

# Prediction of Entrance Surface Dose in Chest Digital Radiography

Won-Jeong Lee,<sup>1</sup> Sun-Cheol Jeong<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Technology, Daejeon Health Institute of Technology

<sup>2</sup>Department of Medical Non-commissioned, Daejeon Health Institute of Technology

Received: June 11 12, 2019. Revised: August 08, 2019. Accepted: August 31, 2019

## ABSTRACT

The purpose of this study is predicted easily the entrance surface dose (ESD) in chest digital radiography. We used two detector type such as flat-panel detector (FP) and IP (Imaging plate detector). ESD was measured at each exposure condition combined tube voltage with tube current using dosimeter, after attaching on human phantom, it was repeated 3 times. Phantom images were evaluated independently by three chest radiologists after blinding image. Dose-area product (DAP) or exposure index (EI) was checked by Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) header on phantom images. Statistical analysis was performed by the linear regression using SPSS ver. 19.0. ESD was significant difference between FP and IP(85.7  $\mu$  Gy vs. 124.6  $\mu$  Gy,  $p=0.017$ ). ESD was positively correlated with image quality in FP as well as IP. In FP, adjusted R square was 0.978 (97.8%) and linear regression model was  $ESD=0.407+68.810 \times DAP$ . DAP was 4.781 by calculating the  $DAP=0.021+0.014 \times 340 \mu$  Gy. In IP, adjusted R square was 0.645 (64.5%) and linear regression model was  $ESD=-63.339+0.188 \times EI$ . EI was 1748.97 by calculating the  $EI=565.431+3.481 \times 340 \mu$  Gy. In chest digital radiography, the ESD can be easily predicted by the DICOM header information.

Keywords: Chest Digital Radiography, Entrance Surface Dose, Dose-Area Product, Exposure Index, Diagnostic Reference dose Level

## I. INTRODUCTION

임상에서 흉부 방사선영상검사는 가장 많이 이루어지고 있다. 엑스선을 이용한 흉부 방사선영상검사는 진단과 치료를 위해 유용한 진단 방법이지만 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있어 국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에서는 환자 선량관리에 대한 지침을 발표하였다.<sup>[1]</sup>

선량은 화질과 밀접한 관련성이 있기 때문에 최적의 노출로 우수한 화질을 얻을 수 있는 노력이 필요하고,<sup>[2]</sup> 국내외적으로 정당성이 수반된 선량을 사용하기 위해 각 나라마다 진단참고준위(DRL, Diagnostic Reference dose Level) 설정하고 있다.<sup>[3-6]</sup>

필름을 사용하던 흉부 아날로그영상검사를 대신 하여 디지털영상검사는 많은 장점을 갖고 있어 국내 대부분의 의료기관에서 흉부 디지털영상검사를 실시하고 있다. 하지만, 선량과 영상 농도가 선형관계에 있는 아날로그영상검사 보다 디지털영상검사가 진단참고준위를 초과 사용하고 있다.<sup>[7]</sup>

진단참고준위로는 입사표면선량(ESD, entrance surface dose)을 측정해서 권고하고 있는데,<sup>[3,4,5,6]</sup> 선량계가 필요하던 아날로그영상검사에서는 정기 정도관리 시에만 외부전문기관에서 측정이 이루어지고 있다. 임상에서 진단에 적합한 영상을 얻기 위해서는 가급적 낮은 선량을 사용하는게 바람직하고 디지털영상검사에서도 디텍터의 높은 양전자검출 효율 및 넓은 동적 영역 등으로 충분히 가능하다.

