

# Optimization of Tube Voltage according to Patient's Body Type during Limb examination in Digital X-ray Equipment

Sang-Hyun Kim

Department of Radiological Science, Shinhan University

Received: August 24, 2017. Revised: October 15, 2017. Accepted: October 31, 2017

## ABSTRACT

This study identifies the optimal tube voltages depending on the changes in the patient's body type for limb tests using a digital radiography (DR) system. For the upper-limb test, the dose area product (DAP) was fixed at 5.06 dGy\*cm<sup>2</sup>, and for the lower-limb test, the DAP was fixed at 5.04 dGy\*cm<sup>2</sup>. Afterwards, the tube voltage was changed to four different stages and the images were taken three times at each stage. The thickness of the limbs was increased by 10 mm to 30 mm to change in the patient's body type. For a quantitative evaluation, Image J was used to calculate the contrast to noise ratio (CNR) and signal to noise ratio (SNR) among the four groups, according to the tube voltage. For statistical testing, the statistically significant differences were analyzed through the Kruskal-Wallis test at a 95% confidence level. For the qualitative analysis of the images, the pre-determined items were evaluated based on a 5-point Likert scale. In both upper-limb and lower-limb tests, the more the tube voltage increased, the more the CNR and SNR of the images decreased. The test on the changes depending on the patient's body shape showed that the more the thickness increased, the more the CNR and SNR decreased. In the qualitative evaluation on the upper limbs, the more the tube voltage increased, the more score increased to 4.6 at the maximum of 55kV and 3.6 at 40kV, respectively. The mean score for the lower limbs was 4.4, regardless of the tube voltage. The more either the upper or lower limbs got thicker, the more the score generally decreased. The score of the upper limbs sharply dropped at 40kV, whereas that of the lower limbs sharply dropped at 50kV. For patients with a standard thickness, the optimized images can be obtained when taken at 45kV for the upper limbs, and at 50kV for the lower limbs. However, when the thickness of the patient's limbs increases, it is best to set the tube voltage at 50 kV for the upper limbs and at 55 kV for the lower limbs.

Keyword: Limb Size, Digital Radiography, Contrast-to-noise ratio, Signal-to noise ratio, Tube voltage

## I. INTRODUCTION

최근 비약적인 기술의 발달로 방사선을 이용한 영상 진단영역이 높은 수준으로 성장하였다. 특히 디지털 영상 검사(Digital Radiography: DR)의 발달로 인해 환자의 피폭선량을 줄이면서 영상의 화질의 높이는 것에 대해서도 많은 관심이 이루어지고 있다.<sup>[1]</sup> 의료 영상 목적을 만족하면서 합리적으로 달성할 수 있는 최소 환자선량으로 수행되어야 하므로 DR은 친환자적인 장비이다.<sup>[2]</sup> 영상의 화질은

곧 잡음(Noise)에 대한 것으로써 질 높은 영상과 정확한 진단을 위한 필수적인 요소로 자리 잡았다.<sup>[3]</sup> 영상의 noise는 영상신호에서의 불확정성 또는 부정확성을 의미하며 크게 영상정보를 구성하는 광자 수에 기인한 noise와 영상신호처리 회로에 의한 noise로 구분된다. 영상정보를 구성하는 광자 수에 기인하는 noise는 그 구성하는 광자수가 적을 때 불확정성의 정도가 증가하는 반면, 광자수가 증가하면 영상신호로서의 검출될 확률이 높아져 영상신호의 noise가 감소하게 된다.<sup>[4,5]</sup> 따라서 영상 진단

영역에서 화질평가에 noise에 대한 중요성이 커지고 있다<sup>[6]</sup>. 관전압(Tube voltage)은 영상의 가시적 기능 전체에 영향을 주며, 관전압이 증가하면 광자의 평균에너지가 상승하여 물체를 투과하는 광자 수가 증가하여 noise가 감소하고 대조도(Contrast)가 감소한다. 기하학적 인자인 선예도, 확대, 왜곡에 따른 화질과는 관계가 없다<sup>[7]</sup>. 본 논문은 대조도의 영향을 잘 관찰할 수 있는 사지 검사에서 관전압 조건을 최적화하는데 목적이 있으며, 정량, 정성적 평가를 통해 선량의 미미한 차이로 인식하지 크지 않았던 사지검사에서 환자의 체형 차이에 따른 관전압이 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 대상 및 장비

