

# Assessment of the Effective Dose to the Human Body and Estimation of Lifetime Attributable Risk by CT Examination

Yong In Cho,<sup>1</sup> Jung Hoon Kim<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: February 27, 2020. Revised: April 23, 2020. Accepted: April 30, 2020

## ABSTRACT

The number of CT scans is increasing every year due to the improvement of the medical standards of the public, and thus the annual dose of medical radiation is also increasing. In this study, we evaluated the effective dose of the human body exposed to CT scans and estimated LAR. First, five region were selected from the CT diagnostic reference level guideline, and the effective dose of human body exposed to each examination was evaluated by clinical CT device. Second, the human organs and effective dose were calculated using the ALARA-CT program under the same conditions. Third, lifetime attributable risk (LAR) estimated by the effective dose exposed through the previous CT scan was estimated. As a result, the most effective dose was 21.18 mSv during the abdomen 4 phase scan, and the dose level was below DRL for all other tests except for the abdominal examination. As a result of evaluating effective dose using a dose calculation program under the same conditions, the results showed about 1.1 to 1.9 times higher results for each examination. In the case of organ dose, the closer the organ to the scan site, the higher the scattering ray. The lifetime attributable risk to CT radiation dose in adults was gradually decreased with age, and the results were somewhat different according to gender.

Keyword: Computed Tomography, Effective dose, ALARA-CT, Lifetime Attributable Risk

## I. INTRODUCTION

국민의 의료수준 향상과 의료기술의 발달로 연간 의료 방사선 피폭은 매년 증가되고 있는 추세이다. 현재 의료분야 내 방사선학적 검사는 단순 X선 촬영(Plain Radiography), 투시촬영(Fluoroscopy), 유방촬영(Mammography), 전산화단층촬영(Computed Tomography, CT) 등이 있다. 그 중 CT는 X선이 360도 방향에서 인체를 투과한 감약정보를 통해 인체의 횡단면에 대한 해부학적 정보를 획득할 수 있으며, 질병의 진단, 암의 병기결정, 치료반응 평가 등의 목적으로 다양하게 이용되고 있다. MDCT (Multi-detector CT)의 발전과 보급 이후 2013년 430만명에서 2018년 590만명으로 검사건수 또한 해마다

증가되고 있다.<sup>[1]</sup> 하지만, 단순 X선 검사에 비해 긴 조사시간과 넓은 스캔범위로 인해 환자에게 높은 선량이 요구되며, 방사선장해가 발생할 수 있으므로 방사선 안전 및 국민보건 관점에서 우려의 대상이다.<sup>[2]</sup> CT 검사 시 방사선량은 사용하는 CT 장치의 종류, 검사대상의 특성, 사용되는 검사 조건 등 다양한 요인에 따라 결정되며, 동일한 검사를 수행하더라도 의료기관마다 광범위한 차이를 나타낸다.<sup>[3]</sup>

이러한 의료피폭에 대한 최적화를 위해 과거 국제방사선방호위원회(ICRP)에서는 의료 방사선 검사 시 각 나라별로 진단참고수준(Diagnostic Reference Level, DRL)을 설정하여 사용할 것을 권고하고 있다.<sup>[4]</sup> 진단참고수준은 방사선 진단 시 환자가

\* Corresponding Author: Jung Hoon Kim

E-mail: donald@cup.ac.kr

Tel: +82-10-9142-1171

받는 방사선량을 걱정 수준 이하로 낮추기 위해, 영상의학 검사 시 받게 되는 환자 피폭선량 분포 중 75% 수준으로 설정 및 권고하는 수치이다. 과거 국내에서는 2008년 CT 검사에 대한 가이드라인 내 DRL을 제시하였으나, 두부, 복부, 흉부에 한정되었으며, 이후 다양한 연구를 통해 질병관리본부에서는 2017년 CT 진단참고수준에 대한 가이드라인을 마련하여 13가지 CT 검사에 대한 DRL 값을 권고하고 있다.<sup>[5]</sup>

이처럼 의료 방사선 검사 시 피폭선량의 최적화를 위한 연구와 가이드라인 등이 제시되고 있으나<sup>[6,7]</sup>, 현재 의료 방사선에 대한 방호나 피폭에 대한 관리는 주로 방사선관계종사자 및 방사선작업종사자에 국한되어 있다. 이에 반해 검사대상인 환자에 대해서는 이익을 수반하는 방사선 행위를 부당하게 제한하지 않는다는 측면에서 선량한도를 두지 않고 있으며, 거의 관리되고 있지 않은 실정이다. 하지만, 최근 의료 방사선 피폭에 대한 국민적 관심 증가에 따라 의료기관별로 방사선학적 검사 시 노출되는 의료 방사선 피폭에 대해 정확하게 인지하고 이를 관리할 필요가 있다.

