

전신방사선조사시 균등한 선량분포를 이루기 위한 조직보상체의 이용

경상대학교병원 치료방사선과* 전남대학교병원 치료방사선과

박 승 진* · 정 응 기 · 안 성 자 · 남 택 근 · 나 병 식

= Abstract =

Utilization of Tissue Compensator for Uniform Dose Distribution in Total Body Irradiation

Seung Jin Park*, Ph.D., Woong Ki Chung, M.D.,
Sung Ja Ahn, M.D., Taek Keun Nam, M.D. and Byung Sik Nah, M.D.

*Department of Therapeutic Radiology, Gyeongsang National University Hospital**

Department of Therapeutic Radiology, Chonnam University Hospital

Purpose : This study was performed to verify dose distribution with the tissue compensator which is used for uniform dose distribution in total body irradiation(TBI).

Materials and methods : The compensators were made of lead(0.8mm thickness) and aluminum(1mm or 5mm thickness) plates. The humanoid phantom of adult size was made of paraffin as a real treatment position for bilateral total body technique. The humanoid phantom was set at 360cm of source-axis distance(SAD) and irradiated with geographical field size(FS) $144 \times 144\text{cm}^2$ ($40 \times 40\text{cm}^2$ at SAD 100cm) which covered the entire phantom. Irradiation was done with 10MV X-ray(CLINAC 1800, Varian Co., USA) of linear accelerator set at Department of Therapeutic Radiology, Chonnam University Hospital. The midline absorbed dose was checked at the various regions such as head, mouth, mid-neck, sternal notch, mid-mediastinum, xiphoid, umbilicus, pelvis, knee and ankle with or without compensator, respectively. We used exposure/exposure rate meter(model 192, Capintec Inc., USA) with ionization chamber(PR 05) for dosimetry. For the dosimetry of thorax region TLD rods of $1 \times 6\text{mm}^3$ in volume(LiF, Harshaw Co., Netherland) was used at the commercially available humanoid phantom.

Results : The absorbed dose of each point without tissue compensator revealed significant difference(from -11.8% to 21.1%) compared with the umbilicus dose which is a dose prescription point in TBI. The absorbed dose without compensator at sternal notch including shoulder was 11.8% less than the dose of umbilicus. With lead compensator the absorbed doses ranged from $+1.3\%$ to -5.3% except mid-neck which revealed over-compensation(-7.9%). In case of aluminum compensator the absorbed doses were measured with less difference(from -2.6% to 5.3%) compared with umbilicus dose.

Conclusion : Both of lead and aluminum compensators applied to the skull or lower leg revealed a good compensation effect. It was recognized that boost irradiation or choosing reference point of dose prescription at sternal notch according to the lateral thickness of patient in TBI should be considered.

Key Words : Total body irradiation, Compensator, Dose distribution

서 론

전신방사선조사는 신경아세포종, 윌름스씨종양, Ewing's sarcoma, 악성임파종 및 백혈병 등의 악성종양에 효과적인 치료방법으로 이용되고 있다. 또한 백혈병 환자에게는 골수이식술을 시행하기 앞서 암세포의 근절과 이식자의 면역억제를 위하여 흔히 사용된다. 전신방사선조사는 상용의 치료때와는 달리 치료거리가 멀어지고 대형조사면을 사용하므로 체내에서의 선량분포가 확실하지 않고 흡수선량 측정에 따른 제반 문제가 수반된다. 전신 방사선조사후 조직에서의 균등한 선량분포에 대한 정해진 기준은 없으나 뒤따르는 합병증을 최소화하기 위하여 많은 노력이 기울여져왔다. 그 일환으로 환자의 불규칙한 굴곡면에 따른 선량분포의 균등성을 얻기위하여 과거부터 조직등가물질이나 조직보상체를 사용해오고 있다. 저자들은 전남대학교병원 치료방사선과에 설치된 선형가속기(CLINAC 1800, Varian Co., USA)를 이용하여 전신방사선조사시 종래 사용되어온 방법에 따라 납 및 알루미늄판으로 조직보상체를 제작하여 선량분포의 균등성을 확인하고 나아가 전신조사에 대한 자료로 사용하기 위하여 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

