

放射線 全身照射 治療를 위한 臨床的 線量計劃

延世癌센터附屬病院 放射線治療室

朴在一 崔鴻植 · 羅秀敬 · 徐明源

I. 서 론

방사선 全身照射는 여러가지 治療를 目的으로 사람에게 실시되고 있다. 즉 급성백혈병이나 재생 불량성빈혈의 治療를 위한 골수이식 手術전에 골수 파괴를 시키기 위해서나 전신에 퍼진 악성임파종이나 정상피종등의 종양세포를 파괴하여 증상을 완화시킬 목적으로 또는 조직이식시 면역의 억제를 위해 실시된다. 특히 근래에 각광받고 있는 骨髓異植의 성공에 Thomas, Lochte와 Ferrebee의 훌륭한 연구가 보고된 이후 방사선 전신조사는 중요한 역할을 담당하고 있다.

방사선 전신조사에 대한 개념은 1905년 Dessau가 均一한 조사량을 전신에 주기 위해 방 중앙에 환자를 두고 주위로 돌아가며 여러개의 X-선 관구를 설치함으로써 시작되었다. 그후 1927년 Krause가 전신에 퍼진 腫瘍治療를 위해 방사선 전신조사를 제시하였고 같은 해 Werner Teschendorf는 백혈병 患者에 방사선 전신조사를 시행하였다.

1932년 Heubiein은 Memorial 병원에 방사선 전신 조사를 위해 특별히 고안된 방을 설치하고 淋巴腫, 白血病 그외 다른 癌 환자들을 치료하는데 사용했다. 그후 1953년에는 Bethesda의 Naval Medical Research Unit에 방사선 전신조사를 위한 장비가 설계되었고, 1958년에는 City of Hope unit Oak Ridge Institute의 Nuclear Studies unit 등이 가동되었다. 그 當時는 주 용도가 조직이식과 관련된 면역억제를 얻기 위함이었으나 곧 化學療法으로 대체되었고 방사선 전신조사는 다른 治療법이 실패한 말기의 파종성암이나 白血病에 증상완화를 목적으로 계속 연구되었다. 그러나 화학제재의 독성이나 부작용등이 점차 문제시 됨으로써 면역 억제를 위한 방사선 전신조사가 다시 부각되고 있다. 아직까지는 방사선 전신조사를 실시하는 각 治

療者나 治療기관에 따라 線量率, 환자의 자세, 線의 Energy 총 조사선량등이 각기 달리 보고 되고 있으며 이를 일관성 있게 통일시키고자 하는 노력이 시도되고 있다. 방사선 전신조사에 있어서 중요한 점은 어떻게 전신에 균일한 선량을 조사할수 있느냐 하는 것이며, 이를 위해 吸收線量을 결정하는데는 일반 방사선 治療때 사용되는 자료와 같은 종류의 것이 필요하나 특수한 長距離 조사라는 면에 따른 교정이 요구되어진다. 에너지가 1Mev 이상으로 커질수록 이러한 교정은 점점 적어지지만 방사선 전신조사 선량측정을 위해서는 기술 기계에 따른 매개변수, 환자의 자세 및 크기등에 대한 특별한 고려를 해야한다.

연세대학교 부속암센터에서도 시행 예정인 방사선 전신조사를 위한 기본적인 선량측정 자료가 필요시 되므로 저자는 부속암센터 병원에서 사용하고 있는 LMR-13 선형가속기에서 발생하는 고에너지 X-선을 전신조사에 이용하기 위하여 조직등가인 phantom을 제작하고 조사방법에 따른 조직 甬床 餘過板 및 산란 제거침대등을 고안하였으며 전신조사면과 선량율의 生物學的 效果를 고려하여 선원과 피부간의 거리를 연장시키면서 조직내 선량을 측정하고 삽입용 소형 측정기들로 조직내 최적선량 분포도를 작성하는 등 방사선 물리적인 면을 연구 고찰하여 임상응용에 정확도를 높이고져 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 高Energy 방사선 발생장치

전신조사를 위한 고에너지 방사선은 LMR-13線型加速器를 이용하였으며, 이것은 그림 1과 같이 전자총에서 발생된 전자를 진행형 마이크로파에 의해서 약 13메가 전자볼트로 가속시킨후 텅그스텐

타겟에 충돌시켜 에너지 폭이 좁은 10Mv의 X-선을 발생시키고, Target를 사용하지 않으면 8, 10, 12Mev의 고에너지 전자선을 발생시킬 수 있으며 선량은 1m 거리에서 분당 200~600rads로서 인체에 적용하기에 가장 적당한 선량을 얻을수 있다.

