

電離箱 선량계 없이 유방촬영 때의 피폭선량 측정

前越 久, 小山修司, 津坂昌利, 成田憲彦

(名右屋대학 의료기술단기대학부)

安都哲太郎, 近藤智略, 早川紀和, 山口, 宏

(名右屋대학 의학부 부속병원 방사선부)

1. 머리말

일본에서도 근래 유방 촬영을 실시하는 기
회가 급격히 증가되었다. 그것은 유암의 발증
확율이 유럽과 같은 수준으로 증가된 것에
기인한다고 생각된다. 의료피폭 중에서도 유
방촬영에 의한 X선피폭은 일반촬영시의 X선
피폭의 경우와는 달리 생각할 필요가 있다.
그것은 매우 낮은 에너지 X선을 사용하기 때
문에 조사선량측정에 나름의 대응이 필요하
다는 점, 현시점에서는 유방의 의료피폭평가
를 ACR(American College of Radiology)에 따
라 평균 유선조직 흡수선량¹⁾으로 실시하고
있다는 점 등의 이유 때문이다. 그러나 피부
입사면에 있어서의 피부 흡수선량에 의한 평
가는 무시하여도 될 것인지, 또는 양자를 나
란히 기록해야 할 것인지 등에 대해 검토하
여 결론을 내려놓을 필요가 있지 않을까 생
각한다.

본래 이러한 측정은 저에너지 X선 측정용 전
리상선량계를 사용해야 하지만, 여기서는 이것
을 소유하지 않는 경우를 가정하여 필름벤티

(이하 F.B. 라함)의 이용방법에 대해 기술하
기로 하였다. 그리고 또한 앞에 말한 문제제기에
관한 판단재료를 제공해 보고자 한다.

F.B.를 사용하여 유방 촬영장치에서의 X선
출력 (조사선량)을 측정하여, 앞에서말한 의
료피폭에 대해 어느쪽으로도 대응할 수 있는
방법으로써 참고하여 주기를 바란다. 아울러
F.B.의 이용에 관해서는, 일본방사선기술학회
계측분과위원회가 1995년도에 실시한 전국조
사의 결과²⁾도 참조해주시기를 바란다.

2. 기초실험의 방법과 결과

전자기술종합연구소와 트레이서빌리티를
지닌 본대학 소유의 저에너지 X선 측정용 평
행평판형 전리상선량계(10×5-6M (6cc)형,
선량계 본체: mdh model 1015C, Radcal사제
품)와 千代田 테크놀로제품 F.B. (X선용 필름벤티
지 XX형 (현행품으로는 SERA))를, 유방 촬
영장치 (SIEMENS사, MAMMOMAT 3000)에
의해 동시에 조사하는 방법으로 양자를 비교
검토하였다.

Table 1 劉邦撮影装置(MAMMOMAT 3000)의 성능

X線管 X線管電流	베릴륨 창을 지닌 Mo/W 전환식 양극 X선관 大焦点(Mo) : 25kV에 158mA 小焦点(Mo) : 25kV에 28mA 大焦点(W) : 25kV에 188mA 小焦点(W) : 25kV에 34mA
陽極 필터(두께)	유방의 두께(tmm)에 대한 양극/필터(두께)와 관전압과의 선택기준 (Auto AEC(OP-DOSE) Mode에 의한 경우) Mo/Mo(30 μ m).....26kV..... t<30 Mo/Mo(30 μ m).....27kV..... 30 \leq t<45 Mo/Rh(25 μ m).....27kV..... 45 \leq t<60 W/Rh(50 μ m).....26kV.....60 \leq t
焦点-画像 間距離(SID)	650mm(固定)

유방 촬영장치의 성능 중에서 조사선량측정에 관계되는 부분을 발췌하여 Table 1에 기술한다.

(1) 半價層 측정

X선의 선질을 알기 위해 반가층측정을 실시하였다. 그때의 기하학적 배치도를 Fig. 1 (1)에 표시한다. 두께 3mm의 납 마스크에 X선 빔을 조사선량계를 포함하는 크기로 쪼여, 두께 0.1mm, 순도 99.9%의 알루미늄 흡수판(RMI 115H)을 소정의 매수, 도표의 Al 위치에 두고, 투과 X선을 측정하여 알루미늄 감약곡선을 작성하였다. 그 결과를 Fig 2 및 Table 2에 제시한다. Table 2에는 반가층 및 그 반가층에 대응하는 실효에너지와, 다음(2)의 실험으로 F.B.에 의해 조사선량을 측정하고, 감약곡선의 측정치에서 추정된 실효에너지를 비교를 위해 나란히 기록하였다. 반가층과 실효에너지의 관계는 광자 감약계수 데이터북⁹⁾의 데이터를 사용함으로써 Fig. 3을 작성하여, 그것에 의해 반가층에서 실효에너지

를 판독하였다.

