

A Study of Radiation Dose Reduction using Bolus in Medical Radiation Exam

Jeong-Min Seo*

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: October 30, 2023. Revised: November 20, 2023. Accepted: November 30, 2023.

ABSTRACT

Dose limits are not applied to medical radiation exposure therefore justification and optimization should be essential for protecting radiation. This study explores methods to reduce exposure dose undergoing general radiation exam by bolus(tissue equivalent material) with keeping image quality. Hand PA projection with 50 kVp, 5 mAs, SID 100 cm, and 8×10 inch is referred by covered bolus of thickness 0, 3, 5, 8, and 10 mm for evaluation entrance dose and SNR. The entrance dose (μGy) to the hand by bolus thickness was 125.41 ± 0.288 , 106.85 ± 0.255 , 104.97 ± 0.221 , 91.68 ± 0.299 , and 90.94 ± 0.106 showing a significant reduction in radiation exposure depending on if the bolus was used and bolus thickness. The SNR of the image was 13.997, 13.906, 12.240, 12.538, and 12.548 at each bolus thickness, showing no significant difference. It was confirmed that if appropriate thickness and size of bolus is used depending on the type of radiological imaging exam and the body site, a significant radiation dose reduction effect can be achieved without deteriorating image quality.

Keywords: Exposure, Dose Reduction, Bolus, Tissue Equivalent Material

I. INTRODUCTION

의료진단을 위한 방사선영상 획득의 과정에서 영상검사의 대상이 되는 인체에 대한 방사선 피폭은 피하기 어려운 문제이다. 방사선피폭으로 인한 장해의 발생을 줄이거나 피하기 위하여 정당화, 최적화, 선량한도라는 방사선방호의 원칙이 준수되어야 하지만 의료분야에서는 선량한도를 적용하지 않아 의료방사선검사로 인한 피폭선량의 관리는 더욱 절실하다고 할 수 있다.

의료영상검사에서 발생하는 방사선피폭선량의 관리를 위하여 ICRP135에서는 진단참조준위를 제시하고 있다^[1]. 보건복지부에서는 우리나라의 실정에 맞는 진단참조수준을 제공하고 있으며^[2] 또한 검사영역에서의 의료방사선피폭의 적절성 및 안전관리평가기준을 개발하여 임상현장에 제공하고 있다^[3].

이러한 기준들을 준수하며 피폭선량을 저감하기

위하여 디지털장비의 자동노출제어를 사용하는 연구^[4], 부가필터를 적용하는 연구^[5], 진단용 다엽콜리메이터를 개발하여 피폭선량을 감소시키는 연구^[6] 등이 다양하게 시도되고 있다.

방사선영상검사에서는 피폭선량의 감소와 함께 영상의 화질도 중요하게 고려되어야 하며 단순히 피폭선량을 저감하는 것만 만족시키는 것은 자칫 영상의 화질에 영향을 주어 진단의 질을 저하시키는 원인이 될 수도 있다. 그러므로 선량감소와 영상화질의 변화를 함께 연구하는 것이 필요하다^[7-9].

본 연구에서는 방사선치료에서 인체표면의 피부선량 증가를 위하여 사용하며 치과영상분야에서 환자피폭선량을 저감하는 용도로 연구된 바 있는 조직등가물질 볼루스(bolus)를 방사선영상검사에 적용하여 환자의 피폭선량을 저감하면서 동시에 적절한 영상의 화질을 유지할 수 있는 방법과 범위를 확인하였다. 빌드업 현상이 발생하지 않는 영상

* Corresponding Author: Jeong-Min Seo

E-mail: thomas8@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0581

의학검사 영역의 저에너지 엑스선에 볼루스(bolus)를 적용하면 피부보호효과와 함께 방사선발생장치로부터의 누설선량 및 산란선량과 2차 방사선으로 인한 검사부위의 피폭선량 기여에 대한 차폐체 역할을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

II. MATERIAL AND METHODS

일반엑스선영상검사의 기본적인 검사 중 하나인 손 후전방향(hand PA projection) 영상검사에서 조직등가물질 볼루스(bolus)를 적용하여 피폭선량의 감소와 영상의 화질변화를 확인하였다.