이에 본 연구는 첫 번째로, 임상적으로 사용되는 CT 장치를 통해 검사 부위별로 노출되는 인체 유효선량을 평가하고자 하며, 두 번째로, CT 검사 부위별로 노출되는 피폭선량에 기인하여 발생할 수 있는 생애 암 귀속 위험도(Lifetime attributable risk, LAR)를 산정하고자 한다. 이를 통해 의료기관별로 CT 검사 시 노출되는 환자의 의료 피폭수준에 대한 분석과 선량 관리의 필요성에 대해 제시하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHOD

### 1. CT 검사 부위별 선량평가

CT 검사 시 유효선량을 평가하는 방법은 첫 번째로, 선량계를 이용하여 측정된 CT 선량지수(CT dose index volume, CTDI<sub>vol</sub>), 선량길이곱(Dose length product, DLP) 수치 혹은 CT 검사 후 선량 보고서(dose report)에 표시된 DLP 수치에 선량변환인자(Dose conversion factor)를 이용하여 유효선량으로

환산하는 방법이 있다. 두 번째로, CT 선량계산 소프트웨어를 이용하여 검사에 사용한 CT 검사의 조건 등을 기입한 후 유효선량을 계산하는 방법이 있으며, 이를 이용한 프로그램으로는 CT-Expo, PCMXC 등이 있다<sup>[7]</sup>. 또한 최근에는 CT 검사 시 ICRP 60, 103 권고에 따른 환자의 유효선량 평가가 가능한 ALARA-CT(경희대학교 ALhPS, 2018) 프로그램이 개발되었다. ALARA-CT(Child/Adult)는 CT 검사로 인한 연령별(0세, 1세, 5세, 10세, 15세, 성인), 성별(남성, 여성)에 대한 환자의 선량지수(CTDI, DLP, 장기선량, 유효선량)등을 계산할 수 있는 프로그램이며, 현재 국내에서 사용되는 대부분의 CT 장비에 대한 평가가 가능하다.<sup>[8]</sup>

#### 1.1 CT 장치를 이용한 인체 유효선량 평가

본 연구에서는 CT 장치를 이용한 인체의 유효선량을 평가하고자 임상에서 현재 사용되는 CT 스캐너인 128-slice MDCT(Brilliance iCT, Philips Medical Systems, Netherlands)를 이용하였다. 검사 부위는 CT 검사별 진단참고수준 가이드라인에서 제시하는 13개 검사 중 ICRP 102 권고에서 제시하는 5가지 부위를 선정하였으며, 검사 부위별로 사용된 조건, 스캔 길이 등은 Table 1과 같다.

Table 1. Scan parameters for each examinations using brilliance iCT

Examinations	Scan Parameters					
	kVp	Effective mAs (adjusted AEC)	pitch	Thickness (mm)	FOV (mm)	Scan length (mm)
Brain(NCE)	120	236	0.203	0.8	230	33.6
Neck	120	52	0.579	2.0	220	503.3
Thorax	120	46	0.828	3.0	350	315
Abdomen & Pelvis	120	229	1.015	3.0	350	492
Abdomen 4 Phase (portal)	120	224	1.015	3.0	350	507

NCE : Non contrast enhance  
AEC : Auto Exposure control

CT 검사 시 성인에 대한 선량평가를 위해 검사체는 인체 혼성팬텀(anthropomorphic phantom)을 이용하였으며, 각 검사별 조건에 따라 스캔을 실시하였다. CT 검사 후 장치 내 선량 보고서를 통해 DLP 값을 획득한 후, Eq. (1)을 이용하여 CT 검사

부위별로 노출되는 유효선량을 환산하였다. Eq. (1)의 유효선량 계산 변환인자는 ICRP 102 권고에서 제시하고 있는 Table 2의 값을 참조하였다.<sup>[9]</sup>

Table 2. Conversion factors of effective dose calculation for each CT examinations according to recommendation 102 of ICRP

Age	Body part					
	Head & Neck	Head	Neck	Chest	Abdomen & Pelvis	Torso
0	0.013	0.011	0.017	0.039	0.049	0.044
1	0.0085	0.0067	0.012	0.026	0.030	0.028
5	0.0057	0.0040	0.011	0.018	0.020	0.019
10	0.0042	0.0032	0.0079	0.013	0.015	0.014
Adult	0.0031	0.0021	0.0059	0.014	0.015	0.015

$$\text{Effective dose (mSv)} = \text{DLP} \times K \quad (1)$$

DLP(dose length product) : mGy · cm

K(dose conversion factor) : mSv · mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>

