Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 19, No. 4, pp. 389-395, 2025
https://doi.org/10.23042/radin.2025.19.4.389

Original article

뇌혈관조영술 시 다중방향성을 이용한 방사선 피폭 저감화에 관한 연구

강 민[1] · 성호진[2] · 최성현[1] · 류영환[1,*]

[1]동강대학교 방사선학과, [2]전남대학교병원 영상의학과

A Study on the Reduction of Radiation Exposure Using Multiple Directions in Cerebral Angiography

Min Kang[1], Ho Jin Sung[2], Sung Hyun Choi[1], and Young Hwan Ryu[1,*]

[1]Department of Radiological Technology, Donggang University, 50 Dongmundaero Bukgu Gwangju 61200, Republic of Korea
[2]Department of Radiology, Chonnam National University Hospital, 42 Jebon-ro, Dong-gu, Gwangju 61469, Republic of Korea

ABSTRACT In this study, we evaluated the radiation exposure of patients and operators during transfemoral cerebral angiography (TFCA) performed at multi-directional angles using a bi-plane cerebrovascular angiography system, and, based on these findings, propose measures to reduce radiation exposure and enhance radiation safety in the TFCA process. To evaluate the radiation exposure of patients and operator at various angles, the Bi-Plane Allura Xper FD 20/20 (Philips, Eindhoven, and Netherlands) was directed towards the Rando Man Phantom (Alderson Co, Australia). The Phantom was equipped with a RaySafei2 (Unfors Rasysafe, Bjrklundabacken, Sweden). If there was a statistically significant difference between groups through ANOVA, a post-test was conducted through Scheffe's post-analysis. A-Plane tube voltage and survey time PAE were −2.08 and −2.06% respectively, and in the case of B-Plane, –2.39 and –2.26% respectively. Although overall analysis showed a statistically significant difference in Air Kerma and DAP according to irradiation angle ($F=1416.51$, $p<0.001$), Scheffe's post-hoc test revealed no significant differences between specific angles in the average values of Air Kerma and DAP.In this study, we evaluated the effect of changes in the irradiation angle on radiation exposure for patients and operators during TFCA performed with a bi-plane cerebrovascular angiography system. Although variations in the irradiation angle were not statistically significant, the use of a shield significantly reduced the radiation exposure for both patients and operators.

Key words: DSA, DAP, Air kerma, Bi-plane angiographic device, TFCA

1. 서 론

인터벤션 영상의학(Interventional Radiology; IVR)은 방사선 투시를 기반으로 혈관 및 비혈관계 병변의 진단 및 치료를 시행하는 영상의학의 중요한 분야로, 비침습적이며 정밀한 중재적 시술을 제공한다[1]. 또한 진단 영역 증가와 더불어 뇌, 심장, 말초혈관질환, 출혈 및 간암의 치료 등 시급을 요하는 질환에서 중재적시술이 수술을 대체하며 그 활용도가 지속적으로 증가하고 있다[2]. 특히, 성인의 주요 사망 원인 중 뇌혈관 질환이 대두되면서, 진단을 위한 검사 방법으로 CT, MRI와 더불어 뇌혈관조영술(Transfemoral Cerebral Angiography; TFCA)가 많이 시행되고 있다. 이 중, TFCA는 비침습적이면서, 정확한 진단이 가능한 검사방법으로, 뇌동맥 혈류의 다양한 모양, 혈관기시부의 정확한 위치와 방향, 주변 혈관과의 관계 등 혈관 내 시각적으로 제공하여 이를 통한 정밀한 진단과 효과적인 중재적 시술이 가능하게 하고 있다[3]. 중재적 시술은 새로운 시술 재료의 개발과 시술 방법의 발전으로 지속적인 증가 추세이며, 이에 따라 환자 및 시술자의 방사선 선량 또한 함께 증가하고 있다[4,5]. 이에 국제원자력기구 내 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 '중재적 의료절차에서 방사선 상해의 예방'이라는 간행물을 발간하였다[6]. 이 간행물에 따르면 방사선 중재적 시술 과정에서의 환자에 대한 선량 평가를 기록하고 선량

ISSN 1976-2402 http://www.ksri.kr/
Copyright© 2025 by Korean Society of Radiation Industry
*Corresponding author: Young-Hwan Ryu
Tel: +82-62-520-2405, Fax: +82-62-520-2406, E-mail: ryu751207@naver.com
Received 16 May 2025 Revised 18 December 2025 Accepted 19 December 2025