조직보상체(tissue compensator)의 재료는 밀도 11.35g/cm^3 이고 두께 0.8mm 인 납판과, 밀도 2.7g/cm^3 이고 두께 1mm 및 5mm 인 알루미늄판을 이용하였다. 조직보상체의 두께 결정에 있어서 먼저 dose prescription point인 umbilicus에 대한 tissue equivalent thickness의 차이인 조직결손두께(tissue deficit : TD)의 결정은 공식, $\text{TD} = L_{\text{ref}} - L$ 에 의하여 구하였으며 여기서 L_{ref} 은 umbilicus 부위에서의, 그리고 L 은 특정한 신체부위에서의 lateral

separation을 각각 나타낸다. 조직보상체의 두께는 다음의 공식,

$$L_c = \frac{1}{2} \times \frac{\tau}{\rho_{\text{comp}}} \times \text{TD} - \left| \frac{\ln K}{\mu_{\text{eff}}} \cdot \frac{\tau}{\rho_{\text{comp}}} \right|$$

에 의하여 구하였다¹⁾.

여기서 τ 는 thickness ratio를 나타내며^{2,3)} thickness ratio값으로 본 연구에서 0.70으로 계산하였으며 이 값은 보상체의 거리가 환자의 체표면으로부터 20cm 이상 떨어져 있을때는 근사치로 적합하다고 알려져 있다¹⁾. ρ_{comp} 는 보상체의 밀도를 나타낸다. K는 off-axis correction factor이고 이것은 중심축에서 멀어질수록 방사선이 약화되는 것과 환자의 여러 부위에 따른 유효산란면적(effective scattering field size)의 변화를 반영한다. 또한 μ_{eff} 는 조직에서의 방사선 에너지에 대한 broad beam linear attenuation coefficient를 나타낸다.

본 실험에서는 좌우 2문 대향조사 방법을 택하였으며 실제 치료시와 같은 앉은 자세의 성인 크기의 인체 모형 파라핀 팬텀을 제작하였다. 캐스트용 석고봉대를

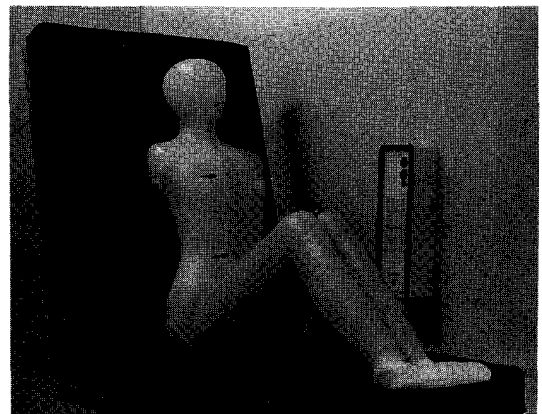


Fig. 1. The humanoid phantom of adult size was made of paraffin as a real treatment position for bilateral total body technique with holes(arrows) at measurement points.

humanoid phantom에 감아 굳혀서 속이 빈 모형을 만들고 여기에 Paraffin을 녹여 부어 만들었다. Ionization chamber를 이용한 선량측정을 위하여 팬텀의 중심선에서 head, mouth, neck, sternal notch, xiphoid, mid-mediastinum, umbilicus, pelvis, knee, ankle 부위에 각각 ionization chamber가 들어갈 수 있는 크기의 hole을 만들었다(Fig. 1).

방사선 조사야의 설정은 전신방사선조사를 위하여 특별히 제작된 table에 실험을 위하여 제작한 인체 모형 팬텀을 놓고, 치료거리는 source-axis distance (SAD)가 360cm 되게 설치하였다. 방사선 조사 방향은 gantry를 270도 회전시켜 선속의 방향이 수평이 되도록 하여 좌우 2문 대향조사를 이용하였다. 방사선은 선형가속기에서 생산되는 10MV X-ray를 사용하였다. 조사야의 크기는 collimator를 완전히 열어 SAD 100cm 에서 $40 \times 40 \text{cm}^2$ 으로 되게 하였으며 이때 SAD 360cm에서의 기하학적 조사야는 $144 \times 144 \text{cm}^2$ 이었고 이는 파라핀 팬텀을 완전히 포함할 수 있었다(Fig. 2).

