

디지털 방사선 시스템의 노출 유형에 따른 임상 적용 시 입사표면선량 및 Entropy 비교분석을 통한 자동노출제어장치의 유용성 평가

Evaluation of Usefulness of Automatic Exposure Control (AEC) by Comparison Analysis of Entrance Surface Dose (ESD) and Entropy in Clinical Application of Digital Radiography (DR)

최지안, 황준호, 이경배
경희대학교병원 영상의학과

Ji-An Choi(chlwdks33@naver.com), Jun-Ho Hwang(kleenex0004@naver.com),
Kyung-Bae Lee(yly7@hanmail.net)

요약

본 연구는 자동노출제어장치(Automatic Exposure Control, AEC)와 수동노출 이용 시 입사표면선량(Entrance Surface Dose, ESD)과 Entropy를 분석하여 자동노출제어장치의 유용성에 대해 알아보하고자 하였다. 실험방법은 Skull, Chest, Abdomen, Pelvis 부위에 대하여 란도팬텀(Rando Phantom)에 반도체 선량계를 위치시켜 선량을 측정하였고, 동시에 획득한 DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine) 파일을 Matlab으로 Entropy 분석을 하였다. 그 결과 자동노출제어장치 이용 시 모든 부위의 입사표면선량이 수동노출보다 낮았고 Entropy 수치는 높았으며, paired *t*-test는 $p < 0.05$ 로 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다. 결론적으로 자동노출제어장치의 사용은 X선 검사 시 발생할 수 있는 불필요한 방사선량과 정보의 손실량을 줄여서 피폭선량과 영상 화질의 최적화에 기여할 수 있는 유용한 방법이 될 수 있다.

■ 중심어 : | 디지털 방사선 시스템 | 수동노출 | 자동노출제어장치 | 입사표면선량 | 엔트로피 |

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the usefulness of automatic exposure control (AEC) by analyzing entrance surface dose (ESD) and entropy on using automatic exposure and manual exposure. The experimental method was to measure the dose by placing a semiconductor dosimeter on the Rando Phantom for the Pelvis, Abdomen, Skull, and Chest regions. The DICOM file was simultaneously acquired and then entropy was analyzed by using Matlab. As a result, when using the automatic exposure control, dose of all sites was lower than manual exposure's dose and entropy was high. In addition, paired *t*-test was performed for each item and $p < 0.05$ was found in each item. In conclusion, the use of automatic exposure control can be a useful method to contribute to the optimization of the exposure dose and the image quality by reducing the amount of unnecessary radiation amount and information loss that can occur in X-ray examination.

■ keyword : | Digital Radiography (DR) | Manual Exposure | Automatic Exposure Control (AEC) | Entrance Surface Dose (ESD) | Entropy |

I. 서론

방사선은 다양한 분야에 사용되기 때문에 사회적으로 고려해야 할 중요한 대상이며[1], 그 중 의료방사선은 피폭으로 인해 초래되는 잠재적인 위험보다 질병의 진단 및 치료를 통해 수반되는 이득이 더 큰 경우에는 그 필요성을 인정받고 있다[2]. 대표적인 예로 진단 방사선이나 인터벤션에서의 방사선 피폭은 임상 정보를 수집하기 위한 과정에서 어쩔 수 없이 수반되는 것들이다[2][3]. 방사선 방호의 관점에서 의료피폭은 비록 환자가 피폭을 받는다 할지라도 진단정보를 얻어 도움이 된다면 검사에 대한 정당성이 부여된다[2]. 이러한 의료피폭은 개인의 선량한도를 적용하지는 않지만, 이것이 방호를 적용하지 않는 것으로 오해되어서는 안 된다[2][3]. 이런 의미에서 의료에서의 방사선 피폭 관리는 매우 중요한 사안이다.

방사선 피폭 관리를 위하여 국제 방사선 방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)가 여러 가지 권고안 등을 발표하여 방사선 방호에 힘쓰고 있다[1-3]. 일례로, ICRP 93에서는 디지털 방사선 시스템(Digital Radiography, DR)에서의 방사선량 관리에 대한 내용을 집중적으로 다루며 디지털 기술 특성상 환자에게 필요 이상의 선량 부여에 대해 경고하고 여러 가지 규정을 언급하고 있다[4]. ICRP에서 디지털 방사선에 대해 언급하는 이유는 종래의 필름-스크린 방식에서 디지털 방식으로 넘어오면서 영상을 획득하는 과정이 크게 바뀌었고, 그에 따라 환자에게 무분별한 피폭이 일어날 수 있기 때문이다[4].

