

<원저>

흉부 전·후방향 검사 시 고관전압 및 산란선 후처리 소프트웨어 적용이 화질과 선량에 미치는 영향

김종석¹⁾·주영철²⁾·이승근²⁾¹⁾강남세브란스병원 영상의학과·²⁾삼성서울병원 영상의학과

Effect of High Tube Voltage and Scatter Ray Post-processing Software on Image Quality and Radiation Dose During Chest Anteroposterior Radiography

Jong-Seok Kim¹⁾·Young-Cheol Joo²⁾·Seung-Keun Lee²⁾¹⁾Department of Radiology, Gangnam Severance Hospital²⁾Department of Radiology, Samsung Medical Center

Abstract This study aims to present new chest AP examination exposure conditions through a study on the effect on image quality and patient dose by applying high tube voltage and scatter ray post-processing software during chest AP examination in digital radiography equipment. This study was used a human body phantom and in the chest AP position, the dosimeter was placed horizontally at the thoracic spine 6. The experiment was conducted by dividing into a low tube voltage (70 kVp, 400 mA, 3.2 mAs) group and a high tube voltage (100 kVp, 400 mA, 1.2 mAs) group. The collimation size (14"× 17") and the source to image receptor distance(110 cm) were same applied to both groups. Radiation dose was presented to dose area product and entrance surface dose. Image quality was compared and analyzed by comparing the difference between the signal-to-noise ratio and the contrast-to-noise ratio of the image according to the application of the scatter ray post-processing software under each condition. The average value of the entrance surface dose in the low and high tube voltage conditions was $93.04 \pm 0.45 \mu\text{Gy}$ and $94.25 \pm 1.51 \mu\text{Gy}$, which was slightly higher in the high tube voltage condition, but the dose area product was $0.97 \pm 0.04 \mu\text{Gy}$ and $0.93 \pm 0.01 \mu\text{Gy}$. There was a statistically significant difference in the group mean value ($p < 0.01$). In terms of image quality, the values of the signal-to-noise ratio and the contrast noise ratio were higher in the high tube voltage than in the low tube voltage, and decreased when the scattering line post-processing function was used, but the contrast resolution was improved. If there is a scatter ray post-processing function during chest AP examination, it is helpful to actively utilize it to improve the image quality. However, when this function is not available, I thought that applying a higher tube voltage state than a low tube voltage state will help to realize images with a large amount of information without changing the dose.

Key Words: Chest anteroposterior radiography, Scatter ray post-processing software, Low tube voltage, Higher tube voltage, Signal to noise ratio, Contrast to noise ratio

중심 단어: 흉부 전·후방향 검사, 산란선 후처리 소프트웨어, 저관전압, 고관전압, 신호 대 잡음비, 대조도 대 잡음비

I. 서론

흉부 방사선검사 영상(chest radiography; CXR)은 폐

실질에서 발생한 질환 및 심장크기(cardiac size; CS), 심장의 형태학적, 기능적 이상 그리고 종격종양, 대동맥류, 좌심부전 등의 질환 기본적인 질환 확인을 위해 매우 중요하게

Corresponding author: Young-Cheol Joo, Department of Radiology, Samsung Medical Center, 81, Irwon-Ro, Gangnam-Gu, Seoul, 06351, Republic of Korea / Tel: +82-2-3410-2530 / E-mail: skulljoo@naver.com

Received 14 June 2021; Revised 27 June 2021; Accepted 16 August 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

이용되고 있는 대표적인 영상의학과적 검사이다[1,2]. 이 검사는 낮은 선량과 적은 비용, 간단한 검사방법으로 복잡한 흉부 내의 구조물을 2차원 평면 영상으로 나타낼 수 있다는 장점이 있다[3,4]. 일반적으로 CXR은 선 자세에서 환자의 등에서 가슴 방향으로 X선을 조사하는 흉부 후·전방향 검사(chest posteroanterior projection; chest PA)를 말하지만, 선 자세가 어려운 환자의 경우 앉은 자세 또는 바로 누운 자세에서 흉부 전·후방향검사(chest anteroposterior projection; chest AP)를 시행하게 된다[5-7].