디지털 엑스선 장비는 진단용 발생장치 정기검사를 시행한 Digital DIAGNOST VH(Philips Healthcare, Netherlands)를 사용하였고, Phantom은 Hand/Wrist(RS-114, RSD, USA)와 Foot/Ankle(RS-116, RSD, USA)를 사용하였다. 환자의 체형의 차이 나타나기 위해 캘리포스(S-530, Mitutoyo, Japan)로 측정된 10mm 삼겹살을 4장을 준비하고, 촬영조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Exposure Index

Part	SID (cm)	Collimator (cm)	Grid	Filter	DAP (dGy*cm <sup>2</sup> )
Wrist	110	25*30	Non	No	5.06
Ankle	110	25*30	Non	No	5.04

### 2. 실험방법

#### 2.1 Wrist

Wrist phantom을 DAP를 고정한 상태에서 관전압을 40 kV, 45 kV, 50 kV, 55 kV로 4단계 변화시키며 각 단계마다 3회씩 반복 촬영하였다. 관전압의 단계 선택은 식품의약품안전청이 제시한 ‘영상의학 검사에서의 표준촬영기법’에 최적화 조건표<sup>[8]</sup> Wrist AP 52 kV를 기준으로 하였다. 동일한 선량을 받는다는 조건을 위해 면적선량(Dose area product: DAP)을 5.06 dGy\*cm<sup>2</sup>로 고정하였을 때 각각의 관

전류는 7.9 mAs, 4.9 mAs, 3.9 mAs, 3.0 mAs 였다. 환자의 체형의 차이를 두기 위해 10 mm 두께의 삼겹살을 둘러 기존 Phantom보다 +10 mm, +20 mm, +30 mm가 되도록 한 후 DAP를 고정한 상태에서 관전압을 40 kV, 45 kV, 50 kV, 55 kV로 4단계 변화시키며 각 단계마다 3회씩 반복 촬영하였다.

#### 2.2 Ankle

Ankle phantom을 DAP를 고정한 상태에서 관전압을 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV로 4단계 변화시키며 각 단계마다 3회씩 반복 촬영하였다. 관전압의 단계 선택은 식품의약품안전청이 제시한 ‘영상의학 검사에서의 표준촬영기법’에 최적화 조건표 Ankle AP 57 kV를 기준으로 하여 정하였다. 동일한 선량을 받는다는 조건을 위해 DAP를 5.04 dGy\*cm<sup>2</sup>로 고정하였을 때의 각각의 관전류는 7.9 mAs, 4.9 mAs, 3.9 mAs, 3.0 mAs 이었다. 환자의 체형의 차이를 두기 위해 10 mm 두께의 삼겹살을 둘러 기존 Phantom보다 +10 mm, +20 mm, +30 mm가 되도록 한 후 DAP를 고정한 상태에서 관전압을 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV로 4단계 변화시키며 각 단계마다 3회씩 반복 촬영하였다.

#### 2.3 영상평가

영상의 정량적 분석을 위하여 의료영상저장전송시스템(Picture archiving communication system(PACS))에 전송된 의료영상표준(Digital imaging and communications in medicine: DICOM)파일을 윈도우용 수치 해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 소프트웨어 Image J (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA)를 사용하여 영상을 분석하였다. 각각의 DICOM파일에서 관심영역(Region of interest: ROI)을 설정하여 요골, 경골, 근접한 주변의 연부조직에서 픽셀의 평균값과 표준편차를 각각 측정하였고 방법은 Fig. 1과 같다. 3회 반복 측정된 값으로 관전압에 따른 네 그룹간의 조직대조도비(Contrast to noise ratio: CNR)와 신호대잡음비(Signal to noise: SNR)<sup>[9]</sup>의 값을 아래의 공식 (1), (2)로 산출하였고 각 조건별로 4회 반복 측정하였으며, 통계학적 검정은 95% 신뢰수준에서 Kruskal-Wallis test로 유의한 차이를 분석하였다. CNR은 ROI의 화소 신호 강도의 평균값에서 ROI를