디지털 방식이 가지는 특징으로 미루어 볼 때, 무분별한 피폭의 원인으로 DR의 상대적으로 빠른 영상획득방식, 후처리 과정, 넓은 역동 범위(Dynamic Range)의 발전을 들 수 있다[4]. 이는 비록 적절한 영상의 질을 얻기 위한 엑스선의 양보다 적거나 많게 엑스선이 조사되었을지라도 후처리 과정 등을 통해 진단이 가능한 영상으로 어느 정도 보상이 가능하다면, 얼마만큼의 방사선 피폭이 수반되었는가를 알 수 없는 문제가 발생하게 된다[4-6]. 즉, 디지털 방식의 장점인 넓은 역동 범위, 발전된 후처리 방식 등이 방사선 피폭 정도를 정확하게 표현 불가능하게 만들며 영상 화질 또한 객관적으로 알기 힘들다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 대표적으로 노출지수(Exposure Index, EI), 편차지수(Deviation Index, DI), 진단참조준위(Diagnostic Reference Level, DRL)와 같은 개념이 도입되었다[7][8]. 과거의 필름-스크린 방식은 역동 범위가 사람의 눈과 비슷한 101.5 단계의 그레이스케일을 가지지만 디지털 방식의 평판형 검출기는 대략 104 단계의 그레이스케일을 가져서[7][8], 노출 정도에 대해 사람의 눈으로 판별하기 어려우므로 환자 피폭량의 간접적인 지표로 노출지수가 도입된 것이다[4]. 다만 노출지수는 제조사별로 정의와 산출방식에 차이점이 있어서 장비마다 그 수치를 비교하기는 어렵다. 이러한 노출지수의 한계점을 극복하기 위해 편차지수라는 개념이 새로이 도입되었다. 더하여 진단 및 중재적 방사선 검사에서 환자 의료피폭 방호의 최적화를 위하여 진단참조준위라는 개념을 도입하는 등 디지털 방사선 분야에서의 무분별한 피폭을 방지하고 동시에 최적의 영상 화질을 얻기 위한 연구들이 진행되어왔다[9].

이와 같은 노력의 일환으로 국내에서는 검사 중 환자가 받는 피폭량을 줄이기 위하여 많은 연구가 진행되어왔다[10-13]. 그 예로 검사 부위 주변 장기의 흡수선량에 관한 연구, 방사선 방호를 위한 차폐체 물질에 대한 연구, 자동노출제어장치와 피폭선량과 영상 화질 분석에 관한 것들이 대표적이다. 기존의 영상 화질 분석 연구들은 방사선 피폭과 밀접하게 연관이 있어서 저노출 또는 과노출된 영상이 전산화 프로그램을 통해 후처리된 경우에는 기존의 영상 화질 분석방식으로는 피폭 여부와 영상 화질 등을 객관적으로 파악하는 것이 불가능하다는 제한점을 가진다[10][11].

환자의 피폭을 줄이기 위해서 의미 있는 진단정보를 지닌 영상을 획득하지 못한다면 문제의 소지가 된다. 영상이 정보량을 얼마나 지니고 있는지 또한 방사선 업무 종사자들이 고려해야 할 대상이기 때문이다[7-9].

이때 엑스선 영상의 무질서 정도를 파악하는 것, 즉 엔트로피(Entropy)를 분석하는 것은 방사선 노출 정도에 따라 달라지는 정보량을 객관적으로 파악하는 것이 가능하다[14]. 의료영상 데이터는 엑스선과 검출기의 상호작용에 의해 얼마만큼의 정보량이 부여되는지에 따라서 결정되기 때문이다[10-14].

이에 착안하여 본 연구에서는 자동노출과 수동노출 방

식을 사용하여 얻은 영상의 입사표면선량(Entrance Surface Dose, ESD)과 Entropy를 분석하여 자동노출 제어장치의 유용성에 대해 알아보고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 조사대상 및 실험기기

실험은 2019년 1월 1일부터 30일까지 30일에 걸쳐 진행하였다. 방사선 발생장치는 A 병원에서 사용 중인 Siemens사의 Fluorospot Compact Manual로 모델명은 YSIO-2D이다[그림 1].



