

Molybdenum 저지극을 이용한 X-ray의 미세병소 검출능력에 관한 연구

양다래*, 동경래*[†], 박용순*, 지연상*, 김영근*, 김창복*

*광주보건대학 방사선과, [†]조선대학교 원자력공학과

2010년 2월 22일 접수 / 2010년 3월 10일 1차수정 / 2010년 3월16일 2차수정 / 2010년 3월 19일 채택

방사선의 선질은 X선관의 target에 따라 결정된다. 유방검사의 경우 Molybdenum target을 사용하는데 22~28 kV 범위에서 평균 17.9~19.5 keV의 Mo 특성에너지로 얻어 유방의 high contrast 영상을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 대부분의 유방 검사장치에 이용되는 Mo/Mo 조합 유방장치의 미세병변 탐지능력을 측정하기 위하여 ALVIM TRM 팬텀을 이용하여 그 기초적인 실험으로 획득한 영상을 ROC(receiver operating characteristic) curve를 통해 분석하였다. 유방의 평균 피사체 두께가 40 mm로 가정하고 kV와 mAs, 그리고 두께변화에 따른 질환 검출능력을 실험한 결과, kV 변화에서는 Speck과 Fiber의 병소 검출능력이 거의 차이를 보이지 않은 것으로 나타났으며, mAs와 피사체 두께 변화에서는 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다. 즉, 유방의 피사체 평균두께인 약 40 mm에서는 관전압 변화가 병소의 검출능력에 많은 영향을 끼치지 않으므로 평균 두께의 피사체에서는 관전압을 높여서는 안된다.

중심어: Breast, Molybdenum target, ALVIM TRM model, ROC curve

1. 서론

방사선의 선질은 사용 X선관의 target에 따라 결정된다. 유방검사의 경우 molybdenum target을 사용하는데 24~28 kV 범위에서 평균 17.9~19.5 keV의 Mo 특성 에너지를 얻어 유방의 high subject contrast 영상을 얻을 수 있다. 여기에 0.03 mm의 molybdenum filter를 사용하면 에너지 스펙트럼은 molybdenum의 K-흡수단인 20 keV와 거의 일치해져 단일 에너지화 된다[1,2]. 이러한 유방검사의 에너지는 subject contrast를 결정하게 되므로 매우 중요한 것이다[3]. 임상적으로 유방의 평균 두께인 4.5 cm인 경우 저에너지일지라도 투과력이 충분하지만 두꺼운 경우에는 유방 자체가 여과작용을 하기 때문에 선질이 경화되어 구조물간 X-ray 흡수차가 낮아지면 film contrast가 감소한다. 이러한 이유로 지방조직이 풍부한 유방이라도 평균 두께에 포함되면 관전압을 높게 선택하지 말아야 한다. 또한 텅스텐 target은 22~26 kV의 낮은 kV를 선택하더라도 고에너지 점유율이 높아 피폭선량은 감소하지만 subject contrast가 낮아져 사용에 어려움이 있으므로 텅스텐 target을 이용하는 일반촬영용 X선관으로 유방검사를 시행하면 최하의 영상을 얻을 것이 명백하므로 이러한 유방검사는 무모한 검사일 수밖에 없다[4]. 따라서 본 연구에서는 최근 대부분의 유방검

사장치에 이용되는 molybdenum target / molybdenum filter(Mo/Mo)로 조합된 유방검사장치의 미세병소 탐지능력을 측정하기 위하여 유방영상 미세병변 검출 평가용 polyvinyl chloride 소재의 ALVIM TRM 팬텀을 이용하여 실험하였다. 영상평가는 영상관찰자의 시각적 평가의 대표적인 방법인 ROC(receiver operating characteristic) curve로 분석하여 Mo/Mo 조합의 유방검사장치의 X선 에너지와 피사체 두께 변화가 영상의 질에 미치는 상관관계에 대해서 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 유방촬영용 X선 발생장치 및 영상처리 기구

실험용 X선 발생장치는 모델명 MXR-200M(Medison X-ray, Korea) 고주파 inverter 방식 장치를 사용하였다. X선관은 베릴륨창 molybdenum 회전양극 X선관 타입으로 초점은 0.3 mm, Target 각도는 16°이며, 부가필터는 0.3 μm molybdenum filter의 Mo/Mo 조합 X선관을 실험 대상으로 하였다. 또한 screen과 film은 Kodak MIN-R series(Kodak, USA)를 사용하였으며, 자동현상기는 Doosan DSP 5000(Doosan, Korea)을 이용하였다.

