

뇌동맥류 코일 색전술 시 Bismuth 차폐체 설치에 따른 입사 표면 선량 평가 및 화질 평가

김재석¹ · 김영길² · 최재호^{3*}

Evaluation of entrance surface dose and image quality according to the installation of Bismuth shield in the case of endovascular treatment of cerebral aneurysm

Jae-Seok Kim¹ · Young-Kil Kim² · Jae-Ho Choi^{3*}

¹Ph.D. student, Department of Biomedical Engineering, Ajou University, Suwon, 16499 Korea

²Associate Professor, Department of Biomedical Engineering, Ajou University, Suwon, 16499 Korea

³Professor, Department of Radiological Technology, Ansan University, Asan, 15328 Korea

요 약

인체공학적으로 개발된 Bismuth 차폐체를 뇌동맥류 코일 색전술에 적용함으로써 의료방사선 피폭으로부터 두피 및 수정체의 방사선 피폭을 감소시키고자 하였다. 광자극 형광 선량계를 이용하여 후두부, 양쪽 측두부, 양쪽 수정체 부, 코 끝부를 개발된 Bismuth 차폐체를 사용 전 (A그룹) 후 (B그룹)로 측정하여 입사 표면 선량을 분석하였다. Bismuth 차폐체를 사용할 경우 화질에 대한 평가를 Signal to noise ratio (SNR)과 Contrast to noise ratio (CNR) 분석을 했다. A 그룹과 B 그룹의 입사 표면 평균 선량을 비교한 결과 A 그룹에 비해 B 그룹에서 평균 26.92% 감소되었다. CNR과 SNR의 분석은 로드맵과 디지털 감산조영 모두 동일하게 측정되었다. Bismuth 차폐체의 사용은 뇌혈관 중재 적 시술 후 나타날 수 있는 일시적 탈모 및 기타 확률적 영향에 따른 방사선 장애를 화질의 저하 없이 감소시킬 수 있는 대안이 될 것으로 사료된다.

ABSTRACT

By applying an ergonomically developed Bismuth shield to the endovascular treatment of cerebral aneurysm the radiation dose of the scalp and lens from the medical radiation exposure was reduced. The entrance surface dose was analyzed by measuring the occipital parts, bilateral temporal parts, bilateral quadriceps, and nasal tip of the developed bismuth shield using a photostimulable fluorescence dosimeter before (Group A) before use (Group B). Signal to noise ratio (SNR) and contrast to noise ratio (CNR) analysis were used to evaluate the image quality when Bismuth shielding was used. The mean entrance surface dose of A group and B group was 26.92% lower than that of A group. The analysis of CNR and SNR was the same for both Roadmap and DSA. The use of Bismuth shielding is an alternative that can reduce the radiation impairment due to temporary hair loss and other stochastic effects that may occur after cerebrovascular intervention.

키워드 : 뇌혈관 중재적 시술, Bismuth 차폐체, 방사선 피폭, 방사선 방어

Keywords : Cerebrovascular intervention, Bismuth shield, Radiation exposure, Radiation protection

Received 17 May 2019, Revised 17 June 2019, Accepted 24 June 2019

* Corresponding Author Jae-Ho Choi (E-mail: radiogra1@ansan.ac.kr, Tel:+82-10-3108-2380)

Professor, Department of Radiological Technology, Ansan University, Asan, 15328 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.7.779>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

