험 방법

본 연구에서는 총 네 가지 방법의 실험을 진행하였으며, 이 중 세 번은 사전 실험이고, 한 번은 본 실험으로 구성되었다. 실험에는 혈관조영장비(Siemens, Germany, Artis zee biplane)가 사용되었고, 검사의 조건은 자동노출제어장치를 사용하였다. 조영제 주

입을 위해 Auto Injector(LF, Illumena injector, V9.06)를 이용하였으며, 조영제는 수용성 요오드 조영제(파미레이 250, 서울, 대한민국)를 사용하였다.

2.1. 조영제 농도에 따른 신호 강도 측정(유속 없음)

본 연구를 시작하기 전에, 유속이 없는 상태에서 조영제 농도와 Background의 신호 강도를 비교하기 위한 사전 실험을 진행하였다. 이를 위해 Fig. 2와 같이 7 ml 용량의 원형 폴리에틸렌 용기에 조영제와 식염수를 각각 5~100% 비율로 희석하여 총 20개의 샘플을 제작하였다. 각 샘플은 용기에 가득 채운 후, 수조에 겹침 없이 배치하였다. 이후, 수조에 물을 가득 채운 상태에서 3차원 회전혈관조영술(3D Rotational Angiography: 3DRA) 검사 후 워크스테이션에서 신호 강도를 측정하였다.

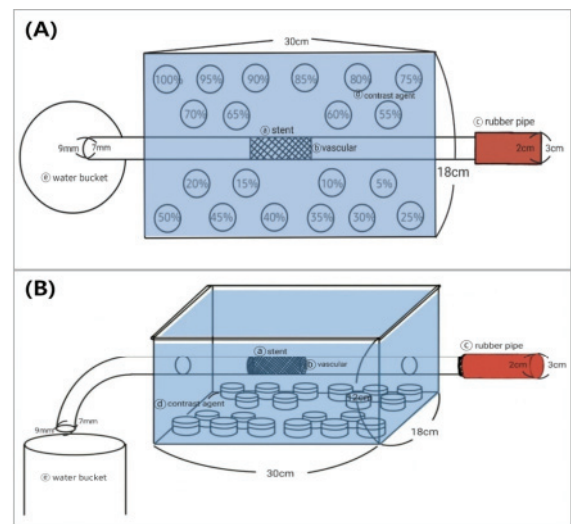


Fig. 2. The study model was designed to measure signal intensity under static conditions by varying the contrast media concentration from 5 to 100%.

(A) shows the top view and (B) shows the side view

2.2. 조영제 농도에 따른 신호 강도 측정(유속 있음)

유속이 있는 상황에서 스텐트와 혈관 구조 간의 신호 강도 차이를 비교하기 위한 사전 실험을 수행하였다. 식염수를 최대 120 mmHg의 압력을 유지하며 Fig. 1과 같이 5 Fr 쉬스를 통해 주입하여 인공혈관 모델 내부를 채운 후, 9 Fr 쉬스에는 Auto Injector를 연결하여 조영제를 초당 4 ml/s의 속도로 총 26 ml 주입하였다. 동일한 방법으로 조영제와 식염수의 비율을 5~100%로 변경하여 주입하였으며,

이 과정을 통해 총 20회의 DSA (Digital Subtraction Angiography) 검사를 진행하였다.

2.3. 혈전과 비슷한 CT number 물질 실험

본 실험에서 필요한 혈전의 CT number와 유사한 물질을 찾기 위해, 6가지 후보물질(실리콘 테이프, 실리콘 스폰지, 고무찰흙, 실리콘, 본드, 지점토)을 약 1 cm 크기로 잘라 원형 폴리에틸렌 용기에 넣었다. 이후, 용기의 남은 공간을 식염수로 채운 후, Fig. 3와 같이 혈전 후보 물질들을 폴리카보네이트 수조 안에 겹치지 않도록 배치하였다. 수조를 물로 가득 채운 후, 3차원 회전혈관조영술 검사 후 워크스테이션에서 각 후보 물질의 CT number를 평가하였다.

