

## 고관전압 흉부촬영의 가상결절을 이용한 ROC평가

서울대학교병원 진단방사선과  
안진신 · 장명미 · 정경모 · 정 환

서울대학교 의과대학 진단방사선과학교실  
임 정 기

서울대학교 대학원 전자공학과  
김 종 효

### Abstract

#### **Evaluation of ROC Curve in High Kilovoltage Technique Using Simulated Nodules on Chest**

**Jin Shin Ahn, Myung Mi Chang, Kyung Mo Chung, Hwan Cheung**  
*Dept. of Radiology, Seoul National University Hospital*

**Jung Ki Lim**  
*Dept. of Radiology, College of Medicine, Seoul National University*

**Jong Hyo Kim**  
*Dept. of Electronics, Seoul National University*

With transmitted dose through chest which has the problem of wide variations in absorption, simple film/screen combination method makes it difficult to image lung field, mediastinum and retrocardiac areas.

In order to overcome this, it is very common to use the high kilovoltage technique in diminishing the differences between high and low contrast.

We have been adopting this method at department of diagnostic radiology, Seoul National University Hospital.

To compare the image of it with that of low kilovoltage technique, we did radiographic tests using beans on the skin.

We marked off into three anatomical categories such as lungs, mediastinum and near diaphragm, then attached a bean on a marked area at random. In order to compare with high and low, we took a radiography of high(120~140 kVp) and low(70~90 kVp) kilovoltage techniques, respectively at the same time. We have done experiments 320 cases.

We evaluated the results of test in response to sensitivity(true positive) and specificity(true negative). In evaluating, we gave them points from 1 to 5 according to true or false. With given points by a radiologist having much experiences, we could acquire the percentage of sensitivity and specificity.

The percentage made us to get the schematic table of ROC curve of those two methods. Consequently, high kilovoltage technique appeared 18% better than low kilovoltage technique for detecting beans with our apparatus.

## I. 서 론

흉부촬영(chest radiography)은 모든 방사선 검사의 약 40%를 차지하며, 서울대학교병원에서는 매년 11만건 정도의 방대한 양이 수행되고 있다<sup>1)</sup>. 흉부 촬영이 널리 이용되는 이유는 넓은 영역에 걸쳐 좋은 균일성을 가지며, X-ray에 대한 분해능과 감도가 높고, 장치가 간결하며 신뢰도가 우수한 실제 크기의 기록이라는 점에 있다. 그러나 film을 사용함으로써 흉부를 통과한 X-ray의 크고 다양한 투과량을 film의 dynamic range로서는 충분히 감당할 수 없는 것이 단점으로 지적되고 있다(Fig. 1).

최근들어 이러한 단점을 극복하기 위하여 시행되어져 왔던 많은 방법들 중에 고관전압 촬영기법을 이용, 폐야와 종격동 부분을 통과한 X-ray 투과율의 차이를 좁혀줌으로써 영상의 대조도(contrast) 차이를 줄일 수 있었으며, 그 결과 공기와 연부 조직의 경계, 종격동 구조물, 심장 뒷부분, 그리고 폐침 영역의 식별이 저관전압 촬영기법보다 우수하다는 보고가 발표되기도 했다<sup>2)</sup>.

고관전압 촬영기법(120~140 kVp)과 더불어 X-ray의 높은 흡수 효과를 보이는 희토류 증감지(rare earth screen)가 개발되고 발전되어져 개선된 방사선 영상을 얻고 있으나<sup>3,4)</sup>, dy-

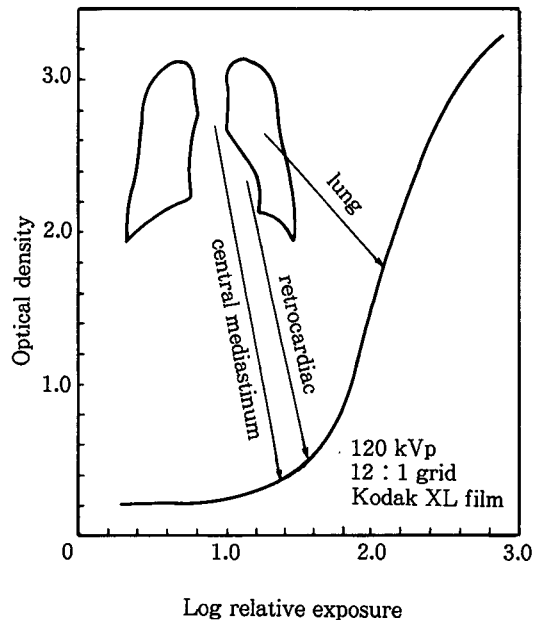


Fig. 1. Film density versus screen exposure for Ortho-G film with Lanex Regular screens(Eastman-Kodak, Rochester, NY) measured at 125 kVp 40 mmAl)

namic range 한계는 아직까지도 연구 과제로 남아 있다. 보다 확장된 dynamic range를 가지고 있는 관용도(latitude)가 상당히 넓은 film을 사용하면 연부조직의 대조도가 떨어지며,

