

## &lt;원저&gt;

## 안와 전산화단층촬영검사 시 수정체 선량감소 방법과 영상 평가

문세영<sup>1)</sup>·홍상우<sup>1)</sup>·서지숙<sup>1)</sup>·김영범<sup>1)</sup>·곽환신<sup>1)</sup>·이성영<sup>1)</sup>·김정수<sup>2)</sup><sup>1)</sup>국민건강보험 일산병원 영상의학과·<sup>2)</sup>동남보건대학교 방사선과Lens Dose Reduction Methods and Image Quality in  
Orbital Computed Tomography ScanSe-Young Moon<sup>1)</sup>·Sang-Woo Hong<sup>1)</sup>·Ji-Sook Seo<sup>1)</sup>·Yeong-Beom Kim<sup>1)</sup>  
Wan-Sin Kwak<sup>1)</sup>·Seong-Yeong Lee<sup>1)</sup>·Jung-Soo Kim<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Department of Radiology, National Health Insurance Service Ilsan Hospital<sup>2)</sup>Department of Radiological Technology, Dongnam Health University

**Abstract** This study analyzed dose reduction and quality of images through dose reduction tools and shielding board to protect sensitive eye lens in radiation during orbit CT examinations for clinical data use. During CT scans of the phantom, surface dose (CT scanner dosimetry phantom, ion chamber-3 times) and quality of image (radiosurgery head phantom, visual assessment-2 times, HU standard deviation) were evaluated using X-care which is dose reduction tools and bismuth shielding board. The results of experiments of eight conditions showed a relatively reduced dose in all other conditions compared to when no conditions were set. In particular, the area corresponding to the ophthalmic part reduced the surface dose by up to 45.7%. The visual evaluation of images by specialists and the quality evaluation of images analyzed by HU standard deviation were clinically closest to the use of X-care and shielding board (1 cm in height). Therefore, it is believed that the use of shielding board in a suitable location with dose reduction tools while investigating the optimal radiation dose will reduce the exposure dose of sensitive lens at radiation while maintaining the quality of the images with high diagnostic value.

**Key Words :** Lens dose, X-CARE mode, Bismuth shield, Dose reduction, Image quality

**중심 단어 :** 수정체선량, X-care 모드, 비스무스 차폐체, 선량감소, 화질

## I. 서 론

전산화단층촬영(computed tomography; CT)은 1970년대 초반에 도입된 이래 1차 진단 영상 방식으로 현재 임상적으로 활발하게 이용되고 있다. 1980년대 후반에 나선형 스캔 기술이 적용되고, 1990년대 후반에 다중 검출 기술이 개발된 이후 CT의 임상 적용 수와 영향은 지속적으로 증가하고 있다[1]. CT는 비교적 신속한 스캔 속도와 높은 공간 분해능을 통해 비침습적으로 인체의 내부 장기를 비롯하여 뼈, 연부조직 등을 관찰할 수 있으며[2], 조영제를 사용할

경우 혈관의 정보를 상세하게 획득할 수 있으므로 오늘날 대표적인 영상기법으로 임상에서의 활용도가 매우 높다[3]. 또한, CT 스캔으로 생성된 단층 영상은 다양한 재구성 과정을 통해 여러 평면을 시각화하여 병변을 입체적으로 모사할 수 있으므로, 인체 내부의 질환을 정확하게 진단할 수 있다[4]. 특히 종양의 경우 존재를 확인하고 크기와 위치를 결정하는데 정확한 의료정보를 제공할 수 있으므로 암의 병기 결정, 치료 계획 및 추수 관찰 등 다양한 측면에서 중요한 역할을 하고 있다[5-7]. 이와 같은 CT는 고선량의 전리방사선을 이용하여 일반 방사선검사나 초음파검사에 비해 정확

Corresponding author: Jung-Soo Kim, Department of Radiological Technology, Dongnam Health University, 50, Cheoncheon-ro 74-gil, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16328, Republic of Korea / Tel: +82-31-249-6405 / E-mail: essencekim@dongnam.ac.kr

