

유방촬영용 X선관 target/filter 조합에 따른 MTF영상평가에 관한 고찰

— Evaluation of MTF Image by Target/Filter Combined of X-ray Tube Using Mammography —

을지대학교 보건과학대학 방사선학과·서울아산병원 영상의학팀*

양한준·고신관·주미화*

— 국문초록 —

인체의 유방은 조직 간의 엑스선 흡수차가 작기 때문에 엑스선관 Target/Filter의 적절한 조합으로 피사체의 대 조도를 높이는 일이 중요하다. 최근 장비들은 다양한 유방두께와 유선조직 밀도에 따라서 Target/Filter의 조합을 변화시켜 환자의 피폭 선량 경감 및 진단에 알맞는 화질을 얻고 있다. 본 실험은 Target/Filter의 조합에 따라 해상력 차트를 이용하여 MTF 영상의 평가와 유방 팬텀 영상을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 아크릴 두께(2 cm, 3 cm, 4 cm)의 조합(Mo/Mo, Mo/Rh, Mo/Al, Rh/Rh, Rh/Al)에 따라 고유원자번호에 의해 엑스선 에너지에서 큰 차이를 보였다.
2. MTF 곡선에서 선예도를 나타내는 MTF 0.5에서의 Lp/mm 값은 아크릴 2 cm일 때 Mo/Mo은 2.4 Lp/mm, 4 cm일 때 Mo/Rh은 2.63 Lp/mm, 6 cm일 때 Rh/Rh은 2.9 Lp/mm로 높게 나타났다.
3. 분해능을 나타내는 MTF 값은 아크릴 2 cm일 때 Mo/Mo은 6.0 Lp/mm, 4 cm일 때 Rh/Al은 4.60 Lp/mm, 6 cm일 때 Rh/Al은 6.03 Lp/mm로 MTF 값이 높게 나타났다.
4. 시각적 식별이 가능한 2.5 Lp/mm에서 MTF 값은 2 cm일 때 Mo/Mo은 0.48 Lp/mm, 4 cm일 때 Mo/Rh은 0.53 Lp/mm, 6 cm일 때 Rh/Rh은 0.59 Lp/mm로 높게 나타났다.
5. 유방 팬텀 영상평가에서는 Mo/Mo일 때 12점, Mo/Rh일 때 11점, Rh/Rh일 때 10.5점, Mo/Al일 때 10점, Rh/Al일 때 9점 순으로 나타났다.

중심 단어: Target/ Filter 조합, MTF, 유방 팬텀

I. 서 론

최근 대한민국 여성들의 유방암 증가율은 여성암 중 1위를 차지하고 있다¹⁾. 따라서 유방 질환에 대한 관심도가

매우 높아지고 있고 검사건수도 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 유방 엑스선 촬영(Mammography) 시 더 한층 정확한 검사를 요구하는 환자 및 수진자들도 늘어나고 있는 실정이다²⁾.

유방 엑스선 촬영의 궁극적인 목적은 유방암을 조기에 발견하여 적절한 치료를 할 수 있게 하는 것이기 때문에 정확하고 선예도가 좋은 영상을 묘사하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 영상을 만들기 위해서는 유방 촬영용 엑스선 진단장치의 정도관리와 함께 장치의 특수성을 이

* 이 논문은 2007년 4월 11일 접수되어 2007년 6월 8일 채택 됨.
교신저자 : 고신관, (461-713) 경기도 성남시 수정구 양지동 212번지
을지대학교 보건과학대학 방사선학과
TEL : 031-740-7225, FAX : 031-740-7351
E-mail : sgko@eulji.ac.kr

해하여 다양한 유방의 형태 및 두께에 따른 정확한 검사를 시행해야 한다³⁾.

최근 대한민국 여성들의 유방 크기는 서구화된 식생활의 변화로 유방의 크기 및 두께도 점차 변화하고 있어 이러한 추세에 맞는 적절한 검사를 통해 진단하기 좋은 영상을 획득하여야 한다. 그러나, 유방조직은 유선조직과 지방조직으로 구성된 특수조직으로 조직 간 엑스선 흡수차가 작아서 대조도를 높게 만든다는 것은 쉬운 일이 아니기 때문에 저에너지 엑스선속과 대조도가 높은 필름을 사용하고 있다^{4,5)}.

