

ROC평가 방법을 이용한 CR과 DDR 흉부 영상의 비교

박연옥+, 박연정+, 정은경+, 남소라+,++, 정지영+,++, 김희중+,++

연세대학교 방사선학과⁺, 연세대학교 보건과학연구소⁺⁺

The Evaluation of CR and DDR chest image using ROC analysis

Yeon-Ok Park*, Eun-Kyung Jung*, Yeon-Jung Park*, Sora Nam**, JiYoung Jung**, Hee-Joung Kim**,**

*Department of Radiological Science, Yonsei University, Wonju, Korea**

*Research institute of Health Science, Yonsei University, Wonju, Korea***

<요 약>

본 연구의 목적은 ROC를 이용하여 일반 촬영기기에 따른 영상의 질을 평가해보고자 함이다. 본 연구의 수행을 위하여 CR(Computed Radiography)과 DDR(Direct Digital Radiography)을 사용하였으며 피사체로 흉부 팬텀을 사용하였다. 각 기기에서 영상을 획득한 후 ROC평가를 이용하여 영상의 질 및 기기의 특성을 평가하였다. 조사 조건으로 관전압 120kVp와 관전류량 3.2 mAs를 이용하였고 SID(Source to Image Distance)는 180cm로 설정하였다. 팬텀의 심장, 폐야, 흉추부위에 병소를 표현하였으며 각 장비에서 획득한 영상의 질 및 기기의 특성을 파악하기 위하여 방사선학 전공자 29명을 대상으로 ROC평가를 실시하였다. ROC 평가 결과 DDR의 TPF(true positive fraction)는 0.552, FPF(false positive fraction)는 0.474, CR의 TPF는 0.629, FPF는 0.405로 나타났다. 본 연구 결과 CR의 영상이 DDR의 영상보다 더 나은 영상의 질을 나타내는 것을 확인하였다. 영상의 질의 확연한 차이의 원인은 DDR의 경우 enhance board의 미 삽입으로 인한 영상 후처리의 미수행이라고 사료된다. 추후 DDR의 enhance board의 삽입 후 영상의 후처리가 가미된 DDR영상의 질에 대한 연구가 필요하며 본 연구의 결과로 인하여 영상의 후처리가 임상의 판독에 있어서 매우 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

Abstract

ROC(Receiver Operating Characteristic)curve is the method that estimate detected insignificant signal from the human's sense of sight, it has been raised excellent results. In this study, we evaluate image quality and equipment character by obtaining a chest image from CR(Computed Radiography) and DDR(Direct Digital radiography) using the human chest phantom, The parameter of exposure for obtaining chest image was 120 kVp/3.2 mAs and the SID(Source to Image Distance) was 180cm. The images were obtained by CR(AGFA MD 4.0 General plate, JAPAN) and DDR(HOLOGIC nDirect Ray, USA). Using some pieces of Aluminum and stone for expressing regions, then attached them on the heart, lung and thoracic vertebrae of the phantom. 29 persons hold radiology degrees were participated in ROC analysis. As a result of the ROC analysis, TPF(true positive fraction) and FPF(false positive fraction) of DDR and CR are 0.552 and 0.474 and 0.629 and 0.405, respectively. By using the results, the ROC curve of CR has higher image quality than DDR. According to the theory, DDR has the higher image quality than CR in chest X-ray image. But, CR has the higher image quality than DDR.

Because DDR have not enhance board for image post-processing. Further study need to evaluate the image quality of DDR inserted the enhance board. The results confirmed that image post-processing is important element decipherment of clinical.

I. 서론

X-선 영상의 화질평가는 보다 정보량이 풍부한 화상을 묘사하기 위하여 필요하다. 화질평가 방법은 MTF, RMS 입상성, Wiener spectrum 및 entropy 해석 등 물리적인 평가방법과 Hawlet chart 등의 X-선 chart 등을 이용한 주관적 평가방법 그리고 시각 판단에 의한 ROC(Receiver Operation Characteristic)곡선에 의한 평가방법 등이 있다.[1-5]

ROC 해석은 신호 검출이론에 입각해 인간의 시·지각을 검출기로 취급하고 그 출력을 통계적으로 처리 및 정보이론에 따라 정량적으로 해석하는 것이다. 이때 화상의 정보는 화상을 기록하는 매체와 증감지, 격자, 관찰하는 환경, 관찰자의 능력에 따라 큰 영향을 받는다.[6-8]

본 실험에서는 모든 방사선 검사의 약 40%를 차지하는 일반 촬영의 흉부 조사로 ROC 평가를 이용하여 일반 촬영기에 따른 영상의 질을 평가해보고자 하였다. 흉부촬영이 널리 이용되는 이유는 넓은 영역에 걸쳐 좋은 균일성을 가지며, X-ray에 대한 분해능과 감도가 높고, 신뢰도가 우수한 실제 크기의 기록이라는 점에 있다.[7] ROC 평가를 위하여 흉부팬텀에 병소를 만들어 동일한 촬영조건하에서 영상 획득 개체인 CR과 DDR에서 영상을 획득하고, 획득된 영상을 ROC 해석으로 평가하여 민감도와 특이도, 정확도를 비교하여 보았다.