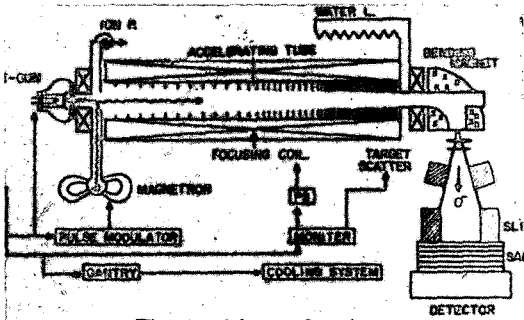


Fig. 1. Linear Accelerator

10Mv X-선의 組織内 선량분포는 표면하 2.5cm가 최대선량 분포를 이루고 있으며 반가층 HVL 두께는 약 18cm가 전신조사에 가장 적당하다고 생각된다. 이 장치는 照射面이 1m 거리에서 최대30×30cm 밖에 되지 않으므로 전신조사를 위한 약 130×130cm의 조사면을 얻기 위해서는 장치의 입구를 測方으로 回轉시켜야 가능하게 되었으며 거리를 띄우기 위해서 벽면에 있는 모든 기구를 제거하였다.

2. phantom제작

전신조사에서 가장 중요한 것은 체내 각 부위에 부여되는 선량을 측정하는 동시에 각 部位에 대한 均一한 선량 또는 계획된 선량을 정확히 부여하는

Table 1. COMPOSITION OF TISSUE EQUIVALENT PHANTOM

Tissue	Material	Percentage of weight	Density (g/cm ³)
Soft Tissue	Paraffin	85	0.95
	Resin	10	1.12
	Polyethylene	5	0.98
Lung	Cork		0.33

것이 가장 중요하며 전신조사이므로 약간의 초과선량도 매우 위험하며 조금의 미달선량은 치료 성과를 얻지 못한다.

이와같은 이유에서 人体와 등가물질이고 크기가 같은 phantom을 제작하여 각 부위를 충분히 測定한후 실제 患者에게 이용해야 한다. 제작한 phantom의 구성 성분은 표1과 같이 Paraffin 85% Resin 10% Polyethylene 5%를 혼합했으며 이때 phantom의 Density는 0.98g/cm³으로서 고에너지 방사선에서는 거의 연조직과 등가인 물질로 측정되



었고 Lung 조직의 등가물질로서는 Density가 0.33 g/cm³인 Cork판을 이용하여 그림 2와 같이 인체 phantom을 구성하였으며 5cm 두께의 횡단판으로 구성 조립하여 각 부위의 선량을 구석구석 측정할 수 있었고 방사선 전신조사시의 환자 体位와 같게 하기 위해 그림 3과 같이 屈曲座偉 체위를 하도록 구성하였다.

3. 공기등가 침대와 Bolus의 제작

전신조사를 받는 환자의 대부분이 기력이 없을 뿐 아니라 전신조사 시간이 길기 때문에 기립상태 또는 어떤 특정한 체위로서 오래 견디기 곤란하

로 환자는 일정한 모양의 침대를 이용해야 하며 적당한 Bolus를 사용해야 한다.

침대는 固形物質을 이용하여 환자의 체위를 고정시키는 동시에 여기에서 발생된 방사선이 인체에 영향을 주지 않도록 공기등가물질을 사용해야 한다. 가장 적당한 공기등가물질은 styrofoam으로서 밀도가 0.0015g/cm^3 이고, 여기서 散亂된 방사선은 거의 무시될 수 있으며 환자의 체위를 유지시킬수 있었다.