저감화 방안을 유념하여 실천하도록 권고하고 있으며 시술 시 장시간 투시 조사는 환자와 시술자 모두 유의해야 한다고 권고한다. 이에 본 연구에서는 Bi-plane 뇌혈관 전용장치를 활용하여 다중 방향성 각도를 적용한 TFCA에서 환자와 방사선사의 방사선 피폭량을 평가하고, 이를 기반으로 방사선 피폭량의 저감화 방안을 제시하여 TFCA 과정에서의 방사선 안정성을 높이는데 기여하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1. 실험 장비

본 연구에서 사용된 뇌혈관 전용장치는 Bi-Plane Allura Xper FD 20/20 (Philips, Eindhoven, Netherlands)를 사용하였다. 사용된 검출기는 38 × 30 cm의 디지털 평판형 검출기(Digital Flat panel Detector)이며 각 Plane에 사용된 필터는 0.1 mmCu + 1 mmAl이었다. 환자와 시술보조자 대신 사용된 Rando Man Phantom (Alderson Co, Australia)는 ICRU(International Commission on Radiation Units and Measurements)-44 표준으로 제작되었으며 신장 174 cm, 체중 73.5 kg의 평균 남성의 체형을 재현하고 있고 2.5 cm 두께의 슬라이스들로 구성되어 있다[7]. 환자의 방사선 피폭을 측정하기 위해 실시간으로 공간선량, 공간선량률 및 누적선량을 측정할 수 있는 RaySafe i2 (Unfors Rasysafe, Björklundabacken, Sweden)을 사용하였다. 시술자의 피폭을 측정하기 위해 공간선량률 0.1 uSv/h~10 mSv/h, 누적 선량 1 uSv~10 Sv까지 측정 가능한 G-M Tube형 계수관 SmartRad (Enviro, Daejon, Korea)를 사용하였다.

2.2. 관전압(kVp)과 조사시간(ms)의 PAE

Bi-Plane Allura Xper FD 20/20에서 발생되는 방사선의 기준 선량 측정을 위하여 Magic MAX (IBA Dosimetry GmbH Schwarzenbruk, Germanay)을 사용하여 kVp와 ms를 측정하였다. 결과는 보건복지가족부령 제349호에 의거하여 백분율 평균오차의 값을 구하여 평가하였다(Eq. (1)).

$$PAE = \frac{X_p - \overline{X}}{X_p} \quad (1)$$

PAE: Percent Average Error, 백분율 평균오차
X_p: 관전압 및 조사시간 지시치
$\overline{X}$: 측정치의 산술 평균치

유효 kVp는 MagicMax에 측정된 kVp 평균값에 설정된 % kVp 이상의 peak만을 포함하였다. kVp 및 ms의 백분율 평균오차는 설정치에 대하여 ±10% 이내이어야 하고 변동 계수는 오차 허용 범위 ±5% 이내이어야 한다.

2.3. 실험 방법

BI-Plane 뇌혈관조영장치의 A-Plane과 B-Plane의 각도를 변경해가며 피폭선량을 측정하였다. A-Plane의 경우 각각 Cranial과 Caudal방향으로 0°, 10°, 20°의 각도를 주었으며 이와 동시에 왼쪽과 오른쪽으로 0°, 10°, 20°의 각도를 주었다. B-Plane의 경우 각각 위와 아래 방향으로 0°, 10°, 20°의 각도를 주었으며 이와 동시에 Superior과 Inferior 방향으로 0°, 10°의 각도를 주었다. 촬영은 자동노출제어기(Auto Exposure Controller; AEC)를 적용하였으며 두부 검사 촬영조건으로 A-Plane의 경우 80 kVp, 78 mAs, B-Plane의 경우 80 kVp, 30 mAs로 디지털 감산 혈관조영술(Digital Subtraction Angiography; DSA)촬영을 10 sec간 2 fps (Frame Per Second)로 조사를 시행하였다. 시술 테이블의 높이는 105 cm으로 고정하였고, A-Plane의 초점 영상관 간 거리(Source to image Receptor Distance; SID)는 105 cm, 평판형 검출기(Flat panel Detector; FD)의 크기는 27 cm으로 설정하였다. B-plane의 SID는 130 cm, FD의 크기는 42 cm으로 설정하였다. 환자의 Air Kerma, 면적선량(Dose Area Product; DAP) 그리고 누적선량을 측정하기 위해 Table 위의 Rando Man Phantom (P1)의 안와 부위에 RaySafe i2를 위치시켰으며 시술자의 누적선량과 흡수선량을 측정하기 위해 뇌혈관조영술 시 시술자의 위치에 세워둔 Rando Man Phantom (P2)의 흉부 부위에 Smartrad를 위치시켰다. 또한 0.5 mmpb의 납 당량을 가진 개인방어보호구와 1.0 mm의 납 당량을 가지고 1000 (w) × 1800 (H)의 크기를 가진 차폐벽의 유무에 따른 방사선사에 대한 누적선량과 공간선량률의 변화를 측정하였다.