### 1.2 선량 계산 프로그램을 통한 유효선량 평가

CT 검사 시 선량 계산 프로그램을 통한 유효선량 평가를 수행하고자, ALARA-CT 프로그램을 이용하였다. 이를 통해 유효선량을 평가하는 방법은 Fig. 1과 같이 먼저 검사 장치에 대한 CT 스캐너를 선택하고, 검사 시 사용된 파라미터 등을 입력한 후 스캔 범위를 팬텀에서 지정한다. 다음으로 사용자가 원하는 ICRP Pub. 60, 103의 조직하중계수 (Tissue weighting factor, W<sub>R</sub>)를 선택하여 검사 시 노출되는 인체 장기선량 및 유효선량을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 앞서 평가한 방법과의 비교를 위해 검사 장치는 앞서 평가한 brilliance iCT로 설정하였다. 다음으로 환자의 검사 형태(type)는 검사부위에 따라 두부, 몸통으로 나누어 평가하였고, 부위별 스캔 파라미터에 대한 입력(input)은 Table 1에서 제시한 값을 참조하여 동일하게 입력하였다. 이후 검사별로 스캔하고자 하는 범위를 고려하여 지정한 다음 ICRP Pub. 60, 103에서 제시하는 조직하중계수를 선택하여 CT 검사 부위별로 노출되는 인체

유효선량 및 장기선량을 산정하였다.

평가한 각 방법에 대해 CT 검사 시 부위별 노출되는 유효선량에 대해 비교 평가하였으며, 임상에서 사용되고 있는 검사 프로토콜에 대한 적합성을 확인하고자, 최근 CT 검사 부위별 진단참고수준 가이드라인에서 제시하고 있는 DRL 수치와 비교 분석하였다.

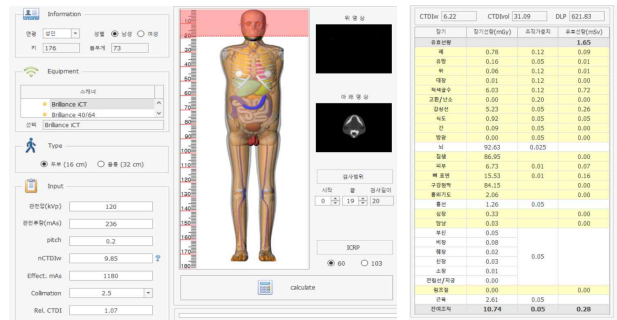


Fig. 1. Evaluation of effective dose and organ dose using ALARA-CT program.

### 2. CT 검사에 의한 생애 암 귀속 위험도 평가

앞서 평가한 CT 검사 부위별로 노출되는 인체 유효선량에 기인한 생애 암 귀속 위험도를 평가하고자 미국국립과학아카데미(National Academy of Sciences, NAS)의 BEIR VII(Biological Effect of Ionizing Relation VII) 보고서를 참조하였다. 생애 암 귀속 위험도(Lifetime attributable risk, LAR)는 일생동안 방사선 피폭으로 인한 암 발생 위험도를 수치로 나타낸 것으로, BEIR VII 보고서는 Table 3과 같이 미국인을 대상으로 성별, 연령별, 인구분포를 바탕으로 100 mSv의 선량 노출 시 발생할 수 있는 암 발생률에 대해서 제시하고 있다.<sup>[10]</sup> 본 연구에서는 CT 검사 시 부위별로 평가한 유효선량에 대해 성인 남성, 여성이 동일하게 노출되었다고 가정하였으며, 생애 암 귀속 위험도에 대한 평가는 BEIR VII에 제시된 암 발병부위 중 고형암(All solid), 백혈병(Leukemia), 모든 암(All cancers)을 선정하였다. 암 귀속 위험도에 대한 계산은 Eq. (2)와 같이 환자의 성별, 연령별 10만명 당 귀속 위험도에 100 mSv에 대한 유효선량 비율을 곱하여 생애 암 귀속 위험도를 추정하였다.<sup>[11]</sup>

$$LAR = \text{암 발생분율(Cancer site)/10만명} \times \text{CT 검사 시 노출된 유효선량(mSv)/100 mSv} \quad (2)$$

Table 3 Lifetime attributable risk of cancer incidence presented in the BEIR VII report

Cancer site	Age at Exposure (years)						
	20	30	40	50	60	70	80
Male							
All solid	2326	1667	1325	1076	881	602	564
Leukemia	237	149	120	105	96	84	84
All cancers	2563	1816	1445	1182	977	686	648
Female							
All solid	109	79	78	74	64	47	24
Leukemia	323	207	181	148	109	68	30
All cancers	1646	1065	886	740	586	409	214

### III. RESULT

#### 1. CT 검사 부위별 인체 유효선량

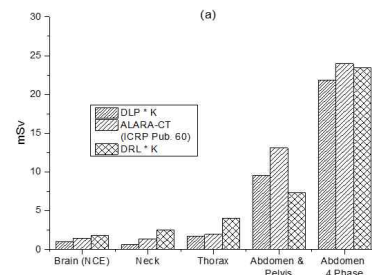
CT 부위별 검사 시 노출되는 인체 유효선량을 평가하고자, 첫 번째로 선량 보고서의 DLP를 통한 유효선량 환산방법과, 두 번째로 동일한 조건하에 선량계산 프로그램을 통해 ICRP Pub. 60, 103의 조직하중계수를 고려한 유효선량을 산정하였다.

