

Evaluation of Absorbed Dose and Skin Dose with MDCT Using Ionization Chamber and TLD

Kyung Soo Jeon*, Young Kee Oh*, Jong Geun Baek*[†], Ok Bae Kim*,
Jin Hee Kim*, Tae Jin Choi[†], Dong Hyeok Jeong[§], Jeong Kee Kim[§]

Departments of *Radiation Oncology, [†]Biomedical Engineering, College of Medicine, Keimyung University, Daegu, [†]Department of Physics, College of Science, Yeungnam University, Kyongsan, [§]Research Center, Dongnam Inst. Radiological and Medical Sciences, Busan, Korea

Recently, the uses of Multi-Detector Computed Tomography (MDCT) for radiation treatment simulation and planning which is used for intensity modulated radiation therapy with high technique are increasing. Because of the increasing uses of MDCT, additional doses are also increasing. The objective of this study is to evaluate the absorbed dose of body and skin undergoing in MDCT scans. In this study, the exposed dose at the surface and the center of the cylindrical water phantom was measured using an pencil ionization chamber, 30 cc ionization chamber and TL Powder. The results of MDCT were 31.84 mGy, 33.58 mGy and 32.73 mGy respectively. The absorbed dose at the surface showed that the TL reading value was 33.92 mGy from MDCT. These results showed that the surface dose was about 3.5% from the MDCT exposure higher than a dose which is located at the center of the phantom. These results mean that the total exposed dose undergoing MDCT 4 times (diagnostic, radiation therapy planning, follow-up et al.), is about 14 cGy, and have to be considered significantly to reduce the exposed dose from CT scan.

Key Words: MDCT, CTDI, Pencil ion chamber, 30 cc ion-chamber, TLD

서 론

1990년대 후반 상용화된 Multi Detector Computed Tomography (MDCT)는 종축 해상도의 증가를 통해 기존 CT 영상의 질을 향상시키고, 검사시간을 크게 단축시킬 수 있는 장점이 있다.¹⁾ 그러나 MDCT 영상의 질이 향상되기 위해서는, 기본적으로 슬라이스 두께가 얇고, 많은 수를 필요로 한다. 그에 따라 MDCT 촬영으로 인한 환자의 방사선 피폭 선량이 증가하게 된다.^{2,3)}

또한, 최근 진단용 CT 촬영뿐만 아니라 방사선 치료 계획 목적의 CT 사용 또한 보편화됨에 따라 CT 촬영에 의해 환자가 받는 방사선선량(환자피폭선량)에 관한 연구들이

국내·외에서 많이 이루어지고 있다.⁴⁻¹⁰⁾ 이러한 연구들의 결과, 그 동안 간과되었던 환자 피폭선량에 대한 인식이 새롭게 바뀌었으며, 그에 따라 환자피폭선량 기준 설정에 대한 기초 데이터가 많이 제시 되고 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 근래에는 세기 조절 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)와 같은 고정밀 방사선치료의 발전과 함께 두·경부 환자의 진단 및 치료계획 그리고 추적관찰을 목적으로 한 CT 촬영 횟수가 크게 증가하고 있다. 따라서 CT 촬영으로 인한 체표면 및 중심부의 흡수선량의 평가가 요구되었고 국제적으로 CTDI (Computed Tomography Dose Index) 선량 측정법을 개발하였고, 이를 바탕으로 유효선량을 계산하는 방법들이 제시되고 있는 바, 본 연구에서는 두·경부용 물 팬텀(cylindrical water phantom)을 자체 제작하여, 연필형 이온 전리함 및 30 cc 이온 전리함 그리고 열형광 선량계 (Thermoluminescent Dosimetry, TLD) 측정법을 이용하여 흡수선량 및 체표면 선량을 평가하고자 한다.

이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 동남권원자력의 학원의 지원을 받아 수행된 연구임(동남권원자력의학원 과제번호: 50497-2012).

이 논문은 2012년 6월 8일 접수하여 2013년 3월 4일 채택되었음.

