

X-선관 초점 크기와 확대도에 따른 디지털 일반촬영 시스템의 유효검출양자효율 평가

연세대학교 보건과학대학 방사선학과, 보건과학연구소

김예슬 · 박혜숙 · 박수진 · 김희중

확대촬영은 일반촬영뿐 아니라 미세골촬영, 유방촬영 및 다른 진단 영역에서 널리 사용되고 있다. 유한한 X선 초점의 크기로 인해 확대촬영은 분해능, 노이즈, 대조도 등 영상 시스템 전체에 영향을 미친다. 본 연구의 목적은 유효검출양자효율(effective detective quantum efficiency, eDQE)을 이용하여 영상시스템에 있어서 확대도와 초점크기의 영향을 알아보고자 함이다. 전체적인 영상 시스템 특성을 반영하는 eDQE는 초점에 의한 흐림 현상, 확대, 산란 그리고 격자 반응 등의 영향을 고려한다. 본 실험에서는 Food and Drug Administration (FDA)에서 고안된 흉부 팬텀을 사용하여 실제 가슴 촬영 조건에서 측정된 유효변조전달함수(effective modulation transfer function, eMTF), 유효잡음력스펙트럼(effective noise power spectrum, eNPS), 산란율(scatter fraction, SF) 및 투과율(transmission fraction, TF)을 통해 eDQE 값을 도출하였다. 연구 결과를 통해 살펴보면 소초점을 사용했을 경우, eMTF의 값이 10%일 때의 공간주파수는 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 2.76, 2.21, 1.78, 1.49 그리고 1.26 lp/mm이었다. 대초점을 사용했을 경우, MTF의 값이 10%일 때의 공간주파수는 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 2.21, 1.66, 1.25, 0.93 그리고 0.73 lp/mm이었다. 확대도가 증가할수록 eMTF 값이 떨어지고, 소초점을 사용했을 때 대초점을 사용했을 때보다 eMTF가 전체적으로 높다는 것을 확인할 수 있었다. 초점의 크기에 따른 zero frequency에서의 eDQE 값의 변화는 크게 보이지 않았다. 그러나 대초점을 사용했을 경우, 소초점을 사용했을 때보다 저 주파수에서 고 주파수로 갈수록 eDQE가 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 확대촬영은 작은 병변을 확대시키고 낮은 유효잡음과 air-gap에 의한 산란선의 감소로 인해 대조도를 증가시킨다. 이로 인해 크기가 작은 병변을 고대조도로 확대시킴으로써 진단율을 높일 수 있다. 그러나 초점 크기로 인한 흐림 현상이 확대도에 따라 공간 분해능에 더 큰 영향을 미친다. 이러한 결과를 바탕으로, 디지털 일반촬영 시스템에서의 확대촬영을 시행하기 위한 적절한 초점크기와 확대도가 확립되어야 한다.

중심단어: 유효변조전달함수, 유효검출양자효율, 유효잡음력스펙트럼, 확대도

서 론

1895년 W. C. Reontgen에 의한 X-선의 발견 이래 방사선 의료 영상은 인류의 보건 복지에 많은 기여를 해왔다. 특히 X-선 영상 장치는 여전히 가슴이나 유방 질환의 초기 진단에 중요한 역할을 한다. 영상의 화질과 X-선 영상 데이터의 효용성을 향상시키기 위해 개발된 디지털 일반촬영 시스템는 저선량으로 고화질의 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다.¹⁾

확대 촬영은 대표적으로 유방촬영에 적용되고 있지만, 디지털 일반촬영 시스템에서는 골종양진단, 류마티스 관절염 진단, 미세골조직영상 등에 사용되고 있다. 또한, 혈관 촬영에서는 혈관 협착과 혈관 내 삼입된 스텐트 등을 보는데 이용되고 있다. 확대 촬영의 효과는 크게 선에도 효과, 노이즈 효과, air-gap 효과 그리고 시각 효과로 나누어 볼 수 있다. 선에도 효과는 확대 촬영 시 유효 픽셀 크기가 감소하여 해상도가 향상되는 것을 말한다. 이는 초점 크기에 큰 영향을 받을 수 있다. 노이즈 효과는 확대도 증가에 따라 유효 노이즈가 감소하여 신호 대 잡음비(signal to noise, SNR)와 대조도의 향상을 가져온다. Air-gap 효과의 경우 확대도 증가에 따라 air-gap이 증가하여 그에 따라 검출기에 도달하는 산란선을 감소시킨다. 시각 효과란 확대 촬영 시 크기가 작은 고대조도 물체의 검출 가능성을 향상시키는 효과이다.²⁾ 그러나 이러한 확대 촬영의 효과를 전체 시스

이 논문은 2012년 1월 28일 접수, 2012년 3월 5일 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

템의 성능 면에서 정량적인 값으로 평가를 한 연구는 많지 않다.