2.4. 통계적 분석

통계학적 방법은 SPSS Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY)프로그램을 사용하였으며, 일원배치분산분석(One-Way ANOVA)를 이용하여 각도에 따른 환자의 Air Kerma, DAP와 누적선량을, 시술자의 개인방어구와 차폐벽의 유무에 따른 누적선량과 공간선량률을 비교 분석하였다. 또한 ANOVA를 통해 집단간에 통계적으로 유의한 차이가 있을 경우, Scheffe의 사후분석을 통해 사후검정을 하였다. 본 연구에서는 p값이 0.05미만 일 때 통계학적으로 유의한 것으로 판정하였다.

3. 결 과

3.1. 관전압과 조사시간의 PAE

A Plane과 B Plane의 kVp와 ms를 Table 1에 기술되어 있다. 각 Plane의 AEC를 적용한 후의 관전압은 A-Plane의 경우 72 kVp, B-Plane의 경우 80 kVp이었다. A-Plane의 관전압과 조사시간의 PAE는 각각 −2.08, −2.06%이었으며 B-Plane의 경우 각각 −2.39, −2.26%이었다.

Table 1. PAE of the KVp and ms

	A-Plane		B-Plane	
Times	kVp	ms	kVp	ms
1	73.48	51.05	82.38	44.53
2	73.40	51.01	81.70	45.16
3	73.63	51.02	81.80	44.67
4	73.41	51.03	81.85	45.82
5	73.56	50.91	81.72	44.82
mean±SD	73.50±0.10	51.03±0.01	81.89±0.25	45.00±0.52
CV	0.001	0.001	0.003	0.01
PAE	-2.08%	-2.06%	-2.39%,	-2.26%

SD: Standard Diviation, CV: Coefficient of variation, PAE: Percent Average Error,

3.2. 조사각도의 변화에 따른 P1에서의 Air kerma와 DAP의 변화

Table 2는 뇌혈관 조영술 시 조사각의 변화에 따른 P1의 Air kerma와 DAP를 보여준다. 평균 Air Kerma는 A-Plane의 경우 65.58±6.29 mGy, B-Plane의 경우 평균 28.45±2.97 mGy, 평균 DAP는 15.74±0.85 mGy·cm^{2}이다. 조사각이 0°인 경우 Air Kerma 및 DAP의 평균은 A-Plane은 74.69±0.25 mGy, B-Plane은 27.82±0.98 mGy, 17.46±0.09 mGy·cm^{2}이다. 조사각이 10°인 경우 Air Kerma 및 DAP의 평균은 A-Plane은 70.01±3.15 mGy, B-Plane은 26.92±1.87 mGy, 16.42±0.69 mGy·cm^{2}이다. 조사각이 20°인 경우 Air Kerma 및 DAP의 평균은 A-Plane은 58.47±3.58 mGy, B-Plane은 30.10±3.08 mGy, 15.16±0.81 mGy·cm^{2}이다. 조사각 변화에 따른 Air Kerma 및 DAP는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며(F=1416.51, p〈0.001) Scheffe의 사후 검증 결과, Table 2에서 보는 바와 같이 조사각 변화에 따른 Air Kerma 및 DAP의 평균 값의 차이는 큰 편차를 보이지 않았으나, 각도의 변화 범위가 넓어짐에 따라 집단 간 분산이 증가하여 F 값이 크게 산출되었다(Table 2).

