

유방검진과 의학물리

김 희 중 · 정 해 조

연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실

1. 서 론

보건복지부 한국중앙암등록사업의 발표에 의하면 2001년 한국 여성 암 발생 등록건수(40,191건)에서 유방암이 16.1%로 1위를 차지하였고 사망률은 2.1%를 나타내었다. 2001년 유방암 발생률은 1995년에 비하여 약 1.7배의 증가율을 나타내었고, 계속적인 증가 추세가 예측되고 있어서 유방검진의 중요성이 더욱더 커지고 있다. 여성의 유방은 대부분이 연조직으로 되어 있어서 효과적으로 유방암을 조기에 진단하고 치료하기 위하여 고 대조도, 고 분해능(12 lp/mm 이상)의 영상 획득이 필수 조건이다. 이를 위하여 의학물리사(Medical Physicist)는 가능한 적은 방사선 선량으로 고 분해능의 영상을 얻는 연구 개발을 지속하고 있다. 유방암 진단에서 유방촬영은 매우 중요하며, 종양의 발생 위치, 크기 및 확장 범위 등을 정확하게 판독(해석)하기 위하여 전문인(방사선전문의사, 의학물리사, 방사선사)의 정도관리(QA/QC)가 필수적이며 국민 건강을 위하여 의료 법제화의 필요성은 당연한 것으로 인식되고 있다. 미국에서는 1992년 MQSA (Mammography Quality Standard Act)가 제정되어 1994년부터 법적 효력을 발하고 1999년 4월부터 법적인 효력을 나타내었다. 국내에서도 2001년에 진단용방사선발생장치안전관리에관한규칙 개정 그리고 2003년에는 특수의료장비의설치및운영에관한규칙의 제정으로 유방촬영의 정도 관리에 대한 법적인 바탕이 마련되어있다.

2. 유선 방사선 선량과 유방촬영기의 물리적 특성

유방암을 진단하기 위하여 X-선을 이용하여 영상을 얻는 유방촬영술(Mammography)은 다른 한편으로 방사선 피폭으로 유방암을 유발하는 확률을 증가시키는

이중성을 지니고 있다. 비록 유방촬영에 의하여 얻는 이득이 건강한 조직에 손상을 부여하고 암을 유발할 수 있는 손해보다 월등하게 크지만, 의학물리사는 가능하다면 적은 양의 방사선으로 우수한 영상을 얻을 수 있는 기술적 방법을 개발, 개선하기 위하여 많은 연구를 하여왔고 앞으로도 계속할 것이다. 방사선 피폭에 의한 유방암 발생 빈도를 예측한 경험은 1945년 원자탄이 투하된 일본의 히로시마와 나가사키에 거주하였던 여성들의 방사선 피폭량에 대한 암 유발 위험도 예측, 캐나다의 한 병원에서 시행한 형광유방촬영에서 피폭량과 유방암과의 관계, 그리고 미국에서 시행한 양성종양환자의 피폭에 대한 유방암의 발생을 근거로 하고 있다. 유방암 발생확률은 유선피폭선량이 100 mSv(10,000 mRem) 일 때 10만명 당 60명이 추가로 유방암을 발생하는 것으로 보고 되었다(UNSCEAR 88). 국내에서도 2001년 개정된 원자력시행령에 의하면 일반인의 연간 선량한도가 1 mSv(100 mRem)이고 유방의 조직가중치가 0.05이므로 법률이 정한 일반인의 연간 선량한도는 20 mSv로 정하고 있다. Table 1은 미국 내 여러 단체 또는 조직체에서 권고하는 평균 유선선량을 나타내고 있다. 실제 임상 유방촬영에서 Cranio-caudal Mammogram Mean Glandular Dose는 Film/Screen(without a grid)에서 0.25 - 0.75 mSv, Film/Screen(with a grid)에서 0.75 - 1.5 mSv, 그리고 Xeromammography에서는 2.25 - 3.50 mSv의 방사선 피폭 범위에서 검진이 시행되고 있다.

유방촬영에서 평균 유선선량(average glandular dose): Dg은 아래의 식으로부터 계산된다 (1).

$$Dg = DgN \times XESE$$

여기서, XESE는 entrance skin exposure (Roentgen, R)로 직접 측정하여야 할 조사선량 값이고, DgN는 entrance skin exposure을 average absorbed dose

(mRem or mGy)로 변환하여 주는 인자이다. 변환 인자(DgN)는 촬영에 사용된 피크 관전압 (kVp) X-ray spectrum의 반가층 값 (HVL), 그리고 유방의 두께와 유방의 유선과 지방조직의 구성 비율과 밀접한 관계가 있고 미리 준비된 표로부터 구할 수 있다 (2).

