

표준영상의학검사를 대상으로 한 CR과 DR에서의 환자선량평가

— Evaluation of the Patient Dose in Case of Standard Radiographic Examinations Using CR and DR —

한려대학교 방사선학과 · 서남대학교 방사선학과¹⁾

김상태 · 한범희¹⁾

— 국문초록 —

방사선 일반촬영은 크게 두 가지 유형으로 구분할 수 있는데 디지털 영상 시스템인 CR(Computed Radiography)과 DR(Digital Radiography)이 주로 활용되고 있다. 이 둘의 차이는 선량과 영상의 질 관점에서 정의할 수 있다. 본 연구에는 피부입사선량(Entrance Skin Dose, ESD)의 관점에서 환자에게 투여된 선량을 계산하고 비교하여 CR과 DR 간의 선량 차이를 연구하기 위해 8가지의 표준 영상의학적 검사(Skull AP, Skull LAT, Chest PA, Chest LAT, Abdomen AP, L-spine AP, L-spine LAT, Pelvis AP)가 고려되었다. 영상 화질에 대한 평가는 진단방사선학적 영상을 위한 화질 기준에 부합하는지를 보증하기 위해 영상학과 전문 의에 의해 시행되었다. DR의 ESD는 CR의 ESD보다 낮다는 것이 확인되었다. 방사선 촬영을 담당한 방사선사가 동일인 이었고 CR과 DR의 영상 화질이 유사하거나 DR에서 조금 더 우수했기 때문에 본 연구는 고려된 검사 내에서 DR이 CR보다 선량 절감 차원에서 볼 때 더 우수한 기기라는 것을 보여준다.

중심 단어: Computed radiography, Digital radiography, 피부입사선량

I. 서 론

영상학과에서는 디지털 영상 시스템(Digital imaging system)이 고식적 방사선 촬영술 (Conventional radiography)를 대체하고 있는데 이는 필름-스크린(Film-Screen) 형식의 기술보다 우수한 디지털 영상 시스템의 여러 잠재적인 장점, 즉 더 큰 다이내믹 레인지(Dynamic range), 더 넓은 노광 관용도(Exposure latitude), 후처리(Post-processing)의 가능, 관리적 측면에서의 경제적 효과, 그리고 임상 의사에게 있어 영상의 향상된 접근성

등에 기인한다. 일반촬영에서는 현재 두 가지 유형의 디지털 영상 시스템인 CR(Computed Radiography)과 DR(Digital Radiography)이 활용되고 있다. 휘진성 형광체(photostimulable phosphor)를 기반으로 한 CR은 상대적으로 저렴한 설치비용과 좀 더 오래 전부터 이용된 기술이기 때문에 임상에서 더욱 널리 활용되고 있다¹⁾. 한편 능동 매트릭스 평판형 영상장치(Active matrix flat-panel imager)로 구성된 DR은 좀 더 최근의 기술로서 디지털 방사선촬영에서 가장 최근에 개발된 것으로서 X 선을 직/간접적으로 전기적 신호로 변환해주는 평판검출기이다. 이 검출기는 높은 양자검출효율(Detective Quantum Efficiency, DQE)과 탁월한 영상품질을 제공하며, 환자선량을 상당히 감소시킬 수 있다²⁾. 디지털 방사선의학에서, 통상 영상 품질을 결정하는 인자들은 선량, 다시 말해 환자나 영상장비의 흡수선량과 잘 연계된다. DR에

*접수일(2010년 6월 16일), 심사일(2010년 8월 9일), 확정일(2010년 9월 3일)

교신저자: 김상태, (545-704) 전남 광양시 광양읍 덕례리 199-4번지
한려대학교 방사선학과
TEL: 061-760-1137, FAX: 061-761-6709
E-mail: saint-kst@hanmail.net

서 사용되는 디지털 검출기의 경우, 어느 정도 선량범위에서는 선량이 높을수록 영상품질이 향상된다. 선량이 증가하면 신호 대 잡음비(SNR)가 개선된다. 따라서, 특히 AEC(Automatic Exposure Control : 자동노출조정)가 일반적으로 가용하지 않은 검사에서 선량 증가경향이 발생할 수 있다³⁾.