첫 번째로, CT 검사 후 선량보고서에 제시된 DLP 수치와 ICRP 102의 변환계수를 통해 유효선량을 평가한 결과, 두경부 검사 중 뇌(비조영) 검사 시 1.33 mSv, 목 검사 시 0.70 mSv, 흉부 검사 시 1.76 mSv, 복부 검사 시 9.22 mSv의 유효선량을 각각 나타내었으며, 복부 다중시기 검사 시 21.17 mSv 으로 검사 중 가장 높은 유효선량을 나타내었다.

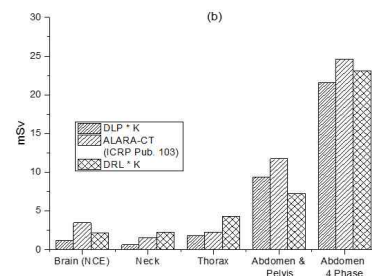
두 번째로, 위와 동일한 조건을 기준으로 ALARA-CT 프로그램을 이용하여, ICRP Pub. 60의 조직하중계수를 통해 유효선량을 평가한 결과, 뇌(비조영) 검사 시 1.45 mSv, 목 검사 시 1.36 mSv, 흉부 검사 시 1.95 mSv, 복부 검사 시 13.11 mSv, 복부 다중시기 검사 시 23.97 mSv으로 선량환산 방법에 비해 약 1.1 ~ 1.9배 이상 높은 유효선량 수치를 보였다. 또한 ICRP Pub. 103의 조직하중계수를 통해 유효선량을 평가한 결과, 뇌(비조영) 검사 시 3.47 mSv, 목 검사 시 1.56 mSv, 흉부 검사 시

2.28 mSv, 복부 검사 시 11.74 mSv, 복부 다중시기 검사 시 24.59 mSv으로 검사별로 약 1.2 ~ 2.6배 이상 높은 유효선량 수치를 보였다.

CT 검사별 진단참고수준 가이드라인에서 제시하는 DRL과 비교한 결과, 선량환산 방법을 통한 유효선량의 경우, 복부 검사 시 30.3% 정도 더 높은 선량수준을 보였으나, 이를 제외한 나머지 검사에서는 DRL 대비 최소 26.9% ~ 최대 93.4% 수준으로 평가되었다. 이에 반해 선량계산 프로그램을 이용한 방법의 경우, ICRP Pub. 60 적용 시 Fig.2.a와 같이 복부 검사에서 85.2%, 복부 다중시기 검사에서 5.8% 정도 더 높은 선량을 나타내었으나, 이를 제외한 검사에서는 DRL 대비 최소 46.9 ~ 최대 61.7% 수준으로 평가되었다. 또한 ICRP Pub. 103 적용 시 Fig.2.b와 같이 뇌 검사에서 63.2%, 복부 검사에서 62.6%, 복부 다중시기 검사에서 6.4% 더 높은 선량을 보였으며, 그 외 검사에서는 DRL 대비 최소 52.9% ~ 최대 69.2% 수준으로 평가되어, 선량환산 방법과는 다소 상이한 결과를 나타내었다.



(a) ALARA-CT (ICRP Pub. 60)



(b) ALARA-CT (ICRP Pub. 103)

Fig. 2. Evaluation of effective dose by CT examination part.

## 2. 선량 계산 프로그램을 통한 CT 검사 부위별 장기 유효선량

CT 검사 후 장치 내 표시된 선량보고서의 DLP 수치를 이용한 유효선량 평가방법은 인체 유효선량 수치를 간접적으로 평가하는 것으로, 각 검사 부위별로 노출될 수 있는 인체 장기에 대한 선량을

계산하는 것은 현실적으로 어렵다. 이에 본 연구에서는 ALARA-CT 프로그램을 이용하여 CT 검사 부위별로 노출되는 인체 주요 장기선량을 평가하고자 하였으며, ICRP Pub. 60, 103에서 제시하는 조직하중계수를 고려하여 장기선량에 대해 비교 분석하였다.

Table 4. Organ dose distribution of human body according to CT examination part using ALARA-CT program

CT examinations	Organ effective dose distribution (Unit : mSv)							
	Lung	Breast	Stomach	Colon	Bone marrow	Gonads	Thyroid	Brain
ICRP Pub. 60 $W_T$								
Brain(NCE)	0.08	0.01	0.01	0.00	0.64	0.00	0.19	2.30
Neck	0.29	0.01	0.01	0.00	0.18	0.00	0.61	0.30
Thorax	0.45	0.19	0.38	0.06	0.14	0.00	0.31	0.01
Abdomen & Pelvis	0.93	0.71	1.78	2.10	0.81	4.37	0.02	0.00
Abdomen 4 Phase	2.35	1.79	4.43	4.94	1.43	4.29	0.05	0.00
ICRP Pub. 103 $W_T$								
Brain(NCE)	0.08	0.02	0.01	0.00	0.64	0.00	0.15	0.92
Neck	0.29	0.02	0.00	0.00	0.18	0.00	0.49	0.06
Thorax	0.45	0.44	0.00	0.06	0.14	0.00	0.25	0.00
Abdomen & Pelvis	0.93	1.71	0.78	2.10	0.81	1.75	0.01	0.00
Abdomen 4 Phase	2.35	4.29	4.43	4.94	1.43	1.71	0.04	0.00

