

<원저>

CareDose 4D 사용 시 동일한 스캔조건에서 조직기반설정을 다르게 적용함에 따른 선량 비교: 성인과 소아팬텀 연구

공효금¹⁾·이기백²⁾¹⁾강원대학교병원 영상의학과·²⁾서울아산병원 영상의학팀

Radiation Dose Comparison according to Different Organ Characteristics at Same Scan Parameters Using CareDose 4D: An Adult and Pediatric Phantom Evaluation

Kong Hyo-Geum¹⁾·Lee Ki-Baek²⁾¹⁾Department of Radiology, Kangwon National University Hospital²⁾Department of Radiology, Seoul Asan Medical Center

Abstract CareDose 4D which is the Siemens's Automatic Exposure Control (AEC) can adjust the level of radiation dose distribution which is based on organ characteristic unlike other manufacturer's AEC. Currently, a wide scan range containing different organs is sometimes examined at once (defined as one scan). The purpose of this study was to figure out which organ characteristic option is suitable when one scan method is utilized. Two types of anthropomorphic phantoms were scanned in the same range which were from frontal bone to carina level according to three different organ characteristics such as Thorax, Abdomen, and Neck. All scans and image reconstruction parameters were equally applied and radiation dose were compared. Radiation dose with Thorax organ characteristic was lower than that with Neck. Also, that with Abdomen organ characteristic was lower than Thorax. There were significant differences in radiation dose according to different organ characteristics at the same parameters ($P<0.05$). Usage of Neck organ characteristic had a result of the highest radiation dose to all phantom. On the other hand, utilization of Abdomen organ characteristic showed the lowest radiation dose. As a result, it is desirable to set appropriate organ characteristic according to examined body part when you checkup patients. Also, when you implement one scan method, selection of Abdomen-based organ characteristic has reduced more radiation dose compared with two different organ characteristic.

Key Words: Radiation Dose, CareDose 4D, Automatic Exposure Control, One Scan Method, Organ Characteristic, Computed Tomography

중심 단어: 방사선량, 케어도즈 4D, 자동노출조절장치, 윈스캔, 조직기반설정, 전산화단층촬영

I. 서 론

전산화단층촬영(Computed Tomography; CT)은 단시간에 몸 안의 해부학적인 정보를 단층으로 얻을 수 있어 환자의 질환을 진단하는 검사에서 차지하는 비율이 점점 더 증가되고 있다[1, 2]. 그러나 CT검사는 방사선을 이용하며 그

피폭의 정도가 일반 X선 검사보다 많기에 더욱 관리가 필요한데, 이에 대해 과거부터 선량을 줄이거나 최적화시키는 방법과 그 결과로 생기는 영상의 질적 저하를 적절하게 개선시킬 수 있는 방법들이 많이 개발 및 사용되어왔다[3]. 그 중, 모든 CT장비에서 대표적으로 가장 많이 사용되는 방법은 바로 자동노출조절장치(Automatic Exposure Control;

Corresponding author: Ki-Baek Lee, Department of Radiology and Research Institute of Radiology, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center, 88, Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 138-736, Republic of Korea / Tel: +82-2-3010-4320 / E-mail: beall34@naver.com

Received 31 July 2019; Revised 10 August 2019; Accepted 20 August 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

AEC)인데, 이 기능은 환자의 체적과 두께에 따라 관전류가 자동적으로 조절되는 기능이다. 두꺼운 부위에는 관전류가 많이 나가고, 얇은 부위에서는 적게 나감으로써 방사선 선량을 조절하는 것은 같지만, 각 제조사마다 그 작동방식은 조금씩 차이가 있다[3,4].

Siemens사 AEC는 CareDose 4D라고 불리며, 기준 관전류량(Reference mAs, Ref.mAs)을 입력하면 그 기준에서 유효선량(Effective mAs, Eff.mAs)이 결정되어 두께에 따라 자동으로 조절된다[5,6]. 또한, CareDose 4D는 환자의 검사 부위에 따라 조직기반설정(Organ characteristic)이 정해지는데, 같은 기준 관전류량이라도 이에 따라 선량의 조절 정도가 달라질 수 있다. 즉, 복부 CT검사 시 조직기반 설정은 복부(Abdomen), 흉부 CT검사에서는 흉부(Thorax), 그리고 경부 CT검사에서는 두경부(Neck)로 설정된다[Fig. 1]. 따라서 AEC를 사용하는 CT검사 시 해당 조직기반 설정에 맞게 설정된 프로토콜을 사용하여야만 환자에게 최적의 선량이 적용될 수 있다.

