

# 전신조사방사선치료에서 열형광선량계를 이용한 선량 측정과 체질량지수에 관한 고찰

서울아산병원 방사선종양학과

서동린 · 김연수 · 김대섭 · 윤화룡 · 백금문 ·곽정원

**목적:** 전신조사방사선치료를 시행한 환자에서 체질량지수와 열형광선량계를 이용한 선량측정 정보를 비교 분석하여 환자에게 보다 균등한 선량을 조사하고자 한다.

**대상 및 방법:** 2006년부터 2011년 8월까지 전신조사방사선치료를 시행한 환자 28명을 대상으로 하였다. 각 환자는 열형광선량계를 이용하여 두부, 경부, 흉부, 복부, 골반부, 대퇴부, 슬관절부, 족관절부에서 선량을 측정하였다. 각각의 환자에 대하여 처방 중심점인 복부점과 각 측정점에서의 선량측정치를 비교하였고, 선량기준이 되는 복부점의 측정값과 환자의 체질량지수를 비교 분석하였다.

**결과:** 28명 환자에서 처방에 기준이 되는 중심점인 복부선량은 평균  $100.6 \pm 5.5\%$ 이었고, 복부점과 다른 7개의 측정점 평균값과의 최대 차이는 두부, 경부, 흉부, 골반부, 대퇴부, 슬관절부, 족관절부에서 각각  $92.8 \pm 4.2\%$ ,  $97.6 \pm 6.2\%$ ,  $96.4 \pm 5.5\%$ ,  $102.6 \pm 5.3\%$ ,  $103.4 \pm 7.9\%$ ,  $95.8 \pm 5.9\%$ ,  $96.1 \pm 5.5\%$ 였다. 각각의 환자에 대하여 복부점의 선량과 환자의 체질량지수와 관계를 산점도(scatter plot)로 나타내고 선형관계를 회귀분석 한 결과, 회귀직선은 선량(y) =  $-1.009 \text{ BMI (x)} + 123.3$ 이고  $R^2$ 값은 0.697로 나타났다.

**결론:** 전신방사선치료시 열형광선량계로 측정된 자료를 바탕으로 선량을 평가하였고 분석 결과 처방 선량에 대하여 기준이 되는 복부선량은 평균  $100.6\% \pm 5.5\%$ 로 만족하였다. 본 실험결과 체질량지수와 선량과의 관계 분석을 통하여 얻은 정보에 따라 체질량지수가 높은 환자에 대하여 보정 값을 적용한다면 보다 균등한 선량을 달성할 수 있을 것으로 사료된다.

**핵심용어:** 전신방사선조사, 열형광선량계, 선량측정

## 서론

일반적으로 방사선치료는 국소적인 치료방법으로 사용되지만 특수한 경우 전신치료의 목적으로 이용되기도 한다. 전신조사방사선치료(Total Body Irradiation; TBI)는 1960년 미네소타대학병원에서 골수이식 전에 시행하여 성공한 이래 골수이식을 위한 면역억제(면역성 질환, 재생불량성 빈혈)뿐 아니라 종양세포의 근절(백혈병, 림프종, 일부 고형종양), 유전성 질환 세포의 근절(Fanconi 빈혈, 중증 지중해빈혈)등의 다양한 목적으로 이용되고 있다.<sup>1,2)</sup>

전신조사방사선치료는 조사야가 가장 넓은 방사선치료방법으로 성공적인 치료를 위해서 정확한 치료계획과 치료자세의 재현성, 그리고 정밀한 선량계측등에 관련된 많은 준비과정이 필요하다. 미국의 여러 기관에서 전신방사선치료의

정확도와 오차 정도를 조사한 결과 치료기관, 치료기기 및 치료방법에 따른 선량 측정 및 정도관리의 필요성에 대하여 보고되었다.<sup>3-5)</sup>