흉부는 각기 다른 밀도의 장기들이 흉곽이라는 공간에 있기 때문에 각 장기들의 윤곽과 질환의 정확한 묘사를 위해서는 매우 관용도가 높은 영상이 요구된다. 이를 위해 chest PA 검사 시에는 높은 관전압으로 사용하고 있고, 산란선으로 인한 선에도 감소를 줄이기 위해 물리적 격자(grid)도 사용된다. 고관전압의 사용은 X선 선질을 경하게 하여 혈관이나 병변 부위의 대조도 저하가 있어도 늑골 등의 장애 음영을 흐리게 하여 시각적으로 폐문리나 병변을 보기 쉽게 하기 위해서이다[8]. 또한, 노출 시간의 단축과 종격동, 횡격막 하부의 관용도를 넓혀 진단영역 확대와 피폭선량 감소, X선관의 부하가 경감되는 장점이 있다[9]. 하지만, chest AP는 위와 같은 장점이 적용되기에는 검사의 특성상 한계가 있다. chest AP는 선 자세가 어려운 경우 진행하는 검사의 특성상 일반적으로 침대 누운 상태 및 휠체어에 앉은 자세에서 검사가 진행되므로 물리적 격자 사용에 어려움이 있으며, 물리적 격자를 사용한 경우에도 X선관의 중심선과 격자 중심의 불일치 및 집속거리 불일치 등으로 발생하는 Cut-off 현상으로 인한 화질 저하가 발생할 수 있다[10]. 그래서 최근 개발된 장비에서는 물리적 격자로 인해 발생하는 화질 저하 최소화를 위해 산란선 보정을 통해 선예도를 향상시키는 산란선 후처리 소프트웨어(Simgrid)가 개발되어 임상에 적용되고 있다[10,11]. 이처럼 장비 및 소프트웨어의 발전에도 불구하고, 조사조건이 기존의 필름/스크린 시스템(film-screen system; F/S system)과 유사하게 이용되거나, 디지털 방사선검사 환경(digital radiography system; DR system)에 적합한 조사조건 기준 설정 없이 사용하고 있어, 환자의 피폭선량 증가의 원인이 되고 있다[12].

이에 본 연구에서는 디지털 방사선 검사장비에서 chest AP 검사 시 고관전압과 산란선 후처리 소프트웨어의 동시 적용이 화질과 환자 선량에 미치는 영향을 알아보고, 임상적으로 유용한 새로운 chest AP 검사 조건에 대한 정보를 제공하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 Whole Body Phantom PBU-50(PH-2, KYOTO KAGAKU, JAPAN)중 흉부 부분(chest part of phantom; phantom)만을 대상으로 하였으며, X선 발생장치는 GC 85A(Samsung electronics, KOREA), 선량 측정기는 Unfos Xi(RaySafe, SWEDEN)를 사용하였다.

2. 연구 방법

1) 실험 방법

Phantom은 영상수용체(detector)에 바로 누운자세로 위치시키고, phantom의 흉골 위 흉추 6번(6th thoracic spine; T6)위치에 선량계를 가로로 위치시켰다. 조사조건은 저관전압(70 kVp, 400 mA, 3.2 mAs)와 고관전압(100 kVp, 400 mA, 1.2 mAs)로 구분하여 조사하였다. 중심 X선 입사점은 T6 지점을 향해 수직 입사하였고, 조사야 크기는 가로 14 inch × 세로 17 inch, 초점-영상수용체 간 거리(source to image receptor distance; SID)는 110 cm로 동일하게 적용하였다[Fig. 1(a)]. 영상획득은 저관전압과 고관전압 조건에서 Simgrid 적용 유·무 상태에서 각각 30회의 영상을 획득하였다.

2) 선량 측정 방법

선량측정은 면적선량(dose area product; DAP)와 입사표면선량(entrance surface dose; ESD)를 측정하였는데, DAP는 장비에서 표시하는 값을 이용하였고, ESD는 반도체 선량계에서 지시하는 값을 기록하였다.

