

유효검출양자효율과 선량을 이용한 소아 흉부 X-선 영상의 기술적인 인자에 관한 조사

연세대학교 보건과학대학 *방사선학과, † 보건과학연구소, ‡ 한려대학교 방사선학과,
§ 서울의료원 영상의학과, || 서울대학교병원 영상의학과

박혜숙*[†] · 김예슬*[†] · 김상태[‡] · 박옥섭[§] · 전창우^{||} · 김희중*[†]

본 연구에서는 피사체에 의한 산란, 초점에 의한 흐림, 기하학적 확대도 그리고 검출기의 특성이 반영된 유효검출양자효율(effective detective quantum efficiency, eDQE)과 유효선량을 평가하여 소아 흉부 X선 촬영 시 선량의 최적화를 위한 조사조건의 영향을 평가하였다. 100, 110, 120, 150, 180 cm의 FDD (focus-to-detector distance)일 때 관전압을 40 kVp에서 90 kVp까지 10 kVp씩 증가시키며 동일한 유효선량일 때 eDQE를 평가하였다. 그 결과 eDQE는 다른 관전압과 비교 시 60 kVp에서 가장 높은 값을 보였다. 특히, 동일한 유효선량일 때 그리드가 없을 경우 상대적으로 매우 높은 eDQE를 나타냈다. 이는 그리드에 의한 산란선의 감소가 그리드에서 흡수된 유효 광자의 손실을 보상하지 못하기 때문이다. 그리드가 없을 경우 FDD가 증가할수록 향상된 유효변조전달함수(effective modulation transfer function, eMTF)로 인하여 eDQE는 증가하였다. 국내 대형병원들의 대부분은 15개월 소아의 흉부 X선 촬영 시 그리드와 함께 100 cm의 짧은 FDD를 사용하고 있다. 그 결과 대부분의 경우는 국내 환자선량권고량(diagnostic reference level, DRL) 100 μ Gy를 초과하였다. 이는 5세 소아 흉부 X선 촬영 시 150 cm에서 180 cm 사이의 긴 FDD를 사용하지만, 15개월을 모사하고 있는 표준 소아팬텀의 흉부 X선 촬영의 경우 100 cm의 짧은 FDD를 사용했기 때문이다. 따라서, 나이에 따른 소아의 흉부 X선 촬영을 시행하기 위한 적절한 조사조건이 확립되어야 한다. 본 연구 결과는 나이에 따른 소아 선량의 권고량을 설립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

중심단어: 유효검출양자효율, 유효선량, FDD, 그리드, 환자선량권고량

서 론

소아는 방사선에 대한 감수성이 성인에 비해 매우 예민하며, 방사선 조사에 의한 결정적인 영향을 오래 받아야 하므로 만발 장애의 위험이 성인에 비해 훨씬 크다.¹⁾ 소아(만 15세까지)의 방사선 촬영은 성인에 비해 그 빈도가 적은 편이나, 흉부 X선 촬영은 진단 효율이 높고 짧은 시간에 간단하게 시행할 수 있다는 장점이 있어 진단에 기초수단으로 이용되고 있다. 그러나 사용빈도가 증가됨에 따라 소아 흉부 X선 촬영에서 기인하는 방사선의 위해에 대한 관

심이 고조되고 있다. 이에 한국에서는 식품의약품안전평가원에서 발행한 「소아 방사선 촬영을 위한 기술정보물」을 통하여 소아 흉부검사의 실태조사 및 환자선량 권고량을 확립하였다.²⁾ 기술정보물에서는 전국 135개 기관 149대의 장비를 대상으로 5세를 기준으로 한 소아용 인형팬텀을 사용하여 소아 흉부 X선 촬영에서의 환자선량을 측정하였다. 그 결과 ESAK (entrance surface air kerma)는 140.4 μ Gy \pm 220.7로 측정되었다. 이에 환자선량을 통계처리하여 중간값에 해당하는 100 μ Gy로 환자선량 권고량을 정하였다. 그러나 200 μ Gy 이상의 피폭선량을 보인 장비도 일부 있어서 선량 관리의 필요성을 보여주고 있다. 환자선량 권고량은 일반적으로 측정의 간편함 때문에 ESAK로 표현된다.³⁻⁵⁾ 그러나 ESAK는 방사선의 위해에 대해서 직접적인 관련성이 없기 때문에 다양한 방사선 조사조건에 의한 환자의 선량을 비교하기에 충분하지 않다. 본 연구에서는 방사선의 위해를 좀 더 정량적으로 평가하기 위하여 유효선량을 평가하였다. 유효선량은 장기와 조직들의 각기 다른 방사선

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No. 00046284)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.
이 논문은 2011년 9월 20일 접수, 2011년 11월 8일 수정, 2011년 11월 15일 채택되었음.
책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지 연세대학교 보건과학대학 방사선학과
Tel: 033)760-2983, Fax: 033)760-2562
E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

민감도의 차이를 고려하여 방사선 손상을 추정할 수 있는 개념으로 생물학적 영향을 가장 잘 나타낸다. 본 연구에서는 동일한 유효선량일 때 소아 흉부 X-선 촬영 시 사용되는 각기 다른 조사조건에서의 영상화질을 비교 평가함으로써 조사조건 최적화를 이루고자 하였다. 임상에서 사용되는 환경을 모두 반영하기 위하여 환자에서 발생하는 산란선, 초점에 의한 흐림, 기하학적 확대도 그리고 검출기의 특성을 모두 고려한 유효 검출양자효율(effective detective quantum efficiency, eDQE)을 평가하였다. 또한 미국 FDA center for devices and radiological health (CDRH)에서 매년 운영하는 nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT) survey program에서 개발된 소아 흉부 팬텀을 이용하여 소아