첫 번째로, ICRP Pub. 60에 따른 인체 장기선량에 대한 평가 결과, 두경부 검사 중 뇌(비조영) 검사 시 뇌에서 2.3 mSv, 적색골수 0.64 mSv, 갑상선 0.19 mSv로 나타내었고, 검사 부위 대비 적색골수는 약 27.8%, 갑상선은 약 8.2% 수준의 선량분포를 보였다. 흉부 검사 시, 폐 0.45 mSv, 위 0.38 mSv, 갑상선 0.31 mSv, 유방 0.19 mSv 으로 갑상선과 유방의 경우, 폐 선량 대비 각각 68.8%, 42.2% 정도의 선량분포를 나타내는 것으로 평가되었다. 복부 다중시기 검사 시, 대장 4.94 mSv, 위 4.43 mSv, 생식선 4.29 mSv 으로 가장 높은 장기선량을 보였고, 폐와 유방의 경우 검사 범위에 일부 포함되어 2.35 mSv, 1.79 mSv 으로 대장의 선량 대비 각각 47.6%, 36.2%의 선량분포를 보였다.

ICRP Pub. 60, 103에 따른 CT 검사 부위별 장기선량을 분석한 결과, Table 4와 같이 103 권고에서 개정된 조직하중계수의 차이에 따라 생식선의 경우 2 ~ 2.5배, 갑상선의 경우 1 ~ 2배, 뇌의 경우 2.5 ~ 5배 정도 감소된 선량분포를 나타내었다. 이에 반해 유방의 경우 오히려 2 ~ 2.4배 선량이 증

가된 양상을 보였다.

## 3. CT 검사에 의한 생애 암 귀속 위험도

CT 검사 시 노출되는 유효선량에 의한 생애 암 귀속 위험도에 대해서 평가하고자, 앞서 CT 검사 부위별 평가한 유효선량을 성인 남성과 여성이 동일하게 노출되었다고 가정한 후, BEIR VII 보고서를 참조하여 성인의 연령대별 암 발생 위험도를 산정하였다.

첫 번째로, CT 검사를 시행한 20대의 성인에서 발생할 수 있는 모든 고형암(All solid)의 귀속 위험도의 경우, Fig. 3과 같이 두부(비조영) 검사 시 10만명 당 남성 12.8명, 여성 1.6명, 흉부 검사 시 10만명 당 남성 17.2명, 여성 2.1명, 복부 다중시기 검사 시 10만명당 남성 211.2명, 여성 26.1명으로 남성이 여성보다 8.1배 이상 높은 고형암 발생 위험도를 나타내었다.

두 번째로, 동일한 조건에서 백혈병(leukemia)의 경우, Fig. 4와 같이 두부(비조영) 검사 시 10만명당 남성 1.4명 여성 4.7명, 흉부 검사 시 10만명당 남성

1.9명, 여성 6.3명, 복부 다중시기 검사 시 10만명당 남성 23.0명, 여성 77.4명으로 고형암의 결과와는 달리 여성이 남성보다 3.4배 이상의 높은 백혈병 발생 위험도를 보였다.

세 번째로 모든 암(All cancers)의 경우, Fig. 5와 같이 두부(비조영) 검사 시 10만명당 남성 14.2명, 여성 23.9명, 흉부 검사 시 10만명당 남성 37.7명, 여성 32.1명, 복부 다중시기 검사 시 10만명당 남성 234.2명, 여성 394.6명으로 두부와 복부 다중시기

검사의 경우 여성이 남성보다 약 1.7배 높은 모든 암 발생 위험도를 나타내었으나, 예외적으로 흉부 검사 시 남성이 1.2배 높은 결과를 보였다.

이러한 결과에 따라 성별에 따른 암 발생 위험도는 고형암을 제외하고 일반적으로 여성이 더 높은 암 발생 위험도를 보였고, 연령대별 암 발생 위험도는 성인 중 연령이 낮은 20 ~ 30대의 경우 가장 높은 결과를 나타내었으며, 연령이 증가함에 따라 점차적으로 감소되는 양상을 나타내었다.