연구에 사용된 조직등가물질 볼루스(bolus, 30 × 30 cm², Super-Flex Bolus Bolx 1, RPD Inc., USA)는 인체조직에 등가인 고분자물질로 밀도 1.03 g/cm³, 전자밀도 1.02로 균일한 밀도분포를 가졌으며 인체조직 위에 올려 볼루스(bolus)의 두께만큼 인체조직이 더해지는 효과를 가질 수 있다. 본 연구에서는 각 3, 5, 10 mm 세 종류 두께의 볼루스(bolus)를 사용하였다. 선량의 측정과 영상의 획득을 위하여 진단용 방사선발생장치(REX-650R, Listem, ROK)를 이용하여 특정 조사조건인 방사선을 조사하였다. 엑스선 조사조건은 영상의학검사에서의 표준촬영기법^[10]에서 제시하는 손 후전방향 촬영조건인 관전압 50 kVp, 관전류량 5 mAs, SID 100 cm에 조사면 크기는 18×24 cm (8×10 inch)를 적용하였다.

볼루스(bolus)의 두께에 따른 선량측정에는 싱글 채널 선량계(Dosimax Plus, IBA, US, Calibrated 16.02.2023, Error after Adjustment 0.07%(RQA5, 2.9 mmAl), 0.00%(RQA5, 24 mmAl))를 사용하였으며 영상의 획득에는 DR장치(Xmaru 1717SG, Rayence, ROK)를 사용하였고 손 후전방향의 영상획득을 위하여 상지부위 팬텀(Forearm-hand parts, PBU-50, KyotoKagaku, Japan)을 사용하였다.

1. 조직등가물질의 적용 두께에 따른 선량 측정

영상을 획득하기 위한 엑스선이 볼루스(bolus)를 투과한 후의 팬텀 표면의 입사선량을 측정하였다. 손 팬텀의 제3중수골단에 Fig. 1과 같이 선량계를 고정하고 볼루스(bolus)가 없는 상황의 선량과 볼루스(bolus)를 손 팬텀과 선량계위에 올려놓은 상황에

서의 선량을 측정하였다. 볼루스(bolus)의 두께는 3, 5, 8, 10 mm로 다양하게 적용하였으며 각 두께별로 10회 반복 측정하고 SPSS (SPSS Statistics 26, IBM, US)를 이용하여 비교하였다.



Fig. 1. Set-up detector covered by bolus for measuring entrance dose on the hand phantom.

2. 조직등가물질 적용 두께에 따른 영상화질 분석

볼루스(bolus)의 적용에 따른 화질의 분석을 위하여 Fig. 2와 같이 손 팬텀과 볼루스(bolus)를 세팅하고 볼루스(bolus)를 각 0, 3, 5, 8, 10 mm 적용한 DICOM 영상을 획득한 후 ImageJ(National Institute of Health, USA)를 이용하여 모든 영상에서 동일한 관심영역을 Fig. 3과 같이 선정하고 영상의학검사에서의 표준촬영기법^[10]에서 제시하는 식인 Eq. (1)을 이용하여 SNR을 확인하였다.

$$SNR = \frac{|S_{mean} - N_{mean}|}{\sqrt{S_{SD}^2 + N_{SD}^2}} \quad (1)$$

SNR : signal-to-noise ratio

S_{mean} : Signal mean value

N_{mean} : Noise mean value

S_{SD} : Signal standard deviation

N_{SD} : Noise standard deviation

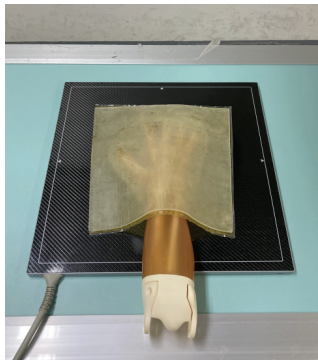


Fig. 2. Set-up hand phantom covered by bolus for detecting image



Fig. 3. ROI and background region for evaluation SNR.