흉부 X선촬영 시 현재 임상에서 사용되고 있는 조사조건에 대한 환자선량을 측정하였다.⁶⁾ 이를 국제적으로 인정된 환자선량 권고량과 비교해봄으로써 국내의 환자선량 권고량에 대한 타당성을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험장비 구성

본 연구에서는 소아 흉부 X선 촬영 시 조사조건 최적화를 위하여 직접변환방식의 디지털 X선 촬영장치가 사용되었다. 본 장치는 a-Se기반으로 한 검출기(FDXD1417, DRTECH, Korea)를 사용하고 있으며, 0.139 mm 픽셀크기와 2,560×3,072 픽셀 매트릭스로 구성되어 있다. 그리드 (Jungwon Precision Ind. Co., Kuro, Korea)는 78 lines/cm의 밀도와 13 : 1의 그리드비를 갖는 고정타입이 사용되었다. 소아의 흉부를 모사하기 위하여 미국 FDA에서 시행한 NEXT를 위하여 고안된 표준 소아흉부팬텀을 이용되었다. 표준 소아흉부팬텀은 15개월에 10.89 kg의 소아를 모사하였으며 (미국 FDA기준), NEXT에서 제시한 가이드라인에 따라 PMMA와 알루미늄으로 구성하여 제작하였다(Fig. 1).⁶⁻⁸⁾

2. 유효선량(effective dose)

유효선량은 조직 또는 장기의 등가선량에 조직가중치를 가중하여 합한 값으로 방사선 피폭으로 인한 인체에 대한 확률적 영향을 종합적으로 평가한 양이다.⁹⁾ 본 연구에서는 유효선량을 계산하기 위하여 PCXMC dose calculation version 1.5.1 (PCXMC, STUK, Finland)을 사용하였다. PCXMC는 다양한 나이와 키, 몸무게로 표현되는 소아와 성인팬텀을 이용하여 방사선 조사로 인한 팬텀의 유효선량과 25개 장기의 장기선량(organ dose)을 계산하기 위한 Monte Carlo 프로그램이다.¹⁰⁾ 본 연구에서는 1세의 소아팬텀에 50 kVp와 2 mAs 그리고 100 cm의 focus-to-detector distance (FDD)

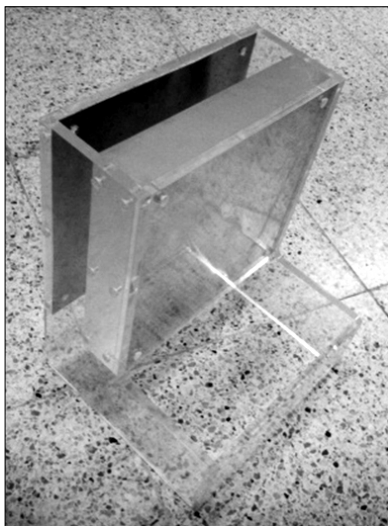


Fig. 1. The pediatric chest phantom employed in the Food and Drug Administration (FDA) for use in the Nationwide Evaluation of X-ray Trends (NEXT) program. The physical thickness of the pediatric chest phantom is 11.5 cm and effective thicknesses of acrylic and aluminum are 66.7 mm and 0.4 mm, respectively.

Table 1. Factors used in the calculation of the eDQE for each tube voltage.

Tube voltage (kVp)	Tube current-exposure time product (mAs)	Conversion factor ($\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$)	Incident air kerma (mR)	Effective dose (μSv)	Photon fluence (quanta/mR · mm ²)
40	5	0.13	9.79	10.35	115,128
50	2	0.16	7.85	10.74	155,711
60	1	0.18	6.67	11.16	188,342
70	0.6	0.23	5.59	10.96	212,021
80	0.3	0.25	4.89	10.47	229,012
90	0.2	0.26	4.53	10.41	239,832

Table 2. Summary of radiographic technical parameters and ESAK(entrance surface air kerma) for standard pediatric chest phantom at 5 major hospitals in Korea.

Hospital	Tube voltage (kVp)	Tube current-exposure time product (mAs)	Focus-to-detector distance (cm)	Grid used (Y/N)	Mean ESAK (μ Gy)
A	55	5.0	180	Y	77.45
B	60	2	100	N	152.74
C	70	2.5	110	Y	209.66
D	80	1.6	100	Y	233.04
E	80	4	180	Y	138.38

의 조사조건을 기준값으로 사용하였다. 100, 110, 120, 150, 180 cm의 FDD일 때 40 kVp에서 90 kVp까지 10 kVp씩 증가시키며 각각의 조건별로 동일한 유효선량을 갖도록 mAs (tube current-exposure time product)는 조절되었다. 동일한 유효선량을 갖는 각각의 조건별 조사조건을 실제 실험에 적용하기 위하여 변환계수를 계산하여 적용시켰다. 또한 FDD 그리고 projection방향에 따른 영향을 알아보기 위하여 유효선량을 비교하였다. Table 1은 다양한 관전압(kVp)별 eDQE를 계산하기 위한 조사조건 및 변환계수 그리고 photon fluence를 보여준다. 본 연구에서는 1000 병상수 이상의 5개의 병원에서 DR (digital radiography) 시스템을 대상으로 표준 소아 흉부팬텀을 위해 촬영된 조사조건을 조사하였다. 데이터는 kVp, mAs, FDD 그리고 그리드 유무와 같은 조사조건에 대해서 수집되었으며, 다양한 조사조건에서의 ESAK을 도출하기 위하여 팬텀의 표면의 위치에서 incident air kerma가 측정되었다(Table 2).