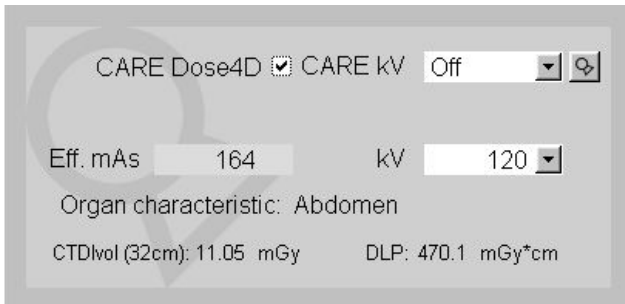


Fig. 1. Organ characteristic setting according to body part

그러나 현재, 특수한 상황에서 환자의 다른 두 부위 또는 여러 부위를 같이 검사하는 경우가 있다. 예를 들어, 교통사고나 낙상 등으로 인한 응급 다발성외상 환자의 경우 두경부와 흉·복부 모두를 한 번의 스캔(One scan method)으로 Whole body trauma CT를 시행한다. 또한, 소아 CT에서 기도의 협착부위를 확인하고, 좁아진 부분의 스텐트 삽입 전후의 평가를 위해 코부터 흉부까지 기도를 전반적으로 보는 Tracheobronchial CT는 경부와 흉부를 한 번에 스캔한다[Fig. 2a, Fig. 2b], [7-10].

본 연구는 위와 같이 한 번에 여러 부위를 검사할 때, 조직기반 설정에 따라 어떠한 차이가 있고 선량의 최적화를 위해서는 어떤 설정이 이상적인지 알아보려고 하였으며, 두 개의 크기가 다른 인체모형팬텀을 이용하여 진행하였다.

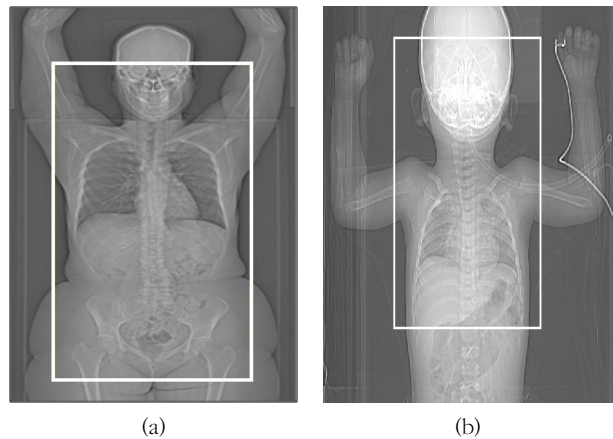


Fig. 2. Examples of one scan method
(a) Scan range of Whole body trauma CT
(b) Scan range of Tracheobronchial CT

II. 대상 및 방법

1. 실험재료 및 기기

장비는 Siemens사 128-slice 다중 전산화단층촬영장치(Multi-Detector Computed Tomography; MDCT)인 SOMATOM definition edge(Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 사용하였다. 환자 체격에 따른 결과 차이를 비교하기 위해서 인체모형팬텀(Anthropomorphic phantom) 중 5세 기준 소아팬텀(모델명: 705, 키: 110 cm, 몸무게: 19 kg)인 Atom phantom(Computerized Imaging Reference Systems, Virginia, USA)과 성인표준팬텀인 Rando phantom(ART-200X, Fluke biomedical, USA)을 사용하였다[Fig. 3].

