

Analysis of CT Image Quality Change according to Clinical Application Shielding Materials

Hyeon-Ju Kim*

Department of Radiologic Technology, Dongnam Health University

Received: March 15, 2023. Revised: April 11, 2023. Accepted: April 30, 2023.

ABSTRACT

Among brain CT scan conditions including the lens, the tube voltage was changed to 80, 100, and 120 kVp and applied. The change in dose was analyzed using lead, lead goggles and barium sulfate silicon shielding materials, and the degree of influence of the shielding materials on image quality was compared and analyzed by applying the SNR, CNR, and SSIM index analysis methods. As a result, it was analyzed that although the dose was reduced by applying all shielding materials, the difference in dose reduction was not large ($P > 0.05$). In addition, as for the change in image quality due to the application of the shielding material, SNR and CNR were the highest when lead goggles were applied, and the structural similarity was measured to be the best as it was closest to the reference value of 1 in SSIM analysis. Therefore, based on the results of this study, it is thought that if more diverse shielding materials and clinical test results are derived and applied, it will be helpful for the clinical application criteria in the case of shielding utilization inspection.

Keywords: Radiation Shield, Lead, Lead Goggles, BaSO₄, Silicon, Image Quality

I. INTRODUCTION

컴퓨터단층촬영(CT, Computed Tomography) 장치의 개발 이후 성능의 향상은 급속하게 발전하여 나선형 스캔 방식과 더불어 초 단위 이하의 스캔 시간으로 검사 속도가 빨라지고 이와 더불어 검출기 소자의 성능향상과 다양한 재구성 기법으로 화질도 매우 향상되었다^[1]. 하지만 장치의 성능향상으로 검사 건수 증가와 비례하게 CT 검사로 받는 피폭선량도 증가하고 있다^[2]. 의료용 방사선의 이용은 정확한 진단을 위해 필요하며 치료계획 등을 설정하는데 많은 정보를 제공하는데 의심의 여지가 없을 만큼 매우 유용하다. CT 영상을 통해 많은 정보를 얻는 가장 큰 이유는 기타 영상장치보다 공간 및 대조도 분해능이 우수하기 때문이다^[3]. 그러나 분해능 향상을 위해서는 반드시 적정 방사선량이 필요하며 보다 우수한 영상을 획득하기 위해 그 이

상을 적용해야 한다는 것은 임상 실무진이라면 모두 알고 있을 것이다. 이렇듯 방사선량의 증가는 우수한 화질의 영상을 획득할 수 있지만 검사 선량이 증가하여 목적 장기 외 주변 해부학적 구조에 피폭을 증가시킨다^[4]. 임상에서는 방사선에 예민한 주요 장기에 불필요한 피폭을 최소화하기 위해 다양한 보조기구 및 차폐체 등을 개발하여 적용하고 있다^[5]. 인체 방사선 피폭과 관련하여 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서는 수정체, 갑상샘, 림프 유선 조직, 생식기 등은 방사선 감수성이 높은 조직은 쉽게 전리방사선에 의해 세포가 해를 받을 수 있어 방사선으로부터 정당성에 위배되지 않는 범위에서는 보호해야 한다고 권고하고 있다^[6]. 이에 수정체가 포함된 Brain 스캔 상황과 동일한 조건에서 임상에서 많이 활용되는 납, 납유리 재질의 고글 그리고 최근 다양한 연구논문에서 제시한 황산바륨

* Corresponding Author: Hyeon-Ju Kim

E-mail: gidoong75@naver.com

Tel: +82-31-249-6632

과 실리콘 혼합 물질 차폐체를 이용하여 선량의 변화와 차폐체가 화질에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 분석해 보았다¹⁷⁾.