3. 유효변조전달함수(effective modulation transfer function, eMTF), 유효잡음력스펙트럼(effective normalized noise power spectra, eNNPS) 그리고 유효검출양자효율(effective detective quantum efficiency, eDQE)의 측정 및 분석

실제 피사체에 입사된 단위면적당 광자 수, 피사체에 의한 산란, 감쇠, 확대 및 그리드의 영향 그리고 초점에 의한 흐림이 반영된 전체 영상 시스템의 화질을 평가하기 위하여 eDQE인자를 사용하였다. eDQE는 Samei et. al에 의해 개발되었으며, 식 (1)과 같다.^{7,8)}

$$eDQE(f') = \frac{eMTF(f')^2(1-SF)^2}{eNNPS(f') \cdot TF \cdot K \cdot q} \tag{1}$$

여기서, SF (scatter fraction)는 산란율을, TF (Transmission

fraction)는 투과율을, K는 검출기 표면에서의 incident air kerma를, q는 photon fluence를 나타낸다. 또한 f'는 팬텀표면을 기준으로 하여 계산된 확대도로 보정된 공간주파수를 나타낸다. eMTF는 영상 시스템의 정량적인 분해능을 평가하는 중요 지표로써 line spread function (LSF)의 Fourier Transform을 통해 획득된다. 본 연구에서는 eMTF 도출을 위해 edge 방법을 이용하였다.^{7,8)} 검출기 앞에 표준 소아 흉부팬텀을 위치시키고, 팬텀의 표면에 edge test device를 위치시켰다. 검출기의 pixel pitch보다 더 미세한 샘플링 간격을 갖는 composite edge spread function (ESF)를 획득하기 위하여 픽셀 매트릭스와 약간의 각도(2~3°)를 주어 영상을 획득하였다. 동일한 관전압에서 3.2 K가 되도록 mAs조절하여 8번 조사하였다. 획득된 8장의 eMTF 영상을 평균하여 분석하였다. eNNPS 측정을 위하여 검출기 앞에 표준 소아 흉부팬텀만 위치시켜 놓고, Table 1의 조사조건으로 조사하였다. 각각의 kVp별로 4장의 영상을 3분 간격으로 획득하였다. 획득된 영상의 가운데 영역에 640×640 matrix 크기의 ROI (region of interest)을 설정하였고, ROI는 128 pixels씩 overlapping하여 256×256 매트릭스 크기의 sub_ROI 16개로 분할하여 분석하였다. 16개의 sub_ROI들은 평균한 후, 2D (two-dimensional) Fourier Transform하여 2D NPS 획득하였다. 1D NPS는 2D NPS의 중심축에 인접한 8개의 선으로 이루어진 thick slice에 있는 데이터를 사용하여 획득하였다.

4. 산란율(scatter fraction, SF)

산란율을 정량적으로 측정 위하여 beam stop 방법이 사용되었다.¹¹⁾ 41.7×47.3 cm²의 면적, 6 mm 두께의 아크릴판에 14×16개의 총 224개의 납 구멍을 만들었다. 납 구멍은 지름 3 mm, 두께 6 mm로 beam stop 역할을 위해 납으로 채워졌다. Beam stop의 두께는 반가층의 20배가 되는 두께로 본 연구에서 사용된 X선을 완전히 차폐한다는 이론을

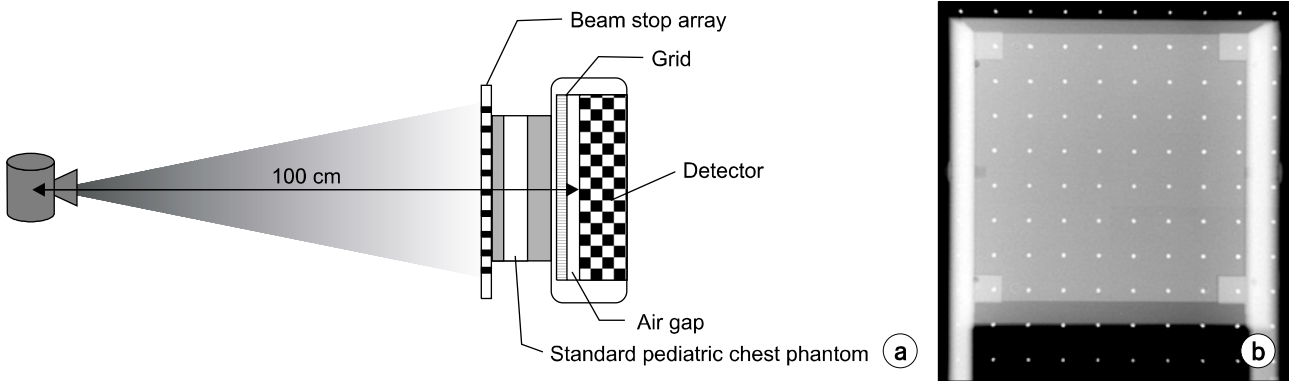


Fig. 2. (a) Side-view schematic diagram for measurement of scatter fraction, (b) an image of a beam stop array device was composed of a 14×16 array of 224 lead cylinders (6 mm thick and 3 mm diameter).