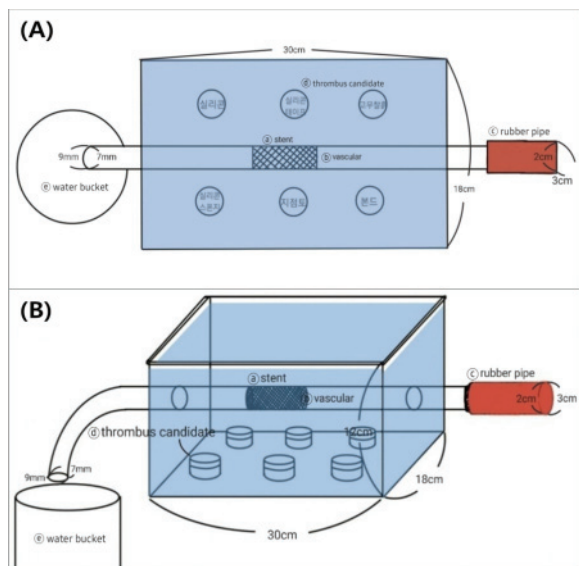


Fig. 3. Study model designed to identify a material with CT numbers similar to thrombus under static conditions. (A) shows the top view and (B) shows the side view

2.4. 스텐트내 혈전 모델의 CNR 분석

2.3. 연구 모델에서 찾은 혈전과 유사한 CT number 물질을 2.0 mm 크기의 정육면체크기로 만들었다. 이 물질은 Fig. 4와 같이 순간접착제를 이용해 실(thread)에 부착한 후, 인공혈관모델 중심부에 설치되어 있는 스텐트 가운데 지점에 위치시켰다. 조영제는 5~100% 농도를 달리하여 Fig. 1과 같이 혈관 모형 도관에 흐를 수 있게 조영제 자동주입기를 이용하였다.

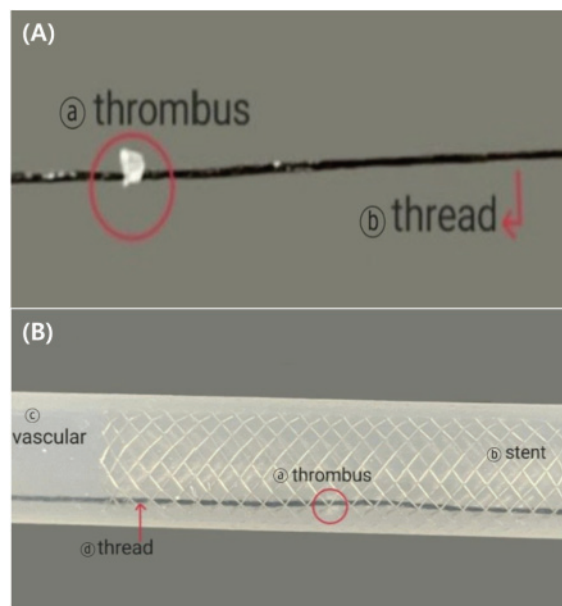


Fig. 4. Material with a CT number similar to that of a thrombus was attached to a thread(A) and positioned in the center of the stent within the vascular model(B).