제외한 값을 측정된 후 백그라운드의 신호강도 표준편차를 구하여 ROI를 포함한 표준편차를 더한 다음 전체적으로 나누어주었다. SNR는 백그라운드의 신호강도 평균값에서 ROI를 제외한 값을 측정해서 ROI를 포함한 표준편차를 전체적으로 나누어 주었다.

$$CNR = \frac{SIROI_1 - SIROI_2}{\sqrt{1/2(SDROI_1^2 + SDROI_2^2)}} \quad (1)$$

$$SNR = \frac{SIROI_1 - SIROI_2}{SDROI_1} \quad (2)$$

SI ROI<sub>1</sub> = Mean Value of ROI<sub>1</sub> (Bone)  
 SI ROI<sub>2</sub> = Mean Value of ROI<sub>2</sub> (soft tissue)  
 SD ROI<sub>1</sub> = Standard deviation of ROI<sub>1</sub> (Bone)  
 SD ROI<sub>2</sub> = Standard deviation of ROI<sub>2</sub> (soft tissue)



(a) Wrist



(b) Ankle

Fig. 1. Method used to calculate the contrast to noise ratio.

영상의 정성적 분석을 위하여 10년차 이상의 경력을 가진 방사선사 5명이 PACS에서 영상을 비교 평가하였다. 평가항목으로 치밀골, 해면골, 관절강, 연부조직을 선정하여 각 부위에 Noise와 주변과의 Contrast 등을 고려하여 5점 Likert scale<sup>[10]</sup>(1점: 매우 나쁨-재검사 필요, 2점: 나쁨-필요 시 재검사, 3점:

보통-재검사 필요 없음, 4점: 좋음, 5점: 매우 좋음)으로 평가하여 평균화 하였다.

### III. RESULT

Wrist와 Ankle 실험 모두에서 관전압이 증가할수록 영상의 CNR과 SNR이 감소하였다.

Wrist 실험에서 가장 기본 Phantom 실험이 CNR과 SNR이 가장 높았으며 환자의 체형에 따른 차이를 보기 위한 실험에서는 Phantom이 두꺼워 질수록 CNR과 SNR이 감소하다가 가장 두꺼운 Phantom +30 mm 에서 측정값이 소폭 증가한다. 기본 Phantom 실험에서 최고 관전압 55 kV에서 CNR이 9.03, 최저 관전압 40 kV에서 CNR이 11.03으로 다른 두께의 실험에 비해 가장 큰 1.22배(p=0.000) 차이가 났다.

Table 2. Results of CNR and SNR on Wrist phantom

kv	Phantom		Phantom +10 mm		Phantom +20 mm		Phantom+ 30 mm	
	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR
40	11.03	8.89	8.96	9.09	7.19	7.44	8.02	7.71
45	10.06	8.09	8.47	8.23	6.70	6.96	7.54	7.27
50	9.45	7.52	8.11	7.55	6.44	6.43	7.26	6.86
55	9.03	7.19	7.81	7.15	6.15	5.96	6.93	6.29
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ankle 실험의 경우 가장 기본 Phantom 실험이 역시 CNR과 SNR이 가장 높았으며 환자의 체형에 따른 차이를 보기 위한 실험에서는 Phantom이 두꺼워 질수록 CNR과 SNR이 감소하였다. 기본 Phantom 실험에서 최고 관전압 65 kV에서 CNR이 7.42, 최저 관전압 40 kV에서 CNR이 8.44로 다른 두께의 실험에 비해 가장 큰 1.13배(p=0.03)의 차이가 났다.