3.3. 조사각에 따른 누적선량과 공간선량률

P1이 받는 조사각에 따른 공간선량률 및 누적 선량의 차이는 없었으나, P2의 경우 차폐체 유무에 따른 방사선량률과 피폭 누적 선량의 차이가 보였다(Table 3). P1에서 측정한 공간선량률과 누적선량은 평균 310.74±17.44, 1.24±0.06 mSv이다. 조사각이 10°인 경우, 311.91±11.93, 1.23±0.06 mSv, 조사각이 20°인 경우, 308.72±23.82, 1.24±0.08 mSv이다. P2에서 차폐체를 사용하지 않는 경우 공간선량률과 누적선량은 평균 5.29±0.20, 8.56±0.61 uSv였으며 차폐체를 사용하는 경우 공간선량률과 누적 선량은 평균 0.79±0.09, 1.32±0.21 uSv이다. 차폐체를 사용하지 않고 조사각이 10°인 경우, 5.22±0.21, 8.48±0.31 uSv, 조사각이 20°인 경우, 5.36±0.17, 8.63±0.80 uSv이다. 차폐체를 사용하고 조사각이 10°인 경우, 0.73±0.05 , 1.18±0.09 uSv, 조사각이 20°인 경우, 0.85±0.08, 1.48±0.20 uSv이다. 차폐체 사용 유무에 따른 공간선량률과 누적선량은 통계적으로 유의한 차이가 있었다(F=9954.387, p<0.001). Scheffe의 사후검증 결과, Table 3과 같이 조사각 변화에 따른 P1과 P2 모두 공간 선량과 누적 선량 차이에서 큰 값의 차이를 보이지 않았으나 차폐체 사용 유무에 따른 공간 선량과 누적 선량 차이에서는 큰 값의 차이를 보였다. P1, P2에서 차폐체 사용 전 그리고 P2에서 차폐체 사용 후 순으로 공간 선량 및 누적 선량이 높았다.

4. 고 찰

국내 의료기관의 진단용 방사선 발생장치와 방사선 관계종사자는 해마다 증가하고 있어 이에 따른 시술자의 직업적 방사선 피폭관리의 중요성이 항상 강조되어지고 있다[4,5,8]. 영상의학에서 사용되는 진단용 방사선 발생장치의 대부분은 전자를 가속시켜 발생하는 X선을 사용하고 있어 환자와 시술자의 피폭선량 관리가 중요하며 특히 중재적 시술은 장시간 정격으로 연속부하를 사용하고, 실시간으로 영상을 확인하는 특징을 가지고 있기 때문에 방사선 피폭에 대한 관리가 더욱 필요하다[9-12]. 그에 따라 중재적 시술 시 발생하는 피폭선량과 관련된 다양한 연구가 진행되었으며 국제적으로 피폭선량을 줄이기 위한 다양한 권고안이 발표되어져 왔다[6,13]에서는 Report 85를 통해 중재적 시술의 선량 저감화 방안을 권고하였으며 Report 135에서는 전산화단층촬영(Computed Tomography; CT)와 중재적 시술의 진단참조준위(Diagnostic Reference Levels; DRL)를, Report 139에서는 중재적 시술에서의 산란선으로부터의 의료진 보호에 대하여 발표하는 등 의료방사선 피폭을 저감시키는데 권고안의 초점이 맞춰지고 있다[6,13,14]. 2020년 의료 방사선 안전관리 기준 개선 연구 및 2025년 국가 DRL 보고서에 의하면 국내 TFCA는 약 122 Gy·cm^2, 일본 83~190 Gy·cm^2, 유럽 150 Gy·cm^2

