

전신방사선조사(TBI)시 다이오드측정기(Diode detector) 및 열형광선량계(TLD)를 이용하여 측정된 골조직 선량감쇠에 대한 고찰

ABSTRACT

목적 :

전신방사선조사(TBI)시 균등한 선량을 조사할 목적으로 사용되는 각 신체부위별 보상체(compensator) 두께의 결정은 열형광선량계(TLD)를 이용하여 표면선량(surface dose)을 측정하고, 심부선량(depth dose)으로 환산하는 방법을 주로 이용한다. 그러나 이와 같은 방법은 골(bone) 조직에 대한 선량감쇠(dose attenuation)의 영향이 고려되지 않아 신체중심부에서의 정확한 심부선량을 알 수가 없다.

이에 본 연구에서는 열형광선량계와 다이오드측정기(Diode detector)로 표면선량과 심부선량을 측정하여 골조직에서의 선량감쇠 영향을 알아보려고 한다.

대상 및 방법 :

실험은 본원에서 TBI 치료를 받은 5명의 환자를 대상으로 실시했으며, 측정장비로는 Simens Mevatron 10MV X-ray, 열형광선량계(TLD-Harsaw 5500), 다이오드측정기(Diode detector-Sun Nuclear)를 사용하였다.

선량 조사방법은 복부의 배꼽(umblicus)를 중심으로 하여 이문대향법(bilateral)으로 150 cGy가 조사되도록 하였다. 측정방법은 열형광선량계로 두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절 부위의 표면선량을 측정하였으며, 이 가운데 대퇴부, 슬관절, 족관절에서는 중심부 선량측정이 가능하여 동시에 심부선량을 측정하였다. 또한 실험대상자 중 3명의 환자는 상기와 같은 부위(두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절)에 다이오드측정기로 심부선량을 측정하였다.

결과 :

열형광선량계(TLD)로 측정된 표면선량을 심부선량으로 환산한 값은 두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절에서 각각 92.78 ± 6.60 , 104.34 ± 2.30 , 98.03 ± 2.90 , 99.90 ± 5.06 , 98.17 ± 1.11 이었고, 중심부 심부선량 측정이 가능한 대퇴부, 슬관절, 족관절에서는 각각 86.38 ± 3.63 , 93.24 ± 5.16 , 91.50 ± 5.68 로 나타났다. 따라서 표면선량과 중심부 심부선량 비교가 가능한 대퇴부, 슬관절, 족관절에서의 열형광선량계의 측정치를 비교해보면 부위에 따라 최소 6.67%~최대 11.65%까지 골조직에 의한 선량감소가 나타나는 것을 알 수가 있다.

또한 다이오드측정기(Diode detector) 로 측정된 심부선량 값은 두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절에서 각각 95.23 ± 2.37 , 98.33 ± 1.20 , 93.50 ± 3.00 , 87.30 ± 3.00 , 86.90 ± 2.32 로 나타났으며, 열형광선량계로 측정된 대퇴부, 슬관절, 족관절에서의 표면선량과 비교했을 때 부위에 따라 최소 4.53%~최대 12.6% 까지 차이를 보였다.

그리고 골조직에 의한 선량감쇠의 영향이 적은 복부 배꼽(umblicus)에서는 열형광선량계 및 다이오드측정기로 측정된 값이 각각 101.58 ± 1.91 , 104.77 ± 2.36 으로 큰 차이가 없었다.

결론 :

전신방사선조사시 표면선량을 측정하여 심부선량으로 환산한 값은 골조직의 감쇠영향을 고려하지 못하므로 다이오드 측정기 (Diode detector) 또는 열형광선량계(TLD)로 중심부의 심부선량을 직접 측정하는 것이 중요하다. 그러나 중심부의 심부선량을 직접 측정할 수 없을 경우에는 골조직의 감쇠영향을 고려하여 복부 배꼽(umbilicus)에서의 선량보다 5~10% 정도의 선량이 초과 조사되도록 보상물질의 두께를 적절하게 조절하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

I 서 론

전신방사선치료의 적응증은 재생불량성 빈혈, 종양(백혈병, 림프종, 일부 고형종양)이 있고, 이 치료는 골수 이식시 거부반응을 줄이는 면역억제 작용과 종양세포를 살상하는 효과가 있다.