조직보상체는 인체 모형 팬텀을 이용하여 각 부위에 해당하는 보상체의 두께를 계산하고 0.8mm 납판을 이용한 납보상체와 1mm 및 5mm 알루미늄판을 중첩하여 알루미늄보상체를 만들어 각각 측정하였다. 보상체는 head-neck, leg-foot 두 부분에 대하여 만들었

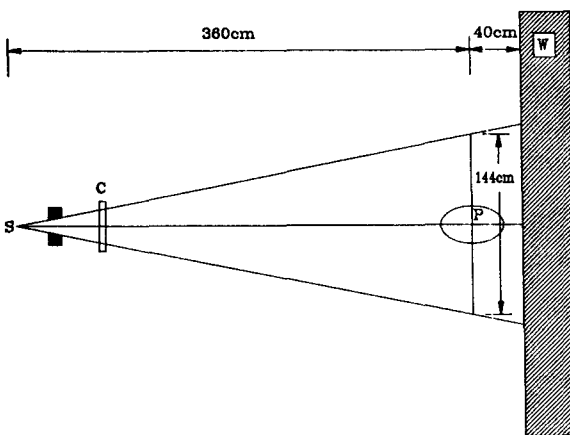


Fig. 2. Schematic illustration of the bilateral total body irradiation technique. Abbreviations used are: C, compensator tray; P, patient; S, radiation source; W, treatment room wall.

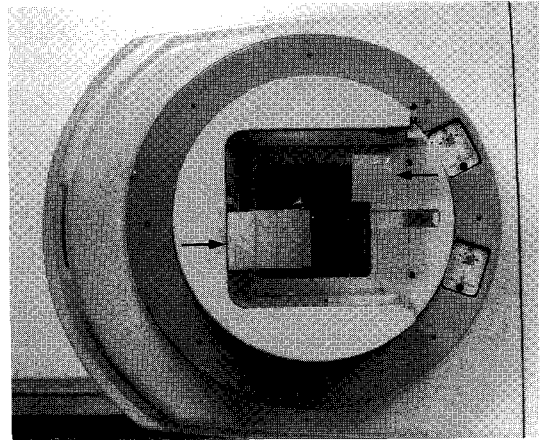


Fig. 3. The compensators (arrows) for head-neck and leg-foot are attached to the shadow tray of treatment head.

으며 치료기의 block tray에 고정시켰다(Fig. 3).

선량측정은 조직보상체를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 흡수선량을 각 부위에서 exposure/exposure rate meter(model 192, Capintec Inc., USA), with ionization chamber(PRO5)를 이용하여 5회씩 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

폐부위 선량측정을 위하여는 조직등가물질로 제작된 humanoid phantom과 TLD system(Model TLD 4000, Harshaw Co., Netherland)을 이용하였다. TLD material은 LiF로서 부피 $1 \times 1 \times 6 \text{mm}^3$, 무게는 약 16mg인 rods이다. Calibration은 ^{90}Sr TLD irradiator 및 ionization chamber와 비교 교정하였다. Reading 조건은 100°C 에서 10초 동안 preheat 하고, 100°C 에서 350°C 까지 $10^\circ\text{C}/\text{sec}$ 가온속도로 올리면서 30초간의 acquisition time을 주었다.

결 과

파라핀 팬텀에서 계산된 보상체의 두께는 Table 1과 같다. SAD 360cm, field size(FS) $144 \times 144 \text{cm}^2$ 에서 10MV X-ray를 100 monitor unit (MU)조사한 후 조직보상체를 사용하지 않고 측정한 결과와 사용후의 측정 결과를 비교하였다. 팬텀의 측정 위치는 head, mouth, mid-neck, sternal notch, mid-mediastinum, xiphoid, umbilicus, pelvis, knee, ankle을 선택하였다. 조직보상체를 적용하지

Table 1. The calculated compensator thickness for humanoid paraffin phantom.