3. 데이터 측정

검사한 영상의 데이터 측정은 3D 워크스테이션 (SyngoXWP, VD20B)과 Image J (1.51v, NIH, USA) 소프트웨어를 사용하여 수행하였다. 유속이 없는 상태에서 조영제 농도에 따른 신호 강도를 측정하기 위해 배경(Background) 영역의 관심 영역(ROI)을 80 mm²로 설정하고, 10회 반복 측정을 실시하였다. 또한, 각 조영제 샘플(총 20개)의 원형 ROI는 9 mm²로 설정하여 샘플당 20회씩, 총 210회를 측정하였다. 유속이 있는 상태에서 신호 강도를 평가하기 위해서는 배경, 스텐트, 혈관 모형의 위치별로 각각 80 mm², 9 mm², 9 mm²의 ROI를 설정하였다. 각 위치에서 30회씩 측정하여 하나의 영상에서 총 90회의 측정이 이루어졌으며, 이를 통해 총 1,800회의 데이터를 수집하였다. 스텐트 내 혈전이 존재하는 모델에서 대조도를 평가하기 위해 배경, 스텐트, 혈관 모형의 ROI를 Fig. 5와 같이 설정하여 각 위치에서 40회씩, 하나의 영상에서 총 160회, 전체적으로 3,200회의 반복 측정을 통해 데이터를 수집하였다.

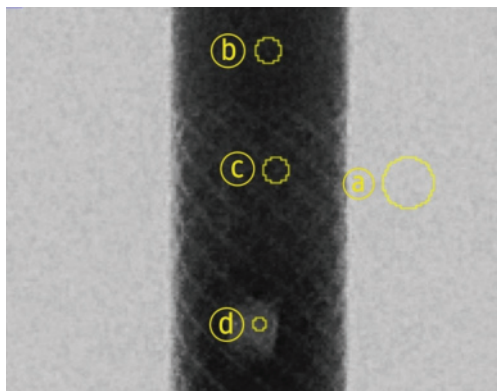


Fig. 5. To measure the thrombus model within the stent, ROIs were designated for the background((a)), vascular model((b)), stent struts ((c)), and thrombus((d)).

4. 데이터 분석

획득한 데이터의 분석은 SPSS 소프트웨어 (V.20.0, IBM, USA)를 사용하여 수행하였다. 유속이 있는 경우와 없는 경우, 총 20개의 서로 다른 조영제와 Stent 내 Thrombus 존재 시의 신호 강도(SI)와 대조도 잡음비(Contrast to Noise Ratio : CNR)에 대해 기술 통계 분석을 실시하였다. CNR 값은 다음의 공식을 사용하여 계산되었다^[13].

$$CNR = \left| \frac{(Background SI_{Avg} - ROI SI_{Avg})}{\sqrt{(Background SD^2 + ROI SD^2)}} \right| \quad (1)$$

조영제 농도별 CNR 값의 차이를 비교하기 위해 일원배치분산분석(ANOVA)을 수행하였으며 Dunnett 방법을 사용하여 사후 검정을 실시하였다. 또한, 조영제 농도 변화에 따른 신호강도(Signal Intensity : SI)와 CNR 값 간의 상관성을 평가하기 위해 선형 회귀 분석을 적용하였다. 이때, p-value가 0.05 이하일 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

III. RESULTS

1. 조영제 농도에 따른 신호 강도 측정(유속 없음)

Table 1은 AEC로 검사하였을 때 유속이 없는 상태에서 조영제 농도에 따른 신호 강도(SI)와 대조도

잡음비(CNR)의 변화를 보여준다. 조영제 농도가 증가함에 따라 SI와 CNR 값이 선형적으로 증가하였으며, 조영제 농도가 100%일 때 CNR 값이 11.5 ± 2.3 으로 가장 높게 측정되었다. 마찬가지로 조영제 농도가 감소할수록 SI와 CNR 값은 선형적으로 감소하였다. Table 4 - (A)와 같이 조영제 농도 변화와 CNR 값 간의 상관성을 평가한 선형 회귀 분석에서는 설명력 82%로 유의한 양의 상관성을 확인하였다($p < 0.05$).

