

평균 유선선량 측정방법의 표준화 및 유방 두께, 실질양상과의 상관관계 분석

연세대학교 보건과학대학 방사선학과, 보건과학연구소

박혜숙 · 김희중 · 이창래 · 조효민 · 유아람

유방암은 우리나라 여성에게 발생하는 암 중에서 발병률이 높은 암이다. 따라서 유방자가진단, 임상적 검사, 유방 X선촬영 등과 같은 유방암 초기 검출검사는 중요하다. 이들 중 유방 X선촬영은 무자각증상 시기에 유방암 초기 검출을 위해 40대 이상의 여성들에게 매년마다 시행하기를 권고하고 있다. 그러나 유방의 유선조직은 방사선 민감성 조직이다. 이에 유방 X선촬영장치의 평가 중 평균 유선선량 측정은 매우 중요한 부분이 된다. 평균 유선선량의 직접측정은 어렵기 때문에 incident air kerma 측정, 적절한 변환계수 등을 적용하여 계산하게 된다. 따라서 본 연구의 첫 번째 목적은 평균 유선선량의 측정 방법의 표준화이다. 두 번째는 몬테칼로 시뮬레이션을 이용하여 평균 유선선량과 유방 실질양상 및 두께와의 상관관계를 분석하고자 했다. 본 연구 결과, IAEA 가이드라인(CoP)에 따라 평균 유선선량 측정방법을 제시하였다. 전반적으로 우리나라는 유방촬영 시 받는 평균 유선선량이 식품의약품안전청 및 한국의료영상품질관리원에서 제시하는 3 mGy 이하로 측정되었다. 측정된 평균 유선선량과 시뮬레이션된 평균 유선선량은 각각 1.7과 1.6 mGy로 큰 차이를 보이지 않았다. 시뮬레이션된 평균 유선선량은 주로 유방의 유선조직의 비율에 따라 의존한다. 유방의 glandularity 증가에 따라 낮은 에너지의 광자의 흡수가 증가하여 평균 유선선량도 증가하였다. 또한 유방의 두께가 두꺼울수록 평균 유선선량은 증가하였다. 결과적으로, 본 연구는 유방촬영의 진단 참조준위 확립을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

중심단어: 유방촬영, 평균 유선선량, Glandularity, 유방두께

서 론

한국중앙암등록사업 2002년 연례 보고서에 따르면 국내 유방암의 발생 빈도는 전체 암 중에서 7.4%를 차지하고 있으며, 여성암 중 16.8%로 1위를 차지하고 있다.¹⁻³⁾ 이는 식습관의 서구화, 비만, 모유수유의 감소, 각종 공해와 스트레스에 노출되면서 발병률이 높아지고 있다.^{3,4)} 유방암 발병률의 증가로 조기 유방암 발견을 위한 유방촬영의 빈도가 증가하고 있다.^{4,5)}

X선을 이용한 유방암 검사법인 유방 X선촬영검사는 고대조도와 고해상력의 화질로 현재 가장 많이 이용되는 유방암 조기 진단법이다. 그러나 유방촬영용 X선장치의 사용빈도가 증가됨에 따라 유방 X선촬영에서 기인하는 방사선

의 위해에 대한 관심이 고조되고 있다.³⁾ 이에 한국에서는 「유방촬영장치의 검사기준 및 시험방법」이 진단용 방사선 발생장치의 안전관리 규칙으로 제정되어 실시하게 되었다.⁶⁾ 유방의 유선조직은 방사선 감수성이 높은 조직이므로 유방 X선촬영 시 발암 위험성이 끊임없이 제기되고 있다.⁷⁻¹⁰⁾ 이로 유방 X선촬영검사 시 평균 유선선량(AGD, average glandular dose) 측정은 유방촬영용 X선장치의 질 평가를 하는 중요한 항목이 되었다.⁷⁾ 유방을 이용한 AGD의 직접적인 측정은 불가능하기 때문에 유방 표면에서 incident air kerma를 측정 후 다양한 변환계수 등을 이용하여 간접적으로 계산하게 된다. 그러나 측정방법 및 이용하는 변환계수에 따라 AGD은 다르게 측정되었다. 본 연구에서는 평균 유선선량 측정방법의 표준화를 위하여 International Atomic Energy Agency (IAEA)에서 규정한 가이드라인(CoP: an international code of practice)을 제시하고자 한다.¹¹⁾

국제방사선방어위원회(ICRP: international commission on radiological protection)에서는 AGD를 지방조직 50%와 유선조직 50%의 유방 실질양상을 갖는 유방두께 4.2 cm에서 3 mGy 이하로 규정하고 있으며, 한국 식품의약품안전청 및

본 연구는 2008년도 과학기술부 원자력 연구개발사업의 방사선 기술개발 사업 지원에 의하여 이루어진 것임.

이 논문은 2009년 2월 19일 접수하여 2009년 3월 14일 채택되었음.

책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지

연세대학교 보건과학대학 방사선학과

Tel: 033)760-2475, Fax: 033)760-2815

E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

한국의료영상품질관리원에서 AGD를 3 mGy 이하로 규정하고 있다.¹²⁾ 그러나 실제적으로 유방 두께 및 실질양상에 따라 AGD는 다르므로 권고치 3 mGy를 넘지 않는다고 해서 환자 피폭 선량이 적다고는 할 수 없다. 본 연구에서는 몬테칼로 시뮬레이션을 이용하여 다양한 유방 두께 및 실질양상에 따른 평균 유선선량을 측정하여 상관관계를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험장비 구성

본 연구에서는 AGD 측정 및 AGD 측정에 영향을 줄 수 있는 여러 인자와의 상관관계를 도출하기 위해 Table 1과 같은 성능을 갖는 직접방식의 디지털유방촬영장치(Selenia, Hologic, Bedford, USA)가 사용되었다. Incident air kerma 및 half value layer (HVL)를 측정하기 위해 european mammographic dosimetry protocol과 IAEA에서 제시한 가이드라인인 CoP에 따라 50% glandularity를 갖는 45 mm 두께의

standard polymethylmethacrylate (PMMA) 팬텀을 제작하였다.^{11,13)} Standard PMMA 팬텀은 다양한 압박유방의 두께를 모사하기 위하여 10 mm 두께의 반원통형 slab 4개와 5 mm 두께의 slab 1개로 구성되었다(Fig. 1).