이동식 평판 디지털 방사선촬영 장치가 신생아 촬영에 대하여 평가된 바 있는데, 기존의 고전적 방사선촬영과 비교했을 때 1/4 정도의 선량을 필요로 하여 큰 선량감축이 확인되었으며, 적시의 임상적 의사결정에 필요한 빠른 영상 가용성을 보였다⁴⁾. 이 두 기술의 중요한 표준 지표는 유사한 검사에서 환자에게 투여된 선량이 된다. 환자 선량은 여러 방법을 사용하여 평가할 수 있으며, 또한 다양한 양으로 표현될 수 있는데 단순촬영에서 환자에게 투여되는 선량측정을 위해 선량면적곱(Dose Area Product : DAP) 측정기를 X-ray기기에 부착하는 것은 일반적으로 실용적이지 못하며 DAP는 환자와 운영자에 대한 확률적 영향을 위한 선량 관리에 유용하다. 그러나 피부의 최대 집적 흡수선량을 평가하거나 결정적 영향을 예상하는 실질적인 방법은 아니다. 피부선량은 특정 피부 영역의 평균 흡수선량이며, 방사선촬영 검사 또는 결정적 영향 위험이 있는 중재방사선 절차를 평가하는 데 중요한 양이다. 최대 집적 피부선량은 결정적 상해에 대한 위험이 있는 경우 반드시 평가해야 한다⁵⁾. 따라서 본 연구를 위해 기술적 요소와 관의 출력량으로부터 입사피부선량(Entrance Skin Dose : ESD)을 계산하였다. 따라서 본 연구에서는 5가지의 표준영상의학적 검사(skull, chest, abdomen, lumbar spine, pelvis)를 대상으로한 CR과 DR간의 차이점을 선량의 관점에서 양적으로 기술할 것이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

1) 장비

CR과 DR 모두 2003년 초 도입 후 vendor에 의해 정기적인 성능검사의 보증이 이루어진 상태로 유지 및 관리가 이루어지고 있다.

(1) CR : CR 시스템(ADC Compact plus digitizer, AGFA)은 6 pixels/mm(Cassette sizes 36×43 cm), 10 pixels/mm(Cassette sizes 25×30 cm)의 공간해상도

(Spatial Resolution)를 가지는 크기의 범용 영상판이며 generator 용량은 125 kV, 520 mA이다.

(2) DR : DR은 Philips Digital-Diagnost OPTIMUS50이며, DR의 평판형 검출기는 43×43 cm 넓이로 구성된 무정형 실리콘(a-Si) 광다이오드 매트릭스 어레이(photodiode matrix array)(3.47 lp/mm, 144 μm pixel size)가 짝지어져 있으며 generator 용량은 150 kV, 533 mA이다.

2) 대상 환자

2009년 5월부터 2010년 3월까지 11개월간 분당서울대학교병원 영상의학과에 내원한 환자 중 Skull AP, Skull LAT, Chest PA, Chest LAT, Abdomen AP, L-spine AP, L-spine LAT, Pelvis AP 검사 처방을 받은 환자 가운데 신장 170 cm, 체중 65 kg을 기준으로 실험 대상으로 하기 위해 비슷한 체격의 환자 내원시 EMR(Electronic Medical Record)에 기록된 환자의 신장과 체중을 확인하고 환자의 동의를 얻어 DR과 CR에서 동일 검사별로 각 100명씩을 대상으로 하였다. 100명의 환자 신장과 체중은 일원분산분석 결과 171 ± 1.1 cm 67 ± 2.3 kg($p < 0.05$)였다.

2. 연구 방법

1) 검사 조건(FFD: 100 cm)

각 검사별로 통상적으로 시행되는 실제 조사조건을 적용하였고 이를 기록하여 일원분산분석을 실행하였다(Table 1).