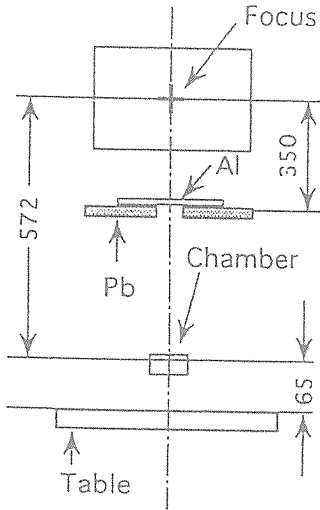
F. B.에서 추정된 실효에너지는 전리상 선량계에 의해 측정된 실효에너지와 비교하여, Table 2에 나타난 바와 같이 유방촬영시의 피폭선량평가에 충분히 대응할 수 있는 精度를 지니고 있는 것으로 판단하였다.

(2) 조사선량 측정

전리상식 조사선량계와 F.B.를 동시에 X선조사하였을 때의 기하학적 배치도는 Fig. 1 (2)에 나타나 있다. 조사선량계의 중심은 촬영대의 환자 흉벽 끝에서 4cm 떨어진 곳이며, 조사 범위는 폭 22cm, 안길이 16.5cm이다. F.B.는 촬영대 위에 두께 6.5cm의 발포 스티롤을 두어 그 위에 배치하였다. F.B.를 직접 촬영대 위에 두는 것에서 발생하는 촬영대에서의 후방산란 영향을 적게 하기 위한 배려이다. 조사에 관한 거리적 간격은 초점-촬영대 사이의 거리가 고정되어 있는 제한도 있어 이 정도의 선택이 한계였다.

전리상 및 한 장의 F.B.에 대해 동일 X선 출력 조건하에 동시조사를 하였다. 이것을 3

(1) 半價層測定



(2) 照射線量測定

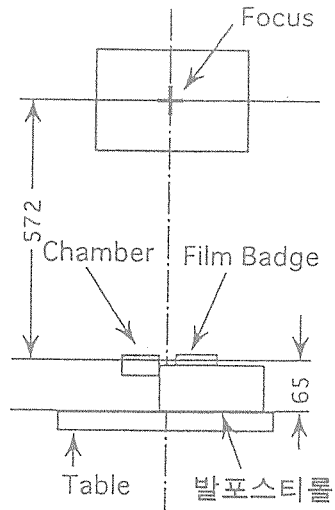


Fig. 1. 乳房撮影裝置를 사용하여 半價層測定 및 照射線量測定을 실시하였을 때의 幾何学的配置圖

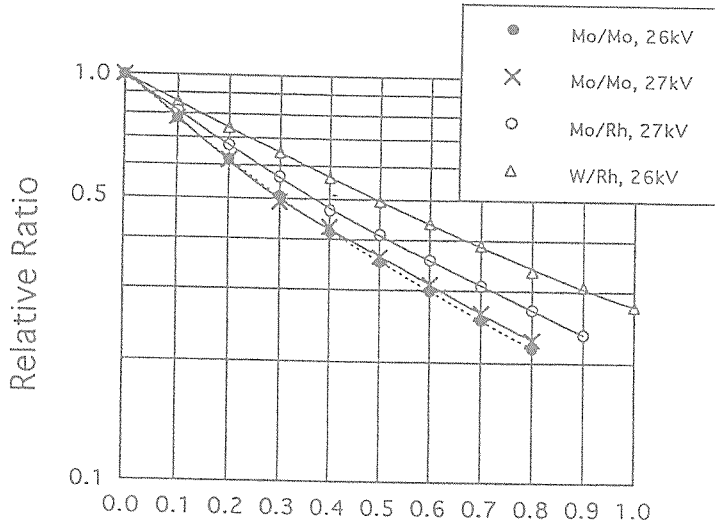


Fig. 2. 乳房撮影裝置에서의 저에너지 X선의 알루미늄에 의한 감약율 등의 표시는 타겟/필터의 조합과 관전압을 나타낸다.