2. 팬텀을 이용한 측정

1) mAs (관전류 · 시간)의 결정: Standard PMMA 팬텀의 AGD 측정을 위한 조사조건을 결정하기 위하여 automatic exposure control (AEC) 모드상태에서 조사한다. Standard PMMA 팬텀은 유방지지대 장축을 향해 중앙에 위치시키며, 지지대의 흉벽단에 맞춰 위치시킨다. 측정 시 확대모드는 사용하지 않으며, 유방 압박판은 조사선속에 포함시킨

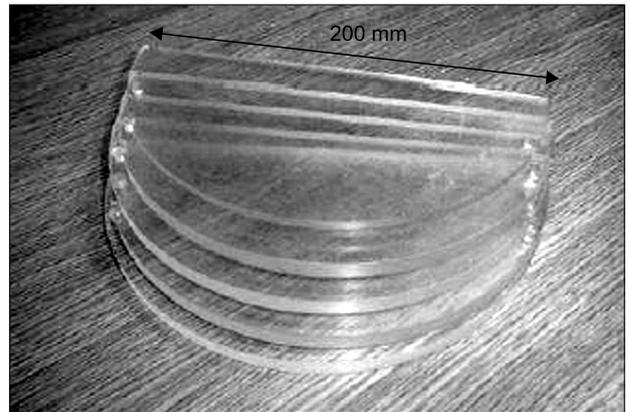


Fig. 1. Photograph of a 45 mm thick standard PMMA phantom which is comprised of four semicircular slabs of thickness 10 mm and one semicircular slab of thickness 5 mm.

Table 1. Specifications of the digital mammography system.

X-ray unit	Digital mammography system
X-ray tube target material	Molybdenum
X-ray tube filter material	Molybdenum, Rhodium
X-ray tube electrical power	4.1 kW
kV range	20 to 39 kVp
Tube mA range	10 mA to 100 mA (large focus) 10 mA to 30 mA (small focus)
Exposure time range	Up to 5 sec

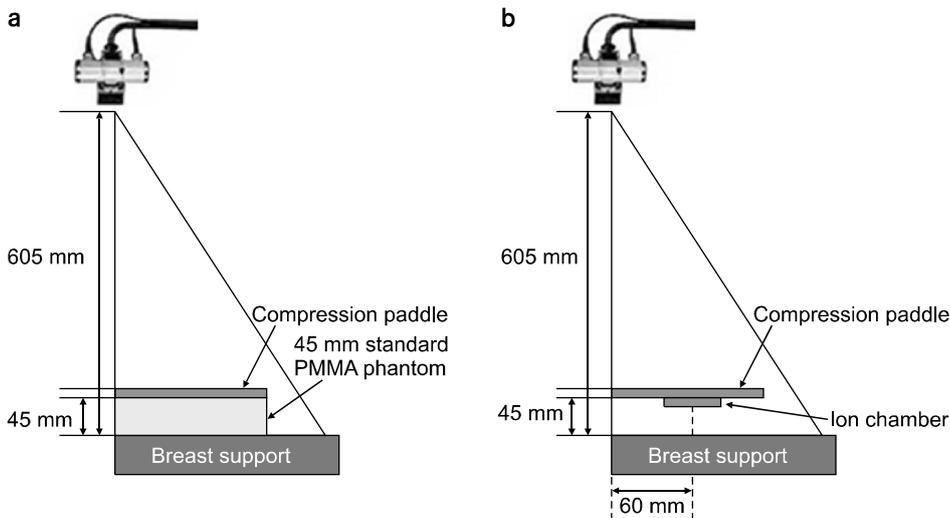


Fig. 2. Illustrations of experimental set-up for measuring tube loading (a), and incident air kerma (b).

다. AEC 모드 하 조사된 mAs P_{I1} 을 기록하고, 오차를 줄이기 위해 두 번이상 조사하여 mAs P_{I2} , P_{I3} 를 측정하였다. 측정된 mAs P_{I1} , P_{I2} , P_{I3} 을 평균하여 평균 mAs $P_{I,auto}$ 를 구하였다(Fig. 2a).

2) Incident air kerma 측정: Incident air kerma 측정을 위해 mAs 측정은 set-up으로부터 팬텀을 제거 시킨 후 기준점에 진단용 이온 챔버(Radcal 9095, Radcal, Corp., Monrovia, CA)를 위치시킨다. 기준점은 유방 지지대 장축의 중앙점에서 흉벽단으로부터 60 mm 떨어진 곳을 말한다. 진단용 이온 챔버는 산란선에 의한 영향을 최소화하기 위하여 유방 지지대위의 기준점으로부터 45 mm 위에 위치시키며, 진단용 이온 챔버의 고정을 위해 유방 지지대로부터 45 mm 떨어져 위치한 압박판에 밀착시켜 놓는다(Fig. 2b). Manual 조사 모드상태에서 측정된 평균 mAs $P_{I,auto}$ 의 근사값인 P_I 로 조사조건을 맞춘 후 3번 조사하여 평균 흡수선량 M_{mean} 을 기록한다. 다음 식 (1)을 이용하여 AEC 모드상태에서의 평균 mAs $P_{I,auto}$ 일 때 흡수선량 M_{auto} 을 계산한다.

$$M_{auto} = P_{I,auto}(M_{mean}/P_I) \quad (1)$$

$$K_i = M_{auto} \cdot N_{k,Q} \cdot k_Q \cdot k_{TP} \quad (2)$$

여기서,

$N_{k,Q}$: 교정계수,

k_Q : quality 보정계수,

k_{TP} : 압력, 온도 보정계수

K_i : AEC 모드 45시 mm standard PMMA 팬텀의 incident air kerma.