그림 1. Fluorospot Compact Manual

선량계는 IBA Dosimetry사의 반도체 선량계인 MagicMax Universal를 사용했다[그림 2].

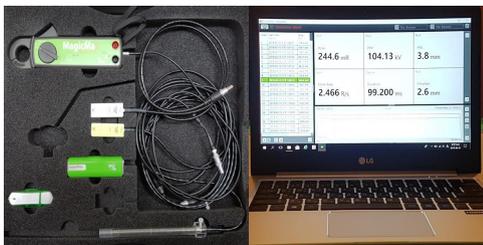


그림 2. MagicMax Universal

팬텀은 인체등기물질로 구성된 Rando Phantom(Alderson Research Laboratories, USA)을 사용하였다.

2. 실험방법

2.1 반도체 선량계를 이용한 입사표면선량 측정

Skull, Chest, Abdomen, Pelvis 부위에 대하여 입사표면선량을 측정하였다. Skull은 선량 측정 시 검사조건은 관전압 75 kVp, 필드 사이즈는 31 × 31 cm, SID는 100 cm, Chest는 관전압 109 kVp, 필드 사이즈는 43 × 34 cm, SID는 100 cm, Abdomen은 관전압 75 kVp, 필드 사이즈는 43 × 34 cm, SID는 100 cm, Pelvis는 관전압 81 kVp, 필드 사이즈는 34 × 43 cm, SID는 100 cm으로 하였다. 각 부위의 관전류량은 자동노출제어장치를 사용했을 때 나온 값을 사용하였고, 자동노출제어장치와의 비교를 쉽게하기 위해서 수동노출도 자동노출제어장치에서 나온 동일 관전류량을 적용하였다. 이때 관전류량은 Skull은 18 mAs, Chest는 3.3 mAs, Abdomen은 16.1 mAs, Pelvis는 23.3 mAs 이었다[표 1].

표 1. 실험방법과 촬영 조건

부위	조건 (kVp, mAs)		필드 사이즈 (cm)	SID (cm)
Skull	75	18	31 × 31	100
Chest	109	3.3	43 × 34	
Abdomen	75	16.1	43 × 34	
Pelvis	81	23.3	34 × 43	

입사표면선량은 팬텀을 바로 누운 전후 방향 자세(Supine position)로 위치시킨 후 선량계를 통해 측정하였다. 자동노출제어장치와 수동노출을 이용하여 Skull, Chest, Abdomen, Pelvis에 대한 선량을 30번씩 검사하여 평균과 표준편차로 나타내었다[그림 3].



그림 3. Skull, Chest, Abdomen, Pelvis의 선량 측정

더하여 선량계에 대한 후방산란을 고려하기 위하여 ICRU Report No. 74에서 제시하는 후방산란계수를 곱한 입사표면선량을 구하였다.

2.2 엑스선 영상의 획득

엑스선 영상은 테이블 검출기와 장비의 튜브를 수직으로 위치시킨 다음 검사 테이블에 Rando Phantom을 전후 방향으로 위치시켜 놓고 자동노출과 수동노출을 이용하여 획득하였다. 영상획득에 사용된 Parameter들은 텅스텐 타겟, 양극 각도는 12°, 검출기 유형은 Thin Film Transistor (TFT) 방식의 비정질 실리콘 (Amorphous Silicon, a-Si)을 사용하는 간접방식이며, 간접방식에 이용되는 Scintillator는 Cesium Iodine (CsI), Pixel Size는 144 μm, Bit processing은 16 bit 이다[표 2].

표 2. 방사선 발생장치의 기본 사양

Target	Anode Angle (°)	Detector Type	Scintillator	Pixel Size (μm)	Bit processing (bit)
Tungsten	12°	Indirect based on Amorphous Silicon	Cesium Iodine	144	16

또한 실험에 영향을 줄 수 있는 변수를 통제하였다. 모든 부위에서 자동노출제어장치의 챔버는 좌상단, 정중앙, 우상단으로 고정하였고, Table gird는 격자 비 13:1, 총 여과 당량 5.0 mmAl, 검출기 감도 400, 관전류는 400 mA로 고정하였다[표 3].