전신방사선치료에서는 방사선에 입사방향에 대한 신체 각 부분의 두께가 다르기 때문에 균일한 선량이 전신에 들어갈 수 있도록 치료를 설계하는 것이 중요하다. 균등한 선량을 얻기 위하여 신체 부위별 두께의 차이에 대한 보상체를 제작하거나 체표면의 낮은 선량을 보정하기 위한 산란체의 사용 등이 필수적이다. 두께 및 형태적 차이, 조직의 비균질성, 표면의 굴곡, 조직 결손 등을 고려하여 정확하고 균일한 선량 분포를 얻고자 많은 연구가 수행되어 왔다.<sup>6-11)</sup>

계산된 선량값과 치료 시 측정된 방사선량을 비교 평가하기 위하여 열형광선량계와 다이오드가 흔히 사용된다. 열형광선량계의 경우 여러 부위의 선량을 동시에 측정하기 용이하고 환자 체표면에 부착하기 편리한 장점이 있어 흡수선량의 측정(in-vivo dosimetry)에 자주 이용된다.<sup>12-15)</sup>

열형광선량계를 이용한 선량 측정의 주된 목적은 분할치

이 논문은 2011년 5월 20일 접수하여 2011년 7월 28일 채택되었음.  
책임저자 : 서동린, 서울아산병원 방사선종양학과  
Tel: 02)3010-2784, Fax: 02)3010-6950  
E-mail: seol17@naver.com

료에서 첫 치료 시 측정된 선량값으로 전체 및 각 부위의 선량을 보정하여 다음 치료부터 적용하게 하기 위함이다. 이에 환자의 첫 치료에서 발생하는 선량오차는 임상적으로 어쩔 수 없는 부분이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구는 본원에서 전신방사선치료를 시행한 환자들의 체질량 지수와 열형광선량계를 이용한 선량측정 정보를 이용하여 환자에게 보다 균등한 선량을 조사할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

### 대상 및 방법

#### 1. 치료 및 선량 측정의 조건

본원에서 2006년부터 2011년 8월까지 전신조사방사선치료를 시행한 환자 28명을 대상으로 하였다. 치료 장비는 선형가속기(Clinac-2100C/D, Varian, USA)를 사용하였고 에너지는 15 MV X선을 사용하였다.

환자의 각 부위별 두께 보정을 위하여 전산화단층모의치료기(light speed RT, GE, USA)를 이용하여 환자의 전면과 측면영상을 획득하여(Fig. 1) 두부, 경부, 흉부, 복부, 대퇴부, 슬관절부, 족관절부에서의 두께를 측정하였고, 복부의 두께를 기준으로 하여 7개의 위치에 대한 납 보상체를 제작하였다.

치료의 시행은 환자 자세의 재현성을 고려하여 누운 자세에서 좌우이문대향조사법(Bilateral technique)을 이용하였다. 겐트리 각도 270°, 콜리메이터 각도 45°로 하였으며 선원-축간 거리는 387 cm, 최대 조사야인 40×40 cm<sup>2</sup>로 개방하여 조사야가 154.8×154.8 cm<sup>2</sup>, 조사야의 대각선 길이가 218.7

cm로 설정하였다(Fig. 2).

환자의 키가 큰 경우 무릎을 구부려 전신이 조사야에 90% 안쪽으로 충분히 포함되도록 하였다. 표면선량을 증가시킬 목적으로 1 cm 두께의 아크릴 재질 산란체를 치료중심축에서 40 cm 전방에 설치하였다.

열형광선량계(Thermoluminescent Dosimetry; TLD)는 Harshaw사의 TLD-100 (Harshaw ChemieBV, The Netherlands)을 이용하였고 측정값의 재현성을 높이기 위하여 여러 개의 TLD 가운데 시험적 방사선량을 조사한 후 선량 재현성이 3% 이내를 만족하는 것만을 선택하여 사용하였다. TLD를 사용하기 전에 전열처리과정으로 오븐(PTW-TLDoven, PTW-Freiburg, Germany)을 이용하여 400°C에서 3시간, 100°C에서 1시간 동안 열처리를 하였다.