유방촬영술은 일반 X-선 촬영에 사용되는 텅스텐 (tungsten: W) 타깃의 X-선관보다는 몰리브덴 (molybdenum: Mo) 타깃의 X-선관과 Mo 필터를 사용하여 낮은 에너지의 X-선으로 연조직으로 구성된 유방을 촬영하여 영상 특성을 향상시켰고, 1995년에는 HTC (high - transmission cellular) 그리드를 사용하여 산란 현상을 최소화하여 해상도를 향상 시키려는 노력을 비롯한 많은 노력과 기술 발전이 이루어져왔다 (Table 2) (3 - 4).

최근에는 PACS(Picture Archiving and Communication System)의 도입으로 아날로그 방식인 필름 - 스크린을 이용한 검사에서 필름을 디지털화하거나, CR(Computed Radiography) 또는 DR(Digital Radiography)을 이용하여 디지털 영상을 획득하는 유방촬영술이 급속하게 발전하여왔다. Film/Screen 시스템에서는 X-ray photon이 필름의 AgBr 감광유제와 반응을 일으켜 잠상을 맺게 하고, 필름 현상과정을 통하여 영상을 만들어 내지만, DR 시스템은 Fig. 1과 2에서와 같이 X-ray photon이 형광판(예를 들면, CsI)

과 반응하여 빛으로 전환되고, 이 빛들이 포토다이오드(예를 들면, amorphous silicon panel)들과 반응하여 전하를 만들어 내며, 이렇게 만들어져 축적된 전하들을 각 픽셀(a single piece amorphous silicon flat panel) 단위로 측정하여 디지털 영상 정보를 얻어낸다. DR의 장점은 촬영과 동시에 디지털로 영상을 획득할 수 있으며, dynamic range가 넓어서 bone과 soft tissue까지의 넓은 진단영역을 확보할 수 있어서 재검사가 적으며, image processing을 통하여 판독하기에 적합한 상태로 조절이 가능하며, 이러한 디지털 영상 자료는 네트워크를 통하여 영상자료를 원하는 곳으로 전송하여 신속하게 영상의 조회 및 저장이 가능하다. 유방촬영술에서 DR의 명칭인 Full - Field Digital Mammography (FFDM)는 양자검출효율(DQE: detective quantum efficiency)이 높아서 방사선 선량을 20 - 35% 감소시키면서 Film/Screen mammography에서 획득하는 수준의 영상 화질을 얻을 수 있으며, 아직은 Film/Screen mammography에 비하여 recall rate, biopsy rate, 그리고 sensitivity 등이 다소 낮거나 거의 비슷한 수준을 나타내고 있다. 현재 미국 FDA에서 승인하여 시판되고 있는 제품으로는 GE Senographe 2000D system (2000년 1월 28일 승인), Fisher Imaging SenoScan System (2001년 8월 25일 승인), 그리고 Lorad Digital Breast Imaging (2002년 3월 19

Table 1. Recommended Mean Glandular Dose in United States.

Organization	Film/Screen Mammography	Xeromammography	Year
NCRP*	< 4 mGy	< 4 mGy	1985
MQSA	< 3 mGy		1994
California State	< 2 mGy	< 4 mGy	1990
ACR	< 3 mGy	< 4 mGy	1992

*NCRP: National Council on Radiation Protection & Measurements

Table 2. Developments in Film/Screen Mammography X-ray Equipment.

Development	Year	Investigators/Companies
Molybdenum target-filter	1966	Gros and CGR
Film/Screen systems	1972	Dupont
Qualification of scatter	1975-1977	Friedrich et. al
Qualification of image sharpness	1975	Haus et. al
Grid technique	1978	Philips
Improved Compression	1978	Logan and Norlund
0.1 mm focal spot for magnification	1981	CGR
High-frequency generator	1987	Lorad and Siemens
Improved AEC performance	1987	La France et. al
Rhodium filter and target	1992	GE-CGR
HTC (cellular) grid	1995	Lorad

