

CT 검사에서 유리선량계를 이용한 수정체의 비스무트 차폐 효과

— Effectiveness of Bismuth Shield to Reduce Eye Lens Radiation Dose Using the Photoluminescence Dosimetry in Computed Tomography —

신흥대학 방사선과¹⁾ · 경기대학교 의학물리학과²⁾

정미영^{1,2)} · 권대철¹⁾ · 권수일²⁾

— 국문초록 —

CT 검사에서 수정체 차폐용 비스무트(bismuth)를 사용하여 수정체 선량의 감소효과를 유리선량계로 측정하여 비스무트 차폐효과 및 영상을 평가하였다. 안구 및 두부 CT 검사에서 차폐용 비스무트를 사용하여 수정체 선량의 감소와 차폐 효과를 평가하기 위해 인체모형 팬텀으로 유리선량계를 이용하여 수정체 선량을 평가하였다. 유리선량계를 이용하여 비스무트를 사용하기 전의 평균 선량은 21.54 mGy이었고, 사용 후의 선량은 10.46 mGy로 51.3%의 선량 감소효과가 있다. 차폐용 비스무트를 사용한 안구 64 MDCT 촬영에서 선량감소 효과가 있어 수정체를 포함한 안구 CT 스캔에서는 비스무트를 사용하여 검사하도록 권고한다.

중심 단어: 비스무트, 컴퓨터단층촬영, 선량, 방어

I. 서 론

CT(computed tomography) 검사는 방사선 피폭이 있더라도 신뢰할 수 있어 진단 및 치료 계획 영역에서 민감도와 특이도가 높아 정확성을 요구하는 검사에서 많이 스캔하고 있어 임상 의뢰진단에 CT 검사의 많은 증가를 가져왔다¹⁾. 안구 및 두부 CT를 이용한 검사에서 환자에게 피폭되는 방사선 선량은 약 50 mGy로 측정되고 있다²⁻⁷⁾. 그러나, 수정체는 방사선에 민감하여 0.5~2 Gy에 의해 수정체의 불투명을 유발할 수 있고, 4 Gy를 초과하여 선량 피폭되면 백내장의 원인이 될 수 있다^{8,9)}. 안구의 CT 검사로 인한 수정체의 피폭은 심각한 장애를 초래할 수 있으며 국제방사선방어위원회(international commission

on radiological protection, ICRP) 보고에 의하면 수정체는 가장 방사선감수성이 높은 조직으로 방사선에 의해 수정체가 장애를 받을 수 있고, 역치선량은 0.5~2 Gy로 보고 되고 있다¹⁰⁾. 이러한 선량에 대한 민감한 문제점 때문에 CT 촬영에서 수정체 선량에 대한 중요성을 인식하여 수정체의 피폭선량을 감소하기 위한 방법을 위해 국내 및 국외에서 기존의 연구들은 열형광선량계(TLD)를 사용하여 보고하였다.

본 연구에서 사용한 유리선량계(photoluminescence glass dosimeter, PLD)는 기존의 다른 선량계에 비해 사용 가능한 선량범위가 10 μGy - 500 Gy까지로 넓고, 안정성이 높아 감쇄(fading) 현상이 거의 없으며, 고에너지 광자선에서 에너지의존성이 낮다^{11,12)}. 그러나, 기존 연구에서는 유리선량계를 이용하여 수정체의 선량을 측정하는 연구는 보고가 없었다. 이에 본 연구에서는 안구 CT 검사에서 수정체 차폐용 비스무트를 사용하여 수정체 선량의 감소효과를 유리선량계로 측정하여 비스무트 차폐효과 및 영상을 평가하여 보고하고자 한다.

*접수일(2009년 4월 28일), 1차심사(2009년 5월 7일), 2차심사(2009년 8월 6일), 확정일(2009년 9월 2일)

교신저자: 권대철, (480-701) 경기도 의정부시 호원동 117
신흥대학 방사선과
TEL: 031-870-3427, M.P.: 011-347-5976
FAX: 031-870-3429, E-mail: dckweon@shc.ac.kr

II. 재료 및 방법

1. CTDI(computed tomography dose index) 측정

CT 선량은 64 MDCT scanner(Brilliance 64, Philips, Cleveland, USA)를 사용하였고 이때의 스캔 조건은 120 kVp, 200 mAs, rotation of time 0.75 sec, beam collimator는 40×0.625 mm를 사용하였다. CT head phantom (Model 76-414 ; Nuclear Associates, New York, USA)을 이용하였고, CT ionization chamber(Model20 $\times 5-3$ CT, S/N 21560 ; Radical, Monrovia, USA)와 radiation monitor controller(Model 2026, S/N 26-0082 ; Radical)를 이용하여 CTDI를 측정하였다.