책임저자 : 김창복, kichabo@hanmail.net, 광주보건대학 방사선과
광주광역시 광산구 신창동 683-3. 광주보건대학 방사선과

2.2 ALVIM TRM phantom

ALVIM 통계 팬텀은 최대의 진단적 정확성과 함께 최소의 환자피폭을 얻기 위한 의학영상의 질을 실험하기 위해 고안되어진 것이다. 방사선 장치의 정도관리에 주로 사용되는 ALVIM radiographic phantom(TRM)은 숫자가 매겨진 column이 있는 플라스틱 판이다. 인체 조직 등가물질이나 알루미늄 디스크는 column안에 삽입되어 있다. 디스크의 반은 구멍을 갖고 있는데, 이 구멍은 병리학적 시뮬레이터이다. 이것들은 각 column에는 동일하지만 다른 column과는 두께가 다른 구조로 되어있다. 각 column의 모든 디스크는 같은 색이지만 또 다른 특별한 사인들을 가지고 있으며, 팬텀내 디스크들의 위치는 임의로 바꿀 수 있다[5,6].

본 연구에 사용된 TRM 팬텀은 mammography 장치의 정도관리 용도로 사용되는 팬텀으로 가로 135 mm, 세로 142 mm, 두께 15 mm, 무게는 약 500 g의 구조물이다. 디스크는 1~10열 까지이며, 한 열의 디스크에는 10개의 column들이 있다. 1~5열까지의 실험요소는 aluminium oxide(Al_2O_3) specks을 각 디스크마다 0.2 mm~0.55

mm 두께차이로 구분되었으며, 6~10열까지의 실험요소는 나일론섬유를 각 디스크마다 0.45 mm~1.25 mm 두께차이로 구분되어져 있다(Fig. 1).

2.3 실험 방법

실험을 위해 X선 발생장치의 직선성과 재현성을 체크한 후 TRM 팬텀내 각 디스크의 column들을 무작위로 배열시킨 후 그리드를 사용하지 않고 촬영을 하였다(Fig. 2). FFD가 60 cm로 고정되어진 유방 X선 발생장치를 조정하고, cassette 고정대 내에 cassette를 삽입하였다. Cassette 고정대 위에 TRM 팬텀을 설치하고, 아크릴을 10 mm 단위의 두께변화를 주면서 30~50 mm까지, X선 노출조건 설정에서의 kVp는 2 kV씩의 변화로 22~26 kV까지, mAs는 50, 64, 80 mAs의 조건으로 변화시키면서 촬영하였다. 즉, 아크릴 두께 30 mm, 22 kV 50 mAs의 X선 노출 설정부터 아크릴 두께 50 mm, 26 kV 80 mAs 까지 아크릴 두께와 kV, mAs를 순차적으로 변화시키면서 실험촬영 하여 자동현상기를 통해 영상을 획득하였다.