Received 22 October 2020; Revised 28 October 2020; Accepted 28 October 2020

Copyright ©2020 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

한 진단이 가능하므로 현대 의학에서는 반드시 필요한 진단 도구임에는 분명하지만, 방사선 노출량이 다른 방사선 진단 검사에 비해 상대적으로 많으므로 암 발생에 영향을 미치는 확률은 증가하여 악성 종양의 잠재적 위험이 존재하게 된다 [8]. 이와 같은 추정에 대해 논란이 있지만, CT의 정확한 진단적 가치를 유지하면서 인체에 대한 방사선 노출을 최소화하는 것이 필요하다[9]. 이와 관련하여 영상의 질 저하를 최소화하면서 인체의 표면선량을 감소시키는 bismuth가 유방이나 안구의 방사선 차폐제품으로 보급되어 있다. 관련 연구에 따르면 bismuth 차폐체 사용으로 수정체에서 37 mGy에서 19 mGy로 47%의 선량 감소효과를 보고하였고[10], Siemens의 선량감소 도구인 X-care 모드를 적용한 CT 검사에서 전방 120° 부분의 고정된 영역의 방사선 발생을 감소시키고 240° 부분에서 보완하여 출력을 발생함으로써 표면부 선량의 방사선량을 경감하는 방법도 소개되었다[11]. 저자는 본 연구를 통해 인체에서 방사선 감수성이 높은 대표적 장기인 눈의 수정체 보호를 위해 안와 CT검사 시 선량 감소 도구와 차폐체를 통한 선량감소와 영상의 질을 분석하여, 임상적으로 활용할 수 있는 데이터를 제공하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구는 팬텀을 대상으로 CT (Somatom Definition Edge, Siemens, Germany) 스캔을 시행한 후 선량 측정과 영상의 질을 평가하는 것으로 진행하였다. 표면선량은 CT scanner dosimetry 팬텀과 이온챔버(IBA dosimetry, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 영상평가는 Radiosurgery head 팬텀 (CIRS, model no. 605, USA)을 대상으로 CT 영상을 획득하여 평가하였다[12-14]. 선량감소 도구로는 X-care (Siemens, Germany)를 사용하였는데, 이것은 유방과 갑상

선 또는 눈의 수정체 등 방사선량에 가장 민감한 신체 부위에 대한 광자의 양을 감소시키기 위해 X선관의 전류를 저하시켜 X선 노출로부터 보호할 수 있으며, 영상의 질 저하를 방지하기 위해 잔류 X선관 전류를 자동으로 조정할 수 있다. 또한, 차폐체로는 bismuth (0.06 mmPb equivalent, F&L medical products, USA)를 이용하였다(Fig. 1)[15-18].

### 2. 실험방법

실험은 팬텀을 대상으로 CT 스캔을 시행한 후 선량 측정과 영상의 질을 평가하였다. 임상에서는 환자의 Topography에 맞추어 care kV, care dose 4D를 적용하여 CT 스캔을 시행하는데, 표면선량 측정의 경우 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 환경을 배제하여 오직 선량감소 도구와 차폐체의 효과를 판단하기 위해 care kV, care dose 4D와 같은 선량 자동조정 기능은 적용하지 않았다. 영상의 질 평가를 위해서는 실제 임상에서 사용하는 방법에 최대한 근접한 조건으로 비교하기 위해 care kV, care dose 4D를 본원 조건으로 설정하였다(Table 1)[19, 20].

#### 1) 표면선량 측정

CT scanner dosimetry 팬텀의 단면을 시계방향으로 12 h, 3 h, 6 h, 9 h부위와 중심부위를 설정된 CTDI<sub>vol</sub> (39.49 mGy)으로 스캔하고 리더기를 통해 계측하였다. 실험에 사용한 CT 스캐너는 CTDI<sub>vol</sub>의 25% 정도의 정상적인 출력이 발생하는 것을 확인하였으며, 이와 같은 영향을 반영하여 실험하였다[21]. 선량이 변하는지 정확한 측정을 위해 어떠한 조건도 설정하지 않은 경우, X-care를 적용한 경우, bismuth 차폐체만 이용한 경우 (팬텀표면으로부터 차폐체의 높이; 0 cm, 1 cm, 2 cm), X-care와 bismuth 차폐체를 모두 이용한 경우 (팬텀표면으로부터 차폐체의 높이; 0 cm, 1 cm, 2 cm)의 총 8가지 조건으로 세분화하여 표면선량을 측정하였다. 또한, 실험 결과의 정확성과 재현성 확보를 위해 동일한 조



Fig. 1. CT scans (a) were performed on the phantom to evaluate the surface dose (b) and image quality (c).