II. 재료 및 방법

본 연구의 수행을 위한 기기로는 CR(AGFA, CR25.0)과 DDR(Hologic)을 이용하였다. DDR의 enhance board 미삽입을 제외한 모든 촬영의 조건은 동일하게 하고 흉부 팬텀에 병소를 부착하여 촬영하였다.

1. 시료의 촬영 방법

흉부 팬텀에 가상결절을 표현하기 위한 신호로는 돌과 알루미늄을 사용하였고 신호의 위치는 심장(돌의 장축 2.5cm, 횡축 2cm 두께 1.3cm), 폐야(알루미늄의 직경 7mm, 두께 3mm), 흉추부위(돌의 장축 4cm, 횡축 2cm, 두께 1.5cm), 늑골(돌의 장축 1.8cm, 횡축 1.5cm, 두께 1.5cm)의 위치에 각각의 병소를 나타내었다.

CR과 DDR에서 흉부 팬텀의 촬영은 임상 환경에서 흉부 촬영 시 주로 사용하는 조건인 120kVp/3.2mAs를 이용하였고, SID는 180cm으로 하여 촬영하였다.

촬영한 영상을 PACS 프로그램을 이용하여 저장한 후 17인치 LCD모니터(samsung, Korea)상에서 방사선 전공자 29명을 대상으로 ROC평가를 실시하였다. 이 때 고정된 CR영상과 DDR 영상을 구분하여 명시하여 판독하도록 하였고 window width, level 변화와 같은 영상조작은 허용하지 않았다. 그 외의 판독 환경 등의 조건은 일정하게 유지하였다.

2. ROC 곡선의 작성

병소의 판독능을 평가하기 위하여, CR과 DDR의 영상에 대하여 29명의 판독자가 독립적으로 병소의 존재 가능성의 개수를 표시하도록 수행하였다. 이때 판독자가 발견한 병소의 위치를 표시하도록 하였다.

또한 영상의 질을 주관적으로 평가하기 위하여 판독자로 하여금 영상의 병소 평가를 다음의 판정요령에 따라 5단계로 분류 응답하였다.

- A. 신호가 없다.
- B. 신호가 없는 것 같다.
- C. 모르겠다.
- D. 신호가 있는 것 같다.
- E. 신호가 있다.

이 응답에 따라 각 단계의 응답수로 집계한 다음, 누적수를 전체의 응답수로 나누어 신호가 있을 때 신호가 있다고 답한 조건의 확률P(S/s)와 신호가 없을 때 신호가 있다고 답한 조건의 확률 P(S/n)을 구하였다. 그 후 종축에 P(S/s), 횡축에 P(S/n)을 표시하여 ROC 곡선을 작성하였다.[8-9]

3. 감도, 특이도와 정확도 산출

CR과 DDR에 따른 화상의 병변유무를 관찰하여 신호를 바르게 검출하는 능력인 감도(sensitivity)와 신호가 전혀 없고 잡음만 있는 것을 바르게 잡음만으로 검출하는 능력인 특이도(specificity) 그리고 통계적 유의차 검정을 나타내는 곡선하 면적, 정확도(accuracy)를 다음과 같이 구하였다.[14-15]

$$\text{감도} = \frac{\text{No. of true positive decisions}}{\text{No. of actually positive cases}}$$

$$\text{특이도} = \frac{\text{No. of true negative decisions}}{\text{No. of actually negative cases}}$$

$$\text{정확도} = \frac{(\text{No. of true posi deci}) + (\text{No. of true nega deci})}{\text{No. of all cases}}$$

위와 같은 수치를 통하여 ROC곡선 도식화가 가능하며 곡선을 비교를 함으로써 CR과 DDR 흉부촬영 영상의 비교를 객관적인 수치로 나타내었다.

III. 결과

1. 병소의 판독능 평가.

CR과 DDR영상에 대하여 병소의 존재 가능성에 대한 개수 표시 결과는 [표 1] 그림1.과 같다.