Table 1. Variation in SI and CNR with changes in contrast media concentration under static conditions

DR	N	SI	CNR
BKG	10	-56.7 ± 24.8	-
C5	10	318.1 ± 113.8	2.2 ± 0.7
C10	10	530.8 ± 191.3	3.4 ± 1.1
C15	10	523.2 ± 169.8	3.2 ± 0.7
C20	10	746.5 ± 223.2	4.6 ± 0.8
C25	10	849.2 ± 282.6	4.8 ± 0.9
C30	10	925.2 ± 374.8	4.8 ± 1.2
C35	10	1106.8 ± 282.2	5.1 ± 0.6
C40	10	1158.6 ± 209.7	5.8 ± 1.8
C45	10	1104.4 ± 179.7	4.9 ± 0.9
C50	10	1147.5 ± 147.9	4.6 ± 0.8
C55	10	1201.5 ± 97.7	5.0 ± 1.2
C60	10	1283.9 ± 210.6	6.2 ± 1.7
C65	10	1274.2 ± 376.5	5.2 ± 1.4
C70	10	1372.2 ± 355.3	4.8 ± 1.1
C75	10	1585.5 ± 354.2	6.0 ± 1.1
C80	10	1977.1 ± 303.5	6.5 ± 1.1
C85	10	2435.0 ± 459.4	8.6 ± 1.8
C90	10	2817.6 ± 582.2	9.7 ± 1.9 ^p
C95	10	2966.3 ± 547.4 ^p	11.0 ± 2.3 ^p
C100	10	3359.2 ± 150.3 ^p	11.5 ± 2.3 ^p
<i>p</i> value		0.00	0.00

DR : Dilution Rate, BKG : Background, C(number): Concentration(number), Mean±SDp indicates that the p-value is greater than 0.05 in post-hoc analysis

2. 조영제 농도에 따른 신호 강도 측정(유속 있음)

Table 2는 유속이 있는 상태에서 AEC를 사용하여 조영제 농도 변화에 따른 혈관과 스텐트의 SI 및 CNR 값의 변화를 보여준다. 조영제 농도 변화에 따른 SI 및 CNR 값은 조영제 농도가 100%였을 때 보다 60~70% 사이에서 가장 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

Table 2. Variation in SI and CNR with changes in contrast media concentration under flow conditions

DR	N	SI		CNR	
		Vascular	Stent	Vascular	Stent
C5	30	2342.7±164.5	4005.8±157.3	3.1±0.3	3.1±0.3
C10	30	2676.8±344.1	3072.2±192.2	0.8±0.9 ^p	0.8±0.9 ^p
C15	30	3145.5±196.9	4212.1±177.0	2.5±0.8	2.5±0.8
C20	30	3193.1±176.8	4398.3±303.7	2.5±1.3	2.5±1.3
C25	30	3737.9±84.3	3844.0±167.8	0.3±0.2 ^p	0.3±0.2 ^p
C30	30	3034.3±191.8	3632.3±106.3	1.4±0.5	1.4±0.5
C35	30	5451.2±214.5	6261.8±128.3	1.6±0.4	1.6±0.4
C40	30	4223.2±95.0	4833.9±85.9	2.2±0.2	2.2±0.2
C45	30	5604.9±223.4	5971.4±123.9	0.7±0.4 ^p	0.7±0.4 ^p
C50	30	5331.7±63.7	5555.0±96.9	0.7±0.2 ^p	0.7±0.2 ^p
C55	30	5716.4±445.4	6664.4±100.7	1.6±1.0	1.6±1.0
C60	30	3680.0±104.2	5384.7±200.6	4.1±1.0	4.1±1.0
C65	30	4293.2±117.7	5595.1±380.1	3.0±0.8	3.0±0.8
C70	30	4811.2±95.7	5586.2±375.7	2.7±0.3	2.7±0.3
C75	30	4303.4±95.3	5206.3±312.4	2.2±0.4	2.2±0.4
C80	30	6733.5±503.3	7398.4±190.1	1.5±0.3	1.5±0.3
C85	30	8326.1±86.1	8805.0±163.8	1.2±0.4	1.2±0.4
C90	30	8303.6±38.1	8164.3±105.3	0.4±0.3 ^p	0.4±0.3 ^p
C95	30	7331.5±55.5	7152.4±188.9	0.4±0.4 ^p	0.4±0.4 ^p
C100	30	8067.0±82.3	7872.6±128.7	0.6±0.4 ^p	0.6±0.4 ^p
<i>p</i> value		0.00	0.00	0.00	0.00

