

The Dose and Risk Reduction from Adoption of Automatic mA Control in 4D CT Scans

Young Eun Ko*, Hyoungh Uk Je*, Yeon Hwang[†], Sung Ho Park[†]

Departments of *Radiation Oncology, [†]Neurosurgery, Ulsan University Hospital,
University of Ulsan College of Medicine, Ulsan, Korea

In this study, the reduction of dose and risk was evaluated from using automatic mA control in 4D CT scan of patients whose organ movement was considered for gated radiotherapy. The organ doses, CTDI, effective doses from 4D CT with and without using automatic mA control were evaluated using CT-Expo program for each 10 patients of liver and lung cancer, and the risk of exposure induced death and loss of life expectancy were evaluated using PCXMC program. It was founded that there were 26.8%, and 15.5% dose reduction in organ doses and CTDI for liver and lung cancer patients and 16.5% and 19.8% risk reduction in liver and lung cancer patients. The organ doses and effective doses were evaluated for the parameter of each patient used in CT scans, and risks considering age and gender could be evaluated. It was founded that there were 21.2% dose reduction and 18.2% risk reduction in 4D CT scan using AEC for liver and lung cancer patients.

Key Words: 4D-CT, Auto mA Control, CTDI, Effective dose, Risk of exposure induced death, Loss of life expectancy

서 론

CT 사용은 전세계적으로 급격히 증가하고 있으며 지난 15년간 매년 10% 이상 CT 사용이 증가되고 있다.^{1,2)} CT 검사는 영상검사의 약 17%를 차지하고 영상선량의 약 50%를 차지한다.^{1,2)} 따라서 CT 사용시 선량저감에 대한 관심은 매우 높아져 가고 있다. 방사선 치료를 위해 촬영하는 CT는 진단을 위해 사용하는 CT에 비해 일반적으로 선량을 더 사용하게 된다. 이는 치료에 사용하는 CT가 진단에 사용하는 CT보다 일반적으로 bore size가 크기 때문이다. 특히 복부 부위의 방사선 치료시 호흡에 따른 장기의 움직임을 평가한 치료를 계획하기 위해 4차원 CT를 촬영하게 된다. 후

향적 분석 방법을 사용하는 GE사의 4D CT의 경우, 환자의 전 호흡주기를 4~5회 반복 촬영함으로써 일반적으로 촬영하는 방법에 비하여 4~5배의 선량이 환자에게 전달되게 된다. 본 연구에서는 4D CT를 촬영하는 환자에게 자동전류조절기능(Automatic mA control, AEC) 기능을 사용하였을 때 선량저감효과와 방사선위험도감소효과를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 환자

장기 움직임을 측정해 호흡동조방사선치료 여부를 결정하기 위해 4D CT를 촬영한 폐암, 간암 환자 중 AEC 기법 사용 전 후의 환자 10여명을 임의로 선정하였다. AEC 기법 사용 전후의 폐암환자의 평균나이는 64.4세, 68.9세였으며, 간암환자의 평균나이는 66.3세, 61.4세였다(Table 1).

2. 전류 감소량 조사

환자 촬영에 사용한 CT는 GE사의 Lightspeed RT 모델로 16 slice를 동시에 촬영할 수 있으며 한번에 20 mm 영역을 커버한다. 선량감소기법으로 smart addition과 auto mA 기법을 제공하며, 본 연구에서는 AEC 기법을 적용하였다. AEC

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Radiation Safety Foundation (KORSAFe) and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), Republic of Korea (Grant No. 1305033).

