

<원저>

전산화단층촬영검사 시 검사실 내에 위치할 수 있는 의료인의 간접 피폭선량에 대한 연구

최민혁·장지성·이기백

서울아산병원 영상의학과

A Study on the Indirect Radiation Exposure of the Medical Personnel Who is Responsible for Patient Safety in CT Examination

Choi Min-Hyeok·Jang Ji-Sung·Lee Ki-Baek

Department of Radiology, Seoul Asan Medical Center

Abstract A medical personnel could be placed beside a patient together in CT room to do Ambu-bag for a seriously ill patients or emergency patient. At this time, the medical personnel can be exposed indirect radiation unnecessarily. In this case, it is necessary to recognize indirect radiation dose levels and methods to reduce them using actual clinical CT protocols such as Chest, Abdomen, and Brain CT. We researched surface radiation dose with or without radiation protectors such as apron and goggles according to different distances far from gantry using two different CT scanners (Fixed MDCT and mobile CT). As a result, for Chest, Abdomen, and Brain CT with Fixed MDCT, indirect radiation dose on thorax portion were 0.047, 0.089, 0.034 mSv without apron. Also, those with apron were 0.007, 0.012, 0.006 mSv. In case of mobile CT, it was 0.014 mSv without apron and 0.005 mSv with apron. By using protectors and increasing the distance, we could reduce it to 97%. Systematic management is necessary based on the measured data in order to minimize radiation damage due to indirect exposure dose.

Key Words: Medical Personnel, Indirect Radiation Exposure Dose, Radiation Protector, Surface Effective Dose, Fixed CT, Mobile CT

중심 단어: 의료인, 간접 방사선 피폭, 방사선 방어구, 표층 유효선량, 고정용 CT, 이동형 CT

1. 서 론

1970년대부터 임상에 적용된 전산화단층촬영(Computed Tomography, CT)검사는 비침습적이고 환자의 체내를 일 반 X선 검사보다 해부학적으로 겹침이 없이 정확하게 진단 할 수 있어 그 활용도가 점점 크게 증가되고 있다[1-3]. 특 히, 응급환자나 중증환자의 경우에 병변을 신속히 파악할 수 있으며, 수술 후 환자의 출혈 및 상태를 확인하는데도 매 우 유용하여 응급실과 수술실에서의 CT검사 건수 또한 많

이 증가하고 있다[4,5]. 이러한 상황에서 환자의 안전상 이 유로 의료인 또는 방사선사가 환자 곁에 위치하면서 환자 모니터링을 하거나 자가 호흡이 없는 중증환자들의 검사 시 에는 의료인에 의한 AMBU(Artificial Manual Breathing Unit) bagging이 시행되기도 한다[6]. 이 시점에 의료인은 환자와 근거리에 위치하게 되고, CT 갠트리와 가까운 위치 에 있게 되어 검사 시 산란선에 의한 간접 방사선 피폭을 받 는다[7]. 즉, 의료인들은 이득이 없는 방사선에 피폭된 것이 며 갈수록 증가하는 CT검사 건수와 상응하여 간접 피폭선

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, Republic of Korea, 05505 / Tel: +82-2-3010-4320 / E-mail: beall34@naver.com