전신방사선치료 기법은 좌우 이문대향조사법과 전후 이문대향조사법으로 크게 구분된다.

좌우 이문대향조사법은 팔 자체로 인하여 별도의 폐부조직결손 보상제 없이도 폐부 방사선량을 중심부 치료 방사선량에 근접하게 얻을 수 있으며, 환자의 치료 자세가 훨씬 편하다. 최근에는 CT scan으로 얻어진 각 조직의 CT number를 이용하여 3-D compensator를 만들어 불균등한 체내조직의 정확한 보상과 균등한 선량분포를 얻을 수 있는 치료 방법이 지속적으로 발전되어왔다.

전신방사선 치료는 조사야가 가장 넓은 방사선치료 방법으로 치밀한 준비없이 큰 오차를 수반할 수 있으므로 인체 각 부위의 흡수 방사선량이 비교적 균일한 선량분포를 얻도록 하는 것이 중요하다.

미국의 여러 기관에서의 전신 방사선치료의 정확도와 오차 정도를 조사한 결과 치료기관, 치료기기 및 치료 방법에 따른 실제선량 측정 및 정도 관리가 필요함이 보고되었다. 여러 기관에서 실행한 연구에서 물팬텀을 이용한 인체 입사 선량을 토대로 한 계산방법에 따른 선량분포의 오차범위는 ±7%정도이고, 인형 팬텀을 이용한 방법에 따른 선량분포의 오차범위는 ±10% 정도인 것으로 보고되었다.

인체에서의 흡수방사선 선량측정을 위해서는 주로 열형광선량계(TLD)와 다이오드측정기(Diode detector)가

사용된다. 여러 부위의 선량을 동시에 측정하기 위한 방법으로 상대적으로 가격이 저렴한 열형광선량계가 자주 이용되었으나, 열형광선량계를 이용하여 선량을 측정할 때는 표면선량을 측정하고 이를 심부선량으로 환산하는 방법을 주로 이용해왔다. 그러나 이와 같은 방법은 골 조직에 대한 선량감쇠(dose attenuation)의 영향이 고려되지 않아 신체 중심부에서의 정확한 심부선량을 알 수가 없다. 열형광선량계는 즉시 반응한 방사선량을 알 수 없고, 측정시 긴 시간이 소요되는 반면, 다이오드는 방사선이 조사되는 동시에 측정치를 알 수 있으며, 계속해서 측정치가 쌓이는 장점이 있다. 반면에 다이오드를 axis 방향으로 놓는 것과, transverse 방향으로 놓여졌을 시, 같은 지점이라도 방사선량이 변화가 있으며, 동시에 많은 다이오드를 이용해서 측정할 시 번거롭다. 이에 본 연구에서는 전신방사선조사시 열형광선량계와 다이오드측정기로 표면선량과 심부선량을 동시에 측정하여 골조직에서의 선량감쇠 영향을 알아보고자 한다.

II 대상 및 방법

2002년까지 인하대학병원 방사선 종양학과에서 전신 방사선치료를 시행 받은 5명의 환자를 대상으로 실시했으며, 방사선은 고에너지 선형가속기인 Mevatron-KD2(Siemens Associates, USA)에서 발생하는 10MV X-ray를 사용하였다.

방사선량은 매일 150 cGy씩 총 8회 1200 cGy 조사하였고, Mevatron-KD2의 출력조건은 300 MU/min을 사용하여 선량률은 150 cGy/min 이하로 유지하였다.

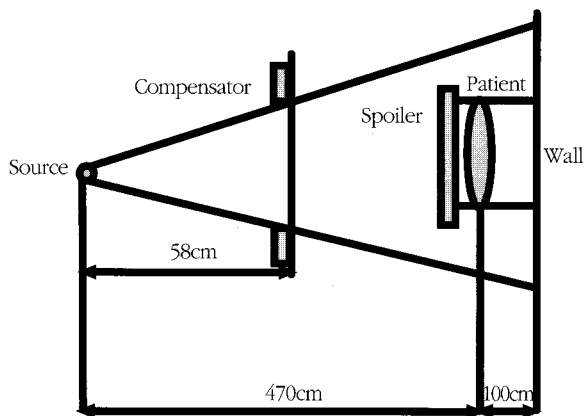


그림 1. TBI Set-up 모식도

또한 선원-축간 거리는 470 cm으로 하여 콜리메이터를 $40 \times 40 \text{cm}^2$ 으로 개방하였을 때 조사야는 $188 \times 188 \text{cm}^2$ 였다.