Site	Lateral thickness (cm)	Tissue thickness deficit (g/cm ³)	Compensator thickness(cm)	
			Lead	Aluminum
Head	17.0	9.0	0.279	1.166
Mid-Neck	10.5	15.5	0.480	2.007
Shoulder	35.0	-9.0	*	*
Midmediastinum	29.5	-3.5	*	*
Xiphoid	26.0	0.0	*	*
Umbilicus	26.0	0.0	*	*
Pelvis	33.5	-7.5	*	*
Thigh	25.0	1.0	0.031	0.130
Knee	20.0	6.0	0.186	0.777
Mid-calf	19.0	7.0	0.217	0.907
Ankle	14.0	12.0	0.372	1.554

* Compensator is not necessary

Table 2. Mean absorbed dose at the various points of phantom measured at SAD 360cm, FS 144 × 144cm² and 100MU by 10MV X-ray(lead compensator).

Measurement point	Mean absorbed dose			
	without compensator		with compensator	
	rad	difference(%)#	rad	difference(%)
Head	8.5	+11.8	7.2	-5.3
Mouth	8.9	+17.1	7.7	+1.3
Mid-neck	9.2	+21.1	7.0	-7.9
Sternal notch	6.7	-11.8	*	*
Mid-mediastinum	7.3	-3.9	*	*
Xiphoid	7.7	+1.3	*	*
Umbilicus	7.6	0.0	*	*
Pelvis	7.1	-6.6	*	*
Knee	8.0	+5.3	7.4	-2.6
Ankle	8.8	+15.8	7.4	-2.6

Percent difference relative to umbilicus dose.
* Compensator is not necessary.

얇고 100MU를 조사하였을때 흡수선량은 선량기준점인 umbilicus에서 7.6rad이었고 조직결손이 가장 큰 mid-neck부위는 9.2rad로서 umbilicus에 비하여 21.1%가 초과되었으며 조직두께가 가장 큰 sternal notch(어깨부위)에서는 6.7rad로서 11.8%가 미달되었다. 남으로 제작한 조직보상체를 사용한 후 흡수

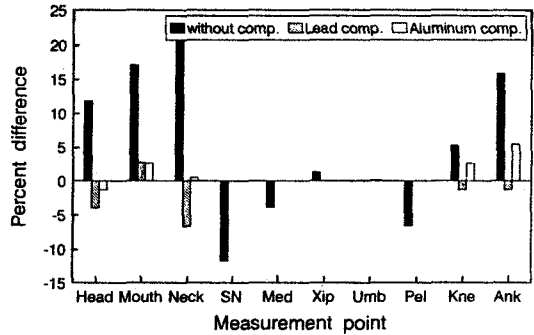


Fig. 4. Comparison of dose distribution with umbilicus dose after application of lead or aluminum compensator. Abbreviations used are: comp, compensator; SN, sternal notch; Med, mid-mediastinum; Xip, xiphoid; Umb, umbilicus; Pel, pelvis; Kne, knee; Ank, ankle.

Table 3. Mean absorbed dose at the various points of phantom measured at SAD 360cm, FS 144 × 144cm², by 10MV X-ray(aluminum compensator).

Measurement point	Mean absorbed dose			
	without compensator		with compensator	
	rad	difference(%)#	rad	difference(%)
Head	8.5	+11.8	7.5	-1.3
Mouth	8.8	+15.8	7.8	+2.6
Mid-neck	9.1	+19.7	7.6	0.0
Sternal notch	6.7	-11.8	*	*
Mid-mediastinum	7.3	-3.9	*	*
Xiphoid	7.7	+1.3	*	*
Umbilicus	7.6	0.0	*	*
Pelvis	7.1	-6.4	*	*
Thigh	7.4	-2.6	7.4	-2.6
Knee	7.9	+3.9	7.8	+2.6
Ankle	8.8	+15.8	8.0	+5.3

Percent difference relative to umbilicus dose.
* Compensator is not necessary.