Received 9 December 2015, Revised 21 December 2015, Accepted 22 December 2015

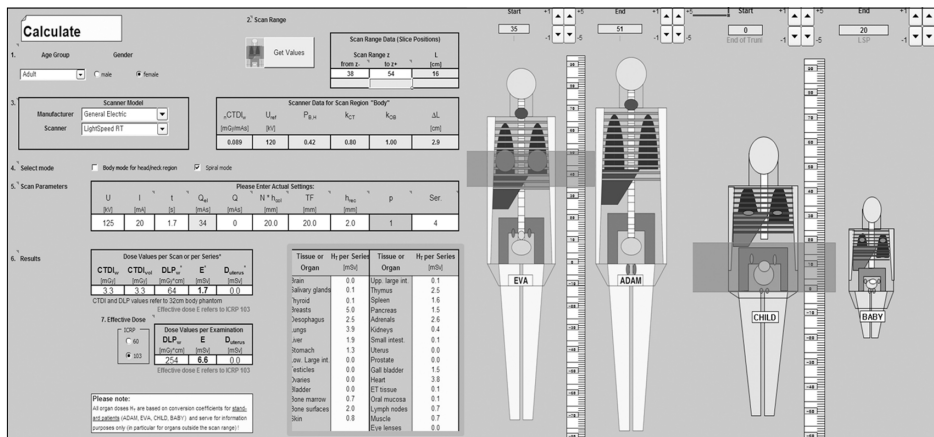
Correspondence: Sung Ho Park (michael@uuh.ulsan.kr)

Tel: 82-52-250-7137, Fax: 82-52-250-7138

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Patient characteristics.

Cancer Site	Liver				Lung			
Adoption of AEC function	No		Yes		No		Yes	
Gender	M	F	M	F	M	F	M	F
No. of Patients	10	10	10	9	9	9	8	9
Mean Age	66.4	66.2	61.7	61.1	68.1	60.8	68.7	69.3


Fig. 1. Screen shot of CT-Expo.

기법은 환자의 두께에 따른 감소 정도에 따라 전류를 조절하는 기법으로 GE 사에서는 Auto mA 3D, Siemens 사에서는 Care Dose 4D로 불린다. mAs와 환자에 부가된 선량이 선형적 비례 관계에 있어 예로 mAs의 50% 감소가 있다면 환자선량의 50% 감소가 있음을 의미한다. 본 연구에서는 AEC 기법 미적용시 촬영 조건과 AEC 기법 적용시 촬영조건을 후향적으로 조사하였다. 촬영시 전압, 회전시간, 촬영 두께는 동일하게 사용하였으며, AEC 기법 사용으로 촬영시 소요된 전류량을 조사하였다.

3. 조직선량, 유효선량 평가

조직선량과 유효선량 계산은 CT-expo 프로그램을 이용하였다.³⁾ CT-Expo는 Nagel이 1999년~2002년 독일에서 개발한 프로그램으로 본 연구에서는 2012년 배포한 V2.1을 사용하였다. CT-Expo는 각 CT 장비에 대하여 조직선량과 유효선량을 계산해 주는 프로그램으로 4가지 인체 모델에 대하여 평가가 가능하다(Fig. 1). 여기서 조직선량과 유효선량은 다음 식과 같이 정의 된다.

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (1)$$

여기서, W_R 은 방사선 가중치이고 $D_{T,R}$ 은 방사선 R에 의한 조직 T의 흡수선량이다.

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (2)$$

여기서, W_T 은 조직 가중치이다.

CT-Expo가 보유하고 있는 성인 팬텀으로는 Adam과 Eva, 그리고 소아, 유아 팬텀을 선택할 수 있다. CT 종류와 촬영 범위를 입력하면 이에 따른 CTDI와 DLP, 조직선량과 ICRP 60⁴⁾ 및 ICRP 103⁵⁾의 조직가중치를 적용한 유효선량을 계산해 준다. 4D CT를 촬영한 폐암, 간암환자 각각에 대한 촬영 데이터를 CT-Expo에 입력하여 개개 환자에 대한 조직선량과 유효선량을 계산하였다.

4. 방사선 위험, 수명손실 평가

방사선 위험 및 수명손실은 STUK사에서 제작한 PCXMC 프로그램을 사용하여 평가하였다.⁶⁾ PCXMC에서는 X-ray 촬영에 의한 29개의 조직선량을 계산해주는 모듈과 계산된 조직선량으로부터 ICRP 60⁴⁾ 또는 ICRP 103의⁵⁾ 조직가중치를 적용하여 유효선량을 계산해주는 모듈, 그리고 BEIR VII 모델⁷⁾에 의해 방사선 위험을 평가해주는 모듈로 구성

되어 있다(Fig. 2). 본 연구에서는 이 중 방사선 위험을 평가해 주는 모듈을 이용하였다. 각 환자의 나이, 성별, 인종(아시안)과 CT-Expo로 평가한 개개인의 조직선량을 입력하여 그 환자의 CT 촬영에 의한 방사선 위험과 수명손실을 계산하였다.