10Mv X-선의 조직내 최대 선량지점은 표면화 2.5cm 이므로 皮膚表面의 선량을 증가시키기 위해서 조직등가인 Bolus를 사용하여야 하며 이를 위해 환자는 Bolus 등가의 가운을 이용하였다.

4. 補床 여과판의 제작

전신에 대한 측방이문대항 조사에서 발생하는 인체내의 不均等 선량분포를 보상하여 균일한 선량분포를 얻기 위해서 각 위치에 알맞는 보상 여과판을 제작하였다. 전신조사를 위한 보상 여과판의 제작계획은 인체의 굴곡과 두께의 차이 및 Lung, Jofissle 등의 조직밀도 그리고 여과판과 조직에 두께 비율을 구해야 한다.

Fig. 4



보상 Filter는 산란선을 제거하기 위하여 그림 4와 같이 피부에서 멀리 떨어진 shadow tray에 고정시켰으며, 방사선의 방사방향에 따라 필요한 조직두께 만큼의 비율로 구성되도록 하였다.

보상필터의 두께 비율은 phantom에서의 Bolus 두께와 보상필터의 비율로서 방사선의 에너지, 조사면, 조직의 결손, 두께, 피부와의 거리에 따른 복잡한 함수관계가 있지만, 보상여과판이 20cm 이상일때는 $0.7 \pm 5\%$ 로 측정되었다.

보상여과판은 Al, Cu, Pb, 등의 금속을 사용하고

있으며 본 실험에서는 Pb를 이용하여 tray 위치에 부착시켰으며 방사선의 방사 평행선에 따라 축소시켰다. 평행선에 따른 보상여과판의 두께(Lc)는 다음과 같이 주어진다.

$$Lc = \frac{T}{\rho_{comp}} \times \frac{TD}{2}$$

T : 두께의 비율

ρ_{comp} : 보상 필터 물질의 밀도

TD : 전체조직 결손 두께

$$TD = L_{max} - L + (1 - \rho_{lung}) L_{lung}$$

여기서 L_{max} 는 방사선이 지나는 최대 신체두께이며, L는 방사선이 지나가는 실제 두께이고 L_{lung} 은 방사선이 지나가는 Lung의 두께이다.

환자의 체구가 조사면의 가장자리까지 위치하여 있을 경우 조사면내의 선량분포가 균일하지 못하므로 다음과 같이 조정하였다.

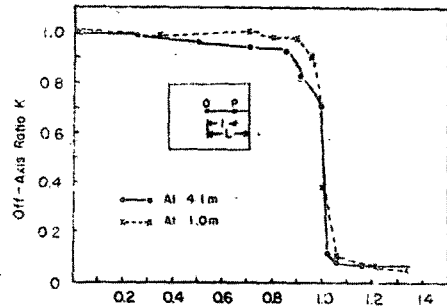


Fig. 5. Beam profiles/along principal axes

그림 5에서 P점의 평탄도를 K라 하면 그림을 지나는 선의 皮膚와 組織 중앙점과의 거리 d와 조직의 최대두께의 반을 $d = \frac{1}{2} L_{max}$ 라면 전신조사면 r에서 각점의 TMR은 다음과 같이 주어진다.

$$TMR(d \cdot r) = K \times TMR(d_0 \cdot r)$$

여기서 d_0 의 값을 구한후 보상여과판의 축소율 ΔLc 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta Lc = (d_0 - d) T / \rho_{comp}$$

또 다른 방법은 그림 6의 기울기에 해당하는 전신조사면에서의 실효 감약계수 μ_{eff} 와 평탄도 K와의 관계에서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta Lc = \frac{\ln K}{\mu_{eff}} \cdot \frac{T}{\rho_{comp}}$$