회 반복하여 평균한 결과(조사선량)는 Table 3과 같다.

아크릴 수지제의 압박판에 의한 흡수율은 이번에 별도로 구하였다. 결과는 Table. 4와 같다. X선의 에너지가 약하기 때문에 두께 2 mm의 아크릴 수지판에도 18.1~26.2% 정도의 흡수가 있다는것은 인식하고 있지 않으면 안

된다.

실제의 측정에서는 압박판 투과 후의 조사선량을 F.B.로 직접 측정하면 된다. 다만, 압박판에서의 산란선을 제거하기 위해, F.B.는 압박판에서 되도록이면 떨어진 위치에 배치 하지 않으면 안된다.

Table 2. 電離箱線量計에 의해 측정된 실효에너지와 필름벤티에 의해 측정된 실효에너지와의 비교

電離箱線量計 (Ch)			필름벤티 에너지(F.B.)		比
타겟/필터 (두께)	管電壓 kV	半價層 mmAl	실효 에너지 keV	실효 에너지 keV	
Mo/Mo(30 μ m)	26	0.30	14.3	14.9 \pm 0.10	1.04
Mo/Mo(30 μ m)	27	0.31	14.5	15.0 \pm 0.06	1.03
Mo/Rh(25 μ m)	27	0.36	15.7	15.4 \pm 0.10	0.98
W/Rh (50 μ m)	26	0.50	17.3	16.0 \pm 0.12	0.92

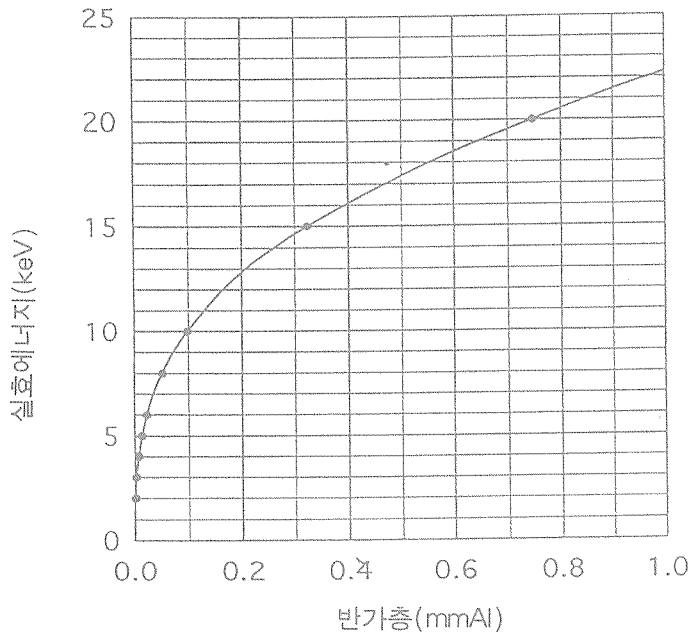


Fig. 3 알루미늄 半價層과 실효에너지의 關係(S.M.Seltzer & J.H.Hubbell의 데이터³⁾에서 환산)

Table 3. 電離箱線量計에 의해 측정된 照射線量과 필름벤티에 의해 測定된 照射線量과의 比較

타겟/필터 (두께)	管電壓 kV	電離箱 線量計 $X_c \pm \sigma_c$ (mR)	필름벤티 $X_f \pm O_f$ (mR)	$\frac{X_f}{X_c}$
Mo/Mo(30 μ m)	26	549 \pm 7.51	580 \pm 6.51	1.06 \pm 0.01
Mo/Mo(30 μ m)	27	631 \pm 0.58	655 \pm 6.35	1.04 \pm 0.01
Mo/Mo(25 μ m)	27	530 \pm 6.35	561 \pm 5.77	1.06 \pm 0.02
W/Rh (50 μ m)	26	204 \pm 0.00	220 \pm 4.04	1.08 \pm 0.02
Mo/Mo(30 μ m)	30	859 \pm 9.82	903 \pm 5.51	1.05 \pm 0.02

- 1) 管電流·時間積은 모두 40mAs이다.
- 2) 1mR=2.58 \times 10⁻⁷ C/kg
- 3) 焦点에서 572mm떨어진 거리에서의 照射線量(壓迫板의 吸收를 포함하지 않음).