Received 24 March 2019; Revised 06 April 2019; Accepted 23 April 2019

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

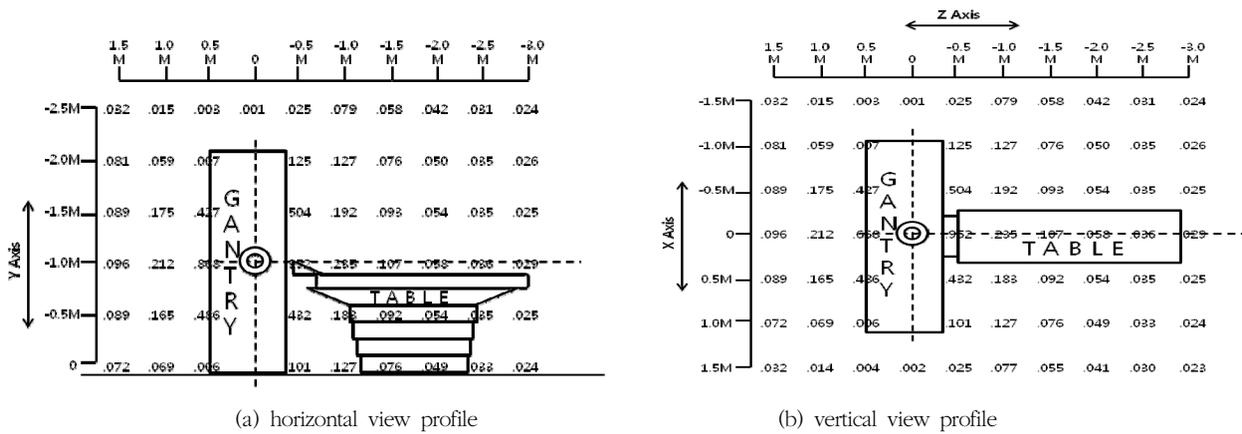


Fig. 1. Radiation dose map in CT room

량도 더 증가할 수 있다[8,9]. 여기서 문제점은 의료인의 대다수가 수련이나 중환자실의 간호사이며, 방사선 피폭에 대한 체계적인 지식이 부족할 수 있으며, 적절한 선량 정보를 제공받지 못하고 있다는 것이다. 특히 이곳에서 장기간 근무하고 있는 의료인은 간접 피폭으로 인한 방사선량이 누적될 가능성도 높기 때문에 이들에 대한 보호와 관리가 필요하다[10,11]. 검사실 내에서 1회분의 피폭선량은 납 가운 등의 방어구를 이용하기 때문에 많지 않을 수 있지만, 소량의 피폭선량도 누적될 경우 그로 인해 발생하는 방사선 장해를 알 수 없기 때문에 막연한 불안감만 키울 수도 있다.

CT검사실 내 방사선 피폭에 대한 이전 연구들을 살펴보면 장비업체에서 제공하는 CT 장비 주위의 공간선량 분포표와 검사실 내 공간선량 분포 및 산란선에 의한 연구가 일부 있었다(Fig. 1)[12-14]. 그렇지만 이러한 연구 내용들은 주로 공간선량 분포에 의한 피폭선량만 대략적으로 알 수 있었고, 임상에서 실제로 사용되는 CT의 다양한 인체 부위의 검사조건과 위치까지 고려하지는 못했다. 또한, 대부분 기존의 고정형 CT 외에 수술실 등에서 사용되는 이동형 CT에서 생길 수 있는 간접 피폭선량에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 응급환자나 중증환자에게 주로 시행되는 CT 검사 항목의 실제 파라미터를 적용하여 간접 피폭선량을 측정 및 관리하고자 하였다. 또한, 대부분의 병원에서 사용되고 있는 고정형 CT 장비인 다중 전산화단층촬영장치(Multi-Detector Computed Tomography; MDCT)와 수술실에 있는 이동형 CT를 모두 이용하여 결과를 제시하고자 하였고, 방어구 사용 시와 거리의 증감 시 선량의 변화율을 측정하여 전반적인 피폭수치를 제시함으로써 의료인의 방사선 피폭에 대한 막연한 불안감을 해소시키고 방사선 선량을 관리하는데 도움을 주고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 사용 기기 및 재료

CT 장비로는 고정형으로 128-slice의 MDCT인 SOMATOM Definition Edge(Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 이동형으로는 8-slice의 두부전용 CT인 Ceretom(Neurologica Corporation, Danvers, USA)을 이용하였다(Fig. 2).



Fig. 2. Portable CT which is used in operating room

간접 피폭선량을 측정하기 위해서 성인 의료인을 대신할 수 있는 높이 약 170 cm의 전신 마네킹을 팬텀으로 사용하였고(Fig. 3a), 직독식 선량계(PED-IS, Tracerco, UK)를 이용하여 선량을 측정하였다(Fig. 3b). 직독식 선량계는 실시간으로 선량을 확인할 수 있으며, 표층 유효선량을 나타낸다.