2. 유리선량계 선량 측정

차폐용 비스무트를 사용하여 수정체 선량의 감약 정도를 평가하기 위하여 사람 모양의 인간등가 물질 Rando 팬텀(Model RS-109, Radiation Management Services, Fluke Biomedical, USA)을 사용하였다. CT 촬영은 64 MDCT scanner(Brilliance 64, Philips, Cleveland, USA)를 사용하였고, 스캔의 조건은 120 kVp, 200 mAs, rotation of time 0.75 sec, beam collimation 40×0.625 mm, slice thickness 5 mm로 시행하였다. 팬텀의 양쪽 눈 위에 각각 4개의 유리선량계를 올려놓고 CT 촬영을 시행하였고(Fig. 1), 다시 양쪽 눈 위에 유리선량계를



Figure 1. Photograph of anthropomorphic phantom with bismuth eye shield and glass dosimeters deployed



Figure 2. The bismuth eye shield is simple to place and covers only the eye

동일하게 올려놓고 차폐용 비스무트(0.060 mm Pb equivalent, F&L Medical Products, PA, USA)를 덮고 스캔하였다(Fig. 2). 선량은 유리소자(GD-352M ; Chiyoda Technol, Tokyo, Japan)를 이용하였고, 선량판독기(FGD-1000 ; AGC, Techno Glass, Shizuoka, Japan)를 이용하여 선량을 판독하였다. 이때 촬영된 CT 조건에서 CTDI와 DLP를 기록하였다.

3. 팬텀 영상 평가

CT의 콘솔에 있는 ROI 기능을 이용하여 정량적으로 평가하였다. 팬텀의 수정체 부위의 ROI(regions of interest)의 평균치와 표준편차를 측정하여 비스무트를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때를 비교하였다. 영상의 평가는 ImageJ 분석 프로그램(version 1.41, W. Rashban, National Institutes of Health, USA)에서 팬텀의 수정체 부위의 ROI의 평균치 측정으로 픽셀의 수를 나타내는 Histogram으로 비교하였다.

4. 통계 분석

통계분석은 프로그램(SPSS version 11.0 ; SPSS Incorporated, Chicago, IL, USA)을 사용해서 비스무트 차폐에 대한 선량 및 영상을 비교하기 위해 paired t-test를 이용하여 검정 분석하였으며, p -value < 0.05 인 경우를 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

III. 결 과

CT ionization chamber를 이용한 CT선량은 비스무트로 차폐하지 않았을 때의 CTDI는 중앙에서 23.3 mGy이었고, 6시 방향에서 가장 낮은 26.9 mGy, 3시와 9시 방향에서 약간 증가하였고, 12시 방향에서 29.8 mGy로 가장 높게 측정되었다(Table 1). 동일한 스캔에서 측정된 CTDI는 26.8 mGy, DLP는 400.3 mGy·cm로 측정되어 ionization chamber 선량과의 차이가 없었다(Table 2). 이때 DLP를 유효선량(effective dose)으로 변환하기 위해 0.0023 변환계수를 곱으로 계산하여 유효선량은 0.92 mSV로 측정되었다¹³⁾.

Table 1. CTDI(mGy) measured for without bismuth eye shield in anthropomorphic phantom

Head	Center	12 o'clock	3 o'clock	6 o'clock	9 o'clock
	23.3	29.8	27.2	26.9	28.4

Table 2. Scan acquisition parameter, CT dose index (CTDI) and dose length product(DLP) for eye phantom study

Head	CTDI (mGy)	DLP (mGy·cm)
	26.8	400.3

Table 3. Comparison of radiation dose of unshielded and shielded bismuth in anthropomorphic phantom study

Glass Dosimeter	Unshielded bismuth		Shielded bismuth	
	Dose (mGy)	Coefficient of Variance	Dose (mGy)	Coefficient of Variance
1	21.01	0.39	10.59	0.35
2	17.10	0.40	10.48	0.37
3	23.81	0.18	10.46	0.23
4	24.24	0.33	10.33	0.27
Mean	21.54		10.46	