디지털 영상 시스템의 정량적인 화질 평가에 있어서 검출양자효율(detective quantum efficiency, DQE)은 영상 시스템의 전체적인 SNR 성능을 정량적인 수치로 나타내는 객관적인 파라미터로 인정되어 왔다. 그러나 DQE 값은 실제 임상 시스템에서 발생할 수 있는 산란, 확대, 감쇠, 초점 크기에 의해 발생하는 영상의 흐림 현상 등을 반영하지 않고 있다. 최근에 임상 조건에서 영상 시스템에 의해 발생하는 영향인자들을 고려한 유효검출양자효율(effective detective quantum efficiency, eDQE) 개념이 도입되어, 피사체에 의한 산란, 감쇠, 확대 및 그리드의 영향 그리고 초점에 의한 영상의 흐림이 반영된 전체 영상 시스템 영상의 화질을 평가할 수 있는 인자로 사용되고 있다.^{3,6)} eDQE는 검출기 고유의 MTF, NPS 값을 통해 얻을 수 있는 DQE와는 달리, 피사체와 확대도, 산란율에 따른 영향을 포함한 유효변조전달함수(effective modulation transfer function, eMTF)와 유효잡음력스펙트럼(effective noise power spectrum, eNPS), 피사체를 통과하며 발생하는 산란율(scatter fraction, SF) 및 피사체를 통과하는 투과율(transmission fraction, TF) 값을 통해 도출할 수 있다.

본 연구는 디지털 일반촬영 시스템에서 확대 촬영을 했을 때의 영향을 알아보기 위해 초점의 크기를 변화시키며 eDQE를 측정, 평가한 결과를 통해 최적의 확대 촬영 조건을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 장비 및 재료

1) **디지털 영상 시스템**: 본 연구에서는 직접변환방식의 비정질셀레늄(a-Se)을 기반으로 한 디지털 X-선 검출기(FDXD1417, DRtech, Korea)를 사용하였다. 검출기 매트릭스 크기는 2,560×3,072이고 픽셀크기는 0.139×0.139 mm²이다. a-Se의 경우 타 photoconductor 물질에 비해 X-선 민감도가 우수하며 대면적 증착이 용이하다. X-선 발생장치(E7239X, Toshiba, Japan)는 텅스텐 소재의 타겟을 포함하고 초점크기는 1.2 mm (대초점), 0.6 mm (소초점)이다.

2) **팬텀**: 본 연구에서는 Food and Drug Administration (FDA)가 고안한 흉부 팬텀으로 Nationwide Evaluation of X-ray Trends (NEXT) 팬텀을 사용하였다(Fig. 1a). NEXT 팬텀은 25.40×25.40 cm²의 아크릴과 알루미늄 그리고 19.00 cm 두께의 air-gap으로 이루어졌으며, 표준성인 흉부에 대한 X선의 감약과 산란 조건을 갖추었다. 또한, 인체 조직등가 물질로 재구성된 장기들을 포함하고 있는 Torso (Model 602, CIRS, USA) 팬텀을 사용하였다(Fig. 1b).

2. 실험방법 및 측정조건

1) **유효변조전달함수(effective modulation transfer function, eMTF)**: eMTF는 임상조건에서 피사체가 있을 경우, 영상 정보의 변조 능력을 나타내는 인자이다. 본 연

