

Investigation of Tube Voltage Range using Dose Comparison based on Effective Detector Exposure Index in Chest Radiography

Jina Shim¹, Youngjin Lee^{2,*}

¹Department of Radiology, Severance hospital

²Department of Radiological Science, College of Health Science, Gachon University

Received: February 22, 2021. Revised: April 21, 2021. Accepted: April 30, 2021.

ABSTRACT

This study is to confirm the range of tube voltage for Chest X-ray in DR system by comparing with dose area product (DAP) and effective dose in efficient detector exposure index (DEI) range. GE definium 8000 was used to for the phantom study. The range of tube voltage is 60~130 kVp and of mAs is 2.5~40 mAs. The acquired images were classified into efficient DEI groups, then calculated effective dose with DAP by using a PC-Based Monte Carlo Program 2.0. The signal to noise ratio (SNR) was measured at 4 regions, including the thoracic spine, the lung area with the ribs, the lung area without the ribs, and the liver by using Picture Archiving and Communication System. The significance of the group for each tube voltage was verified by performing the kruskal-wallis test and the mann-whitney test as a post-test. When set to 4 groups dependedn on the tube voltage, DAP showed significant differences; 60 kVp and 80 kVp, and 60 kVp and 90 kVp (p= 0.034, 0.021). Effective dose exhibited no statistically significant differences from the all of the group (p>0.05). SNR exhibited statistically significant differences from the all of the group in the liver except compared to 80 kVp and 90 kVp (p<0.05). Therefore, high tube voltages of 100 kVp or more need to be reconsidered in terms of patient dose and imaging in order to represent an appropriate chest X-ray image in a digital system.

Keywords: Chest X-ray, Detector exposure index (DEI), Tube voltage, Effective dose

I. INTRODUCTION

디지털 영상은 넓은 동적 영역을 가지며 후처리가 용이하다는 장점을 가지고 있어 의료영상의 사용에서 영상의 질을 높이고 진단의 가치를 올리는 데 유용하다^[1,2]. 그러나 한편으로는 필름을 사용하여 검사하던 것에 비해 방사선을 남용할 위험이 있다^[3]. 왜냐하면 필름을 사용하여 검사할 때는 방사선 선량이 과다하게 노출되었을 때 적절한 영상을 획득할 수가 없기 때문이다. 하지만 디지털 영상은 넓은 관용도를 가지고 있어 선량이 과다하게 노출되었을 때에도 이를 보상하는 후처리에 의해 영상 품질을 유지할 수 있다. 따라서 방사선사가 검사시 방사선량과 이미지 품질에 대한 상관관계를 인

지하는 데 둔감해질 수 있다. 또한 방사선 영상을 획득하고 삭제하는 과정이 필름에 비해 비교적 간단하고 비용이 발생하지 않아 잦은 재촬영이 발생할 우려가 있다.

그 중에서도 흉부 X-ray는 방사선 일반촬영 검사 중에서 가장 기본적으로 수행하는 검사로서 환자 및 일반 수검인까지 검사하기 때문에 검사 빈도가 가장 높아 디지털 환경에서 선량과다 문제에 노출될 위험이 높다. 국가건강검진 수검률이 점점 증가하고 있어 흉부 X-ray 검사 건수 또한 증가하고 있지만 흉부 X-ray의 방사선 선량은 다른 방사선 검사에 비해 적기 때문에 선량 관리를 간과하기 쉽다^[4]. 이를 대변하듯 방사선 선량을 조절하는 파라미터 중 하나인 관전압은 각 기기회사에서도 아날로

* Corresponding Author: Youngjin Lee

E-mail: yj20@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4362

Address: 191 Hambangmea-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

그 촬영에서부터 사용하던 고관전압을 권고하고 있으며 현재도 고관전압을 사용하고 있다. 흉부 X-ray 영상에서 고관전압을 사용함으로써 얻을 수 있었던 이점이 있지만 넓은 동적영역을 가진 디지털 영상에서 고관전압이 주는 영향에 대해 고찰해 볼 필요가 있다. 이전 연구 논문에 따르면 고관전압으로 얻은 영상에 비해 낮은 관전압의 영상이 비슷한 영상의 질을 보이면서 더 낮은 피폭선량을 나타내었다^[5]. 또한 다른 연구에서는 낮은 관전압의 영상이 흉부 영상에서 임상적으로도 진단적 가치가 있음을 보고하였다^[6]. 이러한 연구들은 디지털 환경에서 흉부 X-ray 검사 시 환자의 진단적 가치 및 환자가 받는 방사선 피폭에 있어서 고관전압의 사용이 절대적이지 않다는 것을 시사하는 중요한 단서가 된다.