[표 1] CR과 DDR에서의 병소 개수 확인

<CR(>		<DDR(>	
1개	3.45	1개	3.44
2개	3.45	2개	0
3개	17.25	3개	20.68
4개	55.17	4개	37.95
5개	20.68	5개	37.93

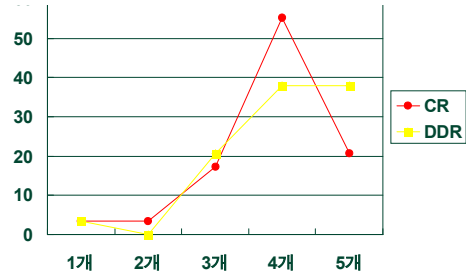


그림1. CR과 DDR에서의 병소 개수 확인을

2. CR과 DDR의 영상에 따른 ROC곡선

일정한 판독 조건 하에서 CR과 DDR의 영상의 8개의 병소 유무를 판단한 결과는 표2.와 같으며 DDR의 TPF는 0.552, FPF는 0.474, CR의 TPF는 0.629, FPF는 0.405로 나타났다. 결론적으로 CR에서의 TPF와 FPF값이 0.629, 0.405로 DDR과 비교하여 TPF가 더 1에 가까운 값을 보이고, FPF는 0에 가까운 값을 보여 판독능이 더 우수함을 알 수 있었다. 본 결과를 바탕으로 ROC곡선을 그린 결과 그림2와 같다. CR의 ROC 곡선이 DDR에 비하여 좌 상방에 가까워지는 것을 알 수 있으며 이는 CR의 영상이 DDR의 영상에 비하여 더 높은 영상의 질을 나타내는 것을 의미한다.

[표 2] CR과 DDR의 8개의 병소유무를 판단한 결과

	CR	DDR
TPF	0.629	0.552
FPF	0.405	0.474

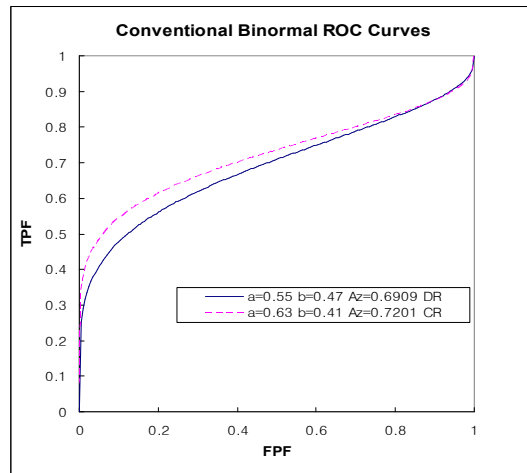


그림2. CR과 DDR의 ROC곡선

3. CR과 DDR에서의 감도와 특이도, 정확도

병소 유무의 판정결과에 따라 감도와 특이도, 정확도를 산출한 결과는 표3.과 같다. 즉, CR 사용 시 감도가 증가되어 신호를 바르게 검출하는 능력이 커지는 것을 알 수 있다. 또한 특이도의 결과에서는 CR 사용 시 잡음을 잡음으로 검출하는 능력이 커짐을 알 수 있었고 정확도면에서 또한 영상 후 처리 과정을 거치는 CR이 더 나은 결과를 보였다.

표3. CR과 DDR에 따른 감도와 특이도, 정확도

	Sensitivity	Specificity	Accuracy
CR	0.629	0.595	0.612
DDR	0.552	0.526	0.539

4. 흉부 팬텀의 구획별 병소 검출률

흉부 팬텀의 각 구획별 검출률을 보면 그림4. 먼저 폐야영역에서는 CR에서 91%, DDR에서 95%로 가장 높은 병소 검출률을 보였으며 뼈의 영역에서는 CR에서 17%, DDR에서 10%의 검출능을 나타냈다. 또한 심장 후면에서는 CR에서 51%, DDR에서 20%의 검출률을 보였다.

흉부의 다양한 구조 및 구성물 특성에 따라 X-ray 투과율의 차이가 심하며, 이 투과율의 차이는 결절 검출률에 영향을 미치게 된다. 또한, 전체적인 것보다 부분적으로 표현되는 흉부영상을 판독하는 것이 폐야 결절 검출률의 정확도를 높인다는 실험 보고 등을 기초로 효율적인 결절 검출을 위해 흉부를 세 부분의 구획으로 나누어 보았다.

그 결과, 폐야 부분은 특히 다른 구획의 검출에 비하여 높은 수치를 보였는데, 밀도가 희박한 부분에 가상결절이 여러 조직이 겹쳐 있는 심장 뒷부분의 가상결절에 비하여 높은 확률로 검출되었다[7].