Table 1. Operating specification of chest unit

Size of field	14×17	(inch)
Focal spots	1.0×2.0	(mm)
Maximum voltage	150	(kVp)
Speed	60-standard	(Hz)
Phase	single	
Target storage capacity	300,000	(H.U)
Target angle	15	(°)
Grid ratio	10 : 1	—
Grid lines	103	(1/inch)
Focal range	60~70	(inch)
Generator rating	500, 100	(mA, kVp)
Filter	Cu 0.2+Al 4	(mm)

매우 높은 관전압(220 kVp 이상)의 적용도 영상의 대조도를 저하시킨다고 알려져 있기 때문에, 수용가능한 대조도와 film의 dynamic range 사이의 조화가 필요하다.

저자들은 서울대학교병원 진단방사선과에서 현재 이용되고 있는 흉부촬영의 고관전압 기법의 임상적 유용성을 검토하기 위하여, 가상 결절을 이용한 실험을 통해 고관전압(120~140 kVp)과 저관전압(70~90 kVp) 기법에 대한 ROC(receiver operating characteristic) 곡선의 객관적인 비교 평가를 하고자 한다.

## II. 실험 재료 및 방법

흉부 촬영기는 단상의 Picker GX-550 기종이며, focal spot은 1.0×2.0 mm이다(Table 1). Grid 비율은 10 : 1(103 lines/inch)이며, 사용한 film은 14×17 inch 크기의 Curix MR4 (Agfa)이고, 증감지는 Universal(Agfa)이다. 현상 작업 단계에서는 Automatic Chest Filmer System(Picker)의 film processor의 현상처리제로 G138(Agfa) 현상액과, G334 (Agfa) 정착액을 이용했다.

가상결절을 만들기 위하여 강낭콩을 선택하였다. 흉부를 폐야(I), 종격동과 심장 뒷부분

(II), 그리고 횡격막 아래부분(III)의 세 구획으로 나뉘어(Fig. 2), 각 검사마다 한 개의 강낭콩을 지원자와 흉벽 전방에 무작위로 부착시켰다. 단, 가상결절 부착 영상과 무부착 영상을 같은 수로 시행하되, 각 부위별 면적비율에 따라 I 부위는 160매, II 부위는 120매, 그리고 III 부위는 40매를 시행하여 총 320매수의 영상을 획득하였다. 지원자 각각에 대하여 동일한 결절 위치에서 고관전압과 저관전압 촬영을 동시에 병행하였다.

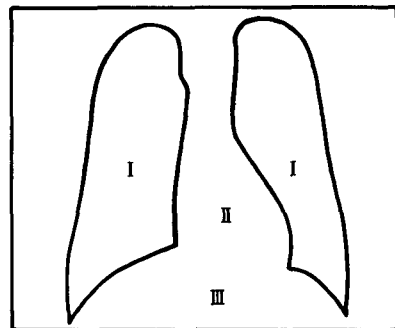


Fig. 2. Division of chest image for effective nodule detection ; (I) lung, (II) mediastinum and retrocardiac structure, and (III) subdiaphragmatic area.

한 명의 방사선 전문의와 두 명의 수련의가 관측자가 되어 고관전압과 저관전압 촬영 기법 각각에 대해서 가상결절 존재 유무에 대한 신뢰등급(degree of certainty)의 점수(confidence rate)를 매겼다. 이 점수는 1점에서 5점까지 등급이 나뉘어져 있어, 1점-“확실히 없다”, 2점-“없는것 같다”, 3점-“확실히 모르겠다”, 4점-“있는것 같다”, 5점-“확실히 있다”로 정의 하였다. 이 점수를 이용하여 가상결절 검출률의 기본자료인 sensitivity(true positive)와 specificity(true negative)의 백분율을 얻을 수 있었다. 이것을 통하여 ROC(receiver operating characteristic) 곡선<sup>5,6)</sup> 도식화가 가능하며, 곡선 이하의 면적(Az) 비교를 하므로써 저관전압 대 고관전압 흉부 촬영 기법 영상의 객관적인 비교를 수치로 나타낼 수 있었다. ROC 분석방법은 시카고대학 방사선과 Dr. Metz의 ROCFIT package를 사용하였다.

### Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

세 명의 판독자의 전체 부위를 종합한 ROC 곡선 비교(Fig. 3)에서 고관전압 촬영 기법의 검출률(ROC 곡선의 하부 면적)인 Az가 0.8060을 보여, 저관전압 기법의 Az 값 0.6828보다 가상결절 검출능에 있어서 18% 우수한 결과를 보였다.

또한, 각 구획별 검출률을 보면, 고관전압과 저관전압 기법 각각에 대하여 폐야영역(I)에서는 0.8690과 0.7557로서 고관전압이 15% 높은 결과를 보였으며, 중격동 구조물 및 심장 뒷부분(II)에서는 0.7463 대 0.6798이며, 횡격막 아래부분(III)에서는 0.7348 대 0.6517로서, II 영역과 III 영역에서 고관전압 촬영기법이 저관전압에 비하여 각각 10%, 13%의 증가된 검출능을 나타냈다(Table 2).

흉부의 다양한 구조 및 구성물 특성에 따라 X-ray 투과율의 차이가 심하며, 이로 인하여 결절 검출률에 영향을 미치게 된다. 또한, 전체적인 것보다 부분적으로 표현되는 흉부영상을

판독하는 것이 폐야 결절 검출률의 정확도를 높인다는 실험보고<sup>7)</sup> 등을 기초로 효율적인 결절 검출을 위해 흉부를 세 부분의 구획으로 나누었다(Fig. 2).

그 결과, 폐야부분은 특히 다른 구획의 검출율에 비하여 약간 높은 수치를 보였는데(Table 2), 밀도가 희박한 부분에 중첩된 비교적 수분 함량이 많은 강낭콩을 이용한 가상결절이 고밀도의 여러 조직이 겹쳐 있는 중격동 구조물 및 심장 뒷부분(II)에 중첩되어진 가상결절 보다는 높은 확률로 검출되리라는 것은 예상했던 바이다.

Table 2. Detectability(Az) of ROC curves(High kVp vs Low kVp)

	( I )	( II )	( III )	Total
High kVp	0.8690	0.7463	0.7348	0.8060
Low kVp	0.7557	0.6798	0.6517	0.6287

고관전압 촬영이 우수하다는 판독자의 주관적인 임상 평가가 통계적인 방법과 접목되어진 ROC 곡선 평가<sup>5,6,7)</sup>를 적용시킴으로써 객관화된 정량 평가가 가능했으며, 시각적인 검출이 정량화된 수치 평가로 이어지며, 더 나아가 확률 및 통계적인 유의성까지도 검증할 수 있는 한 단계 진보된 분석 방법을 본 실험에 적용했다는 것에 의의가 있다고 본다.

따라서 고관전압 촬영기법이 우수하다는 응답결과가 각각의 구획에 따라 약간 다른 양상을 보였으며, 특히 여러 부위가 중첩된 중격동과 심장후위 부분(II)에서 검출율비의 차이가 다른 두 구획(I, II)에 비하여 낮은 결과(I : II : III = 1.15 : 1.1 : 1.13)를 보였다. 이것은 고관전압 촬영기법에 병행되어야 할 노출 조정 시간이 본 실험을 행한 단상의 X-ray 기종으로는 실행하기 힘든 조건으로 인한 결과로 생각되어지며, 움직임이 있는 심장부분 및 밀도가 높은 중격동 영역을 투과한 X-ray 정보가 폐야 등의 다른 구획을 투과한 것에 비하여 정