III. RESULT

1. 조직등가물질 적용 두께에 따른 선량 비교

팬텀의 입사선량을 볼루스(bolus) 두께별로 10회 반복 측정 한 데이터의 정규성 만족여부(Shapiro-Wilk test, all $p > .05$)를 확인한 후 일원배치분산분석과 Duncan 사후분석으로 비교하였다. 볼루스(bolus)의 적용 두께에 따른 팬텀에 대한 입사선량은 Table 1 과 같다. 볼루스(bolus)를 적용하지 않는 입사선량과 볼루스(bolus)를 3, 5, 8, 10 mm 적용한 입사선량 측정값은 모든 그룹 간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났으며 각 두께별 측정값들의 변동계수는 모두 0.05 이하를 나타내었다. 또한 볼루스(bolus)를 적용하지 않는 선량을 기준으로 볼루스(bolus)의 두께를 3, 5, 8, 10 mm로 적용한 팬텀 표면 입사선량의 감소 비율은 3 mm 볼루스(bolus) 적용 시 14.80%, 5 mm 볼루스(bolus) 적용 시 16.30%, 8 mm 볼루스(bolus) 적용 시 26.90%, 10 mm 볼루

스(bolus) 적용 시 27.48%의 선량감소를 보였다.

Table 1. Entrance dose on the phantom by bolus thickness

Bolus thickness	Dose		ANOVA			Dose reduction
	Mean \pm SD	CV	F	p	Duncan	
No bolus	125.41 \pm 0.288	0.0023			a	0
3 mm	106.85 \pm 0.255	0.0024			b	14.80
5 mm	104.97 \pm 0.221	0.0021	33092.58	<.001	c	16.30
8 mm	91.68 \pm 0.299	0.0033			d	26.90
10 mm	90.94 \pm 0.106	0.0012			e	27.48

Dose : mean \pm SD [uGy]
 CV : coefficient of variation
 Duncan : same letter not significant
 Dose reduction (referred in dose without bolus) : %

2. 조직등가물질 적용 두께에 따른 영상화질 비교

볼루스(bolus)를 적용하지 않는 손 후전방향 영상과 볼루스(bolus)를 3, 5, 8, 10 mm 적용한 영상을 Fig. 4와 같이 획득하였다.



(a) Image with no bolus



(b) Image with 3 mm bolus



(c) Image with 5 mm bolus



(d) Image with 8 mm bolus



(e) Image with 10 mm bolus

Fig. 4. Hand PA images for measuring SNR.

각 영상의 SNR은 Table 2와 같으며 볼루스(bolus)를 사용하지 않는 영상에서 13.997, 3 mm 볼루스(bolus) 적용 시 13.906, 5 mm 적용 시 12.240, 8 mm 적용 시 12.538, 10 mm 적용 시 12.548로 나타났다. 볼루스(bolus)를 적용한 영상에서 약간의 SNR 저하가 있었으나 큰 차이를 보이지 않았으며 모든 영상에서 영상의학검사에서의 표준촬영기법^[10]에서 제시하는 표준촬영 조건에 따른 SNR 2.75를 모두 상회하는 결과를 보였다.

Table 2. SNR in each image by bolus thickness

Bolus thickness (mm)	0	3	5	8	10
SNR	13.997	13.906	12.240	12.538	12.548

IV. DISCUSSION

의료진단영역에서의 방사선검사로 인한 피폭선량은 법적 선량한도에 적용되지 않는다. 그러므로 방사선방호를 위한 정당화와 최적화가 더욱 철저하게 이루어질 필요가 있다. 성인에 대한 검사는 물론이며 특히 소아방사선영상검사에서는 매우 낮은 피폭선량이라도 최소화하려는 노력이 필요하다^[11]. 의료진단영역의 방사선 피폭선량 저감을 위한 노력으로 Hong 등의 연구에서 유방영상검사 시 압박대의 재질에 따른 피폭선량 감소 방안을 연구하였으며^[12] 이처럼 인체에 접촉하는 물체를 활용한 피폭선량 감소를 위한 연구가 많이 시도되고 있다. 이와 유사하게 방사선치료 분야에서 인체 연부조직의 증가효과를 위하여 사용하는 조직등가물질 볼루스(bolus)를 이용한 피폭선량의 감소효과를 연구한 사례를 찾아 볼 수 있다. 특히 유방암 치료와 관련하여 Won 등의 연구에서 볼루스(bolus)를 이용한 피부선량 감소를 확인한 결과를 찾아 볼 수 있으며^[13] Kim 등의 연구에서 치료 반대편 유방의 피폭선량 저감을 위하여 볼루스(bolus)를 사용하였다^[14].