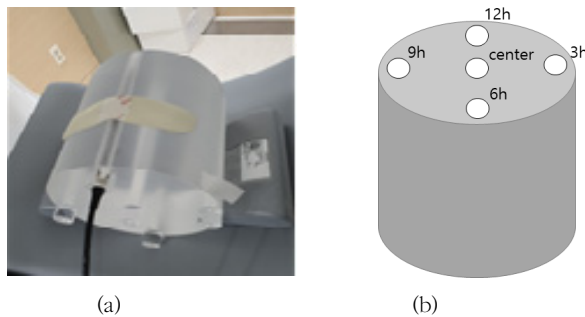
**Table 1.** Parameter of CT scan for 2 type experiment

Parameter	CT scan	
	Surface dose	Image quality
Tube voltage	120 kV	120 kV
Tube current	270 mAs	100 mAs
Rotation time	1 sec	1 sec
Beam collimation	128 × 0.6 mm	128 × 0.6 mm
Slice thickness	3 mm	2 mm
Care kV*	none	apply (semi)
Care dose 4D**	none	apply

\* Care kV offers an automated dose-optimized selection of the X-ray tube voltage (kV) depending on the selected type of examination. It is the industry's first tool that automatically determines the appropriate kV and scan parameter settings to help deliver the right dose for a particular scan and the user defined image quality.

\*\* Care dose 4D achieves significant dose reductions with automated dose modulation for individual patient size and shape while producing optimal image quality.

건으로 표면선량을 3회 측정하였으며 획득한 결과를 평균과 표준편차를 구하고 통계적으로 검증하여 선량감소 효과의 상관관계를 분석하였다(Fig. 2).

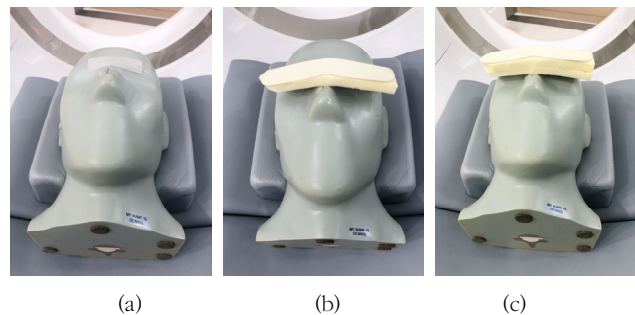


**Fig. 2.** Subdivided into a total of 8 conditions, the surface dose was measured three times, and the correlation of the dose reduction effect was analyzed through the collected values. CT scanner dosimetry phantom scan (a), Dosimetry direction of phantom hole (b).

2) 영상의 질 평가

영상의 질 평가를 위해 사용한 Radiosurgery Head 팬텀은 방사선 수술에서 치료계획 검증의 정확성을 향상시키기 위해 설계된 팬텀으로 에폭시 재료로 제조되며 내부에 뇌, 뼈, 척수, 척추디스크 및 연조직을 포함하고 있는 팬텀이다. 따라서 인체와 유사한 선흡수계수를 통해 모사할 수 있는 팬텀을 대상으로 영상의 질 평가 실험을 하였으며 어떠한 조건도 설정하지 않은 경우, X-care를 적용한 경우, bismuth 차폐체를 이용한 경우 (팬텀표면으로부터 차폐체의 높이; 0 cm, 1 cm, 2 cm), X-care와 bismuth 차폐체를 모두 이용한 경우 (팬텀표면으로부터 차폐체의 높이; 0 cm, 1 cm, 2 cm)

의 총 8가지 조건으로 세분화하여 CT 영상평가를 위해 2회 스캔하였다[22-24]. 획득한 영상의 전반적인 진단적 가치 평가를 위해 본원 영상의학과 전문의를 대상으로 맹검법 (blind test)을 통해 2회 시행하였으며 평가에 영향을 미칠 수 있는 편향적 오류를 최소화하였다. 또한, 평가의 신뢰도와 정확도 확보를 위해 5가지 등급 (none : 1점, unacceptable : 2점, suboptimal : 3점, average : 4점, superior : 5점)으로 세분화하여 5점 척도로 수치화하였다. 또한, 객관적 평가를 위해 양측 안와 중간에 관심영역 (10 mm)을 설정하여 HU (hounsfield unit)의 표준편차를 측정하였다. 이때 본원에서 시행하고 있는 CT 프로토콜인 X-care와 bismuth 차폐체를 이용하지 않은 경우의 결과를 기준으로 7가지 조건의 결과를 수치적으로 비교 분석하였다(Fig. 3).