일 승인), Hologic/ Lorad Selenia FFDM System (2002년 10월 2일)이 있다. FFDM의 여러 장점에도 불구하고 아직은 가격이 상대적으로 고가이지만, 기술 개발이 지속되면 가격과 성능 면에서 경쟁력을 갖추게 되어 점차 Film/Screen mammography를 대체하여 갈 것으로 예상된다. FFDM은 영상 획득 방식에 있어서 Film/Screen mammography와는 전혀 다른 방식으로

이루어지기 때문에 디지털 영상에서는 최고의 해상도를 추구하는 것 못지않게 DQE, 신호대잡음비(SNR: Signal - to - Noise Ratio) 또는 대조도, 해상도를 나타내는 MTF (Modulation Transfer Function) 등에 대한 충분한 이해를 필요로 한다. 우선 비교적 잘 확립된 Film/ Screen 시스템에서의 정도관리와 디지털 영상분야에서 여러 가지 검출 특성 곡선을 이용하여 원

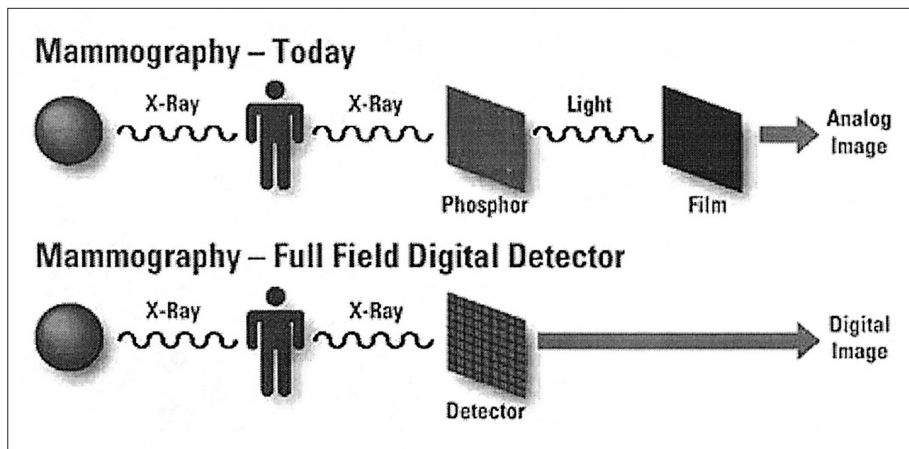


Fig. 1. Analog vs. digital mammography: conventional x-ray systems rely on phosphor/film or image intensifier/pickup-tube techniques to create analog images and digital technology simplifies this process, using a single detector to create direct digital images.