책임저자 : 오영기, (700-712) 대구시 중구 동산동 194

계명대학교 동산의료원 방사선종양학과

Tel: 053)250-7683, Fax: 053)250-7984

E-mail: ykoh@dsmc.or.kr

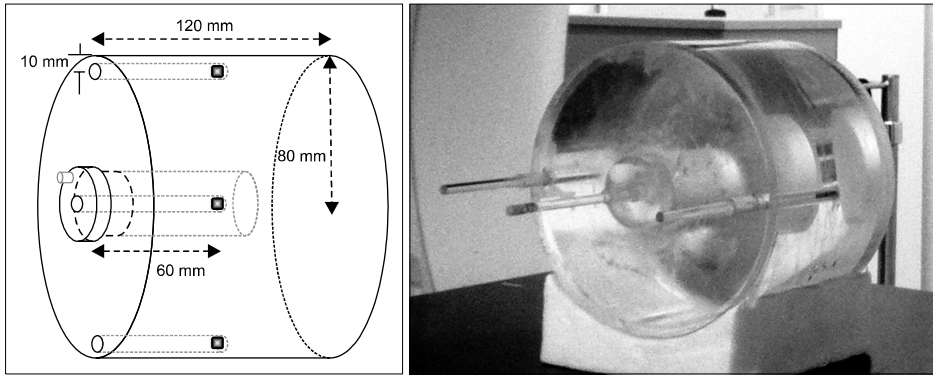


Fig. 1. Schematics and photograph of cylindrical water phantom.

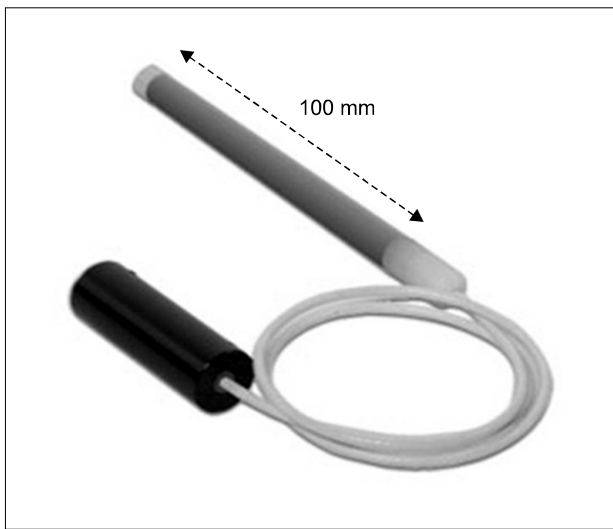


Fig. 2. Pencil ionization chamber.

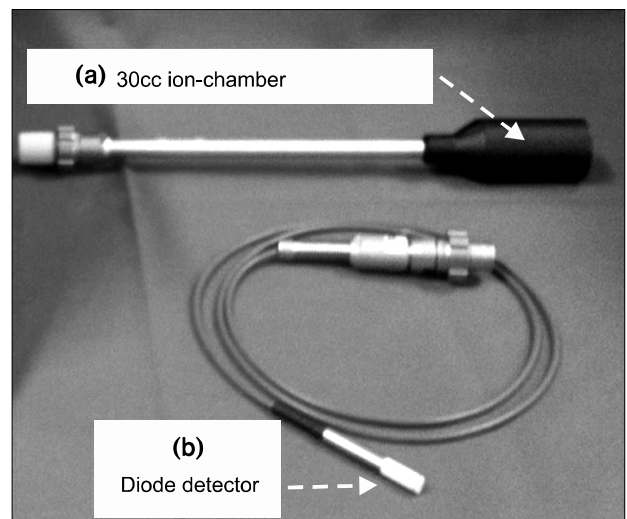


Fig. 3. (a) 30 cc cylindrical ionization chamber. (b) Diode detector.