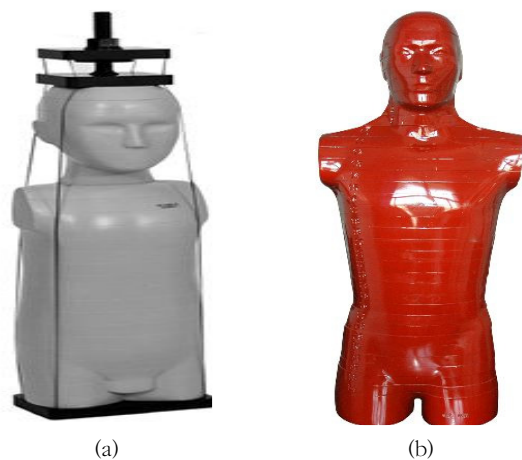


Fig. 3. Two types of anthropomorphic phantoms
(a) Atom phantom, (b) Rando phantom

2. 연구방법

1) 실험 조건

체격이 다른 두 팬텀에 총 세 가지 조직기반설정(복부, 흉부, 경부)을 다르게 하여 연구를 진행하였다. 조직기반설정 외에 다른 모든 스캔 및 영상획득 조건은 동일하였는데, 검사범위는 정면 부비동(Frontal sinus)에서 기관의 용기(Carina of trachea)까지로 설정하였고, 관전압 120 kVp, 관전류는 CareDose 4D 기법으로 200 기준 관전류량을 이용하였다[Table 1].

Table 1. The scan and image acquisition parameters

Parameters	Settings
Organ characteristic	Abdomen, Thorax, Neck
Scan type	Helical
Scan range	Frontal ~ Carina
kVp	120
AEC mode	CareDose 4D
Ref.mAs	200
Rotation time(sec)	0.5
Slice thickness(mm)	5
Interval(mm)	5
Kernel	B30f standard
Pitch	1

2) 선량 비교평가

선량을 비교하기 위해 다른 조직기반설정마다 세 번의 반복적인 실험으로 결과값을 도출하였다. 먼저, 각각의 단면에서 세 번 측정된 평균 관전류(mA) 값을 그래프로 나타냈다. 그리고 팬텀 두께가 급격하게 변화하는 구간의 평균값을 각 조직기반설정별로 비교 분석하였다.

3) 통계 분석

다른 조직기반설정에 따른 관전류(mA)의 증가 또는 감소 수치를 통계적 분석 SPSS(Version, 18, Chicago, IL, USA)를 이용하여, 대응표본 *T*-test의 비모수 기법인 Wilcoxon signed rank test를 이용하였고, *p*-value는 0.05를 사용하였다.

III. 결 과

1. 조직기반설정에 따른 관전류(mA) 패턴과 수치

1) 소아팬텀

정면 부비동에서 기관의 용기까지 범위를 세 가지 조직기반설정으로 각각 스캔 후, 설정 별 각 단면의 mA 값은 Fig. 4에 그래프로 나타냈다. 각 단면에 분포하는 전체적인 그래프 패턴을 보면, 복부 조직기반설정이 가장 낮은 mA 수치를 보였으며 흉부 그리고 경부 설정 순으로 mA 값이 높아짐을 확인할 수 있었다. 그리고 복부와 흉부의 조직기반설정 차이보다 흉부와 경부의 조직기반설정 사이의 선량 차이가 현저하게 나타났다[Fig. 4].

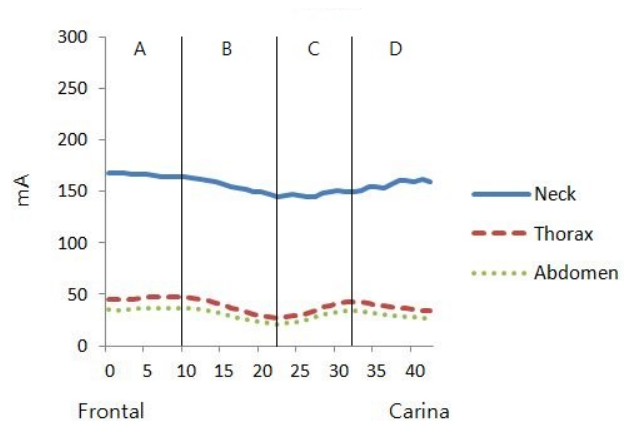


Fig. 4. The mA graph of each different portion according to three organ characteristic settings using same scan parameters and a pediatric phantom. A whole range was divided into four parts such as A(frontal sinus to skull base), B(skull base to neck), C(neck to shoulder), and D(shoulder to apex) and dose evaluations were conducted.