AEC 모드에서의 계산된 흡수선량 M_{auto} 는 식 (2)을 통해 보정되어진다. 본 실험에 사용된 이온 챔버는 2007년 3월에 식품의약품안전청을 통해 교정계수 1.06으로 교정되었다. 실험 시 내부 온도와 압력을 측정하여 K_{TP} 을 도출 후 이를 보정하여 incident air kerma를 계산한다.

3) HVL 측정: HVL 측정을 위하여, 공기 중 빔의 산란을 막고 Al 감약체(순도 99%)의 지지대 역할을 하는 jig를 제작한다. Jig는 납판(1 mm 두께)을 이용하여 유방 지지대를 둘러쌀 수 있는 충분한 크기로 제작했다. 측정 시 후방산란의 영향을 피하기 위해 유방 지지대로부터 위로 100 mm 떨어진 곳에 이온 챔버를 위치시킨다(Fig. 3). 반가측 측정 시 압박판은 그대로 유지되며, manual 조사 모드로 조사하게 된다. Al 감약체가 없을 때 두 번이상 조사한 후 평균값을 기록한다. 예상되는 HVL을 참고하여 Al 감약체의 두께

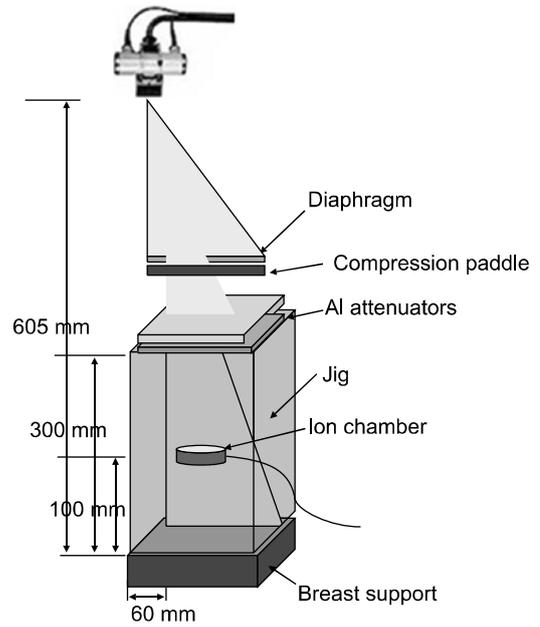


Fig. 3. Illustration of experimental set-up for measuring HVL.

를 증가시켜가며 측정한다. Al 감약체가 없을 때 측정된 값의 1/4 이하가 나올 때까지 측정을 반복한다.

4) 팬텀의 AGD 계산: 45 mm standard PMMA 팬텀의 AGD를 계산하기 위하여 도출된 incident air kerma를 식 (3)에 대입한다.

$$D_G = c_{D_{G50, K_i, PMMA}} \cdot s \cdot K_i \quad (3)$$

여기서,

D_G : AGD,

$c_{D_{G50, K_i, PMMA}}$: 변환계수,

s : spectral 보정계수,

K_i : AEC 모드하 45 mm standard PMMA phantom의 incident air kerma.

s 는 spectral 보정계수로 target/filter 조합에 의해 결정되며

Dance 등¹¹⁾에 의해 보고된 바 있다. $c_{D_{G50, K_i, PMMA}}$ 는 45 mm standard PMMA 팬텀의 incident air kerma로부터 50%의 glandularity를 갖는 50 mm 두께의 유방의 AGD를 구하기 위한 변환계수이다. 변환계수는 HVL를 이용하여 결정되며, European protocol¹³⁾에 보고된 바 있다.

3. 환자 측정

1) 기준점에서 X-ray output 측정: 국내 환자의 평균 AGD를 측정하기 위하여 환자 유방 X선촬영 시 관전압, mAs, 압박된 유방두께, target/filter 조합 등을 조사하였다. 본 연구에서는 2007년 4월, 2008년 9월동안 신촌 세브란스 병원에서 사용한 데이터를 획득하였다.

$$Y_{ref} = \frac{M \cdot N_{k, Q_0} \cdot k_Q \cdot k_{TP}}{P} \quad (4)$$

여기서,

Y_{ref} : 기준점에서의 X-ray output,

M: 흡수선량,

P: mAs.

Manual 조사 모드상태에서 환자 유방X선촬영 시 기록된 조사조건과 동일하게 설정한 후 기준점에 이온 챔버를 위치시킨다. 세 번 조사하여 평균 값 M을 기록한 후 식 (4)를 이용하여 기준점에서의 X-ray output인 Y_{ref} 를 도출한다.