Table 4. X線의 實効에너지와 壓迫板(Compression Paddle)의 吸收率

타겟/필터 (두께)	管電壓 kV	實効에너지 keV	吸收率 %
Mo/Mo(30 μ m)	26	14.3	26.2
Mo/Mo(30 μ m)	27	14.5	25.4
Mo/Rh(25 μ m)	27	15.7	22.7
W/Rh (50 μ m)	26	17.3	18.1

3. 필름벤티에 의한 유방 피폭선량 평가법

(1) 피부 흡수선량 평가법 수준

다음은 피부 흡수선량을 평가할 때의 수준이다.

- ① 평가한 피폭선량에 해당하는 촬영조건을 X선장치의 설정조건에서 선택한다. (타겟재질, 필터, 管電壓, mAs, 조사범위 등)
- ② 되도록 산란선을 포함하지 않고 조사선량을 측정한다는 것을 염두에 두고, 유방촬영 전용장치 특유의 제한을 지닌 기하학적 조건내에서 타당하다고 생각되는 초점-F.B. 사이의 거리 dcm를 초점의 위치에서 고려하여 F.B.를 배치하며, ①에서 선택된 조사조건에서

X선을 조사한다. (Fig. 1 참조).

F.B.케이스와 벤티필름의 필요수는 미리 F.B.회사에 의뢰하여 준비해 두어야 함은 말할 나위도 없다. 이때 환경측정용의 F.B.를 요구하여, C/kg 단위의 측정치가 얻어져야 한다는 점, 측정결과에는 X선의 실효에너지(KeV)도 포함되어 있어야 한다는 점을 의뢰해 둘 필요가 있다. 精度를 높이기 위해서는 1점의 측정에 적어도 3장의 벤티필름을 준비해 두는 것이 좋다. F.B.케이스의 뒷면에 클립이 부착해 있을 때는 발포 스티롤을 뚫고 그 구멍에 클립을 끼워, F.B.의 X선 입사면이 수평을 유지하도록 배려할 필요가 있다.

③ X선조사에 의한 유방 입사점에서의 피부 흡수선량평가는 다음 식에 따라 실시된다.

$$\begin{aligned}
 & \boxed{\text{압박판 투과후의 조사선량(C/kg)}} \times \boxed{\text{초점-유방간 거리의 보정}} \\
 & \times \boxed{\text{후방산란 계수 (B.s.f.)}} \times \boxed{\text{흡수선량 환산계수 (Gy·kg/C)}} \\
 & = \boxed{\text{유방피부 입사점의 흡수량(m Gy)}} \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

지금 압박판투과 후의 조사선량은 ②에 따라 초점에서 dcm 거리에서 측정되고 있다. 따라서 촬영대상으로 되어 있는 유방의 부피에 의해 초점-유방 사이의 거리가 정해지며, 유방피부 입사점에서의 조사선량을 거리의 역 2승칙에 의해 보정할 필요가 있다.

후방산란계수(Back Scatter factor))는 약간 낮은 데이터⁴⁾이지만, Fig. 4를 사용한다. 이 X축상에 있어, 유방을 포함한 원형 조사범위의 직경(cm) 선상에서 해당되는 반가층과의 교차점에서 B.s.f.치를 판독한다. 이 데이터는 유방과 같은 지방과 유선조직에 의한 것이 아니라, 水等價 물질에 의한 값이기 때문에 다소의 과대평가가 있다. B.s.f.의 판독에 필요한 반가층은, F. B.에서 얻은 실효 에너지를 Fig. 3을 이용하여 반가층으로 전환시키면 된다.

흡수선량 환산계수는 Fig. 5에서 알수가 있다. 이 그래프에 있는 Breast tissue의 곡선 광자에너지(실효에너지)에 대응한 Y축의 값을 판독하면 된다. 광자감약계수 데이터북³⁾의 질량에너지 흡수계수를 사용하여 계산하였다. 이상의 수치들 모두 (1)식에 대입하는 것에서 유방피부 입사점의 흡수선량(mGy)를 구할 수가 있다.

(2) 평균 유선조직 흡수선량 평가법 수순
다음에 평균 유선조직 흡수선량을 평가할 때

의 수순을 밝힌다.