바탕으로 제작되었다. 표준 소아흉부팬텀 앞에 beam stop array device를 위치시키고, 3.2 K 조건으로 3번 조사하였다 (Fig. 2a). Beam stop의 가운데에 10×10 픽셀크기의 ROI를 설정하고, beam stop의 주변 영역에 같은 크기의 ROI들을 설정하여 각각의 평균 픽셀 값들을 도출하였다. 산란율은 beam stop 영역의 픽셀값과 주변 영역의 픽셀값의 비로 계산되어진다. Beam stop에 의한 투과율은 0%로 측정되었으며, 이를 바탕으로 beam stop을 투과한 X선의 영향은 무시해도 될 정도라고 고려되었다.

5. 투과율(Transmission fraction, TF)

투과율을 측정하기 위하여 x-ray tube와 검출기 사이에 이온 챔버(Radcal 10×9⁻⁶⁰ ion chamber/ Radcal 9095 radiation monitor, Radcal Corporation, Monrovia, CA)를 위치시킨 후 표준 소아 흉부 팬텀을 제거하고 조사한다. 이온 챔버의 프로브만 포함시킬 수 있는 좁은 조사야로 조절한 후 eNNPS 측정 시 사용했던 동일한 촬영조건으로 조사하였다. FDD의 1/3~2/3 정도의 위치에 표준 소아흉부 팬텀을 위치시켜 동일한 조건으로 조사한 후 조사선량을 측정하였다. 투과율은 팬텀이 있을 때 측정된 조사선량과 없을 때 측정된 조사선량의 비로 계산되었다.

결 과

본 연구에서 소아 흉부 X선 촬영 시 FDD와 projection 방향에 따른 영향을 알아보기 위하여 PCXMC를 이용한 유효선량을 비교하였다. Table 3는 entrance air kerma와 mAs에 따른 FDD 증가의 상대적인 이점을 보여주고 있다. 50 kVp

Table 3. Effect of focus-to-detector distance (FDD) on entrance air kerma and mAs for equivalent effective dose of 156.7 μSv.

Focus-to-detect distance (cm)	Entrance air kerma relative (mGy)	Tube current-exposure time product relative (mAs)
100	1.000	1.000
110	0.966	1.210
120	0.944	1.450
150	0.902	2.304
180	0.875	3.354

에 1 mGy의 entrance air kerma의 조건으로 시뮬레이션 하여 계산된 유효선량은 156.7 μSv이었다. 100 cm에서 180 cm으로 FDD가 증가에 따라 entrance air kerma는 12.5%가 감소하였으며, mAs는 235.4%가 증가하였다.

Fig. 3에서는 소아 흉부 X선 촬영의 anteroposterior (AP) 와 posteroanterior (PA) projection에 대한 각 장기들의 장기선량을 보여주고 있다. PCXMC상 1 Gy의 entrance air kerma를 주었을 때 AP와 PA projection에서 각각의 유효선량은 156.71과 92.40 mSv였다. AP projection 촬영 시 유방, 흉선, 심장, 갑상선, 간, 위 등의 조직선량이 PA projection에 비해 상대적으로 높았다.

Fig. 4는 그리드가 유무에 따른 표준 소아 흉부팬텀의 산란율 측정 결과를 보여준다. Fig. 4a에서 보여지듯 그리드가 없을 때 보다 있을 때 모든 관전압에서 산란율은 작았다. 그리드가 없을 경우 산란율의 값이 일정한데 반해 그리드가 있을 경우 높은 관전압으로 갈수록 산란율이 낮아졌으며, 70 kVp부터 다시 증가하였다. Fig. 4b에서 보여지듯

FDD가 증가할수록 그리드 유무에 상관없이 산란율은 약간씩 감소하였다.

Fig. 5는 다양한 관전압에 대한 소아 흉부팬텀의 투과율을 보여준다. 투과율은 관전압의 증가에 따라 직선적으로 증가하였다.

Fig. 6은 다양한 관전압에서 그리드 유무에 따른 eMTF의

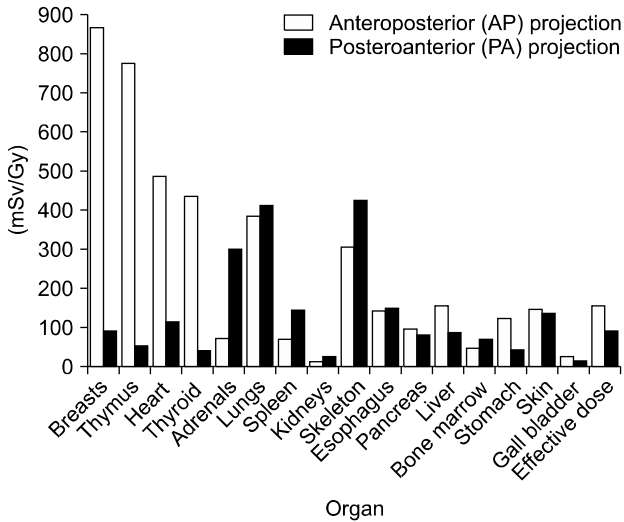


Fig. 3. A comparison of the organ dose calculated by PCXMC in anteroposterior (AP) and posteroanterior (PA) projection of the pediatric chest. All doses correspond to an entrance air kerma of 1 Gy. Technical parameters of 50 kV with a FDD of 100 cm and filtration of 2.7 mmAl are used for 1 year old patient phantom.