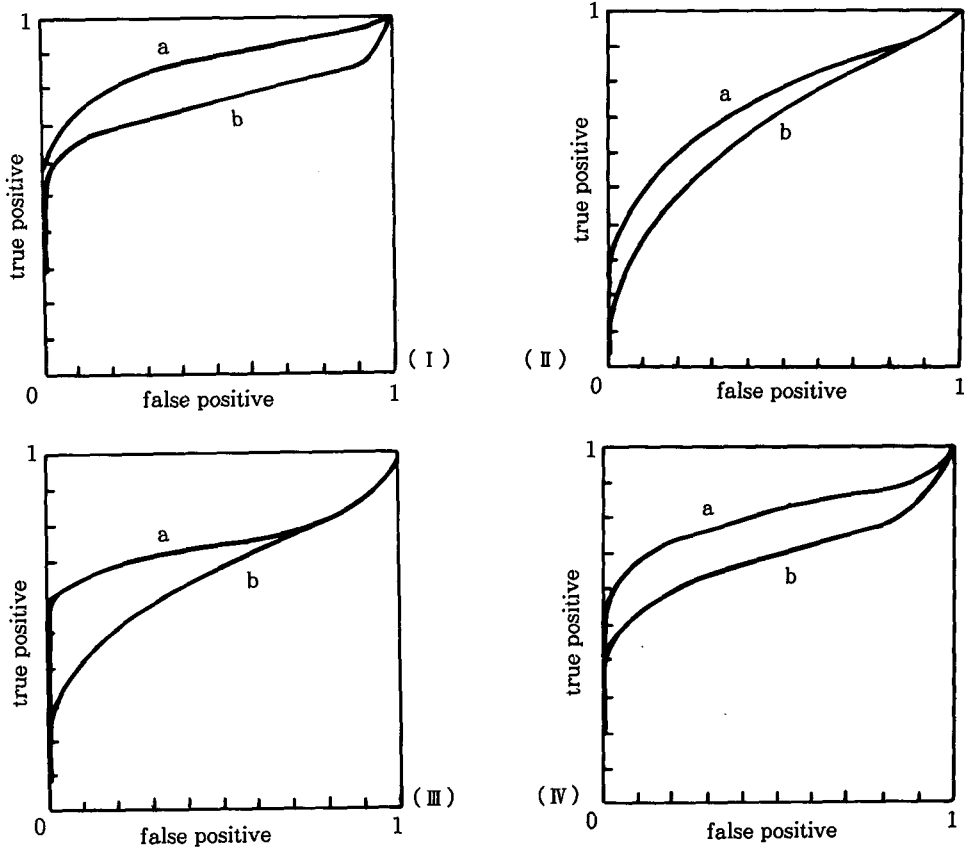


Fig. 3. ROC curves of each division : ( I ) Lung field, ( II ) Mediastinum & cardiac portion, ( III ) Subdiaphragmatic area, and ( IV ) Thoracic cage(a : high kVp, b : low kVp)

확도가 떨어질 수 밖에 없는 현상이 고관전압 촬영기법을 적용하는 경우에도 월등하게 극복될 수 없는 상황으로 인식되어지며, 이러한 기기적인 단점을 극복할 수 있는 invert 등의 안정된 출력 방식과 짧은 노출 시간이 실행되어진다면 이러한 차이는 다소 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

본 실험의 통계적 유의 수준은  $P < .2$ 로 비교적 높은 값을 보였는데, 위에서 언급한 제한 실험 조건을 갖출 수 있으며, 장시간의 실험 영상 수집으로 인한 실험 오차를 감소시키며, 판독자 증원과 노련한 경험이 보완되어진다면 좀더 유의성 있는 실험에 접근될 것으로 사료된다.

이것을 바탕으로, digital synthesizer를 적용

하여 가상 결절의 적정 크기 선택으로 가시도의 균등화를 피할 수 있도록 하며, 가상 재제를 변형시켜 아크릴 등을 이용한 정선되고 축소된 형태의 결절 선택이 선행되므로써 검출의 sensitivity와 specificity의 균형을 도모함과 동시에 촬영 샘플수(표본수)를 더욱더 증가시켜 실험의 과학적 의미를 강화시킬 수 있는 실험을 하고자 한다.

#### IV. 결 론

실험 결과, 폐야부분이 다른 종격 및 횡격막 하부보다 detectibility가 높았다. 폐야는 high & low kilovoltage technique을 비교하여 각각 detectibility가 0.8690, 0.7557로써 high kilovol-

tage technique이 low kilovoltage technique보다 15% 정도 높았고, 종격 및 심장후부는 각각 0.7546, 0.6798로써 고관전압법이 10% 높았으며, 횡격막 하부는 각각 0.7348, 0.6517로써 high kilovoltage technique이 13% 높았다. 따라서 본 실험은 평가자에 주관적인 임상평가가 객관적인 수치로써 접근할 수 있었으며 시각적인 detection이 숫자적인 의미를 가지는 결과적인 양적 평가로 up-grade 할 수 있었다는 데 의의가 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 서울대학교병원 연보 자료통계
2. G. S. Hallenbeck : Clinical Evaluation of the 350 kV Chest Radiography. *Radiology*, 117 : 1~4, 1975.
3. J. W. Castle : Sensitivity of Radiographic Screens to Scattered Radiation and Its Relationship to Image Contrast. *Radiology*, 122 : 805~809, 1977.
4. B. A. Arnold, H. Eisenberg, et al : Measurements of Reciprocity Law Failure in Green-Sensitive X-Ray Films, *Radiology*, 126 : 493~498, 1978.
5. J. A. Swets : ROC Analysis Applied to the Evaluation of Medical Imaging Techniques, *Invest. Radiol.*, Vol. 14, 1979.
6. D. J. Goodenough : Radiographic Application of Signal Detection Theory. *Radiology*, 105 : 199~200, 1972.
7. T. W. Parker, C. A. Kelsey, et al : Directed versus Free Search for Nodules in Chest Radiographs, *Invest. Radiol.*, Vol. 17, 1982.
8. 안윤옥 : 실용의학 통계론, pp.57~58, 서울대학교 출판부