표 3. 기타 변수들의 통제

이온 챔버	격자 비	총 여과 (mmAl)	감도	관전류량 (mA)
좌상단 정중앙 우상단	13:1	5.0	400	400

2.3 영상 화질 분석

화질 분석에 쓰인 영상은 실험과정에서 얻은 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicines) 파일을 PACS (Picture Archiving and Communication System)로 전송한 No

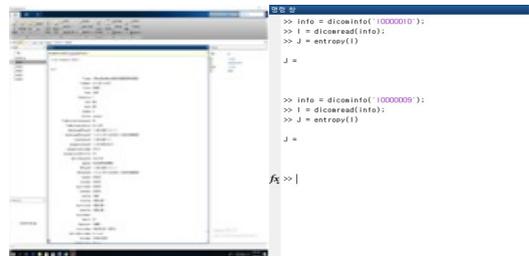
compression 파일이다. 각 영상에서 Pixel에 할당되는 정보 및 확률을 파악하기 위한 사전작업으로 Image J Version 1.52a (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)를 사용하여 각 영상의 무질서 정도를 구현하고 히스토그램 플러그인으로 화소 값 히스토그램(Pixel value histogram)을 얻어냈다. 그 후 각각의 픽셀에 대응하는 영상의 정보량을 Entropy로 분석하였다. 정보량을 I(E), 정보의 사전 발생확률을 P(E)라고 할 때 정보량은 식(1)로 표현된다.

$$I(E) = \log_2\left(\frac{1}{P(E)}\right) = -\log_2P(E) \quad \text{식(1)}$$

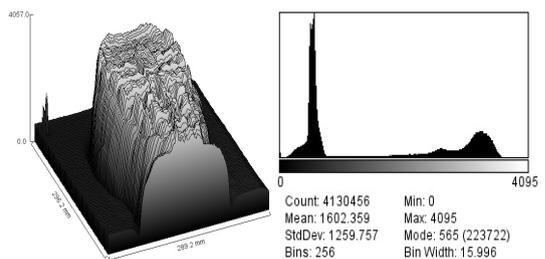
화소가 가지는 정보량을 ai, 발생확률을 P(ai)라고 한다면 영상의 Entropy E는 식(2)로 표현할 수 있다.

$$E = \sum_{i=0} P(a_i)I(a_i) = -\sum_{i=0} P(a_i)\log_2P(a_i) \quad \text{식(2)}$$

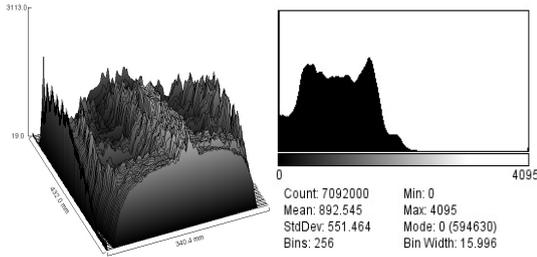
식(2)를 Matlab에 내장돼있는 명령어 Entropy protocol을 입력하여 각 부위의 DICOM 영상에 대한 Entropy의 평균과 표준편차를 구하였다[그림 4].



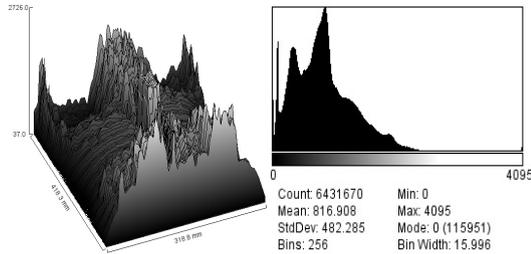
(a) Matlab protocol



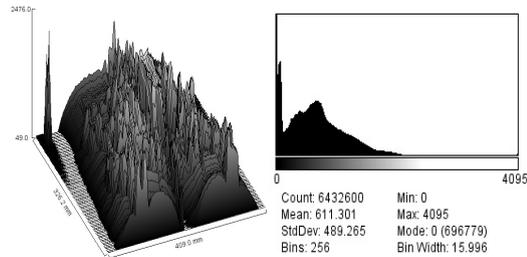
(b) Skull의 영상 구성과 Pixel value histogram



(c) Chest의 영상 구성과 Pixel value histogram



(d) Abdomen의 영상 구성과 Pixel value histogram



(e) Pelvis의 영상 구성과 Pixel value histogram

그림 4. 각 부위의 Entropy 분석

산출한 데이터의 모든 평균값은 IBM SPSS ver 23 (IBM Co., USA) program을 이용하여 paired *t*-test 를 시행하였고 $p < 0.05$ 로 통계적 유의성을 분석하였다.