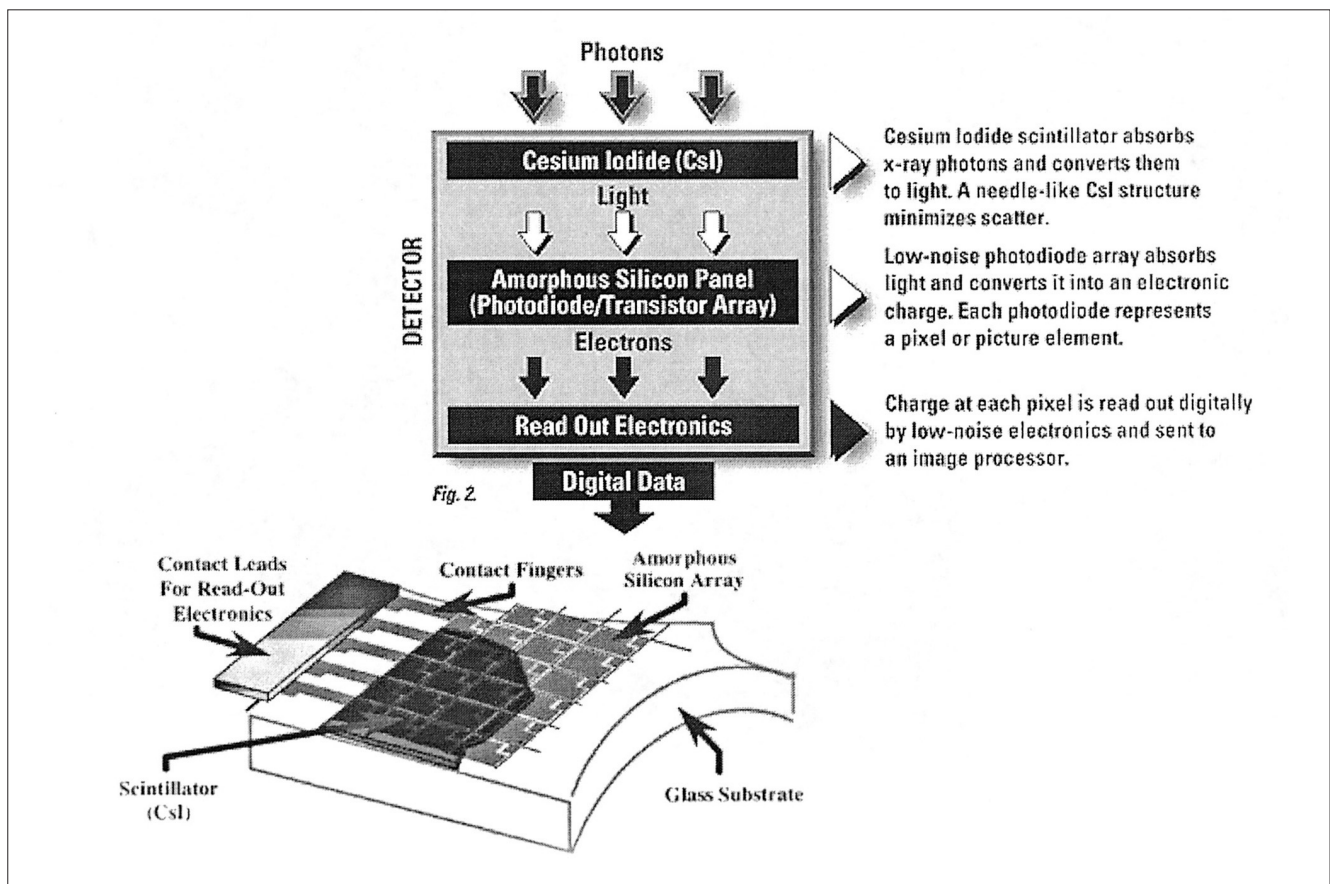


Fig. 2. (Left) Principles of digital detector technology (Right) and A single piece amorphous silicon flat panel.

래의 영상을 변환시키는 등의 다양한 파라미터와 첨단 영상 장비 특성 곡선을 고려하여 FFDM 정도관리 체계를 이루어야 한다.

3. 유방촬영장치의 정도관리 법적 체계

미국에서는 유방암의 초기 진단과 적절한 치료를 위하여 양질의 영상획득을 목적으로 유방검사장비 및 영상의 질을 관리하기 위하여 MQSA(Mammography Quality Standard Act)가 1992년에 법률로 통과되어 1994년 10월 1일부터 버지니아주를 제외한 미국 전역에서 시행하도록 규정하였다. 그 후 몇 번의 수정 보완 작업을 거친 후 미국 식품의약품안전청(FDA)은 1994년 4월 28일부터 본격적인 MQSA에 따른 정도관리를 시행할 것을 규정하고 있다. 또한 1999년 2월에 발표한 ACR(American College of Radiology)의 유방검사 정도관리 매뉴얼(Mammography Quality Control Manual)은 유방촬영 장비의 인증, 방사선과의사, 의학물리사, 방사선사의 자격 요건 및 정도관리를 위한 내용을 상세하게 기술하고 있으며 유방촬영 정도관리를 위하여 유방촬영 판독 의사, 의학물리사, 방사선사가 하여야 할 각각의 역할과 책임을 분명하게 정의하였다. 판독 의사는 모든 정도관리가 요구하는 것에 일치하도록 하는데 책임이 있고, 의학물리사는 장치에 관련된 모든 정도관리 실무를 감독하는 책임이 있고, 지정된 정도관리 방사선사는 판독 의사나 의학물리사에게 배정되지 않은 모든 정도관리 활동을 하도록 하고 있다.