2) 환자의 AGD 계산: 환자의 incident air kerma, K_i 을 계산하기 위해 도출된 X-ray output을 이용한다. 식 (5)와 같이 거리에 따른 X-ray output을 보정한다.

$$K_i = Y_{ref} \left(\frac{d_p - d_{ref}}{d_p - d_B} \right)^2 \cdot P_{II,pat} \quad (5)$$

여기서,

d_p : tube 초점에서부터 유방 지지대의 표면까지의 거리,

d_{ref} : 기준점에서 유방 지지대의 표면까지의 거리,

d_B : 유방의 표면에서부터 지지대 표면까지의 거리,

$P_{II,pat}$: 환자 X선촬영 시 기록된 mAs.

계산된 incident air kerma는 식 (6)과 같이 교정계수를 통해 보정된다.

$$D_G = c_{D_{G50}, k_i} \cdot c_{D_{G_i}, D_{G50}} \cdot s \cdot K_i \quad (6)$$

여기서,

c_{D_{G50}, k_i} : 유방 두께와 HVL 값에 의한 변환계수,

$c_{D_{G_i}, D_{G50}}$: 압박된 유방의 두께와 glandularity에 따른 변환계수,

s: spectral 보정계수,

K_i : incident air kerma

D_G : 환자의 AGD

식 (6)의 변환계수들은 Dance¹⁵⁾에 의해 보고되었다.

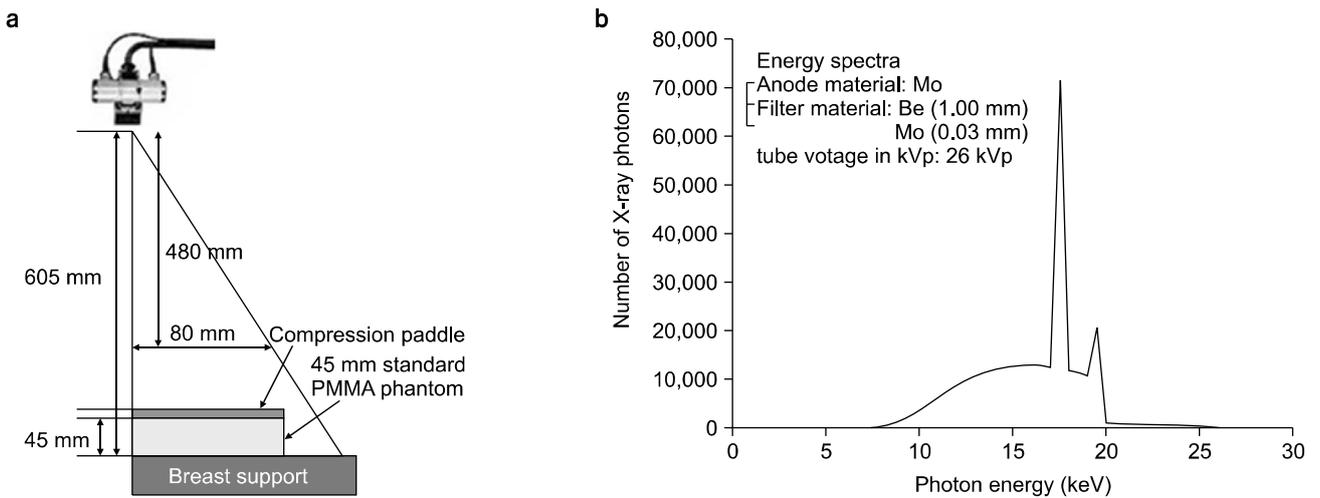


Fig. 4. The model used in the Monte Carlo calculations, showing the geometric configuration for simulating the irradiation of the breast phantom (a), and X-ray spectra (b).

4. Simulation

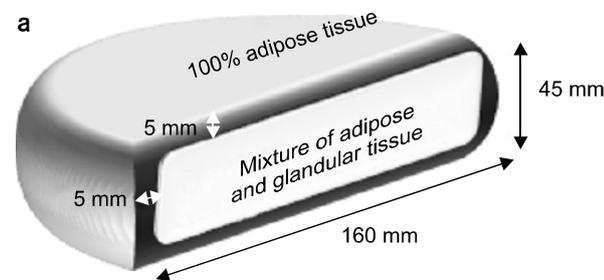
1) **선원 및 장치모사:** 유방 X선촬영장치의 선원을 모사하기 위해 SRS78 프로그램¹⁶⁾을 사용하여 조사된 에너지 스펙트럼을 획득하였다. 연속스펙트럼에 가까운 선원으로 모사하기 위하여 획득된 에너지 스펙트럼을 0.5 kV간격으로 적분된 photons을 적용하였다(Fig. 4a). 모사 속도를 증가시켜 효율성을 높이기 위하여 방사선원의 입체각도 제한 등의 기하학적 근사 방법을 이용했다.¹⁴⁾ 유방 지지대로부터 초점까지의 거리는 605 mm이며 중심 beam 축은 팬텀의 표면과 수직이다. 초점은 isotropic point source이며, solid angle은 초점으로부터 480 mm 지점에서 반지름이 80 mm를 갖는 half cone형의 X-ray beam으로 계산되었다(Fig. 4b).

유방 X선촬영 시 압박대는 X선 조사야 내에 포함되며, 재질 및 두께에 따라 X선 감약체로 AGD 측정 시 영향을 줄 수 있으므로 반드시 모사되어야 한다. 모사된 압박대는 2 mm 두께로, 재질은 Table 2와 같다.

2) **Standard breast 모사:** AGD와 유방 두께 및 실질양상과의 상관관계 분석을 위해 모사된 팬텀은 Dance 등^{15,17)}에 의해 보고된 바 있다. Standard breast 팬텀은 지름 160 mm, 두께 45 mm를 갖는 반원통형으로 가운데 영역에는 지방조직과 유선조직이 50 : 50으로 혼합되어 있으며, 5 mm 두께의 100% 지방조직으로 둘러싸여 있다(Fig. 5A). 유방 두께 및 실질양상과의 상관관계 분석을 위하여 standard

Table 2. Elemental composition and density of compression paddle.