III. 결과

1. 반도체 선량계를 이용한 선량 측정 결과

Skull, Chest, Abdomen, Pelvis 각각의 부위에 대해 30번씩 검사한 후 얻은 선량은 자동노출제어장치 이용 시에 Skull은 $0.850(\pm 0.007)$ mGy, Chest는 $0.297(\pm 0.015)$ mGy, Abdomen은 $1.051(\pm 0.005)$ mGy, Pelvis는 $1.309(\pm 0.011)$ mGy 였다. 수동노출

이용 시에는 Skull은 $0.854(\pm 0.009)$ mGy, Chest는 $0.324(\pm 0.011)$ mGy, Abdomen은 $1.171(\pm 0.012)$ mGy, Pelvis는 $1.381(\pm 0.015)$ mGy 였다[표 4].

표 4. 입사표면선량의 평균과 표준편차

검사부위	자동노출제어장치 이용 시 선량(mGy)	수동노출 이용 시 선량(mGy)	paired t-test
*Skull	$0.850(\pm 0.007)$	$0.854(\pm 0.009)$	
**Chest	$0.297(\pm 0.015)$	$0.324(\pm 0.011)$	$p < 0.05$
***Abdomen	$1.051(\pm 0.005)$	$1.171(\pm 0.012)$	
****Pelvis	$1.309(\pm 0.011)$	$1.381(\pm 0.015)$	

*AEC and Manual exposure dose of Skull = Entrance Surface Dose of MagicMax Universal (mGy) × Back Scatter Factor (1.3)
 **AEC and Manual exposure dose of Chest = Entrance Surface Dose of MagicMax Universal (mGy) × Back Scatter Factor (1.2)
 ***AEC and Manual exposure dose of Abdomen = Entrance Surface Dose of MagicMax Universal (mGy) × Back Scatter Factor (1.4)
 ****AEC and Manual exposure dose of Pelvis = Entrance Surface Dose of MagicMax Universal (mGy) × Back Scatter Factor (1.3)

2. 엑스선 영상 획득과 Entropy 분석 결과

실험을 통해 얻은 DICOM 파일을 Matlab을 이용하여 Entropy 값을 구하였다. 그 결과, 자동노출제어장치를 사용했을 때 Skull은 $5.836(\pm 0.003)$, Chest는 $6.078(\pm 0.005)$, Abdomen은 $5.784(\pm 0.008)$, Pelvis는 $5.662(\pm 0.002)$ 이었다. 수동노출을 이용했을 때 Skull은 $5.602(\pm 0.007)$, Chest는 $5.972(\pm 0.002)$, Abdomen은 $5.754(\pm 0.005)$, Pelvis는 $5.566(\pm 0.005)$ 이었다[표 5].

표 5. Entropy 값

검사부위	자동노출제어장치 이용 시 Entropy	수동노출 이용 시 Entropy	paired t-test
Skull	$5.836(\pm 0.003)$	$5.602(\pm 0.007)$	
Chest	$6.078(\pm 0.005)$	$5.972(\pm 0.002)$	$p < 0.05$
Abdomen	$5.784(\pm 0.008)$	$5.754(\pm 0.005)$	
Pelvis	$5.662(\pm 0.002)$	$5.566(\pm 0.005)$	

IV. 고찰 및 결론

피폭에 대한 대중의 우려는 계속 커져 왔고, 앞으로도 관심의 대상이 될 것이다. 이와 함께 국제원자력기구나 ICRP에서는 무분별한 피폭의 방지를 위해 오랜 기간 힘써 왔다[1-4]. 대표적인 예로 ICRP에서 발간하는 보고

서가 있다. ICRP는 특히 의료분야에서 장비의 엑스선 발생원리에 따라 세부적인 권고안을 제시하고 있다. ICRP 87에서는 CT에서의 환자 선량 관리, ICRP 93에서는 디지털 방사선 과학에서의 환자 선량 관리, ICRP 85에서는 인터벤션에서의 환자 선량 관리를 다룬다. 이외에도 환자가 소아인 경우와 임신부인 경우에도 어떻게 해야 하는지 간행물을 제시하여 권고하고 있다. 이러한 권고안에 따르면, 방사선 노출은 생명을 위협하는 질병의 진단을 위한 것으로 정당성을 인정받지만, 최적화의 관점에 따라 선량을 경제적, 사회적 인자를 고려하여 합리적인 범위에서 최소로 유지하는 것을 언급한다[9]. 피폭을 줄이는 것도 방사선 종사자가 반드시 고려해야 할 대상이지만 의미 있는 진단정보를 획득하는 것도 함께 고려해야 한다.