방사선 투시와 촬영으로 시술이 이루어지는 인터벤션 영상 의학(Intervention radiology)은 외과적 시술과 비교하면 감염 위험성이 적고 회복 기간이 짧다는 장점이 있어 임상에서 활용 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 인터벤션 시술은 대부분 투시 장비를 이용하면서 장시간 조사해야 하므로 환자와 방사선 관계 종사자가 다량의 방사선에 피폭될 가능성이 높다[1,2]. 즉, 방사선에 의한 피부 손상, 암 발생 등의 위험성이 증가하게 된다[3]. 또한 시술의가 환자의 방사선량을 인지하지 못하고 관리하기 위한 적절한 조치를 취하지 않으면 방사선 장애를 발생시킬 수 있다.[4] 인터벤션 시술 중에서도 뇌혈관 시술은 Plain X-ray, CT (Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), 혈관 조영술 검사 후 시술이 필요한 병변에 대하여 가장 최종적으로 이루어지는 시술로서 진단과 치료를 동시에 할 수 있는 장점이 부각되고 있으며 그 시술 종류 또한 다양하다. 인터벤션 시술 중 머리 부위 치료에서 실제 임상에서 빈도수가 많은 시술로는 신경외과적 치료인 뇌동맥 파리의 출혈 및 뇌동맥 파리 비출혈 환자의 경우 흔히 GDC coil embolization으로 불리는 뇌동맥류 코일 색전술, 신경정신과적인 치료인 뇌 동맥의 급성 막힘 현상과 간헐적인 좁아짐에 의한 두개내 혈관 혈전 제거술과 두개내 혈관 혈전 용해술로 분류된다. 특히 뇌동맥류 코일 색전술은 2008년에 발간된 중재적 방사선 과학 특집호에서 방사선 노출이 많은 11가지 종류의 시술에서 환자 선량이 평균 383.5 DAP ($Gy \cdot cm^2$)로 가장 많은 방사선 노출을 기록했으며, 투시 시간도 2975.8 sec로 가장 많은 시간을 기록했다[5].

뇌혈관 인터벤션 시술은 장시간의 시술로 인해 시술 받는 환자의 방사선 피폭에 의한 홍반 탈모의 방사선 위험이 종종 보고 된다 [2].

Bismuth 차폐체는 방사선으로부터 눈, 갑상선, 및 유방과 같은 표면 장기를 보호하는 수단 중 하나로 CT 검사 중에 사용하고 있다[6]. CT 검사 중 Bismuth 차폐체는 장기 또는 관심 영역의 표면에 배치되어 1차 엑스레이 빔이 환자에 도달하기 전에 30~50% 감쇠하는 효과를 나타낸다 [6].

본 연구에서는 수정체와 두피의 방사선 피폭을 감소시킬 목적으로 Bismuth 차폐체를 개발하였다. 이를 양방향 X선 투시 촬영 장치에 적용함으로써 뇌동맥류 코일 색전술 시 방사선 감수성에 민감한 장기인 수정체와 두피의 조직 등가 선량 (mSv)과 상대적 장기 용량 ($mSv \cdot Gy^{-1} \cdot cm^{-2}$)의 측정을 통해 Bismuth 차폐체의 효과를 비교하였다. 또한 뇌동맥류 코일 색전술 시 영상의 저하 없이 환자의 의료 방사선 피폭 감소라는 점을 보완하기 위함이며, Bismuth 차폐체 적용이 시술 시의 적절한 품질의 영상에 대한 평가를 Signal to noise ratio : SNR과 Contrast to noise ratio : CNR 분석을 통해 유용성에 대하여 평가하고자 한다.

II. 본론

2.1. 실험 대상 및 장치

실험 대상은 뇌혈관 중재적 시술과 동일한 조건을 기준으로 두개골 조직 등가 팬텀 (Head RS-109T)을 사용하여 실험하였다. 실험 조건은 뇌동맥류 색전술 촬영조건과 동일한 80 kV, 23~1,000 mA 사용하였으며, 환자의 두께에 따라 mAs가 자동으로 변환되는 AEC (Auto Exposure Controller)를 사용하였다. 실험 조건은 표 1과 같다.

Table. 1 Experimental X-ray Exposure condition

Direction	Angle	Rotation	Exposure	Field size (cm ²)	SID
AP	0	0	AEC	37	110
Lateral	0	-90	AEC	39	105

선량계는 OSLD (Optically Stimulated Luminescence dosimeter) nanoDot® dosimeter (courtesy of landauer, Inc.)를 사용하였으며, 측정된 조직 흡수 선량 (mGy)은 식 (1)의 방정식에 따라 방사선에 대한 가중 인자 (WR=1)를 사용하여 조직 등가 선량 (mSv)으로 변환하였다.