엑스선 질은 타겟 물질(Target material)과 여과 판(Filter)의 조합에 의해 결정되며 현재 유방촬영에 적용하고 있는 타겟과 여과 판의 조합은 Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh, W/Rh 등으로 이들의 조합에 따라 엑스선 스펙트럼도 변화하지만 동시에 화질과 피폭선량에도 큰 영향을 주기 때문에 유선 밀도 및 두께에 따른 최적의 선택이 필요하다⁶⁾.

본 연구자들은 영상의 농도를 일정하게 유지하는 노출 조건을 설정하여 target/filter의 조합(Mo/Mo, Mo/Rh, Mo/Al, Rh/Rh, Rh/Al)에 대한 해상도를 알아보기 위하여 아크릴 팬텀 두께가 변화될 때 마다 해상력 차트를 노출시켜 얻어낸 영상에 따라 어떠한 조합이 가장 좋은 MTF의 영상을 나타내는지 평가하고 target/filter의 조합에 따른 유방 팬텀의 영상 평가를 통해 MTF와의 차이점을 비교 분석함으로써 유방촬영 시 영상의 질 향상 및 피폭선량 감소 방법을 도출하여 보고하는 바이다.

II. 실험 기기 및 방법

1. 장치 및 재료

- 1) 유방촬영용 엑스선 장치 : Senograph DMR + (GE medical)
- 2) 팬텀 : ① 유방팬텀 : Model 18-220(VICTOREEN, INC.)
② Acryl pantom : 두께 2, 4, 6 cm
- 3) MTF 차트 : Lp/mm = 10
- 4) 증감지/필름 : Kodak MIN-R system(screen : Kodak 2190/film : Kodak Min R L)
- 5) 자동현상기 : Fuji FPM 3500(현상온도 35℃)

- 6) Pb판 : Size(20×20 cm²)
- 7) 농도계 : ① Micro-densitometer : Konica PDM-7
② PDA-85
- 8) 선량측정기 : ① Monitor controller(Model : 2026C)
② Ion chamber(Model : SN : 22082)
(Radical Co.)

2. 측정 방법

1) 유방촬영용 엑스선관의 타겟과 여과 판의 조합을 Mo/Mo, Mo/Rh, Mo/Al, Rh/Rh, Rh/Al 등 총 5가지 조합으로 설정하였다.

2) 피사체 두께는 유방촬영용 아크릴 팬텀을 사용하여 각각 2, 4, 6 cm로 설정 하였다.

3) 촬영조건은 관전압을 28 kV에서 고정하고 각각의 조합에서 사진농도 $D = 2.0 \pm 0.1$ 이 되는 mAs 값을 산출하여 촬영하였고 각각의 조합에 따라 조사선량을 측정하였다.

4) 아크릴 팬텀의 두께를 변화시키면서 각각의 타겟과 여과 판의 조합에 따른 해상력평가를 위해 MTF차트를 팬텀위에 올려놓고 촬영하였다.

5) 촬영한 film을 현상한 후 마이크로 농도계(Micro-densitometer)를 이용하여 농도를 측정하였다.

6) 농도 값을 노광량 값으로 환산하기 위하여 최저농도(0.3 이하)에서 최고 농도(3.0 이상) 사이의 농도 값의 변화가 10~15단계 정도되도록 촬영하여 특성 곡선을 작성하였다.

7) Micro-densitometer에 의해 산출된 농도 값을 특성곡선에서 노광량 값을 산출하여 MTF 값을 계산한 후 MTF 곡선을 작성하였다.

8) 작성된 MTF곡선으로 각각의 조합의 전체적인 해상력을 평가하고 선예도를 나타내는 MTF값 0.5와 분해능을 나타내는 MTF값 0.1에서 선예도와 분해능을 비교하였다. 또한 시각적 식별이 가능한 2.5 Lp/mm의 MTF 값을 비교하여 영상을 평가하였다.