이에 착안하여 본 연구는 Skull, Chest, Abdomen, Pelvis 부위에 대하여 자동노출제어장치와 수동노출 사용 시 입사표면선량과 Entropy를 분석하여 자동노출제어장치의 유용성을 알아보고자 하였다.

본 연구는 모든 부위를 바로 누운 자세로 통일시켜 실험을 진행하였다. 선행 연구에 따르면 선 자세와 누운 자세에 따라 선량과 영상 화질이 변할 수 있다는 점을 보고하고 있는데[15], 본 실험에 사용한 방사선 발생장치는 선 자세와 누운 자세에 이용되는 검출기가 서로 다른 특징을 가지고 있었다. 따라서 두 개의 검출기를 가지고 실험을 진행하는 경우에는 변수의 통제가 불가능함과 동시에 결과의 신뢰도에 영향을 줄 수 있어서 이에 대한 실험을 배제하였다.

이를 토대로 입사표면선량을 분석하였다. 입사표면선량은 모든 부위에서 자동노출제어장치 사용 시 수동노출을 사용했을 때보다 적었다. 그 이유는 자동노출제어장치를 사용하면 검출기의 감도가 설정되어 방사선량을 보다 민감하게 인식하기 때문이다[5]. 또한 Abdomen과 Pelvis는 Skull과 Chest에 비교해 볼 때 선량 차이가 크게 나타났다. 자동노출제어장치는 밀도에 따라 관전류량을 조절한다[5][16]. 인체에 엑스선이 조사되면 뼈, 근육(물), 폐, 지방, 공기 순서로 엑스선을 많이 흡수하며, Abdomen과 Pelvis는 Skull과 Chest에 비해 밀도가 높은 편이므로 자동노출제어장치는 영상을 형성하기 위해 더 많은 광자를 발생시키게 된다[16].

다음으로 본 연구에서는 기존의 영상 화질 분석 방법들과는 다르게 Entropy를 영상 화질 분석에 이용하였다. 기존의 연구에 따르면 픽셀의 정보량 할당은 엑스선의 회절, 흡수, 산란 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 확률사건이며[4][14][17][18], 이러한 확률사건에 따른 시스템의 구성 정도를 객관적인 수치로 표현할 수 있다는 점에서 Entropy의 유용성을 보고하고 있다[17-24]. 그 이유는 Entropy가 영상의 텍스처 특성을 나타내는데 사용될 수 있는 무작위성에 대한 통계적 측정값이기 때문이다[17][18]. 여기서 말하는 텍스처 특성이란 영상이 거칠거나 울퉁불퉁하다는 것을 말하며 같은 의미로 그레이 레벨에 변동이 있다는 것을 의미한다[18][23]. 더 나아가 텍스처를 분석한다는 것은 영상이 거칠다거나 매끄럽다는 비수학적 품질을 화소 명암의 공간적 변화를 나타내는 함수로 표현하여 수량화하는 것을 말한다[18][24]. 기존의 화질 분석 방식들은 무작위성에 대한 통계적 측정 정도를 반영하는 데에는 한계점이 있다. 나아가 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR), 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio, CNR)의 경우에는 관심 영역(Region of Interest, ROI) 설정에 따른 Pixel Number를 어떻게 지정하는지에 따라 상이한 결과가 나타나므로 신뢰성을 잃게 된다[14][17]. 또한 대조도 분해능과 공간 분해능은 때에 따라 평가자의 육안으로 판단하는 경우 객관적 기준이 아닌 주관적 판단을 근거로 하게 되므로, 여러 상황에 따라 다른 결과가 나올 수 있다. 이 경우 마찬가지로 신뢰성을 잃을 수 있다. 그렇기 때문에 Entropy 분석은 하나의 객관적인 지표로서 앞서 말한 특징상 문제점이 없으며 본 연구의 결과값을 분석하는데 사용하였다.