**Fig. 3.** When no conditions are set, when X-care is applied, when a bismuth shield is used (height of the shield from the phantom surface; 0 cm, 1 cm, 2 cm), when both X-care and bismuth shields are used (height of the shield from the phantom surface; 0 cm, 1 cm, 2 cm) was subdivided into 8 conditions and scanned twice for CT image evaluation, bismuth : 0 cm (a), bismuth : 1 cm (b), bismuth : 2 cm (c)

3. 자료분석방법

측정된 결과에 대한 유의성 분석을 위해 분산 분석(analysis of variance: ANOVA)을 적용하였으며, 통계프로그램(SPSS, ver. 22, IBM)을 이용하여 분석한 후 유의수준 95 %를 기준으로  $p$ 값이 0.05 미만일 때 유의한 것으로 판단하였다.

III. 결 과

1. 표면선량 측정

CT scanner dosimetry 팬텀의 12 h, 3 h, 6 h, 9 h 시계 방향과 중심부위 실험 결과의 각 평균은 어떠한 조건을 설

**Table 2.** Results of dosimetry value by 8 type experiment [unit: mGy]

Scan	Direction	1st	2nd	3rd	Mean	SD	P
None	12 h	10.55	10.99	10.61	10.72	0.24	>0.05
	3 h	10.44	10.75	10.56	10.58	0.16	
	6 h	10.56	10.35	10.40	10.44	0.11	
	9 h	10.69	10.79	10.46	10.65	0.17	
	Center	10.34	10.16	10.20	10.23	0.09	
X-care	12 h	6.96	6.91	6.91	6.93	0.03	>0.05
	3 h	10.19	10.00	9.34	9.84	0.45	
	6 h	11.37	10.74	10.88	11.00	0.33	
	9 h	9.75	9.58	9.68	9.67	0.09	
	Center	8.99	9.00	8.93	8.97	0.04	
bisthmus (0 cm)	12 h	9.51	9.02	9.39	9.31	0.26	>0.05
	3 h	10.68	10.59	10.47	10.58	0.11	
	6 h	10.38	10.34	10.26	10.33	0.06	
	9 h	10.79	10.49	10.27	10.52	0.26	
	Center	9.96	9.68	9.75	9.80	0.15	
bisthmus (1 cm)	12 h	9.13	9.58	9.61	9.44	0.27	>0.05
	3 h	10.68	10.53	10.51	10.57	0.09	
	6 h	10.41	10.07	10.39	10.29	0.19	
	9 h	10.80	10.65	10.63	10.69	0.09	
	Center	9.95	9.83	9.85	9.88	0.06	
bisthmus (2 cm)	12 h	9.29	9.60	9.78	9.56	0.25	>0.05
	3 h	10.74	10.64	10.35	10.58	0.20	
	6 h	10.49	10.37	10.35	10.40	0.08	
	9 h	10.57	10.12	10.45	10.38	0.23	
	Center	10.00	9.84	9.88	9.91	0.08	
X-care + bisthmus (0 cm)	12 h	5.91	5.62	5.92	5.82	0.17	>0.05
	3 h	9.44	9.25	9.28	9.32	0.10	
	6 h	10.74	10.69	10.83	10.75	0.07	
	9 h	9.68	9.58	9.75	9.67	0.09	
	Center	8.90	8.85	8.65	8.80	0.13	
X-care + bisthmus (1 cm)	12 h	6.30	5.93	6.20	6.14	0.19	>0.05
	3 h	10.10	9.36	9.61	9.69	0.38	
	6 h	11.37	11.29	11.05	11.24	0.17	
	9 h	10.32	9.53	9.76	9.87	0.41	
	Center	8.97	8.81	8.91	8.90	0.08	
X-care + bisthmus (2 cm)	12 h	6.42	6.35	6.44	6.40	0.05	>0.05
	3 h	9.47	9.53	10.01	9.67	0.30	
	6 h	11.13	11.08	10.76	10.99	0.20	
	9 h	9.70	9.56	9.65	9.64	0.07	
	Center	9.06	8.69	8.95	8.90	0.19	

정하지 않은 경우 10.23±09 mGy에서 10.72±24 mGy까지, X-care를 적용한 경우 6.93±03 mGy에서 11.00±33 mGy까지, bismuth (0 cm)의 경우 9.31±26 mGy에서 10.58±16 mGy까지, bismuth (1 cm)의 경우 9.44±27 mGy에서 10.69±09 mGy까지, bismuth (2 cm)의 경우 9.56±25 mGy에서 10.58±20 mGy까지, X-care와 bismuth (0 cm)를 함께 이용한 경우 5.82±17 mGy에서 10.75±07 mGy까지, X-care와 bismuth (1 cm)를 함께 이용한 경우 6.14±19 mGy에서 11.24±17 mGy까지, X-care와 bismuth (2 cm)를 함께 이용한 경우 6.40±05 mGy에서 10.99±20 mGy까지 측정되었다. 특히 CT scanner dosimetry 팬텀의 여러 부위 중 인체의 안와 부위에 해당하는 12 h 방향의 표면선량은 어떠한 조건을 설정하지 않은 경우를 기준으로 상대적으로 비교한 결과 X-care를 적용한 경우 35.35%, bismuth (0 cm)의 경우 13.15%, bismuth (1 cm)의 경우 11.94%, bismuth (2 cm)의 경우 10.82%, X-care와 bismuth (0 cm)를 함께 이용한 경우 45.70%, X-care와 bismuth (1 cm)를 함께 이용한 경우 42.72%, X-care와 bismuth (2 cm)를 함께 이용한 경우 40.29% 감소하였다(Table 2).