결과를 보여준다. 그리드 유무에 상관없이 eMTF는 관전압에 대해서 크게 변화하지 않았다. 이 결과는 eMTF에서 그리드에 대한 큰 영향이 없다는 것을 보여준다. Fig. 6a에서 보여지듯 IEC (international electro-technical commission) standard에서 규약하고 있는 RQA5 beam quality하에서 측정된 기존의 MTF는 eMTF보다 모든 주파수에서 높은 값을 보였다. Fig. 7은 그리드가 없을 경우 FDD증가에 따른 eMTF 결과값을 보여주고 있다. eMTF의 10% 값에서 100, 110, 120, 150, 180 cm의 FDD일 때 각각 1.956, 2.128, 2.395, 2.913 그리고 3.596 cycles/mm로 측정되었다. FDD증가에 따라 eMTF는 증가하였다.

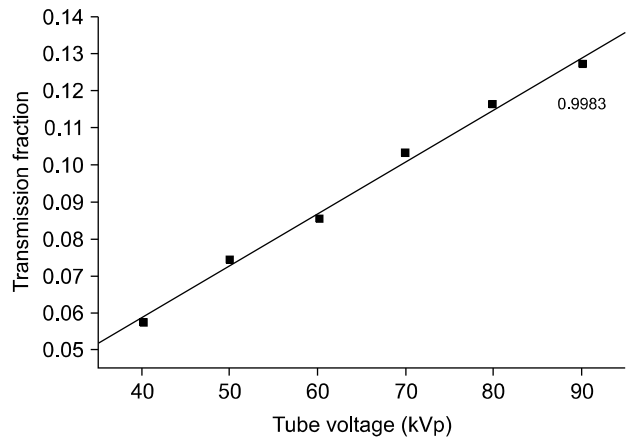


Fig. 5. Transmission fraction for the standard pediatric chest phantom as a function of tube voltage.

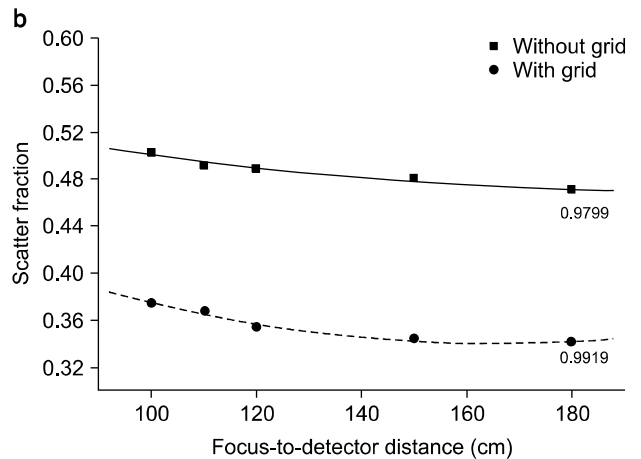
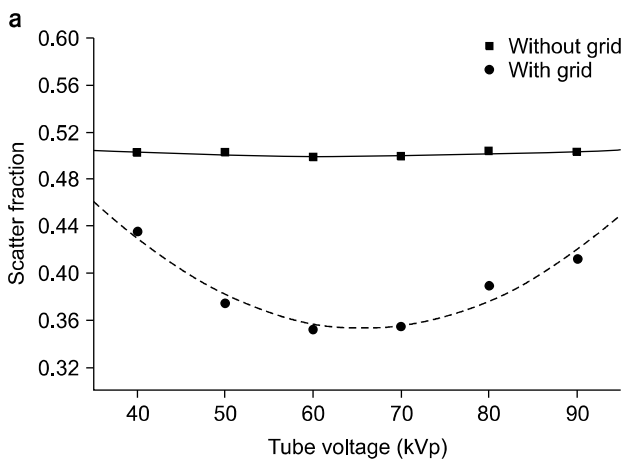


Fig. 4. Scatter fraction (a) for the standard pediatric chest phantom with and without an anti-scatter grid as a function of tube voltage and (b) for the phantom without an anti-scatter grid as a function of focus-to-detector distance. The solid line is a least square fit to a second-order polynomial.

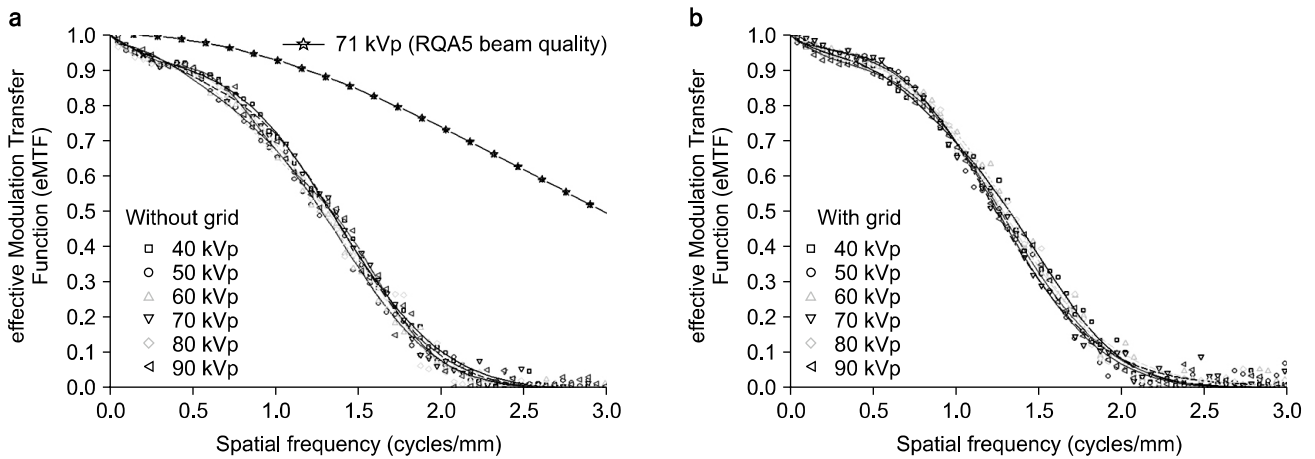


Fig. 6. (a) Measured MTF and eMTF without an anti-scatter grid for various tube voltage. The conventional MTF estimate in the horizontal direction obtained with an edge test device at 71 kVp and 21 mmAl filtration (IEC-specified RQA 5 beam quality). (b) Measured eMTF with an anti-scatter grid for various tube voltage.