나이 t 에서 정의되는 고형암에서 상대초과위험과 절대위험은 다음과 같다.

$$ERR(t,e,D) \text{ or } EAR(t,e,D) = \beta_s D \exp(\gamma e^*) (t/60a)^\eta \quad (3)$$

여기서, e 는 방사선 조사 연령이고, 30세 미만에서 $e^*=(e-30)/10$ 이고, 유방암과 갑상선암을 제외한 30세 이상에서 $e^*=0$ 이다. 유방암과 갑상선암의 경우 $e^*=(e-30)/10$ 이다. β_s , γ , η 는 모델에 맞춘 인자이다.

그리고 백혈병 모델에서는 ERR또는 EAR은 다음 식으로 표현 가능하다.

$$ERR(t,e,D) \text{ or } EAR(t,e,D) = \beta_s D(1 + \theta D) \cdot \exp[\gamma e^* + \delta \log((t-e)/25a) + \varphi e^* \log((t-e)/25a)] \quad (4)$$

여기서, $t-e$ 는 방사선 조사 후 지난 시간이고, θ , δ , φ 는 맞춤인자이다.

PCXMC에서 사용하는 위험도는 REID와 LLE로 Thomas

가 1992년 제안한 식⁸⁾으로 REID는,

$$REID_c(e,D) = \int_{\tau}^{\infty} [\mu_c(t|e,D) - \mu_c(t)] S(t|e,D) dt \quad (5)$$

여기서, $\mu_c(t|e,D)$ 는 원인 c 에 의해 나이 t 일 때 사망률로 다음과 같이 상대위험모델 또는 절대위험모델로 계산할 수 있다.

$$\mu_c(t|e,D) = [1 + ERR_c(t,e,D)] \mu_c(t) \quad (6)$$

$$\mu_c(t|e,D) = EAR_c(t,e,D) + \mu_c(t) \quad (7)$$

PMXMC에서 사용하는 LLE는 다음과 같다.

$$LLE(e,D) = \int_{\tau}^{\infty} S(t|e) dt - \int_{\tau}^{\infty} S(t|e,D) dt \quad (8)$$

여기서 $S(t|e,D)$ 는 나이 e 에서 방사선 피폭되었을 때 나이 t 에서 생존률로 다음과 같다.

$$S(t|e,D) = \exp \left[- \int_e^t \mu(x|e,D) dx \right] \quad (9)$$

여기서 $\mu(x|e,D)$ 는 모든 원인으로 인한 사망률이다.