① 조사방법

환자 복부의 umbilicus를 중심으로 하여 좌우이분대향법으로 150 cGy가 조사되도록 하였다.



그림 2. TBI 치료자세

② 측정방법

열형광선량계로 사용하여 두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절 부위의 표면 선량을 측정하였으며, 이 가운데 대퇴부, 슬관절, 족관절에서는 중심부 선량 측정이 가능하여 동시에 심부선량을 측정하였다.

또한 실험대상자 중 3명의 환자는 상기와 같은 부위(두부, 경부, 대퇴부, 족관절)에 다이오드 측정기로 심부선량을 측정하였다.

다이오드 측정기는 입사점과 그 맞은편 같은 point출사점에 2개의 다이오드 측정기를 부착하여 측정하였다.

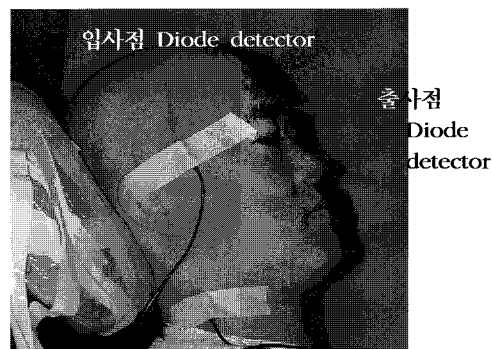


그림 3. TBI 치료시 다이오드 부착

②-1. 열형광선량계(TLD)를 이용한 방사선량 측정조건
열형광선량계로는 조각형태로 7.5% Li-6과 92.5% Li-7을 함유하고 크기가 $3.1 \text{mm} \times 3.1 \text{mm} \times 0.89 \text{mm}$ 이고 LiF 함유량이 28 mg 이며, 최대 열형광 온도가 195°C 인 TLD-100 (Harshaw chemie BV, The Netherlands)을 이용하였다. 방사선을 조사받은 열형광선량계의 판독은 열형광선량계 판독기 (Harshaw/Qs TLD system 400 reader, solon Technologies, USA)를 이용하였다.

②-2. 다이오드측정기(Diode detector)를 이용한 방사선량 측정조건

측정에 사용된 detector는 ISORAD-p detectors로 일반적인 detector에 사용하는 n type diode 대신에 p type의 Si pn junction을 사용함으로써 photon beam의 다양한 energy range를 측정할 수가 있다. p type diode detector의 일반적인 특성을 표로 만들어 보면 다음과 같다.

표 1. 다이오드측정기의 일반적인 특성

General specification of the p type diode detector	
Effective detection area	$1.65 \times 1.65 \text{mm}^2$
Effective detection thickness	50 μm
Active volume	0.14mm^3
Preirradiation level	10kGy at 10Mev e-beam
Sensitivity	40 nC/Gy
Impedance at 10mV reverse bias	200 Mohm at 24°C
Cable diameter	2.5 mm
Standard cable length	3 mm
Cable connector	BNC

표 2. 열형광 선량계로 측정된 표면선량을 심부선량으로 환산한 값

	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Pt5	평균	표준오차
HEAD	97.40	95.20	80.0	93.30	98.0	92.78	±6.60
NECK	107.5	105.8	101	102.6	104.8	104.34	±2.30
UMBILICUS	104.8	101.7	101.3	98.80	101.3	101.58	±1.91
THIGH	98.04	98.02	97.8	101.7	94.6	98.03	±2.90
KNEE	99.89	99.91	93.0	101.7	105	99.90	±5.06
ANKLE	98.19	98.16	96.9	99.60	98.0	98.17	±1.11

(※ Pt : Patient)

III 결 과

① 열형광 선량계(TLD)로 측정된 표면선량을 심부선량으로 환산한 값

각 환자에게 복부선량 150cGy를 기준으로 하였을 때 두부, 경부, 대퇴부, 슬관절, 족관절에서 열형광 선량계로 표면선량을 측정하여 심부선량으로 환산한 값의 분포는 표2.와 같고, 두부 92.78±6.60, 경부 104.34±2.30, 대퇴부 98.03±2.90, 슬관절 99.9±5.06, 족관절 98.17±1.11 이었다.