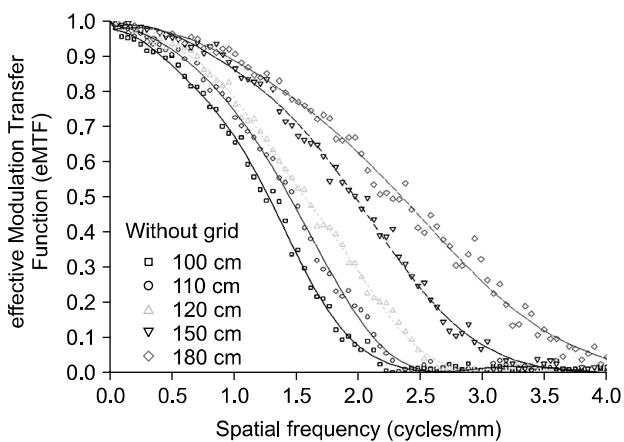


Fig. 7. Measured eMTF without an anti-scatter grid as a function of Focus-to-detector distance (FDD). All eMTF were evaluated at 50 kVp and were performed the Gaussian fitting.

Fig. 8은 다양한 관전압에서 그리드 유무에 따른 eDQE의 결과를 보여준다. 대부분의 관전압에서 그리드가 없을 경우 eDQE 값이 상대적으로 매우 높았다. 그리드가 없을 경우 60 kVp에서 가장 높은 eDQE값을 보였으며, 0.5 cycles/mm 이상의 주파수에서는 40 kVp와 50 kVp의 eDQE 값과 유사하였다(Fig. 8a). 반면 그리드가 있을 경우 60 kVp에서 가장 높은 eDQE 값을 보였지만, 70 kVp의 eDQE 값과 유사한 결과를 보였다(Fig. 8b).

Fig. 9는 FDD에 따른 eDQE와 RQA5 beam quality에서 측정된 검출기의DQE 결과값을 보여주고 있다. FDD가 증가할수록 eDQE는 증가하였다. 1.0 cycles/mm 공간주파수일

때 100, 110, 120, 150, 180 cm에 대한 eDQE 값은 각각 0.053, 0.070, 0.085, 0.116 그리고 0.127이었다. 반면 1.0 cycles/mm 공간주파수일 때 RQA5 beam quality에서 측정된 DQE 값은 0.294로 eDQE값에 비해 상대적으로 매우 높았다.

고 찰

본 연구에서는 소아 흉부 X선 촬영 시 사용되는 다양한 조사조건의 비교 평가를 하기 위하여 동일한 유효선량일 때 eDQE를 도출하여 영상의 정량적인 화질 평가를 하였다. 또한 FDD와 projection 방향에 따른 영향을 알아보기 위하여 유효선량을 계산하여 비교하였다. Table 3에서 보여지듯 100 cm에서 180 cm으로 FDD를 증가시키면 동일한 유효선량을 위해서 mAs를 3배 이상 줄일 수 있다. 동일한 조사조건일 때 projection 방향에 따른 유효선량은 AP와 PA projection의 경우 각각 156.71와 92.40 μ Sv로 계산되었다. 소아 흉부 X선 촬영 시 AP projection을 선택하게 되면 15% 이상의 선량을 줄일 수 있다. 또한 PA projection시 유방, 흉선, 심장, 갑상선과 같이 신체의 앞쪽에 위치한 장기의 선량이 줄어들었고, AP projection 시 부신, 폐, 비장, 신장등과 같이 신체의 뒤쪽에 위치한 장기의 선량이 줄어들었다. 이는 각각의 projection 시 신체의 일부분이 차폐물질처럼 작용하였기 때문이다.¹²⁾ 따라서 소아의 흉부 X선 촬영 시 적절한 FDD와 projection을 선택함으로써 소아의 방사선 피폭선량을 줄일 수 있을 것이다. 동일한 유효선량일 때 측정