\* Corresponding Author: Sun-Cheol Jeong

E-mail: jsc1191@hit.ac.kr

Tel: +82-42-670-9660

디지털영상검사로 얻은 영상의 다이콤(DICOM, digital imaging and communications in medicine) 헤더에 있는 많은 정보들 중 선량과 관련된 인자를 환자 선량관리를 위해 연구되어 왔다.<sup>[4,8-11]</sup>

따라서 본 연구에서는 흉부 디지털영상검사에서 사용자가 쉽게 ESD를 예측할 수 있는 방법에 대해 알아보았다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구에 사용된 디지털영상검사에서 평판형 검출기(FP, Flat-panel detector) 4대, IP(Imaging plate detector) 5대의 특징을 Table 1에 나타내었다. 인체 흉부 팬텀을 이용하여 ESD를 측정하고, 화질 평가를 위해 팬텀영상을 얻었다.

Table 1. Characteristics of detector type used in this study

Type	Scintillator	Photodiode	Pixels×lines(μm)	Screen size(cm)
FP	Cesium Iodide	A-Si	3001×3001(143)	43 × 43
	Cesium Iodide	A-Se	2650×2650(160)	43 × 43
	Cesium Iodide	A-Si	3001×3001(143)	43 × 43
	Cesium Iodide	A-Si	3001×3001(143)	43 × 43
	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43
IP	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43
	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43
	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43
	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43
	Ba F Br : Eu	-	2048×2500(168)	35 × 43

FP=Flat panel detector; IP=Image plate; A-Si=Amorphous silicon; A-Se=Amorphous selenium

### 1. 엑스선 노출 조건

관전압(kVp)은 두 촬영에서 동일하게 4단계(90, 102, 109, 117)로 설정하였고, 노출선량(mAs)은 FP 촬영에서는 자동노출(automatic exposure control), 4 mAs, 2 mAs, IP촬영에서는 8 mAs, 4 mAs, 2 mAs로 각각 설정하였다. 관전압과 노출선량을 조합해서 ESD를 측정하였고, 팬텀영상을 얻었다.

### 2. 입사표면선량 측정

선량계(XI-Platinum, Unfors, Sweden)를 흉부 팬텀의 중앙 표면에 부착시킨 후, 튜브와 디텍터를 180

cm 거리를 유지 시켰다. 관전압과 노출선량이 조합된 노출조건에서 3회 반복 측정한 후 평균 값을 얻었다.

### 3. 흉부 팬텀영상 화질 평가

관전압과 노출선량을 조합하여 Fig.1의 흉부 팬텀(07-646 Duke QC chest phantom, Supertech, Elkhart, USA)으로 얻은 영상 중 1개 영상을 선택한 후 3명의 흉부 영상의학과 전문의가 독립적인 관독 환경에서 평가 하였다. 모든 영상은 촬영방법과 노출조건을 평가자가 알 수 없도록 처리한 후, 관독용 모니터의 해상도는 5M (2048 × 2560)를 이용하여 창 폭과 높이(window width and level)를 3749 × 1874 로 고정하여 폐야, 심장 후방, 횡격막 아래 부위의 원반 수를 평가 하였다.

원반 수 평가 방법은 모든 방향으로 경계가 명확히 구분되는 원반은 1개로 계산하고, 경계가 1/2이상 구분(50% 이상)되는 경우는 0.5개, 경계가 1/2 미만(50% 미만)으로 구분되는 경우에는 0.1개로 계산하였고, 부위별 평균 원반 수와 전체 원반 수를 산정 하였다.

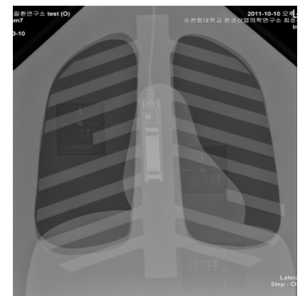


Fig. 1. Duke QC chest phantom images.