H	C	O	Density [g/cm ³]
(% by mass)			
5.566	79.25	15.09	1.20



breast 팬텀의 두께는 1 cm부터 10 cm까지 1 cm씩 증가시키며 모사하였다. 가운데 영역에 glandularity는 0%부터 100%까지 2.5%씩 증가시켜가며 상관관계를 분석했다. 또한 실제 실험과 비교, 평가를 하기 위하여 지름 200 mm, 두께 45 mm의 반원통형 PMMA 팬텀을 모사했다(Fig. 5B).

결 과

AEC 모드에서 45 mm 두께의 standard PMMA 팬텀을 이용하여 측정된 incident air kerma는 8.45 mGy로 측정되었다. Digital mammography system의 조사조건 29 kV, 55 mAs 일 때 interpolated HVL는 0.37 mm Al로 측정되었다(Fig. 6). 제 2반가층은 선량을 1/4로 줄이는데 필요한 Al 감약체의 두께와 제 1반가층의 차로 정의된다. 29 kV, 55 mAs일 때 선량을 1/4로 줄이는데 필요한 Al 감약체의 두께는 0.77 mmAl로 측정되었으며, 제 2반가층은 0.40 mmAl로 계산되

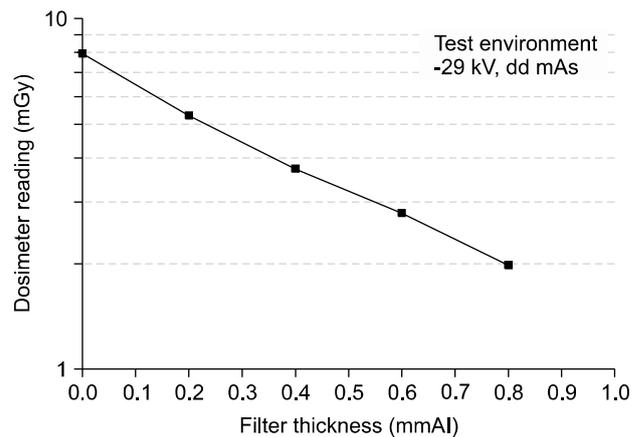


Fig. 6. Attenuation curve for the 1st HVL and d1/4 which is determined by measuring x-ray transmission as function of attenuator thickness.

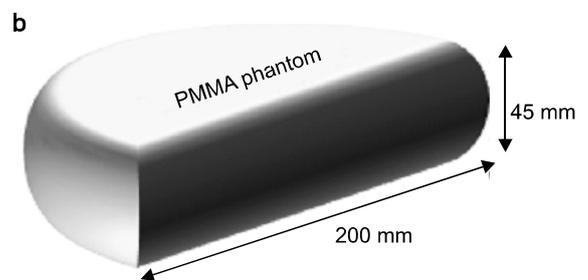


Fig. 5. The model used in the Monte Carlo calculations, showing a schematic diagram of the standard breast phantom, showing the positions of the central and adipose regions (a) and the PMMA phantom (b).

Table 3. Evaluation of x-ray beam qualities.

Tube voltage [kV]	1 st HVL [mmAl]	2 nd HVL [mmAl]	Homogeneity coefficient	IEC 1 st HVL [mmAl]	Abs. dif of 1 st HVL [mmAl]	Meas./IEC 1 st HVL ratio
25	0.32	0.38	0.84	0.28	0.04	1.14
28	0.36	0.40	0.90	0.31	0.05	1.16
30	0.38	0.40	0.95	0.33	0.05	1.15

Table 4. The corresponding X-ray tube output at the reference point Y_{ref}.

Tube voltage [kV]	Tube loading, Plt [mA•s]	Dosimeter readings, [mGy]	HVL [mmAl]	k _Q	Y _{ref} [mGy•(mA•s) ⁻¹]
25	55	5.00	0.32	1.03	0.10
28	55	7.22	0.36	1.03	0.14
30	55	8.87	0.38	1.01	0.17

Table 5. Comparison of the measured AGD and the simulated AGD.

Thickness of PMMA phantom [mm]	Measured AGD [mGy]	Simulated AGD [mGy]
45	1.70	1.60
35	1.24	1.30
25	0.75	0.70

었다. Homogeneity coefficient는 제 1반가층과 제 2반가층의 비로 정의되며, 0.93로 계산되었다(Table 3). 식 (3)을 이용하여 계산된 AEC 모드하 45 mm 두께의 standard PMMA 팬텀의 AGD는 1.70 mGy로 계산되었다.

획득된 환자 데이터를 이용하여 AGD 계산을 위한 기준 점에서 X-ray tube output은 Table 4와 같다. 교정계수(N_{k,Q})는 1.06, quality 보정계수(k_Q)는 25, 28, 30 kV일 때 각각 1.03, 1.03, 1.02로 측정되었으며, 압력, 온도 보정계수(K_{TP})는 실험 시 기압 101.9 kPa, 온도 23.3°C로 측정되었기에 0.99로 계산되었다.

본 연구에서는 2007년 4월, 2008년 9월동안 신촌 세브란스 병원에서 데이터를 획득하였다. 임상에서의 유방 X선촬영 검사는 AEC모드 하에서 수행되어졌다. 본 실험에 사용된 digital mammography system은 30 kVp이상부터 filter가 Rh으로 자동교체 되었으며, 추가적인 확대촬영에 대한 환자의 AGD는 고려하지 않았다.