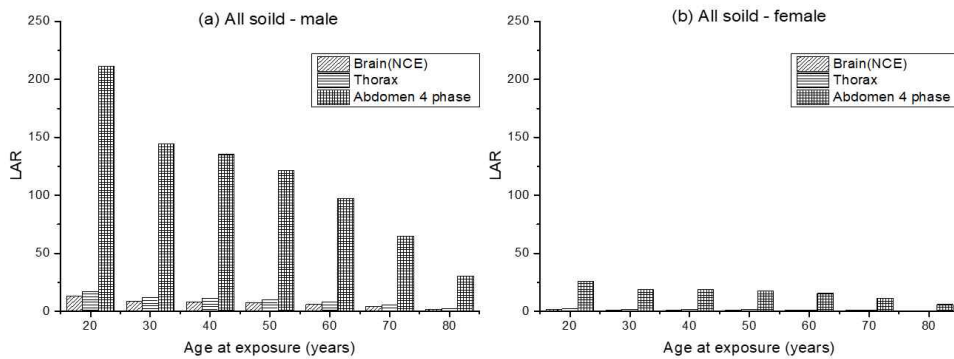


Fig. 3. Lifetime attributable risk for all solids by gender and age group by CT scan

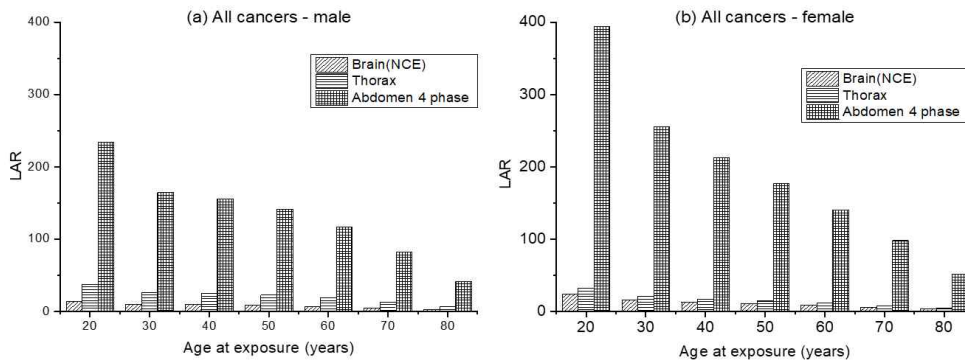


Fig. 4. Lifetime attributable risk for all cancers by gender and age group by CT scan

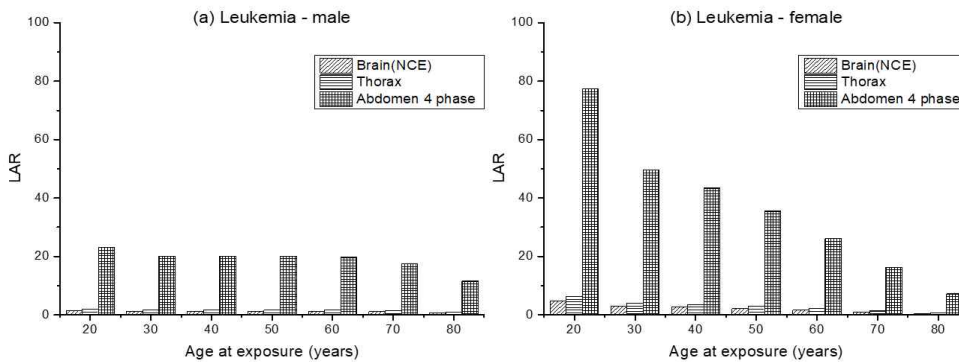


Fig. 5. Lifetime attributable risk for leukemia by gender and age group by CT scan

#### IV. DISCUSSION

인공방사선 피폭 중 CT와 같은 의료 방사선의 비중이 높아짐에 최근 환자 피폭에 대한 관심 또한 증가되고 있다. 그러나, 현재 진료상 노출되는 의료피폭은 행위의 정당화로 선량한도를 설정하여 특별히 관리되고 있지 않는 실정이며, 검사를 시행하는 방사선관계종사자의 경우, 검사 시 환자에게 노출되는 방사선 피폭수준을 잘 인지하지 못하는 경우도 존재한다. 이에 본 연구에서는 현재 국내에서 높은 빈도로 이루어지고 있는 CT 검사 부위별로 검사 시 노출되는 유효선량을 평가하고, 이로 인한 생애 암 귀속 위험도에 대해 산정하고자 하였다.