Table 2. Air Kerma and DAP of P1

	A-Plane					B-Plane						F	*p*-value
N	Cranial	Caudal	Right	Left	Air Kerma	S	I	Up	Down	Air Kerma	DAP		
1	0°	0°	0°	0°	74.70±0.26	0°	0°	0°	0°	26.99±1.42	17.46±0.99		
2	10°	-	10°	-	69.06±0.76	10°	-	10°	-	30.61±5.14	17.64±1.23		
3	10°	-	10°	-	70.17±4.46	10°	-	-	10°	27.38±0.86	16.63±0.73		
4	10°	-	10°	-	71.47±3.16	-	10°	10°	-	27.74±1.28	17.20±0.60		
5	10°	-	10°	-	68.91±0.51	-	10°		10°	26.00±0.52	16.16±0.60		
6	10°	-	-	10°	71.94±2.78	10°	-	10°	-	27.66±1.01	16.48±0.01		
7	10°	-	-	10°	71.80±2.46	10°	-	-	10°	26.61±0.32	16.22±0.05		
8	10°	-	-	10°	73.64±6.27	-	10°	10°	-	27.42±1.60	16.96±0.22		
9	10°	-	-	10°	69.33±0.20	-	10°	-	10°	26.15±0.62	16.02±0.86		
10	-	10°	10°	-	72.19±1.59	10°	-	10°	-	26.90±0.32	16.21±0.41		
11	-	10°	10°	-	70.31±0.18	10°	-		10°	26.87±0.26	16.53±0.10		
12	-	10°	10°	-	68.70±1.67		10°	10°	-	26.89±0.57	16.42±0.37		
13	-	10°	10°	-	70.04±0.33		10°	-	10°	25.66±0.62	16.22±0.33		
14	-	10°	-	10°	68.28±2.56	10°	-	10°	-	26.87±0.26	16.12±0.15		
15	-	10°	-	10°	67.94±1.40	10°	-	-	10°	26.51±0.22	16.05±0.27		
16	-	10°	-	10°	68.27±4.05	-	10°	10°	-	26.29±0.18	16.24±0.64		
17	-	10°	-	10°	68.28±0.88	-	10°	-	10°	25.24±0.47	15.97±0.01	1416.51	0.000*
18	20°	-	20°	-	56.99±2.07	20°	-	10°	-	29.18±0.83	14.91±0.19		
19	20°	-	20°	-	55.30±1.22	20°	-	-	20°	33.23±0.54	15.37±0.34		
20	20°	-	20°	-	56.75±1.96	-	20°	10°	-	28.44±0.93	14.76±0.15		
21	20°	-	20°	-	55.35±0.48	-	20°	-	20°	28.76±0.86	14.67±0.14		
22	20°	-		20°	60.29±0.01	20°	-	10°	-	32.94±3.51	15.80±0.83		
23	20°	-		20°	60.75±0.36	20°	-	-	20°	34.25±0.83	15.70±0.25		
24	20°	-		20°	59.92±0.38	-	20°	10°	-	27.80±1.00	14.24±0.53		
25	20°	-		20°	59.12±0.35	-	20°	-	20°	28.08±1.44	14.20±0.55		
26	-	20°	20°	-	59.62±0.07	20°	-	10°	-	29.86±1.01	15.34±0.14		
27	-	20°	20°	-	59.63±0.10	20°	-	-	20°	36.11±2.60	16.52±0.38		
28	-	20°	20°	-	57.56±2.25	-	20°	10°	-	27.94±0.55	14.53±0.30		
29	-	20°	20°	-	59.63±0.10	-	20°	-	20°	31.29±3.20	15.72±0.78		
30	-	20°		20°	65.43±4.09	20°	-	10°	-	29.49±0.56	15.70±0.05		
31	-	20°		20°	61.89±0.66	20°	-	-	20°	32.67±1.56	16.17±0.37		
32	-	20°		20°	57.35±1.37	-	20°	10°	-	27.73±0.82	14.59±0.02		
3	-	20°		20°	60.88±5.31	-	20°	-	20°	25.93±0.42	14.40±0.51		

The interaction effect was determined using one-way ANOVA. Post-hoc test of Scheffe. *p<0.001

미국 150~200 Gy·cm^2, 호주는 약 160 Gy·cm^{2}로 권고하였다[15]. 이에 따라 시술 도중 발생할 수 있는 방사선 피폭을 최소화하는 등의 방사선의 위해성으로부터 환자와 종사자를 보호하기 위한 노력이 필요하다. 이러한 노력에 맞춰 기존의 연구들의 역시 선량감소를 위해 여러가지 방안을 제시하였었다. Khan 등[16]과 Song 등[17]은 저선량 투시조영 프로토콜을 사용하였고, Kim 등[18]은 구리 필터를 추가하여 이미지의 품질에 손실이 발생하지 않고도 선량을 유의미하게 감소 시켰지만 환자의 선량만을 평가했다는 한계가 있었다. Orji 등[19]은 ROI Attenuator를 사용하였을 때 환자의 두부에서 50~65%, 흉부 및 복부에서 63~72%의 방사선량 감소가 나타난다고 보고하였으나 이 역시 환자의 피폭선량만을 평가하였다는 제한점이 있다. Song 등[20]은 뇌혈관