- ① 평균 유선조직 흡수선량 평가에 관해서도 유방의 피부 입사점의 조사선량치가 필요하다. 이 조사선량측정에 관해서는 앞의 3. (1)의 ①, ② 및 ③까지의 수순과 아주 같은 방법으로 대응하면 된다.
- ② X선관 타겟/필터의 조합이 Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh의 3종류에 대해, 유방 촬영시의 관전압과 반가층을 factor로 하여 두께 42mm의 유방에 대해, 1R(2.58×10⁻⁴C/kg) 당 유선조직 흡수선량(mrad=0.01mGy)의 값이 Table⁵⁾과 같이 주어진다. 이 수치를 사용하여 다음의 식에 따라 평균 유선조직 흡수선량을 산출한다.

$$\begin{aligned}
 & \boxed{\text{유방 입사점의 조사선량(C/kg)}} \times \boxed{2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg (1R) 당의 흡수선량 환산치}} \\
 & = \boxed{\text{평균 유선조직 흡수선량(m Gy)}} \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

앞에 적은 평균 유선조직 흡수선량 평가법은 일본방사선기술학회·방사선촬영 분과위원회에서도 채용되고 있다⁶⁾.

4. 유방 촬영시의 피폭선량 측정에

실제로 실시되고 있는 촬영조건에 있어, 유방 촬영시의 피폭선량을 평균 유선조직 흡수선량과 피부 흡수선량의 두가지 면에서 평가하여 Table 5.에 나란히 기록하였다. 두가지 환자의 어느 경우에도 평균 유선조직 흡수선량으로 평가한 값의 대부분은 0.8~2.0mGy 정도이며, ACR이 정한 가이던스 레벨 3mGy를 밀돌았다. 이때 피부 입사점의 흡수선량은 4.3~8.5mGy를 나타내었다. 다만 유방의 부피가 50mm를 초과하면 평균 유선조직 흡수선량