스캔 범위의 진행 방향에 따라 두께가 변하는 부분에서 mA의 증가와 감소 부분이 나타났고, 그 차이를 면밀히 분석하고자 구간을 나누었는데 다음과 같았다. 5 mm로 영상을 재구성하였을 때 기준으로 정면 부비동부터 두개저부(10번째 영상)까지를 A, 두개저부에서 목 부분(11번째부터 22번째 영상)을 B, 목 부분(23번째부터 32번째 영상)에서 어깨 부분을 C, 그리고 어깨 부분에서 흉부의 apex부분을 D(33번째 영상 이하)로 총 네 구간으로 나누어서 평균값으로 비교하였다. 흉부는 가장 낮은 mA가 분포하는 복부 설정보다 구간에 상관없이 평균적으로 7 mA부터 10 mA까지 증가한 결과가 나왔고, 경부 조직기반 설정의 평균값은 흉부 조직기반 설정과 비교하였을 때 A구간에서 119.5 ± 2.4

Table 2. The mean values of mA in A, B, C, D section using a pediatric phantom

Organ Characteristics	A	p-value	B	p-value	C	p-value	D	p-value
Abdomen	36.1 ± 0.8		28.4 ± 5.3		28.4 ± 4.9		27.0 ± 3.0	
Thorax	46.5 ± 1.0	<0.05		<0.05	35.6 ± 5.9	<0.05	34.5 ± 3.7	<0.05
Neck	166.0 ± 1.5		154.6 ± 6.1		147.9 ± 2.3		154.1 ± 4.6	

mA, B구간에서 118.3 ± 1.0 mA, C구간에서 112.3 ± 4.3 mA, 그리고 D구간에서 119.6 ± 4.7 mA만큼 증가한 결과가 나왔다. 복부와 흉부 사이와 흉부와 경부 조직기반 설정의 각 mA 값은 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$), [Fig. 4], [Table 2].

2) 성인팬텀

성인팬텀으로 세 가지 조직기반설정에 따른 각 단면의 mA 값은 Fig. 5에 나타냈다. 전체적인 그래프 패턴은 소아팬텀을 이용했을 때와 동일하게 복부 조직기반설정 시 mA 값이 가장 낮았고, 흉부, 경부 조직기반 설정 순으로 mA 값이 증가하였다[Fig. 5]. 그러나 결과의 변동 폭은 소아팬텀을 사용했을 때보다 더 컸으며, 변화하는 mA의 그래프 형태는 소아팬텀의 경우와 다른 양상으로 나타났다. 성인팬텀도 구간을 나누어 선량을 평가했는데, 정면 부비동부터 두개저부(14번째 영상)까지를 E, 두개저부에서 목 부분(15번째부터 30번째)을 F, 목 부분에서 어깨 부분(31번째부터 45번째)을 G, 그리고 어깨 부분에서 흉부의 apex부분을 H(46번째 영상 이하)로 나눴다. 각 구간의 조직기반설정에 따른 평균값은 Table 3에 나타냈다.

모든 설정에서 그래프의 E, F구간은 소아팬텀의 A, B구간과 비슷하였지만, G, H구간에서는 소아팬텀의 C, D구간과 달리 변동 폭이 크게 증가하였다가 감소하였다. 이 변동 폭을 기울기로 비교하면 흉부가 가장 컸으며 다음은 복부, 경부 조직기반설정 순이었다. mA 결과를 보면, E, F구간에서 흉부는 복부 설정보다 각각 14.4 ± 1.1 mA, 10.8 ± 2.3 mA가 증가하였고, 경부는 흉부 설정에 비해 각각 109.5 ± 5.0 mA, 110.4 ± 4.2 mA가 증가하였으며, 세 설정 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). G, H구간에서

흉부는 복부 설정보다 각각 30.3 ± 15.0 mA, 36.1 ± 12.7 mA 증가하였고, 경부는 흉부 설정에 비해 각각 66.5 ± 31.0 mA, 65.6 ± 23.4 mA 증가하였으며 통계적 차이가 있었다($p < 0.05$), [Table. 3].