Table 3. Radiation exposure dose for P1, P2 without shield and P2 with shield

N	Accumulate Dose					Spatial Dose Rates				
	P1	P2 without shield	P2 with shield	F	*p*-value	P1	P2 without shield	P2 with shield	F	*p*-value
	mSv	uSv				mSv/h				
1	1.22±0.05	4.69±0.20	0.69±0.05			324.37±12.84	7.92±0.30	1.08±0.10		
2	1.29±0.01	5.11±0.18	0.74±0.29			334.69±3.38	8.18±0.78	1.14±0.26		
3	1.28±0.01	5.22±0.34	0.66±0.14			325.48±10.77	9.30±0.05	1.33±0.12		
4	1.29±0.02	5.32±0.23	0.81±0.07			314.77±7.25	8.30±0.37	1.27±0.12		
5	1.24±0.04	5.52±0.26	0.79±0.12			313.04±2.52	8.90±0.02	1.31±0.10		
6	1.26±0.05	4.87±0.25	0.70±0.13			311.29±13.77	8.40±0.51	1.20±0.16		
7	1.25±0.03	4.97±0.20	0.76±0.02			313.91±9.43	8.70±0.19	1.15±0.09		
8	1.29±0.09	4.95±0.21	0.80±0.06			314.75±4.69	8.30±0.34	1.22±0.11		
9	1.23±0.04	4.98±0.22	0.76±0.04			309.58±3.30	8.90±0.15	1.20±0.08		
10	1.27±0.01	5.51±0.05	0.79±0.05			322.56±2.87	8.20±0.14	1.20±0.04		
11	1.19±0.12	5.23±0.03	0.79±0.07			319.08±0.22	8.40±0.83	1.30±0.33		
12	1.22±0.05	5.22±0.04	0.77±0.05			310.39±5.07	8.70±0.25	1.30±0.10		
13	1.23±0.03	5.32±0.22	0.75±0.04			308.91±3.83	8.30±0.53	1.20±0.21		
14	1.19±0.01	5.40±0.05	0.70±0.05			301.72±4.66	8.10±0.55	1.00±0.19		
15	1.19±0.02	5.51±0.03	0.70±0.07			295.80±9.29	8.60±0.14	1.10±0.05		
16	1.21±0.04	5.45±0.01	0.69±0.04			302.21±2.29	8.40±0.15	1.00±0.06		
17	1.19±0.01	5.48±0.09	0.63±0.01	1928.85	<0.05	292.42±8.90	8.70±0.24	1.10±0.08	9954.39	<0.05
18	1.15±0.03	5.51±0.30	0.81±0.03			289.24±3.01	8.90±0.10	1.40±0.09		
19	1.33±0.03	5.48±0.31	0.98±0.02			345.83±3.32	8.60±0.37	1.60±0.15		
20	1.14±0.02	5.38±0.33	0.83±0.07			283.03±0.47	8.90±0.33	1.50±0.15		
21	1.34±0.01	5.49±0.29	0.73±0.05			319.53±7.22	8.40±0.15	1.30±0.09		
22	1.13±0.01	5.40±0.54	0.83±0.01			283.24±5.06	9.10±0.27	1.90±0.17		
23	1.30±0.01	5.42±0.23	0.93±0.08			327.86±6.64	8.50±0.61	1.40±0.20		
24	1.16±0.02	5.35±0.24	0.91±0.09			282.51±4.00	8.10±0.01	1.40±0.09		
25	1.15±0.05	5.40±0.23	0.85±0.04			268.00±17.70	8.00±0.40	1.30±0.23		
26	1.32±0.02	5.50±0.34	0.83±0.01			319.14±1.54	9.00±0.50	1.50±0.19		
27	1.39±0.02	5.51±0.42	0.96±0.03			347.54±6.84	8.8±0.01	1.80±0.17		
28	1.26±0.03	5.40±0.35	0.91±0.04			307.22±3.32	8.4±0.07	1.60±0.12		
29	1.35±0.02	5.36±0.36	0.98±0.01			327.45±19.65	9.4±0.22	1.70±0.11		
30	1.25±0.01	5.48±0.34	0.82±0.09			306.67±3.93	9.2±0.56	1.50±0.24		
31	1.23±0.03	4.97±0.26	0.78±0.04			303.02±3.18	8.9±0.41	1.30±0.16		
32	1.21±0.01	4.98±0.21	0.77±0.03			309.31±10.39	8.5±0.35	1.30±0.13		
33	1.19±0.09	5.20±0.18	0.71±0.05			320.06±1.26	8.40±0.14	1.10±0.07		

P1: Patient-Phantom, P2: Operator-Phantom
The interaction effect was determined using one-way ANOVA. Post-hoc test of Scheffe. *p<0.001

조영술(Digital Subtraction Angiography; DSA)촬영 시 조사각이 Cranio-Caudal 방향으로 조사각이 커질수록 환자의 피폭선량이 증가하였으며 이는 PA촬영 시 보다 5.4% 더 높았다고 보고하였다. Roh 등[21]은 심장혈관조영술 시 특정 조사각에서 AP촬영에 비해 135.3%에서 150.65%의 선량 증가가 있어 이 각도에서의 시술자의 방사선 차폐막 및 개인 보호장비의 중요성을 주장하였으나 시술자의 피폭선량만을 평가하였고 단일 Plane 혈관조영장비를 이용하여 본연구와는 차이를 나타냈다. 이에 본 연구에서