$$\text{Organ Equivalent Dose} = \quad (1)$$

$$\text{Organ Absorbed Dose} \times$$

$$\text{Weighting Factor of Radiation}(WR)$$

DAP (Dose Area Production)의 측정은 중재적 시술 과정 중에 팬텀에 조사된 선량을 혈관 조영장치에 내장된 DAP meter의 측정량을 이용하였다. 두 그룹 모두 AEC modulation을 사용하였고, Bismuth 차폐체의 추가로 인한 AEC의 조건 상승으로 인해 조사 조건의 차이가 서로 다른 DAP ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$)로 나타날 수 있으며 광범위하게 해석될 수 있다. 따라서 총 DAP 차이로 인한 선량 감소를 배제하기 위하여 식 (2)와 같이 상대적 장기 용량 ($\text{mSv} \cdot \text{Gy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)을 사용하였다 [7].

$$\text{Relative organ dose} = \frac{\text{Organ dose}}{\text{DAP}} \quad (2)$$

실험의 변인 조건인 Bismuth 차폐체 재질은 라텍스가 함유되지 않은 Bismuth 합침 합성고무이며, 두께는 1 mm, 크기는 인체공학적인 설계에 의하여 두피용은 43 cm Width \times 12 cm Height로 직사각형 형태이며, 수정체용은 18 cm Width \times 3.5 cm Height 고글 형태 (Universal medical Inc.USA)로 그림 1 (a)와 같이 개발하였다.

2.2. 팬텀 선량 측정

두개골 고정 장치 위에 두개골 조직 등가 팬텀을 뇌동맥류 코일 색전술 시와 동일한 조건으로 비근점이 영상의 중앙에 오도록 장착한 후 머리의 피부를 후두부, 양쪽 수정체부, 양쪽 측두부, 코끝의 4개 부분으로 나누어 그림 1 (b)와 같이 측정 부위를 지정하여 실험하였으며, 후두부 9지점, 측두부 양쪽 12지점, 양쪽 눈 6지점, 코 끝 3지점으로 Bismuth 차폐체를 적용하지 않은 그룹을 A (Unshield, n=30), Bismuth 차폐체를 적용한 그룹을 B (Shield, n=30)로 구분하여 그림 2와 같이 측정하였다.

Digital subtraction angiography 3회, Navigate roadmap 38분, 3 Dimension rotation angiography 2회로 측정하였으며, 각각 5회 측정하여 평균값을 얻었다. 결과 분석은 통계 프로그램 IBM SPSS ver 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 통해 두 그룹 간에 입사 표면 평균 선량을 비교 분석하였다.

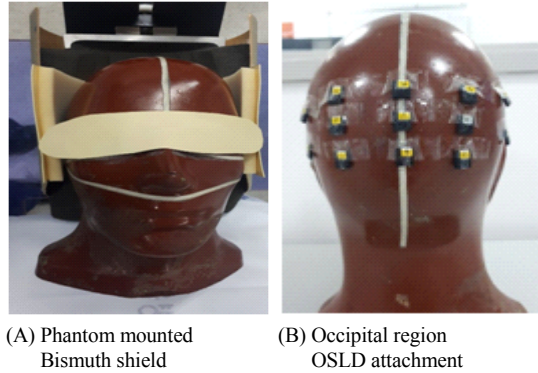


Fig. 1 Phantom mounted Bismuth shield & OSLD attachment

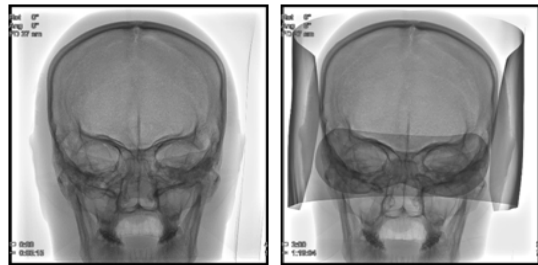


Fig. 2 (A) Measurement model after installing bismuth unshield and (B) shield

2.3. 영상 분석

영상분석은 인체에 수액을 공급하는 수액 set의 수액 줄을 머리 혈관의 혈관 시술 부위인 villis circle을 중심으로 그림 3 (a)와 같이 혈관 모형으로 묘출하기 위하여 개발하였으며, 두개골을 기준으로 그림 3 (b)과 같이 후두부 정중앙에서 상하좌우로 5 cm 지점에 수액 set을 연결하여 제작하였다.