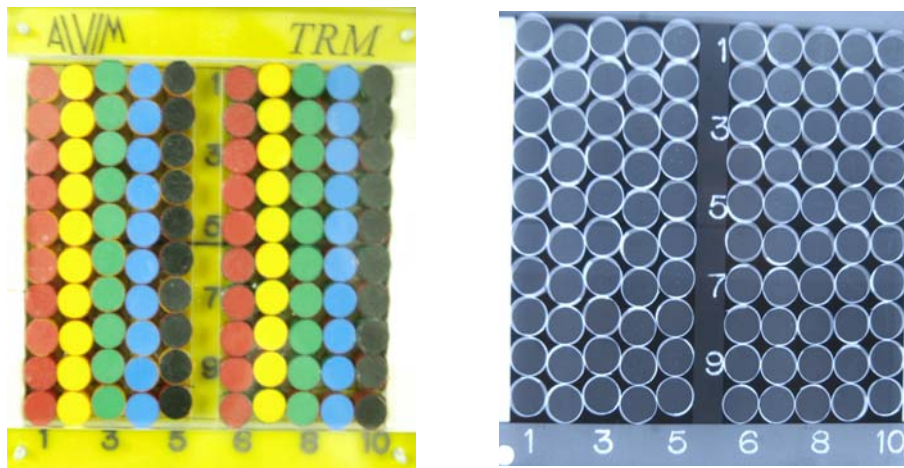


Fig. 1. Illustration of TRM phantom & image.

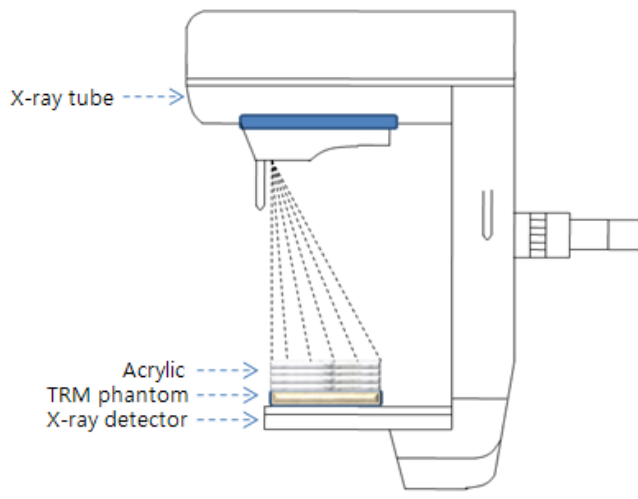


Fig. 2. Set-up of test equipment.

2.4 영상평가 및 분석

획득된 영상의 시각적 평가는 30명의 일반인 관찰자를 대상으로 실내조도 50 Lux 이하의 조건에서 view box 조도 700~800 Lux, 관찰거리는 가능한 30 cm을 유지한 가운데 관찰하도록 하였다. 이 때 ROC 해석을 위하여 각 관찰자들에게 디스크별 column내 병리학적 시뮬레이터 물질에 대한 존재 확률을 다음의 판정 요령에 따라 5단계로 분류 응답하도록 하였다[7,8].

- I. 신호는 절대 없다.
- II. 신호는 아마 없을 것이다.
- III. 알 수 없다.
- IV. 신호는 아마 있을 것이다.
- V. 신호는 절대로 있다.

이 응답에 따라 각 단계의 응답수로 집계한 다음, 누적수를 전체의 응답수로 나누어 조건에 대한 확률 P(S/s)와 P(S/n)을 구하였다. 그 후 종축에 P(S/s), 횡축에

P(S/n)을 표시하여 ROC 곡선을 작성하였다. 또한 신호를 신호로써 바르게 검출하는 능력인 감도(sensitivity)와 신호가 전혀 없고 잡음만 있는 것을 바르게 잡음만으로 검출하는 능력인 특이도(specificity)를 다음과 같이 구하여 분석하였다.

$$\text{감도}(\%) = \frac{\text{참의 양성수(TP)}}{\text{관찰한 신호의 총수(TP + FN)}} \times 100$$

$$\text{특이도}(\%) = \frac{\text{참의 음성수(TN)}}{\text{관찰한 잡음의 총수(TN + FP)}} \times 100$$

3. 결과 및 논의

유방검사의 피사체 두께를 가정하여 아크릴을 30~50 mm 두께범위에서 22~26 kV, 50~80 mAs 노출 조건으로 TRM 팬텀의 신호와 잡음을 관찰한 판정결과는 표 1과 같이 나타났으며 이에 따른 ROC 곡선은 그림 3과 같다.

Table 1. Values of P(S/s) and P(S/n) for Judgements.