II. MATERIAL AND METHODS

실험은 Somatom Definition Flash (Siemens, Enlarge, Germany) 이용하여 0.75 mm Collimator, 0.75 Pitch, Kernel은 H40s medium, 관전류는 250 mA로 고정하여 일반적인 Brain CT 스캔 시 적용하는 스캔 조건에서 관전압을 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp로 변화설정하고 자체 제작한 머리 팬텀에 CT ion chamber 10 cm (DCT10-MM)를 삽입하고 방사선 측정기(Magic max Universal, VD0202010)를 이용하여 선량 변화 추이를 분석하였다. 또한, 스캔 후 획득한 영상을 이용하여 동일 영상 동일 위치에 ROI (Region of interesting)를 그려 SNR (Signal to noise), CNR (Contrast to noise) 분석을 통해 화질 변화를 분석하고 차폐물질을 적용하지 않은 영상과 화질 변화 분석을 위해 구조적 유사 지수(SSIM; Structural Similarity Index map) 분석을 ICY(icy-version 1.6.1.1) 영상분석 프로그램을 이용하여 진행하였다. 또한, 통계분석은 SPSS 18.0(for Windows : SPSS. Chicago, IL) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석방법을 적용하였다.

1. 차폐 물질 변화 적용에 따른 선량 분석

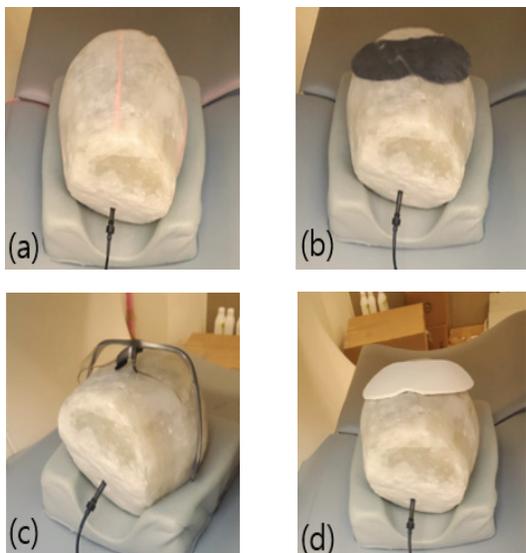


Fig. 1. Image of dose analysis according to shielding materials (a): non shield, (b): Pb, (c): Lead goggles, (d): BaSO₄ + Silicon

관전압을 변화 설정하고 Fig. 1과 같이 납, 납유리 재질의 고글, 황산바륨과 실리콘 혼합 차폐체, 차폐체 없는 상태를 스캔하여 비교하여 선량 변화 추이를 비교 분석해 보았다.

2. 차폐 물질 변화 적용에 따른 화질 분석

2.1. SNR, CNR 분석

관전압과 차폐체를 변화 적용 후 획득한 영상을 이용하여 Fig. 2와 같이 10번째 영상 동일 위치에 ROI를 그려 평균 CT Number와 SD (Standard deviation)를 측정하고 Eq. (1) 과 Eq. (2)를 적용하여 SNR, CNR이 가장 우수한 조건을 찾아보았다.

$$SNR = \frac{ROI(HU)}{BKG(SD)} \quad (1)$$

$ROI(HU)$: CT Number

$BKG(SD)$: Background noise

$$CNR = \frac{ROI_1 - ROI_2}{BKG(SD)} \quad (2)$$

ROI_1 : CT number of ROI₁

ROI_2 : CT number of ROI₂

$BKG(SD)$: Background noise

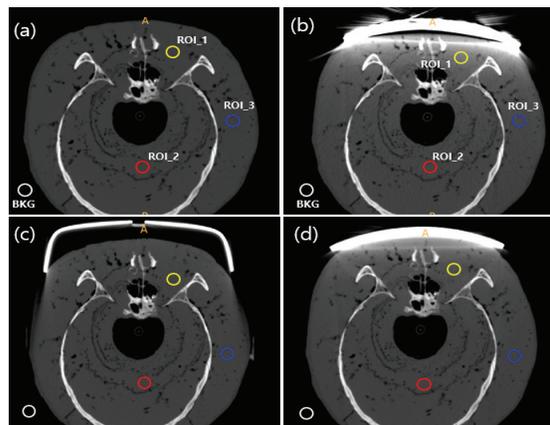


Fig. 2. Images of SNR and CNR analysis according to the shielding materials. (a):non shield, (b):Pb, (c):Lead goggles, (d):BaSO₄ + Silicon

2.2. SSIM 분석

ICY 프로그램의 SSIM 분석 기능을 활용하여 차폐체 적용 시 화질 변화 정도를 Eq. (3)을 적용하여 Fig. 3과 같이 차폐체 적용 전 영상 비교하여 구조적 유사지수 분석을 하였다.