2. 영상의 질 평가

실험을 통해 획득한 영상은 bismuth 차폐체를 구성하는

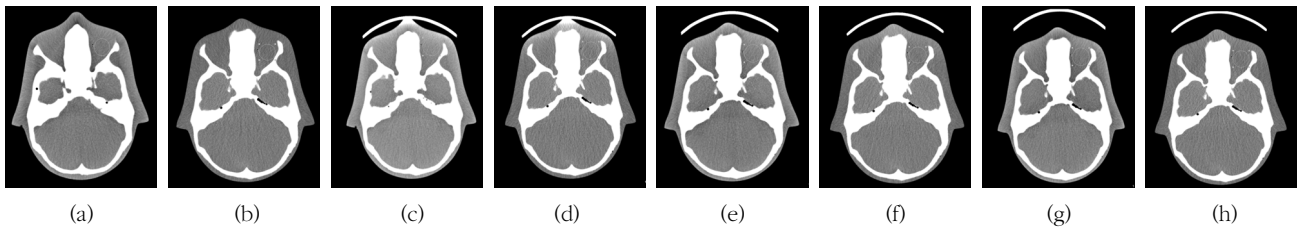


Fig. 4. As a result of visual evaluation by specialists, most of the images were found to be acceptable, including diagnostic value. None (a), X-care (b), bismuth (c), bismuth : 1 cm (d), bismuth : 2 cm (e), X-care + bismuth (f), X-care + bismuth : 1 cm (g), X-care + bismuth : 2 cm (h)

Table 3. Results of subjective grade [unit: score]

Scan	Subjective grade		P
	1st	2nd	
None	4	4	
X-care	5	4	
bismuth (0 cm)	3	3	
bismuth (1 cm)	4	4	>0.05
bismuth (2 cm)	4	4	
X-care + bismuth (0 cm)	3	4	
X-care + bismuth (1 cm)	4	4	
X-care + bismuth (2 cm)	4	4	

원자들과 광자의 상호작용에 의한 산란선의 증가로 인한 잡음의 증가가 영상의 질을 저하시켜 임상 판독에 일정부분 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 전문의를 통한 육안적 평가 결과 대부분의 영상은 진단적 가치를 포함하여 수용가능한 수준으로 나타났다. 다만 CT 스캔 조건의 조합에 따라 16회의 영상 중 3회는 영상의 질이 임상적으로 판독은 가능하지만 가급적이면 수용하지 않는 수준으로 나타났다 (Fig. 4).

한편 전문의에 의한 영상의 질 평가 결과 bismuth (0 cm)의 경우 2회 모두 3점, X-care와 bismuth (0 cm)를 함께 이용한 경우 1회 3점을 제외하고 모든 경우 4점 이상으로 나타났다. 특히 X-care를 단독 적용한 경우 1회 5점으로 나타났다. bismuth 차폐체를 구성하는 원자들과 광자의 상호작용에 의한 산란선의 증가로 인한 잡음의 증가가 영상의 질을 저하시켜 임상 판독에 일정부분 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다[25-27]. 또한, HU SD를 이용한 객관적 평가의 경우 본원에서 임상적으로 이용하고 있는 CT 프로토콜과 비교했을 때 상대적으로 X-care와 bismuth (1 cm)를 함께 이용한 경우가 가장 근접하게 분석되었다 (Table 3, 4).