9) Mo/Mo, Mo/Rh, Mo/Al, Rh/Rh, Rh/Al 등 총 5가지 조합에서 유방 팬텀 영상 평가방법에 의해 방사선사 10명이 평가를 실시하였다.

III. 실험 결과

1. 농도 2.0 ± 0.1 을 얻기 위한 mAs 값 및 조사 선량 값

농도 2.0 ± 0.1 을 얻기 위한 target/filter 조합에 따른 mAs 값은 관전압 28 kV에서, 아크릴 팬텀 두께 2 cm에서는 Mo/Al이 25 mAs로 가장 높았고 Rh/Rh가 17 mAs로 가장 낮았다. 4 cm에서는 Mo/Mo이 71 mAs로 가장 높았으며 Rh/Rh가 54 mAs로 가장 낮았다. 6 cm에서는 Mo/Mo이 295 mAs로 가장 높았고 Rh/Al가 154 mAs로 가장 낮았다.

Table 1. The value of mAs and radiation dose for a density to 2.0 ± 0.1

Thickness(cm) Target/Filter	2 (mAs/mR)	4 (mAs/mR)	6 (mAs/mR)
Mo/Mo	23/211.1	71/645.5	295/2,534
Mo/Rh	20/149.3	57/434.6	231/1,761
Mo/Al	25/92	61/230.4	218/908
Rh/Rh	17/133.3	54/430.8	166/1,208
Rh/Al	20/79	56/226	154/564

2. MTF 곡선에 의한 결과 치

1) 선예도를 나타내는 MTF 0.5에서 Lp/mm값

아크릴 두께 2 cm인 경우 Mo/Mo 조합이 2.4 Lp/mm로 가장 높았고 Rh/Rh은 2.15 Lp/mm로 가장 낮았다. 4 cm인 경우 Mo/Rh 조합이 2.625 Lp/mm로 가장 높았으며 Rh/Rh은 2.5 Lp/mm로 가장 낮았다. 6 cm인 경우 Rh/Rh 조합이 2.9 Lp/mm로 가장 높았고 Mo/Mo는 2.45 Lp/mm로 가장 낮았다(Fig 1, 2, 3)(Table 2).

Table 2. The value of lp/mm on MTF to 0.5

Target/Filter Thickness (cm)	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Al	Rh/Rh	Rh/Al
2	2.4	2.225	2.3	2.15	2.225
4	2.575	2.625	2.55	2.5	2.55
6	2.45	2.55	2.525	2.9	2.625

2) 분해능을 나타내는 MTF 0.1에서의 Lp/mm값

아크릴 두께 2 cm인 경우 Mo/Mo이 6.0 Lp/mm로 가장 높았고 Mo/Al이 5.21 Lp/mm로 가장 낮았다. 4 cm인 경우 Rh/Al과 Mo/Rh이 각각 4.598 Lp/mm, 4.6 Lp/mm로 거의 비슷하게 나타났고 Rh/Rh이 4.5 Lp/mm로 가장 낮았다. 6 cm인 경우 Rh/Al이 6.03 Lp/mm로 가장 높았으며, Mo/Rh이 4.7 Lp/mm로 가장 낮았다(Fig 1, 2, 3)(Table 3).

Table 3. The value of lp/mm on MTF to 0.1

Target/Filter Thickness (cm)	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Al	Rh/Rh	Rh/Al
2	6	5.6	5.225	5.45	5.21
4	4.57	4.598	4.55	4.5	4.6
6	5.1	4.7	5.6	5.85	6.03

3) 시각적 식별이 가능한 2.5lp/mm에서의 MTF값

아크릴 두께 2 cm인 경우 Mo/Mo이 0.48 Lp/mm로 가장 높았고, Rh/Rh이 0.43 Lp/mm로 가장 낮았다. 4 cm인 경우 Mo/Rh이 0.53 Lp/mm로 가장 높았으며 Rh/Rh이 0.5 Lp/mm로 가장 낮았다. 6 cm인 경우 Rh/Rh이 0.59 Lp/mm로 가장 높았고 Mo/Mo이 0.49 Lp/mm로 가장 낮았다(Fig 1, 2, 3)(Table 4).