	Exposure	Material for experiments	Probability	I	II	III	IV	V
kVp	22 kV 64 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.673	0.580	0.460	0.240
			P(s/n)	1.000	0.180	0.013	0.007	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.607	0.393	0.127	0.060
			P(s/n)	1.000	0.193	0.040	0.007	0.000
	24 kV 64 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.667	0.553	0.440	0.240
			P(s/n)	1.000	0.273	0.047	0.013	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.613	0.527	0.353	0.240
			P(s/n)	1.000	0.167	0.020	0.007	0.000
	26 kV 64 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.700	0.607	0.487	0.273
			P(s/n)	1.000	0.253	0.080	0.020	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.680	0.480	0.327	0.167
			P(s/n)	1.000	0.207	0.047	0.000	0.000
mAs	24 kV 50 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.667	0.587	0.493	0.327
			P(s/n)	1.000	0.213	0.033	0.013	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.520	0.413	0.280	0.113
			P(s/n)	1.000	0.160	0.020	0.007	0.000
	24 kV 64 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.667	0.553	0.440	0.240
			P(s/n)	1.000	0.273	0.047	0.013	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.613	0.527	0.353	0.240
			P(s/n)	1.000	0.167	0.020	0.007	0.000
	24 kV 80 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.660	0.513	0.100	0.040
			P(s/n)	1.000	0.627	0.447	0.087	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.540	0.193	0.020	0.000
			P(s/n)	1.000	0.540	0.320	0.013	0.000
Thickness	24 kV 64 mAs 3 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.320	0.167	0.047	0.007
			P(s/n)	1.000	0.173	0.053	0.000	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.107	0.000	0.000	0.000
			P(s/n)	1.000	0.113	0.000	0.000	0.000
	24 kV 64 mAs 4 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.667	0.553	0.440	0.240
			P(s/n)	1.000	0.273	0.047	0.013	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.613	0.527	0.353	0.240
			P(s/n)	1.000	0.167	0.020	0.007	0.000
	24 kV 64 mAs 5 cm	Speck	P(s/s)	1.000	0.593	0.440	0.320	0.173
			P(s/n)	1.000	0.213	0.040	0.000	0.000
		Fiber	P(s/s)	1.000	0.340	0.113	0.027	0.007
			P(s/n)	1.000	0.020	0.000	0.000	0.000