선량의 차이는 약 8%이내의 비교적 균등한 선량분포를 이루었다(Table 2). 한편 알루미늄판으로 제작한 조직보상체를 사용한 경우 umbilicus에 비하여 흡수선량의 차이는 약 5% 이내로서 남의 경우보다 균등한 선량분포를 보였다(Table 3)(Fig. 4).

Thorax 부위의 선량분포는 상업용 humanoid ph-

Table 4. Mean absorbed dose at thorax measured by ionization chamber and TLD at SAD 360cm, FS 144×144cm².

Measurement point	Mean absorbed dose			
	ionization chamber*		TLD [§]	
	rad difference(%) [#]		rad difference(%) [#]	
Sternal notch	6.7	-11.8	7.5	-9.6
Mid-mediastinum	7.3	-3.9	7.9	-4.8
Xiphoid	7.7	+1.3	8.1	-2.4
Umbilicus	7.6	0.0	8.3	0.0

* Measured at paraffin phantom.

§ Measured at commercial humanoid phantom.

Percent difference relative to umbilicus dose.

antom을 이용하여 mid-mediastinum(sternal notch와 xiphoid의 중간점)을 선택하여 TLD로 측정하였다. SAD 360cm, FS 144×144cm²조건에서 10MV X-ray를 100MU 조사하였을 때 평균 흡수선량은 7.9rad였고 umbilicus dose 8.3rad(measured by TLD)에 비하여 4.8%적었다. 파라핀으로 만든 arm을 humanoid phantom에 부착시키고 TLD로 측정한 sternal notch 부위 선량은 7.5rad였고 umbilicus dose 8.3 rad에 비하여 9.6% 적었다. 파라핀 팬텀에서 ionization chamber로 측정한 thorax 부위 선량은 umbilicus dose 7.6rad에 비하여 sternal notch에서 6.7rad로 11.8%, mid-mediastinum에서 7.3rad로 3.9%가 각각 적었으며 xiphoid 부위에서는 7.7rad로 1.3% 많았다(Table 4).

고 안

전신방사선조사는 1923년에 Chaoul과 Lange⁴⁾에 의하여 처음 소개된 이래 60년 이상 시행되어왔다. photon beam에 의한 전신방사선조사는 신경아세포종, 윌름스씨종양, Ewing's sarcoma 등의 환자에 효과적인 치료방법으로 이용되어 왔다⁵⁻¹²⁾. 그리고 진행된 암환자에 한번에 1-3 Gy 조사하는 방법으로 사용되었다¹³⁾. 또한 급성백혈병 환자에서 골수이식때 이용되며^{4,14)}, 이때 전신방사선조사의 목적은 백혈병 환자에게 건강한 골수세포를 이식하기 전에 모든 stem cell을 전멸시키는데 있다.

방사선전신조사의 경우 환자의 몸 전체를 포함할 수

있는 조사야를 사용하는 것이 가장 좋다. 그러나 환자의 안정감, 방사선치료시간, 치료공간과 치료장비의 활용면이 고려되어야 한다. 충분히 큰 조사야를 얻기 위한 전통적인 방법은 치료거리를 연장시키는 것이었다¹⁶⁾. 본 연구에서 치료거리는 선원으로부터 팬텀의 중심축까지의 거리를 360cm으로 연장하였으며 치료기의 collimator를 완전히 열어 SAD 100cm에서 40×40cm², SAD 360cm에서 144×144cm²의 조사야가 되게 하였다. 방사선조사는 좌우 2문 대향조사를 이용하였다.

전신방사선조사를 위한 대형 방사선조사야는 대부분 전후 또는 좌우 대향조사를 이용하며 코발트-60으로 치료하는 경우 전후 대향조사방법보다 좌우 대향조사 시 선량분포의 변화가 더 심한 것으로 되어 있다. 그러나 선형가속기에서 생산되는 고에너지 X-ray로 치료하는 경우는 선량분포의 변화가 덜 심하므로 좌우 대향조사가 바람직하다고 보고되고 있다^{17,18)}. 전신방사선조사에서 고선량을 선형가속기의 사용은 두가지 분명한 장점이 있는데 첫째는, 치료시간이 단축되는 점이고 둘째는, 좌우 대향조사방법으로 치료할 때 환자를 움직일 필요가 없이 table을 회전시켜 좌우 치료 방향을 전환시킬 수 있다는 것이다. 이점은 환자가 움직일 수 없는 경우에 좋다⁹⁾.