Table 1. Comparison of exposure condition in CR and DR (Mean±SD, $p < 0.05$)

	CR		DR	
	kVp	mAs	kVp	mAs
Skull AP	71.96±2.37	21.36±2.10	75.28±2.99	19.26±3.00
Skull LAT	68.60±2.16	19.12±2.15	70.92±2.34	11.99±2.80
Chest PA	120.52±5.21	2.75±0.60	121.80±4.00	1.45±0.53
Chest LAT	125.00±0.00	7.76±1.94	125.00±0.00	6.52±1.07
Abdomen AP	74.20±2.65	26.40±5.76	74.96±2.78	20.16±3.95
L-spine AP	74.04±2.23	25.40±3.91	74.84±2.69	20.59±3.39
L-spine LAT	81.88±3.26	43.20±4.76	82.68±3.24	35.30±5.95
Pelvis AP	73.16±2.76	22.60±2.55	74.28±1.90	17.69±3.07

2) 검사별 field size 측정

(1) CR : CR은 검사자가 검사별로 콜리메이션의 크기를 검사에 맞게 조절해 주어야 하므로 검사 시 개별적으로 콜리메이션을 한 후 x축(cm)과 y축(cm)의 길이를 직접 측정하여 기록하였다.

(2) DR : DR은 검사별로 콜리메이션의 크기를 자동으로 조절해주므로 DR 시스템에 기본으로 설정된 x축(cm)과 y축(cm)의 길이를 기록하였다.

3) 선량 계산

촬영부위는 8가지의 표준영상의학적 검사(Skull AP, Skull LAT, Chest PA, Chest LAT, Abdomen AP, L-spine AP, L-spine LAT, Pelvis AP)가 고려되었다. 피부입사선량(Entrance Skin Dose, ESD)은 임상 지침서의 노출 변수(European Guideline)에 주어진 표본을 바탕으로 기술⁶⁾하고 전리함(Ionization chamber)(방사선 모니터 컨트롤러 모델명 9010에 연결된 모델명 90X6-6, Radcal Corporation, Monrovia, CA, USA)에서 측정된 mR/mAs의 튜브 출력량⁷⁾을 사용하여 X 선관 초점으로부터 100 cm 거리에서 측정되었다. ESD의 계산은 아래의 공식을 따른다⁸⁾.

$$ESD = Output \times \left(\frac{kV}{80}\right)^2 \times mAs \times \left(\frac{100}{FSD}\right)^2 \times BSF$$

Output: 80 kVp에서의 빔 축을 따라 튜브 초점으로부터 100 cm의 거리에서 측정된 mAs당 튜브 출력

kVp: 검사별로 기록된 최대 튜브 전압

mAs: 초당 관전류

FSD: 초점-환자표면 거리

BSF: 후방 산란 계수

튜브 출력은 노출 전류, FFD 100 cm, 20 mAs, 80 kVp의 최대 튜브 전압일 때, 비산란 기하학적 구조로 측정되었다. FSD의 계산은 AP/PA projection에서의 표준 환자 두께인 20 cm을 적용하였고⁶⁾, Skull LAT의 경우는 15 cm, 나머지 검사의 LAT에서는 30 cm을 적용 하였다⁹⁾. mR/mAs에서 mGy/mAs로 튜브 출력을 변환하기 위해 0.00877이 적용되었으며¹⁰⁾ BSF는 1.35로 적용되었다⁶⁾.

4) 영상 평가 방법

영상 화질의 평가는 표준영상의학검사를 대표하는 복

부전후방향(Abdomen AP)영상을 기준으로 환자 100명의 영상을 영상학과 전문의 3명이 1점(매우 나쁨), 2점(나쁨), 3점(보통), 4점(좋음), 5점(매우 좋음)으로 평가하고 SPSS(version 17.0)를 사용하여 일원분산분석(ANOVA)을 통해 진단 방사선학적 영상을 위한 화질 기준에 부합하는지를 보증하기 위해 영상학과 전문의에 의해 판독용 워크스테이션에서 시행되었다(Table 4).