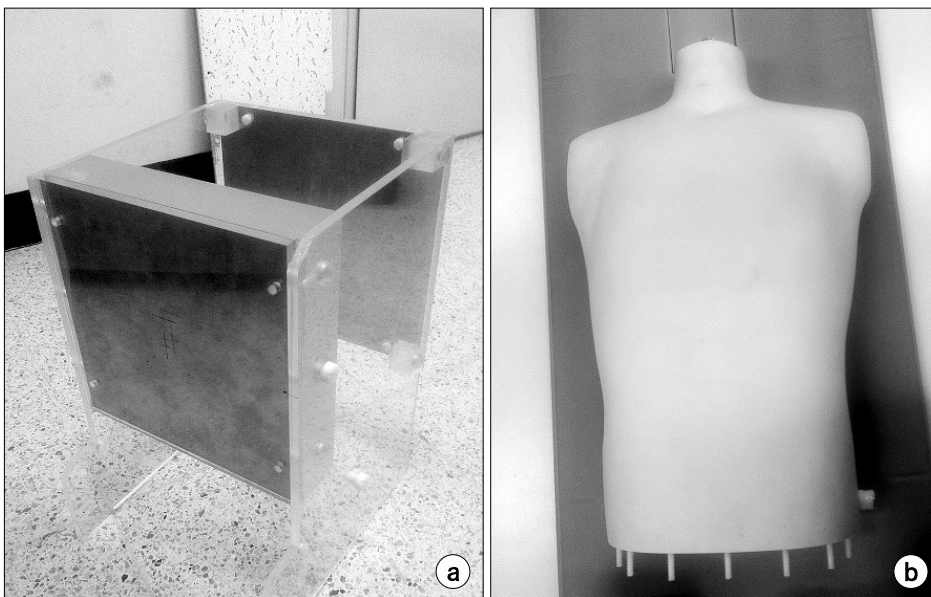


Fig. 1. (a) The adult geometric phantom designed by the Food and Drug Administration (FDA) for use in the Nationwide Evaluation of X-ray Trends (NEXT) program and (b) Torso phantom.

구에서는 실제 임상 조건에서의 해상도 측정이 확대도와 초점 크기에 의한 영상의 흐림을 반영한다는 것을 감안하였다. 또한, 각 주파수들은 확대도에 의해 보정되었다. eMTF를 얻기 위해 두께 1 mm의 텅스텐 edge device를 NEXT 팬텀 표면에 부착한다. Edge device는 검출기의 픽셀 간의 거리보다 더 미세한 샘플링 간격을 가지는 ESF (edge spread function)를 획득하기 위해 검출기의 픽셀 매트릭스와 약간의 각도(2~3°)를 두고 위치시킨다. 검출기 표면에 NEXT 팬텀을 위치시키고 노이즈에 의한 편차를 줄이기 위해 총 8장의 영상을 획득하였다. 또한 확대도에 따른 해상도의 변화를 측정하기 위해 확대도 1.2부터 2.0까지 팬텀의 위치를 이동시켜 가며 각각 8장의 영상을 얻었다. 임상에서 흉부 촬영 시 일반적으로 사용되는 평균노출조건(normal exposure level)에서의 영상을 얻기 위해 120 kVp와 3.2 mAs의 X-선을 이용하였다. eMTF는 식 (1)~(2)로 정의된다.⁶⁾

$$eMTF(f') = |FT\{LSF(x)\}|, \quad (1)$$

$$f' = m \cdot f = \frac{FDD}{FOD}f, \quad (2)$$

이 식에서 m은 확대율을 의미하며, FOD (focus-to-object distance)는 초점부터 피사체 표면까지의 거리, FDD (focus-to-detector distance)는 초점부터 검출기 표면까지의 거리를 의미한다. f는 공간주파수, f'는 확대율이 보정된 주파수를 의미한다. eMTF는 피사체 표면에 부착된 edge device 영상에서 도출된 LSF (line spread function)의 푸리에 변환을 통해 얻을 수 있다. Table 1은 확대도에 따른 피사체 표면에서 초점까지의 거리를 나타낸 것이다. 확대도가 증가할수록 FOD는 감소하고 이것은 검출기가 고정된 상황에서 피사체와 초점까지의 거리가 감소하는 것을 의미한다.

2) 유효잡음력스펙트럼(effective noise power spectrum, eNPS): eNPS는 검출기의 노이즈 특성을 반영하는 인자로, 영상 시스템에서 발생하는 신호의 불확실성과 부정확

도를 공간주파수 상의 분포로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 eNPS를 측정하여 확대도에 따른 노이즈 특성의 정량적인 평가를 위해 식 (3)을 이용하여 영상의 유효잡음력스펙트럼을 측정하였다.

$$eNPS(f'_x, f'_y) = \frac{\langle |FT(I(x, y))|^2 \rangle}{N_x, N_y} \cdot p_x \cdot p_y, \quad (3)$$