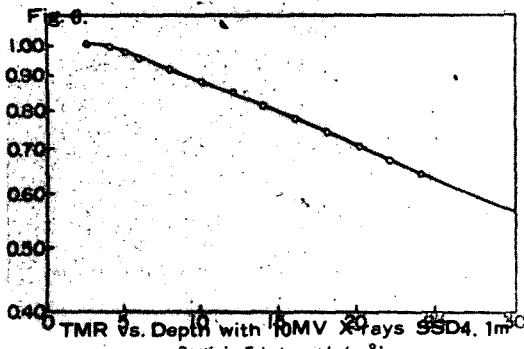
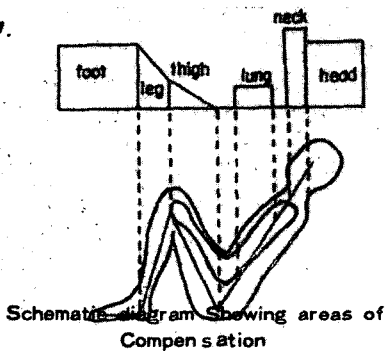


Fig. 7.



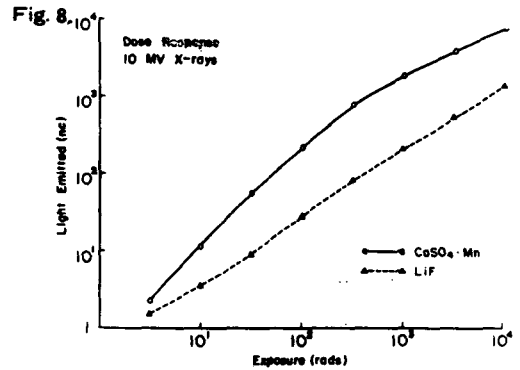
보상필터는 그림 4 와 같이 Head, Neck, lung, Thigh, leg, Foot, 등으로 구분하여 제작 부착하였다.

그림 7 은 전신조사를 위한 보상여과판의 제작계획으로서 여과판을 제작하기 전에 환자의 체격을 조사하여 계산할 수 있도록 설계하였다.

5. 線量測定기구

전신조사에 의한 체내 선량 분포의 측정은 동시에 각 부위를 측정할 수 있는 熱螢光測定器를 사용하였으며, 그중에서도 조직등가 물질로 구성된 TLD-100 (LiF), $CaSO_4 \cdot Mn$ 을 이용하였으며, 열형광 반응은 그림 8 과 같고 감도 비율은 그림 9 와 같다. 각 단면에 대한 선량분포는 공업용 필름을 증감지가 없는 검은 봉투에 삽입하고 이것을 phantom 단면 사이에 밀착시킨후 정해진 방향에서 방사선을 조사하며 필름 특성곡선에 의해서 선량으로 환산한 후 동일한 선량지점을 연결하여 체내의 방사선 분포도를 측정한다.

표준선량 측정은 Radocon III, 100HA 및 R-meter 의 지두형 콘덴서 측정기를 표준선원 (Sr-90) 에 일정시간 노출시켜 측정기를 교정한 후 phantom



Light Emitted Responses of LiF and $CaSO_4 \cdot Mn$

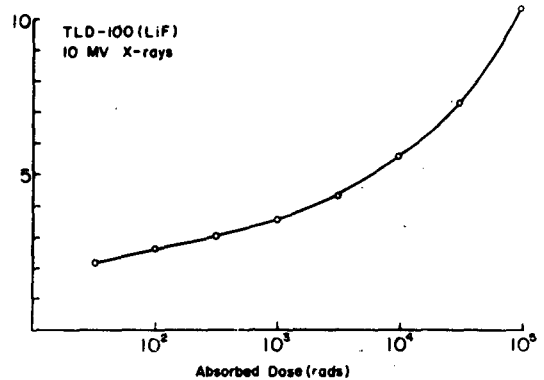


Fig. 9. TL/rad Response of TLD-100

내부에 장전하고 계획된 선량과 위치에 따라 측정한다.

III. 실험성적

1. 선량율과 심부백분율

선형가속기에서 발생된 10Mv X-선의 출력선량은 국제방사선 측정협회 (ICRU-21) 의 정밀측정 방법에 의하여 방사선 기본 측정기를 조직등가 물질로 구성된 phantom 내의 최대선량 지점인 2.5cm 에 고정시키고 선원의 중심선과 측정기의 중심간의 거리가 100cm 조사면이 10×10cm 되도록 조정후 일정한 선량율로 노출시키면서 계획선량 (Monitor Units) 과 일치시킨다.