### 4. 흉부 팬텀영상의 다이콤 헤더 정보 확인

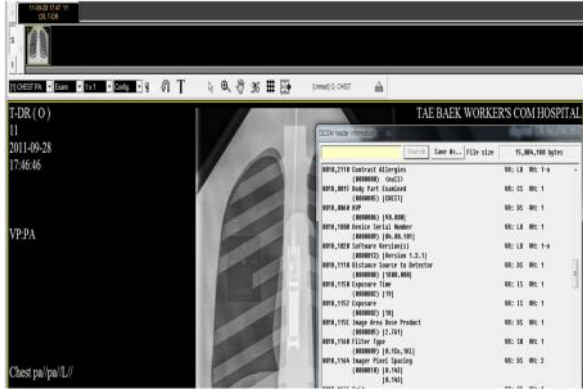
Fig.2에 나타낸 바와 같이 모든 영상의 DICOM 헤더에서 FP영상은 선량-면적 곱(DAP, dose-area product)을 확인하였고, IP영상에서는 노출 지수(EI, exposure index)를 확인하였다.

### 5. 통계 분석

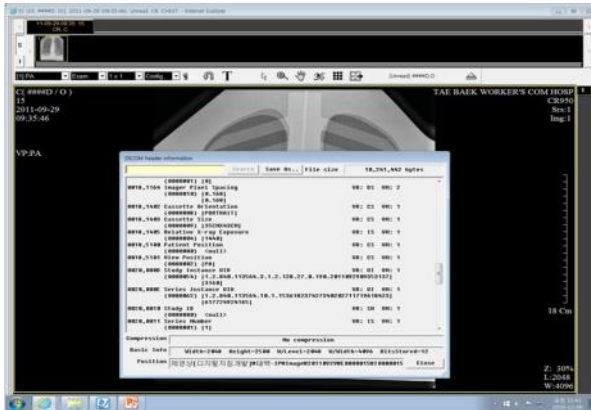
모든 통계분석은 SPSS ver.22.0(Chicago, IL, USA)을 사용하여 FP와 IP 간에 ESD는 독립 표본 T 검정(Independent t-test)하였고, ESD와 화질의 상관성은 Pearson 상관분석을 실시하였다. 단순선형회귀 분석을 통해 FP에서 DAP로부터 ESD를 예측할 수

있는 회귀방정식( $y=\alpha+\beta X$ ,  $\alpha$ =직선의 절편,  $\beta$ =직선의 기울기)을 구하였고, IP에서는 EI로부터 ESD를 예측할 수 있는 회귀방정식을 구하였다.

0.882, 횡격막아래 0.894로 모든 부위에서 매우 높은 양의 상관성을 보였으며 특히 횡격막아래가 가장 높은 상관성을 보였다. IP에서는 폐야 0.823, 심장 후방 0.892, 횡격막아래 0.846으로 모든 부위에서 매우 높은 양의 상관성을 보였으며 특히 심장후방이 가장 높은 상관성을 보였다.



(a) Dose-area product of phantom image obtained by flat-panel detector



(b) Exposure index of phantom image obtained by image plate

Fig. 2. Digital Imaging and Communications in Medicine header on phantom images.

### III. RESULT

#### 1. FP와 IP 간의 ESD 비교

FP와 IP간에 ESD를 Table 2에 비교하였다. FP의 ESD는 85.7 이었고, IP의 ESD는 124.6으로 두 촬영간에 ESD는 통계학적으로 유의한 차이( $p=0.017$ )가 있었다.

#### 2. ESD와 화질의 상관성

Table 3에는 ESD와 화질의 상관성을 분석한 결과를 나타내었다. FP에서는 폐야 0.787, 심장 후방

Table 2. Comparison of ESD between FP and IP

Type	entrance surface dose(uGy)		P-value
	Mean	SD	
FP	85.7	59.4	0.017
IP	124.6	74.9	

FP=Flat-panel detector, IP=Imaging plate detector. Dada was analyzed by Independent t-test.

Table 3. Correlation of ESD and Image quality

Type	Lung-parenchyma	Retro-cardiac	Sub-diaphragm	Total
FP	0.787	0.882	0.894	0.914
IP	0.823	0.892	0.846	0.880

FP=Flat-panel detector, IP=Imaging plate detector. Dada was analyzed by Pearson t-test.