디지털 일반 촬영 장비는 Detector에 조사된 입사 방사선에 비례하여 디지털 영상의 화질을 간접적이고 효율적으로 나타낼 수 있는 지표를 나타내는데 이를 Exposure Index (EI)라 불린다. 이는 디지털 방사선 업체가 Signal to noise ratio (SNR)를 대신하여 Detector에 조사된 조사량에 관한 환류를 의료 방사선 종사자에게 제공하기 위하여 디지털 영상 화질의 간접적인 지표로서 고안된 수치이다. EI는 International Electrotechnical Commission와 The American Association of Physicists in Medicine 및 디지털 방사선 시스템 제조업자들과의 협력을 통해 디지털 의료 영상에 대한 국제적인 기준으로 고안되었다. 이러한 공인된 EI의 사용으로 의료 방사선 종사자 검사 수행 능력을 최적화시킬 수 있을 뿐만 아니라, X-ray 검사 시, 의료 방사선 종사자에게 적절한 매뉴얼을 제공할 수 있으며, 이는 소아나 방사선 민감도가 상대적으로 높은 환자들의 방사선 촬영검사에 큰 도움을 줄 수 있다.

본 논문에서는 흉부 X-ray 검사 시 방사선사가 디지털 환경에서 선량의 과도함과 부족함을 직관적으로 알 수 있게 설정해놓은 EI를 고려함과 동시에 유효선량을 계산하여 적절한 관전압 범위를 찾아보고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 검사 장비 및 방법

흉부 X-ray를 재현하기 위하여 흉부 팬텀을 사용하였다. 사용된 장비로는 GE사의 Definium 8000 (GE medical system, milwaukee)이고 획득한 영상의 기술적인 정보를 얻은 Software는 GE PACS system (GE Centricity Radiology RA 1000, GE Medical Systems, Milwaukee, WI)을 사용하였다. 팬텀의 자세는 후전방향으로 검사하였으며 Source to image distance는 180 cm를 사용하였고 부가 필터로는 알루미늄 2 mm를 사용하였다. 사용된 관전압은 60 kVp, 70 kVp, 80 kVp, 90 kVp, 100 kVp, 110 kVp, 120 kVp, 130 kVp 총 8개로 설정하였다. 관전압에 따른 적정 관전류의 범위를 알아보기 위해 현재 사용하고 있는 Auto exposure control을 적용하여 검사하였을 때, 60 kVp에서는 40 mAs, 130 kVp에서는 2.5 mAs를 기준으로 하였다. 위에서 정한 기준 관전류를 바탕으로 실험에 사용된 관전류는 2.5 mAs, 3.2 mAs, 4.0 mAs, 5.0 mAs, 6.3 mAs, 8.0 mAs, 10 mAs, 12.5 mAs, 16 mAs, 20 mAs, 25 mAs, 32 mAs, 40 mAs 총 13개로 설정하였다. 각 조건별 선량을 파악하기 위해 장비에서 제공하는 Dose area product (DAP) 값을 사용하였다. 실험에서 설계된 총 8개의 관전압과 13개의 관전류에 따라 각각 조사한 총 104개의 영상은 PACS system에 모두 전송되었고 이를 통해, kVp, mAs, DAP, Image Row, Column, Image Pixel Spacing 정보를 획득하였다.

본 연구에서는 GE사에서 자체적으로 구축한 Detector Exposure Index (DEI)를 사용하여 영상의 적정 농도에 대한 기준으로 삼았다. 흉부 X-ray 검사 시 적절한 유효 DEI 범위는 0.2에서 0.6이고, 이를 기준으로 DEI 값 0.2 이하는 최적화된 흉부영상을 만들기에는 X-ray 양이 부족한 것을 의미하고, DEI 값 0.6 이상은 최적화된 흉부영상을 위한 X-ray 양보다 더 많은 양이 사용되었음을 의미한다. 이를 통해 DEI를 기준으로 적정영상 범위인 DEI 0.2 이상 0.6 이하의 영상들을 분류하고 실측 값 DAP를 이용하여 PC-based Monte Carlo (PCXMC, STUK, Helsinki, Finland) 시뮬레이션을

통해 유효선량을 얻었다.