3) 화질 분석 방법

각 조건에서 획득한 영상은 Simgrid를 적용한 영상과 적용하지 않은 영상으로 구분하여 비교 분석하였다.

화질분석은 Image J(Ver.1.46r, National Institutes of Health, USA)를 이용하여, 신호 대 잡음비(signal to noise ratio; SNR)와 대조도 대 잡음비(contrast to noise ratio; CNR)를 분석하였다.

SNR, CNR 측정을 위한 관심영역(region of interest; ROI)는 8 mm × 8 mm 크기로 총 3곳(기도, 폐야, 늑골)에서 측정하였으며, SNR과 CNR은 식(1), (2)와 같은 방법으로 계산하였다.

4) 자료분석방법

본 연구에서 수집된 자료는 정규성검정 후 평균값을 비교 분석하였다.

각 조건에서 DAP와 ESD의 평균비교분석은 독립표본 t 검정(independent t-test)를 이용하였다.

SNR과 CNR은 ROI 측정 부위에서 조사조건 별 Simgrid 적용 유·무에 따른 평균값은 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 비교하였으며, 사후검정은 Duncan을 적용하였다.

통계프로그램은 SPSS(version 22.0, SPSS, Chicago, IL, USA)를 사용하였고, 유의수준(α)은 0.05, 유의확률(p)은 0.05이하는 유의한 것으로 설정하였다.

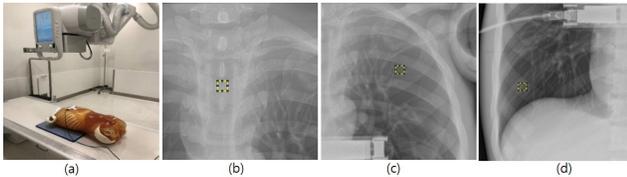


Fig. 1. Description of the experimental method

(a) is a photograph of the dose measurement method. The phantom was placed in a supine position on the detector and the dosimeter was placed horizontally at the thoracic spine 6th (T6) position above the sternum of the phantom. The X-ray incidence point was vertically incident toward the point T6, and the field size was applied equally to 14" horizontally, 17" vertically, and the source to image receptor distance (SID) of 110 cm. (b) to (d) are images of region of interest (ROI) measurement. Image quality was measured in the airways (b), lung fields (c), and ribs (d) with a size of 8 mm × 8 mm.

$$SNR = (Background SI_{Avg} - ROI SI_{Avg}) / ROI SD \dots\dots\dots (Eq. 1)$$

$$CNR = \frac{(Background SI_{Avg} - ROI SI_{Avg})}{\sqrt{Background SD^2 + ROI SD^2}} \dots\dots\dots (Eq. 2)$$

III. 결과

1. 관전압 변화에 따른 선량 비교

저관전압과 고관전압에서의 ESD와 DAP의 평균비교 결과, ESD는 저관전압에서 $93.04 \pm 0.45 \mu Gy$, 고관전압에서는 $94.25 \pm 1.51 \mu Gy$ 이었으며, DAP의 경우에 저관전압에서 $0.97 \pm 0.04 \mu Gy$, 고관전압에서는 $0.93 \pm 0.01 \mu Gy$ 로 나타났다. ESD와 DAP의 평균값은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.01$), (Table 1).

2. 관전압변화에 따른 화질비교

1) 관전압 변화에 따른 SNR 비교 결과

기도와 폐야, 늑골위치에서 SNR의 비교결과, 저관전압에서 Simgrid를 사용하지 않은 경우의 SNR값은 48.59 ± 0.75 dB, 37.67 ± 0.53 dB, 13.61 ± 0.06 dB이었으며, Simgrid를 적용한 경우에는 33.08 ± 0.49 dB, 28.26 ± 0.43 dB, 12.22 ± 0.05 dB로 나타났다.

고관전압에서 Simgrid를 적용하지 않은 경우의 기도와 폐야, 늑골에서 SNR 값은 56.41 ± 1.27 dB, 40.90 ± 0.56 dB, 14.43 ± 0.10 dB이었고, Simgrid를 적용하였을 때의 SNR은 39.50 ± 0.80 dB, 33.52 ± 0.44 dB, 13.02 ± 0.08 dB이었다.