### 3. ESD 예측할 수 있는 선형회귀식

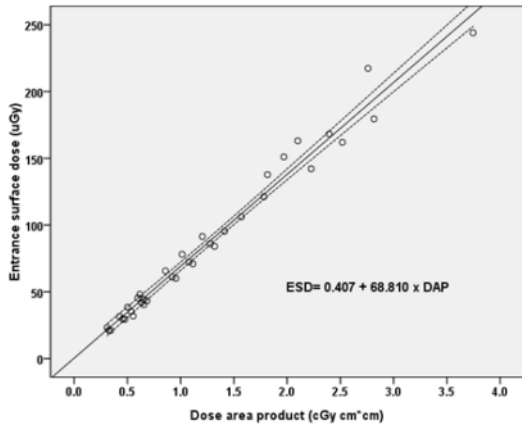
#### 3.1 FP의 DAP로 부터 ESD 예측

FP촬영의 DAP로부터 ESD 예측하고자 단순선형 회귀분석을 실시한 결과를 Fig. 2-a에 나타내었다. 수정된 R 제곱(adjusted R<sup>2</sup>)은 0.978로 ESD의 변동은 DAP 변동에 의해 97.8%의 높은 설명력을 보였다. 분산분석에서도 주어진 회귀식은 유의하였다(F 통계량 1552.458, P-value 0.000). 단순 회귀식( $y= \alpha + \beta X$ ,  $\alpha$ =직선의 절편,  $\beta$ =직선의 기울기)은  $ESD=0.407 + 68.810 \times DAP$  였다(그림 3-5). 위의 회귀식을 이용하여 국내 권고선량(340  $\mu$ Gy)과 같은 DAP를 추정한 결과( $DAP= 0.021 + 0.014 \times 340 \mu$ Gy), 국내 권고선량 DAP는 4.781 이었다.

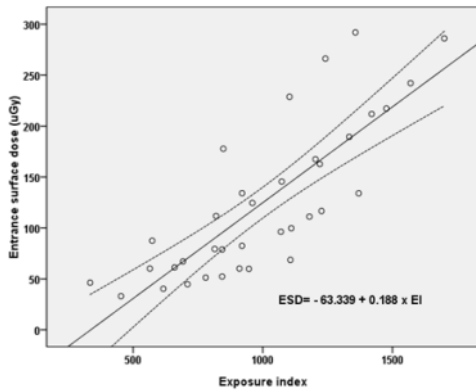
#### 3.2 IP의 EI로 부터 ESD 예측

IP촬영의 EI로부터 ESD 예측하고자 단순선형 회귀분석을 실시한 결과를 Fig. 2-b에 나타내었다. 수정된 R 제곱(adjusted R<sup>2</sup>)은 0.645로 ESD의 변동은 EI 변동에 의해 64.5%의 설명력을 보였다. 분산분석에서도 주어진 회귀식은 유의하였다(F 통계량

64.489, P-value 0.000). 단순 회귀식( $y = \alpha + \beta X$ ,  $\alpha =$  직선의 절편,  $\beta =$  직선의 기울기)은  $ESD = -63.339 + 0.188 \times EI$  였다(그림 3-6). 위의 회귀식을 이용하여 국내 권고선량(340  $\mu\text{Gy}$ )과 같은 EI를 추정할 결과 ( $EI = 565.431 + 3.481 \times 340 \mu\text{Gy}$ ), 국내 권고선량 EI 는 1748.97 이었다.



(a) A model for ESD prediction by dose-area product on FP image



(b) A model for ESD prediction by exposure index on IP image

Fig. 2. Linear regression model for entrance surface dose prediction.