Table 4. Results of Objective analysis

[unit: HU SD]

Scan	Objective analysis				
	1st	2nd	Mean (SD)	% Difference (by None)	P
None	12.4	11.0	11.7±0.98	-	<0.05
X-care	10.2	9.0	9.6±0.84	-17.94	
bisthmus (0 cm)	19.0	14.2	16.6±3.39	41.88	
bisthmus (1 cm)	16.5	14.0	15.3±1.76	30.34	
bisthmus (2 cm)	16.3	13.9	15.1±1.69	29.05	
X-care + bisthmus (0 cm)	17.8	12.9	15.4±3.46	31.19	
X-care + bisthmus (1 cm)	13.6	12.0	12.8±1.13	9.40	
X-care + bisthmus (2 cm)	13.5	14.1	13.8±0.42	17.94	

## IV. 고 찰

본 연구는 2019년 기준 안와검사, 부비동검사, 안면부 검사 등 약 2,000여 건 이상 CT검사를 시행하고 있는 본원에서 영상의 질 저하 없이 방사선 감수성이 높은 수정체의 노출선량을 경감하기 위한 방법을 모색하기 위하여 수행되었다. 이와 관련한 선행연구가 이미 여러차례 보고되었으며[28], 실제 많은 임상기관에서 활용하고 있다. 국제방사선방어위원회(international commission on radiological protection; ICRP)의 보고서에 따르면 의료방사선 노출에 의한 암 발생률은 높지 않지만, 두부 CT검사, 부비동 CT검사, 안와 CT검사를 시행하는 경우 수정체의 선량은 각 3 mGy, 7 mGy, 13 mGy 정도로 다른 방사선검사에 비해 매우 높다[29]. 특히 2011년에는 수정체의 방사선 노출 한계선량을 0.5 Gy로 발표하였다[30]. 이후 수정체의 연간 허용선량을 20 mSv로 하향 조정하였다[30]. 이에 따라 미국방사선방어측정심의회(national council on radiation protection and measurements; NCRP)를 포함한 영국 및 유럽연합에서도 기준을 낮추고 있다[31]. 방사선 노출에 의한 수정체의 혼탁 혹은 백내장에 매우 흔하게 발병할 수 있다. 이와 같은 질환은 방사선에 의한 결정론적 영향에 의해 발생한다고 생각되어 왔지만, 방사선에 노출되어 오랜 시간이 지난 뒤에 안과 질환 등의 부작용이 발생하는 경우가 보고되면서 확률적 영향에 의해 발생할 수도 있다는 가능성이 언급되고 있다[32]. 확률적 영향의 심각성은 흡수선량과 무관하게 소량의 방사선 노출에 의해서도 발생할 수 있다는 것이다. 2016년 NCRP에서 발표한 Commentary No. 26에 따르면 방사선에 의한 수정체의 혼탁이 본질적으로 확률적일 수도 있다고 언급하고 있지만, 역학적으로 명확한 증거와 일치하지 않는 부분이 있기 때문에 현재는 결정론인지 확률론인지 명확하지는 않다[33].

그럼에도 불구하고 이와 같은 최신의 연구를 살펴볼 때 안와 CT검사에서 수정체의 방사선 노출은 방사선에 의한 인체의 영향을 고려하였을 때 매우 신중하게 접근해야 할 것으로 판단된다. 관련 연구에 따르면 선량감소 도구 중 하나인 care kV와 bismuth 차폐체를 함께 이용하였을 때 약 31%의 선량감소 효과가 있었다. 따라서 산란선 및 노이즈의 증가로 인한 진단적 가치의 손실을 최소화하면서 영상의 질을 개선할 수 있다면 매우 유의미하게 임상적으로 사용 가능할 것으로 판단된다[34]. 한편, 본 연구는 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 환경을 배제하여 오직 선량감소 도구와 차폐체의 효과를 판단하기 위해 care kV, care dose 4D와 같은 선량 자동조절 기능은 적용하지 않았으며, 영상의 질 평가는 실제 임상에서 사용하는 방법에 최대한 근접한 조건으로 비교하기 위해 care kV, care dose 4D를 본원 조건으로 설정하여 실험하였다. 또한, 저자는 본 연구를 진행하는 과정에서 Temporal CT를 추가하여 연구의 상관관계를 분석하려하였으나 Temporal CT검사에 일반적으로 사용하는 고분해능(ultra high resolution; UHR) 모드는 X-care 병합하여 사용이 불가능한 것으로 파악되어 한계점으로 남는다[35]. 고분해능 모드는 최적의 영상 재구성을 위해 이론적으로 완벽한 높은 품질의 광자량이 요구되지만, X-care를 사용하면 신호가 한 방향으로 감소하기 때문에 고분해능 모드가 일정한 영상 재구성 품질을 유지하는데 문제가 될 수 있다. 이 경우와는 다르게 표준 모드에서는 충분한 신호의 광자를 얻기 위해 피치를 감소시킬 때 보상으로 오버샘플링이 되는데, 이러한 이유로 고분해능 모드와 X-care의 조합은 원칙적으로 불가능하기 때문이다[19, 20].