측정된 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교하기 위하여 실제 실험과 똑같은 조건으로 HVL 측정이 모사되었다. 29 kV, 55 mAs로 조사되었으며, 압박판을 그대로 유지한 채

Al 감약체를 증가시켜가며 HVL측정을 모사하였다. 실제 측정된 interpolated HVL은 0.37 mmAl이며, 시뮬레이션상 interpolated HVL은 0.35 mmAl으로 측정되었다.

실제 실험과 비교, 평가를 하기 위하여 지름 200 mm, 두께 45 mm의 standard PMMA 팬텀을 모사하여 AGD를 측정하였다. PMMA 팬텀의 두께를 45, 35, 25 mm로 감소시켜가며 AGD를 측정하여 비교하였다. 실제 실험은 AEC 모드 하에서 조사되었다. 45, 35, 25 mm의 두께를 갖는 PMMA 팬텀은 AEC 모드하에서 각각 30, 28, 25 kV로 조사되었으며, incident air kerma는 57.30, 43.86, 40.36 mGy로 측정되었다. 이를 통해 계산된 AGD는 각각 1.70, 1.24, 0.75 mGy이며, 시뮬레이션된 AGD는 1.60, 1.30, 0.70 mGy로 계산되었다(Table 5).

시뮬레이션된 AGD와 유방 두께 및 실질양상과의 상관관계 분석을 위해 지름 160 mm, 두께 45 mm를 갖는 반원통형의 standard breast 팬텀이 모사되었다. Standard breast 팬텀의 glandularity를 0% (100% 지방조직), 50% (50% 유선조직, 50% 지방조직), 100% (100% 유선조직)로 설정하고, 각 팬텀의 두께를 1 cm부터 10 cm까지 1 cm씩 증가시켜가며 각 두께의 AGD를 계산하였다(Fig. 7). Glandularity 50%를 갖는 팬텀의 2, 4, 6, 8 cm 두께에서의 AGD는 1.18, 1.25, 1.37, 1.47 mGy로 계산되었다.

45 mm standard breast 팬텀의 가운데 영역의 glandularity를 0%부터 100%까지 2.5%씩 증가시켜가며 상관관계를 분석했다. 시뮬레이션을 위한 조사조건은 29 kV, 55 mAs로 모사되었다. Glandularity가 0, 20, 40, 60, 80, 100%일 때 AGD는 1.24, 1.34, 1.48, 1.62, 1.80, 2.05 mGy로 각각 계산되

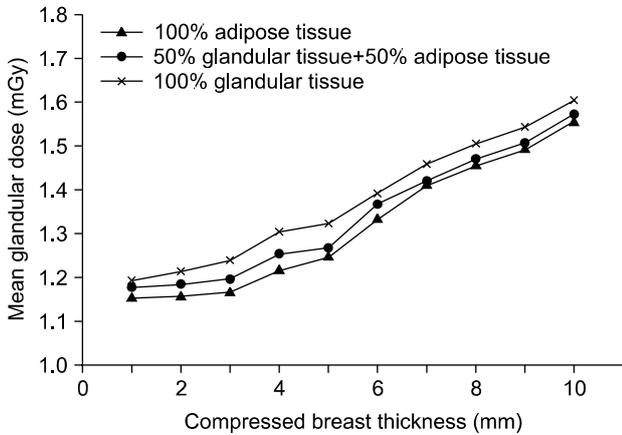


Fig. 7. Simulated AGD for different compressed breast thickness.

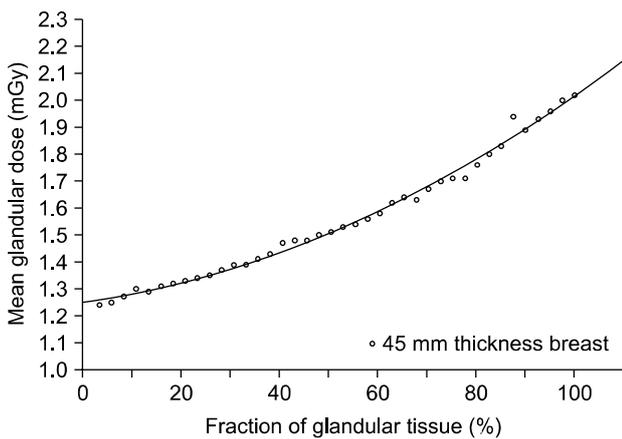


Fig. 8. Estimates of the AGD for different glandularity.

었다(Fig. 8).

고 찰

유방 X선촬영 시 압박대는 X선 조사야 내에 포함되며, 재질 및 두께에 따라 X선 감약체로써 총 여과량의 일부분을 차지하게 된다. 따라서 압박장치는 선질, AGD 측정 시 영향을 줄 수 있으므로 실제 실험이나 시뮬레이션 시행 시 조사야 내에 포함되어야 한다. 본 연구에서는 정확한 시뮬레이션을 하고자 실험에 사용된 압박대의 재질 및 두께를 알고, 조사야 내에 포함시켜 모사하였다. AGD 계산을 위해 측정된 반가층은 일정하게 설정된 kVp에 대한 선질 특성