2. PCXMC

PCXMC는 몬테카를로 기법을 기초로 하는 컴퓨터 프로그램으로, 일반촬영 영상과 투시 영상의 검사 시 환자의 장기선량과 유효선량을 계산할 수 있게 만들어진 프로그램이다. 29개의 장기와 조직 선량을 계산할 수 있을 뿐만 아니라, International Commission on Radiological Protection (ICRP)103을 준수하는 조직 하중계수와 ICRP60을 준수하는 조직 하중계수로 각각의 유효선량을 계산할 수 있다. PCXMC는 체적 변동이 심한 소아 및 성인의 모델까지 모두 선량 계산이 가능하며, X-ray 검사 조건에 따른 자유로운 선택을 지원한다. PCXMC를 통해 계산된 장기선량은 실제로 방사선 피폭에 기인한 Cancer risk의 평가에 사용될 수 있으며 이 Risk 평가는 BEIR VII 위원회의 모델에 기인하고 있다. 실험 조건에 따른 유효선량을 계산하기 위해 성인 남자 Phantom (175 cm, 73.5 kg)을 사용하였으며, Tube anode angle은 12.5°, 사용된 필터로는 알루미늄 2.7 mm를 사용하였고 측정된 DAP를 기입하였다. 시뮬레이션에 사용되는 광자의 수는 10,000개 이상을 권고하기 때문에, 충분한 광자의 수를 사용하기 위해 20,000개를 적용하였다.

3. 영상 평가

선량에 따라 획득한 영상의 정량적 평가를 하기 위해 PACS를 이용하여 흉추, 갈비뼈가 포함된 폐야부위, 갈비뼈가 포함되지 않은 폐야부위, 간 등 총 네 부분의 SNR를 측정하였다. 원형의 Region of interest (ROI)를 주변 다른 조직이 포함되지 않도록 설정하였으며, 3회 측정하여 평균값을 구하였다. SNR은 ROI의 Gray scale값을 Standard deviation (SD)로 나눈 값으로 계산하였다.

4. 통계적 분석

SPSS(version 21.0, SPSS Inc Chicago, IL, USA) 통계 패키지 프로그램을 사용하여 신뢰구간 95%에서 그룹 간 유의성을 검증하였다. DEI 0.2 값부터 0.6 값까지 분류된 영상들 중 관전압으로 그룹지어 총 네 그룹 (60~90 kVp) 별로 Kruskal Wallis test를 시

행하였고 사후검정으로 Mann-Whitney를 시행하였다.

III. RESULT

1. 선량 평가

실험에서 설계된 총 8개의 관전압과 13개의 관전류에 따라 각각 조사한 총 104개의 영상을 얻었고 그 중 적정한 유효 DEI 범위는 0.2에서 0.6에 속하는 영상은 총 16개 영상이다. 16개의 영상 중 60 kV에 해당하는 영상은 4개, 70 kV는 5개, 80 kV는 4개, 90 kV는 3개이다.

1.1. DAP에 따른 분류

장비에서 제공하는 DAP값을 통해 유효 DEI에 속하는 영상의 선량값을 알 수 있었다. 관전압 그룹에 따른 평균 유효선량의 값은 Fig. 1과 같다. 가장 적은 DAP를 나타낸 관전압과 관전류는 90 kVp, 2.5 mAs이며 가장 높은 DAP는 60 kVp, 25 mAs이다. 관전압에 따라 총 네 그룹으로 설정하였을 때, DAP는 60 kVp와 80 kVp 그리고 60 kVp와 90 kVp에서 유의한 차이를 보였다 ($p = 0.034, 0.021$).

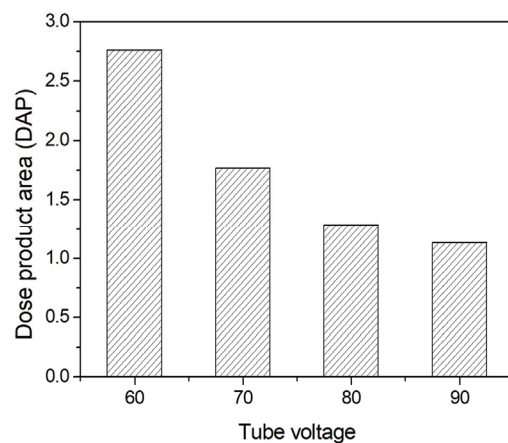


Fig. 1. The graph of average value of DAP depended on tube voltage.