(a) Mannequin (b) Pocket dosimeter

Fig. 3. Phantom and device

방어구를 사용하여 감소된 간접 피폭선량을 측정하기 위해 복부 및 흉부 보호를 위한 0.5 mm 두께의 납 성분이 들어간 납 가운(Apron)과 안구 보호를 위한 납 고글(Goggles)을 사용하였다(Fig. 4a, 4b).

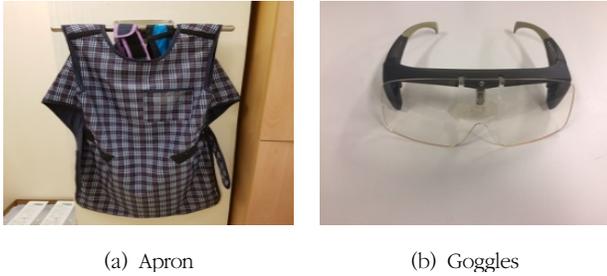


Fig. 4. Protective Units

2. 실험조건 및 선량측정

1) 장비별 실험조건

응급환자나 중증환자가 주로 받을 수 있는 검사를 고정형 CT에서는 흉부, 복부, 두부로 이동형 CT에서는 두부 검사로 선정하였다. 팬텀을 고정형과 이동형 CT 테이블에 놓고 Scout 영상을 획득한 후 고정형 CT에서 흉부 CT는 폐첨(Apex)부터 부신(Adrenal)까지, 복부 CT는 간(Liver)부터 항문(Anus)까지, 두부 CT는 머리의 정수리(Vertex)부터 기저부(Skull base)까지 검사하였다(Fig. 5a, 5b, 5c). 각각의 범위에 사용되는 흉부, 복부, 두부 CT의 프로토콜은 다음과 같다(Table 1). 두부 전용 이동형 CT에서는 고정형과 동일하게 Scout 영상을 획득한 후 이동형 CT 전용 두부 프로토콜로 정수리부터 기저부 영역을 검사하였다(Fig. 5d)(Table 2).

Table 1. Acquisition parameters of Chest, Abdomen, Brain CT protocol with fixed MDCT

	Chest	Abdomen	Brain
Scan type	Helical	Helical	Helical
kVp	120	120	120
mAs	100	150	320
Pitch	1	1	1
Rotation time(sec)	0.5	0.5	2
Beam collimation	128 * 0.6	128 * 0.6	128 * 0.6

Table 2. Acquisition parameters of Brain protocol with mobile CT

	Brain
Scan type	Helical
kVp	120
mAs	149
Pitch	1
Rotation time(sec)	2
Beam collimation	8 * 1.25