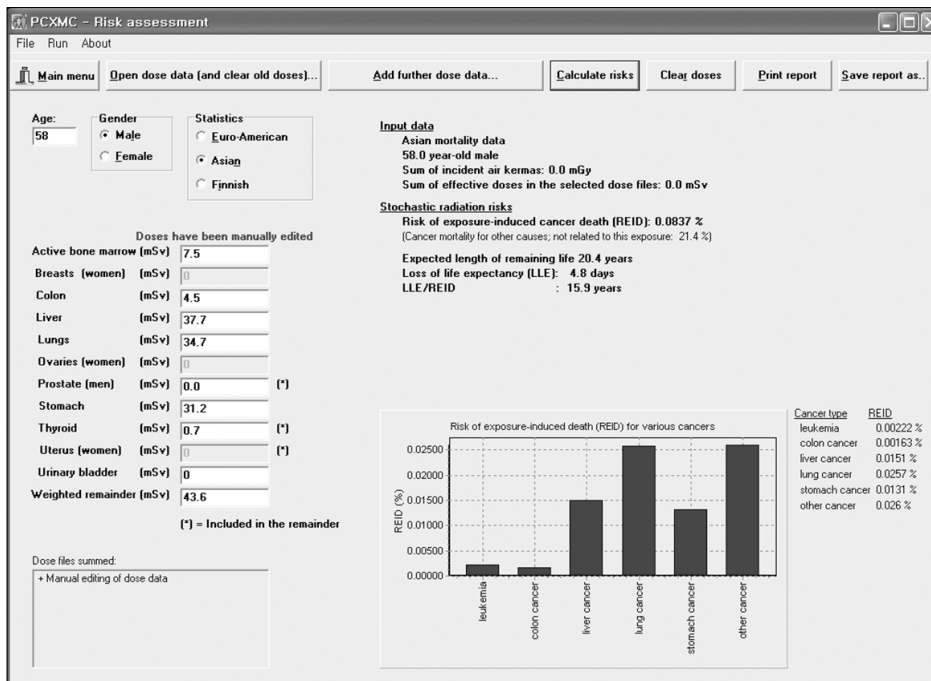


Fig. 2. Screen shot risk assessment module of PCXMC.

결 과

1. 전류 감소

간암환자에서 AEC 기법 사용 전후의 사용 전류량은 24.6 mAs, 18.1 mAs로 26.35% 감소가 있었으며, 폐암환자의 경우 23.7 mAs, 19.8 mAs로 16.4%의 감소가 있었다.

2. 조직선량, 유효선량, CTDI 감소

간암환자에서 4D CT 촬영에 따른 AEC 사용 전후와 남녀의 조직선량 계산 값을 Fig. 3에 나타내었다. 간암환자의 경우 간, 폐, 위가 높은 선량을 나타내고 있었고, AEC 기능 사용 전후에, 남성의 경우 간, 폐, 위에 대하여 각각 26.8%, 35.0%, 26.8%의 감소가 있었으며, 여성의 경우 간, 폐, 위에 대하여 각각 25.0%, 31.6%, 24.3%의 감소가 있었다. 조직선량 전체 평균에 대하여 남녀에 있어 각각 25.9%, 27.7%의 선량 감소가 있었다. CTDI선량에 대하여 남녀에 대하여

25.9%, 27.7% 감소가 있었으며, 유효선량은 25.4%, 31.3% 감소가 있었다(Table 2).

폐암환자의 경우 폐, 갑상선이 높은 선량을 나타내고 있었고, AEC 기능 사용 전후에, 남성의 경우 폐, 갑상선에 대하여 17.3%, 23.9%의 선량 감소가 있었으며, 여성의 경우 11.1%, 22.6%의 선량감소가 있었다(Fig. 4). 조직선량 전체에 대하여 남녀에 있어 각각 17.3% 13.6%의 선량감소가 있었다. CTDI선량은 남녀에 대하여 17.3%, 13.6% 감소가 있었으며, 유효선량은 17.4%, 4.4% 감소가 있었다(Table 2).

3. 방사선 위험, 수명손실 감소

방사선 위험은 방사선조사에 의한 사망률로 평가하였으며, 간암환자의 경우 남성의 경우 17.9%의 사망률 감소가 여성의 경우 15.4%의 사망률 감소가 있었다. 폐암환자의 경우 남성에서 20.0%, 여성에서 12.8%의 사망률 감소가 있었다. 4D CT 촬영에 의한 수명손실은 간암환자에서 6.2%로, 0.8% 감소했으며, 폐암환자의 경우 31.9%, 40.2% 감소했다.