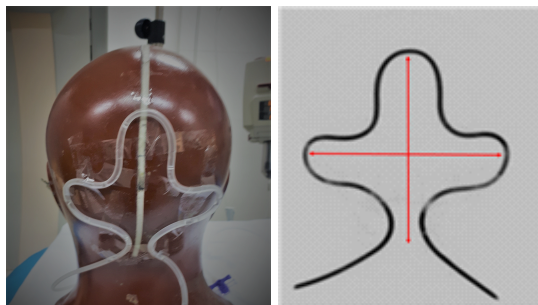


Fig. 3 Image quality measurement experiment

설계의 이유는 내경동맥의 뇌 동맥류 호발 부위인 전 교통 동맥과 전 대뇌 동맥, 후 교통 동맥, 그리고 척추동맥의 기저 동맥 까지를 모두 포함할 수 있는 범위 내에서 뇌 혈관 인터벤션 시술의 범위를 포함하였다.

Bismuth 차폐 전후의 Roadmap 영상과 DSA를 촬영하였으며, 조영제는 Visipaque (320 mg, 50 ml) (GE healthcare)를 사용하였으며, DSA는 자동 조영제 주입기 (Illumena, Liebel-Flarsheim Inc.)를 사용하였다. 주입속도와 용량은 초당 5 cc total volume 10 ml를 injection delay 없이 50회 실험했고, Roadmap은 뇌동맥류 코일 색전술 시와 동일하게 10cc 주사기를 이용하여 total volume 10 cc 저자가 주입하여 50회 실험하였다. 영상은 raw data를 혈관 조영장치에서 전송받아 Image J (NIH) 영상 분석 프로그램을 이용하여 그림 4와 같이 oval ROI는 100 mm×100 mm로 설정하였고, background signal intensity (1 ~ 4) 4곳, center signal intensity (5 ~ 9) 5곳을 선정하여 신호 강도와 표준편차를 얻었으며, 식 (3), (4)의 공식을 이용해 두 영상의 CNR과 SNR 평균을 비교하였다.

Roadmap 영상은 π viewstar (infinitt healthcare)를 통해 혈관 내의 5개의 측정점을 그림 5와 같이 지정하였다. Roadmap 영상의 혈관 내의 Grayscale 평균값을 획득하였으며, Oval ROI의 크기는 10 mm×10 mm이며 area는 75 pixels length는 32 pixels로 설정하였다.

$$SNR = \frac{Background SI_{Avg} - ROI SI_{Avg}}{ROI SD} \quad (3)$$

$$CNR = \left| \frac{Background SI_{Avg} - ROI SI_{Avg}}{\sqrt{Background SD^2 + ROI SD^2}} \right| \quad (4)$$