III. 결 과

표준영상의학검사의 조사조건은 AEC 모드를 이용하는 DR이 CR보다 낮은 mAs를 보였고 kVp는 비슷한 수준을 나타내었으며(Table 1) 검사별로 달라지는 콜리메이션의 정도를 나타내는 Field size는 CR이 DR보다 넓어지는 것이 확인되었다(Table 2). 동일한 검사에서의 CR과 DR 간의 선량 차이를 연구하기 위해 ESD를 이용하였다. 측정된 CR 및 DR 기기의 부위별 ESD 수치(1회 방사선조사)를 IAEA(International Atomic Energy Agency)¹¹⁾와 NRPB(National Radiological Protection Board)¹²⁾의 진단참고준위와 함께 비교할 수 있도록 하였다(Table 3). 영상 평가 결과는 CR과 DR에 의해 생성된 모든 영상을 평가한 결과 작은 차이기는 하지만 DR 영상이 CR보다 조금 더 우수한 화질을 보였고(Table 4), ESD와 E 모두 DR이 CR 보다 낮았으며 IAEA와 NRPB의 진단참고준위와 비교했을 때 CR과 DR 둘 다 모든 대상 검사에서 진단참고준위보다 매우 낮게 측정되었다.

Table 2. Comparison of irradiation field size in CR and DR

Projection	Field size (x cm × y cm)	
	CR (Mean±SD, p < 0.05)	DR
Skull AP	36.68±2.02 × 32.55±0.93	35 × 30
Skull LAT	38.12±0.92 × 32.08±0.80	35 × 30
Chest PA	44.01±0.99 × 44.15±0.74	43 × 43
Chest LAT	43.63±0.60 × 43.78±0.70	43 × 43
Abdomen AP	43.53±0.60 × 44.13±0.72	43 × 43
L-spine AP	21.63±0.90 × 44.30±0.68	20 × 43
L-spine LAT	21.25±0.87 × 44.18±0.71	20 × 43
Pelvis AP	43.63±0.59 × 43.45±0.68	43 × 41

Table 3. Comparison of DRLs for a few radiographic views (Mean±SD, $p < 0.05$)

Projection	CR, ESD (mGy)	DR, ESD (mGy)	IAEA 1996a ⁷⁾ , ESD(mGy)	NRPB 2000 ⁸⁾ , ESD(mGy)
Skull AP	3.32±0.16	3.06±0.08	5	3
Skull LAT	2.98±0.18	2.24±0.11	3	1.5
Chest PA	0.17±0.01	0.10±0.17	0.4	0.2
Chest LAT	0.27±0.02	0.20±0.04	1.5	1
Abdomen AP	3.67±0.19	3.04±0.10	10	6
L-spine AP	3.20±0.06	2.25±0.08	10	6
L-spine LAT	6.32±0.38	5.27±0.31	30	14
Pelvis AP	2.66±0.17	2.11±0.08	10	10

Table 4. Diagnostic score of abdomen AP in CR and DR (full marks : 5.0, $p < 0.05$)

	CR	DR
Radiologist A	4.10 ± 0.67	4.48 ± 0.68
Radiologist B	4.20 ± 0.65	4.58 ± 0.71
Radiologist C	4.13 ± 0.65	4.53 ± 0.64

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서 ESD 수치가 IAEA와 NRPB의 진단참고준위보다 모든 검사에서 낮게 나왔는데(Table 3). 그럼에도 불구하고 몇몇의 CR과 DR 간의 선량 불일치(Dosimetric discrepancy)가 입증되었고, 이는 이미 이전 연구에서 보고되었음을 확인하였다¹³⁾. CR에 비해 DR에서의 ESD가 낮은 이유는 DR은 CR과 달리 AEC의 사용이 가능하기 때문인데 AEC는 영상 수신부에서 X선 강도를 샘플하여 지정된 영상품질을 얻기에 필요한 노출을 자동적으로 결정하여 제공하는 장치로 선량감축을 위한 여러 기술수단 중 가장 중요한 요소이다. AEC는 사용자가 영상품질요건을 결정하면 영상화시스템이 바른 mAs를 결정한다. 모든 AEC에서는 스캔하는 신체부위에 대한 평균 mAs의 감축에 비례하여 선량이 감소하는데 이것이 해부학적 장기 위치에 따라 달라서 특정 장기에 대한 선량감축을 바로 나타내는 것은 아니므로, ESD와 달리 유효선량은 mAs 감축에 정비례하여 감소하지는 않는다. CR과 DR의 영상 화질은 DR이 CR보다 조금 더 우수하거나 유사했기 때문에, 본 연구는 고려된 검사 내에서 DR이 CR보다 선량의 관점에서 볼 때 더 우수한 기기라는 것을 보여준다(즉 낮은 선량으로도 동일하거나 좀 더 우수한 영상 화질을 얻