Table 3. Results of CNR and SNR on Ankle phantom

kv	Phantom		Phantom +10 mm		Phantom +20 mm		Phantom+ 30 mm	
	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR
50	8.44	7.43	7.29	6.78	6.87	7.25	5.77	6.87
55	7.83	6.89	6.93	6.41	6.44	6.59	5.46	6.21
60	7.60	6.82	6.81	6.38	6.29	6.54	5.19	5.85
65	7.42	6.78	6.70	6.21	6.12	6.33	5.00	5.70
p-value	0.03	0.05	0.04	0.05	0.000	0.000	0.000	0.000

육안평가의 결과는 Wrist 실험의 경우는 가장 기본 Phantom에서 관전압이 증가할수록 점수가 증가하여 최고관전압인 55 kV에서는 4.6으로 가장 점수가 높았으며 50, 45 kV에선 차이가 별로 없었고 최저관전압인 40 kV에서 3.6으로 낮아졌다. Phantom의 두께가 두꺼워지면서 점수는 전반적으로 낮아졌으나 각 두께별로 55, 50, 45 kV의 사이에서는 큰 차이가 없었지만 최저관전압인 40 kV에서는 점수가 급격히 낮아졌다.

Table 4. Wrist, Mean quality ratings for all 5 observers

Phantom	Item	40	45	50	55(kV)
P	Compact	3.6	4.4	4.2	4.6
	Spongy	3.6	4.4	4.4	4.6
	Soft tissue	3.7	4.4	4.4	4.6
p +10mm	Compact	3.3	4.0	3.8	4.2
	Spongy	3.5	4.1	4.0	4.2
	Soft tissue	3.6	4.0	4.2	4.2
p +20mm	Compact	2.8	3.6	3.8	3.8
	Spongy	2.9	3.4	3.7	3.8
	Soft tissue	3.4	3.9	4.2	4.0
p +30mm	Compact	2.2	3.2	3.4	3.2
	Spongy	2.2	3.1	3.2	3.2
	Soft tissue	2.6	3.6	3.6	3.4

Table 5. Ankle, Mean quality ratings for all 5 observers

Phantom	Item	50	55	60	65(kV)
P	Compact	4.4	4.4	4.1	4.4
	Spongy	4.4	4.4	4.1	4.4
	Joint	4.6	4.6	4.2	4.4
	Soft tissue	4.3	4.4	4.3	4.6
p +10mm	Compact	2.9	3.7	3.8	3.8
	Spongy	3.1	4.0	4.0	4.0
	Join	4.6	4.6	4.2	4.4
	Soft tissue	4.4	4.4	4.3	4.6
p +20mm	Compact	2.8	3.2	3.6	3.5
	Spongy	2.8	3.2	3.9	3.7
	Join	2.6	2.8	3.6	3.4
	Soft tissue	3.8	4.1	3.9	3.4
p +30mm	Compact	2.2	3.0	3.2	3.5
	Spongy	2.4	3.2	3.0	3.5
	Join	2.1	2.8	2.8	3.0
	Soft tissue	2.9	3.7	3.7	4.0

Ankle 실험의 경우는 가장 기본 Phantom에서 관전압의 상관없이 최고 관전압 65 kV에서 최저 관전압 50 kV까지 평균 4.4의 고른 점수가 나왔다. 하지만 Phantom의 두께가 두꺼워지면서 Wrist 실험과 마찬가지로 점수는 전반적으로 낮아졌고 각 두께별로 65, 60, 55 kV의 사이에서는 큰 차이가 없었지만 최저관전압인 50 kV에서는 점수가 급격히 낮아졌다. 특히 관절강 항목부분에서는 최저 관전압 50 kV 일 때 기본 Phantom에서 4.6에서 Phantom + 30 mm 두께에서 2.1로 가장 큰 점수의 차이를 보였다.

#### IV. DISCUSSION

DR 장비가 개발된 후에 그에 적합한 정량적 성능 평가 방법에 관한 연구도 꾸준히 이루어져 왔으며 국제적으로 통용될 만한 기술 기준들도 이미 제시되어 사용되고 있다. 그러나 현재의 성능평가는 철저히 정량적 평가 인자들을 이용하여 수행되도록 되어 있으나 실제로 현장에서 육안으로 평가하는 성능과는 미묘한 차이가 있어서 결과적으로 시스템 유지관리의 효율성을 저해할 가능성이 크지만 그 상관관계에 관한 연구는 아직 희소하다. 본 논문도 여러 가지 촬영 조건에서 영상을 획득한 후 정량적 화질평가와 육안평가 결과를 이용하여 그에 따른 상관관계를 보고자 하였으나 관찰자의 주관적인 육안평가의 결과가 일관성이 없었기 때문에 상관관계를 도출해 내기에 어려움이 있었다<sup>[11]</sup>. 따라서 본 논문의 결과는 CNR과 SNR의 정량평가를 기준으로 하고 육안평가는 평균으로써 참고하였다.