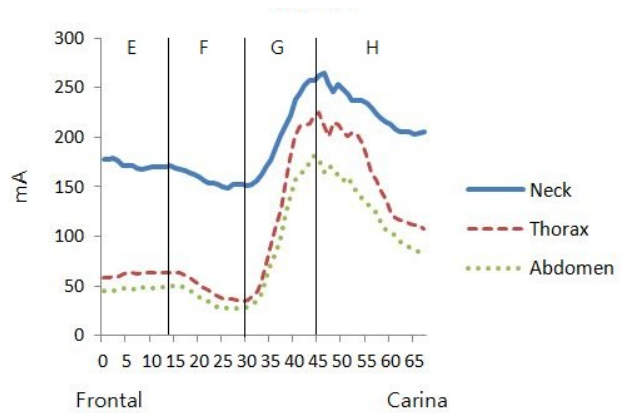


Fig. 5. The mA graph of each different portion according to three organ characteristic settings using same scan parameters and an adult phantom. A whole range was divided into four parts such as E(frontal sinus to skull base), F(skull base to neck), G(neck to shoulder), and H(shoulder to apex) and dose evaluations were conducted.

IV. 고찰

환자의 체형과 두께에 따라 관전류를 조절하는 AEC기법은 최소의 방사선으로 영상의 질을 일정하게 유지시킬 수 있어서 대부분의 CT검사에서 이용되고 있다[11,12]. 이러한 AEC는 크게 두 가지 방식으로 진행되는데, 노이즈 수치를

Table 3. The mean values of mA in E, F, G, H section using an adult phantom

Organ Characteristics	E	p-value	F	p-value	G	p-value	H	p-value
Abdomen	47.9 ± 1.5		35.8 ± 8.7		113.4 ± 56.0		125.4 ± 31.2	
Thorax	62.4 ± 1.8	<0.05	46.6 ± 10.7	<0.05	143.7 ± 70.6	<0.05	161.5 ± 41.7	<0.05
Neck	171.9 ± 4.8		157.0 ± 6.9		210.2 ± 40.1		227.1 ± 19.7	

기반으로 영상의 노이즈 값을 정하여 그 값이 일정하게 유지되도록 관전류를 조절하는 방법과 실제 환자 데이터 기반으로 시뮬레이션을 하여 적절한 두께에 나가는 관전류를 조절하는 방법이 있다[13,14]. 여기에서 Siemens 사 AEC인 CareDose 4D는 위의 방식 중 후자에 속하며 기준 관전류량에 따라 실제 유효 관전류가 바뀌면서 선량의 강약이 조절된다. 또한, 이 조절의 정도는 설정된 조직기반설정에 따라 다른데, 같은 관전류 조건을 사용하더라도 복부, 흉부, 경부의 해부학적 두께와 구조를 고려하여 그에 맞는 적절한 선량이 나가게 되어 있는 것이다. 여기서 중요한 것은 Siemens 사 CT검사 프로토콜을 설정할 때, 흉부면 흉부 조직기반으로 경부면 경부 조직기반으로 설정이 잘 되어야만 한다는 것이며, 이것은 임상에서 방사선사가 꼭 알아야만 하는 사실이다. 그 이유는 Siemens 사 장비는 리눅스 방식이 아닌 윈도우 방식으로써 복부 조직기반설정으로 되어 있는 프로토콜을 흉부, 경부, 그리고 다양한 부위에 복사를 해서 사용할 수 있기에, 임상에서 관전압, 관전류, 그리고 피치 등 다양한 파라미터가 동일한 프로토콜을 다른 조직기반설정 쪽에 복사해서 사용할 수도 있기 때문이다. 즉, 특정 검사의 프로토콜을 설정할 때에는 그 장치와 부위에 맞는 조직기반설정의 확인은 반드시 필요하다.

또한, CT검사는 장비의 발전과 더불어 여러 부위를 한꺼번에 검사를 시행해야 하는 경우가 많이 있다. 예를 들어, 응급 외상성 환자의 두부부터 흉·복부 모두를 포함하는 Whole body trauma CT 그리고 소아환자의 기도 협착 등을 파악하는 Tracheobronchial CT 등이 대표적이다[7-10]. 또한, 병원에 따라서는 흉부와 복부 CT를 검사범위의 중복을 방지하기 위해 한 번에 검사하기도 한다. 여기서 우리는 이렇게 여러 부위를 한 번에 검사 시 조직기반설정을 어떻게 설정해야 바람직한지 그리고 선량감소에 어떤 영향을 줄 수 있는지 궁금하여 연구를 진행하게 되었다. 본 연구에서는 CareDose 4D의 총 13가지의 조직기반설정 중 가장 빈번하게 사용되는 복부, 흉부, 경부 조직기반설정을 적용해 보았고, 환자 체격에 따른 차이를 고려하기 위해 두 가지의 서로 다른 크기의 인체모형팬텀을 이용하여 실험하였다. 또한, 전체 검사범위는 정면 부비동에서 기관의 용기까지 정해서 진행하였는데 그 이유는 팬텀의 구조상 기관의 용기 및 범위의 두께 및 선량이 소아팬텀의 마지막 부분(D)과 성인팬텀의 마지막 부분(H)과 각각 비슷했기 때문이었다.