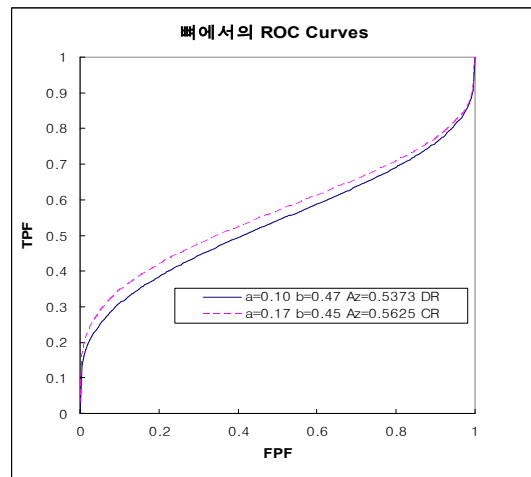
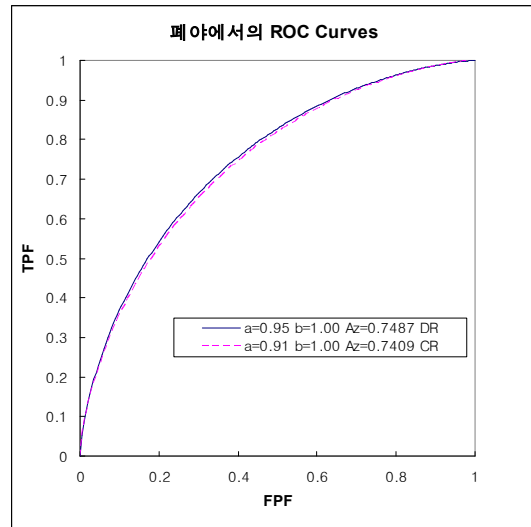


그림4-2. 뼈에서의 병소 검출률

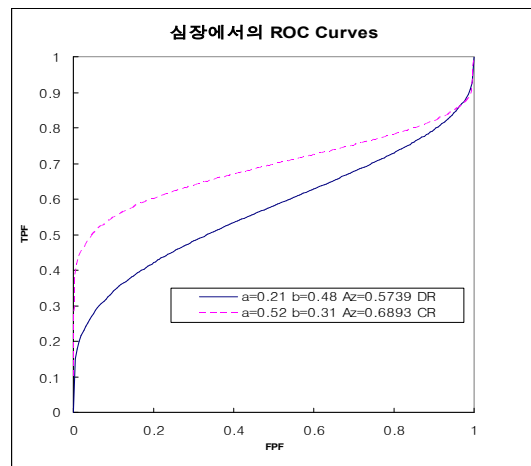


그림4-3. 심장에서의 병소 검출률

IV. 결론

ROC분석법은 시각적, 지각적, 평가방법 중 가장 우수한 평가방법이며 민감도, 특이도를 평가할 수 있을 뿐 아니라 영상 정보량을 최대로 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 신호 검출이론에 기초하여 동일한 관찰자에 의해 동일한 관찰조건으로 일정한 평가기준을 정하거나 복수의 관찰자에게 시행하여 데이터의 평균을 취하여 해석한다. ROC곡선은 ROC평면의 좌측 상단에 위치할수록 판독능이 높은 것으로 평가하며 ROC곡선의 종축의 TPF값이 1에 근접할수록, 횡축의 FPF값이 0에 근접할수록 판독능이 높은 것으로 평가한다.[13] 그러나 이 분석법은 영상의 공간주파수 성분이 저주파인 부분만을 취급하고 있기 때문에 물리적 평가방법과 반드시 일치하지 않을 수 있다.

디지털 X-선 영상 획득 장치는 사용 방법에 따라 크게 CR방식과 DDR방식으로 나눌 수 있다. CR방식은 필름 대신 영상판(image plate)을 이용하여 X-선을 노출하여 영상판에 잠상을 만들고 잠상 정보를 레이저로 스캔하여 영상으로 전환하는 방식으로 레이저 스캔 과정을 위한 시간이 필요하다. 반면 DDR 방식은 amorphous 실리콘이나 amorphous 셀레늄으로 제작된 영상 판에 조사된 X선의 양을 측정하여 영상을 형성하는 방법을 의미하며 DDR 방식은 촬영 즉시 컴퓨터 모니터에서 영상을 확인할 수 있고 연속으로 노출하여 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이 일반적인 이론에 의하면 DDR을 이용하여 촬영하였을 경우 CR을 이용하여 얻은 영상보다 더 나은 영상을 얻는다고 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서는 DDR에서 enhance board의 미 삽입으로 인하여 영상 후 처리의 수행이 불가능했기 때문에 이로 인하여 CR의 영상이 DDR에 비해 더 나은 것으로 나타난 것이라 사료된다. 여기서 영상 후 처리 과정(Post-processing)이란 X-선 영상 장치의 영상처리 마지막 단계에서 영상에 sharpening 또는 smoothing시키는 필터를 적용하는 과정으로서 주로 계조처리(gradation)를 의미한다. 따라서 본 연구를 통하여 영상 후 처리 기능이 영상의 질에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