을 나타내는 지표로써 임상에서 사용되는 kVp를 이용하여 압박대를 투과한 선속에 대하여 측정하였다. 선질은 대조도에 큰 영향을 미치며, incident air kerma로부터 계산되는 AGD는 HVL에 따라 달라지기 때문에 HVL 측정은 digital mammography system의 AGD를 결정하는데 중요한 요소가 된다. 미국연방규정 Part 900에 규정되어 있는 유방 X선촬영술 표준규격(MQSA, mammography quality standards act)에서는 Mo 또는 Mo-W alloy target의 경우 30 kVp에서의 HVL을 최소 0.3 mmAl로 규제하고 있다.¹⁸⁾ 본 연구에 사용된 system의 제 1반가층은 30 kV일 때 0.38 mmAl로 측정되어 규약의 조건을 충족시켰다. 제 2반가층은 선량을 1/4로 줄이는데 필요한 Al감약체 두께와 제 1반가층의 차로 정의되며 0.40 mmAl로 측정되었다. Homogeneity coefficient는 제 1반가층과 제 2반가층의 비로 정의되며 0.95로 계산되었다. Homogeneity coefficient는 X-ray 스펙트럼의 폭을 나타내는 지표로 0에서 1값으로 계산되며, 값이 클수록 좁은 스펙트럼을 나타낸다. 진단 방사선에서 쓰는 homogeneity coefficient는 0.7~0.9가 된다. 본 연구에서 측정된 homogeneity coefficient는 약간 높게 측정되었으며, 이는 HVL이 IEC에서 제시하는 값보다 높게 측정되었기 때문이다. 선질 측정 정확도를 향상시키기 위해 반가층 0.3~0.4 mmAl equivalent의 선속에 대한 표준화된 에너지 보정표를 확립하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 2007년 4월, 2008년 9월동안 신촌 세브란스 병원에서 환자의 유방 X선촬영에 대한 데이터를 획득하였다. 실제 계산된 대부분의 case의 AGD는 국제 표준규약 및 식품의약품안전청 그리고 한국의료영상품질관리원에서 규정하고 있는 3 mGy 이하로 측정되었다. 추가적인 확대촬영과 정위촬영은 진단영역의 검사에 속하는 것으로 방사선 위해와 같이 취급할 수는 없겠지만 상대적으로 높은 선량을 받게 되는 영역의 피폭을 계산하면 무시할 수 없는 선량이 된다.³⁾ 또한 유방 두께 및 실질양상에 따라 AGD는 다르므로 권고치 3 mGy를 넘지 않는다고 해서 환자 피폭 선량이 적다고는 할 수 없다. 시뮬레이션상 standard 유방 팬텀의 두께를 1 cm부터 10 cm까지 1 cm씩 증가시키며 AGD를 계산한 결과 유방두께의 증가에 따라 AGD 값이 점진적으로 증가함을 알 수 있었다. 유방의 두께가 두꺼울수록 선속의 경화작용에 의해 구조간의 흡수 차이가 더 작아져 피사체 대조도를 낮춘다. 또한 산란선의 영향으로 피사체 대조도를 낮출 뿐 아니라 환자의 피폭선량도 증가시키게 된다. 이를 최소화하기 위해서 유방 X선촬영 시 유방을 압박시킨다. 유방을 견고하게 압박함으로써 산란선

의 감소할 뿐만 아니라 움직임에 의한 흐림을 최소화할 수 있다. 한국영상품질관리원에서는 압박장치 점검의 참고치 25~45 lb로 초기자동장치 사용 시 최대 압박력을 제시하고 있다.¹²⁾ 한국여성의 경우 연령 및 비만도에 따른 유방밀도의 분포에 있어 서구여성과의 차이가 있으며, 저체중의 젊은 여성의 경우 치밀유방의 비율이 상대적으로 높아 유방 X선촬영 시 환자의 고통이 수반된다. 이에 적절한 압박과 함께 환자의 고통을 최소화할 수 있는 노력이 요구된다.

시물레이션상 standard breast 팬텀의 가운데 영역에 glandularity를 0%부터 100%까지 2.5%씩 증가시켜가며 AGD를 계산하였다. Glandularity가 증가할수록 AGD는 점진적으로 증가하였다. 지방조직에 비해 밀도가 높은 유선조직에 의해 상대적으로 낮은 에너지 광자의 흡수가 증가하여 전체적인 X선 흡수율이 높아진 것으로 보인다. Dance 등¹⁹⁾에 의하면 glandularity의 증가에 따른 AGD의 변화는 유방압박 두께가 두꺼워지는 것과 같은 효과가 있다고 보고하고 있다. 우리나라를 포함한 동양 여성의 유방은 서양 여성의 유방에 비해 섬유질이 많아 유방 X선촬영 영상의 판독상 어려운 점이 많아 오진의 가능성이 많다고 한다.²⁰⁾ 또한 한국 여성의 경우 낮은 연령층인 30대 40대가 상대적으로 높은 glandularity를 갖는 치밀유방으로 유방 X선촬영 시 더 많은 선량을 받게 된다. 따라서 본 논문의 연구결과 유방의 glandularity는 AGD와 밀접한 관계가 있으므로 한국여성의 체질에 맞는 진단 참고준위 확립이 절실히 필요하다.