첫 번째로, CT 부위별 유효선량 평가 결과에 따르면, CT 검사 중 복부 다중시기(Abdomen 4 phase) 검사 시 21.18 mSv로 가장 높은 유효선량에 노출되었으며, 강영한 등<sup>[11]</sup>과 Goldman A. R.<sup>[12]</sup>의 연구에서 제시한 것과 상응한 결과를 나타내었다. 또한 CT 검사 부위별 진단참고수준과의 비교 분석을 통해 검사 시 사용된 프로토콜에 대한 적정성을 확인하였으며, 복부 검사를 제외한 나머지 검사에서는 가이드라인에서 제시하는 DRL 이하로 평가되어 비교적 적절하게 관리되고 있는 것으로 생각된다. 그러나, 강승원 등<sup>[13]</sup>의 연구에서는 CT 검사 시 자동노출조절 장치는 환자의 감쇠정보에 따라 선량을 조절하여 장비별로 검사자에 따라 영향을 받을 수 있다고 보고하고 있으며, 실제 각 의료기관별로 환자 검사 시 DRL과의 비교분석을 통해 적정수준의 선량유지를 위한 관리가 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 기존의 DLP를 이용한 유효선량을 추정방법과 더불어 CT 선량계산 프로그램을 이용하여 각 검사별로 노출될 수 있는 인체 주요장기에 대한 선량 분포를 평가하였다. 평가한 결과 선량환산 방법과 유사한 경향성을 나타내었으나, 검사별로 최소 1.1 ~ 최대 2.9배 높은 수치를 나타내었다. 이는 실제 CT 검사 시 사용되는 다양한 매개변수(rotating time, AEC type, etc.)등이 프로그램 내 반영되지 않은 결과인 것으로 생각된다. 하지만, CT 선량 계산 프로그램을 통한 방법은 실제 측정할 수 없는 검사 부위별 주요 인체 장기의 유효선량의 추정이 가능하며, 검사 목적 부위 대비

주변장기 선량의 평가 또한 가능하다는 장점이 있다. 대표적으로 흉부 CT 검사 시 갑상선 부위에서 검사 목적 부위인 폐 선량 대비 68.8%로 상당히 높은 선량을 나타내어, 검사부위에 근접할수록 산란선에 의한 인체 장기의 피폭 기여도가 높은 것을 확인하였다. 이처럼 CT 선량계산 프로그램을 이용한 평가방법은 검사 시 물리적 조건에 따라 환자의 장기 및 유효선량을 보수적으로 평가할 수 있는 보조적인 도구로서 활용 가능할 것으로 사료된다.

두 번째로, Brenner, D. J.와 Hall, E. J.은 미국에서 발생하는 암의 약 2%는 CT 검사에 의한 방사선 조사에 의해 발생한다고 보고하며<sup>[14]</sup>, BEIR VII 모델은 암 발생 위험평가에 있어서 포괄적인 평가 도구로서 다양한 연구에서 많이 활용되고 있다.<sup>[11,15,16]</sup> 이에 따라 본 연구에서는 CT 검사별 유효선량에 기인하여 발생할 수 있는 성인의 암 귀속 위험도를 추정하였으며, 연령 및 성별에 따라 각기 다른 암 발생 위험도를 나타낸다는 것을 확인하였다. 또한, 잦은 빈도의 CT 검사는 암 발생 위험도를 증가시킬 수 있으므로 불필요한 CT 검사는 환자를 위해 지양되어야 할 것으로 판단된다.

의료분야 내 방사선관계종사자 및 방사선작업종사자로서 환자의 피폭선량을 항상 모니터링하며, 선량 최적화를 위한 DRL와의 비교를 통해 검사 조건 등을 점검할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 환자는 검사에 의해 노출되는 방사선 피폭수준에 대해 알 권리가 있으므로, 의료기관에서는 환자의 누적 피폭선량에 대한 이력관리가 이뤄져야 할 것이며, 이와 관련한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구의 제한점으로는 임상에서 사용되는 한 가지 장비와 고정된 프로토콜을 통해 유효선량을 평가하였으므로, CT 검사 부위별로 노출되는 대표 유효선량 수치로 제시하기에는 한계가 있다. 또한 암 귀속 위험도의 경우, 현재 한국인의 기준 자료가 없어 BEIR VII를 근거로 평가하여 다소 차이가 있을 수 있으며, 추후 한국인의 특성에 맞는 표준 자료의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 향후 다양한 CT 장치에 대한 연구가 필요할 것으로 생각되며, 의료피폭을 적정 수준으로 유지하기 위한 관계당국의 법적 제도 개선 또한 고려되어야 할 것으로 판단된다.

## V. CONCLUSION

본 연구를 통해 CT 검사는 의료 방사선 검사 중 높은 의료피폭에 수준에 기여하며, 검사 주변부에 근접한 장기일수록 높은 산란선 영향을 나타낸다는 것을 확인하였다. 또한 CT 검사 시 노출되는 유효선량에 의한 성인의 암 귀속 위험도 추정을 통해 각 CT 검사 부위별 LAR을 산정하였다. 이에 따라 환자에게 불필요한 검사는 지양하고, CT 검사 시 꼭 필요한 검사 수행을 통해 환자의 암 발생 위험도를 최소화해야 할 것으로 사료된다. 또한 의료기관별로 CT 검사 시 노출되는 피폭선량에 대한 종사자의 인식 개선과 더불어 환자에 대한 피폭이력 기록 시스템 구축을 통해 의료피폭에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