자동노출제어장치와 수동노출을 적용한 영상에 대한 정보량이 할당될 수 있는 확률을 분석하기 위해 식(1)과 식(2)을 이용하여 Entropy를 산출하였다[14][23][24]. Entropy 값을 구한 결과, Skull, Chest, Abdomen, Pelvis 모두 자동노출제어장치를 적용하여 얻은 영상이 Entropy 값이 더 높았다. 이런 현상이 나타나는 이유는 의료영역에서 사용되는 방사선이 연속 엑스선이기 때문이다. 연속 엑스선은 고속전자가 원자핵 근처에 도달했을 때, 쿨롱력으로 인해 고속전자는 속도가 줄고 방향이 변화하여 잃는 운동에너지가 엑스선으로 변한 것을 말한

다[16]. 이러한 연속 엑스선의 특징은 영상 화질에도 영향을 미치는데 에너지의 분포가 다양하므로 영상 화질이 항상 일정하지 못하다는 것이다[24]. 이러한 이유로 자동노출제어장치를 사용해도 불규칙적 통계적 잡음이 존재하며 이를 제외하는 것은 거의 불가능하다. 즉 자동노출 제어장치를 사용해도 통계적 잡음은 존재하지만, 수동노출을 사용하면 이러한 통계적 잡음은 더욱 두드러지기 때문에 잡음은 보다 큰 신호량의 손실로 이어지게 되고, 이는 곧 자동노출제어장치보다 많은 Entropy의 손실로 이어지게 된다.

본 연구의 제한점은 다양한 장비와 여러 조건을 고려하여 실험하지 못했다는 점에서 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 신호 손실 없는 의료영상을 얻기 위해 자동노출제어장치와 수동노출 사용을 비교하여 입사표면선량과 Entropy를 평가하였다는 점은 큰 의의가 있다. X선 검사 시 많은 방사선 피폭과 신호의 손실이 예상되는 경우, 자동노출제어장치의 사용은 방사선 피폭과 정보의 손실 확률을 줄여서 최적화의 원칙과 영상 화질을 모두 보장할 수 있는 유용한 방법이 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] ICRP, ICRP Publication 60, 1990.
- [2] ICRP, ICRP Publication 105, 2007.
- [3] ICRP, ICRP Publication 103, 2007.
- [4] ICRP, ICRP Publication 93, 2004.
- [5] J. H. Hwang and K. B. Lee, "A Study on the Quantitative Analysis Method through the Absorbed Dose and the Histogram in the Performance Evaluation of the Detector according to the Sensitivity Change of Auto Exposure Control(AEC) in DR(Digital Radiography)," J. of the Korea Contents Association, Vol.18, No.1, pp.232-240, 2018.
- [6] J. Yuan, H. Y. Chan, S. W. Fung, and B. Liu, "Digital Calibration Technique for highly Linear Wide Dynamic Range CMOS Imaging Sensor," Electronics Letters, Vol.45, No.9, pp.449-451, 2009.
- [7] S. Jeff Shepard, Michael Flynn, Wang Jihong, Eric Gingold, Lee Godman, Kerry Krugh, David L. Leong, Eugene Mah, Kent Ogden, Donald Peck, Ehsan Samei, and Charles E. Willis, "An Exposure Indicator for Digital Radiography: AAPM Task Group 116(Executive Summary)," J. of Medical Physics, Vol.36, No.7, pp.2898-2914, 2009.
- [8] Jaydev K. Dave, A. Kyle Jones, Ryan Fisher, Katie Hulme, Lynn Rill, David Zamora, Andrew Woodward, Samuel Brady, Robert D. MacDougall, Lee Goldman, Susan Lang, Donald Peck, Bruce Apgar, S. Jeff Shepard, Robert Uzenoff, and Charles Willis, "Current State of Practice regarding Digital Radiography Exposure Indicators and Deviation Indices: Report of AAPM Imaging Physics Committee Task Group 232," Medical Physics, Vol.45, No.11, pp.e1146-e1160, 2018.
- [9] ICRP, ICRP Publication 135, 2017.
- [10] J. H. Hwang, K. M. Jeong, J. A. Choi, H. S. Kim, and K. B. Lee, "A Study on Dose Reduction Method according to Slice Thickness Change using Automatic Exposure Controller and Manual Exposure in Intervention," J. of Radiological Science and Technology, Vol.41, No.2, pp.115-122, 2018.
- [11] J. S. Lee, S. J. Ko, S. S. Kang, J. H. Kim, D. H. Kim, and C. S. Kim, "Quantitative Evaluation of Image Quality using Automatic Exposure Control & Sensitivity in the Digital Chest Image," J. of the Korea Contents Association, Vol.13, No.8, pp.275-283, 2013.
- [12] J. A. Choi, J. H. Hwang, and K. B. Lee, "Analysis of Dosimeter Error and Need for Calibration Guideline by Comparing the Dose Area of the Built-in Dose Area Product and the Moving Dose Area Product when using Automatic Exposure Controller in Intervention," J. of the Korea Contents Association, Vol.18, No.11, pp.508-515, 2018.
- [13] J. H. Hwang, J. A. Choi, H. S. Kim, and K. B. Lee, "A Study on the Dynamic Range