관전압은 피사체를 투과하는 직접적인 인자로 영상의 대조도를 제어하는 1차적인 인자이다. 최근 소아에서 저관전압촬영에서의 유용성에 관한 논문이 나왔던 것처럼 저관전압 촬영이 관심을 받고 있는 추세이다<sup>[12]</sup>. 하지만 기본적인 뼈의 크기와 밀도가 다른 성인을 소아와 견주어 비교하는 것은 어렵다고 생각되었고 실험 결과도 관전압이 증가함에 따라 CNR이 감소하였지만 SNR 또한 감소됨을 볼 수 있었다. 이는 noise의 절대량은 감소했지만 정량평가를 위해 측정했던 ROI의 신호의 증가량이 더 커서 그러한 결과가 나왔을 것이라 사료된다.

DR장비는 이전의 CR보다 다양한 검사 Parameter를 가지고 있어 양질의 의료서비스 제공이 가능하다<sup>[13]</sup>. 하지만 DR장비로 변화하는 과정에서 기존의 CR장비를 사용하였을 때의 검사조건을 DR장비에 맞춰 변화시키지 않고 그대로 사용하는 경우의 환자의 피폭선량뿐만 아니라 영상의 화질에 관해서도 큰 영향이 있을 것이다. 디지털 흉부 x선 촬영 시 피폭선량을 기준치의 65~68%를 줄여도 병변을 발견하는데 의미 있는 차이가 없다는 연구 논문이 있듯이<sup>[14]</sup>, 사지 검사부분에서도 활발히 이루어져서 DR장비에 맞는 다양한 조건을 찾아야 하겠다. 또한 사지의 경우 상대적으로 환자에 따른 두께에 관한 차이가 적은 편이기 때문에 방사선사가 인지가 미비하다. 하지만 그러나 분명히 환자의 대한 두께의 차이가 존재하면 그에 맞는 최적의 조건들이 반드시 있기 때문에 그것을 알아내는 일에 항상 관심을 기울여야 된다.

## V. CONCLUSION

DR장비에서 사지 검사 시 환자의 두께 변화와 사용 관전압 따라 CNR과 SNR의 차이를 확인 하였으며, 실제 육안평가에서도 영상의 질이 관전압 변화에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 또한 정량적 영상 평가와 정성적 영상평가의 결과를 같이 평가해야 최적에 검사 조건을 찾을 수 있음을 확인하였다. 올바른 검사 조건은 적정 선량을 통해 최적의 영상의 질을 구현 할 수 있으므로 중요하며, 본 논문은 작은 선량이라 간과했던 사지검사에서 최적화 관전압을 제시하여, 영상 최적화에 더 객관화된 자료로 이용할 수 있다.

## Reference

[1] Kunio Doi, "Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology", *Physics Medicine and Biology*, Vol. 51, No. 13, pp.0031-9155, 2006.

[2] S. T. Kim, B. H. Han, "Evaluation of the patient dose in case of standard radiographic examinations using CR and DR", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 33, No. 3, pp.173-178, 2010.

[3] Cowen AR, Workman A, Price JS, "Physical aspects of photostimulable phosphor computed radiography", *The British Journal of Radiology*, Vol. 66, No. 784, pp.332-345, 1993.

[4] H. K. Kim, "Sensor technology for digital radiography", *Journal of the Korean society of precision engineering*, 22(8), 7-16, 2005

[5] S. M. Kim, S. S. Hong, K. S. Lee et al. "Dose and image assessment according to radiologic factors variation at digital humerus X-ray examination", *Korean Journal Digit Imaging Med*, Vol. 14, No 2, pp.1-8, 2012.

[6] J. M. Kim, J. W. Min, H. W. Jeong et al, "The noise evaluation for radius 150 CR system", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 29, No. 4, pp.237-240, 2006.