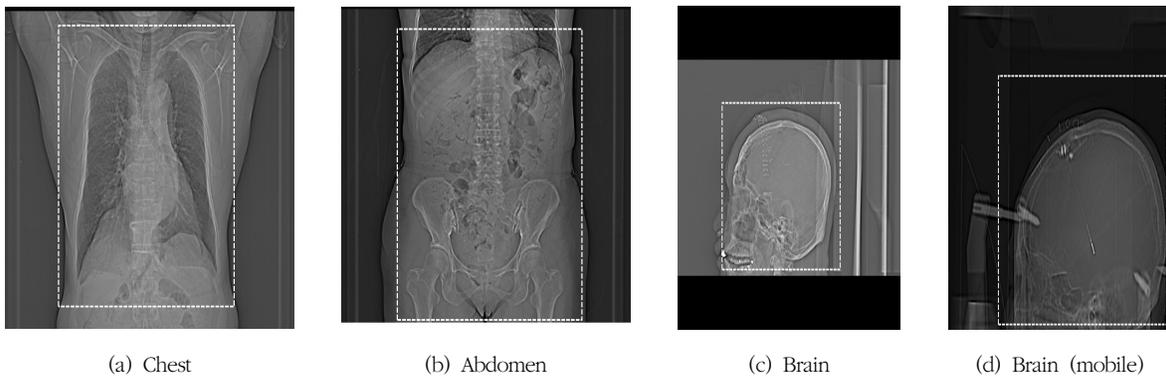


Fig. 5. The range of various examinations

2) 구역 및 거리별 선량 측정 및 비교 분석

구역별로 선량을 측정하기 위하여 고정형 CT에서는 겐트리 중심부로부터 (가), (나), (다), (라) 4개의 구역으로 나누어 선량을 측정하였고(Fig. 6a), 이동형 CT에서는 의료인이 이동형 CT의 뒤쪽에 위치할 이유가 없기에 겐트리 전면부의 세 구역인 (마), (바), (사)로 나누어 측정하였다(Fig. 6b).

선량 측정 방법은 Isocenter로부터 100 cm를 기준으로 방사선에 민감한 장기인 안구와 가슴 부분의 선량을 측정하였다. 먼저, 방어구를 착용하지 않고 가슴과 안구의 표면 선량을 측정하였고(Fig. 7a), 납 가운을 착용한 후 가슴의 표면 선량(Fig. 7b), 고글을 착용한 후 안구의 표면 선량(Fig. 7c)을 측정하였다. 편의상 네 가지 상황을 A-①, A-②, ③, ④ 그룹으로 명명하겠다.

거리별 선량측정은 고정형 CT에서는 Isocenter로부터 100 cm에서 시작하여 50 cm 씩 거리를 벌려 각각 100, 150, 200 cm에서 선량을 측정하였다. 이동형 CT에서는 100 cm에서 측정한 뒤 거리를 100 cm씩 늘려 200, 300 cm에서 측정하였다. 이동형 CT의 측정 거리를 더 크게 둔 이유는 이

동형 CT의 경우, 고정형 CT처럼 분리된 콘솔이 있는 것이 아니므로 검사자가 납 보호벽을 이용해 보통 200 cm 또는 300 cm에 위치하기 때문에 이를 보기 위해서 고정형보다 먼 거리를 설정하였다. 모든 측정 구역에서 선량은 4회 측정한 뒤 평균값으로 표시하였다.

통계분석 프로그램은 PASW statistics 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고, 측정구역에서 각각의 간접피폭선량 차의 분석은 비모수 검정의 ANOVA test인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석하였다. 유의수준은 95%($P=0.05$)로 하였다.