DR : Dilution Rate, C(number): Concentration(number), Mean±SDp indicates that the p-value is greater than 0.05 in post-hoc analysis

3. 혈전과 비슷한 CT number 물질 실험

혈전과 비슷한 CT number를 찾기 위해 6가지 물질의 CT number를 측정하고 실리콘 테이프는 176 HU, 실리콘 스폰지는 754 HU, 고무찰흙은 -816 HU, 실리콘은 76 HU, 본드는 -505 HU, 지점토는 1227 HU로 나타났다. 이 중 실리콘의 CT number가 혈전의 CT number로 알려진 80 HU과 가장 유사한 값을 확인하였다.

4. 스텐트내 혈전 모델의 CNR 분석

Table 3에서는 혈전을 스텐트 내부에 삽입하고 유속이 있는 상태에서 조영제 농도 변화에 따른 CNR 값을 분석하였다. CNR 값은 조영제의 농도가

높을수록 CNR 값이 높게 측정되었고, 선형회귀분석에서도 조영제 농도와 CNR 값은 Table 4 - (B)와 같이 0.109 ± 0.005 로 양의 상관성(설명력 39%)이 있음을 확인할 수 있었다($p < 0.05$).

Table 3. Variation in CNR with changes in contrast media concentration after positioning thrombus within the stent

DR	N	CNR
C5	40	0.8 ± 0.5
C10	40	1.4 ± 0.6
C15	40	1.6 ± 0.9
C20	40	1.7 ± 0.9
C25	40	1.7 ± 0.8
C30	40	2.0 ± 1.2
C35	40	1.6 ± 0.8
C40	40	2.0 ± 1.0
C45	40	1.9 ± 1.2
C50	40	1.8 ± 1.0
C55	40	2.1 ± 1.1
C60	40	1.9 ± 1.1
C65	40	2.1 ± 1.4
C70	40	2.0 ± 1.0
C75	40	1.4 ± 1.0
C80	40	2.7 ± 1.4
C85	40	2.1 ± 1.4
C90	40	2.5 ± 1.3
C95	40	2.6 ± 1.3
C100	40	2.3 ± 1.3
<i>p</i> value		0.00

DR : Dilution Rate, C(number): Concentration(number), post-hoc test with dunnett

Table 4. Linear Regression Analysis of contrast media concentration increase in conditions with and without flow

Classification	$\beta \pm SE$	partial R^2	<i>p</i> value
(A) without flow	26.782 ± 3.326	.824	.000
(B) with flow	.109 ± 0.005	.395	.000

IV. DISCUSSION

본 연구의 목적은 자동노출제어장치(AEC) 사용 시 조영제 희석비율에 따른 영상 화질의 변화를 정량적으로 평가하는 것이었다. 이를 위해 조영제 농도를 5~100% 까지 단계적으로 변화시키며 혈관,

스텐트, 혈전에 대한 신호 강도(SI)와 대조도 잡음비(CNR)를 비교 분석하였다.

연구는 총 네 단계로 진행하였으며 첫 번째 유속이 없는 상태에서 조영제 농도에 따른 SI와 CNR을 측정하였고, 두 번째 유속이 있는 상태에서 같은 실험을 반복하였으며, 세 번째 혈전과 유사한 X-선 흡수 물질을 찾기 위해 CT number가 80 HU 정도의 물질을 찾았으며, 마지막으로 스텐트를 설치한 인공혈관 모델에 혈전을 삽입하여 조영제 농도 변화에 따른 CNR 값을 분석하였다.