[7] S. H. Kim, "Convergence study on evaluation of usefulness of copper additional filter in the digital radiography system", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 13, No. 9, pp.351-359, 2015.

[8] J. H. Wang, "Standard protocol of general radiography in Korea", *Ministry of Food and Drug Safety*, No. 38, pp.19-21, 2014.

[9] R. Hessl, U. Neitze, "Optimizing Image Quality and Dose for Digital Radiography of Distal Pediatric Extremities Using the Contrast-to-Noise Ratio", *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Vol. 184, No. 7, pp.643-649, 2012.

[10] A. Jonsson, K. Herrlin, K. Jansson et al, "Radiation dose reduction in computed skeletal radiography effect on image quality", *Acta Radiologica*, Vol. 37, No. 2, pp.128-133, 1987.

[11] H. S. Jeon, J. H. Nam, M. J. Chung et al, "The image quality of a digital chest X-ray radiography system: comparison of quantitative image quality analysis and radiologist' visual scoring", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 65, No. 5, pp. 479-485, 2011.

[12] J. G. LEE, S. J. Jang, Y. I. Jang, "Medical radiation exposure in children CT and Dose Reduction", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 1, pp.356-363, 2014.

[13] S. Y. J. B. Han, N. K. Choi, S. K. Lee, "The review of exposure index in digital radiography and image quality", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 13, No. 9, pp.351-359, 2015.

e quality”, Journal of Radiation Protection and Research, Vol. 38, No. 1, 2013.

- [14] J. K. Park, B. J. Jeong, H. H. Park, S. C. No, S. S. Kang, “The study for optimal exposure condition of chest examination of digital radiography system”, Vol. 10, No. 2, pp.109-114, 2014.

# 디지털 엑스선 장비의 사지 검사 시 환자 체형에 따른 관전압 최적화

김상현

신한대학교 방사선학과

## 요 약

본 논문은 디지털 엑스선 장비(DR)에서 사지 검사 시 환자 체형 변화에 따른 최적의 관전압을 알아보고자 하였다. 상지검사는 면적선량(DAP) 5.06 dGy\*cm<sup>2</sup>, 하지검사는 DAP 5.04 dGy\*cm<sup>2</sup> 고정된 상태에서 관전압을 4단계 변화시키며 각 단계마다 3회씩 반복 촬영하였다. 환자의 체형의 변화를 주기 위해 10 mm 씩 총 30 mm까지 두께를 증가하였다. 정량적 평가를 위해 Image J를 이용하여 관전압에 따른 네 그룹간의 대조도 및 신호 대 잡음비 값을 산출하였고 통계학적 검정은 95% 신뢰수준에서 Kruskal-Wallis test로 유의한 차이를 분석하였다. 영상의 정성적 분석을 위하여 정해진 항목에 관해 5점 리커트 척도로 평가 하였다. 상지와 하지 실험 모두에서 관전압이 증가할수록 영상의 대조도대잡음비(CNR)과 신호대잡음비(SNR)이 감소하였으며, 환자의 체형에 따른 차이를 보기 위한 실험에서는 두께가 두꺼워 질수록 CNR과 SNR이 감소하였다. 정성적 평가는 상지는 관전압이 증가할수록 점수가 증가하여 최고 55 kV 에서 4.6, 40 kV 에서 3.6 이었으며, 하지는 관전압의 상관없이 평균 4.4의 고른 점수가 나왔다. 상, 하지 모두 두께가 두꺼워지면서 점수는 전반적으로 낮아졌으나 상지는 40 kV에서는 점수가 급격히 낮아졌고, 하지에서는 50 kV에서는 점수가 급격히 낮아졌다. 표준 두께를 가지고 있는 환자의 경우 상지에서는 45 kV, 하지에서는 50 kV로 촬영하는 것이 최적화 된 영상을 구현할 수 있으며, 환자의 체형 두께가 증가하는 경우 상지는 50 kV, 하지는 55 kV로 관전압을 설정 하는 것이 효과적이다.

중심단어: 디지털 엑스선 장비, 관전압, 대조도대잡음비, 신호대잡음비, 환자체형