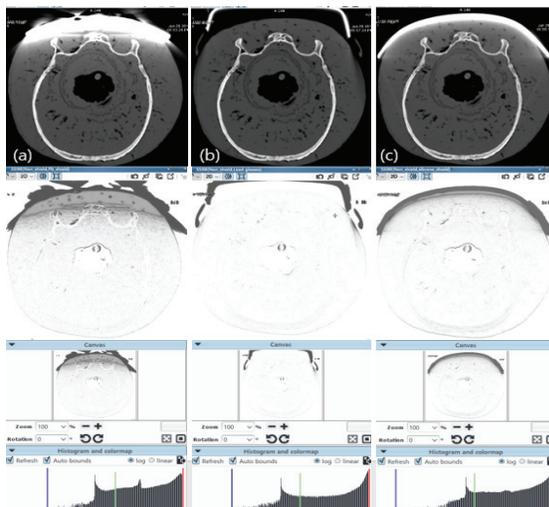


Fig. 3. Images of SSIM analysis according to the shielding material. (a):Pb, (b):Lead goggles, (c):BaSO₄ + Silicon

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(2\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (3)$$

μ_x, μ_y : Average of x y

σ_x^2, σ_y^2 : Variance of x, y

σ_{xy}^2 : Covariance of x, y

c_1, c_2, c_3 : Stabilize parameters

III. RESULT

1. 차폐 물질 변화 적용에 따른 선량 분석

차폐물질과 관전압을 변화 적용 후 선량의 변화를 분석한 결과, Table 1과 같이 80 kVp에서 납 차폐 시 약 8.69% 감소, 납유리 고글 적용 시 약 7.46% 감소, 황산바륨 실리콘 혼합 차폐체 적용 시 약 9.47% 감소하였다. 100 kVp에서는 납 차폐 시 약 11.79% 감소, 납유리 고글 적용 시 약 10.34% 감소, 황산바륨과 실리콘 혼합 차폐체 적용 시 약 12.76%

감소하였다. 120 kVp에서 납 차폐체 시 약 16.40% 감소, 납유리 고글 적용 시 약 12.90% 감소, 황산바륨과 실리콘 혼합 차폐체 적용 시 약 15.10% 감소하였다. 모든 차폐체에서 선량의 감소가 있었으며 차폐체 별 감소율은 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다(P > 0.05).

Table 1. Dose measurement according to shielding materials (Unit: mGy)

kVp	Protection materials	Non-Shield	Shield	Reduce rate (%)	p
80	Pb		8.19	8.69	0.64
	Lead goggles	8.97	8.23	7.46	
	BaSO ₄ + Silicon		8.12	9.47	
100	Pb		9.12	11.79	0.57
	Lead goggles	10.34	9.27	10.34	
	BaSO ₄ + Silicon		9.02	12.76	
120	Pb		10.11	16.40	0.51
	Lead goggles	10.71	10.57	12.90	
	BaSO ₄ + Silicon		10.29	15.10	

2. 차폐 물질 변화 적용에 따른 화질 분석

2.1. SNR, CNR 분석

차폐물질과 관전압을 변화 적용 후 SNR 분석 결과, Table 2와 같이 납유리 고글 적용 시 120 kVp 적용 시 SNR이 ROI 1에서 8.14 ± 2.11, ROI 2에서 9.94 ± 1.81, ROI 3에서 8.12 ± 2.01로 가장 높게 측정되었다.

Table 2. SNR analysis according to shielding applied

Protection material	kVp	SNR		
		ROI_1	ROI_2	ROI_3
Pb	80	5.01 ± 3.81	5.71 ± 3.41	2.11 ± 1.99
	100	5.53 ± 3.23	6.69 ± 2.77	5.08 ± 3.01
	120	6.08 ± 3.36	8.27 ± 3.01	6.37 ± 2.41
Lead goggles	80	6.09 ± 3.28	7.51 ± 2.77	7.04 ± 3.57
	100	6.35 ± 2.41	8.01 ± 2.10	8.55 ± 2.51
	120	8.14 ± 2.11	9.94 ± 1.81	9.12 ± 2.01
BaSO ₄ + Silicon	80	5.54 ± 3.41	6.91 ± 2.23	3.91 ± 2.39
	100	6.14 ± 3.14	7.76 ± 2.63	5.28 ± 2.61
	120	7.25 ± 2.95	8.64 ± 2.18	6.43 ± 1.89