치과영상의학검사 분야에서 볼루스(bolus)를 사용한 갑상선 피폭선량 저감을 위한 연구가 다양하게 시도되었으며 Lee 등의 연구에서 치과 콘빔CT 검사 시 영상의 품질저하 없이 볼루스(bolus)를 이

용하여 갑상선 피폭선량이 약 20% 이상의 감소효과를 보이고 있고^[15] Lee 등의 연구에서도 볼루스(bolus)를 20 mm 두께까지 갑상선보호대로 사용하여 두께에 따라 최대 40% 이상의 피부표면선량 감소를 이루며 진단에는 지장이 없는 영상평가 결과를 보이고 있다^[16].

본 연구의 결과에서 확인한 바와 같이 손 후전방향 영상검사에서 볼루스(bolus) 10 mm 사용 시 영상의 질 저하를 크게 발생시키지 않으며 약 27%의 표면선량 저감 효과를 가질 수 있음을 확인하였다. 방사선치료분야에서는 고에너지 방사선을 적용하기 때문에 볼루스(bolus)를 사용하면 빌드업 현상으로 인하여 피부표면선량이 증가하게 된다. 반면 본 연구는 영상의학검사 분야에서 사용하는 저에너지 엑스선을 적용하였으므로 빌드업 현상이 없어 주선속에 의한 검사부위 표면선량이 감소하는 효과를 보이고 있음을 알 수 있다.

다양한 두께의 볼루스(bolus)를 사용하여 획득한 영상을 비교하면 Fig. 4에서 볼 수 있는 것처럼 영상 화질의 차이가 크게 나타나지 않음을 확인할 수 있어 적절한 볼루스(bolus)의 사용은 영상의 질 저하 없이 피폭선량 저감효과를 가질 수 있는 적절한 방법인 것으로 사료된다.

엑스선 조사조건인 관전압 및 관전류량의 값을 낮추어 적용하면 검사부위에 대한 피폭선량의 저감으로 연결될 수 있으나 검사영상의 질적 변화가 초래될 수 있으며 방사선발생장치 및 선원과 검사부위 사이의 공기 등에서 발생하는 누설선량 및 산란선량의 영향은 피할 수 없다. 볼루스(bolus)의 적용은 검사부위의 피폭선량에 영향을 주는 연선을 흡수하여 제거함으로써 검사영상의 화질에 큰 변화를 주지 않으며 검사부위의 피폭선량을 저감화할 수 있는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 손 후전방향 영상에 대해서 인체 표면의 입사선량과 영상의 품질을 비교하는 수준으로 진행한 한계점이 있으며 다양한 검사 종류 및 부위에 대한 연구가 추가적으로 이루어지고 향후 연구를 통하여 입사선량과 함께 부위별 흡수선량 변화를 확인하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSIONS

의료영상검사 과정에서 발생하는 방사선피폭은 피할 수 없는 것이지만 최적화를 통한 피폭선량의 저감화 노력이 반드시 필요하다. 본 연구에서 확인한 조직등가물질 볼루스(bolus)의 적용을 통하여 방사선영상검사에서 화질의 큰 저하 없이 피폭선량의 저감 효과를 가질 수 있음을 확인하였다.

방사선영상검사의 종류와 검사 부위에 따라 적절한 두께와 크기의 볼루스(bolus)를 사용한다면 효과적이고 유의한 피폭선량 저감을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This paper was supported by RESEARCH FUND offered from Catholic University of Pusan

Reference

[1] E. Vano, D.L. Miller, C.J. Martin etc., *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*, ICRP No. 135, 2017.

[2] Korea Center for Disease Control & Prevention, *Guidelines of Diagnostic Reference Level(General Radiography)*, Ministry of Health and Welfare, Korea, 2019.

[3] The Korean Society of Radiology, *Final Report on the Development of Evaluation Standards for Appropriateness and Safety Management of Medical Radiation in Diagnosis*, Health Insurance Review & Assessment Service in Korea, 2018

[4] S. G. Shin, "Reducing Methods of Patient's Exposed Dose Using Auto Exposure Control System in Digital Radiography", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 111-122, 2013.

[5] S. I. Shin, C. Y. Kim, S. C. Kim, "The Study on the Reduction of Patient Surface Dose Through the use of Copper Filter in a Digital Chest Radiography", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 31, No. 3, pp. 223-228, 2008.