Fig. 2. Setup image for total body irradiation using the extended SSD technique.

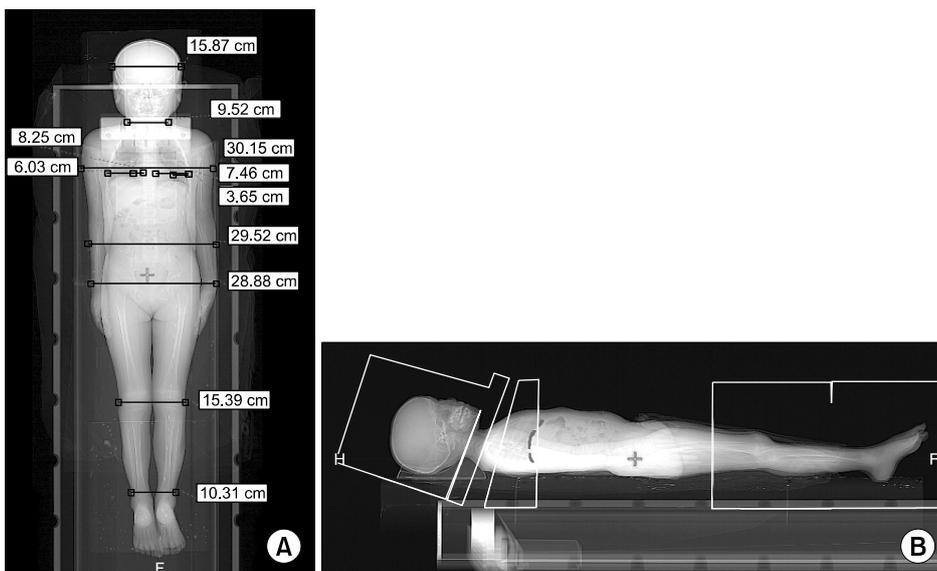


Fig. 1. The scout AP (A) and lateral (B) image of CT-simulation. (A) The AP scout image for making the compensator. (B) The lateral scout image for make a shape of compensator.

첫 번째 분할치료 시행 시 두부, 경부, 흉부, 복부, 골반부, 대퇴부, 슬관절부, 족관절부 7개의 부위에 각각 3개의 TLD를 부착하고 선량을 측정하였다(Fig. 3).

TLD 판독기(Harshaw/QS TLD System 4000 reader, Solon Technologies, USA)를 이용하여 100°C에서 1시간 예열한 후, 2시간 동안 식히고 250°C의 온도에서 선량을 판독하였다.

2. 자료의 분석

28명의 환자에 대하여 처방 중심점인 복부점과 각 측정점에서 선량측정치를 평균 및 표준 편차로 분석하였다.

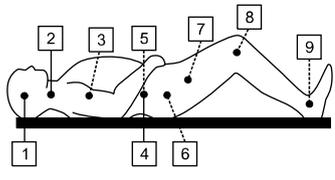
환자의 몸무게와 키를 조사하였고 체질량지수(Body Mass Index; BMI)를 다음의 식으로 구하였다.

$$BMI = \frac{mass(kg)}{height(m)^2} \quad [1]$$

환자의 처방선량기준인 복부에서의 측정값과 환자의 BMI와 관계를 분석하기 위하여 SPSS (Statistical Package for the Social Science)를 이용하여 회귀분석을 하였다.

Name: \_\_\_\_\_ RT No: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

TLD positions for total body irradiation



Memo & measurement results

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

AMC Medical Center 2009.6.24

Fig. 3. The sheet of TLD position for TBI patient.