Table 4. The value of MTF at 2.5 lp/mm

Target/Filter Thickness (cm)	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Al	Rh/Rh	Rh/Al
2	0.48	0.435	0.47	0.43	0.45
4	0.52	0.53	0.51	0.5	0.51
6	0.49	0.55	0.51	0.59	0.54

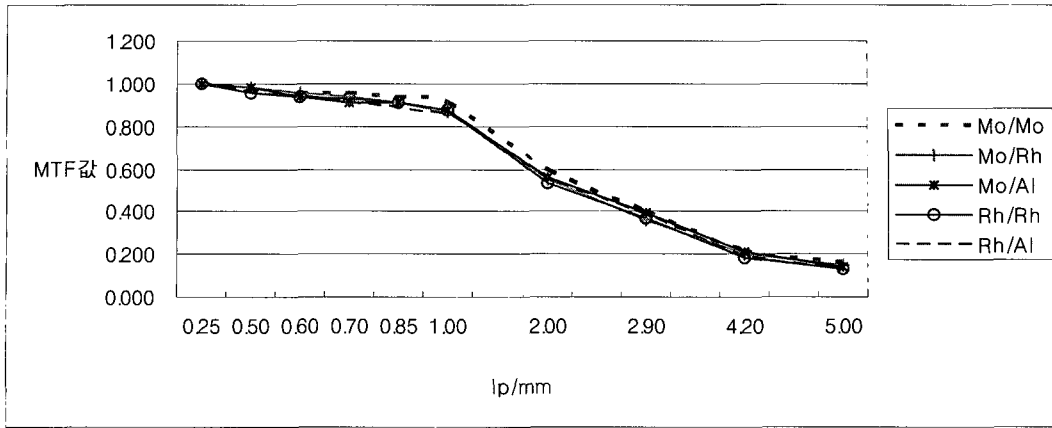


Fig. 1. The MTF curve in acrylic phantom to 2.0 cm

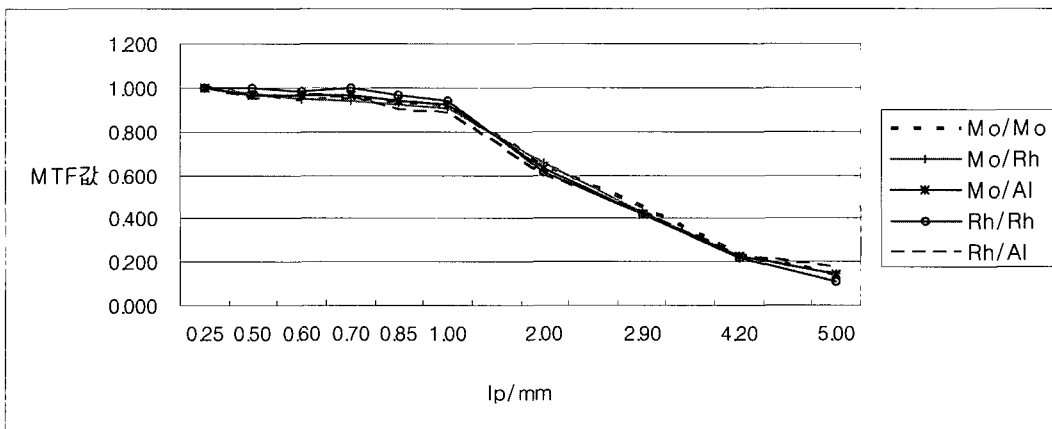


Fig. 2. The MTF curve in acrylic phantom to 4.0 cm

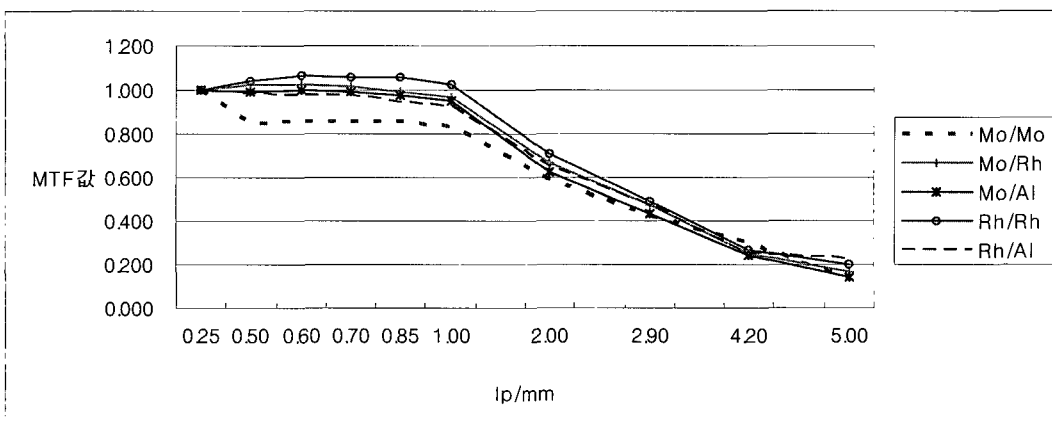


Fig. 3. The MTF curve in acrylic phantom to 6.0 cm

3. 유방 팬텀 영상평가

1) 촬영관전압 28 kV에서 mAs 및 조사선량(mR)

관전압 28 kV에서 팬텀 영상의 배경농도(BD)가 1.2 이상이 되는 농도를 얻기 위해 반자동 방식으로 촬영한 후 노출량을 비교하였다. 유방 팬텀 촬영에서 mAs치는 Mo/Mo이 56 mAs로 가장 높았고 Rh/Rh이 34 mAs로 가장 낮았다. 조사선량은 Mo/Mo이 475 mR로 가장 높았으며 Rh/Al이 37 mR로 가장 낮았다(Table 5).

Table 5. The value of mAs and radiation dose by combination of target and filter

Target/Filter Dose	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Al	Rh/Rh	Rh/Al
mAs	56	43	47	34	37
mR	475	324	180	246	145

2) 유방 팬텀의 영상평가

유방 팬텀의 모의병소 검출능 평가 결과 Mo/Mo조합은 fiber(4.5점), specks(3점), Mass(4.5점)가 12점으로 가장 높았으며 Rh/Al이 9점으로 가장 낮았다(Table 6).