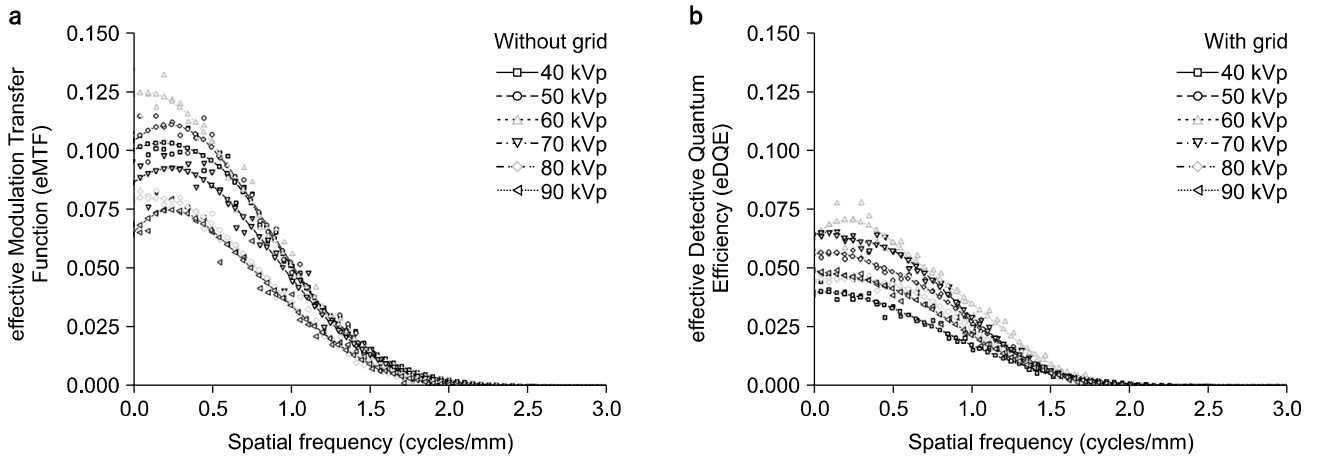


Fig. 8. Measured eDQE (a) without and (b) with an anti-scatter grid or various tube voltage.

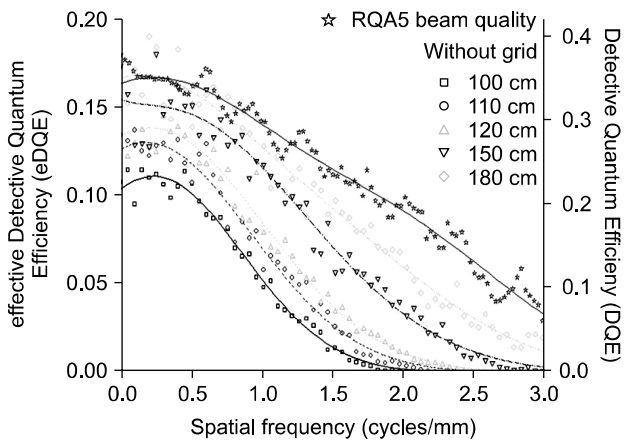


Fig. 9. Measured eDQE and DQE without an anti-scatter grid as a function of Focus-to-detector distance (FDD). The reported conventional DQE at 0.45 mR detector exposure at 71 kVp and 21 mmAl filtration (IEC-specified RQA 5 beam quality). The other eDQEs were evaluated at 50 kVp and were performed the Gaussian fitting.

된 eMTF의 결과 그리드 유무에 관계없이 관전압에 따라 크게 변화하지 않았다(Fig. 6). 반면 FDD가 증가할수록 eMTF는 증가하였다. 이는 FDD증가에 따라 팬텀의 표면을 기준으로 계산된 확대도가 줄어들어 초점의 흐림현상이 작아졌기 때문이다.¹³⁾ MTF와 비교한 결과 eMTF는 상대적으로 낮은 값을 보였으며, 이는 확대도와 초점에 의한 흐림 등 실제 임상 환경을 반영하여 측정되었기 때문이다. Fig. 9에서 보여지듯 eDQE 결과도 DQE의 결과에 비해 상당히 낮은 수치를 보였다. DQE는 단지 검출기의 성능을

표현하지만, eDQE는 피사체에 의한 산란, 감쇠, 확대 및 그리드의 영향 그리고 초점에 의한 흐림이 반영된 전체 영상 시스템의 성능을 나타낸다. 이는 eDQE를 이용하여 다양한 조사조건의 최적화를 시킬 수 있음을 보여준다. 본 연구에서는 그리드가 없을 때 60 kVp에서 가장 높은 eDQE 값을 보였다. 특히 대부분의 관전압에서 그리드가 없을 경우 eDQE 값은 높게 나타났다. 이는 그리드에 의한 산란선 감소가 그리드에서 흡수된 유효 광자들에 대한 보상을 하지 못하기 때문이다. 따라서 그리드를 사용했을 경우 동일한 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)를 얻기 위하여 더 높은 선량을 사용하여야 한다. 따라서, 본 연구에서 사용된 15개월 소아 팬텀을 기준으로 흉부 X선 촬영 시 피사체에서 발생하는 산란선은 상대적으로 체적이 큰 소아 또는 성인에 비하여 충분히 작기 때문에 불필요한 피폭선량을 줄이기 위해 그리드의 사용을 피해야 한다. 또한 그리드가 없을 경우 FDD증가에 따라 eDQE는 증가하였다. 하지만 국내의 대형병원을 대상으로 조사한 결과 대부분의 병원에서 표준 소아 흉부팬텀(15개월 소아 기준) 촬영 시 그리드를 사용하였으며, 짧은 FDD를 사용하였다(Table 2). 국내 식품의약품안전평가원에서 발행한 「소아 방사선 촬영을 위한 기술정보물」에서는 중간값에 해당하는 값인 100 μ Gy로 환자 선량권고량(diagnostic reference level, DRL)을 정하였다.²⁾ 본 연구에서 조사한 각 대형병원별 소아 흉부 X선 촬영 시 사용된 조사조건에 따른 ESAK는 대부분이 국내 환자 선량 권고량을 초과하였다. 이는 선 자세를 취할 수 있는 경우(5세 소아 기준) 대부분의 병원에서 PA projection으로 촬영하였으며, 그리드를 사용하고 180 cm의 FDD를 사용하였다.