결 과

1. 각 측정점에서의 방사선량

각 측정 위치에서의 상대 선량의 평균과 표준편차(Mean±S.D.)는 기준인 복부에서 평균 100.6±5.5%, 두부, 경부, 흉부, 골반부, 대퇴부, 슬관절부, 족관절부에서는 각각 92.8±4.2%, 97.6±6.2%, 96.4±5.5%, 102.6±5.3%, 103.4±7.9%, 95.8±5.9%, 96.1±5.5%였다(Table 1, Fig. 4).

2. 복부에서 측정된 기준 선량과 환자의 체중과 체질량지수의와의 관계

피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient) 분석에서

Table 1. The measurement value (average±standard deviation) of the each points using the TLD

|         | Mean±SD (%) | Max (%) | Min (%) |
|---------|-------------|---------|---------|
| Head    | 92.8±4.2    | 100.2   | 83.4    |
| Neck    | 97.6±6.2    | 109.3   | 84.1    |
| Lung    | 96.4±5.5    | 106.7   | 85.9    |
| Abdomen | 100.6±5.5   | 110.4   | 89.2    |
| Pelvis  | 102.6±5.3   | 110     | 92.9    |
| Thigh   | 103.4±7.9   | 119.4   | 86.9    |
| Knee    | 95.8±5.9    | 107.1   | 85.3    |
| Ankle   | 96.1±5.5    | 113.8   | 88.6    |

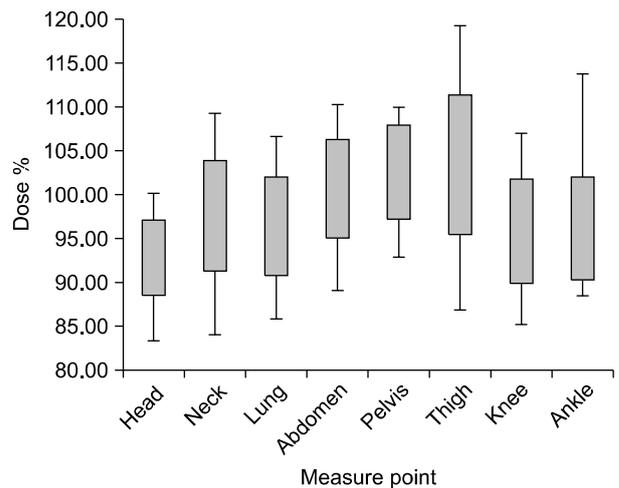
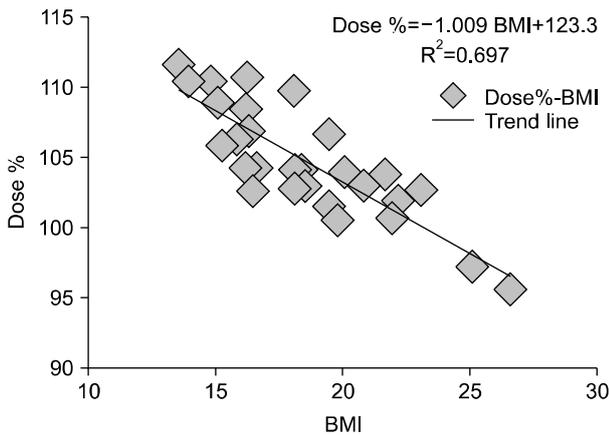


Fig. 4. The all of the patient's absorbed dose (Average±SD) according to measurement point (8 point) by using the TLD. The maximum value represents average plus standard deviation and the minimum value represents average minus standard deviation.



**Fig. 5.** The relationship of abdominal point dose and patient's BMI was analyzed a scatter plot and the result of linear relationship analysis by regression method.

상관계수가  $-0.835$ 로 이에 대한 유의확률(양쪽) P-값이  $0.000$  이하로 유의수준  $0.01$ 보다 작으므로 이 두 변수는 역의 강한 상관관계로 나타났다.