는 Bi-Plane 혈관조영 장비의 A, B Plane 각각 조사각을 10°씩 변경해가며 그에 따른 환자의 피폭선량과 시술자의 개인방어구와 차폐물의 유무에 따른 피폭선량을 살펴보는 것을 기준으로 연구를 진행하였다. 환자의 조사각에 따른 피폭선량을 알아보기 위해 P1에서의 Air Kerma와 DAP를 비교해 보았으나 일정한 SID에서 조사각의 변화에 따른 피폭선량은 변화는 있었지만 통계적으로 의미가 없었다(Table 2). 이는 중재 시술 촬영장비의 경우 AEC및 자동 휘도 조절장치가 장착되어 있어 환자의 두께에 따라 입사에너지가 자동으로 조절되며, 구체에 가까운 환자의 두부 특성상 조사각의 변화가 있더라도 X선이 투과할 두께의 차이는 크지 않으므로 피폭선량 또한 통계적으로 유의한 차이가 없었을 것으로 사료된다. 시술자의 피폭선량을 알아보기 위한 P2에서의 공간선량률과 누적선량의 경우 조사각에 따른 피폭선량의 차이는 통계적으로 유의하지 않았었다(Table 3). 하지만 차폐체의 유무에 따른 피폭선량의 경우 다른 양상을 나타내었다. Power 등[22]은 하지 혈관조영술 시 차폐체의 유무에 따라 시술자의 가슴부위 중간 선량이 65% 감소하였다고 보고하였으며 Jang 등[23]은 X-선관구로부터 시술자의 거리가 50 cm일때 방사선 피폭량은 차폐 전 1530.2±550.0 mR/hr, 차폐 후 50.3±85.2 mR/hr로, 150 cm일때의 방사선 피폭량은 차폐 전 170.6±60.1 mR/hr, 차폐 후 9.4±8.0 mR/hr로 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 차폐체의 유무에 따라 종사자의 공간선량률은 약 6.68배, 누적선량은 약 6.46배의 차이를 확인할 수 있었다(Table 3).그러나 본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 환자 두부와 종사자의 흉부 위치에서만 선량을 측정하였기 때문에 주변에 있는 시술 보조자에게 미치는 선량을 측정하지 못하였다. 둘째눈, 감상샘, 생식샘 등의 다양한 신체 부위의 선량 측정과 더불어 더욱 다양한 각도를 제시지 못하였다. 하지만 Bi-Plane 혈관조영장치를 통한 TFCA 시술 시 환자와 시술자의 선량을 모두 확인해 볼 수 있다는 데에 있어 중요한 결과로 볼 수 있을 것이다. 추후 부가 차폐체, 차폐체의 납 당량 변화에 따른 차폐 효과, 투시 시간 등에 관한 연구가 함께 이루어진다면, 본 연구의 결과와 더불어 Bi-Plane 혈관조영장치 사용 시 피폭선량 저감화에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Bi-Plane 혈관조영장치를 사용한 TFCA에서 조사각 변화에 따른 환자와 시술자의 피폭선량 변화를 알아보았다. 조사각의 변화로 인한 선량차이에서는 큰 차이가 없었으나 차폐체 사용 유무에 따른 선량차이를 보여주었다. 이러한 결과는 환자와 시술자의 피폭 선량에 관해서는 조사각의 변화보다 차폐체의 사용이 선량 경감화에 더욱 큰 이바지를 한다는 것을 시사한다. 이러한 점을 고려하여 시술에 참여한다면, 환자와 종사자의 개인 피폭선량 감소에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Kinney TB. 1996. Radiologic history exhibit. Charles T. Dotter: a pioneering interventional radiologist. *Radiographics* **16**(3):697-707. https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiographics.16.3.8897633.
2. Lopera JE, Vrachliotis TEG and Thompson SM. 2022. Updates and New Frontiers in Interventional Radiology The 2022 RadioGraphics Monograph Issue. *Radiographics* **42**(6):1577-1578. https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rg.220187.
3. Shin DS, Yeo DK, Hwang SC, Park SQ and Kim BT. 2013. Protocols and results of resident neurosurgeon's transfemoral catheter angiography training supervised by neuroendovascular specialists. *Journal of Korean Neurosurgical Society* **54**(2):81-85. https://synapse.koreamed.org/articles/1161409.
4. Eo H. 2024. Medical radiation safety: are we doing it right?. Journal of the Korean Society of Radiology (2951-0805), **85**(6).
5. Jeong WK. 2011. Radiation exposure and its reduction in the fluoroscopic examination and fluoroscopy-guided interventional radiology. *Journal of the Korean Medical Association* **54**(12):1269-1276. https://synapse.koreamed.org/articles/1042379.
6. Valentin J. 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures, ICRP Publication 85. *Annals of the ICRP* **30**(2):7-7. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1016/S0146-6453(01)00004-5.
7. ICRU I. 1989. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. International Commission on Radiation Units and Measurements. https://www.icru.org/report/tissue-substitutes-in-radiation-dosimetry-and-measurement-report-44/.
8. Lim CS. 2021. A study on the management of exposure of workers and assistants related to diagnostic radiation. *The Korean Society of Law and Medicine* **22**(3):97-124.
9. Crowhurst JA, Whitby M, Thiele D, Halligan T, Westerink A, Crown S and Milne J. 2014. Radiation dose in coronary angiography and intervention: initial results from the establishment of a multi-centre diagnostic reference level in Queensland public hospitals. *Journal of Medical Radiation Sciences* **61**(3):135-141. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmrs.67.
10. Morris G.M, Salih Z, Wynn GJ, Ahmed FZ, Brown B, Wright DJ and Zaidi A. 2014. Patient radiation dose during fluoroscopically guided biventricular device implantation. *Acta Cardiologica* **69**(5):491-495. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/AC.69.5.3044875.
11. Hwang JH, Jung KM, Kim HS, Kang BS and Lee KB. 2017. Dose Reduction According to the Exposure Condition in Intervention Procedure: Focus on the Change of Dose Area and Image Quality. *Journal of Radiological Science and Technology* **40**(3):393-400. http://journal.iksrs.or.kr/journal/article.php?code=55076.
12. Hwang JH, Jung KM, Choi JA, Lee KB and Kim HS. 2018. A study on dose reduction method according to slice thickness change using automatic exposure controller and manual exposure in intervention. https://inis.iaea.org/records/pmg0j-j4492.
13. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, ... and Rogers A. 2017. ICRP publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Annals of the ICRP* **46**(1):1-144. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0146645317717209.
14. López PO, Dauer LT, Loose R, Martin CJ, Miller DL, Vañó E, ... and Yoder C. 2018. ICRP publication 139: occupational radiological protection in interventional procedures. *Annals of the ICRP* **47**(2):1-118. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0146645317750356.