## Reference

- [1] <http://www.docdocdoc.co.kr/news/articleView.html?idxno=1054737>
- [2] J. E. Gray, "Radiological protection issue in mammography and computed tomography," *Radio-logical protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy*, Proceedings of an international conference, 2001.  
<https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=32064813>
- [3] Y. G. Park, S. E. Jung, "CT radiation dose and radiation reduction strategies," *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 54, No. 12, pp. 1262-1268, 2011. <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2011.54.12.1262>
- [4] International Commission on Radiological Protection, *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37, 2007.
- [5] Korea Centers for Disease Control and Prevention, "Guidelines for Diagnostic Reference Levels in Computed Tomography(CT)," *Medical Radiation Series*, No. 10, 2017.
- [6] J. K. Lee, "The study of radiation dose estimates for computed tomography using Monte Carlo method," *Kyeonghui University Graduate school, Department of Nuclear Engineering Master's thesis* 2011.
- [7] Ministry of Food and Drug Safety, "Guidelines for Recommended Patient Doses for CT Imaging in Children," *Radiation Safety Management Series*, No. 31, 2012.
- [8] [http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/mobile/51/142251\\_view.html](http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/mobile/51/142251_view.html)
- [9] J. Valentin, "Managing patient dose in multi-detector computed tomography(MDCT)," *ICRP Pub.* 102, pp. 1-79, 2007.
- [10] National Research Council, "*Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2*," National Academies Press, 2006.
- [11] Y. H. Kang, J. S. Park, "Radiation dose and Lifetime Attributable Risk of Cancer Estimates in 64-slice Multidetector Computed Tomography," *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 11, No. 4, pp. 244-252, 2011.  
<http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2011.11.4.244>
- [12] A. R. Goldman, Maldjian P. D., "Reducing Radiation Dose in Body CT: A Practical Approach to Optimizing CT Protocols," *American Journal of Roentgenology*, Vol. 200, No. 4, pp. 748-754, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.2214/AJR.12.10330>
- [13] S. W. Kang, Y. H. Jung, T. H. Nam, T. E. Kim, S. A. Gwon, K. H. Min, "A Study on the standard-ization of radiation dose in CT : Standard Dose Abdominal CT," *Korean Society of Computed Tomographic Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 49-57, 2016.
- [14] D. J. Brenner, E. J. Hall, "Computed tomography an increasing source of radiation exposure," *New England Journal of Medicine*, Vol. 357, No. 22, pp. 2277-2284, 2007.  
<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra072149>
- [15] S. W. Yang, H. J. Yang, B. I. Min, "Estimating Radiation Risk Induced by CT Screening for Korean Population," *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 70, No. 4, pp. 406-415, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.3938/jkps.70.406>
- [16] Y. H. Kang, "Comparison of Radiation Doses between 64-slice Single Source and 128-slice Dual Source CT Coronary Angiography in patient," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 6,



No. 2, pp. 129-136, 2012.

<http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2012.6.2.129>

## CT 검사별 노출되는 유효선량과 생애 암 귀속 위험도 평가

조용인,<sup>1</sup> 김정훈<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>동남권원자력의학원 영상의학과

<sup>2</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

### 요 약

국민의 의료수준 향상으로 CT 검사건수는 매년 증가되고 있는 추세이며, 이에 따라 연간 의료 방사선에 의한 피폭선량 또한 증가되고 있다. 이에 본 연구에서는 CT 부위별 검사 시 노출되는 인체의 유효선량을 평가하고, 이로 인한 생애 암 귀속 위험도를 추정하고자 한다. 첫 번째로, CT 진단참고수준 가이드라인에서 제시하는 부위 중 5가지를 선정하였으며, CT 장치를 통해 각 검사 부위별로 노출되는 인체의 유효선량을 평가하였다. 두 번째로, 동일한 조건 내 ALARA-CT 프로그램을 이용하여 인체 장기 및 유효선량을 산정하였으며, 국내 DRL 수준과 비교하여 검사 프로토콜에 대한 적정성을 평가하였다. 세 번째로, CT 검사 시 노출되는 유효선량에 의한 생애 암 귀속 위험도(LAR)을 추정하였다. 그 결과, 검사 중 복부 다중시기 검사 시 21.18 mSv로 가장 높은 유효선량을 나타내었으며, 복부검사를 제외한 나머지 검사에서는 DRL 이하의 선량수준을 나타내었다. 동일한 조건 내 선량계산 프로그램을 이용한 유효선량 평가 결과, 각 검사별로 약 1.1 ~ 1.9배 이상 높은 결과를 나타내었으며, 장기선량의 경우 검사 부위에 근접한 장기일수록 산란선에 의해 높은 영향을 나타내었다. CT 검사 시 성인의 생애 암 귀속 위험도의 경우, 연령이 증가함에 따라 점차적으로 감소되는 양상을 보였으며, 성별에 따라 다소 상이한 결과를 나타내었다.

중심단어: 전산화단층촬영, 유효선량, 선량계산 프로그램, 생애 암 귀속 위험도

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	조용인	동남권원자력의학원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김정훈	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수