표2.에서 환산한 값을 그래프로 나타내어 보면 다음과 같다.

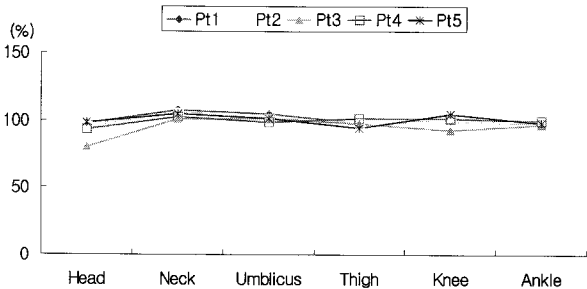


그림 4. 열형광선량계로 표면선량을 측정하여 심부선량으로 환산한 값

② 열형광선량계(TLD)로 심부선량을 측정된 값

각 환자에게서 열형광선량계를 사용하여 중심부에서 심부선량 측정이 가능한 대퇴부, 슬관절, 족관절 부위를 측정하였으며, 표3.에 나타나 있다.

측정치는 대퇴부에서 86±3.63, 슬관절 93.24±5.16, 족관절에서 91.50±5.68을 나타내고 있다.

표 3. 열형광선량계로 심부선량을 측정된 값

	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Pt5	평균	표준오차
THIGH	86.38	85.3	82.7	92.4	85.1	86.38	±3.63
KNEE	99.2	93.3	84	93	96.7	93.24	±5.16
ANKLE	99.4	96.7	84	88.5	88.9	91.50	±5.68

(※ Pt : Patient)

표 3.의 결과를 그래프로 나타내어 보면 다음과 같다.

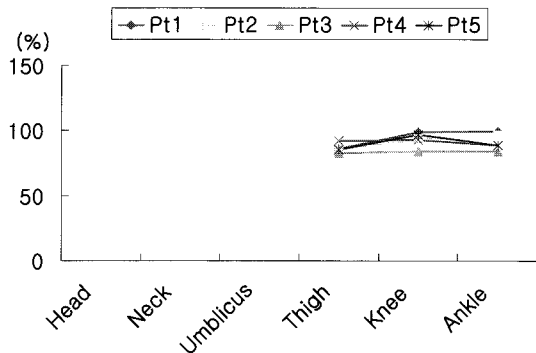


그림 5. 열형광선량계로 측정된 심부선량 값

③ 다이오드측정기(Diode detector)로 심부선량을 측정된 값

표 4. 다이오드측정기로 심부선량을 측정된 값

	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Pt5	평균	표준오차
HEAD			95.3	92.3	98.1	95.23	±2.37
NECK			98.1	97.0	99.9	98.33	±1.20
UMBILICUS			103.1	103.1	108.1	104.77	±2.36
THIGH			90.5	96.5	93.50	93.50	±3.00
KNEE			90.3	87.30	84.3	87.30	±3.00
ANKLE			87.9	89.1	83.7	86.90	±2.32

(※ Pt : Patient)

각 환자에게서 다이오드측정기를 사용하여 복부의 umblicus 150 cGy를 기준으로 하였을 경우 두부 95.23 ± 2.37, 경부 98.33 ± 1.20, 대퇴부 93.50 ± 3.00, 슬관절 87.30 ± 3.00, 족관절 86.90 ± 2.32 로 나타났다.

표4.의 결과를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

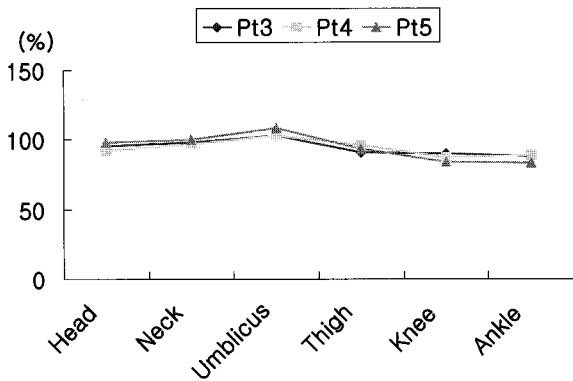


그림 6. 다이오드측정기로 심부선량을 측정된 값

④ 표면선량 환산값과 측정된 심부선량의 비교

열형광선량계(TLD)로 표면선량을 측정하고, 심부선량으로 환산한 값과, 다이오드측정기(Diode detector)로 직접 심부선량을 측정한, 측정치를 비교해 보면 측정된 부위에 따라 4.53%~최대 12.6% 까지 차이를 보였다.