#### IV. DISCUSSION

디지털영상검사가 개발되어 흉부영상검사에 사용되면서 넓은 동적 영역 및 영상 후처리 기능들로 인해 선량 감소를 기대할 수 있었다.<sup>[5,12]</sup> 하지만 국내 실태조사 결과에서 오히려 아날로그영상검사보다 DRL을 초과 사용하고 있었다.<sup>[7]</sup>

팬텀을 이용한 전향적으로 계획된 우리 연구에서는 FP와 IP 모든 부위에서 매우 높은 양의 상관성을 보이는 결과를 얻었는데<sup>[7]</sup> 등의 국내 실태조사 결과에서는 ESD와 화질과는 상관성을 보이지 않았다. 이는 디지털의 많은 기능들은 선량 감소를 충분히 가져 올 수 있지만 임상에서는 디지털의 많은 장점을 사용하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

흉부 디지털영상검사서 디텍터의 검출양자효율에 따라 화질이 달라 질 수 있는데 FP가 IP 보다 높은 검출양자효율로 좋은 영상을 얻을 수 있다.<sup>[12]</sup> 국내 연구 결과에서도 FP는 IP 보다 낮은 선량으로 좋은 영상을 얻을 수 있고,<sup>[7]</sup> FP는 ESD와 화질과의 유의한 양의 상관성을 보였다.<sup>[2]</sup> 본 연구에서도 FP가 IP 보다 유의하게 낮은 선량을 사용했음에도 ESD와 화질과는 높은 상관성을 보여 이전 연구와 유사한 결과를 얻었다. 하지만, 본 연구에서 FP와 IP에서 부위에 따른 상관성의 차이를 밝힐 수 없었는데 이는 향후 기술적인 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

ICRP에서는 방사선영상검사에 사용하는 환자 선량은 진단에 적합한 영상을 얻을 수 있는 범위에서 가능한 낮게 사용하여야 하고(ALARA, as low as reasonably achievable), 환자선량 관리를 위한 실용 도구로 DRL을 사용하도록 국내외적으로 권고하고 있다.

흉부 방사선 후-전 영상검사의 ESD에 대한 DRL은 실태조사 결과의 상향 3/4(75%) 순위에서 설정되기 때문에 국가 마다 차이가 있고,<sup>[4-6,13]</sup> 국내 DRL은 0.34 mGy 이다.<sup>[6]</sup>

디지털영상검사로 얻은 영상의 DICOM 헤더에는 촬영에 대한 많은 정보를 가지고 있다. 특히 본 연구 목적에 맞는 디텍터에 도달한 선량을 확인할 수 있어 환자 선량관리에 유용하게 이용할 수 있다.<sup>[1,4,8,10,11]</sup>

Schuncke 등(2005)의 연구에서는 필립스 FP촬영을 실시하고 있는 병원에서 얻은 영상의 DICOM 헤더 정보(log file)로부터 노출조건과 KAP (kerma area product,  $\text{cGy cm}^2$ ), EAK (entrance air kerma)를 확인하고 독일 DRL과 비교하였다. 독일의 DRL 0.3mGy 와 같은 KAP와 EAK는 각각 20, 0.21mGy

로 나타났다. 우리 연구에서는 FP에서 ESD를 측정하지 않고 DAP로부터 ESD를 예측하는데 높은 설명력을 보임으로써 사용자가 영상에서 쉽게 DAP를 확인하여 ESD를 추정하여 국내외 권고선량과 비교할 수 있고, 국내 DRL (ESD, 340  $\mu$ Gy)과 같은 DAP 값은 4.781로 정할 수 있다. 두 연구가 상이한 결과를 보인 것은 실험 방법에서 디텍터의 종류와 데이터 획득, 노출 조건 등의 차이 때문으로 생각된다.

DICOM 헤더에 있는 EI로부터 IP에 노출된 선량을 알 수 있다. IP를 사용한 흉부 디지털영상검사 연구<sup>[8]</sup>에서는 1840에서 1570의 EI 값을 얻은 결과를 보고 하였는데, 이는 우리 연구결과의 EI 1748.97 국내 DRL 340  $\mu$ Gy)과 비슷하였다. 두 연구는 모두 팬텀을 이용한 전향적으로 계획되어서 비슷한 결과를 보인 것으로 판단된다.