대상 및 방법

1. 장비 및 재료

본 연구에 사용된 MDCT 장비는 Somatom Emotion 6 (Siemens, Germany)이며, 방사선량 측정을 위해 두·경부용 CTDI측정에 주로 사용되는 규격인 외경 160 mm, 길이 120 mm, 의 투명 원통 플라스틱에 인체 등가 물질인 물을 채워 원형 물팬텀을 Fig. 1과 같이 자체 제작하였으며, 심부선량을 측정하기 위하여 팬텀의 중심부에 30 cc 원통형 전리함을 삽입할 수 있도록 외경 38 mm, 내경 33 mm, 길이 90 mm의 파이프를 고정하였고 외경 5 mm×22 mm, 내경 3 mm×13 mm의 TLD 캡슐을 외경 8 mm, 내경 6 mm의 파이프에 삽입할 수 있도록 직경 38 mm의 캡의 중심부에 외경 10 mm, 내경 9 mm, 길이 70 mm의 파이프를 삽입하여 고

정시켰고, 체표면 선량을 측정하기 위하여 팬텀의 표면에서 10 mm 지점에 외경 8 mm, 내경 6 mm, 길이 70 mm의 파이프를 고정시켜 TLD 캡슐을 삽입할 수 있도록 제작하였다. CT 선량측정은 TLD로 하였으며 비교를 위해 Fig. 2와 같이 CTDI 측정¹¹⁾에 사용되는 길이 100 mm의 연필형 이온 전리함(Unifors Xi CT Dectector, Germany)과 30 cc 원통형 이온 전리함 Fig. 3a (TM23361-0597, PTW, Germany)을 사용하였다. 추가적으로, 단일 빔 프로필을 측정하기 위하여 Fig. 3b 같은 면적 1 mm²와 두께 2.5 μm의 측정 볼륨을 가지는 디스크 형태의 다이오드 검출기(TM60008-0115, PTW, Germany)를 사용하였고, 전위계로는 2 pC에서부터 65 mC까지의 측정 범위를 가진 UNIDOS (PTW, Germany)를 사용하였다.

체표면 및 중심부 선량 비교를 위해 사용된 열형광선량계(TLD)의 소자는 LiF에 미량의 마그네슘과 구리 및 인을

화학적 불순물로 첨가하여 조성시킨 200 mesh (~0.05 mm)의 분말체로 만든 LiF:Mg,Cu,P를 이용하였으며, 판독기는 수동 방식인 LTM (LTM Co., France)이다. LiF:Mg,Cu,P를 넣은 캡슐의 재질은 합성수지이며, 판독은 열형광 glow 곡선의 면적을 적분하여 선량관계의 함수를 실험적으로 구하고 조사선량을 평가하였다.

2. MDCT의 팬빔 프로파일 측정 및 선량 측정

MDCT에서 콜리메이션 2 mm, 빔 두께가 12 mm인 단일 빔의 프로필을 알아보기 위하여 관전압 130 kV, 관전류 23 mAs의 조건에서 다이오드 검출기를 두·경부용 원형 물팬텀의 중심부에 고정하고 물팬텀을 1 mm 간격으로 80 mm 까지 이동하여 전위계로 출력을 측정하였고 이 팬빔의 나선형 스캔으로 인해 팬빔내에서 중첩이나 간극이 벌어지는 현상이 있는지를 확인하기 위해 X-V mart 필름을 사용하여 이온 전리함 및 TLD 캡슐이 위치하는 부위인 CT 회전축 중심부에 필름을 위치시켜 Pitch 1.0으로 스캔하였다.

또한 MDCT의 선량측정을 위하여 CT 촬영 시 일반적으로 사용하는 두·경부 모드에서 콜리메이션 2 mm, 슬라이스 두께 5 mm, 관전압 130 kV 관전류 140 mAs, 피치 1.0 스캔거리 100 mm로 갠트리의 중심부에 팬빔을 위치시켜 전리함을 조사하였고, 동일한 조건으로 선량측정 전에 완전히 열처리한 TL 분말을 삽입한 TL 캡슐을 팬빔의 중심부 80 mm 지점과 좌우 표면에서 10 mm 지점에 고정하여 조사하였다. 이 조사된 TL 분말을 다음날 각각의 출력 선량에 대하여 5회 나누어 전자저울(Automatic - Electrobalance, USA)을 이용하여 3~3.5 mmg으로 계량하고 TL 판독기를 사용하여 출력선량을 평가하였다.