전신방사선조사는 매우 넓은 방사선조사야에 균등한 선량분포가 이루어 질 수 있도록 해야하는데 이러한 대형조사면이나 치료조건에서는 선량측정면에서 상용의 방사선 치료때와는 다른 문제가 수반된다. 한편 전신방사선조사시 먼 거리에서 환자를 치료하기 위해서는 실제 연장된 거리에서의 측정값을 사용해야 하고, depth dose는 scatter, 팬텀 크기, 환자의 모양에 따라 다를 수 있기 때문에 각각의 환자에서 선량을 확인해야 한다는 보고가 있다^{19,20)}. 저자들은 선형가속기에서 생산되는 10MV X-ray를 이용한 전신방사선조사를 하기 위하여 깊이선량을, principal 및 diagonal axis에서의 측방선량분포, 최대선량점, 표면선량등에 관한 기본적 측정을 시행하였으며 그 결과는 별도의 주제로 보고하고 있다²¹⁾. 인체내에 균일한 방사선량을 조사하기 위하여는 환자의 모양을 고려하는 특별한 방법이 필요하며, 또한 피부 표면에 조직등가물질(tissue equivalent bolus)의 사용이나 환자로부터 멀리 떨어져 있는 위치에 조직보상체(tissue compensa-

tor)의 사용에 의한 선량분포를 개선하기 위한 방법이 필요하다. 전신방사선조사를 위한 조직보상체의 제작에 관한 방법은 여러 저자들에게 의하여 보고되었다^{1,22,23)}. 본 연구는 종래 사용되어온 방법에 따라 납과 알루미늄으로 조직보상체를 만들어 선량분포를 확인하고자 하였다. 저자들은 실제 치료시의 환자 체위와 비슷하게 파라핀으로 인체 모형을 제작하였으며 이에따른 조직보상체를 만들고 중심축상의 흡수선량을 ionization chamber로 측정하였다.

방사선치료에 사용되는 표준등선량곡선은 단위 밀도의 팬텀에서 방사선속의 중심축에 직각으로 면하는 평평한 면에서 측정된 값에 근거한다. 이러한 등선량곡선이 실제 치료에 정확하게 적용되기 위해서는 환자의 불규칙한 면을 방사선속의 중심축에 직각으로 만나는 평면이 되게 전환시키는 어떠한 방법이 필요하다. 250KV를 이용한 치료시 널리 이용되었던 방법은 환자의 불규칙한 면을 단위 밀도의 조직등가물질로 채워주는 것이었다. 그러나 일반적으로 이 방법은 고에너지 방사선속의 중요한 장점인 피부보호효과를 없애기 때문에 바람직하지 못하였다. 그러나 코발트-60 치료시에는 Frank Ellis에 의하여 고안된 조직보상체의 사용으로 원하는 효과를 얻을 수 있었다²⁾.

전신방사선조사와 같이 대형조사면에서는 상용의 방사선 조사야에 비하여 조직보상체의 사용이 어렵다. 그것은 대형조사면을 얻기 위하여 치료거리가 멀어지기 때문에 환자로부터 상당히 멀리 떨어진 위치에서 치료기 전면에 흡수물질을 부착시키거나 놓아야 하기 때문이다. 결과적으로 환자의 피부에 표시한 위치와 일치시키기 어렵다. 다른 한가지는 전신조사중 환자를 고정시킬 수 없기 때문에 환자의 움직임은 문제가 될 수 있다. 이와같은 이유로 납이나 구리를 이용한 간단한 일차원적 보상체가 이용되고 있다²⁴⁾.