1.2. 유효선량에 따른 분류

16개의 영상에서 얻은 DAP값을 통해 PCXMC에서 유효선량을 얻을 수 있었다. 이 논문에서는 ICRP 103에서 제공하는 조직 하중계수를 통해 유효선량을 얻었다. 관전압 그룹에 따른 평균 유효선

량의 값은 Fig. 2와 같다. 가장 적은 유효선량을 나타낸 관전압과 관전류는 70 kVp, 5 mAs이며 가장 높은 유효선량은 60 kVp, 25 mAs이다. 관전압에 따라 총 네 그룹으로 설정하였을 때, 유효선량은 모든 관전압 그룹에서 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$).

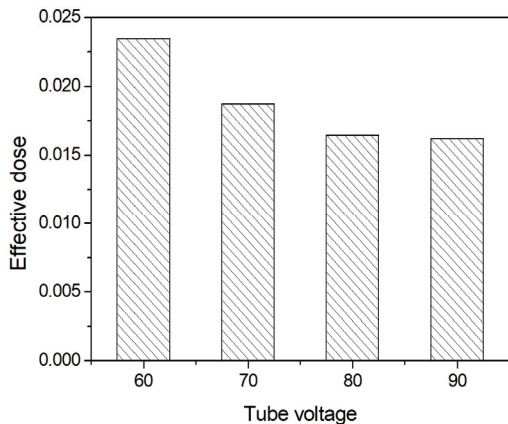


Fig. 2. The graph of average value of effective dose depended on tube voltage.

2. 영상 평가

팬텀의 흉추, 갈비뼈가 포함된 폐야부위, 갈비뼈가 포함되지 않은 폐야부위, 간 등 총 네 부분의 SNR을 측정하였다.

관전압 그룹에 따른 평균 값은 Fig. 3과 같다. 관전압에 그룹에 따라 총 네 부위의 SNR은 80 kVp와 90 kVp를 제외한 모든 그룹에서 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 60 kVp와 70 kVp에서는 간에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=0.014$). 60 kVp와 80 kVp에서는 흉추, 간 등이 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=0.043, 0.021$). 60 kVp와 90 kVp에서는 흉추, 갈비뼈가 포함된 폐야부위, 간 등이 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=0.034, 0.034, 0.034$). 70 kVp와 80 kVp에서는 간 등이 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=0.016$). 70 kVp와 90 kVp에서는 흉추, 간 등이 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p=0.025, 0.025$).

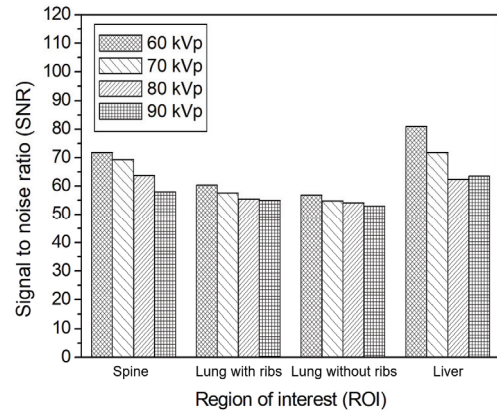


Fig. 3. The graph of average value of SNR at the 4 ROIs, including spine, lung with ribs, lung without ribs and liver depended on tube voltage.

IV. DISCUSSION

디지털 영상의 발전은 아날로그 영상에 비해 방사선 선량을 줄일 수 있을 것이라 예상하였지만 오히려 환자의 피폭선량은 증가하였다^[1,7]. 디지털 환경에서의 과도한 노출은 잘 적용된 이미지 후처리 때문에 검사하는 방사선사도 인식하지 못하였고 또한 영상의학과 의사는 이미 후처리가 되어 만들어진 적절한 농도의 영상을 판독함으로써 아날로그의 검사 조건이 계속해서 사용될 수 있다. 그럼에도 불구하고 다양한 연구들을 통해 디지털 환경에서 환자의 선량을 줄이면서 적절한 농도의 영상을 얻기 위한 노력이 계속되었다^[8-10]. 본 논문에서는 디지털 환경에서 흉부 X-ray의 적절한 관전압 범위를 알아보고자 적절한 DEI를 이용하여 고찰해보았다.