15. Korea Disease Control and Prevention Agency. 2023. National diagnostic reference levels for interventional radiology (Publication No. 11-1460736-000045-10). Cheongju: Author. https://www. kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20305050000&bid=0003.
16. Kahn EN, Gemmete JJ, Chaudhary N, Thompson BG, Chen K, Christodoulou EG and Pandey AS. 2016. Radiation dose reduction during neurointerventional procedures by modification of default settings on biplane angiography equipment. *Journal of NeuroInterventional Surgery* 8(8):819-823. https://jnis.bmj.com/content/8/8/819.short.
17. Song Y, Han S, Kim BJ, Oh SH, Kim JS, Kim TI and Lee DH. 2020. Low-dose fluoroscopy protocol for diagnostic cerebral angiography. *Neurointervention* **15**(2):67-73. https://synapse.koreamed.org/articles/1150512.
18. Kim DJ, Park MK, Jung DE, Kang JH and Kim BM. 2017. Radiation dose reduction without compromise to image quality by alterations of filtration and focal spot size in cerebral angiography. *Korean Journal of Radiology* **18**(4):722-728. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://synapse.koreamed.org/upload/synapsedata/pdfdata/0068kjr/kjr-18-722.pdf.
19. Orji MP, Williams K, Nagesh SS, Rudin S and Bednarek DR. 2024. Fluoroscopic procedure-room scatter-dose reduction using a region-of-Interest (ROI) attenuator. In Proceedings of SPIE--the International Society for Optical Engineering (Vol. 12925, p. 129253Z). https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11512733/.
20. Song Y, Kim Y, Han S, Kim TI, Choi JH, Maeng JY, ... and Lee DH. 2019. Estimated radiation dose according to the craniocaudal angle in cerebral digital subtraction angiography: patient and phantom study. *Journal of Neuroradiology* **46**(6):345-350. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0150986119303062.
21. Roh Y, Kim J, Park H, Kim J, Ryu D, Chun K, ... and Yoon Y. 2021. Effect of exposure angulation on the occupational radiation exposure during cardiac angiography: simulation study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**(15):8097. https://www.mdpi.com/1660-4601/18/15/8097.
22. Power S, Mirza M, Thakorlal A, Ganai B, Gavagan LD, Given MF and Lee MJ. 2015. Efficacy of a radiation absorbing shield in reducing dose to the interventionalist during peripheral endovascular procedures: a single centre pilot study. *CardioVascular and Interventional Radiology* **38**(3):573-578. https://link.springer.com/article/10.1007/s00270-014-0997-8.
23. Jang YI, Song JN and Kim YJ. 2011. Efficacy of a protective grass shield in reduction of radiation exposure dose during interventional radiology. *Journal of the Korean Society of Radiology* **5**(5):303-308.