전신방사선조사를 위한 조직보상체를 만들기 위해서는 조직결손(tissue deficit), 조직의 밀도 ρ (muscle or lung), thickness ratio를 알아야 한다. 여기서 thickness ratio는 Hall과 Oliver²⁵⁾에 의하여 소개된 개념으로서 팬텀의 일정한 깊이에서 동일한 흡수선량을 나타낼 수 있는, 팬텀 표면에 접한 unit density bolus에 대하여 shadow tray에 놓이게 되는 unit density 보상체의 두께의 비를 말한다. Thickness ratio data는 팬텀에 5-10cm 두께의 흡수물질을 놓

고 일정한 위치의 depth dose를 측정후 보상체가 놓일 위치에서 역시 흡수물질을 놓고 같은 선량이 되도록 보상체의 두께를 조절하여 두 흡수물질의 비를 구하므로써 얻을 수 있다³⁾. Thickness ratio는 beam energy, field size, extent of tissue deficit, 보상해야할 점의 깊이 그리고 환자 표면으로부터 보상체가 놓이는 거리에 따라 달라진다. 보상체는 깊이에 따라 깊은 곳은 과도하게, 얇은 곳은 부족하게 보상하게 된다. 그러므로 실제 임상에서는 $\pm 5\%$ 이내의 보상을 이룰 수 있는 평균보상비(average thickness ratio)를 얻는 것이 합리적이라 하였으며 Cobalt-60, 4MV, 10MV에서 보상비 0.70은 환자 표면으로부터 20cm 이상 떨어졌을 때 좋은 결과를 보였다고 하였다¹⁾. 또한 보상체의 재료로서는 aluminum, copper, lead등을 사용할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 보상비를 0.70으로 사용하였고 납판과 알루미늄판으로 각각 보상체를 제작하여 흡수선량을 비교하였다. 보상체의 두께 결정은 저자들이 이용한 tissue deficit를 이용하는 방법외에 TPR(Tissue phantom ratio)을 이용하는 방법이 있다^{1,7,23)}.

방사선량의 정확도에 관해서 ICRU(The International Commission on Radiation Units and Measurements)는 $\pm 5\%$ 를 추천하였다²⁵⁾. 그러나 최근의 half body and total body irradiation에 관한 data는 lung dose의 $\pm 5\%$ 변화는 radiation pneumonitis의 incidence에 $\pm 20\%$ 의 변화를 초래할 수 있다고 보고하고 있다^{26,27)}. 방사선치료량이 방사선 폐렴을 일으킬 수 있는 양보다 훨씬 못 미치면서 종양을 충분히 제어할 수 있다면 $\pm 5\%$ guideline은 $\pm 10\%$ 나 $\pm 15\%$ 까지도 허용할 수 있을 것이다. 한편 좌우 대향 전신조사시 대부분의 경우 양측 상박을 흉곽 측벽에 위치시킴으로서 종격동 부위의 좌우 조직 두께가 선량측정 기준점인 umbilicus 부위에서 보다 더 두껍기 때문에 폐에 대한 보상체는 필요하지 않는 것으로 보고하고 있다²⁸⁾.

본 연구에서 SAD 360cm, field size 144 × 144cm²에서 10MV X-ray를 100MU 조사한 후, 보상체를 사용하지 않은 경우 umbilicus 선량을 기준으로하였을 때 -11.8%에서 21.1%까지의 심한 중심선량 차이를 보였다. 선량의 차이가 가장 심한 곳은 목 부위로 21.1%가 더 많았으며 이는 김등²⁹⁾의 결과

와 비슷하였다. 균일한 선량분포를 얻기 위하여 0.8mm 두께의 납으로 만든 조직보상체를 사용한 경우 흡수선량은 기준점인 umbilicus에 비하여 mid-neck 부분에서 7.9%가 부족하였으며 그외의 부위에서는 5% 이내의 만족할 만한 결과를 나타내었다. 또한 1mm 및 5mm 두께의 알루미늄판으로 만든 보상체의 사용시에 선량 차이는 -1.3%에서 5.3%까지의 보다 좋은 결과를 보여주었다. 즉, 납 및 알루미늄판을 이용한 조직보상체는 양자 모두 비교적 만족할 만한 보상효과를 보여주었다.