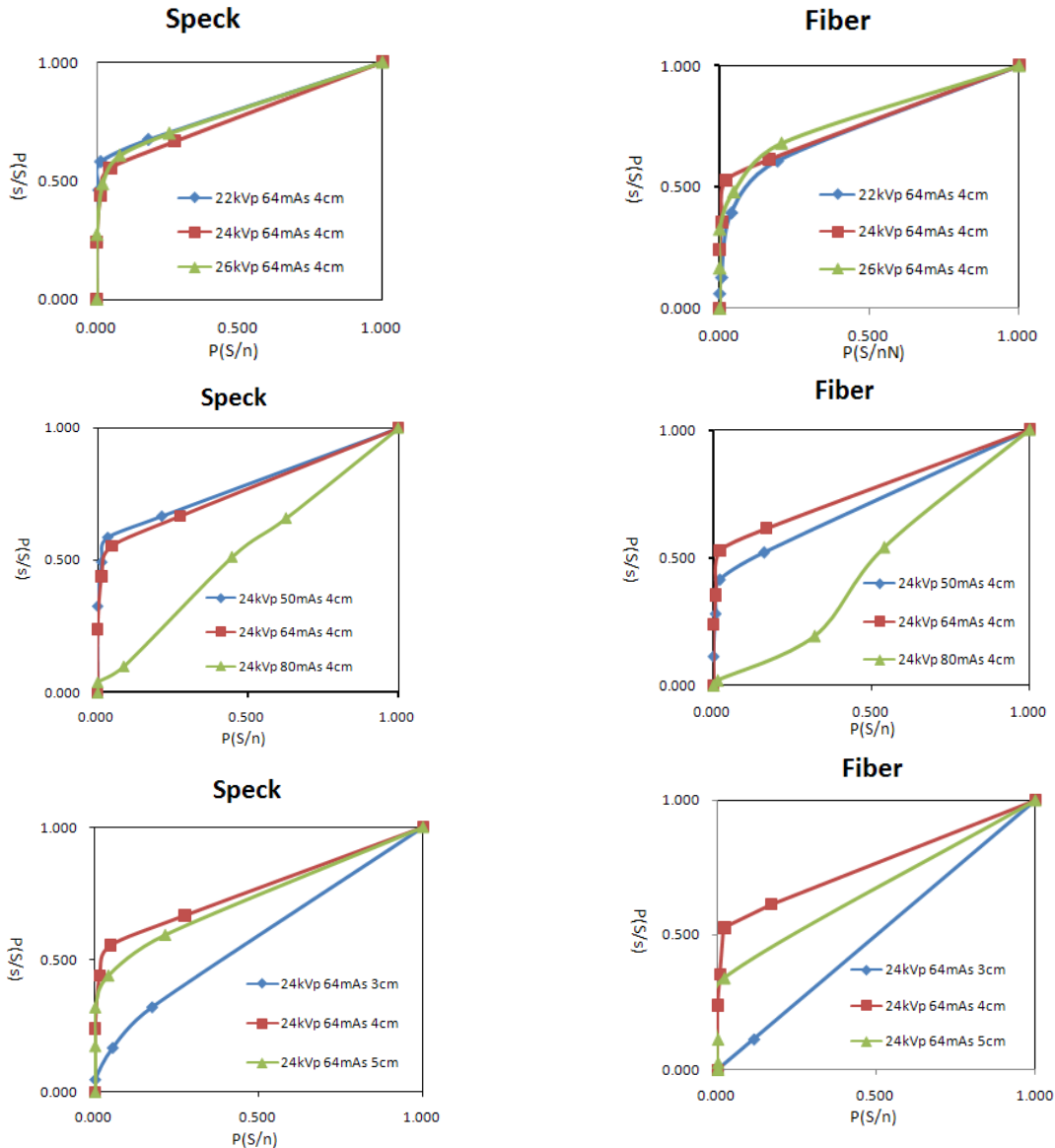


Fig. 3. ROC curves in various conditions of the breast imaging.

신호가 있는 경우와 없는 경우를 speck과 fiber로 구분하여 무작위로 관찰한 결과, 아크릴의 동일 두께에서의 관전압 변화에는 큰 차이를 보이지 않았으나 관전류와 피사체 두께변화에는 많은 차이를 보였다. 즉, speck의 경우 40 mm의 피사체 두께에서 24 kV 50~64 mAs 노출조건일 때 TP(S/s)=1.0, FP(S/n)=1.0에(좌상방) 가까워지는 것으로 나타났으며, Fiber의 경우는 24 kV 64 mAs의 노출조건일때 좌상방의 그래프가 형성되었다. 또한 두께의 변화에서도 24 kV 64 mAs, 40 mm의 조건일때 최적의 좌상방의 ROC 곡선이 형성되는 것으로 나타났다.(Fig. 3).

신호를 신호로써 빠르게 검출하는 능력인 감도와 잡음을 잡음으로써 빠르게 검출하는 능력인 특이도를 산출한 결과는 표 2와 같다. 관전압 변화에서는 감도와 특이도의 큰 차이가 없었으나, 관전류 변화의 경우 감도에서는 24 kV 80 mAs에서 특이도에서는 24 kV 64 mAs에서

높게 나타났다. 또한 두께 변화에서는 30 mm에서 감도와 특이도 모두 높게 나타났다.