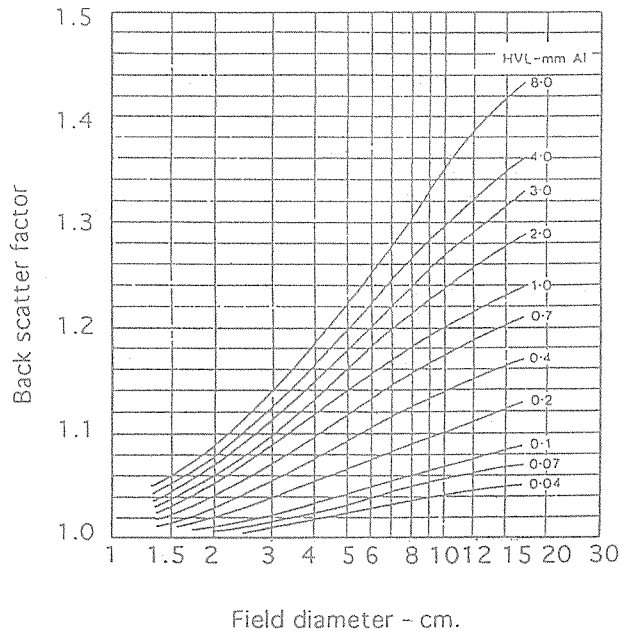


Fig 4. 알루미늄 半價層—円形照射범위 —後放散亂係數(B. s. f.)의 관계

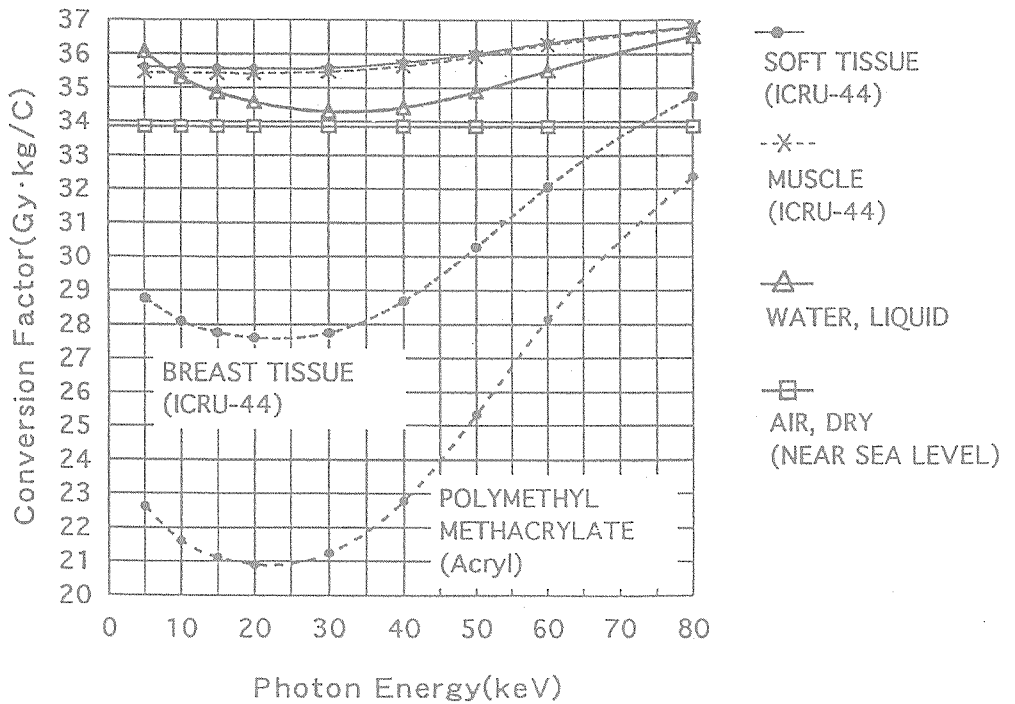


Fig. 5 각종 吸收物質에 있어 吸收線量/照射線量 換算計數와 實効에너지와의 關係 (S.M.Seltzer & J.H. Hubbell의 데이터³⁾에서 換算)

이 3mGy내지 그 이상인 경우도 있을 수 있음을 나타내고 있다. 또한 피부 흡수선량도 10mGy 내지 그 수치를 넘어서고 있다.

ACR의 세가지 환산표에서 평균 유선조직 흡수선량을 3mGy로 하였을 때의 유방의 피부 흡수선량을 역산하여 보면, Table 6에 나타난 값이 된다. 가장 많은 경우 18.6mGy까지도 되었다.

유방촬영시의 피폭선량은 필터/스크린의感光系의 선택에도 크게 의존한다. 따라서 Table 5의 주석에 이번에 사용한 감광계를 덧붙여 놓았다.

5. 고 찰

ACR의 방법에 의한 유방의 평균 유선조직 흡수선량 평가는, 우선 유방의 두께가 42mm이며 지방조직 50%, 유선조직 50%에 입사하는 피부면에서의 조사선량 $1R(2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg})$ 당의 유선조직 흡수선량($\text{msad} = 10^{-3} \text{mGy}$)이라는 평가법으로 정의가 내려져 있다. 이 방법으로 평균 유선조직선량이 3mGy를 초과할 경우는 촬영조건이나 필름처리조건 등의 개선이 필요한 것으로 되어 있다. 어차피 일정한 방법으로써 누구나 대응할 수 있는 방법이며, 또한 정확해 가고 있는 방법이기도 하기에 이 방법을 부정하는 것은 아니다. 그러나 대상으로 삼는 유방의 두께가 42mm 이외의 다른 두께의 경우이거나, 유방조직의 비율이 앞의 경우와 다른데도 모두 같은 방법으로 계산하고서 평균 유선조직 흡수선량이라고 평가해도 되는 것인지에 대한 의문이 남는다.

Table 5에서는 F.B.에 의해 유방에의 입사점에 있어서의 조사선량을 측정하여, ACR에 의한 방법으로 평균 유선조직 흡수선량을 구하고, 다시 같은 때의 유방 입사점의 피부흡수선량을 앞의 (1)식에 의해 구하여 나란히 제시하였다. 이전에 「X검사에 있어서의 대표적 촬영조건과 입사면의 피부선량」이라는 제목으로 인체 각부위의 피폭선량을 평가하여 보고한 적이 있다.⁹⁾

여러가지 촬영조건에 대해 최대의 피부흡수선

량을 제시한 것은, 두부측방향촬영시에 피폭하는 10.85mGy이다. 이것으로 비교해 보아도 유방촬영의 피부흡수선량의 크기를 알 수 있다.