Table 6. A detection capacity on mock lesion of mammographic phantom by combination of target and filter

Target/Filter Mock lesion	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Al	Rh/Rh	Rh/Al
Fiber	4.5	4	3.5	4	3
Specks	3	3	3	3	3
Mass	4.5	4	3.5	3.5	3
Total score	12	11	10	10.5	9

V. 고찰

저에너지를 사용하는 유방촬영에서는 일반촬영과 다른 target/filter가 사용되는데 보통 Mo(Z = 42), Rh(Z = 45) 등을 사용하고 있다. 일반촬영에서 여과 판의 사용은 고에너지 촬영이 일반적이기 때문에 낮은 에너지를 흡수하여 평균에너지가 높은 스펙트럼을 만들어야 하기 때문에 k-흡수단이 낮은 Al(Z = 13), Cu(Z = 29) 등이 사용된다⁷⁾.

이와 반대로, 유방 촬영에 이용하는 엑스선은 저에너지를 사용하기 때문에 타겟에서 나온 에너지 중 높은 에너지를 흡수하여 평균에너지가 낮은 스펙트럼을 만들어야 하기 때문에 원자 번호가 높은 Mo(Z = 42), Rh(Z = 45) 등을 사용 한다⁸⁾. Mo은 특성 엑스선($K_{\alpha} = 17.5 \text{ keV}$, $K_{\beta} = 19.6 \text{ keV}$)이 발생되기 때문에 20 keV에 흡수단을 갖는 Mo 여과 판을 부가하여 저에너지 성분과 동시에 대조도를 저하시키는 흡수단의 고 에너지 성분을 제거하고 특성 엑스선을 선택적으로 추출한다.

본 실험에서는 농도($D = 2.0 \pm 0.1$)를 얻기 위해 같은 관전압(28 kV)이라 할지라도 타겟과 여과 판의 조합이 달라지면 mAs값도 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 각각의 조합에서 방출되는 엑스선 에너지의 크기가 서로 다르기 때문이고 이 에너지 크기의 차이는 아크릴 두께가 두꺼울수록 더 크게 나타난다는 것을 알 수가 있었다⁹⁾.