기준 선량과 체질량지수와와의 관계를 산점도로 나타내었고 각 산점도에서의 선형관계를 회귀분석을 한 결과, 기준 선량 ( $Y_{DOSE-BMI}$ )은  $-1.009 BMI (X_{BMI}) + 123.3$ 인 선형적인 회귀 관계였고 결정계수(Coefficient of determination)  $R^2$  값은  $0.697$ 이었다(Fig. 5).

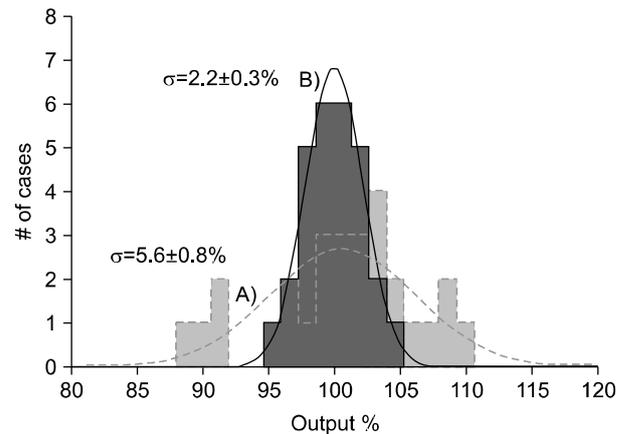
### 3. 복부점 선량의 분포

복부점 선량의 BMI에 의한 보정의 영향을 알아보기 위해 복부점 선량에 대하여 선량 BMI의 보정값으로 보정 전후의 선량분포를 정규분포로 나타내었다. 선량의 표준편차가 보정 전에는  $5.6 \pm 0.8\%$ 에서 보정 후에는  $2.2 \pm 0.3\%$ 로 감소됨을 볼 수 있었다(Fig. 6).

### 고안 및 결론

전신조사방사선치료는 물리적으로 산란 방사선의 투과력 및 측방방사선 투과력의 비균질성, 환자에 따른 두께 및 형태적 차이, 조직의 비균질성, 표면의 굴곡, 조직 결손 등 여러 가지 조건에 따라 환자의 체내에 균일한 선량 분포를 얻기가 어렵다. 따라서 균일한 선량을 얻기 위해서 각종 보정법이 이용되었다.<sup>6-11)</sup>

전신방사선치료기법은 기관별로 차이가 있으며 그 각각의 치료방법에 따른 체계적인 정도관리가 필요하다. 정기적인 정도관리를 시행하지 못한 기관의 경우  $20\%$  이상의 오차가



**Fig. 6.** The comparison of normal distribution according to the TBI patient's output dose (A: gray line). Acquisition data for patient, it doesn't apply correction factor (B: black line). After apply correction factor, standard deviation is smaller.

발생되었다는 보고가 있으며, 기준에 맞는 치료를 위해서는 정기적인 정도 관리가 필수적이다.<sup>15)</sup>

국내 일부기관에서도 전신방사선치료 시 팬텀에서의 선량 분포에 대한 보고가 있었으나 환자 자료보다는 팬텀을 이용한 분석이 대부분이었고, 기관에 따라 차이는 있으나 대략  $\pm 8\%$ 의 오차를 보고하였다.<sup>6-9,16-18)</sup>

본 연구의 결과 전신조사방사선치료 시 열형광선량계로 측정된 자료에서 처방선량에 대하여 실제 측정에서는 선량 값이 평균  $100.6 \pm 5.5\%$  균등한 분포를 보였다. 이러한 수치는 사용한 열형광선량계의 재현성 한계로  $\pm 3\%$  이내의 오차가 발생할 수 있다는 점을 고려 할 때 타 기관에서 발표한  $\pm 8\%$ 의 차이보다 우수하였다.

처방선량과 체질량지수의 상관성을 알아보기 위해 실시한 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient) 분석 결과 상관계수가  $-0.835$ 로 이에 대한 유의확률(양쪽) P-값이  $0.001$ 로 유의수준  $0.01$ 보다 작으므로 체질량지수와 흡수선량은 역의 강한 상관관계가 있다고 평가되었다.