결 론

본 연구에서는 AGD측정 방법의 표준화를 위하여 IAEA에서 규정한 CoP에 제시된 AGD측정 방법을 제시하였다. 또한 AGD 측정을 위한 단일화 되어있는 팬텀의 한계성을 극복하기 위해 몬테칼로 시물레이션을 이용하여 다양한 유방 두께 및 실질양상에 따른 AGD를 측정하여 상관관계를 도출하였다. 우리나라는 유방 X선촬영 시 식품의약품안전청 및 한국영상품질관리원의 가이드스레벨 3 mGy 기준은 지켜지고 있었다. 그러나 최근 ICRP등 국제기구에서는 선량 구속치를 3 mGy에서 2mGy로 낮추어 규정을 강화하였다. 우리나라도 기존의 진단 참고준위의 타당성을 검증하고 그에 대한 세부적인 기술지침을 설정해야 한다. 본 연구는 이런 지침서 및 선량 목표치를 결정하는데 기초 자료로서 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 2002 한국중앙암등록사업 연례보고서: 보건복지부 한국중앙암등록 사업본부 (2003)
2. 김형철, 조평근, 김성수, 최종학, 김유현: 유방 X선촬영 시 피폭선량에 대한 조사 연구. 대한방사선기술학회지 27:55-60 (2004)
3. 박기정: 유방조직 등가팬텀을 이용한 저에너지 X선의 유선피폭선량 평가 및 화질 정도관리에 관한 연구. 박사학위논문: 1-95 (2003)
4. 윤호성: 2002년 한국인 유방암의 전국적인 조사자료 분석. 한국유방암학회지 7:72-83 (2004)
5. 신귀순, 김정민, 김유현, 최종학, 김창균: 유방조직등가 팬텀을 이용한 Screen-Film과 Digital Mammography에서의 평균 유선선량. 대한방사선기술학회지 30:13-23 (2007)
6. 유방촬영장치의 검사기준 및 시험방법해설: 식품의약품안전청 (2001)
7. Dance DR, Skinner CL, Young KC, Beckett JR, Kotre CJ: Additional factors for the estimation of mean glandular breast dose using the UK mammography dosimetry protocol. Phys Med Biol 45:3225-3240 (2000)
8. Bouzarjomehri F, Mostaar A, Ghasemi A, Eshramposh MH, Khosravi H: The study of mean glandular dose in mammography in yazd and the factors affectign it. Iran J Radiol 4:29-35 (2006)
9. Klein R, Aichinger H, Dierker J, Jansen JTM, Joite-Barfu S, Sabel M, Schulz-Wendtlund R, Zoetelief J: Determination of average glandular dose with modern mammography units for two large groups of patients. Phys Med Biol 42:651-671 (1997)
10. Supawitoo Sookpeng, Potjana Katted: Mean glandular dose from routine mammography. Naresuan University Journal 14:19-26 (2006)
11. International Atomic Energy Agency: Dosimetry in Diagnostic Radiology (An International code of practice)
12. 팬텀영상검사기준: 한국의료영상품질관리원 (2002)
13. European commission: European protocol on dosimetry in mammography (1996)
14. Holdsworth Ch, Levin CS, Fqrquhar TH, Dalhbom M, Hoffma EJ: Investigation of accelerated Monte Carlo Techniques for PET Simulation and 3D PET Scatter Correction, IEEE Trans Nucl Sci 48:74-81 (2000)
15. Dance DR: Monte Carlo calculation of conversion factors for the estimation of mean glandular breast dose. Phys Med Biol 35:1211-1219 (1990)
16. Meyer P, Buffard E, Mertz L, Kennel C, Constantinesco A, Siffert P: Evaluation of the use of six diagnostic X-rya spectra. The Britic J of Radiology 77:224-230 (2004)
17. Janse JTM, Veldkamp WJH, Thijssen MAO, van Wouenberg S, Zoetelief J: Method for determination of the mean fraction of glandular tissue in individual female breasts using mammography. Phys Med Biol 50:5953-5967 (2005)
18. ACR Standards Res. 21: American college of radiology (1998)

19. Dance DR, Thialnder Klang A, Sandborg M, Skinner CL, Castellano IA, Carlsson GA: Infulence of anode/filter material and tube potential on contrast, signal-to-noise ratio and average absorbed dose in mammography: a Monte Carlo study. The Britic J of Radiology 73:1056-1067 (2000)
20. 이희대, 박희봉, 구자윤, 오세민, 임재양, 차경호, 김도일: 한국인 유방암에서 유방촬영영상의 형태에 관한 연구, 한국유방암학회지 2:86-84 (1999)

Standardization of the Method of Measuring Average Glandular Dose (AGD) and Evaluation of the Breast Composition and Thickness for AGD

Hye-Suk Park, Hee-Joung Kim, Chang-Lae Lee, Hyo-Min Cho, A-Ram Yu

Department of Radiological Science, College of Health Science and
Research Institute of Health Science, Yonsei University, Wonju, Korea

Breast cancer is the most common form of cancer among korean woman. Therefore, the early detection activities of breast cancer such as breast self-examinations, clinical breast examinations, mammography are important. A yearly mammography examination has been recommended for women aged 40 and older for the early detection of breast cancer in asymptomatic periods. However, the glandular tissue of breast is the most radiation-sensitive tissue, and the determination of average glandular dose (AGD) forms an important part of the quality control of the mammographic systems. Because of the difficulty of estimating AGD directly, it is often estimated from the measurements of the incident air kerma and by applying the appropriate conversion factors. The primary objective of this study was to standardize the method of measuring AGD. The secondary objective was to evaluate the relationships between AGD per various composition and thickness of the breast using Monte Carlo simulations. As a result, we standardized the method of measuring AGD according to International Atomic Energy Agency (IAEA) guidelines (CoP: an international code of practice). Overall, AGD for mammographic practice in Korea was less than 3.0 mGy recommended by the Korea Food and Drug Adminstration (KFDA) protocol, and Korean Institute for Accreditation of Medical Image (KIAMI). The measured and simulated AGD for a given condition were calculated as 1.7 and 1.6 mGy, respectively. For the AGDs obtained, there was no significant difference between them. The simulated AGD was dependent on the fraction of glandular tissue of the breast. The AGD increases with increasing of the breast glandularity due to increasing absorption of low energy photons. The AGD also increases as a function of breast thickness. In conclusion, the results of this study could be used as a baseline to establish a reference level of radiation dose in mammography.

Key Words: Mammography, AGD, Glandularity, Breast thickness