CNR 분석결과, Table 3과 같이 납유리 고글 적용 시 120 kVp 적용 시 CNR이 ROI 1에서 15.89 ± 2.99,

ROI 2에서 17.91 ± 2.14 , ROI 3에서 15.61 ± 0.78 로 가장 높게 측정되었다. 특히, 동일 스캔 조건과 동일 영상영역에서 납유리 고글 적용 시 가장 SNR, CNR 높게 측정되었다.

Table 3. CNR analysis according to shielding applied

Protection material	kVp	SNR		
		ROI_1	ROI_2	ROI_3
Pb	80	3.09 ± 2.39	13.02 ± 2.18	8.59 ± 3.02
	100	6.18 ± 4.01	14.29 ± 2.01	11.55 ± 3.82
	120	8.12 ± 3.96	15.57 ± 1.15	13.26 ± 3.18
Lead goggles	80	13.69 ± 2.12	16.59 ± 2.55	12.11 ± 2.13
	100	13.28 ± 3.81	16.88 ± 3.10	12.07 ± 1.12
	120	15.89 ± 2.99	17.91 ± 2.14	15.61 ± 0.78
BaSO ₄ + Silicon	80	5.27 ± 3.59	13.83 ± 2.88	9.25 ± 3.77
	100	8.218 ± 3.63	14.51 ± 1.85	10.93 ± 3.35
	120	11.14 ± 2.51	16.07 ± 1.44	14.20 ± 2.08

2.2. SSIM 분석

차폐체 적용 전과 후 영상의 구조적 유사도를 비교한 결과 Table 4와 Fig. 4에서 보듯이 납유리 고글에서 적용 120 kVp의 관전압 적용 후 10번째 영상 0.939, 15번째 영상 0.955, 20번째 영상 0.971로, 100 kVp에서 10번째 영상 0.904, 15번째 영상 0.911 20번째 영상 0.927로, 80 kVp 에서도 10번째 영상 0.817, 15번째 영상 0.884, 20번째 영상 0.895로 분석되어 SSIM 지수 1 기준에 가장 근접하여 구조적 유사도가 우수한 것을 알 수 있었다.

Table 4. SSIM analysis according to shielding applied

kVp	Reconstruction Algorithm	SSIM		
		10th image	15th image	20th image
120	Pb	0.771	0.855	0.874
	Lead goggles	0.939	0.955	0.971
	BaSO ₄ + Silicon	0.901	0.905	0.914
100	Pb	0.709	0.785	0.851
	Lead goggles	0.904	0.911	0.927
	BaSO ₄ + Silicon	0.883	0.896	0.911
80	Pb	0.694	0.715	0.762
	Lead goggles	0.817	0.884	0.895
	BaSO ₄ + Silicon	0.808	0.875	0.881

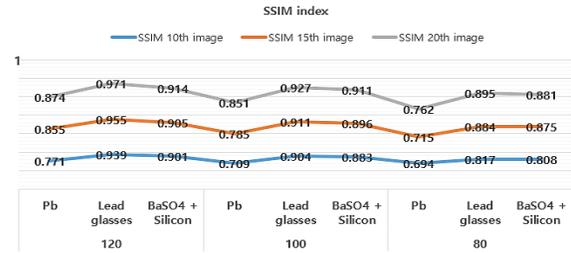


Fig. 4. SSIM analysis according to shielding materials.