이 식에서 N_x, N_y 는 x와 y축의 픽셀 수, p_x 와 p_y 는 x와 y축에서의 픽셀 크기이며, $I(x, y)$ 는 감산 영상으로부터 계산된 잡음 영상, S는 각각의 관심영역(region of interest, ROI)에 대한 평균 신호이다. NEXT 팬텀을 검출기 표면에 위치시키고 8장의 white 영상을 얻어 영상의 중심 부분에 크기가 640×640이 되는 관심영역을 지정하였다. 전체 4,000,000 이상의 독립된 픽셀 값을 이용해 eNPS를 측정하였다. 각각의 관심영역은 총 16개의 세부 관심영역으로 나누었고, 각각의 세부 관심영역의 푸리에 변환을 총 8장의 영상에서 모두 평균을 내어 얻음으로써 eNPS 결과의 신뢰도를 높였다.⁸⁾

3) 산란율(scatter fraction, SF)과 투과율(transmission fraction, TF): SF 측정을 위해 아크릴 판에 beam stop array를 팬텀 표면에 부착하고 확대도 변화에 따라 각각 5장씩 영상을 획득하였다. 본 실험에서 사용된 beam stop array는 가로 41.7 cm, 세로 47.3 cm, 두께 6 mm의 아크릴판에 14×16개의 3 mm 지름의 납을 넣어 beam stop의 역할을 하도록 하였다. 획득된 beam stop array 영상의 중심부분에서 납이 있는 부분과 아크릴 부분 각각 4개의 지점에 10×10 픽셀의 관심영역을 지정하였다. 납이 있는 부분에서는 1차 X-선은 차폐되어 산란선의 영향을 볼 수 있고 아크릴 부분은 1차 X선과 산란선 모두의 영향을 볼 수 있다. 납이 있는 부분의 영상의 픽셀 값과 아크릴 판만 있는 부분의 픽셀 값의 비를 통해 산란율을 계산할 수 있다.⁹⁾ 총 5장의 영상에서의 SF를 평균 내어 오차를 줄였다.

투과율을 평가하기 위해 검출기의 위치에서 이온챔버를 이용하여 선량을 측정하였다. 이 때 조사야는 이온챔버를 충분히 포함시킬 수 있는 크기로 고정을 한다. 정확한 측정을 위해 3번 측정 후 평균을 내었다. 그 후 X선 튜브와 검출기 사이의 1/3 위치에 NEXT 팬텀을 위치시킨 후 동일한 조건하에서 검출기 위치에서 선량을 3회 측정 후 평균을 내었고, 그 값을 이용 투과율을 계산했다.

4) 유효검출양자효율(effective detective quantum efficiency): eDQE는 검출기 특성을 나타내는 DQE의 개념

Table 1. The magnification factor (m) depends on the FOD.

Magnification factor (m)	FOD (cm)
1.2	147.5
1.4	126.43
1.6	110.63
1.8	98.3
2.0	88.5

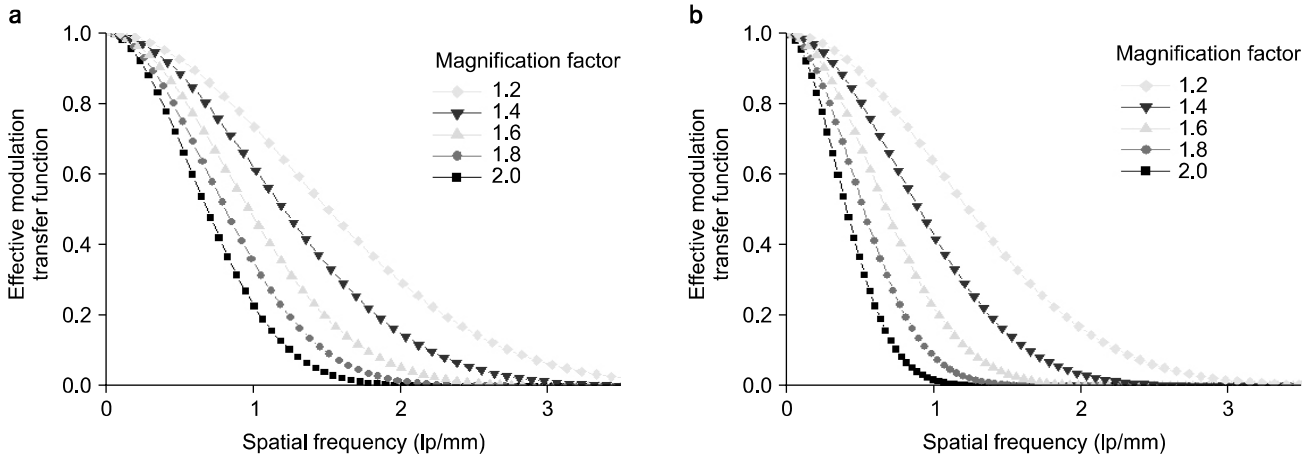


Fig. 2. eMTF evaluation for various magnification factors and focal spot sizes; (a) 0.6 mm and (b) 1.2 mm.