결과적으로 두 팬텀 모두 복부 조직기반설정이 가장 낮은 선량 즉 mA 수치를 보였으며, 흉부 그리고 경부 조직기반설정 순으로 mA 값이 높아졌다. 그리고 복부와 흉부 조직기반설정 사이의 차이보다 흉부와 경부 조직기반설정 사이

의 차이가 현저하게 나타났다. 이러한 차이는 흉부나 복부보다 경부 조직이 밀도가 높고, 두께 차이가 변화할 확률이 적기 때문에 그것을 반영한 것으로 판단된다. 또한, 흉부는 밀도 차이가 큰 종격동, 폐실질, 혈관, 그리고 뼈 등으로 이루어져 복부와 경부보다 상대적으로 밀도변동 차이가 큰데 이를 잘 반영하기 위해 두꺼운 부분은 다른 조직기반설정보다 더 많이 얇은 부분은 더 적게 선량이 들어가게 되는 것으로 사료된다. 결과적으로 조직기반설정은 여러 장기를 한 번에 스캔 시, 경부 설정보다 흉부, 이보다는 복부로 설정한다면 선량을 더 감소시킬 수 있었다. 반면에 검사범위에 경부가 포함되었다고 경부 조직기반설정을 사용한다면 예상보다 더 높은 선량에 노출될 수 있으니 이는 주의해야만 한다. 현재, 대부분의 CT장비들은 기본적인 필터보정역투과법(Filtered Back Projection; FBP) 외에 반복적재구성법(Iterative Reconstruction; IR)을 사용할 수 있다. 이 방법은 장비 제조사별로 다양한 이름으로 이용되고 있지만, 결과적으로 적은 선량을 사용한 영상에서 노이즈를 제거하고 영상의 질을 높일 수 있으므로[15-20], 이 IR기법을 이용하면 위에서 언급한 복부 조직기반설정으로 적은 선량을 이용할 수 있고, 그 로인한 노이즈의 발생을 막고 영상의 질 저하를 막을 수 있을 것이다.

이번 연구의 제한점은 CareDose 4D라는 한 장비사 AEC에 대한 연구였다는 것이다. 실제로 Philips 사 AEC도 위 기능과 조금은 다르지만 여러 부위가 혼재되어 있는 부분에 적절한 선량을 나가게 하는 Automatic Current Selection (ACS) 기능도 존재한다. 즉, 추후에 다른 AEC에 관한 연구도 추가해서 각각의 장단점 및 주의사항 등을 최적화하여 나타낼 수 있으면 좋을 것 같다고 생각된다. 또한, 고찰에서 언급되었지만, 실제 상용화되어 사용되고 있는 IR기법을 적용하여 조직기반설정에 따른 선량의 최소화와 적절한 영상의 질의 유지에 대한 구체적인 결과를 도출한다면 더 좋을 것이라 판단된다. 그러나 본 논문은 이제까지 여러 부위를 한 번에 스캔하는 방식이 많이 사용되는 의료 현실에서 실제 특정 AEC와 조직기반설정의 중요성을 언급하고, 이에 따른 선량 차이를 객관적인 수치를 보여줌으로써 환자의 선량을 더 감소시킬 수 있는 가능성을 보여주었기에 매우 유용하다고 생각된다.