IV. DISCUSSION

CT 검사는 일반 X선 촬영보다 영상 분해능이 우수하고 병변에 대한 민감도와 신뢰도가 높아 CT 검사 건수는 매년 증가하고 있다^[8]. CT 영상화 과정은 X선이 발생하여 인체투과 과정에서 감약되고 이때 발생한 감약 데이터를 검출 후 디지털 신호로 변환하여 수학적 계산과정을 거쳐 영상화된다^[9]. 하지만 방사선을 이용하는 기타 영상 의학 검사 중 가장 높은 검사 선량이 수반된다^[10,11]. 즉 방사선 피폭이라는 측면에서 불명예에서 벗어날 수 없어 방사선 피폭을 감소시키기 위한 검사 프로토콜의 개발 등에 다양한 연구들이 진행되고 있다. 방사선량과 화질은 비례하여 선량을 줄이게 되면 화질 측면에서 부족한 점이 많다. CT 스캔 시 방사선 피폭을 줄이기 위해 차폐체를 적용하는 방법도 유용하지만 검사부 위가 일부 포함되면 인공물이 발생하는 경우가 있다^[12]. 그 이유는 CT가 다색방사선 (Polychromatic x-ray)을 이용하기 때문이며 특히 CT 스캔 시 밀도가 높은 인체 구조가 포함된 부위의 스캔 시 선속이 경화되어 인공물이 발생하는 현상과 원인이 동일한 것이다^[13]. 본 연구결과에 의하면 관전압과 차폐체를 변경 적용한 결과 선량의 감소가 있었으나 차폐체 별 감소율은 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다($P > 0.05$). 또한 화질의 변화 분석에서 SNR, CNR 분석에서 납유리 차폐체 적용 시 가장 높게 측정되었고 SSIM 지수 1 기준에 가장 근접하여 구조적 유사도가 높은 것을 알 수 있었다. 우리는 다양한 차폐체 중 임상에서 현재 많이 사용하는 차폐체와 더불어 최근 연구 결과로 시제품화된 황산바륨 실리콘 혼합 차폐체를 대상으로 실험을 하여 결과를 도출하였다. 연구 과정에서

아쉬운 점은 팬텀의 부재로 중심 선량만 측정이 가능한 자체제작 팬텀을 적용하여 주변부 선량 측정을 못한 점과 최근 임상에서 적용되고 있는 비스무트 차폐체 적용 못한 점은 추후 연구를 통해 적용해 봐야 할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구 결과를 임상에 적용한다면 추가 임상연구도 필요하겠지만 차폐체 변화 적용 시 모든 물질에서 선량 감소율의 유의미한 차이 없었기 때문에 머리 CT 스캔 시 방사선에 민감한 장기가 포함된 부위가 스캔 범위 내에 존재하고 화질을 고려해야 하는 상황에서는 납유리 형태의 고글을 환자에게 적용하여 스캔하는 것도 유용할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

차폐체의 적용으로 입사 선량이나 화질의 변화가 발생할 수 있으며 차폐체의 종류에 따라 미치는 영향은 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 CT 스캔 시 차폐체가 화질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 제시하고 있어 차폐체 활용기관에서 차폐체 적용 시 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

Reference

- [1] Y. Han Kang, J. S. Park, "Radiation dose and Lifetime Attributable Risk of Cancer Estimates in 64-slice Multidetector Computed Tomography", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 11, No. 4, pp. 244-252, 2011. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2011.11.4.244>
- [2] S. Y. Seo, M. S. Han, C. G. Kim, M. C. Jeon, Y. K. Kim, G. J. Kim, "A study on the usefulness of a fusion model designed cloak shield to reduce the radiation exposure of the assistant during CT of severely injured patient", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 8, No. 9, pp. 211-216, 2017. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.9.211>
- [3] K. S. Park, W. J. Choi, D. H. Kim, "A Study of the Metal Artifact Reduction using Dual Energy CT : Clinical Applications of Dual Energy and MAR Algorithm", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 15, No. 3, pp. 273-279, 2021. <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.3.273>
- [4] G. Lazzari, A. Terlizzi, M. G. Leo, G. Silvano, "VMAT radiation-induced nausea and vomiting in adjuvant breast cancer radiotherapy: The incidental effect of low-dose bath exposure", Clinical and Translational Radiation Oncology, Vol. 7, pp. 43-48, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2017.09.009>
- [5] S. Shekhar, A. Ajay, A. Agrawal, A. Kumar, M. Kaur, T. Isogai, A. Saad, A. I. Abushouk, O. Abdelfattah, H. Lak, M. Farwati, K. Ahuja, B. R. Verma, K. Wunderle, S. Ellis, J. Khatri, K. Ziada, A. Krishnaswamy, S. Kapadia, "Radiation reduction in a modern catheterization laboratory: A single-center experience", Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions, Vol. 100, No. 4 pp. 575-584, 2022. <https://doi.org/10.1002/ccd.30396>
- [6] M. Weis, T. Henzler, J. W. Jr Nance, H. Haubenreisser, M. Meyer, S. Sudarski, S. O. Schoenberg, K. W. Neff, C. Hagemstein, "Radiation Dose Comparison Between 70 kVp and 100 kVp With Spectral Beam Shaping for Non-Contrast-Enhanced Pediatric Chest Computed Tomography: A Prospective Randomized Controlled Study", Journal of the Investigative radiology, Vol. 52, No. 3, pp. 155-162, 2017. <https://doi.org/10.1097/rli.0000000000000325>
- [7] Y. J. Heo, S. u Yang, and J. K. Park, "A Study on the Non-Toxic Compound-based Multi-layered Radiation Shielding Sheet and Improvement of Properties," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 14, No. 2, pp. 149-155, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.2.149>
- [8] M. Y. Jung, D. C. Kwon, S. I. Kwon, "Effectiveness of bismuth shield to reduce eye lens radiation dose using the photoluminescence dosimetry in computed tomography", Journal of Korean Society Radiological Technologists, Vol. 32, No. 3, pp. 307-312, 2009.
- [9] F. Peyrin, K. Engelke, I. Fleck, M. Titov, C. Grupen, I. Buvat, "CT Imaging: Basics and New Trends", Handbook of Particle Detection and Imaging, pp. 1173-1215, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93785-4_36
- [10] H. Hricak, D. J. Brenner, S. J. Adelstein, D. P. Frush, E. J. Hall, R. W. Howell, C. H. McCollough, F. A. Mettler, M. S. Pearce, O. H. Suleiman, J. H.