그리고 골조직에 의한 선량감쇠의 영향이 적은 umblicus 에서는 열형광선량계 및 다이오드측정기를 측정 한 값이 각각 101.58 ± 1.91, 104.77 ± 2.36으로 큰 차이가 없었다.

IV 고찰 및 결론

전신방사선 치료 시 피부를 포함한 신체의 각 부위에 균일한 방사선량을 조사하기 위하여 각 기관에서는 방사선 치료장비와 방사선 치료실의 크기 등의 특성에 따

라 적합한 방법을 사용해야한다.

S병원의 경우는 선원과 환자의 midline까지의 거리는 274cm이고, collimator를 40×40 cm²으로 열었을 경우 조사야가 109.6×109.6 cm²였다.

C병원의 경우는 선원과 환자의 midline까지의 거리는 360 cm이고, collimator를 40×40 cm²으로 열었을 경우 조사야가 144×144 cm²로 나타난 반면, 본원의 경우는 선원과 환자의 midline까지의 거리는 470 cm 이며, collimator를 40×40 cm²으로 열었을 경우 조사야가 188×188 cm²으로 타 기관에 비해 환자를 좌우 이문 대향 조사할 경우, 환자 Position 굴곡이 필요없이 편안한 자세를 취할 수 있는 장점이 있다.

전신방사선 치료는 물리적으로 산란방사선의 투과력 및 측방방사선 투과력의 비균질성, 또한 환자에 따른 두께 및 형태적 차이, 조직의 비균질성, 표면의 굴곡, 조직 결손 등으로 인하여 단순한 방법으로 시행할 경우, 균일한 선량 분포를 얻기가 어려우므로 각종 보정법이 사용되며 이의 검증이 요구된다.

임상에서는 보편적으로 열형광선량계(TLD)를 환자의 표면에 부착하여, 방사선량을 측정하고, 이를 심부선량으로 환산한 값을 기준으로 조직결손보상체(compensator)의 두께를 조절해서 치료를 하는데, 이는 골 조직의 감쇠 영향을 고려하지 못하였으므로 오차의 차이를 크게 만들 수 있다.

그러므로 다이오드 측정기(Diode detector) or 열형광선량계로 중심부의 심부선량을 직접 측정하는 것이 중요하다. 그러나 중심부의 심부선량을 직접 측정할 수 없을 경우에는 골 조직의 감쇠 영향을 고려하여 umblicus에서의 선량보다 5~10% 정도의 선량이 초과 조사되도록 보상물질의 두께를 적절하게 조절하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Lin H, Drzymala RE. Total body and hemibody

표 5. 표면선량 환산값과 측정된 심부선량의 비교

	TLD 표면선량 환산값	TLD 심부선량	Diode 심부선량
THIGH	98.03 ± 2.90	86.38 ± 3.63(11.65%)	93.50 ± 3.00(4.53%)
KNEE	99.90 ± 5.06	93.24 ± 5.16(6.66%)	87.30 ± 3.00(12.6%)
ANKLE	98.17 ± 1.11	91.50 ± 5.68(6.67%)	86.90 ± 2.32(11.27%)

- irradiation. In Perez CA, Brady LW, eds. Principles and practices of radiation oncology. 3rd ed. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia 1997:333-342
2. Shank B. Total body irradiation. in Leibel SA, Phillips TL, eds. Textbook of radiation oncology. WB Saunders Company, Philadelphia, 1998: 253-275
 3. 지의규, 박석원, 강위생, 김일한:인체 및 인형 팬텀에서 전신방사선조사시 열형광선량계(TLD)를 이용한 선량분포 균일성 확인. 대한방사선종양학회지 1999;17(4):321-328
 4. 최동락, 최일봉, 강기문, 신경섭, 김춘추:방사선 전신조사: 기본 자료 측정 및 생체내에서의 선량 측정. 대한방사선종양학회지 1994;12(2):219-223
 5. Kang WS. Dose distribution of total body irradiation with Co-60, Korean J Med Phys 1991: 2:109-120