국내에서는 의료기관에서 설치 운영하는 진단용 방사선 발생장치는 보건복지부령 “진단용방사선발생장치의 안전관리에관한규칙”에 의하여 관리되고 있다. 보건복지부령 제 186호 (2001년 1월 13일 개정)에는 유방촬영용장치에 관한 규칙이 개정되어 공포되었으며, 진단용방사선발생장치의 검사기준 항목에서 개정, 신설된 사항으로는 흉벽측에서의 엑스선조사야 시험, 압박대크기 시험, 평균유선선량 시험, 팬텀영상평가시험 등이다 (5). 또한, 2002년 1월 19일에 “국민건강보험재정건전화특별법”(법률 제 6620호)을 제정하여 특수의료장비(자기공명영상촬영장치, 전산화단층촬영장치, 유방촬영용장치)의 적정한 설치와 활용을 위하여 의료기관에서 설치 운영하는 특수의료장비의 등록절차, 설치인정기준 및 품질관리의 절차 등을 정하고 특수의료장비에 대한 관리체계를 확립하였다. 2003년 1월 14일에 제정된 “특수의료장비의 설치 및 운영에 관한 규칙”(보건복지부령 제 235호)은 국민건강보험재정건전화특별법

제 14조에서 위임한 사항과 그 시행에 관하여 필요한 사항(등록, 설치인정 기준, 품질관리 검사의 기준 등)을 규정하여 시행하고 있다 (6).

4. 유방촬영기의 정도관리

ACR에서는 1999년 발간한 유방검사 정도관리 매뉴얼을 살펴보면 radiologist's section, radiologic technologist's section, 그리고 medical physicist's section으로 구분하여 유방촬영에서 정도관리에 대한 각자의 책임과 하여야 할 사항을 자세하게 기술하였다. 다음은 의학물리사가 하여야 할 Film/Screen 유방촬영장치의 정도관리 항목과 보고서 양식 그리고 자료 기록 및 분석 양식을 제공하고 있다 (2).

I. Mammography Quality Control Tests

1. Mammographic Unit Assembly Evaluation
2. Collimation Assessment
3. Evaluation of System Resolution
4. Automatic Exposure Control (AEC) System Performance Assessment
5. Uniformity of Screen Speed
6. Artifact Evaluation
7. Image Quality Evaluation
8. kVp Accuracy and Reproducibility
9. Beam Quality Assessment (Half-Value Layer Measurement)
10. Breast Entrance Exposure, AEC Reproducibility, Average Glandular Dose and Radiation Output Rate
11. Viewbox Luminance and Room Illuminance

II. Assessing the Mammography Site's Quality Control Program

III. Summary Report Forms

IV. Data Recording and Analysis Form

V. MQSA Requirements for Mammography Equipment

VI. Slit Camera Evaluation of Focal Spot Performance

한편, 미국 FDA에서 2000년 1월 유방촬영에 적합하다고 승인하여 임상에서 사용되고 있는 GE Senographe 2000D system 등과 같은 FFDM은 비록 Film/Screen 시스템과 동일한 X-선 발생장치를 사용

하지만 영상 검출 원리는 전혀 다른 것으로 새로운 정도관리 체계를 마련하여야 한다. 2002년, ACR에서는 FFDM에 대한 정도관리 체계를 개정하여 추가하였다. 임상 영상 화질평가, 팬텀 영상 화질평가는 이전의 Film/Screen 시스템 정도관리 체계와 다르지 않다. ACR 2002 정도관리 체계에서 주요한 특징 중의 하나는 디지털 유방 영상을 조회하여 보는 디스플레이 시스템 (모니터)이 포함되는 것이다. 다음은 GE FFDM 시스템에 대하여 FDA에서 승인한 의학물리사가 하여야 할 ACR 2002 유방촬영기 정도관리 항목은 아래와 같고 자세한 평가 양식은 부록에 첨부하였다 (7).

1. Flat Field Test
2. Phantom Image Quality Test for the Acquisition Work Station (AWS)
3. MTF Measurement
4. AOP (automatic optimization of parameters) Mode and SNR Check
5. Collimation Assessment
6. Evaluation of Focal Spot Performance
7. Entrance Exposure, Average Glandular Dose and Radiation Output Rate
8. Artifact Evaluation and Flat Field Uniformity
9. Viewing Condition Check and Setting
10. Monitor Calibration (Brightness/Contrast)
11. Image Quality - SMPTE Pattern
12. Review Work Station (RWS) Screen Uniformity
13. kVp Accuracy and Reproducibility
14. Beam Quality Assessment (Half - Value Layer Measurement)
15. Radiation Output
16. Mammographic Unit Assembly Evaluation

국내에서 2003년에 제정되어 실시되고 있는 특수의료장비의설치및운영에관한규칙에 의한 유방촬영용장치의 품질관리는 1년 단위로 시행되는 서류검사 검사항목으로는 1. 인력검사, 2. 시설검사, 3. 정도관리기록검사, 4. 팬텀영상검사 그리고 3년 단위로 시행되는 정밀검사는 현지조사로 이루어지며 검사항목으로는 1. 인력검사, 2. 시설검사, 3. 정도관리기록검사, 4. 팬텀영상검사 5. 임상영상검사로 이루어져있다. 유방촬영장치의 1년 단위로 정도관리 항목(보건복지부령 제 235호, 제 8조 제 2항 관련)은 다음과 같다.