- Thrall, L. K. Wagner, "Managing Radiation Use in Medical Imaging: A Multifaceted Challenge", *Journal of Radiology*, Vol. 258, No. 3, pp. 889-905, 2011. <https://doi.org/10.1148/radiol.10101157>
- [11] F. A. Mettler Jr, M. Bhargavan, K. Faulkner, D. B. Gilley, J. E. Gray, G. S. Ibbott, J. A. Lipoti, M. Mahesh, J. L. McCrohan, M. G. Stabin, B. R. Thomadsen, T. T. Yoshizumi, "Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources 1950-2007", *Journal of Radiology*, Vol. 253, No. 2, pp. 520-531, 2009. <https://doi.org/10.1148/radiol.2532082010>
- [12] C. H. Ko, S. P. Lee, Y. C. Hsieh, Y. H. Lee, M. M. Yao, M. S. Yao, W. P. Chan, "Bismuth breast-shield use in chest computed tomography for efficient dose reduction and sufficient image quality", *Journal of Medicine(Baltimore)*, Vol. 100, No. 25, pp. 26277, 2021. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000026277>
- [13] A. J. Vellarackal, A. H. Kaim, "Metal artefact reduction of different alloys with dual energy computed tomography(DECT)", *Scientific Reports*, Vol. 26, No. 2011, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81600-1>

영상 적용 차폐물질에 따른 선량 및 CT 화질 변화 분석

김현주*

동남보건대학교 방사선과

요 약

수정체가 포함된 Brain CT 스캔 조건 중 관전압을 80, 100, 120 kVp로 변화시켜 적용하고 납, 납 고글, 황산바륨 실리콘 혼합 차폐체를 이용하여 선량의 변화를 분석하고, 차폐체가 화질에 영향을 미치는 정도를 SNR, CNR, SSIM 지수 분석방법을 적용하여 비교 분석해 보았다. 그 결과 모든 차폐물질 적용으로 선량 감소는 하였지만, 선량 감소 차는 크지 않은 것으로 분석되었다($P > 0.05$). 또한 차폐물질 적용으로 화질의 변화는 납 고글 적용 시 SNR, CNR이 가장 높았고 SSIM 분석에서도 기준값 1에 가장 근접하여 구조적 유사도가 가장 우수한 것으로 측정되었다. 따라서, 본 연구결과를 기준으로 더욱 다양한 차폐체 적용과 임상실험 결과를 도출하여 적용한다면 차폐체 활용 검사 시 영상 적용기준에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 방사선차폐, 납, 납 고글, 황산바륨, 실리콘, 화질

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김현주	동남보건대학교 방사선과	교수