반면 선 자세를 취할 수 없는 경우(15개월 소아 기준) 촬영 테이블에 누운 자세를 취하여 AP projection으로 촬영하였으며, 그리드를 사용하고 100 cm의 짧은 FDD를 사용하였다. 따라서 그리드에 의한 유효 광자의 흡수와 짧은 FDD로 인하여 설 수 없는 소아의 경우 더 높은 ESAK 값을 보였다. 따라서 나이별 소아의 특징과 체격에 맞는 조사조건과 DRL이 설립되어야 할 것이다.

결 론

본 연구에서는 소아 흉부 X선 촬영 시 사용되는 조사조건 최적화를 하기 위하여 유효선량과 eDQE를 도출하여 비교하였다. 그 결과 그리드의 사용, 짧은 FDD 그리고 높은 mAs가 환자의 피폭선량을 증가시키는 주된 요인으로 작용하였다. 따라서, 작은 소아환자의 흉부 X선 촬영 시 그리드의 사용을 피하고, 긴 FDD를 사용하기를 권고한다. 본 연구는 소아 흉부 X선 촬영 시 소아의 나이별 조사조건과 DRL을 설정하는데 있어서 기초 자료로써 그 활용도가 높을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Steven D: Radiosensitivity of children: potential for over-exposure in CR and DR and magnitude of doses in ordinary radiographic examinations, *Pediatr Radiol* 34:S167-S172 (2004)
2. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NiFDS): Technical information for pediatric radiology (Radiation safety management series no. 22, NiFDS, Korea, 2010)
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP): 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP publication no. 60, 21 Pergamon, 1991)
4. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Radiological protection and safety in medicine (ICRP publication no. 73, 26 Pergamon, 1996)
5. Hart D, Wall BF, Shrimpton PC, Bungay DR, Dance DR: NRPB-R318-Reference doses and patient size in paediatric radiology (NRPB-R318, Chilton, 2000)
6. Food and Drug Administration and Conference of Radiation Control Program Directors: Nationwide evaluation of x-ray trends: Twenty-five years of NEXT (brochure, FDA, 2003)
7. Samei E, Ranger NT, MacKenzie A, Honey ID, Dobbins III JT, Ravin CE: Detector or System Extending the Concept of Detective Quantum Efficiency to Characterize the Performance of Digital Radiographic Imaging Systems. *Radiology* 249: 926-937 (2008)
8. Samei E, Ranger NT, MacKenzie A, Honey ID, Dobbins III JT, Ravin CE: Effective DQE (eDQE) and speed of digital radiographic systems: An experimental methodology. *Med Phys* 36:3806-3817 (2009)
9. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP publication no. 26, 1 Pergamon, 1977)
10. Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A: PCXMC: a PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, Finnish centre for radiation and nuclear safety (1997)
11. Floyd CE Jr, Baker JA, Lo JY, Ravin CE: Measurement of scatter fractions in clinical bedside radiography. *Radiology* 183:857-861 (1992)
12. Kumaresan M, Kumar R, Biju K, Choubey A, Kantharia S: Measurement of entrance skin dose and estimation of organ dose during pediatric chest radiography. *Health Physics* 100: 654-657 (2011)
13. Ranger NT, Mackenzie A, Honey ID, Dobbins III JT, Ravin CE, Samei E: Extension of DQE to include scatter, grid, magnification, and focal spot blur: A new experimental technique and metric. *Proc SPIE* 7258:72581A (2009)

Survey of Technical Parameters for Pediatric Chest X-ray Imaging by Using Effective DQE and Dose

Hye-Suk Park^{*†}, Ye-Seul Kim^{*†}, Sang-Tae Kim[‡], Ok-Seob Park[§], Chang-Woo Jeon^{||}, Hee-Joung Kim^{*†}

*Department of Radiological Science, College of Health Science and [†]Research Institute of Health Science, Yonsei University, Wonju, [‡]Department of Radiological Science, Hanlyo University, Gwangyang, [§]Department of Radiology, Seoul Medical Center, ^{||}Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

The purpose of this study was to investigate the effect of various technical parameters for the dose optimization in pediatric chest radiological examinations by evaluating effective dose and effective detective quantum efficiency (eDQE) including the scatter radiation from the object, the blur caused by the focal spot, geometric magnification and detector characteristics. For the tube voltages ranging from 40 to 90 kVp in 10 kVp increments at the FDD of 100, 110, 120, 150, 180 cm, the eDQE was evaluated at the same effective dose. The results showed that the eDQE was largest at 60 kVp when compares the eDQE at different tube voltage. Especially, the eDQE was considerably higher without the use of an anti-scatter grid on equivalent effective dose. This indicates that the reducing the scatter radiation did not compensate for the loss of absorbed effective photons in the grid. When the grid is not used the eDQE increased with increasing FDD because of the greater effective modulation transfer function (eMTF). However, most of major hospitals in Korea employed a short FDD of 100 cm with an anti-scatter grid for the chest radiological examination of a 15 month old infant. As a result, the entrance surface air kerma (ESAK) values for the hospitals of this survey exceeded the Korean DRL (diagnostic reference level) of 100 μ Gy. Therefore, appropriate technical parameters should be established to perform pediatric chest examinations on children of different ages. The results of this study may serve as a baseline to establish detailed reference level of pediatric dose for different ages.

Key Words: Effective detective quantum efficiency (eDQE), Effective dose, FDD (focus-to-detector distance), Grid, DRL (diagnostic reference level)