각 위치에서 관전압과 Simgrid 적용 유·무에 따른 SNR의 평균값의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), 사후검정에서도 각 그룹이 독립적인 것으로 나타났다(Table 2), (Fig. 2).

2) 관전압 변화에 따른 CNR 비교 결과

기도 위치에서 Simgrid 적용 유·무에 따른 CNR의 평균값은 저관전압의 경우에 46.70 ± 0.42 dB와 43.70 ± 0.58 dB이었으며, 고관전압에서는 55.16 ± 0.87 dB과 48.50 ± 0.74 dB로 나타났다. 폐야에서는 저관전압의 경우에 53.27 ± 0.75 dB와 39.97 ± 0.61 dB, 고관전압의 경우는 57.84 ± 0.80 dB과 47.40 ± 0.63 dB이었다. 늑골에서는 저관전압의 경우에

Table 1. Comparison of measurement dose comparison with changing in tube voltage

dose type	kVp	n	mean \pm SD(μGy)	min	max	t	p
ESD	low	30	93.04 ± 0.45	92.21	93.88	-4.182	0.01
	high		94.25 ± 1.51	91.51	96.50		
DAP	low		0.97 ± 0.04	0.97	0.99	15.149	0.01
	high		0.93 ± 0.01	0.90	0.96		

1. ESD is entrance surface dose. DAP is dose area product
 2. 'p' is calculated by independent t-test
 3. The parameter of low and high kVp is adapted 70 kVp, 400 mA, 3.2 mAs and 100 kVp, 400 mA, 1.2 mAs.

19.26±0.08 dB과 17.28±0.08 dB, 고관전압의 경우는 20.41±0.14 dB과 18.41±0.12 dB로 나타났다.

각 위치에서 관전압과 Simgrid 적용 유·무에 따른 CNR

의 평균값의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), 사후검정에서도 각 그룹이 독립적인 것으로 나타났다(Table 3), (Fig. 2).

Table 2. Comparison of SNR, CNR results with changing in tube voltage

I/Q	location	kVp	Simgrid	n	mean±SD	min	max	F	p			
SNR (dB)	trachea	low	O	30	33.08 ± 0.49 ^a	32.27	34.03	4072.334	0.01			
			X		48.59 ± 0.75 ^c	47.37	49.72					
		high	O		39.50 ± 0.80 ^b	38.07	41.03					
			X		56.41 ± 1.27 ^d	52.75	58.61					
		lung field	low		O	28.26 ± 0.43 ^a	27.58			29.32	3580.001	0.01
					X	37.67 ± 0.53 ^c	36.80			38.79		
	high		O		33.52 ± 0.44 ^b	32.40	34.24					
			X		40.90 ± 0.56 ^d	39.66	42.42					
	rib		low		O	12.22 ± 0.05 ^a	12.09	12.34	4169.995	0.01		
					X	13.61 ± 0.06 ^c	13.49	13.73				
		high	O		13.02 ± 0.08 ^b	12.87	13.26					
			X		14.43 ± 0.10 ^d	14.23	14.68					

1. SNR is signal to noise ratio, CNR is contrast to noise ratio.
2. 'O' is mean with Simgrid, 'X' is mean without Simgrid
3. 'p' is calculated by one-way ANOVA and post-hoc is used by Duncan

Table 3. Comparison of SNR, CNR results with changing in tube voltage

I/Q	location	kVp	Simgrid	n	mean±SD	min	max	F	p			
CNR (dB)	trachea	low	O	30	43.70 ± 0.58 ^a	42.72	44.85	1539.781	0.01			
			X		46.70 ± 0.42 ^b	45.90	47.62					
		high	O		48.50 ± 0.74 ^c	47.17	49.72					
			X		55.16 ± 0.87 ^d	53.09	56.89					
		lung field	low		O	39.97 ± 0.61 ^a	39.00			41.46	3580.001	0.01
					X	53.27 ± 0.75 ^c	52.05			54.86		
	high		O		47.40 ± 0.63 ^b	45.82	48.43					
			X		57.84 ± 0.80 ^d	56.09	59.99					
	rib		Low		O	17.28 ± 0.08 ^a	17.10	17.45	4169.995	0.01		
					X	19.26 ± 0.08 ^c	19.08	19.42				
		high	O		18.41 ± 0.12 ^b	18.20	18.75					
			X		20.41 ± 0.14 ^d	20.13	20.76					