ROC평가의 특성은 실제 물리적 데이터인 MTF, Winer spectrum, entrophy 등과 많은 차이가 있다. 어떤 물리적 특성이 있는 한매의 화상이 제시되어도 관찰자의 경험, 인식능력, 시점이 다르면 실제로 시각에 의한 평가가 다를 경우가 생기기 때문이다. 따라서 ROC 곡선은 많은 시료를 작성해야 하고 시행의 횟수, 관찰자의 경험연도, 관찰거리와 관찰 시간, 반응, 기기의 종류, 격자의 종류 등에 따라 ROC 곡선에 영향을 주므로 그 정도를 높이기 위해서는 많은 주의가 필요하다.[8-11]

본 연구는 판독자의 대부분이 방사선학 전공 학부생이었으므로 전문성이 결여되는 문제가 있었으므로 화상처리계통에서 훈련된 전문가의 시각적 판단이 요구된다. 또한 판독자에게 영상에 대한 사전 정보를 제공하지 않은 상태에서 ROC를 수행하여야 하였으나 본 연구에서는 CR과 DDR영상에 대한 언급을 한 채로 판독을 의뢰해 관찰하는 자의 주관성에 많은 영향을 미쳤다고 생각한다. 판독자에게 영상에 대한 사전 정보를 제공하지 않은 상태에서 ROC를 수행하였다면 대상자의 선입견 없이 더 정확한 결과를 얻을 수 있었을 것이라 생각된다.

본 연구에서는 판독자의 주관적인 임상 평가가 통계적인 방법과 접목되어진 ROC 곡선 평가를 적용시킴으로써 객관화 된 정량 평가가 가능했으며, 시각적인 검출이 정량화된 수치 평가로 이어지며, 더 나아가 확률 및 통계적인 유의성까지도 검증할 수 있는 한 단계 진보된 분석 방법을 적용하였다. 향후 추가적인 실험과 함께 완성된 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건 의료 기술 진흥 사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(02-PJ3-PG6-EV08-0001).

참고문헌

- [1] 放射線像情報學,新光出版社. pp,79-86, 1991.
- [2] 放射線畫像情報技術新光出版,pp95-105, 1979.
- [3] 内川勝,放射線畫像情報技術(1), 通商産研究報, pp,238-250, 1980.
- [4] 김성수, 허준, 이인자, 이선숙 "Hawlet chart에 의한 X-선 사진의 畫質評價, 韓國放射線技術學會誌" 8(2). pp83, 1985.
- [5] Kunio Doi 外 "MTF and Winner spectra of radiographic screen film system" Vol.2, US Department of health and human service, FDA, 1986.
- [6] 허준, "ROC 곡선에 의한 화질의 평가", 韓放學誌, 제14권, 제2호, pp33-36.
- [7] 안신진 외 3명(장명미, 정경모, 정환) "고관전압 흉부촬영의 가상결절을 이용한 ROC평가" 韓放技術學誌, Vol.15, No.2, 1992.
- [8] J. A. Swets "ROC Analysis Applied to the Evaluation of Medical Imaging Techniques, Invest, Radiol", Vol.14, 1979.
- [9] D. J Goodenough "Radiographic Application of Signal Detection Theory Radiology", pp,199-200, 1972.
- [10] T. W. Parker, C. A. Kelsey, et al "Directed versus Free Search for Nodules in Chest Radiographs", Invest. Radiol, Vol, 17, 1982.
- [11] Morrow, 2000, Robert, 2000, ARUP laboratories, Zwing, 1995.
- [12] Charlos E, Metz "Evaluation of image quality by receiver operating characteristic curve analysis: concept, Techniques and future persibilitys", 日本放射線技術學會誌, 41(6), pp,990, 1985.
- [13] 오경란, 최의환 김재덕. "Digora 영상시스템을 이용한 인접면 치아우식병소의 진단능에 관한 연구", 치과방사선 1998, 28(2), pp,415-431.
- [14] 김재덕. "ROC(receiver operating chara-cteristic) 해석", 구강악안면방사선학회지, 2000, 30, pp,155-158.