을 확대시켜 피사체에 의한 산란, 감쇠, 확대 및 그리드의 영향 그리고 초점에 의한 영상의 흐림이 반영된 전체 영상 시스템 영상의 화질을 평가하는 인자이다. eDQE는 Samei et. al에 의해 개발되었으며, 식 (4)와 같다.⁴⁾

$$eDQE(f') = \frac{eMTF(f')^2 \cdot (1 - SF)^2}{eNPS(f') \cdot TF_{nb} \cdot E \cdot q}, \quad (4)$$

이 식에서 eDQE는 확대도에 의한 주파수를 보정한 값이고, f' 는 확대율이 보정된 주파수를 의미한다. 또한, eMTF와 eNPS는 피사체, 산란선, 초점에 의한 흐림 그리고 그리드가 있을 때 측정된 값이고, SF는 산란율, TF는 팬텀을 통해 투과한 X선의 투과율을 의미하고, E는 검출기에서 측정된 air-kerma를 거리역사승 법칙을 이용하여 얻은 피사체로 입사된 선량을 의미한다. 그리고 q는 단위 선량에 따른 신호 대 잡음비의 자승을 의미한다.⁴⁾

5) Visual effect: 임상 진단에서 실제 영상을 분석하는 관찰자 입장에서 확대도의 효과를 육안으로 평가하였다. 본 연구에서는 결절을 묘사하는 plasticine 병변을 사용하여 확대도를 적용한 확대 촬영과 기존의 일반촬영 영상을 육안으로 평가하였다. 이를 위하여 인체 조직 등가 물질로 재구성된 장기들을 포함하고 있는 3 Dimensional Torso phantom (Model 602, CIRS, Inc)을 사용하였다. Torso 팬텀 표면에 모의 병변을 부착하고, 실제 임상 촬영 조건에서 영상을 획득하였다. 병변의 경계 및 흐림 현상을 동일한 배율에서 관찰하기 위하여 일반촬영 영상을 모니터 상에서 2배 확대하여 확대 촬영 영상과 비교하였다.

결 과

Fig. 2는 피사체에 의한 산란과 감쇠, 초점에 의한 흐림 현상, 확대도 등을 고려하여 실제 임상 조건과 동일한 조사 조건으로 eMTF를 측정된 결과, 소초점을 사용했을 때(Fig. 2a)와 대초점을 사용했을 때(Fig. 2b) 각각의 확대도에서 측정된 eMTF 곡선을 보여준다.

소초점을 사용했을 때, eMTF의 값이 10%일 때의 공간주파수는 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 2.76, 2.21, 1.78, 1.49 그리고 1.26 lp/mm이었다. 대초점을 사용했을 때, eMTF의 값이 10%일 때의 공간주파수는 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 2.21, 1.66, 1.25, 0.93 그리고 0.73 lp/mm이었다. 소초점을 사용했을 때가 대초점을 사용했을 때보다 eMTF가 전체적으로 높다는 것을 확인할 수 있다. 확대도가 증가할수록 eMTF 값이 떨어지고, 대초점을 사용했을 때 확대도에 따른 eMTF의 감소폭이 더 크다는 것을 알 수 있다.

→ 보통 MTF 그래프에서 공간분해능을 말할 때 10%의 값을 기준으로 하기 때문에, 10%일 때의 공간주파수를 비교하였습니다.

Fig. 3는 확대도에 따른 산란율을 보여준다. 산란율은 확대도가 1.2일 때 가장 높았고, 확대도가 증가할수록 산란율이 감소하는 것을 확인하였다.