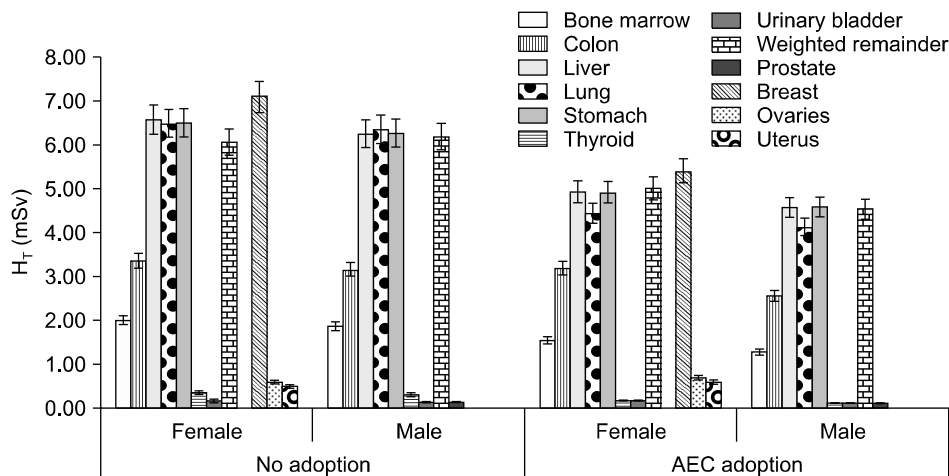


Fig. 3. Calculated organ doses from 4D CT scan for Liver cancer patients.

Table 2. Calculated organ doses, CTDI, effective doses, REIDs and LLEs from 4D CT of liver and lung cancer patients.

Cancer Site	Liver				Lung			
Adoption of AEC function	No		Yes		No		Yes	
Gender	M	F	M	F	M	F	M	F
Mean Organ Dose, mSv	3.4	3.6	2.44	2.82	2.77	3.44	2.29	3.05
Mean CTDI, mGy	4.66	4.76	3.46	3.44	4.37	4.73	3.61	4.09
Mean Effective Dose, mSv	2.96	4.02	2.03	3.0	2.49	3.56	2.06	3.4
Mean REID, %	0.0120	0.0165	0.0100	0.0140	0.0075	0.0141	0.0060	0.0123
Mean LLE, hr	13.5	21	12.6	21.2	8.2	22.2	5.6	13.2

CTDI: Computed Tomography Dose Index, REID: Risk of Exposure Induced cancer Death, LLE: Loss of Life Expectancy.

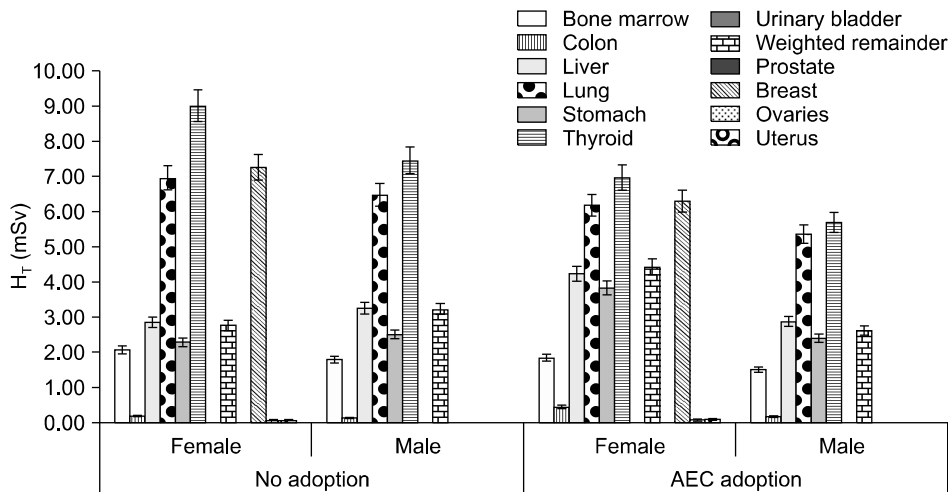


Fig. 4. Calculated organ doses from 4D CT scan for Lung cancer patients.

토 의

CT 장비의 선량저감 기법은 촬영 조건을 변경하여 CTDI를 낮추는 기법들로는 인가전압을 낮추는 방법, 인가전류를 낮추는 방법, Noise를 증가시키는 방법, 회전속도를 증가시키는 방법, Pitch를 늘리는 방법, 빔 콜리메이션을 줄이는 방법들이 연구 되어져 왔다. 이번 연구에서 적용한 기법은 인가전류를 인체 두께에 따라 자동으로 변화시키는 기능인 AEC 기법을 적용하여 선량저감을 평가한 연구이다. 흉부 촬영시 AEC 기능을 사용하게 되면 영상의 질 저하 없이 10~30%의 선량감소를 얻을 수 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는 GE 사의 장비를 이용하였는데, Siemens 장비의 AEC 기능인 CareDose 4D 기능을 이용해 2,200명의 환자에 대하여 McCollough가 연구한 결과 모든 레벨에서 21%의 선량감소가 평가되었으며, 부위별로 upper lung의 경우 29.7%, 유방의 경우 54.8%, 간스캔의 경우 13.2%, Pelvis의 경우 23.2%의 선량감소가 있는 것으로 평가되었다.⁹⁾