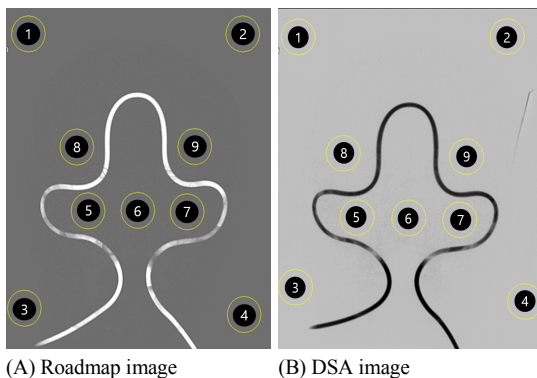


Fig. 4 SNR and CNR measurement of 9 points

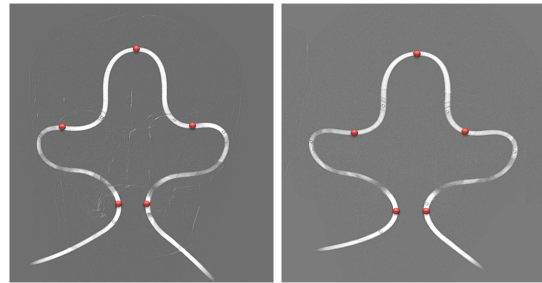


Fig. 5 5 points measurement of Roadmap

동일한 부위의 측정을 위해 Image paste 기능을 적용하여 동일한 부위에서 측정을 하였으며, Bismuth 사용 전과 후를 그림 5와 같이 비교하였다. 사회 과학 통계 프로그램을 통해 두 그룹 간에 화질 저하 유무를 95% 신뢰 구간 (CI)에 해당하는 수준에서 유의한 차이를 검증하기 위해 paired t - test를 사용하였다. 유의 수준은 p<0.05 (양측)로 설정하였다.

III. 결 과

A 그룹과 B 그룹의 입사 표면 선량 평균은 A 그룹은 92.44 mGy였고, B 그룹은 67.55 mGy로 측정되었다. A 그룹보다 B 그룹에서 평균 26.92% 감소하였다. 후두부의 입사 표면 선량 평균은 A 그룹은 146.08 mGy, B 그룹은 103.23 mGy이고 A 그룹과 비교하면 B 그룹에서 평균 29.32% 감소하였다. 측두부의 입사 표면 선량 평균은 A 그룹은 101.90 mGy, B 그룹은 72.69 mGy이고 A 그룹보다 B 그룹에서 평균 28.67% 감소하였다. 수정체부의 입사 표면 선량 평균은 A 그룹은 27.51 mGy, B 그룹은 21.39 mGy이고 A 그룹보다 B 그룹에서 평균 22.26% 감소하였다.

코 끝 부는 두 그룹 모두 차폐를 하지 않았고 입사 표면 선량 평균은 A 그룹은 23.54 mGy, B 그룹은 32.29 mGy이고 A 그룹보다 B 그룹에서 평균 27.08% 증가하였다.

Bismuth 차폐체 사용 전후의 평균값을 paired t - test를 실시한 결과 A그룹에 비해 B그룹이 입사 표면 선량 평균이 낮은 것으로 나타났으며, 모두 유의한 차이를 보였다 (p<0.05). 또한 후두부와 양쪽 측두부, 양쪽 수정체

부에서도 A 그룹에 비해 B 그룹이 입사 표면 선량의 평균이 낮은 것으로 나타났으며, 모두 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). [8]

코 끝 부에서는 A 그룹에 비해 B 그룹이 입사 표면 선량 평균이 높은 것으로 나타났다 ($p > 0.05$). [8]

혈관 조영 장치의 DAP meter의 측정값은 A 그룹의 total DAP는 $94.9 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ 였고, B 그룹의 total DAP는 $130 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ 이며, A 그룹에 비해 B 그룹의 상대적 조직 흡수 선량이 낮은 것으로 나타났으며 표 2,3과 같이 모두 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 또한 코 끝 부위에서

조직 증가 선량의 차이는 Bismuth 차폐한 경우가 높게 측정되었지만, 상대적 조직 흡수 선량으로 변환 후 유의한 차이는 없었다. [8]

CNR과 SNR의 분석은 Roadmap의 경우 CNR은 0.197로 SNR은 0.197로 동일하게 측정되었으며, DSA 경우는 CNR은 0.286로 SNR은 0.286으로 동일하게 측정되었으며 그룹 A와 B의 DSA와 Roadmap의 CNR과 SNR의 결과를 paired t-test 분석 결과 표 4와 같이 모두 유의 수준 이하로 검증되었다 ($p < 0.05$).

Roadmap 영상의 5곳의 Grayscale level 평균 비교는

Table. 2 Dose reduction and dose reduction rate in Relative organ dose ($\text{mGy}^{-1}\text{cm}^{-2}$)

	A group (n=30) Mean	B group (n=30) Mean	Dose reduction, Dose reduction rate $\text{mGy}^{-1}\text{cm}^{-2}$ (%)
Occipital	1.539	0.794	0.745 (48)
Lt temporal	1.363	0.760	0.603 (44)
Rt temporal	0.784	0.358	0.426 (54)
Lt eye	0.378	0.20	0.178 (47)
Rt eye	0.201	0.120	0.081 (40)
Acanthion	0.248	0.248	0 (0)