Table 4. Comparison of measured and calculated mean and noise of unshielded and shielded bismuth in anthropomorphic phantom study

Shield	Mean±SD		p-value*
	Unshielded bismuth	Shielded bismuth	
Eye	142.8±6.2	174.4±8	0.35

* Statistical significance test was done by paired t-test

유리선량계를 이용하여 비스무트를 사용하기 전의 평균 선량은 21.54 mGy이었고, 사용 후의 선량은 10.46 mGy로 51.3%의 선량 감소효과가 있었다(Table 3). 비스무트 차폐에 대한 선량 비교의 paired t-test에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). CT 영상에서 비스무트를 사용하기 전의 팬텀의 영상에서 평균값과 표준편차는 142.8±6.2이었고, 차폐제인 비스무트를 사용하여 스캔한 영상에서는 174.4±8로 측정되었다(Table 4). 영상에서 비스무트를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 팬텀의 수정체 부위의 ROI의 평균치의 평가에서의 paired t-test에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

CT 영상에서 비스무트를 사용하기 전의 영상(Fig. 3A)과 차폐제인 비스무트를 사용하여 스캔한 영상(Fig. 3B)의 영상에서 비스무트가 접촉된 부위에서의 안구 및 뇌의 영상에서는 아티팩트를 유발하여 영상의 질에 영향을 주었다. 이에 비스무트에 의한 아티팩트 영상의 질을 평가하기 위하여 ImageJ 프로그램을 이용한 ROI의 영상평가(Table 4)에서 영상은 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

영상에 ROI 설정하여 픽셀의 수를 나타내는 히스토그램을 비스무트를 팬텀에 사용하지 않은 히스토그램에서 최대값은 165, 최소값 125, 평균 142, 표준편차 6.2로 측정되었고(Fig. 4A) 비스무트를 사용하였을 때의 최대값은 193, 최소값 145, 평균 174, 표준편차 8.0으로 측정된 그래프를 보여주고 있다(Fig. 4B).

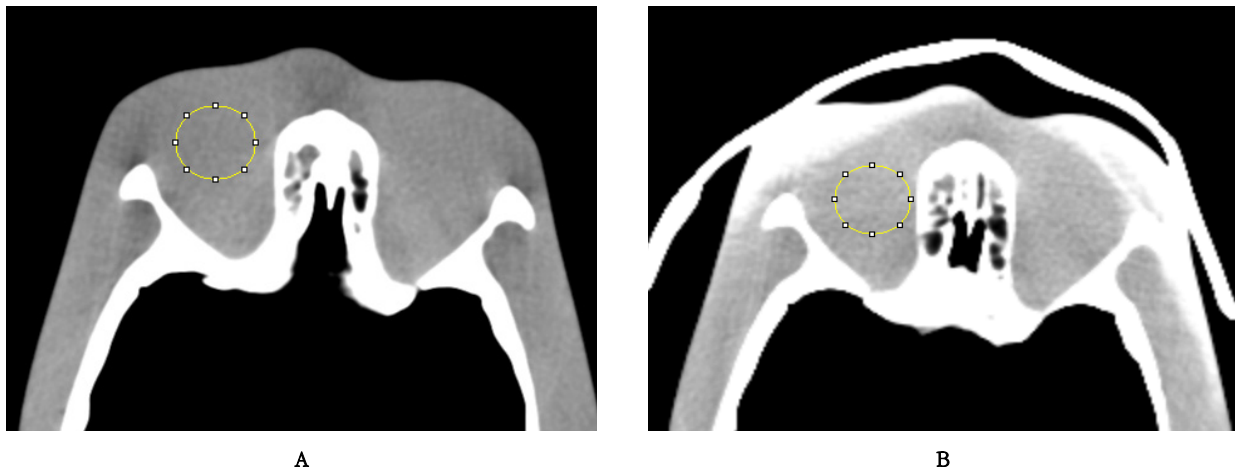


Figure 3. CT images of anthropomorphic phantom. A, Axial image of unshielded bismuth in the eye. B, This adult patient has an eye shield in place. While artifact is seen into the globe, no artifact is transmitted into the brain