을 수 있음). 그러나 본 연구에서는 영상화질의 평가에 있어서 판독의사의 판단에 따른 안정적인 방법을 선택하여 이루어졌다. 정량적인 영상평가와 함께 환자선량의 평가가 이루어졌다면 하는 아쉬움이 남지만 이는 본 연구가 영상의 화질보다는 선량의 관점에서 이야기하고자 했기 때문이다. DR 기기의 장점에 대해서는 이미 다양하게 연구된 바 있으며¹³⁾ DR은 CR과 비교할 때 더 높은 양자검출효율(DQE)을 가진다는 것은 잘 알려진 사실인데, 이는 위에 언급한대로 낮은 선량으로 더 나은 영상 화질을 얻을 수 있다는 것이든지, 아니면 유사한 선량으로 더 우수한 영상 화질을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. CR의 장점 또한 잘 알려져 있는데 가령 CR은 침대에서 환자가 누운 채로 검사를 할 수 있으나 DR의 일반적 형태인 고정식 DR은 이것이 불가능하다. DR의 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 이동식 DR은 아직 널리 보급되지 않은 상태이며 무거운 중량, 충격에 약한 기기적 특성으로 인해 CR에 비해 편의성이 떨어지는 것이 사실이다. CR은 여전히 DR 보다 저렴하고 이전부터 존재하는 전형적인 X-선 기기(Conventional radiography)와 함께 사용할 수 있다. 인체모형 및 물리적 팬텀(Phantom)에서 수행한 실험적 측정과 비교할 때, ESD 계산을 위한 수학적 모델¹⁴⁾의 총 불확실성은 과거에 대략 12~14% 정도로 측정되었다. 이 수치는 진단방사선학적 선량측정에 있어 매우 만족스러운 값이라 여겨진다¹⁵⁾. DR에서는 AEC를 사용할 수 있다면 CR에서와 같은 수동 촬영을 피해야 한다. 그러나 모든 오류들이 후처리에 의해서 수정되는 것은 아니므로 AEC의 올바른 사용이 보장되어야 한다. 예를 들면 측면 센서 대신 중앙 센서를 이용하여 PA 흉부 영상을 얻는 오류가 발생할 수 있는데 이는 추가 노출을 필요로 하기 때문이다. 새로운 기술을 영상의학과에 적용하고, 영상의학적 기술을 최적화시키기 위해 ESD를 측정하고 분석하는 것은 매우 유용하다. 본 연구에서 우리는 이러한 문제에 대해 표준영상의학검사(Skull AP, Skull LAT, Chest PA, Chest LAT, Abdomen AP, L-spine AP, L-spine LAT, Pelvis AP)에서 비롯된 ESD를 평가함으로써 표준영상의학검사를 기준으로 DR이 CR보다 선량 차원에서 볼 때 더 우수한 기기라는 것이 판명되었다. 따라서 검사에 따라 해부학적 부위에 지나치게 과도하지 않은 넓이의 적합한 콜리메이션을 하고 DR에서는 반드시 AEC를 사용해야 할 것이다. 결과적으로 CR과 DR은 비슷한 수준의 영상 결과를 나타내므로 DR은 CR에 비해 낮은 선량에서도 충분한 진단품질의 영상을 얻는데 유리하다. 따라서 방사선 검사는 요구되는 의료 영상 목적을

만족하면서 합리적으로 달성할 수 있는 최소 환자선량(ALARA)으로 수행되어야 하므로 방호의 최적화라는 관점에서 볼 때 CR 보다는 DR이 더욱 친환경적인 장비임을 시사한다.