III. 결 과

1. 고정형 CT에서 간접 피폭선량

의료인이 위치할 수 있는 기준 거리(100 cm)에서 방어구 미착용 시 (가), (나), (다), (라) 각 구역별 가슴(A-①)과 안

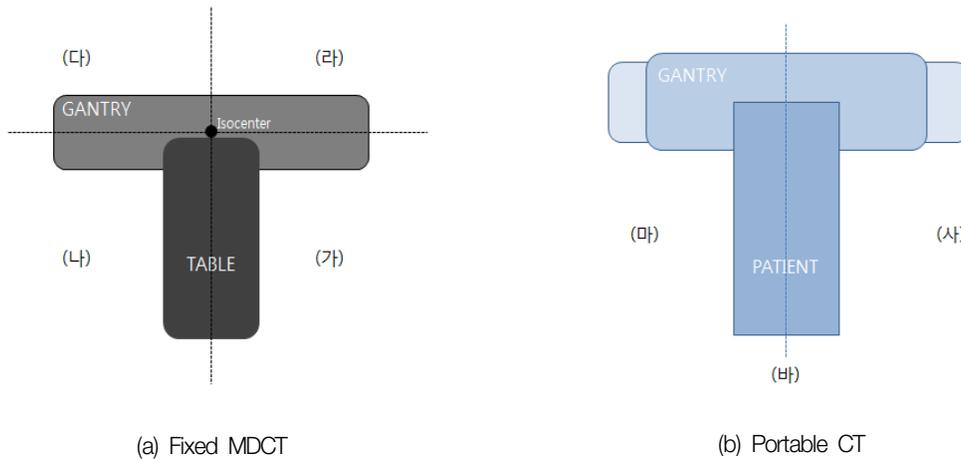


Fig. 6. Specific locations of fixed and portable CT



Fig. 7. Specific location of pocket dosimeter position in the phantom

Table 3. The measurements of superficial effective dose in fixed MDCT

With or Without protector		100 cm			150 cm			200 cm		
		Before wear (mSv)	After wear (mSv)	①Dose reduction rate(%)	Before wear (mSv)	After wear (mSv)	②Dose reduction rate(%)	Before wear (mSv)	After wear (mSv)	③Dose reduction rate(%)
Chest	Breast	0.047±0.005	0.007±0.0007	86	0.018±0.002	0.003±0.0003	84	0.008±0.003	0.001±0.0003	88
	Eyeball	0.031±0.009	0.019±0.011	39	0.017±0.007	0.011±0.003	36	0.008±0.003	0.005±0.001	38
Abdomen	Breast	0.089±0.002	0.012±0.001	87	0.037±0.004	0.005±0.0007	87	0.019±0.002	0.003±0.0002	85
	Eyeball	0.063±0.014	0.033±0.002	47	0.031±0.001	0.017±0.001	46	0.019±0.001	0.011±0.0009	43
Brain	Breast	0.034±0.005	0.006±0.002	83	0.018±0.001	0.003±0.0003	83	0.011±0.001	0.001±0.0003	91
	Eyeball	0.029±0.004	0.022±0.003	25	0.018±0.001	0.01±0.001	45	0.011±0.0009	0.005±0.0008	55