## V. 결 론

본 연구는 선량감소 도구인 X-care와 방사선 차폐물질로서 bismuth를 통해 표면선량과 영상의 질을 평가하였다. 안와 CT검사 시 수정체의 방사선 노출은 매우 신중해야 할 필요가 있으며, 적극적인 선량 저감의 방법과 최고 수준의 차폐 기술이 함께 동반되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 최적의 방사선량을 조사하면서 선량감소 도구와 함께 차폐체를 적합한 위치에서 사용하면 진단적 가치가 높은 영상의 질을 유지하면서 방사선에 민감한 수정체의 노출선량을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Yu L, Liu X, Leng S, Kofler JM, Ramirez-Giraldo JC, Qu M, et al. Radiation dose reduction in computed tomography: Techniques and future perspective. *Imaging Med.* 2009;1(1):65-84.
- [2] McCollough CH, Primak AN, Braun N, Kofler J, et al. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am.* 2009;47(1):27-40.
- [3] Singh S, Kalra MK, Thrall JH, Mahesh M. CT radiation dose reduction by modifying primary factors. *J Am Coll Radiol.* 2011;8(5):369-72.
- [4] May MS, Wuest W, Lell MM, Uder M, Kalender WA, Schmidt B. Current strategies for dosage reduction in computed tomography. *Radiologe.* 2012;52(10):905-13.
- [5] Lai CWK, Cheung HY, Chan TP, Wong TH. Reducing the radiation dose to the eye lens region during CT brain examination: The potential beneficial effect of the combined use of bolus and a bismuth shield. *Radioprotection.* 2015;50(3):195-201.
- [6] Colletti PM, Micheli OA, Lee KH. To shield or not to shield: Application of bismuth breast shields. *Am J Roentgenol.* 2013;200(3):503-7.
- [7] Kim YK, Sung YM, Choi JH, Kim EY, Kim HS. Reduced radiation exposure of the female breast during low-dose chest CT using organ-based tube current modulation and a bismuth shield: Comparison of image quality and radiation dose. *Am J Roentgenol.* 2013;200(3):537-44.
- [8] Hohl C, Wildberger JE, Süß C, Thomas C, Mühlenbruch G, Schmidt T, et al. Radiation dose reduction to breast and thyroid during MDCT: Effectiveness of an in-plane bismuth shield. *Acta Radiologica.* 2006;47(6):562-7.
- [9] Söderberg M, Gunnarsson M. Automatic exposure control in computed tomography: An evaluation of systems from different manufacturers. *Acta Radiol.* 2010;51:625-34.
- [10] Byun JI, Nam YC, Lee H, Shin SB, Han DK. The analysis for the reduction of radiation dose of breast and lens in eyeballs during the CT examination of cranium and chest using Bismuth shields. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology.* 2008;10(1):195-201.
- [11] Oh HS, Yoo HT, Nam YC, Kim MC, Han DK. The study of dose reduction effect for eyeball and breast and image evaluation when using X-CARE. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology.* 2011;13(2):151-60.
- [12] Lee K, Lee W, Lee J, Lee B, Oh G. Dose reduction and image quality assessment in MDCT using AEC (D-DOM & Z-DOM) and in-plane bismuth shielding. *Radiat Prot Dosim.* 2010;141(2):162-7.
- [13] Matsubara K, Koshida K, Noto K, Takata T, Suzuki M, Shimono T, et al. A head phantom study for intraocular dose evaluation of 64-slice multi-detector CT examination in patients with suspected cranial trauma. *Eur J Radiol.* 2011;79(2):283-7.
- [14] Perisinakis K, Raissaki M, Theocharopoulos N, Damilakis J, Gourtsoyiannis N. Reduction of eye lens radiation dose by orbital bismuth shielding in pediatric patients undergoing CT of the head: a Monte Carlo study. *Med Phys.* 2005;32(4):1024-30.
- [15] Cho PG, Kim YH, Choi IJ, Jeong JP, Jang SK, Lee H. Assessment of the eye lens dose reduction by bismuth shields in rando phantom undergoing CT of the head. *Journal of Radiological Science and Technology.* 2008;31(2):171-5.
- [16] Hooper T, Eccles G, Milliken T, Mathieu-Burry JR, Reed W, et al. Dose reduction in CT imaging for facial bone trauma in adults: A narrative literature