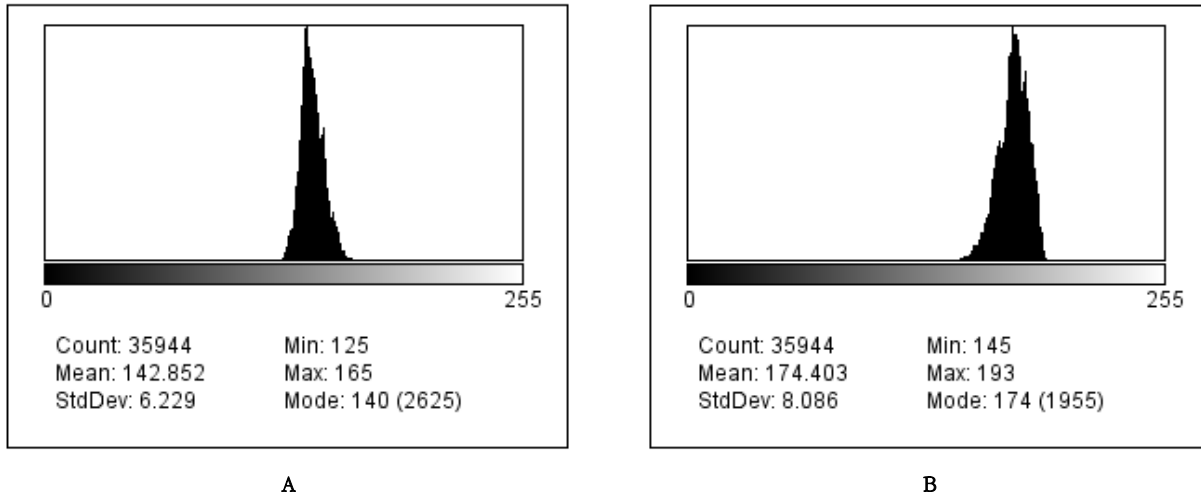


Figure 4. ImageJ program calculates and displays a grey level histogram of the active image respectively an image part defined by the ROI. A, Histogram image of unshielded bismuth in the eye. B, Histogram image of phantom has an eye shield in bismuth

IV. 고 찰

선량차폐로 인한 선량감소 효과에 의해 수정체의 백내장을 유발할 수 있는 결정적 영향과 확률적 영향에서 비스무트 차폐의 유용성에 대한 평가는 흡수선량과 유효선량 및 CT 영상의 질에 대한 정량적인 평가가 필요하다. 수정체가 백내장을 유발할 수 있는 역치선량 4 Sv에 도달하지 않게 하기 위해서는 CT 검사에서 수반되는 선량의 피폭을 감소하기 위해 적절한 차폐제의 활용이 필요하다⁹⁾. Rothenberg and Pentlow¹⁰⁾는 안구 CT 검사에서 수정체

에 빔 콜리메이션, 각도, 관전압, 관전류 등의 영향에 의해 수정체는 22.4~100 mGy 선량이 흡수되는 것으로 보고하였다. 수정체는 민감한 장기이므로 차폐제를 이용한 CT 검사가 필요하다. 이러한 CT에 의한 선량의 피폭을 차폐하기 위해 기존의 연구에서는 흉부의 흉선 및 유선의 선량과 안구의 수정체의 차폐를 위해 비스무트를 사용하여 차폐효과를 보고하였다¹⁴⁻¹⁶⁾. 안구 및 두부 CT 검사에서 비스무트의 사용으로 수정체의 CT 피폭선량을 감소 효과가 있다면 방사선 선량에 의한 수정체의 백내장 발생을 저지하는데 기여할 수 있다. 본 연구는 인간등가물질

팬텀과 PLD를 이용하여 비스무트 차폐제를 사용한 안구 CT 촬영에서 수정체 선량의 감소효과를 목적으로 선량을 측정하여 차폐제의 유용성에 대한 연구를 시행하였다.

선량 측정에 사용된 유리선량계는 인산유리에 Ag를 입힌 것에 방사선을 비추면 방사선의 흡수량에 비례하여 발광중심이 형성되는데 자외선을 비추면 장파장의 형광이 방출되며 이 형광량에 의해 선량을 측정한다. 유리선량계는 소자간의 균일성이 뛰어나고, 독해한 데이터의 소실이 없는 등의 뛰어난 장점이 있어 기존 연구에 사용된 TLD에 비해 많은 장점을 가지고 있어 본 연구에서 유리선량계를 사용하였다.