전신조사 방법은 線原에서 최대선량 지점이 100cm 에서 410cm 로 연장됨에 따라 조사면도 최대 130×130cm 까지 확산되며, 선량율은 여자승법칙과 Collimeter 및 phantom 에 의한 산란선에 따라 변화하며 중심 깊이가 d인 환자의 腫瘍 DT 에 대한 계획 선량은 다음과 같다.

$$M. u. = \frac{DT \times (f'/f)^2}{TMR(rd \cdot d) \times Sc(rc) \times Sp(rd)}$$

여기서 TMR(rd·d)는 그림 6 과 같이 조사면이 rd 이고 길이가 d인 조직내와 최대선량 지점과의 비율이며, Sc(rc)는 전체면에 대한 Collimeter 의 산란율이고 sp(rd)는 조직의 산란율이다.

또한 f는 표준거리이며 f'는 선원과 환자 중심간의 거리로서 본 실험에서는 4.1m로 고정시켰다. 환자의 조사면에 따른 조사면요소(Field factor)는 면적과 둘레의 비(Area Perimeter)에 비례하며 측정치와 오차는 ± 2% 미만이었다.

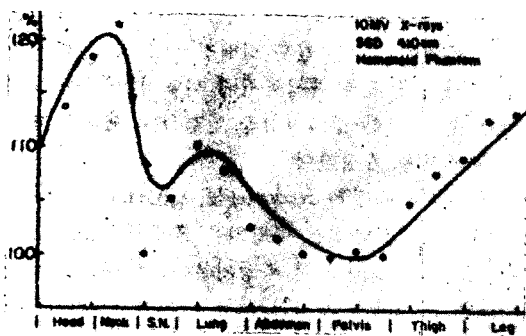


Fig. 10. Dose Build-up with Depth Compared at SSD=1m and 4.1m

high energy X-선에 의한 조직내 최대선량 지점과 심부백분율은 조사 X-선의 에너지 조사면 선원과 거리 선속의 기울기 환자의 체위등의 많은 요인에 의하여 변화한다. 그림10은 선원과 피부간의 거리가 각각 1m와 4.1m일때의 최대의 선량지점과 심부율을 표시하고 있으며, 이 그림에서 최대선량 지점은 약 2.5cm로서 거의 비슷 비슷하지만 최대가 멀수록 더 높은 심부율을 나타내고 있다.

2. 照射面의 평탄도

一定한 평탄도의 넓은 조사면은 전신조사에 있어 중요한 요인이 된다. 의료용 선형가속기는 초점에서 1m거리의 조사면이 최대 30×30cm이고 평탄도는 ± 2% 미만이 되도록 평탄여과관이 제작 고정되어 있으나 전신조사를 위해 초점과의 거리를 4.1m로 연장할 경우 조사면은 130×130cm로 확대되고 조사면의 측면과 직각부분(Corners)의 평탄도가 매우 다르다. 특히 환자의 체격에 따라 조사면의 대각선까지 이용할 경우가 많으며, 이와같은 경우 Head, Thigh 부분의 선량이 약 20% 감소되기

때문에 선량보상이 필요하다.

그림 5는 초점에서 각각 1m와 4.1m의 거리에서 최대조사면의 중심선량과 주축을 따른 중심밖의 선량비를 측정한 것이며, 그림11은 대각선을 따라 측정한 것으로서 조사면을 직경으로 한 원형내의 선량분포는 일정하지만 원형외곽 직각 부분의 선량은 급격히 줄어들었다.