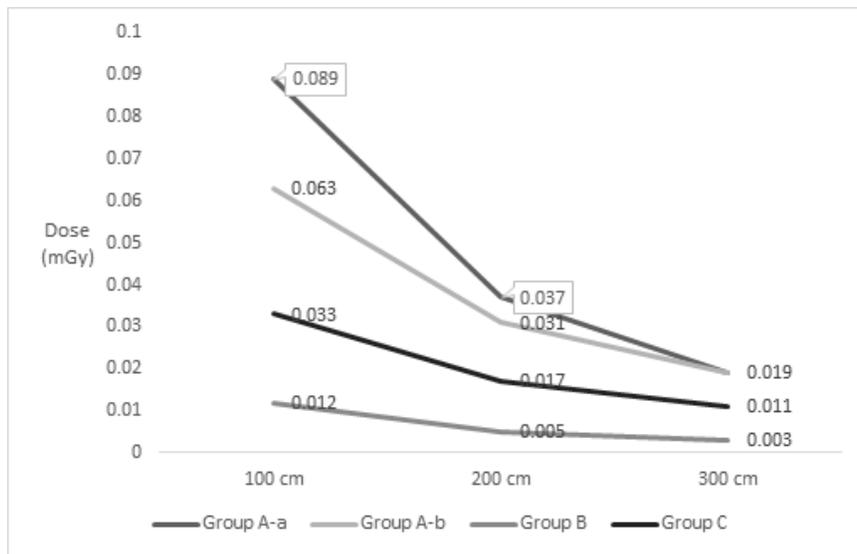


Fig. 8. Graphs of superficial effective dose in Abdomen using fixed MDCT

구(A-⑥)의 표층 유효선량은 다음과 같다. 흉부검사 시 A-④는 0.049, 0.05, 0.048, 0.038 mSv였고 A-⑥는 0.035, 0.031, 0.034, 0.024 mSv 이었다. 복부검사 시 A-④는 0.089, 0.085, 0.091, 0.088 mSv였고 A-⑥는 0.066, 0.066, 0.061, 0.057 mSv로 나타났다. 두부검사 시 A-④는 0.033, 0.032, 0.033, 0.037 mSv였고 A-⑥는 0.026, 0.025, 0.034, 0.029 mSv로 나타났다. 각 구역별 검사에 의한 mSv 값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05). A-④와 A-⑥의 평균 선량은 각각 100 cm에서 흉부검사 시 0.047, 0.031 mSv, 복부검사 시 0.089, 0.063 mSv, 그리고 두부검사 시 0.034, 0.029 mSv가 측정되었다(Table 3). 세 검사 모두 가슴(A-④)부위가 안구(A-⑥)부위보다 선량이 높았으며, 기준점에서 거리가 멀어질수록 선량은 감소하였다(Table 3).

방어구 착용 후 검사별 평균 선량은 ⑥와 ㉓그룹에서 각각 흉부검사 시 0.007, 0.019 mSv로, 복부검사 시 0.012,

0.033 mSv로 두부 검사 시 0.006, 0.022 mSv로 측정되었다. 각각의 감소율은 납 가운을 착용했을 때 평균 85%, 고글을 착용했을 때는 37%로 나타났다(Table 3①).

거리별 피폭선량 값을 살펴보면 복부검사 시 A-④는 기준거리(100 cm)를 기준으로 200 cm에서 79% 감소된 0.019 mSv로, A-⑥는 70% 감소된 0.019 mSv로 측정되었다. ⑥에서는 75% 감소된 0.003 mSv로, ㉓에서는 67% 감소된 0.011 mSv로 측정되었다(Fig. 8).

방어구 미착용 시 기준거리(100 cm)에서 선량과 비교할 때 가장 큰 감소율을 보인 곳은 200 cm에서 방어구를 착용했을 때이다. 복부검사에서 가슴 부위의 선량을 기준으로 97% 감소된 0.003 mSv로 측정되었다.

2. 이동형 CT에서 간접피폭선량

고정형 CT와 마찬가지로 (마), (바), (사)구역별로 측정된

Table 4. The measurements of superficial effective dose of Portable CT

With or Without protector		100 cm		200 cm		300 cm	
		Before wear (mSv)	After wear (mSv)	Before wear (mSv)	After wear (mSv)	Before wear (mSv)	After wear (mSv)
Brain	Breast	0.014±0.0008	0.005±0.0001	0.003±0.0001	0.0005±0.0001	0.001±0.0001	≤0.001
	Eyeball	0.013±0.0030	0.001±0.0001	0.003±0.0002	0.002±0.0001	0.001±0.0001	

값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 기준거리 (100 cm)에서 방어구 미착용 시, A-④와 A-⑤의 평균 피폭 선량은 0.014, 0.013 mSv였고, 방어구 착용 후에는 0.005, 0.001 mSv로 각각 62%, 93% 감소하였다. 거리가 증가할수록 200, 300 cm에서 평균 선량은 감소하였으며, 300 cm에서는 모두 0.001 mSv 이하의 값으로 나타났다(Table 4).

IV. 고 찰

본 연구에서는 응급환자 및 중증환자의 모니터링과 안전한 검사를 위해 불가피하게 이뤄지는 의료인의 간접 피폭선량을 수치화하고, 적절한 방어구와 거리를 사용하여 그 피폭선량을 얼마나 감소시킬 수 있는지 알아보려고 하였다. 이는 그동안 검사를 받는 수검자에게만 집중되어 있었던 방사선 피폭선량 관리를 검사실 내 다른 피폭 대상자에게로 확장시켜 큰 의의가 있다고 생각된다. 기존에 환자 이외의 피폭관리에 대해서는 방사선과 실습생들이 검사실에 있으면서 받을 수 있는 선량에 관한 연구와[15], CT검사 시 방사선 피폭에 대한 방어행위에 미치는 요인에 관한 연구가 있었다[16]. 그러나 선행연구들은 임상에 근무하는 의료인들에게 실제로 행해지는 다양한 CT검사의 간접 피폭선량이 아니기에 그 정확한 수치와 방어체계에 따른 감소량을 보여 주고자 하였다.