그 결과, 적절한 유효 DEI 범위안에 모든 관전압 범위에서 유효선량은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 또한 영상평가에서는 흉부 X-ray에서 평가 영역인 폐야 부분을 제외한 간 영역에서만 모든 관전압 범위에서 유의미한 차이를 나타내었다. DAP의 경우 60 kVp에서 80 kVp와 90 kVp와 유의미한 차이를 나타내며 높게 나타났는데 이는 낮은 관전압을 사용함으로써 적정농도의 영상을 얻기 위해 높은 관전류를 적용한 것이다. 그러나 90 kVp에 사용한 관전류에 비해 60 kVp에 사용한 관전류는 10

배가 높지만 유효선량에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 무엇보다도 적절한 유효 DEI 범위 안에는 100 kVp 이상의 고관전압이 포함되지 않았다. 다시 말해, 디지털 환경에서 적절한 흉부 X-ray 영상의 농도를 나타내기 위해 100 kVp 이상의 고관전압은 필요 없이, 유효 DEI 안에서의 사용되는 관전압과 관전류에서는 선량의 차이 및 영상의 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

높은 관전압은 환자의 선량에 많은 영향을 주기 때문에 전산화단층촬영에서도 환자의 선량을 낮추기 위해 관전압을 낮출 수 있는 다양한 방법을 시도하였다. Mahesh^[11]의 연구에서는 환자의 체형에 따라 관전압을 낮추어 사용하는 프로토콜을 만들었으며 BMI에 따라 관전압을 선택하여 선량을 감소하기도 하였다^[11,12]. 이처럼 낮은 관전압은 환자의 선량을 감소할 수 있다는 다양한 근거와 디지털 영상에서 넓은 동적 영역을 표현할 수 있으며 뛰어난 영상 후처리 기능을 사용할 수 있다는 장점을 활용한다면 환자의 선량 및 진단 가능한 영상까지 모두 얻을 수 있을 것이다.

이 논문의 한계점은 하나의 장비에 의존하여 흉부 X-ray 검사의 관전압을 평가하였다는 점과 오직 팬텀으로만 평가하여 개개인이 가지는 신체적 특성을 포함하지 못하였고, 병리학적 정보를 평가하지 못하였다는 것이다. 또한 정성적 평가를 하지 못하여 임상적 유의성에 대한 평가가 부족하다는 점이다.

V. CONCLUSION

본 연구를 통해 흉부 X-ray 검사 시 적절한 유효 DEI 범위 안에 있는 영상은 100 kVp 이상의 고관전압이 포함되지 않음을 알 수 있었다. 이는 디지털 환경에서 흉부 X-ray 검사 시 낮은 관전압의 타당성을 확인한 것이며, 이 논문이 환자의 피폭 선량을 낮추는 동시에 진단 가능한 영상을 얻기 위한 토대가 될 수 있음을 시사한다.

Reference

[1] M. B. Williams, E. A. Krupinski, K. J. Strauss, W. K. Breeden, M. S. Rzeszotarski, K. Applegate, M.

Wyatt, S. Bjork, J. A. Seibert, "Digital radiography image quality: image acquisition", *Journal of the American College of Radiology*, Vol. 4, No. 6, pp. 371-388, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.jacr.2007.02.002>

- [2] C. Fink, P. J. Hallscheidt, G. Noeldge, A. Kampschulte, B. Radeleff, W. P. Hosch, G. W. Kauffmann, J. Hansmann, "Clinical comparative study with a large-area amorphous silicon flat-panel detector: image quality and visibility of anatomic structures on chest radiography", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 178, No. 2, pp. 481-486, 2002. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.2.1780481>
- [3] ICRP, "Managing patient dose in digital radiology", ICRP Publication 93, Vol. 34, No. 1, 2003.
- [4] J. W. Gil, J. H. Park, M. H. Park, C. Y. Park, S. Y. Kim, D. W. Shin, W. D. Kim, "Estimated exposure dose and usage of radiological examination of the national health screening", *Journal of Radiation Protection*, Vol. 39, No. 3, pp. 142-149, 2014. <https://doi.org/10.14407/jrp.2014.39.3.142>
- [5] B. Park, D. W. Sung, "A comparative study of image quality and radiation dose with changes in tube voltage and current for a digital chest radiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 62, No. 2, pp. 131-137, 2010. <https://doi.org/10.3348/jksr.2010.62.2.131>
- [6] M. Uffmann, U. Neitzel, M. Prokop, N. Kabalan, M. Weber, C. J. Herold, C. Schaefer-Prokop, "Flat-panel-detector chest radiography: effect of tube voltage on image quality", *Radiology*, Vol. 235, No. 2, pp. 642-650, 2005. <https://doi.org/10.1148/radiol.2352031730>
- [7] S. J. Anthony, "Digital radiography: image quality and radiation dose," *Health Physics*, Vol. 95, No. 5, pp. 586-598, 2008. <https://doi.org/10.1097/01.hp.0000326338.14198.a2>
- [8] W. P. Hosch, C. Fink, B. Radeleff, A. Kampschulte, G. W. Kauffmann, J. Hansmann, "Radiation dose reduction in chest radiography using a flat-panel amorphous silicon detector", *Clinical Radiology*, Vol. 57, No. 10, pp. 902-907, 2002. <https://doi.org/10.1053/crad.2002.0995>
- [9] O. W. Hamer, C. B. Sirlin, M. Strotzer, I. Borisch, N. Zorger, S. Feuerbach, M. Völk, "Chest