1. SNR is signal to noise ratio, CNR is contrast to noise ratio.
2. 'O' is mean with Simgrid, 'X' is mean without Simgrid
3. 'p' is calculated by one-way ANOVA and post-hoc is used by Duncan

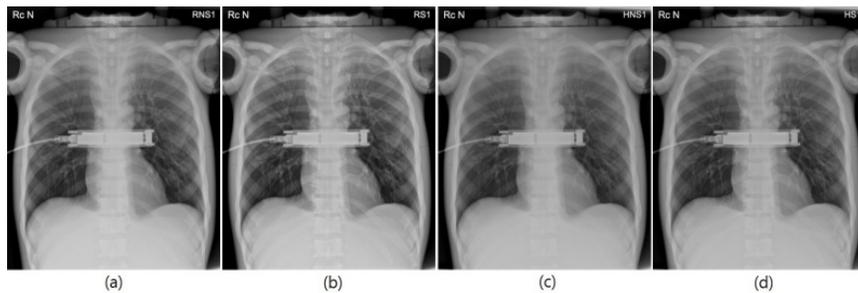


Fig. 2. Comparison of the image of experimental results

(a) and (b) images were acquired at low kVp, and (c) and (d) images were obtained at high kVp. (a) and (c) was not applied the Simgrid but (b) and (d) images with Simgrid. The parameter of low and high kVp is adapted 70 kVp, 400 mA, 3.2 mAs and 100 kVp, 400 mA, 1.2 mAs.

IV. 고 찰

DR system의 넓은 dynamic range는 과하거나 부족한 X선 조사 조건에서도 적절한 영상으로 구현할 수 있다는 장점이 있다. DR system의 또 다른 장점은 영상 정보의 다양한 디지털 후처리가 가능성일 것이다. 이와 같은 장점은 흉부 영상분야에서 매우 유용하게 이용되고 있다. 실제로 뼈 억제(bone suppression) 소프트웨어의 개발 및 적용은 늑골과 쇄골 같이 흉부 영상에서 나타나는 뼈를 효과적으로 제거하면서 원본 영상보다 잡음(noise)은 감소시키고, 선명도는 증가된 영상을 획득할 수 있게 되었다[13,14]. 또한, 산란선 보정 후처리 기능은 제조사마다 기술력의 차이는 있으나, 대부분의 DR system에서는 보편적인 기술이 되어가고 있다. 이처럼 방사선 검사장비와 영상처리 기술의 발전에도 불구하고, 임상에서는 F/S system에서 적용하던 검사 방식과 X선 조사 조건을 DR system에서 동일하게 사용하고 있는 경우가 있다. 본 연구자들이 수도권 종합(대학)병원 5곳에 전화조사를 통해 본 연구 주제인 chest AP 검사 시 조사조건에 대해 문의한 결과 F/S system을 사용할 때와 동일한 조사조건을 DR system에 적용하고 있는 것을 알 수 있었다. 2012년 식품의약품안전처 자료에서도 chest AP 검사 시 평균적인 조사조건은 87.93 kVp, 10.03 mAs, SID 105 cm, ESD는 1.29 mGy로 조사되었다[4,15]. DR system에서 적절한 조건이 아닌 F/S system에서 사용하던 검사 조건 및 방식을 그대로 적용하는 것은 환자에게 불필요한 선량을 부과하는 결과를 초래하게 된다. 실제로 Han 등은 DR system에서 chest PA 검사 시 적절한 관전압, 관전류, 부과여과 필터를 사용 시 유효선량을 최대 77%까지 감소시킬 수 있다고 주장하였다[9].