1. 매일 점검 항목: 암실, 현상기 관리

2. 매주 점검 항목: 증감지 청소, 판독대 청소, 판독실의 조명, 환기, 온도, 소음 점검
3. 3개월 주기 점검 항목: 재촬영 분석, 필름내 잔여 정착액 분석
4. 6개월 주기 점검 항목: 암실 안개, 증감지 - 필름 밀착도 시험, 유방압박장치 점검
5. 1년 주기 점검 항목:
 - 표준 팬텀을 이용한 시험
 - 시준 점검, 해상도 점검
 - 자동노출장치의 점검과 재현성
 - 증감지 감도 측정
 - 임공물 점검, 임상영상 점검,
 - 관전압 정확고와 재현성
 - 선질 점검
 - 평균 유선 선량 측정
 - 방사선 출력율
 - 판독대와 방의 조도 측정

특수의료장비의 설치 및 운영에 관한 규칙에서 제시한 정도관리 항목 및 기준으로 매일 점검 항목, 매주 점검 항목, 3개월 주기 점검 항목 그리고 6개월 주기 점검 항목은 ACR 정도관리 매뉴얼에서 방사선사에게 부여된 정도관리 항목 그리고 1년 주기 점검 항목은 ACR 유방검사 정도관리 매뉴얼에서 의학물리사에게 부여된 항목과 기준에 크게 다르지 않다.

5. 맺음말

유방촬영술은 초기 단계의 유방암을 검진하기 위하여 최소한 12 lp/mm (약 40 μ m) 이상의 고해상도와 고대조도의 영상의 질을 요구하는 의료 영상기기 분야에서 최고의 기술 분야에 속한다. 의학물리학 분야는 의공학 및 방사선학을 비롯한 여러 과학 분야와 협력하여 보다 적은 방사선량으로 고분해능의 영상 화질을 얻는 기술과 항상 최적의 영상을 획득할 수 있는 상태가 되도록 하는 정도관리 프로그램을 개발하여 왔고, 판독의사, 방사선사와 함께 정도관리를 실시해야 한다. 최근에는 디지털 검출기인 FFDM이 개발되어 실제로 임상에 사용되기 시작하였고, PACS 및 CAD (Computer - Aided Diagnosis)의 도입, 그리고 국내에서도 유방촬영기에 대한 정도관리가 법제화되는 등의 유방촬영술 분야에서도 많은 변화가 이루어지고 있다. 또한, 국내 현실에 맞는 FFDM을 포함한 새로운 기술 분야에 대한 정도관리 체계의 확립이 요구될 뿐만 아니라, 기존의 유방촬영 품질관리에 대하여도 효과적이

고 효율적인 정도관리 시행 방안 및 결과에 대한 전문적인 분석 및 통계 자료가 필요하다고 생각한다. 이를 위하여 판독의사, 의학물리사, 방사선사의 각자 말은 범위에서 많은 노력과 협력이 필요한 때라고 확신한다.

참 고 문 헌

1. 김희중, 추성실, 유방영상검사 정도관리: 유선선량측정방법과 인체에 미치는 영향, 2002 Practical Approach of Mammographic Quality Control 이해하기 쉬운 유방촬영 정도관리 실질적 접근, 연

- 세의대 진단방사선과학교실, (2002. 07. 14)
2. ACR Committee on Quality Assurance in Mammography, Mammography Quality Control manual, American College of Radiology (1999).
3. 김희중, 유방촬영기 QC의 물리 및 기기, 제9회 유방방사선연구회 심포지움, 대한방사선의학회 및 유방방사선연구회, (2001. 05. 19)
4. Manfred Sabel and Horst Aichinger, Recent developments in Breast imaging, Phys. Med. Biol. 41, pp. 315-368 (1996)
5. 보건복지부, 보건복지부령 제 186호: 진단용방사선발생장치의안전 관리에관한규칙, (2001)
6. 보건복지부, 보건복지부령 제 235호: 특수의료장비의설치및운영에 관한규칙, (2003)
7. <http://www.fda.gov/cdrh/mammography/>