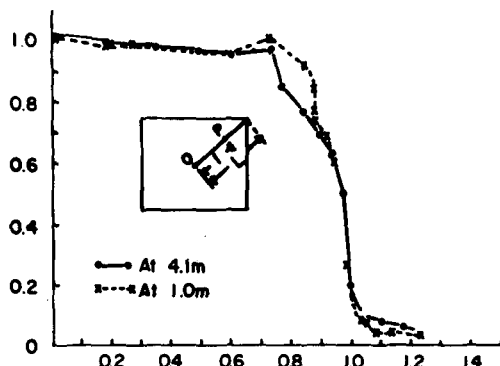
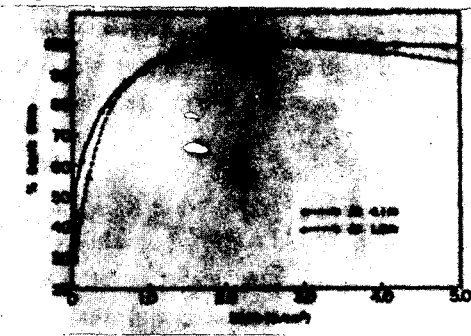


Fig. 11. Beam profiles in the (diagonal) direction

Fig. 12.



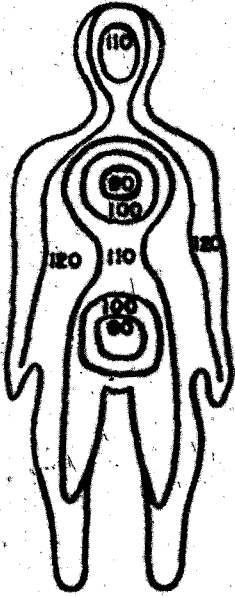
Midline Dose Ratio without Compensating Filter

3. 全身線量分布

전신조사 방법은 부분조사보다 방사선 감수성과 적분선량이 크기 때문에 적은 선량과 선량율로서 惡性腫瘍細胞를 치료하려면 무엇보다 균일한 선량 분포와 정확한 측정이 필요하다.

한개의 넓은 조사면내에 일정 시간동안 조사된 동일한 계획 선량에 대하여 환자의 중심축의 선량 분포는 그림12와 같이 Neck는 Pelvis보다 약 10%의 많은 선량을 받게되고 그림13와 같은 불균일한 선량분포를 이룬다.

Fig. 13.



Dose Distribution without Compensating Filter

Fig. 14.

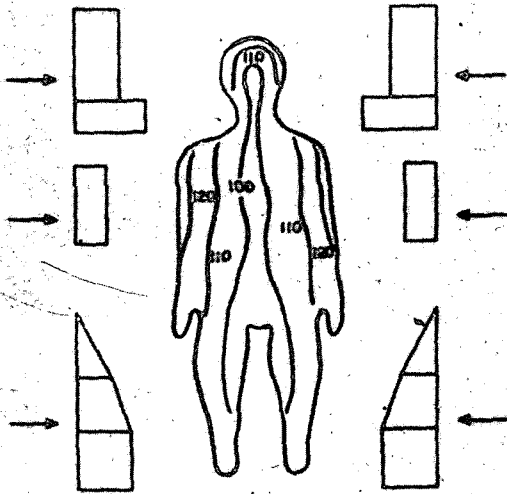


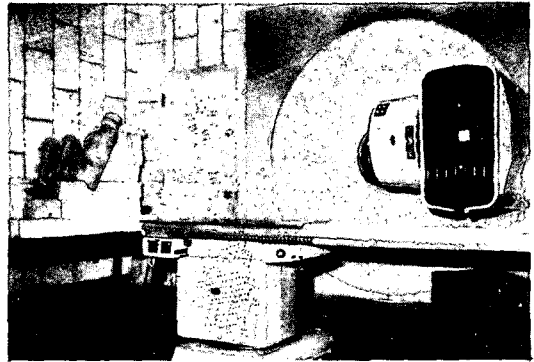
Fig. 14. Dose Distribution With Compensating Filter

全身에 均一한 線量分布를 얻기 위하여 표 2에 의하여 보상여과판을 제작하고 이를 Collimeter에

Fig. 15.



Fig. 16.



고정시킨후 二문측방대향 조사를 하였을때 그림14와 같은 거의 균일한 선량분포를 얻을수 있었으며 계산에 의한 중심축의 선량분포와 실제측정에 의한 선량오차는 표3과 같이 표시되었고 평균 5%의 오차내로 줄일 수 있었으며 표준편차는 약2.45이었다.