V. 결 론

CareDose 4D 사용 시 조직기반설정에 따라 같은 스캔조건에서도 관전류가 다르게 적용되어 선량이 달라지는 것을

확인하였다. 즉, 검사부위에 맞는 적절한 조직기반설정은 CT검사 시 매우 중요하며, 한 번에 여러 장기를 검사할 때, 복부 조직기반설정을 이용한다면 환자의 선량을 감소시킬 기회를 획득할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Lee MK, Lim CH. Survey of CT Practice and Collective Effective Dose Estimation. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2010;33(3):231-8.
- [2] Choi MH, Jang JS, Lee KB. A Study on the Indirect Radiation Exposure of the Medical Personnel Who is Responsible for Patient Safety in CT Examination. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2019;42(2):105-11.
- [3] Lee KB, Lee WH, Lee JH, Lee BR, Oh GB. Dose reduction and image quality assessment in MDCT using AEC (D-DOM & Z-DOM) and in-plane bismuth shielding. *Radiat Prot Dosimetry*. 2010;141(2):162-7.
- [4] Soderberg M, Gunnarsson M. Automatic exposure control in computed tomography--an evaluation of systems from different manufacturers. *Acta Radiol*. 2010;51(6):625-34.
- [5] Park GJ, Kim YO, Yeo SG, Dae CM, Min KH. Automatic Exposure Control Systems with Inappropriate Topogram : A Phantom study in Chest CT on Radiation dose and Image quality between different manufactures. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology*. 2011;13(2):227-38.
- [6] Nguyen D, Platon A, Shanmuganathan K, Mirvis SE, Becker CD, Poletti PA. Evaluation of a Single-Pass Continuous Whole-Body 16-MDCT Protocol for Patients with Polytrauma. *Am J Roentgenol*. 2009;192(1):3-10.
- [7] Hauser H, Bohndorf K. Radiologic emergency management in multiple trauma cases. *Radiologe*. 1998;38(8):637-44.
- [8] Philipp MO, Kubin K, Hormann M, Metz VM. Radiological emergency room management with emphasis on multidetector-row CT. *Eur J Radiol*. 2003;48(1):2-4.
- [9] Mazumdar A, Siegel MJ, Narra V, Luchtman-Jones L. Whole-Body Fast Inversion Recovery MR Imaging of Small Cell Neoplasms in Pediatric Patients: A Pilot Study. *Am J Roentgenol*. 2002;179(5):1261-6.
- [10] Marin D, Nelson RC, Rubin GD, Schindera ST. Body CT: technical advances for improving safety. *Am J Roentgenol*. 2011;197(1):33-41.
- [11] Lee KB, Kim JH. The Effect of Radiation Dose and Image Quality using AEC(Automatic Exposure Control) with Inappropriate Scout images : A Chest Phantom Experiment with Two Different AEC Modes. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology*. 2016;18(1):47-56.
- [12] Wood TJ, Moore CS, Stephens A, Saunderson JR, Beavis AW. A practical method to standardise and optimise the Philips DoseRight 2.0 CT automatic exposure control system. *J Radiol Prot*. 2015;35(3):495-506.
- [13] Russell MT, Fink JR, Rebeles F, Kanal K, Ramos M, Anzai Y. Balancing radiation dose and image quality: clinical applications of neck volume CT. *Am J Neuroradiol*. 2008;29(4):727-31.
- [14] McCollough CH. Automatic exposure control in CT: are we done yet? *Radiology*. 2005;237(3):755-6.
- [15] Lee KB, Goo HW. Quantitative Image Quality and Histogram-Based Evaluations of an Iterative Reconstruction Algorithm at Low-to-Ultralow Radiation Dose Levels: A Phantom Study in Chest CT. *Korean J Radiol*. 2018;19(1):119-29.
- [16] Leipsic J, Nguyen G, Brown J, Sin D, Mayo JR. A prospective evaluation of dose reduction and image quality in chest CT using adaptive statistical iterative reconstruction. *Am J Roentgenol*. 2010;195(5):1095-9.
- [17] Goo HW. CT radiation dose optimization and estimation: an update for radiologists. *Korean J Radiol*. 2012;13(1):1-11.
- [18] Baker ME, Dong F, Primak A, Obuchowski NA, Einstein D, Gandhi N, et al. Contrast-to-noise ratio and low-contrast object resolution on full- and low-dose MDCT: SAFIRE versus filtered back projection in a low-contrast object phantom and in the liver. *Am J Roentgenol*. 2012;199(1):8-18.
- [19] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, Licato PE, Do S, Pien

HH, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques. *Radiology*. 2010;257(2): 373–83.

[20] Wang L, Gong S, Yang J, Zhou J, Xiao J, Gu JH,

et al. CARE Dose 4D combined with sino-gram-affirmed iterative reconstruction improved the image quality and reduced the radiation dose in low dose CT of the small intestine. *J Appl Clin Med Phys*. 2019;20(1):293–307.