본 연구는 개별환자의 촬영 데이터를 직접 이용하여 조직선량, 유효선량을 평가하였다는 특징이 있으며, 환자의 나이와 성별 인종을 개별로 적용하였다는데 의의가 있다. 그러나 CT-Expo가 환자의 키, 몸무게 등을 고려하지 못하기 때문에 조직선량 평가의 한계가 있다는 연구의 단점이 있기는 하지만 남녀 팬텀을 사용함으로써 개개의 차이를 모두 고려하지는 못하지만 성별의 차이를 평균적으로 고려할 수 있었다.

결 론

본 연구를 통해 CT 촬영 인자를 개개 환자에 적용함으

로 조직선량, 유효선량을 평가할 수 있었으며, 나이 및 성별을 고려한 위험인자를 평가할 수 있었다. 선량감소기법으로 제공되는 자동전류조절기능을 사용함으로 간암 및 폐암환자의 경우 21.2%의 선량감소와 18.2%의 위험도 감소가 있음을 확인하였다.

References

1. Mettler FA, Jr., Bhargavan M, Faulkner K, et al.: Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources--1950-2007. *Radiology* 253(2):520-531 (2009)
2. Measurements NCoRPa: Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. Report No. 160 (2009)
3. Stamm G, Nagel HD: [CT-expo--a novel program for dose evaluation in CT]. *Rofo* 174(12):1570-1576 (2002)
4. ICRP: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. . Ann. ICRP 21 (1-3) (1991)
5. ICRP: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). (2007)
6. Tapiovaara M S: PCXMC - A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations (2nd Ed.). STUK-A 231(STUK-A 231) (2008.)
7. Council NR: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2 (2006)
8. Thomas D, Darby S, Fagnani F, Hubert P, Vaeth M, Weiss K: Definition and estimation of lifetime detriment from radiation exposures: principles and methods. *Health Phys* 63(3): 259-272 (1992)
9. McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM, Jr.: CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. *Radiographics* 26(2):503-512 (2006)

자동전류조절기능을 사용한 4D CT 촬영시 선량 및 위험도 저감 효과

울산대학교 의과대학 울산대학교병원 *방사선종양학교실, †신경외과학교실

고영은* · 제형욱* · 황 연[†] · 박성호[†]

본 연구는 호흡에 따른 장기의 움직임을 고려하는 치료를 계획하는 4D CT를 촬영하는 환자에게 자동전류조절기능을 사용함에 따른 선량 및 위험도 감소를 평가하고자 하였다. 자동전류조절기능을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대하여 간암, 폐암 환자 남녀 각 10명씩에 대하여 4D CT 촬영시 조직선량, CTDI 선량, 유효선량을 CT-Expo 프로그램을 이용하여 개개 환자를 평가하였고, 방사선유발사망확률과 수명손실을 PCXMC 프로그램을 이용하여 평가하였다. 조직선량, CTDI 선량의 경우 간암, 폐암 환자의 경우 26.8%, 15.5%의 선량감소가 확인되었고, 방사선유발사망확률과 수명 손실은 간암, 폐암 환자의 경우 16.5%, 19.8%의 위험도 감소를 확인하였다. 본 연구를 통해 CT 촬영 인자를 개개 환자에 적용함으로써 조직선량, 유효선량을 평가할 수 있었으며, 나이 및 성별을 고려한 위험인자를 평가할 수 있었다. 선량감소기법으로 제공되는 자동전류조절기능을 사용함으로 간암 및 폐암환자의 경우 21.2%의 선량감소와 18.2%의 위험도 감소가 있음을 확인하였다.

중심단어: 4D-CT, 자동전류조절기능, CTDI, 유효선량, 방사선유발사망확률, 수명손실