본 연구는 일부 제조회사 장치만을 대상으로 실험 및 분석하였기 때문에 본 연구결과를 모든 흉부 디지털에 일반화시키기에는 적절하지 않고, 향후 국내외적으로 다양한 디텍터에 대한 많은 연구가 이루어진다면 표준화될 수 있을 것으로 기대한다.

## V. CONCLUSION

임상에서는 가능한 낮은 선량을 사용하면서 진단에 적합한 영상을 얻어야 한다. 환자 선량관리를 위해 ESD를 측정하여 국내외적으로 권고하고 있지만, ESD를 측정하기 위해서는 선량계를 구입하는 등 불편함이 따르기 때문에 잘 이루어지지 않고 있다. 이와 같은 배경 하에 본 연구에서는 FP와 IP 영상의 DICOM 헤더 정보에서 쉽게 확인할 수 있는 DAP 또는 EI를 선형회귀식에 대입하여 ESD를 추정함으로써 흉부 디지털영상검사를 할 때 쉽게 환자 선량관리를 할 수 있다.

따라서, 흉부 디지털영상검사에서 FP와 IP는 영상의 DICOM 헤더 정보에서 국내 DRL 내에서 ESD를 사용하는지 사용자가 쉽게 예측할 수 있을 것으로 사료된다. 하지만, 표준화된 방법으로 사용하기 위해서는 다양한 디텍터를 대상으로 한 추가 연구가 필요하다.

## References

- [1] International Commission on Radiological Protection., "Managing patient dose in digital radiology," ICRP publication, Vol. 93, 2003.
- [2] B.R. 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," J. Korean Soc. Radiol, Vol. 62, No. 2, pp. 131-137, 2010.
- [3] R.T. van Soldt, D. Zweers, et al., "Survey of posteroanterior chest radiography in The Netherlands: patient dose and image quality," Br J Radiol, Vol. 76, No. 906, pp. 398-405, 2003.
- [4] A. Schuncke and U. Neitzel, "Retrospective patient dose analysis of a digital radiography system in routine clinical use," Radiation Protection Dosimetry, Vol. 114, No. 1-3, pp. 131-4, 2005.
- [5] M. Uffmann, C. Schaefer-Prokop, "Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose," Eur J Radiol, Vol. 72, No. 2, pp. 202-8, 2009.
- [6] M.J. Chung, K.Y. Lee, et al., "Diagnostic reference level of patient dose during a plain chest radiography examination in Korea," J Korean Soc Radiol, Vol. 62, No. 6, pp. 523-528, 2010.
- [7] W.J. Lee, S.J. Kim, et al., "Relationship of image quality and radiation dose for chest radiography in the medical institutions for pneumoconiosis: a comparison to the Korean Diagnostic Reference Level," J Korean Soc Radiol, Vol. 66, No. 3, pp. 255-262, 2012.
- [8] S.E. Peters, P.C. Brennan, "Digital radiography: are the manufacturers' settings too high? Optimisation of the Kodak digital radiography system with aid of the computed radiography dose index," Eur Radiol, Vol. 12, No. 9, pp. 2381-7, 2002.
- [9] S. Inkoom, J. Togobo, et al., "Retrospective patient dose analysis of Ghana's first direct digital radiography system," Health Phys, Vol. 103, No. 2, pp. 133-7, 2012.
- [10] B. Wiesinger, S. Kirchner, et al., "Difference in dose area product between analog image intensifier and digital flat panel detector in peripheral

angiography and the effect of BMI," *RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Vol. 185, No. 2, pp. 153-9, 2013.

- [11] M. Båth, C. Söderman, et al., "A simple method to retrospectively estimate patient dose-area product for chest tomosynthesis examinations performed using VolumeRAD," *Med Phys*, Vol. 41, No. 10, pp. 101905-1-101905-6, 2014.
- [12] U. Redlich, C. Hoeschen, et al., "Assessment and optimisation of the image quality of chest-radiography systems," *Radiat Prot Dosimetry*, Vol. 114, No. 1-3, pp. 264-8, 2005.
- [13] J. E. Gray, B. R. Archer, et al., "Reference values for diagnostic radiology: application and impact," *Radiology*, Vol. 235, No. 2, pp. 354-8, 2005.