Table. 3 Comparison of paired t test between tissue equivalent dose and relative organ dose

t test equality of the means					
	p value (both)	Mean difference	Std.error difference	95% CI of the difference	
				Lower	Upper
Entrance surface dose (mGy)					
Total	<0.000	24.889	3.536	17.65	32.122
Relative organ dose ($\text{mSv Gy}^{-1} \text{cm}^{-2}$)					
Total	<0.000	0.454	0.346	0.346	0.562

Table. 4 Comparison of SNR and CNR Paired t Test of Roadmap Image

t test equality of the means					
	p value (both)	Mean difference	Std.error difference	95% CI of the difference	
				Lower	Upper
Roadmap					
SNR	<0.000	0.197	0.007	0.182	0.213
Roadmap					
CNR	<0.000	0.197	0.007	0.182	0.213
DSA					
SNR	<0.000	-0.286	0.015	-0.317	-0.255
DSA					
CNR	<0.000	-0.286	0.015	-0.317	-0.255

Table. 5 Comparison of grayscale level Paired t Test of Road map image (5 points)

points	p value (both)	Mean difference	Std.error difference	t test equality of the means	
				95% CI of the difference	
				Lower	Upper
1	0.028	14.516	6.431	1.592	27.44
2	0.000	-29.185	2.781	-34.773	-23.596
3	0.000	27.935	2.366	23.179	32.690
4	0.000	66.711	1.894	62.904	70.518
5	0.017	6.591	2.658	1.248	11.934

그룹 A와 그룹 B를 paired t - test를 통해 분석해 본 결과 표 5와 같이 유의수준 이하로 검증되었으며 5곳 모두 통계학적으로 다른 차이를 나타내지 않았다($p < 0.05$).

IV. 토 의

Bismuth Unshield 시 측두부에서 빔과 가까운 왼쪽 면과 빔에서 먼 오른쪽 면의 입사 표면 선량을 비교해 보면 오른쪽에서 42% 감소되는 현상을 보이고 수정체의 경우에는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 입사 표면 선량의 차이는 오른쪽에서 46% 감소하는 경향을 보인다. 이점은 인터벤션 시술 중 중요한 시사점을 주는데 X-ray tube와 근접한 환자의 장기에 더욱더 다각적인 선량 감소에 대한 노력이 필요하다는 것이다. 이번 연구에서 보여주듯 빔의 근접성에 의한 양방향 촬영기는 양쪽에서 피폭이 이루어지는 지점의 피폭 관리가 더욱더 중요하다고 여겨진다.

shortt et al. (Ireland. 2007)의 논문 [7]에서는 뇌동맥류 코일 색전술 시 갑상선의 차폐를 Lead (Pb:82)를 이용하여 환자에게 적용하였으며, 결과로는 갑상선에서 48%의 선량 감소 효과를 얻었다. 한수철 (Korea. 2012)의 논문 [9]은 이번 실험의 차폐체와 동일한 Bismuth를 뇌동맥류 코일 색전술에 적용하여 눈과 갑상선에 적용한 결과 눈은 20%, 갑상선은 64%의 선량 감소 효과를 얻었다. 갑상선만을 본다면 선행연구에서 납을 사용한 실험보다 Bismuth를 사용한 실험이 16%의 선량 감소 효과를 얻었다. 본 실험은 선행 연구에 착안하여 상대적 장기 선량의 관점에서 눈과 두피의 선량을 감소시키려는데 관점을 두었다. 그러나 실험 결과 눈의 선량은 거의 감소하지 않으며 두피 (피부)의 선량은 평균 28.9%

감소한다는 것을 제시하고자 한다.

또한 Bismuth 차폐체의 사용이 시술 시의 영상 정보를 제공함에 있어 화질의 저하가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 정면과 정 측면으로 시술이 이루어질 때보다는 뇌동맥류의 모양에 따라 X-ray tube의 각도가 달라지기 때문에 이를 보완하여 연구를 진행해야 할 것이다.