Fig. 4는 소초점을 사용했을 때(Fig. 4a)와 대초점을 사용했을 때(Fig. 4b) 각각의 확대도에서 측정된 eDQE 곡선을 보여준다. 각각의 eDQE 곡선들은 가우시안 피팅을 수행했

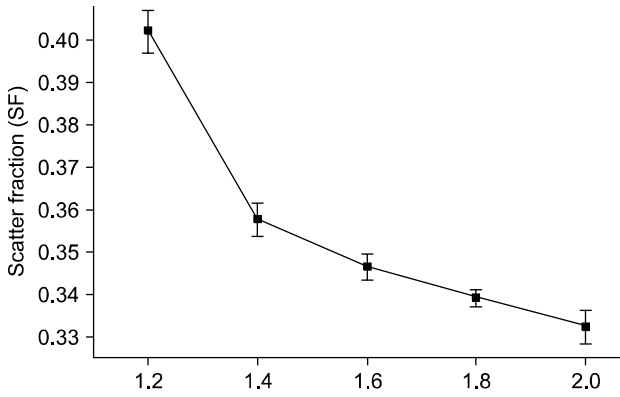


Fig. 3. Scatter fraction for various magnification factors.

다. 소초점을 사용했을 때 주파수가 0일 때 eDQE 값은 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 0.067, 0.061, 0.053, 0.052 그리고 0.040으로 확대도가 증가할수록 그 값이 감소하였다. 대초점을 사용했을 때 eDQE 값은 확대도가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0일 때 각각 0.067, 0.061, 0.052, 0.050 그리고 0.042로 확대도가 증가할수록 eDQE 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 초점의 크기에 따른 zero frequency에서의 eDQE 값의 변화는 크게 보이지 않았다. 그러나 대초점을 사용했을 경우, 소초점을 사용했을 때보다 저 주파수에서 고 주파수로 갈수록 eDQE가 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5은 Torso 팬텀에 결절을 모사하는 plasticine 모의 병

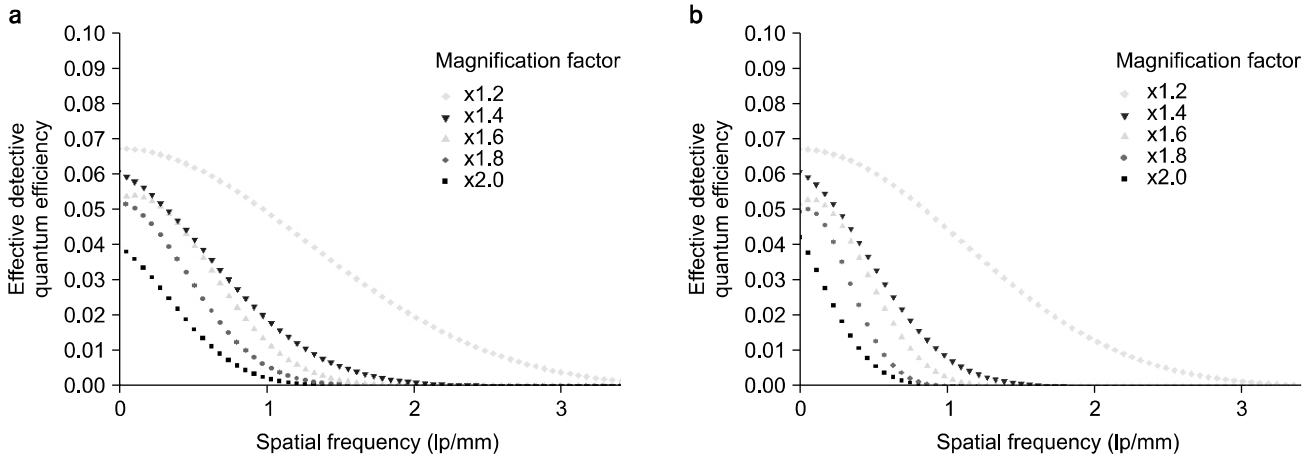


Fig. 4. eDQE evaluation for various magnification factors and focal spot sizes; (a) 0.6 mm and (b) 1.2 mm.