연구 결과, 유속이 없는 상태에서는 조영제 농도가 증가할수록 SI와 CNR 값이 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 이는 조직 감약계수에 의해 조영제 농도가 높아질수록 영상의 명확성이 증가하는 결과로 해석될 수 있다^[14,15]. 반면, 유속이 있는 상태에서는 조영제 농도가 60~70% 구간에서 CNR 값이 최대치를 기록하는 비선형적 경향이 관찰되었다. 이는 Solbak 등^[16]의 연구와 Santis 등^[17]이 보고한 내용과 유사한 결과로 유속이 존재하는 경우 60~70%의 조영제 농도에서 CNR이 증가하는 경향을 보인다는 보고와 일치하는 결과이다. 또한 스텐트 내에 혈전이 위치하고 있을 때 높은 CNR을 확보하기 위해서는 조영제 원액을 사용하는 것이 더 효과적이라는 결과도 확인할 수 있었다. 이는 혈전 내의 신호강도 차이를 명확하게 하기 위해 조영제의 농도를 높이는 것이 중요함을 시사한다^[16,17]. 이러한 결과는 조영제가 혈관을 통해 흐를 때 최적의 농도를 설정하는 데 중요한 자료가 될 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 본 연구는 인체가 아닌 팬텀을 대상으로 수행되었기 때문에 실제 임상 적용에서 동일한 결과가 나타날지 확신할 수 없다는 점이다. 둘째, 아이오다인 함유율이 250인 조영제만을 사용하였기에, 다른 농도를 가진 조영제를 사용했을 때의 변화를 평가하지 못했다는 제한이 있다. 셋째, 본 연구는 특정 장비를 사용하여 실험을 수행하였으므로, 다른 장비에서 동일한 결과가 나타날지는 추가 연구가 필요하다. 또한, biplane 장치의 frontal view만을 사용하여 lateral view에서의 결과를 도출하지 못한 점도 고려해야 한다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 유속이 있는 환경

과 없는 환경에서 CNR 값이 다르게 나타난다는 사실을 확인하였다. 특히, 스텐트와 혈전 모델을 활용한 정량적 분석을 통해 조영제 농도에 따른 CNR 변화를 명확히 제시했다는 점에서 의의를 가진다. 이는 임상에서 조영제 사용을 최적화하고 환자 안전을 향상시키기 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 AEC 사용 시 조영제 희석비율에 따른 영상 화질 변화를 분석하였으며, 유속이 없는 상태에서는 조영제 농도가 증가할수록 SI와 CNR이 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. 하지만 유속이 있는 상태에서는 조영제 농도 60~70%에서 CNR이 최고치를 기록하는 비선형적 경향이 관찰되었다. 스텐트 내부의 혈전은 조영제 농도가 높을수록 CNR이 높은 영상을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 조영제 사용 최적화를 위한 중요한 자료로 활용될 수 있으며 향후 연구에서는 다양한 임상 조건과 조영제 농도를 고려한 추가 실험을 통해 최적의 조영제 사용 전략을 확립하는 것이 필요하다.

Acknowledgement

이 연구는 2024 을지대학교 대학혁신지원사업 지원을 받아 진행된 연구임

Reference

- [1] R. Moreno, C. Fernández, R. Hernández, F. Alfonso, D. J. Angiolillo, M. Sabaté, J. Escaned, C. Bañuelos, A. Fernández-Ortiz, C. Macaya, "Drug-eluting stent thrombosis: results from a pooled analysis including 10 randomized studies", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 45, No. 6, pp. 954-959, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.11.065>
- [2] I. Iakovou, T. Schmidt, E. Bonizzoni, L. Ge, G. M. Sangiorgi, G. Stankovic, F. Airoldi, A. Chieffo, M. Montorfano, M. Carlino, I. Micev, N. Corvaja, C. Briguori, U. Gerckens, E. Grube, A. Colombo, "Incidence, predictors, and outcome of thrombosis after successful implantation of drug-eluting stents", *The Journal of the American Medical Association*,