선예도를 나타내는 MTF 0.5에서 Lp/mm값은 아크릴 두께 2 cm인 경우 Mo/Mo 조합이, 4 cm인 경우는 Mo/Rh 조합이, 6 cm인 경우는 Rh/Rh 조합이 가장 높았다. 반대로 낮은 수치를 보인 6 cm의 경우에는 Mo/Mo에서 투과력이 저하되어 많은 선량이 조사됨으로써 선예도가 가장 낮게 나타나 영상의 질을 떨어뜨리는 결과를 가져오게 되었다. 이는, 엑스선 에너지가 너무 낮으면 피폭이 증가하고 반대로 너무 높으면 대 조도가 저하된다는 사실을 나타내고 있음을 알 수 있었다¹⁰⁾. 이와 같은 현상은 유방 두께에 따라 타겟/여과판 조합이 적절했을 때 영상의 질 향상과 피폭선량의 감소효과를 가져오게 된다는 것을 알 수 있었다¹¹⁾.

분해능을 나타내는 MTF 0.1에서 Lp/mm값은 선예도를 나타내는 아크릴 두께 2, 4 cm인 경우와 비슷하였으며 6 cm인 경우는 분해능이 Rh/Al이 높게 나타났으며, 낮게 나타난 2 cm인 경우 Mo/Al이, 4 cm인 경우 Rh/Rh이, 6 cm인 경우 Mo/Rh이 가장 낮게 나타나 선예도와 차이가 있음을 알 수 있었다.

시간적 식별이 가능한 2.5 Lp/mm에서 MTF값은 아크릴 두께 4 cm인 경우 Mo/Rh, 6 cm인 경우 Rh/Rh이 높게 나타나 유방 촬영 시 유선밀도 및 두께가 증가함에 따라 Rh filter는 Mo filter 보다 흡수층이 3.2 keV 높기 때문에 흡수되기 어려운 20~23.2 keV 사이의 연속 X선의 고 에너지 성분을 높여서 투과력이 강해지고 적은 선량으로 촬영이 가능함을 알 수 있었다¹²⁾.

유방 팬텀 두께 4.2 cm에서 조사선량을 비교한 결과는 Mo/Mo(475 mR)에서는 조사선량이 가장 높게 나타났으나

Mo/Rh 조합인 경우에는 선량이 Mo/Mo보다 낮은 324 mR, Rh/Rh은 246 mR로 나타났으며 모의병소 검출능에서는 Mo/Mo이 12점, Mo/Rh이 11점, Rh/Rh이 10.5점으로 나타나 3가지 조합에서만 ACR의 기준치인 fiber(4개), specks(3그룹), mass(3)를 충족하는 10개 이상의 기준치를 통과하였다. Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh은 조사선량의 차이를 보였으나 모의병소 검출능에는 큰 차이를 보이지 않아 유방 팬텀 두께 4.2 cm와 아크릴 팬텀 두께 4 cm의 MTF 평가는 거의 비슷한 결과치를 도출하였다. 이것은, 타깃/여과 판의 적절한 조합은 촬영 시 선량을 경감하고 영상의 질을 향상시키는 결과를 가져오게 된다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 미비된 다양한 관전압 변화에 따른 Target/Filter의 조합, 팬텀 두께 등에 따른 MTF 영상의 평가가 앞으로 이루어져야 하겠다고 생각된다.

VI . 결 론

각각의 피사체 두께에서 가장 적절한 타깃과 여과 판의 조합을 찾고자 하는 이번실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 각기 다른 타깃과 여과 판의 조합은 서로 다른 고유원자번호에 의해서 엑스선 에너지에서 큰 차이를 보였다.
2. 각각 피사체의 두께변화에 따라서 타깃과 여과 판의 조합은 필름의 영상에 서로 다른 영향을 주었다.
 - 1) 두께 2 cm에서는 Mo/Mo 조합이 가장 적절한 것으로 평가되었고, Rh/Rh 조합이 가장 부적절한 것으로 평가되었다.
 - 2) 두께 4 cm에서는 Mo/Rh 조합이 가장 적절한 것으로 평가되었고, Rh/Rh 조합이 가장 부적절한 것으로 평가되었다.
 - 3) 두께 6 cm에서는 Rh/Rh 조합이 가장 적절한 것으로 평가되었고, Mo/Mo 조합이 가장 부적절한 것으로 평가되었다.
 - 4) 팬텀 영상 평가에서도 Mo/Mo이 모의병소 검출능이 가장 우수하였고, Rh/Al이 가장 낮은 점수로 나타났다.