참 고 문 헌

1. A. R. Cowen., A. Workman and J. S. Price: Physical aspects of photostimulable phosphor computed radiography, Br. J. Radiol. 66, 332-345, 1993
2. P. R. Granfors and R. Aufrichtig: Performance of a 41×41-cm² amorphous silicon flat panel X-ray detector for radiographic imaging applications, Med. Phys. 27, 1324-1331, 2000
3. A. Herrmann., H. Bonel., A. Stablier., et al. Chest imaging with flat-panel detector at low and standard doses: comparison with storage phosphor technology in normal patients. Eur. Radiol. 12, 385-390, 2002
4. E. Samei, J. G. Hill, G. D. Frey, W. M. Southgate, E. Mah, D. Delong: Evaluation of a flat panel digital radiographic system for low-dose portable imaging of neonates, Med. Phys. 30, 601-607, 2003
5. ICRP. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85, Ann. ICRP 30(2), 2001b
6. European Commission: European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images, EUR 16260 EN (Brussels: EC), 1996
7. G. Compagnone, L. Pagan, L. and C. Bergamini: Local diagnostic reference levels in standard X-ray examinations, Radiat. Prot. Dosim. 113, 54-63, 2005
8. Toivonen: M. Patient dosimetry protocols in digital and interventional radiology. Radiat. Prot. Dosim. 94(1-2), 105-108, 2001
9. R. A. Parry, A. G. Sharon, and R. A. Benjamin: Typical patient dose in diagnostic radiology: the AAPM/RSNA physics tutorials for residents. Radio-Graphics 19, 1289-1302, 1999
10. T. Chuan-Jong, and T. Hui-Yu: Evaluation of gonad dose and fetal doses for diagnostic radiology. Proc. Natl Sci. Council ROC B 23(3), 107-113, 1999
11. IAEA Safety Series No.115, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, 1996a
12. D. Hart, M. C. Hillier, B. F. Wall: Doses to Patients from Medical X-ray Examinations in the UK-2000 Review, NRPB-W-14, National Radiological Protection Board, Chilton, 2002
13. E. Ariga, S. Ito, S. Deji, T. Saze and K. Nishizawa: Development of dosimetry using detectors of diagnostic digital radiography systems, Med. Phys. 34, 166-174, 2006
14. M. Tapiovaara, M. Lakkisto And A. Servomaa, PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139. Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 1997
15. International Commission on Radiation Units and Measurements. Patient dosimetry for X-rays used in medical imaging. ICRU Report 74, J. ICRU, 5(2), 2005

• Abstract

Evaluation of the Patient Dose in Case of Standard Radiographic Examinations Using CR and DR

Sang-Tae Kim · Beom-Hui Han¹⁾

Department of Radiological Science, Hanlyo University ·

¹⁾Department of Radiological Science, Seonam University

In projection radiography, two types of digital imaging systems are currently available, computed radiography (CR) and digital radiography (DR): a difference between them can be stated in terms of dose and image quality. In the Department of Radiology our hospital, a flat-panel DR equipment (Digital Diagnost, Philips) and two CR systems (ADC Compact plus digitizer, AGFA) are employed. Eight standard radiographic examinations (Skull AP, Skull LAT, Chest PA, Chest LAT, Abdomen AP, L-spine AP, L-spine LAT, Pelvis AP) were considered: doses delivered to patients in terms of both entrance skin dose (ESD) were calculated and compared in order to study the dosimetric discrepancies between CR and DR. Assessment of image quality is undertaken by Consultant Radiologists to ensure that the quality criteria for diagnostic radiographic images of the European guidelines were met. Results showed that both ESD in DR are lower than that in CR; all images met the criteria in the European Guidelines for both modalities and were used for reporting by the radiologists. Since the operators are the same and the image quality is comparable in both modalities, this study shows that in the considered examinations, DR can perform better than CR from a dosimetric point of view.

Key Words : Computed radiography, Digital radiography, Entrance skin dose