본 연구의 결과, 저관전압과 고관전압 조건에서 ESD의 평균값은 93.04 μ Gy와 94.25 μ Gy로 고관전압 조건이 약간 높게 나타났으나, 이 선량 수치는 임상적으로 유용한 차이는 없을 것으로 생각된다. 하지만 식품의약품안전처의 조사 자료 보다는 두 조건 모두 낮은 선량으로 나타났다. DR system에서 chest PA 최적 조사조건에 관한 선행연구에서는 120 kVp, 1.5 mAs가 영상 화질은 우수하면서 환자 피폭은 최소화할 수 있는 조건으로 제시하면서, 동일 관전류에서 관전압을 증가시켰을 경우 화질이 감소한다고 주장하였다. 본 연구 및 선행 연구의 결과로 보았을 때 고관전압을 사용하면서 관전류를 낮게 사용하는 고관전압 조사조건을 사용하는 것은 chest AP를 검사하는 대부분의 환자들이 정상적인 검사 협조가 어렵다는 점을 고려해 보았을 때 움직임 및 호흡에 의한 영상의 아티팩트 최소화를 위해 좋은 방법으로 생각된다.

X선 조사 조건 차이에 따른 화질을 비교한 결과, SNR, CNR

값 모두 고관전압 조건에서 저관전압 조건보다 높은 수치로 나타났는데, 이는 관전압 증가로 인해 detector에 도달한 신호의 증가 때문으로 생각된다. 그리고 Simgrid를 적용했을 때 두 조건 모두에서 SNR과 CNR 감소하는 결과가 나타났다. 이는 일반적인 영상 필터링과는 다르게, 인공지능 영상처리에 기반한 Simgrid기법이 X선의 산란선을 비선형적 인공지능 알고리즘에 의해서 처리되어지기 때문에 나타나는 현상이라 유추된다. 이같은 결과는 박 등[10]연구 결과 중 SNR에 대한 결과값과 다소 다른 결과로 나타났는데 이는 복잡한 Simgrid의 알고리즘에 의한 현상으로 파악된다. 다만, Simgrid를 적용했을 경우 영상의 대조도는 증가한다는 점은 같은 결과로 나타났다.

본 연구 결과에서 나타난 Simgrid 사용 유·무에 따른 대조도의 향상과 SNR와 CNR의 감소라는 결과는 전통적인 필터링에 기반한 영상의 대조도와 노이즈의 관계로 설명하기는 다소 어려움이 존재한다. 특히, 이번 연구에서 Simgrid 사용 유·무에 따른 SNR과 CNR의 변화가 다른 부위보다 lung filed에서 크게 나타났는데, 이러한 결과로 유추해 볼 때 lung filed에서 주로 발생하는 작은 폐결절(lung nodule) 관찰에 유용할 것으로 생각된다.

본 연구에서 적용된 Simgrid는 X선 검사 시 발생하는 산란선 영상과 원본 영상을 다수 인공지능 알고리즘에 기반한 학습을 진행하여, 산란선의 제거에 큰 특징을 가지는 것으로, 처리과정은 선형적(linear)특성을 가지는 전통적 영상처리 기법과는 다른 특징을 가진다. 이는 향후 지속적으로 선보일 AI기반 영상처리 알고리즘들은 과거 전통적인 영상 화질에 대한 고정관념을 혁신하는 역할을 하게 될 수 있음을 암시한다. 또한, 영상의 화질에 대한 다양한 평가 기법들이 향후 인공지능의 발전으로 인하여 다양하게 발전 및 변형되어질 것이라는 유추할 수 있다.

본 연구를 통해 DR system에서 chest AP 검사 시 관전압의 조건을 사용하는 것이 유사한 환자 선량으로 양질의 영상을 구현할 수 있음을 알 수 있었고, Simgrid의 장점에 대해 다시 한번 고찰할 수 있었다. 다만, 인체모형 팬텀을 대상으로 하여 실험하였기 때문에 실제 환자에게 적용 시 화질과 선량에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 DR system에서 chest AP 검사 시 고관전압과 산란선 후처리 소프트웨어 적용에 따른 화질과 환자 선량에 미치는 영향을 비교분석 한 결과는 다음과 같다.