Performance Evaluation Method of Detector with Variation of Tube Voltage and Automatic Exposure Control (AEC) in Digital Radiology (DR) - Focused on the Dynamic Step Wedge and Histogram Evaluation," J. of the Korea Contents Association, Vol.19, No.4, pp.368-380, 2019.

[14] Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, and Eri Matsuyama, "Information Entropy Measure for Evaluation of Image Quality," J. of Digit Imaging, Vol.21, No.3, pp.338-347, 2008.

[15] J. C. Yanch, R. H. Behrman, M. J. Hendricks, and J. H. McCall, "Increased Radiation Dose to Overweight and Obese Patients from Radiographic Examinations," Radiology, Vol.252, No.1, pp.128-139, 2009.

[16] Ervin B. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*, Springer, 2016.

[17] E. Clarkson and J. B. Cushing, "Shannon Information and ROC Analysis in Imaging," J. of the Opticla Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision, Vol.32, No.7, pp.1288-1301, 2015.

[18] G. A. Sekh, A. Saha, and B. Talukdar, "Shannon Entropies and Fisher Information of K-Shell Electrons of Neutral Atoms," Physics Letters: A, Vol.382, No.5, pp.315-320, 2018.

[19] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, McGraw Hill, 2011.

[20] Ahmed S. Abutaleb, "Automatic Thresholding of Gray-Level Pictures using Two-Dimensional Entropy," Comput. Vision Graph, Vol.47, No.1, pp.22-32, 1989.

[21] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C Wong, "A New Method for Gray-Level Picture Thresholding using the Entropy of the Histogram," Comput. Vision Graph, Vol.29, No.3, pp.273-285, 1985.

[22] L. E. Antonuk, J. H. Siewerdsen, J. Yorkston, and W. huang, "Radiation Response of Amorphous Silicon Imaging Arrays at Diagnositic Energies," IEEE T NUCL SCI, Vol.41,

No.4, pp.1500-1505, 1994.

[23] C. Studholme, D. L. G. Hill, and D. J. Hawkes, "An Overlap Invariant Entropy Measure of 3D Medical Image Alignment," J. of the Pattern Recogn, Vol.32, No.1, pp.71-86, 1999.

[24] G. Dougherty, *Digital Image Processing for Medical Applications*, Cambridge, 2009.

저 자 소 개

최 지 안(Ji-An Choi)

준회원



- 2016년 2월 : 을지대학교 방사선학과(방사선학사)
- 2017년 7월 ~ 현재 : 경희대학교 병원 영상의학과

<관심분야> : PACS, 방사선학, 영상정보학

황 준 호(Jun-Ho Hwang)

준회원



- 2016년 2월 : 신구대학교 방사선학과(방사선학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 의용과학대학원 의학물리과(석사과정 중)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 경희대학교병원 영상의학과

<관심분야> : 방사선학, 의료기기, 영상정보학

이 경 배(Kyung-Bae Lee)

정회원



- 2011년 8월 : 가톨릭대학교 생명의과학과(이학석사)
- 2014년 8월 : 가톨릭대학교 생명의과학과(이학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 경희대학교병원 영상의학과

<관심분야> : 자기공명영상학, 방사선학, 영상정보학