radiography with a flat-panel detector: image quality with dose reduction after copper filtration", *Radiology*, Vol. 237, No. 2, pp. 691-700, 2005.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2372041738>

- [10] Z. Sun, C. Lin, YS. Tyan, K-H. Ng, "Optimization of chest radiographic imaging parameters: a comparison of image quality and entrance skin dose for digital chest radiography systems", *Clinical Imaging*, Vol. 36, No. 4, pp. 279-286, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2011.09.006>
- [11] M. Mahesh, *MDCT physics: the basics-technology, image quality and radiation dose*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2009.
- [12] B. B. Ghoshhajra, L-C. Engel, G. Petra, D. Verdini, M. Sidhu, M. Károlyi, S. Abbara, U. Hoffmann, M. Kalra, T. J. Brady, "Direct chest area measurement: a potential anthropometric replacement for BMI to inform cardiac CT dose parameters?", *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, Vol. 5, No. 4, pp. 240-246, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.jcct.2011.06.003>

흉부 X-ray 검사 시 선량 비교를 활용한 유효 Detector Exposure Index 기반의 적절한 관전압 범위 제안

심지나¹, 이영진^{2,*}

¹세브란스 병원 영상의학과

²가천대학교 보건과학대학 방사선학과

요약

본 연구는 흉부 X-ray 검사 시 디지털 영상의 적절한 유효 Detector exposure index (DEI) 범위 내의 영상의 Dose area product (DAP)값과 유효선량을 비교함으로써 적절한 관전압의 범위를 확인하고자 하였다. GE Definium 8000을 사용하여 흉부팬텀을 이용한 Chest PA 검사를 재현하였다. kVp range는 60~130 kVp, mAs range는 2.5 ~ 40 mAs로 설정하였다. 획득한 영상을 유효한 DEI 범위의 영상으로 분류하고 측정된 DAP을 이용하여 PC-Based Monte Carlo Program을 통해 유효선량을 계산하였다. 영상의 정량적 평가를 하기 위해 Picture archiving and communication system을 이용하여 흉추, 갈비뼈가 포함된 폐야부위, 갈비뼈가 포함되지 않은 폐야부위, 간 등 총 네 부분의 Signal to noise ratio (SNR)를 측정하였다. 관전압 별 그룹의 유의성은 Kruskal-wallis test와 사후검정으로 Mann-whitney test를 시행하여 검증하였으며 검증에 사용된 신뢰구간은 95%이다. 총 13개의 관전압 중 적절한 유효 DEI 범위안에 포함된 네개의 관전압 (60~90 kVp)을 각각 비교하였을 때, DAP는 60 kVp를 기준으로 80 kVp, 90 kVp를 비교한 결과에서만 유의한 차이를 보였다 ($p=0.034, 0.021$). 유효선량은 모든 관전압 그룹에서 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$). SNR은 간 부위에서 80 kVp와 90 kVp를 제외한 모든 그룹에서 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 그러므로 디지털 환경에서 적절한 흉부 X-ray 영상의 농도를 나타내기 위해 100 kVp 이상의 고관전압은 환자 선량 및 영상 측면에서 재고할 필요성이 있다고 사료된다.

중심단어: 흉부 X-ray, Detector exposure index (DEI), 관전압, 유효선량

연구자 정보 이력

| | 성명 | 소속 | 직위 |
|--------|-----|--------------------|------|
| (제1저자) | 심지나 | 세브란스 병원 영상의학과 | 방사선사 |
| (교신저자) | 이영진 | 가천대학교 보건과학대학 방사선학과 | 부교수 |