이상과 같이 실험을 통하여 얻어진 모든 자료를 이용하여 그림15와 같이 환자를 직접 styrofoam침대에 굴곡좌위를 취하게 하고 그림16과 같이 촛점간의 거리 4.1m와 조사면 130×130cm에서 전신조사를 시행할 수 있었다.

IV. 결 론

惡性淋巴腫이나 白血病등 전신에 오염된 惡性腫瘍細胞는 放射線의 均일한 全射照射 방법에 의하여 가장 效果的인 치료를 할 수 있다. 그러나 방사선 전신조사에서 한 조사면내에 전신이 포함되어야 함으로 조사면이 넓어지고 자연히 皮膚線間 거리가 길어짐으로서 특수한 線量測定이 필요

Table 2. PHYSICAL DATA AND BEAM PARAMETERS FOR A PATIENT SSD 410cm

Position	Half thickness (cm)	Fractional depth dose (TMR) (%)	Tissue deficit (cm)	Thickness of comp. filter (mmpb)
Top of head	3	98.0	17	1.38
Center of forehead	7.5	91.2	12.5	1.09
Base of chin	6.5	93.5	13.5	1.18
Neck	5	97.0	15	1.31
Suprasternal notch	20	66.8	0	0
Lung	20(9)	77.9	6	0.52
Xyphoid process	21(9)	79.0	7	0.61
Abdomen	18	70.3	2	0.17
Umbilicus	18	70.3	2	0.17
Pelvis	20	66.8	0	0
Thigh	13	79.8	7	0.61
Knee	11	83.8	9	0.78
Leg	10	85.9	10	0.87
Foot	8	90.2	12	1.05

Table 3. TBI PHANTOM DOSIMETRY BILATERAL FIELDS 10MV X-RAYS

Section	Without compensator		With compensator	
	Mid-point dose calculated (rad)	Mid-point dose measured (rad)	Mid-point dose calculated (rad)	Mid-point dose measured (rad)
Head	114	113	100	96.0
Neck	121	125	100	100.6
SN	98	99	100	93.9
Mid-mediastinum	109	106	100	99.0
Lung	106	106	100	98.1
Xyphoid	103	106	100	97.3
Abdomen	100	99	100	99.8
Pelvis	88	86	100	101.4
Thigh	95	92	100	101.3
Knee	103	98	100	101.1
Leg	112	120	100	102.0
Mean	104.45	104.55	100	99.14
Standard Deviation	8.90	11.04		2.45

하며 굴곡이 있는 전신에 균일한 선량분포를 얻기 위해서는 방사선의 에너지, 조사면, 방사선의 방향, 환자의 체위 굴곡의 정도에 따른 가장 적합한 보상여과판을 제작 사용하여야 한다.

의료용 13Mev의 선형가속기에서 방출되는 10Mv X-선을 전신조사 방법에 이용하기 위하여 우선 放

射線 物理的인 기본실험과 放射線 生物學的인 면을 검토하여 방사선 전신조사에 이상이 없는 기본 실험방법을 개발하고 측정된 결과는 다음과 같다.

1) 촛점으로부터 4.1m의 거리에서 전신에 충분한 130×130cm의 조사면을 얻을 수 있었으며 조사면의 직각부분은 약 20%의 선량이 감소되었으나 굴곡

체위를 취함으로써 균일한 선량을 얻을 수 있었다.

2) 방사선 조사방향은 환자의 상태와 균일한 선량 분포를 위해서 환자의 굴곡좌위 상태로 좌우 두문대향 조사방법을 택하였다.

3) 환자의 고정에는 산란선이 거의 없는 styrofoam 등판을 사용하였고 환자의 가운을 두겹게하여 자체 Bolus역활을 하였다.

4) 신체의 굴곡에 의한 中心蓄 선량의 변동을 줄이기 위하여 특별히 고안된 보상여과판을 제작 사용함으로써 중심축 변동선량을 $\pm 5\%$ 이내로 감소시킬 수 있었다.