3. 선량 계산 방법 및 평가 방법

CTDI는 고정된 침상 위치에서 한 회전에 대해 회전축(z)에 평행한 선을 따라 선량분포 D(z)를 적분한 값을 X선 빔의 절편 두께(T)로 나눈 몫으로 정의¹¹⁾되며, 연필형 전리함을 사용하여 측정된 실제 선량¹²⁾으로 미국 식품의약청(21 CFR 1020-33) 프로토콜에서 채택한 CTDI_{14T}는 균일한 아크릴 재질의 160 mm 원통형 두·경부 팬텀을 사용하여 팬텀의 중앙부와 표면에서 10 mm 길이의 흡수선량을 측정한다. CTDI_{14T}는 CTDI_{FDA}라고도 불린다. 절편 두께의 14배에 해당되는 길이의 적분 값을 취하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$CTDI_{FDA} = \frac{1}{NT} \int_{-7T}^{+7T} D_{single}(z) dz$$

여기서 N은 각 스캔에서 얻어지는 단면 수(데이터 채널 수)이며, T는 각 단면의 공칭 폭(scan thickness)이다. 그러므로 NT는 획득에 사용되는 X-선 빔의 폭이 된다.

CTDI₁₀₀은 CTDI_{14T}의 제한점을 극복하기 위해 개발된 CT 선량지표이다.¹²⁾ 얇은 절편 두께에서 발생하는 산란선을 포함하기 위해서 적분 값을 적용하는 범위가 14개의 슬라이스 폭에서 100 mm 로 변환되어 사용되며 아래 식으로 표현된다.

$$CTDI_{100} = \frac{1}{NT} \int_{-50\text{ mm}}^{+50\text{ mm}} D_{single}(z) dz$$

또한 계산시 공기에서 조사선량을 흡수선량으로 변환시키는 변환계수인 0.87 cGy/R이 적용된다. 두·경부 물팬텀의 중심부 80 mm 지점의 흡수선량은 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$D = M \times \left(\frac{L}{\rho} \right)_{\frac{H_2O}{air}} \times C_{TP} \times N_K \times K_Q (cGy)$$

여기서 M은 전위계 측정값이고, (L/ρ)_{H₂O/air}는 물-공기 저지능비로써 1.16이며 C_{TP}는 온도 기압 보정계수이다. N_K, K_Q는 이온 전리함의 교정 계수 및 에너지 보정계수로서 각각 9.208×10⁵ Gy/C, 0.99이다.

결 과

고정된 130 kV 에너지의 출력 선량 변화에 따른 LiF:Mg,Cu,P TLD 분말의 판독 결과와 이온 전리함에서 측정된 출력을 비교한 결과는 Fig. 4에서 나타나듯 일반적으로 알려

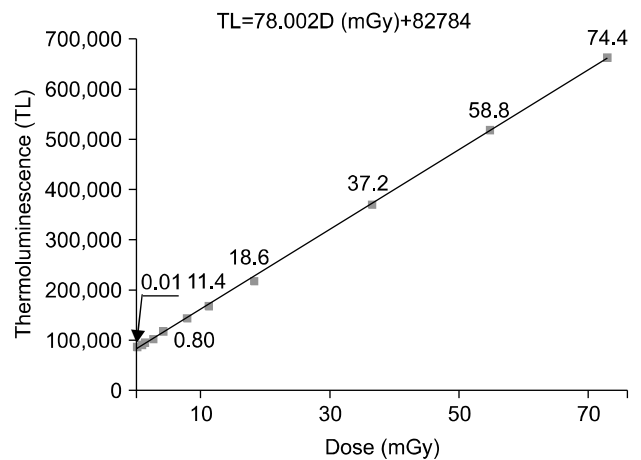


Fig. 4. Thermoluminescence (TL) as a function of absorbed dose in mGy.