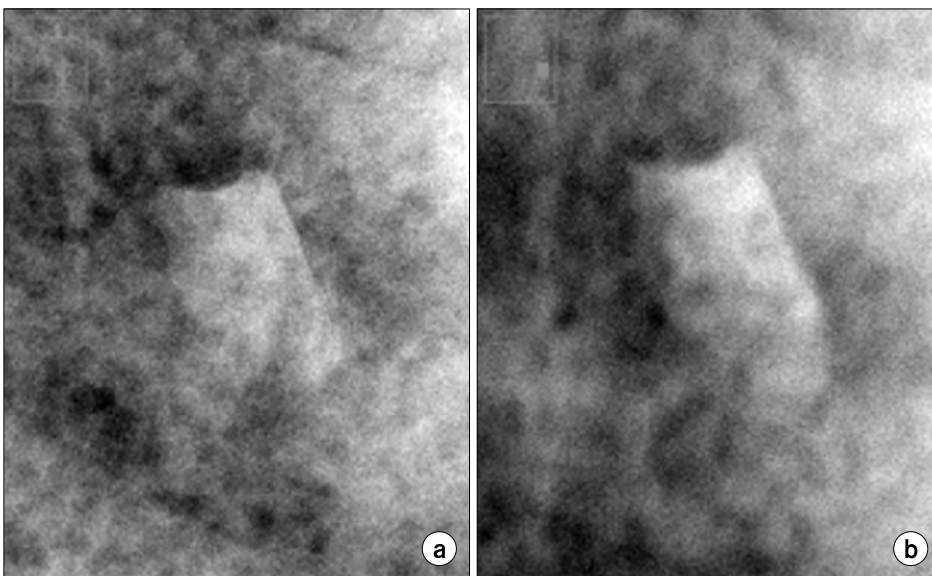


Fig. 5. (a) A twice magnified plasticine image attached to Torso phantom placed right in front of the detector and (b) a plasticine image acquired at magnification factor 2.0.

변을 삽입하여 획득한 영상이다. Fig. 5(a)의 경우 확대를 주지 않은 기존의 일반촬영 영상을 모니터 상에서 2배 확대를 한 영상이고, Fig. 5(b)의 경우는 확대도가 2.0인 확대 촬영 영상이다. Fig. 5(b) 영상의 경우, Fig. 5(a) 영상보다 전반적으로 흐리지만, 병변의 전체적인 크기나 모양 등을 알기에 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

고찰 및 결론

대표적으로 유방 촬영에 주로 적용되고 있는 확대 촬영은 일반촬영의 경우 미세 골 조직 또는 골종양진단 등 고대조도의 미세 병변의 검출을 위해 적용된다. 이러한 확대 촬영의 효과에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 실제 임상 조건을 고려한 전체 시스템의 정량적인 평가에 관한 연구가 부족한 상태이다. 따라서 본 연구의 목적은 디지털 일반촬영 시스템에서 확대 촬영의 영향을 알아보기 위해 검출기에 국한된 기존의 영상 시스템 화질 평가 기준인 DQE에서 확장된 개념인 eDQE를 이용하여 임상환경을 고려한 전체 영상 시스템의 영상화질 평가를 시행하였다.

확대도에 따른 eMTF의 경우 확대도가 커질수록 값이 주파수에 따른 eMTF 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 확대도가 증가하면 검출기가 가지고 있는 고유 해상도는 좋아지게 되지만, 이는 초점의 크기에 따른 흐림 현상에 의한 영향이 더욱 크기 때문에 전체적인 해상도는 떨어지게 된다. 대초점을 사용했을 때 eMTF의 감소 폭이 더욱 증가하는 것은 초점의 크기에 따른 흐림 현상에 의해서 해상도가 감소하였기 때문이다. 확대도가 증가할수록 SF는 감소하였고, 낮은 확대도의 경우 확대도 증가에 따라 SF 값이 더욱 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 확대 촬영의 경우 피사체와 검출기 사이에 air-gap이 생기게 되고, 확대도가 증가함에 따라 air-gap이 커지게 되면서 산란선이 감소하게 된다. 이렇게 임상 조건에서 측정 한 eMTF, eNPS, SF, TF의 결과 값을 통해 도출한 eDQE 값은 확대도가 증가할수록 감소하는 결과를 보였다. 대초점을 사용하였을 때, 주파수가 증가함에 따라 eDQE의 감소가 더욱 큰 것을 확인할 수 있었다. Torso 팬텀에 결절을 모사하는 plasticine 모의 병변을 삽입하여 획득한 영상에서 확대 촬영한 영상이 기존의 일반촬영 영상보다 전체적인 병변의 크기나 모양의 가시성이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 확대도가 증가함에 따라 air-gap 효과에 의해 산

란선의 양이 줄어들기 때문에 영상 대조도가 높아졌기 때문이다.