체질량지수와 측정된 흡수선량과의 선형적 관계는 선량 ( $Y_{DOSE-BMI}$ )에 대하여 체질량지수가 기울기가  $-1.009$ , y 절편이  $+123.3$ , 결정계수(Coefficient of determination)  $R^2$  값이  $0.697$ 로 나타났다.  $R^2$ 이 0이면 실제 변화량을 직선이 전혀 반영하지 못하는 것이고, 1이면 실제 변화량이 직선에 정확하게 반영된다고 할 수 있으므로 본 실험 결과에서 얻은 결정계수  $R^2$  값은 산포도를 통해 얻은 추세 결과선이 정확함을 의미한다.

처방점인 복부의 선량을 정규분포로 나타내고 선량과 체

질량지수를 회귀 분석하여 얻은 회귀직선에 대한 값으로 교정된 복부점에서의 선량 분포와 비교한 결과에서 표준편차가  $5.6 \pm 0.8\%$ 에서  $2.2 \pm 0.3\%$ 로 감소되어 차후 치료 시 보정값을 적용한다면 처방선량의 차이가 적게 나올 것으로 생각된다. 열형광선량계의 재현성인 3% 이내임을 감안 한다면 전신조사방사선치료 시 열형광선량계의 재현성의 3%안에서 선량을 전달이 가능할 것으로 나타났다.

선량과 체질량지수의 보정값을 추후 전신조사방사선치료 환자에 적용한다면 최초 처방선량과 환자에게 전달되는 선량의 오차를 줄일 수 있으며 따라서 환자 개인별 체질량지수에 따른 처방선량 선량 결정이 유용 할 것으로 사료된다.

본 연구의 경우 단지 체질량지수와 선량의 단순 관계에 대하여서만 연구 하였지만 추후 두 인자의 인과관계에 대한 연구와 체질량지수와 관련한 실험이 추가로 시행 된다면 향후 시행 되는 전신조사 방사선 치료에서 정확하고 균등한 선량 분포를 달성 할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- Lin H, Drzymala RE: Total body and hemibody irradiation. In: Perez CA, Brady LW, eds. Principles and Ractices of Radiation Oncology. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1997;333-342
- Shank B: Total body irradiation. In: Leibel SA, Phillips TL, eds. Textbook of Radiation Oncology. Philadelphia: WB Saunders Company, 1998;253-275
- Greig JR, Miller RW, Okunieff P: An approach to dose measurement for total body irradiation. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1996;36:463-468
- Lee PC, Sawicka JM, Glasgow GP: Patient dosimetry quality assurance program with a commercial diode system. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1994;29:1175-1182
- Podgorsak EB, Pla C, Evans M, Pla M: The influence of phantom size on output factor, peak scatter factor, and percentage depth dose in large-field photon irradiation. Med Phys 1985;12:639-645
- 박재일, 최홍식, 나수경 등: 방사선 전신조사 치료를 위한 임상적 선량계획. 대한방사선치료학회지 1985;6:84-92
- 권영호, 이병구, 황웅구 등: 방사선 전신 조사 치료시 정확한 환자자세 및 조사야 재현을 위한 방법. 대한방사선치료학회지 1995;11:156-166
- 임현실, 이정진, 장안기 등: 전신방사선조사(TBI)시 다이오드 측정기(Diode detector) 및 열형광선량계(TLD)를 이용한 골조직 선량감쇄에 대한 고찰. 대한방사선치료학회지 2003; 9:67-77
- 이우석, 박성호, 윤인하 등: 전산화 단층 모의치료기(Computed Tomography Simulator)의 영상을 이용한 TBI (Total Body Irradiation) 자세 잡이 및 보상체 제작의 유용성에 관한 고찰. 대한방사선치료학회지 2005;9:147-153
- 최종환, 김종식, 최지민 등: 전신방사선조사(Total Body Irradiation) 시 Beam Spoiler와 환자 간의 거리에 관한 고찰. 대한방사선치료학회지 2007;3:51-54
- Delgado A, Gomez Ros, Muniz DM, et al.: Application of glow curve analysis methods to improve TLD-100 dose re-assessment performance. Health Phys 1992;62:228
- Seghour FZ, Medhah D, Seghour A: FAZO: un Programme d'Analyse des Spectres de Thermoluminescence par la Methode de Deconvolution. Radioprotection 1998;33:47
- Delgado A: Basic Concepts of Thermoluminescence. In: Personnnel Thermoluminescence Dosimetry, Eds M. Oberhorfer and A. Scharmann, Report EUR 16277 EN; 1995
- Horowitz YS: The theoretical: microdosimetric basis of thermoluminescence and application to dosimetry. Phys Med Biol 1981;26:765
- Kirby TH, Hanson WF, Cates DA: Verification of total body photon irradiation dosimetry techniques. Med Phys 1988;15: 364-369
- Choi DR, Choi IB, Kang KM, et al.: Total body irradiation technique: basic data measurements and in vivo dosimetry. J Korean Soc Ther Radiol 1994;12:219-223
- Ahn SJ, Kang WS, Park SJ, et al.: The dosimetric data of 10MV linear accelerator photon beam for total body irradiation. J Korean Soc Ther Radiol 1994;12:225-232
- Park SJ, Chung WK, Ahn SJ, et al.: Utilization of tissue compensator for uniform dose distribution in total body irradiation. J Korean Soc Ther Radiol 1994;12:233-241