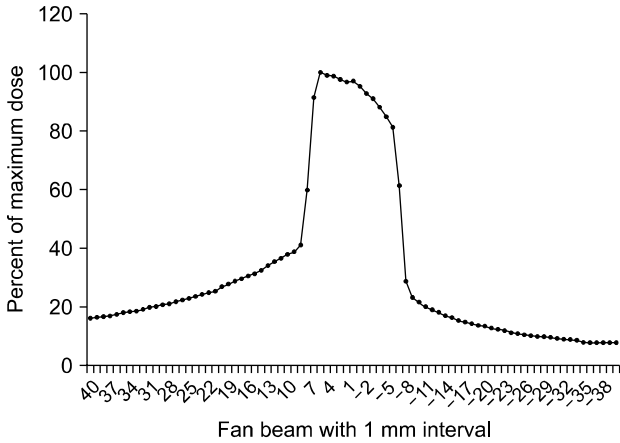


Fig. 5. Fan beam profile of CT with 2 mm-collimator and 130 kVp-peak voltage.

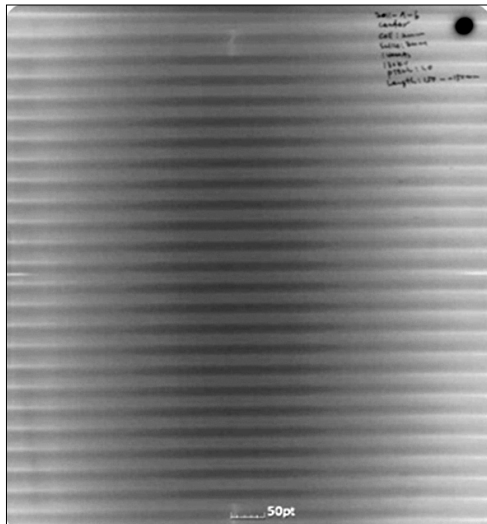


Fig. 6. Fan beam film scan with 130 kVp, Collimation 2 mm, pitch 1.0.

진 바와 같이 선형성을 나타내었다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 TLD 법이 정량적인 선량을 평가하는데 적합하다고 판단하였으며, 또한 최 등¹³⁾의 연구결과와 유사함도 확인하였다. 이에 본 연구에서는 30 cc 원통형 이온전리함으로 흡수선량을 평가한 위치 및 전리함의 반경으로 인해 이온 전리함으로 측정하기 힘든 표면 10 mm 부위의 흡수선량을 측정하기 위하여 TLD를 사용할 수 있을 것으로 판단하였다. Fig. 5는 MDCT의 콜리메이션 2 mm의 단일 빔의 프로필을 1 mm 간격으로 80 mm를 측정된 결과이다. 회전축의 중심부에서 빔의 폭은 12 mm 이었으며 선량의 분포는 80~100%로 확인하였으며, 빔의 출력은 +Y축 방향

Table 1. Comparison for the absorbed doses of MDCT (center and 10 mm depth in the cylindrical water phantom of 80 mm radius).

| | Pencil ion chamber | 30 cc ion chamber | TLD |
|-------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Center | 31.83 mGy | 33.58 mGy | 32.73±0.69 mGy |
| 10 mm depth | | | 33.92±0.65 mGy |

의 선량이 다소 높게 나타났다. Fig. 6는 이온 전리함 및 TLD 캡슐이 위치하는 부위의 선량분포를 알아보기 위하여 CT 회전축 중심부에서 필름을 위치시켜 Pitch 1.0으로 나선형 스캔을 한 결과이다.

두·경부 환자의 MDCT 촬영 조건인 관전압 130 kV, 140 mAs에서의 측정값은 전위계의 측정범위를 초과하여 관전류를 70 mAs로 낮추어 2회 측정하여 합산하였다. MDCT의 전위계 측정값은 15.60×2 nC, 5.45 nC이었고 온도, 기압 보정 계수는 1.018이었다. Table 1은 MDCT의 연필형 이온 전리함 및 원통형 30 cc 이온 전리함의 선량측정 값과 TLD를 이용한 선량 측정결과이다. MDCT의 흡수선량 환산값은 연필형 이온 전리함의 경우 31.83 mGy이고 원통형 30 cc 이온 전리함의 경우 33.58 mGy이었다. 또한 TLD를 이용하여 측정한 결과는 표면 10 mm 지점에서 33.92±0.65 mGy 이었으며, 중심부 80 mm 지점에서는 32.73±0.69 mGy 결과를 얻었다.