5) 실험을 반복하기 위해서 軟組織 등가인 phantom과 lung Tissue 등가인 Cork를 이용하여 인체 크기 굴곡좌위형의 인체 phantom을 제작하였으며 실험과의 오차는 $\pm 10\%$ 미만이었다.

6) 인체 및 Phantom에 대한 선량측정은 조직 등가인 Phantom과 직선적인 선량반응을 가진 熱螢光測定器를 사용했으며 표준선량 측정기와 비교하여 일치하였다.

REFERENCE

1. Aget H, Van Dyk J, Leung PMK: *Utilization of a high energy photon beam for whole body irradiation. Radiology* 123: 747-751, 1977.
2. Cunningham J.R, Wright D.J.: *A simple facility for whole body irradiation Radiology*. 78:941-949, 1962.
3. Dry JV, Leung PMK, Cunningham JR: *Dosimetric consideration of very large cobalt-60 fields. Int J Radiation Oncology Biophys.* 6:753-759, 1980.
4. Findley DO, Skov DD, Blume KG: *Total body irradiation with 10 MV linear accelerator in conjunction with bone marrow transplantation. Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 6:695-702, 1980.
5. Galvin JM, D'Angio GJ, Walsh G: *Use of tissue compensators to improve the dose uniformity for total body irradiation. Int. J Radiation Oncology Biol Phys.* 6:767-771, 1980.
6. Glasgow GP, Mill WB: *Colbat-60 total body irradiation dosimetry at 220 cm source-axis distance. Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 6:773-777, 1980.
7. Hall EJ: *Radiation dose-rate: A factor of importance in radiology and radiotherapy. Br J Radiol* 45:81-97, 1972.
8. Heublein AC: *A preliminary report on continuous irradiation of the entire body. Radiology* 18:1051-1062, 1932.
9. Jacobs ML, Marasso FJ: *A four-year experience with TBI. Radiology* 84:452-456, 1965.
10. Karzmark CJ, Deubert A, Loevinger R: *Tissue-phantom ratios; An aid to treatment planning. Br. J Radiol* 34:158-159, 1965.
11. Khan FM, Williamson JF, Sewchand W, Kim TH: *Basic data for dosage calculation and compensation. Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 6:745-751, 1980.
12. Kim TH, Kersey JH, Sewchand W, Nesbit ME, Krivit W, Levitt SH: *Total body irradiation with a high dose rate linear accelerator for bone marrow transplantation in aplastic anemia and neoplastic disease. Radiology* 523-525, 1977.
13. Kim TH, Khan FM, Galvin JM: *Comparison of total body irradiation techniques for bone marrow transplantation. Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 6:779-784, 1980.
14. Lo CM, Salzman FA, Moschella SL, Tolman EL, Wright KA: *Whole body surface electron irradiation in the treatment of mycosis fungoides. Radiology* 130:453-457, 1979.
15. McCullough EA, Till JE: *The sensitivity of cells from normal mouse bone marrow to gamma-radiation in vitro and in vivo. Radiat Res* 16:822-832, 1962.
16. Medinger FG, Craver LF: *Total body irradiation with review of cases. Am J Roent*

- 48:651-671, 1942.
17. Page V, Gardner A, Karzmark CJ: *Patient dosimetry in the electron treatment of large superficial lesions. Radiology 94:635-641, 1970.*
 18. Peters L: *Discussion; The radiobiological bases of TBI. Int J Radiation Oncology Biol Phys. 6:785-787, 1980.*
 19. Peters LJ, Withers HR, Cundiff JH, Dicke KA: *Radiobiological considerations in the use of TBI for bone marrow transplantation. Radiology 131:243-247, 1979.*
 20. Sewchand W, Khan FM, Williamson J: *Total-body superficial electron beam therapy using a multiple-field pendulum-arc technique. Radiology 130:493-498, 1979.*
 21. Thomas ED, Lochte HL, Ferrebee JW: *Irradiation of the entire body and marrow transplantation: Some observations and comments. Blood 14:1-23, 1959.*