- Vol. 293, No. 17, pp. 2126-2130, 2005.
<https://doi.org/10.1001/jama.293.17.2126>
- [3] V. Mergen, T. Sartoretti, G. Cundari, M. Serifovic, K. Higashigaito, T. Allmendinger, B. Schmidt, T. Flohr, R. Manka, M. Eberhard, H. Alkadhi, "The importance of temporal resolution for ultra-high-resolution coronary angiography", *Investigative Radiology*, Vol. 58, No. 11, pp. 767-774, 2023.
<https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000987>
- [4] L. Geering, T. Sartoretti, V. Mergen, G. Cundari, S. Rusek, F. Civaia, P. Rossi, J. E. Wildberger, C. Templin, R. Manka, M. Eberhard, H. Alkadhi, "First in-vivo coronary stent imaging with clinical ultra high resolution photon-counting CT", *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, Vol. 17, No. 3, pp. 233-235, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jcct.2023.02.009>
- [5] A. D. Singh, A. K. Singal, A. Mian, S. R. Kapadia, D. P. Hedrick, A. Kanaa'N, J. J. Khatri, R. Puri, A. Kalra, "Recurrent drug eluting stent in-stent restenosis: A state-of-art review of pathophysiology, diagnosis and management", *Cardiovascular Revascularization Medicine*, Vol. 21, No. 9, pp. 1157-1163, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.carrev.2020.01.005>
- [6] T. M. Grist, F. R. Korosec, D. C. Peters, S. Witte, R. C. Walovitch, R. P. Dolan, W. E. Bridson, E. K. Yucl, C. A. Mistretta, "Steady-state and dynamic MR angiography with MS-325: initial experience in humans", *Radiology*, Vol. 207, No. 2, pp. 539-544, 1998. <https://doi.org/10.1148/radiology.207.2.9577507>
- [7] G. W. Stone, S. G. Ellis, D. A. Cox, J. Hermiller, C. O'Shaughnessy, J. T. Mann, M. Turco, R. Caputo, P. Bergin, J. Greenberg, J. J. Popma, M. E. Russell, "A polymer-based, paclitaxel-eluting stent in patients with coronary artery disease", *New England Journal of Medicine*, Vol. 350, No. 3, pp. 221-231, 2004.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa032441>
- [8] D. E. Cutlip, S. Windecker, R. Mehran, A. Boam, D. J. Cohen, G. A. van Es, P. G. Steg, M. A. Morel, L. Mauri, P. Vranckx, E. McFadden, A. Lansky, M. Hamon, M. W. Krucoff, P. W. Serruys, "Clinical end points in coronary stent trials: a case for standardized definitions", *Circulation : Journal of the American Heart Association*, Vol. 115, No. 17, pp. 2344-2351, 2007.
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.685313>
- [9] N. V. Patel, M. J. Gounis, A. K. Wakhloo, N. Noordhoek, J. Blijd, D. Babic, D. Takhtani, S. K. Lee, A. Norbash, "Contrast-enhanced angiographic cone-beam CT of cerebrovascular stents: experimental optimization and clinical application", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 32, No. 1, pp. 137-144, 2011. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2239>
- [10] I. Yuki, Y. Kambayashi, A. Ikemura, Y. Abe, I. Kan, A. Mohamed, C. Dahmani, T. Suzuki, T. Ishibashi, H. Takao, M. Urashima, Y. Murayama, "High-Resolution C-Arm CT and Metal Artifact Reduction Software: A Novel Imaging Modality for Analyzing Aneurysms Treated with Stent-Assisted Coil Embolization", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 37, No. 2, pp. 317-323, 2022.
<https://doi.org/10.3174/ajnr.A4509>
- [11] Y. H. Lee, M. H. Shin, S. S. Kweon, H. S. Nam, K. S. Park, J. S. Choi, S. W. Choi, H. Y. Kim, G. J. Oh, H. R. Ahn, H. S. Oh, S. K. Jeong, "Normative and mean carotid intima-media thickness values according to metabolic syndrome in Koreans: The Namwon Study", *Atherosclerosis*, Vol. 234, No. 1, pp. 230-236, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.02.023>
- [12] Y. J. Youn, N. S. Lee, J. Y. Kim, J. W. Lee, J. K. Sung, S. G. Ahn, B. S. You, S. H. Lee, J. H. Yoon, K. H. Choe, S. B. Koh, J. K. Park, "Normative Values and Correlates of Mean Common Carotid Intima-Media Thickness in the Korean Rural Middle-aged Population: The Atherosclerosis RiSk of Rural Areas iN Korea General Population (ARIRANG) Study", *Journal of Korean Medical Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 365-371, 2011.
<https://doi.org/10.3346/jkms.2011.26.3.365>
- [13] M. Mori, K. Imai, M. Ikeda, Y. Iida, F. Ito, K. Yoneda, Y. Enchi, "Method of measuring contrast-to-noise ratio (CNR) in nonuniform image area in digital radiography", *Electronics and communications in Japan*, Vol. 96, No. 7, pp. 32-41, 2013. <https://doi.org/10.1002/ecj.11416>
- [14] F. Lorenzo, G. Michela, "Iodine concentration and optimization in computed tomography angiography current issues", *Investigative Radiology*, Vol. 51, No.