- review. *J Med Radiat Sci*. 2019;66(2):1-11.
- [17] Lee MY, Oh HS, Han DK. CT radiation dose reduction and image quality evaluation in superficial organ: By using bismuth shield and X-care. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology*. 2012;14(2):39-47.
- [18] Tawfik HA, Abdelhalim A, Elkafrawy MH. Computed tomography of the orbit-A review and an update. *Saudi Journal of Ophthalmology*. 2012;26(4):409-18.
- [19] U.S. exposure to medical radiation soars, ACR issues new white paper on dosage. *Diag Imag Intell Rep*. 2007. Available online at: [http://www.g2reports.com/issues/DIIR/2007\\_6/1612608-1.html](http://www.g2reports.com/issues/DIIR/2007_6/1612608-1.html).
- [20] Thomson FJ, Paulson EK, Yoshizumi TT. Single versus multi-detector row CT: Comparison of radiation doses and dose profiles. *Acad Radiol*. 2003; 10:379-85.
- [21] Colombo P, Pedrolini G, Nicoloso M, Re S, Valvassori L, Vanzulli A. Evaluation of the efficacy of a bismuth shield during CT examinations. *Radiol Med*. 2004;108(5-6):560-8.
- [22] Goenka AH, Herts BR, Obuchowski NA, Primak AN, Dong F, Karim W, et al. Effect of reduced radiation exposure and iterative reconstruction on detection of low-contrast low-attenuation lesions in an anthropomorphic liver phantom: An 18-reader study. *Radiology*. 2014;272(1):154-63.
- [23] Heaney DE, Norvill CA. A comparison of reduction in CT dose through the use of gantry angulations or bismuth shields. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2006;29(2):172-8.
- [24] Kalra MK, Dang P, Singh S, Saini S, Shepard JA. In-plane shielding for CT: Effect of off-centering, automatic exposure control and shield-to-surface distance. *Korean J Radiol*. 2009;10(2):156-63.
- [25] Vollmar SV, Kalender WA. Reduction of dose to the female breast in thoracic CT: A comparison of standard-protocol, bismuth-shielded, partial and tube-current-modulated CT examinations. *Eur Radiol*. 2008;18(8):1674-82.
- [26] Vorona GA, Zuccoli G, Sutcavage T, Clayton BL, Ceschin RC, Panigrahy A. The use of adaptive statistical iterative reconstruction in pediatric head CT: A feasibility study. *Am J Neuroradiol*. 2013; 34(1):205-11.
- [27] Owlia M, Yu L, Deible C, Hughes MA, Jovin F, Bump GM. Head CT scan overuse in frequently admitted medical patients. *American Journal of Medicine*. 2014;127(5):406-10.
- [28] Liao YL, Lai NK, Tyan YS, Tsai HY. Bismuth shield affecting CT image quality and radiation dose in adjacent and distant zones relative to shielding surface: A phantom study. *Biomedical J*. 2019; 42(5):343-51.
- [29] ICRP Publication 103. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. *Ann ICRP*. 2007;37(2-4):1-332.
- [30] Kim MJ, Kim JH. Radiation exposure and protection for eyes in pain management. *Anesth Pain Med*. 2017;12:297-305.
- [31] Hopper KD. Orbital, thyroid, and breast superficial radiation shielding for patients undergoing diagnostic CT. *Seminars Ultrasound, CT MRI*. 2002;23: 423-7.
- [32] Nikupaaavo U, Kaasalainen T, Reijonen V, Ahonen S, Korttesniemi M. Lens dose in routine head CT: Comparison of different optimization methods with anthropomorphic phantoms. *AJR*. 2015;204:117-23.
- [33] Reimann AJ, Davison C, Bjarnason T, Yogesh T, Kryzmyk K, Mayo J, et al. Organ-based computed tomographic (CT) radiation dose reduction to the lenses: Impact on image quality for CT of the head. *J Comput Assist Tomogr*. 2012;36:334-8.
- [34] Kwak YG, Kim JI, Jeong SP. Research on dose reduction during computed tomography scanning by CARE kV system and bismuth. *The Journal of the Korea Contents Association*. 2014;14(8):233-42.
- [35] Yun JH, Lee KW, Cho YK, Choi JW, Lee JI. Effective dose determination from CT head and neck region. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2011;34(2):105-16.



구분	성명	소속	직위
제1저자	문세영	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사
교신저자	김정수	동남보건대학교 방사선과	조교수
공동저자	홍상우	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사
공동저자	서지숙	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사
공동저자	김영범	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사
공동저자	곽완신	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사
공동저자	이성영	국민건강보험 일산병원 영상의학과	방사선사