간접 피폭선량 측정조건은 실제 CT검사 프로토콜과 동일하게 재현한 후 장비, 검사, 구역, 거리별로 나눠서 측정하였는데, 실험 결과를 보면 고정형과 이동형 CT 장비 모두 공통적으로 검사실 내 구역별 선량 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 결국에 선량은 갠트리에서 거리 및 방어구 착용에 따른 차이만 있었다. 방어구 미착용 시 가슴과 안구 부위의 선량은 기준거리(100 cm)에서 차이가 있을 뿐 그 외의 거리에서는 차이가 미미했고, 방어구를 착용했을 때는 두 측정 부위의 선량의 차이가 확연하게 있었다. 방어구 착용 후에 기준거리에서 1회 분의 흉부 CT검사 시 0.013, 복부 CT검사에서 0.024, 고정형 CT를 이용한 두부 검사에서 0.014, 이동형 CT를 이용한 두부검사에서 0.003

mSv의 피폭선량을 받는 것으로 나타났으며, 평균 65%의 선량이 감소하여 방어구 착용이 중요하다고 볼 수 있겠다.

고정형과 이동형 CT검사에서 200 cm에서 측정 결과를 보면, 방어구를 착용하지 않고도 최대 0.019 mSv 값이 측정되었다. 이는 일정 거리 이상에서는 매우 낮은 수준의 피폭을 받게 된다고 볼 수 있다. Nam 등의 연구에 따르면 거리와 방어구의 유무에 따라 거리가 멀어질수록 방어구를 사용할수록 선량 감소율이 85%에 이른다는 결과가 도출되었고, 120 cm의 거리에서 방어구를 사용한 후에는 0.01 mSv 이하의 측정값이 나타났다[17].

이러한 결과들로 볼 때 검사실 내에서 방어구 및 거리에 의한 차폐 여부는 의료인의 간접 피폭선량에 매우 밀접한 관계를 갖는다고 볼 수 있다. 또 하나 주목할 만한 점으로는 가장 높은 간접 피폭선량 값을 보여준 복부 CT검사에서 방어구 미착용 시 가장 가까운 거리 (100 cm)에서 측정값이 0.089 mSv로 0.1 mSv 미만 이었다는 것이다. 검사실 내의 의료인은 방사선관계종사자가 아니므로 일반인의 연간 피폭선량한도인 1 mSv의 적용을 받는다고 할 때, 0.089 mSv는 연간 선량한도의 11분의 1 정도의 값이다. 그리고 이는 방어구를 착용하면 0.024 mSv까지 피폭선량이 줄어들기 때문에 연 41회 검사에도 연간 피폭선량한도를 넘지 않을 수 있다. 이러한 바로 볼 때 적절한 차폐 시스템을 적용하면 간접 피폭선량이 생각보다 크지 않다고 볼 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 직독식 선량계를 통해 표층 유효선량을 측정하였기 때문에 실제 장기가 받을 수 있는 장기별 유효선량을 측정하지 못했다는 점이 있다. 그렇지만 체내의 장기가 받는 유효선량은 투과되는 심도에 따른 감약이 발생하여 표층 유효선량보다는 감소하기 때문에 본 연구에서 측정된 값보다는 줄어든 것이라고 판단된다. 이러한 일부 제약에도 본 연구는 실제 CT검사의 다양한 프로토콜과 조건을 이용하여 연구를 진행하였기 때문에 의료인의 간접 피폭선량 및 방어구와 거리에 따른 감소율을 더욱 자세하게 보여줌으로써 매우 유용하다고 생각된다. 이를 바탕으로 CT검사 시 환자의 주변에서 간접 피폭을 받을 수 있는 의료인들이 본인의 간접 피폭선량 수치를 인지하고 막연한 두려움에서 벗어나 차폐에 대한 노력을 더욱 할 것이라 판단된다.