12, pp. 816-822, 2016.

<https://doi.org/10.1097/RLL.0000000000000283>

- [15] F. Schwarz, K. Grandl, A. Arnoldi, M. A. Kirchin, F. Bamberg, M. F. Reiser, C. R. Becker, "Lowering radiation exposure in CT angiography using automated tube potential selection and optimized iodine delivery rate", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 200, No. 6, pp. W628-W634, 2013. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9635>
- [16] M. S. Solbak, M. K. Henning, A. England, A. C. T. Martinsen, T. M. Aaløkken, S. Johansen, "Impact of iodine concentration and scan parameters on image quality, contrast enhancement and radiation dose in thoracic CT", *European Radiology Experimental*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1186/s41747-020-00184-z>
- [17] D. D. Santis, D. Caruso, U. J. Schoepf, M. Eid, M. H. Albrecht, T. M. Duguay, A. Varga-Szemes, A. Laghi, C. N. De Cecco, "Contrast media injection protocol optimization for dual-energy coronary CT angiography: results from a circulation phantom", *European Radiology*, Vol. 28, No. 8, pp. 3473-3481, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5308-3>

자동노출제어장치 사용시 조영제 희석 비율 변화에 따른 스텐트 내 혈전 신호 변화 분석

김지윤¹, 김명지¹, 정다연¹, 이주형², 허영철^{1,*}

¹을지대학교 보건과학대학 방사선학과

²고려대학교 안암병원 영상의학과

요 약

본 연구에서는 자동노출제어장치 사용시 조영제 희석 비율 변화에 따른 스텐트 내 혈전 신호 변화를 분석하고자 하였다. 유속 흐름 모델 팬텀을 자체 제작하여 조영제 농도를 5~100%로 5%씩 증가시켜 총 20개의 조영제 변화를 시켰고, 모형 혈관과 스텐트, 혈전의 신호강도와 대조도잡음비를 분석하였다. 결과적으로 유속이 없는 상태에서는 조영제 농도가 증가할수록 신호강도와 대조도 잡음비가 선형적으로 증가하였지만 유속이 있는 상태에서는 60~70%의 농도에서 대조도 잡음비가 최대로 나타났다. 특히, 스텐트 내 혈전이 있는 모델에서는 조영제 원액을 사용하였을 때 높은 대조도 잡음비를 확인하여, 임상 상황에서 스텐트 내 혈전을 발견하기 위해서는 조영제 원액을 사용하는 것이 효과적임을 확인하였다.

중심단어: 조영제 희석, 자동노출제어장치, 대조도잡음비, 스텐트, 스텐트내 혈전

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김지윤	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
(공동저자)	김명지	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	정다연	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	이주형	고려대학교 안암병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	허영철	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	교수