[6] S. C. Han, S. W. Park, "Monte Carlo Simulation for Development of Diagnostic Multileaf Collimator",

Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 39, No. 4, pp. 595-600, 2016.

<https://doi.org/10.17946/JRST.2016.39.4.15>

- [7] J. H. Hwang, K. M. Jung, H. S. Kim, B. S. Kang, K. B. Lee, "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*, Vol. 40, No. 3, pp. 393-400, 2017.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2017.40.3.06>
- [8] J. S. Lee, C. S. Kim, "The Additional Filter and Ion Chamber Sensor Combination for Reducing Patient Dose in Digital Chest X-ray Projection", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 3, pp. 175-181, 2015. <https://doi.org/10.7742/jksr.2015.9.3.175>
- [9] G. S. Bok, S. H. Kim, "Effect of Patient Size on Image Quality and Dose Reduction after Added Filtration in Digital Chest Tomosynthesis", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 1, pp. 23-30, 2018. <https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.1.23>
- [10] Y. H. Lee, *Standard Protocol of General Radiography in Korea*, Ministry of Food & Drug Safety, 2014.
<https://doi.org/10.23000/TRKO201400011825>
- [11] D. W. Sung, "Radiation exposure in diagnostic areas: issues and countermeasures", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 54, No. 12, pp. 1246-1247, 2011.
<https://doi.org/10.5124/jkma.2011.54.12.1246>
- [12] D. H. Hong, "Reduction of Exposure Dose of Mammography by Comparison of Compression Paddle Material", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 42, No. 6, pp. 455-460, 2019.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2019.42.6.455>
- [13] Y. J. Won, J. W. Kim, J. H. Kim, "Bolus Effect to Reduce Skin Dose of the Contralateral Breast During Breast Cancer Radiation Therapy", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 40, No. 2, pp. 289-295, 2017.
<http://doi.org/10.17946/JRST.2017.40.2.15>
- [14] J. B. Kim, S. H. Shin, "Evaluation of Absorbed Dose according to the Use of Bolus in Opposite Breast during Radiation Therapy of Breast Cancer using VMAT", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 6, pp. 763-768, 2018.

<http://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.6.763>

- [15] T. H. Lee, S. H. Jeong, D. W. Kim, M. H. Park, T. H. Kim, "Radiation Protective Effect of the Thyroid Gland Using Bolus Protector in the Dental Cone Beam Computed Tomography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 3, pp. 459-464, 2019.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.3.459>
- [16] H. L. Lee, H. W. Choi, H. Y. Kim, H. M. Lee, C. S. Lim, "The Effects of a Thyroid Shield Made of a Tissue-Equivalent Material on the Reduction of the Thyroid Exposure Dose in Panoramic Radiography", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 5, pp. 2278-2284, 2012.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.2278>

블루스를 이용한 방사선영상검사 피폭선량저감 연구

서정민*

부산가톨릭대학교 방사선학과

요 약

방사선영상검사에서 발생하는 피폭선량에 대한 선량제한이 없으므로 방사선방호를 위한 정당화와 최적화가 반드시 필요하다. 조직등가물질 블루스를 이용하여 방사선영상검사로 인한 피폭선량을 저감하면서 동시에 영상화질을 유지할 수 있는 범위를 확인하였다. 손 후전방향 프로젝션을 기준으로 50 kVp, 5 mAs, SID 100 cm, 8×10 inch 조건으로 블루스를 0, 3, 5, 8, 10 mm 적용하여 손 부위 입사선량과 영상의 SNR을 확인하였다. 블루스의 두께별 손 부위 입사선량(μGy)은 각각 125.41 ± 0.288 , 106.85 ± 0.255 , 104.97 ± 0.221 , 91.68 ± 0.299 , 90.94 ± 0.106 으로 나타나 블루스의 사용여부와 그 두께에 따라 유의한 피폭선량 감소를 보였다. 영상의 SNR은 블루스 각 두께에서 13.997, 13.906, 12.240, 12.538, 12.548로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 방사선영상검사의 종류와 검사 부위에 따라 적절한 두께와 크기의 블루스를 사용한다면 영상화질의 저하 없이 유의한 피폭선량 저감효과를 볼 수 있음을 확인하였다.

중심단어: 피폭선량, 선량감소, 블루스, 조직등가물질

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수