Chest AP 검사 시 저관전압에 비해 고관전압에서 ESD는 1.3% 증가하였으나 DAP는 4.1% 감소하였으며, SNR와 CNR은 저관전압 보다 고관전압에서 높게 나타났다. 특히 기도 영역의 경우, Simgrid 사용 시 SNR은 19.4%, CNR은 10% 증가하였고, Simgrid 미사용 시 SNR은 16%, CNR은 18.1% 증가하는 결과가 나타났다.

Chest AP 검사 시 고관전압 조건 적용이 정보량 높은 영상 구현에 도움이 될 것으로 사료되며, 산란선 후처리 기능을 사용할 수 있다면 함께 사용하는 것이 화질 향상에 도움이 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] Lee SH. Image analysis using grid suppression software to remove moire artifact from micro lesions of sprague dawley rat. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(4):575-80.
- [2] Kingo C. Chest X-ray diagnosis ABC. 2011;51-8.
- [3] Joo YC, Kim GH. Comparison of cardiac size and cardiac thoracic ratio in pregnant and non-pregnant women of normal Korean women using chest X-ray. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(3):223-9.
- [4] Joo YC, Lim CH, Kim YM, Jung HR, Hong DH. Rate of transformation and normal range about cardiac size and cardiothoracic ratio according to patient position and age at chest radiography of Korean adult man. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(2):179-86.
- [5] Lee JS, Park HH. The image distortion analysis of levin-tube tip by patient position and incidence angle when taking mobile chest AP projection. *The Korean Society of Radiology*. 2015;9(7):467-71.
- [6] Joo YC, Kim GH. Optimal height of shielding plate of radiation in posteroanterior chest radiography for pregnant women on Korea. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(2):97-102.
- [7] Lee HW, Oh JY, Lee JY, Lee TS, Park HH. An accuracy evaluation on convolutional neural network assessment of orientation reversal of chest X-ray image. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(2):65-70.
- [8] Huh J. Visual evaluation of rib shadow and lung marking during high-voltage chest radiography. *Journal of Korean Society of Radiological Technology*. 1992;15(1):99-105.
- [9] Park HS, Kim MS, Won DY, Lee JW. A study on the optimization of image quality and dose in chest PA. *The Korean Society of Radiology*. 2017;11(1):55-61.
- [10] Park GM, Lim MS, Kim JW, Kim YS. Evaluation and comparison of signal to noise using image post-processing technique of portable X-ray device. *Journal of The Korean Society of Radiological Imaging Technology*. 2019;(1):81-8.
- [11] Wi DH, Kim YJ, Kim SH, Koo HU, Kim DS. The study on the usefulness of bone suppression function in the chest PA. *Journal of The Korean Society of Radiological Imaging Technology*. 2017;65-74.
- [12] Park JK, Jung BJ, Park HH, Noh CC, Kang SS. The study for optimal exposure condition of chest examination of digital radiography system. *The Korean Society of Radiology*. 2015;10(2):109-15.
- [13] Suzuck K, Abe H, MacMahon H, Doi K, et al. Image-processing technique for suppressing ribs in chest radiographs by means of massive training artificial neural network(MATNN). *IEEE Trans Med Imaging*. 2006;25:406-16.
- [14] Chen S, Zhong S, Yao L, et al. Enhancement of chest radiographs obtained in the intensive care unit through bone suppression and consistent processing. *Phys Med Biol*. 2016;61(6):2283-301.
- [15] MFDS. Guidelines for patient dose recommendations in the abdomen, pelvis and lumbar radiography. *Radiation Safety Management Series*. 2012;25:11-1470000-002660-01.

구분	성명	소속	직위
제1저자	김종석	강남세브란스병원 영상의학과	방사선사
공동저자	이승근	삼성서울병원 영상의학과	방사선사
교신저자	주영철	삼성서울병원 영상의학과	방사선사/박사