CT스캔에서 인간조직 등가물질의 안구 스캔에서의 DLP결과치를 두부의 변환계수(0.0023)를 곱하여 환산하였다¹³⁾. 결과적으로 유효선량은 0.92 mSv로 권고치인 1~2 mSv보다 낮게 측정되었다¹⁷⁾. Hidajat 등의 두부 검사의 유효선량인 0.93 mSv와 유사하였다¹⁸⁾.

차폐용 비스무트를 사용하여 검사하였을 때 사용하기 전에 비해 11.08 mGy가 감소하여 선량감소효과는 51.3%이었다. 이는 Hopper 등이 보고한 눈의 수정체 피폭에 대한 50% 감소효과 보고와 일치하였다¹⁹⁾. 수정체 선량의 감소는 차폐용 비스무트를 눈 위에 직접 놓고 CT 촬영을 시행할 때 유효하여 직접 안구 위에 덮고 CT 검사를 해야 한다. 차폐제 사용이 영상의 질에 영향을 주지 않기 위해서는 아티팩트를 유발하기 않고 균일한 해상도가 필요하다. 팬텀의 영상에서 비스무트 차폐 사용 전후의 영상은 뇌 및 안구에 영향을 미치지 않았다. 이러한 비스무트 차폐제를 사용하기 전에 두부 CT에서는 빔 선속의 각도를 이용하여 수정체의 피폭을 감소하는 효과적인 스캔이지만 안구를 목적으로 하는 CT 검사에서는 응용될 수 없는 한계가 있다²⁰⁾.

McLaughlin and Mooney²¹⁾의 연구에서는 성인 환자의 두부 CT 촬영 시 차폐용 비스무트를 사용하여 18.5 mGy의 선량을 감소하였는데 이는 빔선속을 조절하여 선량감소효과가 있어 본질적인 선량감소에는 한계가 있다. 빔선속의 각도 조절에 의한 방법보다는 본 연구의 결과와 같이 비스무트 차폐제를 사용하여 효과적인 수정체의 선량 감소가 필요하다. 그러므로 안구 및 두부 CT 촬영에서는 선량 감소효과가 있는 비스무트를 사용하여야 한다. 이러한 비스무트는 경제적인 가치가 있고, 영상의 질에 영향을 미치지 않아 비스무트를 사용하여 수정체의 방사선 피폭을 예방하도록 한다.

V. 결 론

안구 및 두부 CT 검사에서 유리선량계를 이용하여 비스무트를 사용하기 전의 평균 선량은 21.54 mGy이었고, 사용 후의 선량은 10.46 mGy로 51.3% 감소효과가 있어 수정체를 포함한 안구 CT 스캔에서는 비스무트를 사용하여 검사하도록 권고한다.

참 고 문 헌

1. Yoo BC, Kweon DC, Lee JS, Jang KJ, Jeon SH, Kim YS : Comparison radiation dose of z-axis automatic tube current modulation technique with fixed tube current multi-detector row CT scanning of lower extremity venography, *J Radiat Prot*, 32(3), 123-133, 2007
2. Tweed JJ, Davies ML, Faulkner K, Rawlings DJ, Forster E : Patient dose and associated risk due to radiological investigation of the internal auditory meatus, *Br J Radiol*, 64, 447-451, 1991
3. Lund E, Halaburt H : Irradiation dose to the lens of the eye during CT of the head, *Neuroradiology*, 22, 181-184, 1982
4. Geleijns J, Van Unnik JG, Zoetelief J, Zweers D, Broerse JJ : Comparison of two methods for assessing patient dose from computer tomography, *Br J Radiol*, 67, 360-365, 1994
5. Poletti JL : Patient doses from CT in New Zealand and a simple method for estimating effective dose, *Br J Radiol*, 69, 432-436, 1996
6. MacLennan AC, Hadley DM : Radiation dose to the lens from computed tomography scanning in a neuroradiology department, *Br J Radiol*, 68, 19-22, 1995
7. Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, Okada M, Hachiya J, Furuya Y : Determinations of organ doses and effective dose equivalents from computed tomographic examination, *Br J Radiol*, 64, 20-28, 1991
8. Dalrymple GV, Goulden ME, Kollmorgen GM, Vogel H : *Medical Radiation Biology*, Philadelphia, WB Saunders, 235, 1973
9. Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, Okada M, Hachiya J, Furuya Y : Determinations of organ doses and effective dose equivalents from computed tomographic examination, *Br J Radiol*, 64, 20-28, 1991
10. Rothenberg LN, Pentlow KS : Radiation dose in CT, *Radiographics*, 12, 1225-1243, 1992
11. Rah JE, Shin DO, Hong JY, Kim HS, Lim CI, Jeong HG, Suh TS : Study on dosimetric prop-