고찰 및 결론

MDCT의 방사선량 측정을 위해 두·경부용 인체 등가 원형 물팬텀을 자체 제작하여, 연필형 이온 전리함 과 원통형 30 cc 이온 전리함 그리고 TLD 선량측정법을 사용하여 두·경부 환자의 중심부 및 체표면 피폭 선량에 대해서 평가하였다.

MDCT에서 나선형 스캔으로 선량의 정확한 분포를 평가하기 위한 필름조사에서는 중심부에서 일부 중첩된 부분이 있으나 실제 다이오드 검출기로 측정된 결과 선량의 차이는 3% 정도로 큰 영향을 끼치지 않았으며, 가장자리에서 간극이 생기는 것은 빔의 기하학적인 특성으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다

이온 전리함과 LiF:Mg,Cu,P TLD 분말의 선량 평가 비교에서 각각 측정한 선량이 서로 비례함을 확인하였고, 일정한 오차 범위 내에서 TLD 분말체가 선량 평가에 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다. MDCT 흡수선량 평가에서

물팬텀의 중심부에서의 연필형 이온 전리함 및 원통형 30 cc 이온 전리함 과 LiF:Mg,Cu,P TLD 분말의 선량평가는 각각 31.88 mGy, 33.58 mGy, 32.73 mGy로 TLD의 흡수 선량은 이온전리함으로 구한 흡수선량과 오차범위 내에서 일치하고 있음을 알 수 있었다. 체표면 선량측정인 표면 10 mm에서의 TLD 선량 평가는 33.92 mGy로서 중심부보다 3.5% 높게 평가되었다. 이 결과는 진단용 MDCT의 경우 kV의 낮은 에너지를 사용하기 때문에 깊이에 따른 감쇄가 크게 일어나 환자가 받는 선량이 중심부보다 표면부에서 크다는 것을 확인할 수 있었다. 120 kVp 및 140 kVp의 고정된 관전압을 사용한 다른 연구에서는 중심부에서의 흡수 선량이 각각 29.56 mGy, 44.33 mGy로서, 본 연구에서 사용된 130 kVp에서 측정된 흡수선량이 그 사이 값을 가지는 결과를 알 수 있었고 에너지 선형성을 만족하는 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이러한 흡수선량은 두·경부 환자가 최초 진단을 위한 CT 부터 치료계획 및 추적관찰을 목적으로 한 CT촬영까지 4회의 CT촬영을 할 경우 이로 인한 피폭 선량이 약 14 cGy임을 알 수 있었다. 따라서 방사선 치료를 위한 CT 촬영으로 인한 환자의 피폭이 적지않음을 확인하였고 가능한 한 피폭을 줄이려는 노력을 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Hu H, He HD, Foley WD, Fox SH: Four Multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology* 215:55-62 (2000)
2. Dawson P: Patient dose in multi-slice CT: Why is it increasing and does it matter? *Br J Radiol* 77:S10-S13 (2004)
3. Yates SJ, Pike LC, Goldstone KE: Effect of multi-slice scanners on patient dose from routine CT examinations in East Anglia. *Br J Radiol* 77:472-478 (2004)
4. Kwon SO, Dong KR, Kweon DC, et al: Estimate of Radiation Doses in MDCT Using Patient Weight. *Korean J Med Phys* 21(3):246-252 (2010)
5. 김상연, 한진우, 박인우: Cone Beam CT와 일반 CT의 흡수선량 및 유효선량 비교평가. *대한구강안면방사선학회지* 38:7-15 (2008)
6. Seoung YH, Kim YO, Choe BY: Reducing of craniofacial radiation dose using automatic exposure control technique in the 64 multi-detector computed tomography. *Korean J Med Phys* 21(2):137-144 (2010)
7. Lee CL, Kim HJ, Jeon SS, et al: Comparison radiation dose in the measurement of mdct radiation dose according to correction of temperatures and pressure, and calibration of ionization chamber. *Korean J Med Phys* 19(1):49-55 (2008)
8. 김문찬, 임종석, 박형로, 김유현: 컴퓨터 단층 촬영시 환자 피폭 선량에 관한 연구. *방사선 기술과학* 27:21-27 (2007)
9. 윤재혁, 이광원, 조영기 등: 두경부(Head & Neck) CT 검사 시 장치의 유효선량 측정. *방사선기술과학* 34(2):105-116 (2011)
10. Scaf G, Lurie AG, Moisie KM, et al: Dosimetry and cost of imaging osseointegrated implants with film-based and computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 83:41-48 (1997)
11. Task Group No.66: *Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process*, AAPM Radiation Therapy Committee, USA (2003)
12. Zhou H, Boone JM: Monte Carlo evaluation of CTDI_∞ in infinitely long cylinders of water, polystyrene and PMMA with diameters from 10 mm to 500 mm. *Med Phys* 35:2424-2431 (2008)
13. 최태진, 이호준, 예지원 등: LiF:Mg,Cu,P 열형광선량계의 선량특성을 이용한 눈가림법에 의한 출력선량 평가. *의학물리* 20(4):308-316 (2009)