## 흉부 디지털촬영에서 입사표면선량 예측

이원정,<sup>1</sup> 정순철<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>대전보건대학교 방사선(학)과

<sup>2</sup>대전보건대학교 의무부사관과

### 요 약

환자 피폭선량 관리에 입사표면선량(ESD, entrance surface dose)이 국내외적으로 진단참고준위(국내 흉부 촬영 340  $\mu\text{Gy}$ )로 사용되고 있지만, ESD측정을 위해서는 선량계가 필요하다. 하지만 대부분 병의원에서는 선량계가 구비되어 있지 않고 정기검사 시 전문 업체 측정에 의해 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 흉부 디지털촬영에서 사용자가 쉽게 ESD를 예측할 수 있는 방법에 대해 알아보았다. 흉부 디지털촬영에서 평판형 디텍터(FP, Flat-panel detector)와 IP (Imaging plate detector)를 대상으로 하였고, ESD는 선량계(XI-Platinum, Unfors, Sweden)를 흉부 팬텀(07-646 Duke QC chest phantom, Supertech, Elkhart, USA)의 중앙 표면에 부착시킨 후, 튜브와 디텍터를 180cm 거리를 유지시켜 각 노출조건 조합(관전압과 노출선량)에서 3회 반복 측정 후 평균값을 얻었다. 흉부 팬텀 영상의 다이콤 헤더 정보에서 FP영상은 선량면적곱(DAP, dose-area product)을 확인하였고, IP영상에서는 노출 지수(EI, exposure index)를 확인하였다. 단순선형회귀분석을 통해 FP촬영에서 DAP로부터, IP촬영에서 EI로부터 ESD를 예측할 수 있는 회귀방정식( $y=a+\beta X$ ,  $\alpha$ =직선의 절편,  $\beta$ =직선의 기울기)을 구하였다. FP가 IP 보다 유의하게 낮은 선량을 보였고(85.7  $\mu\text{Gy}$  vs. 124.6  $\mu\text{Gy}$ ,  $p=0.017$ ), 두 디텍터 모두 ESD와 화질 간에 높은 양의 상관성을 보였다. FP에서 수정된 R 제곱(adjusted R<sup>2</sup>)은 0.978로 ESD의 변동은 DAP 변동에 의해 97.8%의 높은 설명력을 보였다. 단순 회귀식은  $\text{ESD}=0.407+68.810 \times \text{DAP}$  이었다. 위의 회귀식을 이용하여 국내 권고선량(340  $\mu\text{Gy}$ )과 같은 DAP를 추정된 결과( $\text{DAP}=0.021+0.014 \times 340 \mu\text{Gy}$ ), DAP는 4.781 이었다. IP에서 수정된 R 제곱(adjusted R<sup>2</sup>)은 0.645로 ESD의 변동은 EI 변동에 의해 64.5%의 설명력을 보였다. 단순 회귀식은  $\text{ESD}=-63.339+0.188 \times \text{EI}$  이었다. 위의 회귀식을 이용하여 국내 권고선량(340  $\mu\text{Gy}$ )과 같은 EI를 추정된 결과( $\text{EI}=565.431+3.481 \times 340 \mu\text{Gy}$ ), EI는 1748.97 이었다. 흉부 디지털 촬영에서는 팩스 워크스테이션 영상의 다이콤 헤더 정보에서 ESD를 사용자가 쉽게 예측할 수 있다.

중심단어: 흉부 디지털 촬영, 입사표면선량, 선량-면적 곱, 노출 지수, 진단참고준위

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이원정	대전보건대학교 방사선(학)과	교수
(교신저자)	정순철	대전보건대학교 의무부사관과	교수