X선 저지극 원자의 원자번호가 높을수록 X선의 발생효율은 커진다. 진단용 방사선발생장치 중 일반촬영에 사용되는 X선 저지극으로는 대부분 텅스텐을 사용하고 있다. 고원자번호의 텅스텐에서 발생한 X선속은 대부분 저지선으로 형성되어 있다. 실제 특성방사선의 분포율은 관전압에 따라 변화하지만 총 X선속에서의 분포율은 낮다. 따라서 저원자번호인 양극은 저지선 발생율이 낮아진다. 저지선 발생율은 관전압을 감소시키면 역시 낮아진다. 따라서 저지극으로 저원자번호인 금속을 이용하면서 저관전압을 선택하면 저지선의 발생효율은 감소하고 특성방사선은 증가한다. 이와 같은 원리를 이용하여 유방촬영용 X선관의 양극을 molybdenum으로 한다. 유방촬영시 최대 관전압도 약 40 kV로 낮추면 molybdenum의 K특성방사선의 에너지대인 17.9 keV와 19.5 keV 사

Table 2. Sensitivity and Specificity of the Molybdenum Target for the Detection of the Minute Lesions in the Breast.

	Exposure	Material for experiments	Sensitivity(%)	Specificity(%)
kVp	22 kV 64 mAs	Speck	51.2	98.7
		Fiber	70.4	94.1
	24 kV 64 mAs	Speck	52.5	91.6
		Fiber	56.8	95.1
	26 kV 64 mAs	Speck	48.3	91.1
		Fiber	58.7	93.6
mAs	24 kV 50 mAs	Speck	48.2	84.5
		Fiber	66.9	95.3
	24 kV 64 mAs	Speck	52.5	91.6
		Fiber	56.8	95.1
	24 kV 80 mAs	Speck	64.2	70.9
		Fiber	81.3	78.1
Thickness	24 kV 3 cm	Speck	86.5	96.3
		Fiber	97.4	99.7
	24 kV 4 cm	Speck	52.5	91.6
		Fiber	56.8	95.1
	24 kV 5 cm	Speck	61.9	93.7
		Fiber	87.9	99.5

이에 포함되므로 적정 유방촬영을 할 수 있다. 유방 피사체의 경우 에너지가 subject contrast를 결정하는 중요 인자이므로 유방피사체 평균 두께인 경우 유방 자체가 여과작용을 하기 때문에 평균두께 이내의 피사체라면 관전압을 높게 선택하지 말아야 한다[9]. 따라서 본 연구에서는 Mo 저지극에서의 관전압의 변화가 영상에 어떤 영향을 끼치는지에 대해 중점을 둔 연구였다.

영상 평가를 위해 ALVIM TRM을 사용하였는데 이 팬텀의 특징은 디스크의 위치를 랜덤으로 변경 가능하므로 관찰자의 선입견 없이 객관적인 평가를 얻을 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한 한번의 실험에 많은 시료를 얻는 것이 가능하기 때문에 번잡한 시료 수집이 단시간에 가능하고 진양성뿐만 아니라 위양성의 정량적 평가가 가능하다는 것이다. 하지만 가상적 모의병변 물질이 2가지로 한정되어 있다는 단점이 다소 아쉬운 부분이라 할 수 있다.

영상분석은 ROC curve를 이용하였다. ROC 곡선은 영상분석 방법 중 시각적 평가방법으로는 가장 우수한 방법으로 중요한 위치를 차지하고 있으며 이 방법은 물리적 측정법에 피사체 스펙트럼을 도입하여 검출기의 전달 함수와 부가된 잡음까지 포함된 종합 영상 평가법으로 이 체계만이 수광계가 가지고 있는 영상의 질적인 이중성을 설명해준다[10]. 그러나 ROC 곡선은 관찰자의 경험, 관찰환경, 영상 처리방법 등에 따라 곡선에 영향을 주게 되므로 주의하여야 한다. ROC 분석방법에는 곡선의 형상, 감도와 특이도, 최대정보량 등을 분석할 수 있으나 본 연구에서는 ROC 곡선의 형상과 감도와 특이도

만을 산출하여 분석하였다. 향후 Mo/Mo 조합의 유방촬영 장치에서의 질환 검출능력을 보다 세밀히 연구하기 위해서는 가상 모의병변을 추가하여 최대정보량을 포함한 보다 종합적인 ROC 분석이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