Abstract

## Study on Dosimetry Used TLD Dosimeter and Body Mass Index at Total Body Irradiation

Dong Rin Seo, Yeon Soo Kim, Dae Sup Kim, Hwa Ryong Yoon, Geum Mun Back, Jung Won Kwak

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, Seoul, Korea

**Purpose:** The aim of study is to expose a more uniform dose depending on the relationship between a body mass index in patients who underwent radiation therapy and an acquired dosimetric information by using a thermoluminescent dosimeter.

**Materials and Methods:** Since 2006 to August 2011 we investigated 28 people who underwent radiation therapy were enrolled in AMC. Each patient was measured on the head, neck, chest, abdomen, pelvis, thigh, knee joint, and ankle joint using the thermoluminescent dosimeter. The measurement value of each points compared with the prescribed center point, abdominal point, and dose measurements of points on which to base the abdomen and the patient's body mass index (BMI) were compared with reference point, abdomen dose.

**Results:** 28 patients on prescribed dose in the abdomen by which the center point, an average dose was  $100.6 \pm 5.5\%$ , and the other seven measuring points with the average maximum difference among the head, neck, chest, pelvic, thigh, knee, and ankle were  $92.8 \pm 4.2\%$ ,  $97.6 \pm 6.2\%$ ,  $96.4 \pm 5.5\%$ ,  $102.6 \pm 5.3\%$ ,  $103.4 \pm 7.9\%$ ,  $95.8 \pm 5.9\%$ ,  $96.1 \pm 5.5\%$ . The relationship of abdominal point dose and the patient's body mass index (BMI) was analyzed a scatter plot, and the result of linear relationship analysis by regression method, the regression of the dose (y) was  $-1.009 \text{ BMI (x) plus } 123.3$  and coefficient of determination ( $R^2$ ) was represented 0.697.

**Conclusion:** The total body irradiation treatment process was evaluated the dose deviation and then the prescribed dose by which the average abdominal dose was satisfied with  $100.6 \pm 5.5\%$ . Results of the relationship analysis between BMI and dose, if we apply the correction value for each patients, it can be achieved more uniform dose delivery.

---

**Key words:** total body irradiation, TLD dosimeter, dosimetry