이온 전리함 및 TLD 법을 이용한 Multi-Detector Computed Tomography의 흡수선량 및 체표면 선량 평가

계명대학교 의과대학 *방사선종양학과, †의공학과, ‡영남대학교 물리학과, §동남권원자력의학원

전경수* · 오영기* · 백종근*[†] · 김옥배* · 김진희* · 최태진[†] · 정동혁[§] · 김정기[§]

최근 세기조절 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)와 같은 고 정밀 방사선 치료의 발전과 함께 두·경부 환자의 진단 및 치료 계획 그리고 추적관찰(follow-up)을 목적으로 한 CT 촬영 횟수가 크게 증가하고 있다. 이러한 CT 촬영의 증가와 MDCT와 같은 CT의 발전과 한 검사로 받는 피폭 선량이 상대적으로 다른 검사에 비하여 월등히 크기 때문에 환자 피폭 선량의 정확한 선량 평가가 요구된다. 본 연구에서는 두·경부용 물팬텀(cylindrical water phantom)을 자체 제작하여, 연필형 이온 전리함 및 30 cc 이온 전리함 그리고 LiF:Mg,Cu,P TL 분말을 사용한 열형광 선량 측정법(Thermoluminescent Dosimetry, TLD)을 이용하여 Multi Detector Computed Tomography, MDCT의 흡수 선량 및 체표면 선량을 비교 평가하였다. MDCT의 슬라이스 폭의 일정한 선량 균일성을 확인하기 위하여 콜리메이션 2 mm 단일 빔의 프로필을 1 mm 간격으로 80 mm 측정된 결과 빔의 폭이 12 mm이고 선량 분포는 80~100%로 빔의 출력은 +Y 방향으로 높게 나타났다. 물팬텀의 중심부에서 연필형 이온 전리함 및 30 cc 이온 전리함과 TLD의 흡수 선량은 각각 31.83 mGy, 33.58 mGy, 32.73 mGy로 TLD의 흡수 선량은 이온전리함으로 구한 흡수선량과 오차범위 내에서 일치하고 있음을 알 수 있었다. 체표면 10 mm 깊이에서의 TLD 선량은 33.92 mGy로 중심부보다 약 3.5% 높게 평가 되었다. 이러한 흡수선량은 두·경부 환자가 최초 진단을 위한 CT 촬영으로부터 치료계획 및 추적관찰을 목적으로 한 CT촬영까지 4회의 CT촬영을 할 경우, 이로 인한 피폭 선량이 약 14 cGy임을 알 수 있었다. 따라서 방사선치료를 위한 CT 촬영으로 인한 환자의 피폭이 적지않음을 확인하였고 가능한 한 피폭을 줄이려는 노력을 기울여야 할 것이다.

중심단어: 다채널 CT, CT선량지수, 연필형 이온전리함, 30 cc 이온전리함, 열형광선량계