따라서 유방촬영에서 서로 다른 타깃과 여과 판 조합에 따른 특성에 대해 이해하고 환자의 피폭선량과 영상의 질 등을 고려하여 유방 두께 변화에 따라 적절한 타깃/여과판 조합으로 촬영해야 최상의 진단 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 손병호 : 한국인 유방암 환자의 BRCA1, BRCA2 유전자 돌연변이 양상, 한국유방암학회, p89, 2003
2. 대한방사선의학회 : 유방촬영술의 정도관리, 유방방사선과학회, 131-149, 2001
3. 허 준 : 유방화상 검사기술, 신광출판사, 19-37, 1995
4. 서울아산병원 방사선 팀 : Mammography 검사 manual, 대학서림, 13-39, 101-103, 2001
5. 寺田 央, 放射線士のための マソモグラフィ, 意學科學社, 15-17, 1992
6. 진료 영상학 연구회 편저 : 진단 영상기술학(I), 대학서림, 19-329, 2001
7. Haus AG : "Physical principle and radiation dose in mammography". Med Radiology 1983, Vol.58
8. Kimme-Smith C, Bassett LW, Gold RH : Workbook for quality mammography : mammographic resolution, Philadelphia : Williams & Wilkins, 89-92, 1992
9. 고신관 외 : 방사선 기기 정도관리 및 실험, 정문각, 147-153, 2002.9. Hendrick RE
10. Hans AG, Hubbard LB. "American College of Radiology Accreditation program for mammographic screening sites. Physical evaluation criteria (abstract)". Radiology, Vol. 165, 1987
11. 박경진, 김건중, 박수성 외 : 진단방사선원리, 대학서림, 46-55, 135-141, 1998
12. 한국방사선의학재단 : 의료영상품질관리, 76-79, 2004

• Abstract

Evaluation of MTF Image by Target/Filter Combined of X-ray Tube Using Mammography

Han-Jun Yang · Sin-Kwan Ko · *Mi-Hwa Joo

Department of Radiologic Science, College of Health Science, Eulji University

**Department of Radiology, Asan Medical Center*

It is important to consider the contrast of object in Mammography because an absorption gap between tissues of body and breast in breast is low. This study is to evaluate MTF image with resolution chart according to change of combination of target and filter. The results were as follows :

1. There were significant differences in X-ray energy according to combination of filter(Mo/Mo, Mo/Rh, Mo/Al, Rh/Rh, Rh/Al) and acrylic thickness(2 cm, 3 cm, 4 cm).
2. The value of lp/mm on MTF to 0.5 showed that the sharpness in MTF curve was 2.4 compared to Mo/Mo and 2 cm acryl, 2.63 in Mo/Rh and 4 cm acryl, and 2.9 in Rh/Rh and 6 cm acryl.
3. The value of lp/mm on MTF showed that the resolution in MTF curve was 6.0 compared to Mo/Mo and 2 cm acryl, 4.60 in Rh/Al and 4 cm acryl, and 6.03 in Rh/Al and 6 cm acryl.
4. The value of MTF on 2.5 lp/mm distinguishable visually was 0.48 compared to Mo/Mo and 2 cm acryl, 0.53 in Mo/Rh and 4 cm acryl, and 0.59 in Rh/Rh and 6 cm acryl.
5. For the evaluation of an image of the mammo-phantom, the score of Mo/Mo was 12 points, Mo/Rh 11, Rh/Rh 10.5, Mo/Al 10, Rh/Al 9.0, respectively.

Key Words : Target/Filter combination, MTF, Mammographic phantom