일반적으로 확대 촬영 시 고유 해상도가 향상되고 유효 노이즈의 감소로 대조도가 향상되고, air-gap의 확대로 산란선이 감소한다. 이로 인해 크기가 작은 고대조도의 물질에 대한 가시성을 향상시킨다. 하지만, 유효한 X-선 초점 크기로 인해 확대가 커지면 초점에 의한 흐림 영향으로 eMTF로 나타낼 수 있는 해상도는 떨어지게 된다. eMTF의 감소로 인해 임상에서의 전체적인 시스템 성능을 나타내는 eDQE도 감소하게 된다.

따라서 임상 환경에서 확대 촬영 시 초점의 크기, 확대도 등의 여러 파라미터를 알맞게 설정한다면 영상 화질을 높이는 데 도움이 될 수 있을 것이라 기대한다. 향후 병변의 종류에 따른 확대 촬영을 정량적으로 평가해봄으로써 본 연구의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 석대우: MTF, NPS, DQE 측정을 통한 비정질 셀레늄 기반 디지털 방사선 검출기의 성능 평가에 관한 연구 (2004)
2. Doi K, Sayanagi K: Role of optical transfer function for optimum magnification in enlargement radiography. Jap J Appl Phys 9:834-839 (1970)
3. Ranger NT, Mackenzie A, Honey ID, et al: Extension of DQE to include scatter, grid, magnification, and focal spot blur: A new experimental technique and metric. Proc of SPIE 7258: 72581A (2009)
4. Samei E, Ranger NT, MacKenzie A, et al: Effective DQE (eDQE) and speed of digital radiographic systems: an experimental methodology. Med Phys 36:3806 (2009)
5. Samei E, Ranger NT, Mackenzie A, et al: Detector or system? Extending the concept of detective quantum efficiency to characterize the performance of digital radiographic imaging systems. Radiology 249:926-937 (2008)
6. Samei E, Flynn MJ, Reimann DA: A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device. Med Phys 25:102-113 (1998)
7. J. Flynn Michael, Samei E: Experimental comparison of noise and resolution for 2k and 4k storage phosphor radiography systems. Med Phys 26:1612 (1999)
8. Floyd MJ, Lo JY, Chotas HG, Ravin CE: Quantitative scatter measurement in digital radiography using a photo-stimulable phosphor imaging system. Med Phys 18:408-413 (1991)
9. 박혜숙, 김예슬, 김상태, 박옥섭, 전창우, 김희중: 유효검출양자 효율과 선량을 이용한 소아 흉부 X-선 영상의 기술적인 인자에 관한 조사. 의학물리학회 22:163 (2011)

Effective Detective Quantum Efficiency (eDQE) Evaluation for the Influence of Focal Spot Size and Magnification on the Digital Radiography System

Ye-Seul Kim, Hye-Suk Park, Su-Jin Park, Hee-Joung Kim

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

The magnification technique has recently become popular in bone radiography, mammography and other diagnostic examination. However, because of the finite size of X-ray focal spot, the magnification influences various imaging properties with resolution, noise and contrast. The purpose of study is to investigate the influence of magnification and focal spot size on digital imaging system using eDQE (effective detective quantum efficiency). Effective DQE is a metric reflecting overall system response including focal spot blur, magnification, scatter and grid response. The adult chest phantom employed in the Food and Drug Administration (FDA) was used to derive eDQE from eMTF (effective modulation transfer function), eNPS (effective noise power spectrum), scatter fraction and transmission fraction. According to results, spatial frequencies that eMTF is 10% with the magnification factor of 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0 are 2.76, 2.21, 1.78, 1.49 and 1.26 lp/mm respectively using small focal spot. The spatial frequencies that eMTF is 10% with the magnification factor of 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2.0 are 2.21, 1.66, 1.25, 0.93 and 0.73 lp/mm respectively using large focal spot. The eMTFs and eDQEs decreases with increasing magnification factor. Although there are no significant differences with focal spot size on eDQE (0), the eDQEs drops more sharply with large focal spot than small focal spot. The magnification imaging can enlarge the small size lesion and improve the contrast due to decrease of effective noise and scatter with air-gap effect. The enlargement of the image size can be helpful for visual detection of small image. However, focal spot blurring caused by finite size of focal spot shows more significant impact on spatial resolution than the improvement of other metrics resulted by magnification effect. Based on these results, appropriate magnification factor and focal spot size should be established to perform magnification imaging with digital radiography system.

Key Words: Modulation transfer function, Effective detective quantum efficiency, Noise power spectrum, Magnification imaging