Shield의 경우 총 DAP 값은 Unshield에 비해 약간 증가하지만 총 DAP가 증가하더라도 DAP는 투과 면적 내의 총 X선의 세기로 환자에게 투입된 양으로 즉, 피폭선량과는 차이가 있을 수 있다. 따라서 심부선량에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 하겠다.

V. 결 론

목적 장기에 추가된 Bismuth 차폐체로 인해 후두 전체 부위와 양쪽 측두부 그리고 양쪽 수정체 부위에서 Bismuth 차폐체를 사용하는 조건이 사용하지 않는 조건에 비해서 입사 표면 선량을 평균 26.92% 감소시키는 것으로 나타났으며, Bismuth 차폐는 후두부, 측두부의 탈모 감소 예방효과와 함께 화질의 저하 없이 장시간 시술로 인한 방사선 장애 감소 효과에 유용하다.

REFERENCES

[1] J. S. Kim, J. H. Kim, and T. I. Kim, "Usefulness of Lens and Thyroid Screening Device for Hepatic Artery Embolization," *Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology*,

vol. 19, no. 1, pp. 157-163, 2016.

[2] C. M. Quinn, M. S. Cosette, P. A. Michael, B. K. Thomas, and G. N. Isabel, "Radiation protection for the fluoroscopy operator and staff" *American roentgen ray society*, vol. 207, pp. 745-754, 2016.

[3] E. Aytugar, T. E. Kose, B. Gumru, T. B. Aytugar, D. Yasar, E. Cene, and A. Mihmanli, "Are Bismuth Shields Useful in Dentomaxillofacial Radiology Practice for the Protection of Eyes and Thyroid Glands from Ionizing Radiation?" *Iran Journal of radiology*, vol. 15, no. 3, pp. 1-6, 2017.

[4] S. Balter, and D. L. Miller, "Patient skin reactions from interventional fluoroscopy procedures," *American Journal of Roentgenology*, vol. 202, no. 4, pp. 335-342, 2014.

[5] J. H. Wang and S. J. Kang, "Radiation protection guidelines for patient dose reduction in interventional procedures," Radiation Safety Management Series, Technical Report, vol. 36, Seoul, pp. 18-24, 2014.

[6] D. J. McLaughlin, and R. B. Mooney, "Dose reduction to radiosensitive tissues in CT. do commercially available shields meet the users' needs?," *Clinical Radiology Northern Ireland*, UK, vol. 59, Issue 5, pp. 446-450, 2004.

[7] C. P. Shortt, N. F. Fanning, L. Malone, J. Thornton, P. Brennan, and M. J. Lee, "Thyroid dose during neurointerventional procedure: does lead shielding reduce the dose?," *Cardiovascular & Interventional Radiology*, vol. 30, no. 5, pp. 922-927, 2007.

[8] J. S. Kim, Y. K. Kim, and J. H. Choi, "Effects of self-made bismuth shield installation on entrance surface dose reduction during endovascular treatment of cerebral aneurysms," *Journal of Korean Society of Radiology*, vol. 13, no. 2, pp. 175-183, 2019.

[9] S. C. Han, and S. C. Kwon, "Radiation dose reduction to the critical organ with bismuth shielding during endovascular coil embolization for cerebral aneurysm," *Radiation Protection Dosimetry*, Published by Oxford University Press, vol. 156, no. 3, pp. 364-371, 2013.



김재석(Jae-Seok Kim)

2015년 을지대학교 방사선학과 학사
 2017년 경기대학교 의학물리학과 이학석사
 2019년 아주대학교 의용공학과 공학박사(수료)
 ※관심분야 : 방사선 측정, 피폭선량계측, 방사선 방어



김영길(Young-Kil Kim)

1978년: 고려대학교 전자공학과 학사
 1980년: 한국과학기술원 산업전자공학과 석사
 1984년: ENST(France) 공학박사
 1984년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : RFID hardware platform개발, Embedded system design & 구현



최재호(Jae-Ho Choi)

2005년 연세대학교 산업보건학과 석사
 2011년: 순천향대학교 환경보건학과 박사
 2012년~현재: 안산대학교 방사선학과 교수
 ※관심분야 : 방사선관리학, 방사선 계측