- erties of radiophotoluminescent glass rod detector, *J Korea Asso Radiat Prot*, 31(4), 181-186, 2006
12. Technical report : Explanation material of RPL glass dosimeter : small element System, Tokyo, Japan ; 2000
 13. European Commission. European Guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262EN. Luxembourg : Office for official publications of the European Commission, 66-78, 1999
 14. Fricke BL, Donnelly LF, Frush DP, Yoshizumi T, Varchena V, Poe SA, Lucaya J : In-plane bismuth breast shields for pediatric CT : effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data, *AJR Am J Roentgenol*, 180(2), 407-11, 2003
 15. Yilmaz MH, Albayram S, Yaşar D, Ozer H, Adaletli I, Selçuk D, Akman C, Altuğ A : Female breast radiation exposure during thorax multidetector computed tomography and the effectiveness of bismuth breast shield to reduce breast radiation dose, *J Comput Assist Tomogr*, 31(1), 138-42, 2007
 16. Hopper KD, Neuman JD, King SH, Kunselman AR : Radioprotection to the eye during CT scanning, *AJNR Am J Neuroradiol*, 22(6), 1194-8, 2001
 17. Geleijns J, Van Unnik JG, Zoetelief J, Zweers D, Broerse JJ : Comparison of two methods for assessing patient dose from computed tomography, *Br J Radiol*, 67, 360-365, 1994
 18. Hidajat N, Maurer J, Schroder RJ *et al.* : Relationship between physical dose quantities and patient dose in CT, *Br J Radiol*, 72, 556-561, 1999
 19. Hopper KD, Neuman JD, King SH, Kunselman AR : Radioprotection to the eye during CT scanning, *AJNR Am J Neuroradiol*, 22(6), 1194-1198, 2001
 20. Yeoman LJ, Howarth L, Britten A, Cotterill A, Adam EJ : Gantry angulation in brain CT : dosage implications, effect on posterior fossa artifacts, and current international practice, *Radiology*, 184, 113-116, 1992
 21. McLaughlin DJ, Mooney RB : Dose reduction to radiosensitive tissues in CT. Do commercially available shields meet the users' needs? *Clin Radiol*, 59, 446-450, 2004

• Abstract

Effectiveness of Bismuth Shield to Reduce Eye Lens Radiation Dose Using the Photoluminescence Dosimetry in Computed Tomography

Mi-Young Jung^{1,2)} · Dae-Cheol Kweon¹⁾ · Soo-Il Kwon²⁾

¹⁾Department of Radiologic Science, Shin Heung College University

²⁾Department of Medical Physics, Kyonggi University

The purpose of our study was to determine the eyeradiation dose when performing routine multi-detector computed tomography (MDCT). We also evaluated dose reduction and the effect on image quality of using a bismuth eye shield when performing head MDCT. Examinations were performed with a 64MDCT scanner. To compare the shielded/unshielded lens dose, the examination was performed with and without bismuth shielding in anthropomorphic phantom. To determine the average lens radiation dose, we imaged an anthropomorphic phantom into which calibrated photoluminescence glass dosimeter (PLD) were placed to measure the dose to lens. The phantom was imaged using the same protocol. Radiation doses to the lens with and without the lensshielding were measured and compared using the Student t test. In the qualitative evaluation of the MDCT scans, all were considered to be of diagnostic quality. We did not see any differences in quality between the shielded and unshielded brain. The mean radiation doses to the eyewith the shield and to those without the shield were 21.54 versus 10.46 mGy, respectively. The lens shield enabled a 51.3% decrease in radiation dose to the lens. Bismuth in-plane shielding for routine eye and head MDCT decreased radiation dose to the lenswithout qualitative changes in image quality. The other radiosensitive superficial organs specifically must be protected with shielding.