유방 이외의 인체 각부위를 X선 촬영할 때의 피폭선량을 피부의 흡수선량으로 평가하는 것이 일반적이기 때문에 비교를 용이하게 하기 위해, 유방에 있어서도 평균 유선조직 흡수선량만의 평가에 머물지 않고 피부의 흡수선량까지도 나란히 밝히는 것이 어떨런지. 그리고 유방의 피폭 저감을 위한 노력목표로써 피부선량의 가이드스 레벨을 정해 두는 것도 검토의 여지가 있을 것 같다.

또한 피부 입사면의 흡수선량을 구하는 것은 이 흡수선량을 100%로 하여 심부 백분양율을 측정함으로써 임의의 깊이에 존재하는 유선의 흡수선량이 평가될 수 있기도 하여 유용하다고 생각된다.

F.B.는 JIS 규격⁷⁾으로 측정대상인 X선 에너지의 하한을 20keV로 규정하고 있다. 그러나 이번 기초실험이 나타낸 바와 같이 F.B.에 의한 조사선량 및 실효에너지의 측정치가 교정된 전리상조사선량계의 측정치와 상당히 여유를 가지고 평가했다 하더라도 $\pm 10\%$ 이내에서 일치하고 있다는 것에서, 20keV 이하 에너지의 X선도 측정치에 충분히 포함되어 있는 것으로 이해하였다.

6. 맺는 말

유방촬영시의 피폭선량측정에 필름뱃지를 사용하는 방법을 제시하였다. 실효에너지이면서 14~17keV 정도의 저에너지 X선을 사용하는 유방촬영에 있어, 필름뱃지로 조사선량 및 실효 에너지를 측정했다 하여도 10% 이내의 정도로 충분히 대응할 수 있다는 것을 보여 주었다. 또한 피폭선량평가에는 평균 유선조직 흡수선량 뿐 아니라, 피부흡수선량도 평가해야 함을 제한하였다.

Table 5. 乳房攝影條件과 平均乳腺組織級收線量 및 皮膚吸收線량의 實測例

환자	유방두께 (mm)	타켓 필터	管電壓 (kV)	mAs	평균유선 조직흡수선량 (mGy)	皮膚吸收線量 (mGy)
A	24	Mo/Mo	26	57.6	0.8	4.3
B	32~38	Mo/Mo	26	60~82	0.9~1.3	4.6~6.5
C	38~43	Mo/Mo	27	62~77	1.1~1.4	5.6~7.1
D	45~55	Mo/Mo	27	45~58	0.8~1.1	4.1~5.5
E	45	Mo/Mo	27	62.3	1.1	5.7
F	50	Mo/Rh	27	38~58	0.7~1.1	3.1~4.8
G	40	Mo/Rh	27	60.6	1.2	4.9
H	50	Mo/Rh	27	103	2.0	8.5
I	44~51	Mo/Mo	30	75~105	2.1~3.0	9.8~13.7

- 1) 필름 : 후지UM-MA HC
스크린 : Kodak MIN-R
- 2) 그리드(그리드비 : r=4, 그리드密度 : N=27cm⁻¹, 中間物質材料 : CFRP)는 上記撮影條件中の 모두에 있어 사용되고 있다.

Table 6. 平均乳腺組織級收線量 3mGy일 때의 皮膚吸收線量(ACR)의 데이터에서 逆算한 값

타켓/필터	Mo/Mo	Mo/Rh	Rh/Rh
皮膚吸收線량의 最小值(mGy)	9.8	7.3	7.1
皮膚吸收線량의 最大值(mGy)	18.6	14.4	14.3

【참 고 문 헌】

1. American Cancer Society : Mammography Quality Control Manual. Medical Physicist's Section, pp. 162, Revised Edition, 1994
2. 前越 久他 : 乳房攝影領域X線의 照射線量測定 精度標準化에 관한 全國調査, 日本放射線技術學會雜誌, 53, 3, 394~397, 1997
3. S.M. Seltzer and J.H.Hubbell, 前越 久監修, 光子減弱係數 데이터북, 放射線醫療技術學叢書(11), 日本放射線技術學會, 1995
4. British Journal of Radiology, Supplement No.
5. 乳房攝影가이드라인·精度管理普及班 : 乳房攝影精度管理매뉴얼, 日本放射線技術學會·放射線撮影分科會, 1996
6. 前越 久他 : 人本에의 放射線照射와 責任, 醫療放射線防護NEWSLETTER, No.11, pp. 31, 1994
7. 日本規格協會 : JIS핸드북 放射線(能)23, 1996
17. Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy, pp. 4, London, 1987