V. 결 론

중증환자나 응급환자의 모니터링을 위해 CT검사실 내에 위치하는 의료인들이 받을 수 있는 간접 피폭선량은 최대 0.089 mSv 이었다. 같은 조건에서 방어구를 착용하는 것만으로 74% 감소한 0.024 mSv로 나타났고, 거리가 증가하면 93% 감소한 0.007 mSv로 나타났다. 즉, 이득 없는 간접 피폭선량이 매우 크지는 않지만 방어구와 거리를 이용한 적절한 방어 체계는 의료인들에게 잘 적용될 수 있어야만 한다.

REFERENCES

- [1] Chelsea JA, Kidwel CS, Nentwich LM, Luby M, Butman JA, et al. Magnetic resonance imaging and computed tomography in emergency assessment of patients with suspected acute stroke: a prospective comparison. *Lancet*. 2007;369(9558):293-98.
- [2] Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, Kim KP, Mahesh M, Gould R, et al. Radiation Dose Associated with Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer. *Arch Intern Med*. 2015;169(22):2078-86.
- [3] Do KH, Sung DW. Strategies of computed tomography radiation dose reduction: justification and optimization. *J Korean Med Assoc*. 2015;58(6):534-41.
- [4] Becker CD. The trauma concept: the role of MDCT in the diagnosis and management of visceral injuries. *European Radiology*. 2005;15(Suppl. 4):105-9.
- [5] Oh YH, Kim KD. Moderate Head Injury: Predictors of a Repeat CT Scan. *The Journal of Korean Society of Emergency Medicine*. 2010;10:444-53.
- [6] Seo SY, Han MS, Kim CG, Jeon MC, Kim YK, Kim GJ. A study on the usefulness of a fusion model designed cloak shield to reduce the radiation exposure of the assistant during CT of severely injured patient. *Journal of the Korea Convergence Society*. 2017;8(9):211-6.
- [7] Ko IH, Kwon DC, Kim KG, Kim KH, Kim MK, et al. *Textbook of Computed Tomography*. Seoul: Chung-Koo; 2009.
- [8] Mettler F, Briggs J, Carchman R, Altobelli K, Hart B, Kelsey C. Use of radiology in U.S. general short-term hospital: 1980-1990. *Radiology*. 1993;189(2):377-80.
- [9] McCunn M, Mirvis S, Reynolds NH, Cottingham C. Physician utilization of a portable computed tomography scanner in the intensive care unit. *Critical Care Medicine*. 2000;28(12):3808-13.
- [10] Mansoor D, Azita Z, Hamid R, Fateme D, Sara R. Intensive Care Nurses Knowledge of Radiation safety and their behaviors towards portable radiological examinations. *Nurs Midwifery Stud*. 2014;3(4):e23354.
- [11] Guttelman BE, Gutman A, Lindsell CJ, Larrabee H. Radiation exposure in emergency physicians working in an urban ED: a prospective cohort study. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2010;28(9):1037-40.
- [12] Van Every B, Petty R. Measurements of computed tomography radiation scatter. *Australas Phys Eng Sci Med*. 1992;15(1):15-24.
- [13] Ahn BS. A study on the exposure and free space scattered dose in radiography. *Journal of Korean Society of Radiological Technology*. 1998;26-30.
- [14] Jeong HM, Won DY, Kim DK, Jeong JE. Measurement of Space Dose Distribution during Exposure Micro Computed Tomography for Scattering Rays. *Journal of Korean Society of Radiological Technology*. 2013;7(1):45-50.
- [15] Park HH. Consideration about Radiological Technology Student's Frequent Workers Exposure Dose Rate. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(6):573-80.
- [16] Kim KJ, Jung HR, Hong DH. Factors Influencing Protective Behavior against Radiation Exposure of Radiological Technologist in Computed Tomography Examination Room. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(6):581-6.
- [17] Nam GS, Lee DH, Koo BS, Kwon SA, Dae MC, Min HK. Dose reduction of medical personnel using breathing circuit during brain CT examination with artificial manual breathing unit bagging. *Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology*. 2015;17(2):123-32.