Mo/Mo 조합 유방촬영장치를 사용하여 피사체의 평균 두께를 검사하여 ROC 곡선에 의해 영상을 평가한 결과, 관전압 변화가 영상에 미치는 영향은 매우 미세하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 임상적으로 유방의 평균두께인 경우 저에너지라도 투과력이 충분하지만 두꺼운 경우에는 유방 자체가 여과작용을 하는 까닭에 선질이 경화되어 구조물간 X선 흡수차가 낮아져 contrast가 감소하게 되므로 평균 두께라면 관전압을 높여서는 안된다 라는 것을 증명할 수 있었다. 또한 mAs의 변화와 두께변화를 ROC 곡선에서 비교해 본 결과 Mo/Mo 조합의 유방촬영 장치에서의 적정 노출조건으로 24 kV, 64 mAs에 유방의 평균 피사체 두께인 40 mm에서 최적의 질환검출 능력의 영상이 획득되었다.

감사의 글

This work was supported by Nuclear Research & Development Program of National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Education, Science & Technology(MEST) (grant code : 2009- 0083447).

참고문헌

1. Gold RH, Bassett LW. X-ray mammography : history, controversy, and state of the art. In: Bassett LW, Gold RH. Mammography, thermography, and ultrasound in breast cancer detection. New York; Grune & Stratton, 1982:3-11.
2. Haus AG. Physical principles and radiation dose in mammography. Med. Radiogr. Photogr. 1982; 58(3):70-80.
3. Haus AG, Doi K, Metz CE. Image quality in mammography. Radiology 1977 October;125: 77-85.
4. Jans RG, Butler PF, McCrohan JJ. Status of film/screen mammography : Results of the BENT study. Radiology 1979;132:197-200.
5. Bley TA, Kotter E, Saueressig U, Springer OS, Fisch D, Ghanem NA, Lager M. Using Receiver Operating Characteristic Methodology to Evaluate the Diagnostic Quality on Paper Prints Versus Film. American Roentgen Ray Society 2003;181:1487-1490.
6. Shoji S, Chabatake M, Yamamoto T, Mizushima T, Shimada Y, Sanada S, Koshida K. A Study of ALVIM Mammographic Statistical Phantom TRM: 1st Report: Introduction of this Phantom. 日本放射線技術學會第54回綜合學術大會發表錄 1998:334.
7. Chabatake M, Shoji S, Yamamoto T, Mizushima T, Shimada Y, Sanada S, Koshida K. A Study of ALVIM Mammographic Statistical Phantom TRM: 2nd Report: Comparison of ROC Analysis and RMI 156 Phantom. 日本放射線技術學會第54回綜合學術大會發表錄 1998:335.
8. 허준. 증감지 격자에 따른 화상의 ROC 곡선의 평가. 대한방사선기술학회지. 1994;17(2):45-49.
9. 허준, 이인자, 김건중, 유명선, 김정민. ROC 곡선에 의한 화질의 평가. 대한방사선기술학회지 1991;14(2):33-36.
10. Charles EM. ROC 解析の基礎. 日本放射線技術學會志 1990;46(6):831-839.

A Study on the Detection Ability of Minute Lesions in X-ray Using the Molybdenum Target

Da-Rae Yang^{*}, Kyung-Rae Dong^{*†}, Yong-Soon Park^{*}, Youn-Sang Ji^{*}, Young-Keun Kim^{*} and Chang-Bok Kim^{*}

^{*}Department of Radiological Technology, Gwangju Health College University, [†]Department of Nuclear Engineering, Chosun University

Abstract - Beam quality is determined according to Xray tube's target material. In a range of between 22 kVp and 28 kVp, molybdenum target generates the characteristics energy between the average 17.9 kVp and 19.5 kVp, which produces the high contrast image of the breast. In this study, we used the Mo/Mo combination breast device and ALVIM TRM phantom and measured the detection ability of the minute lesion in the breast imaging throughout analyzing ROC curves. Assuming that an average subject thickness of the breast is 40 mm, the detection ability was not dependent on the kVp changes in a while dependent on both the mAs and thickness change. We can assure that it is not needed to increase the kVp for the imaging of breast which thickness is within the mean range of 40 mm.

Keywords : Breast, Molybdenum target, ALVIM TRM model, ROC curve