Sternal notch 부위에서 ionization chamber로 파라핀 팬텀에서 측정한 선량은 umbilicus에 비하여 11.8%가 부족하였으며 이는 어깨 부위의 두께 때문으로 생각된다. mid-mediastinum에서도 3.9%가 부족하였다. 파라핀 팬텀은 폐조직이 고려되지 않았기 때문에 저자들은 thorax 부근의 중심선량은 조직등가 물질로 제작된 상업용 humanoid phantom에서 TLD를 이용하여 측정하여 비교하였다. 동일한 전신조사 조건에서 측정된 선량은 umbilicus 선량에 비교하여 sternal notch에서 9.6%, mid-mediastinum에서는 약 4.8% 부족하여 비슷한 결과를 보였다. 강은 Co-60 beam을 이용하여 SAD 279cm에서 전신조사를 위한 측정을 시행하였으며 그 결과 어깨 부위는 현저하게 선량이 감소하였고 경부는 선량이 초과하였지만 110%를 넘지 않았다. 그리고 상부 폐부위와 골반부는 90% 이하였다. 따라서 이와같이 두꺼운 부위에서는 boost irradiation이 요구된다고 보고하였다³⁰⁾.

결 론

전신방사선조사시 균등한 선량분포를 얻기 위하여 사용되는 조직보상체를 제작하여 치료시의 환자 체위와 비슷한 파라핀 팬텀과 상업용 humanoid phantom에서 중심선량을 측정하고 비교하였다. 납판과 알루미늄판으로 제작한 전신방사선조사용 조직보상체는 선량기준점인 umbilicus 선량에 비교하였을 때 두경부와 하지에 있어서 비교적 만족할만한 보상효과를 나타내었다. 어깨가 있는 상흉부에서는 선량이 현저히 감소하여 환자의 두께에 따라 선량기준점을 sternal notch로 하거나 boost-irradiation이 고려되어야함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Khan F, Williamson J, Sewchand W, et al : Basic data for dosage calculation and compensation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 6 : 745-751, 1980
2. Hall EJ, Oliver R : The use of standard isodose distributions with high energy radiation beams—the accuracy of a compensator technique in correcting for body contours. *Br J radiol* 34 : 43-52, 1961
3. Khan F, Moore V, Burns D : The construction of compensators for cobalt teletherapy. *Radiology* 96 : 187-192, 1970
4. Chaoul H, Lange K : Uber lymphogranulomatose und ihre behandlung unit. *Roentgenstrahlen. Munchen med Wehnschr* 70 : 725-727, 1923(cited from reference No.9)
5. Donaldson SS, Kun LE : Magna-field irradiation; A note of caution. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9 : 1973-1974, 1983
6. Jenkin RDT, Rider WD, Sonley MJ : Ewing's sarcoma. *Radiology* 96 : 151-155, 1970
7. Findley DO, Skov DD, Blume KG : Total body irradiation with a 10MV linear accelerator in conjunction with bone marrow transplantation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 6 : 695-702, 1980
8. Peter LJ, Withers HR, Cundiff JH, et al : Radiobiological considerations in the use of total body irradiation for bone marrow transplantation. *Radiology* 131 : 243-247, 1979
9. Aget H, Van Dyk J, Leung PMK : Utilization of a high energy photon beam for whole body irradiation. *Radiology* 123 : 747-751, 1977
10. Serota FT, Burkey ED, August CS, et al : Total body irradiation as preparation for bone marrow transplantation in treatment of acute leukemia and aplastic anemia. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9 : 1941-1949, 1983
11. Munoz LL, Wharam MD, Kaizer H, et al : Magna-field irradiation and autologous marrow rescue in the treatment of pediatric solid tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9 : 1951-1954, 1983
12. Kinsella TJ, Glaubiger DG, Disseroth A, et al : Intensive combined modality therapy including

- low-dose TBI in high risk Ewing's sarcoma patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 9 : 1955-1960, 1983
13. **Saenger EL, Silberstein EB, Aron B, et al** : Whole body and partial body radiotherapy of advanced cancer. *Am J Roentgenol* 117 : 670-685, 1973
 14. **Santos GW** : Immunosuppression for clinical marrow transplantation. *Semin Hematol* 11 : 342-343, 1974.
 15. **Johnson RE** : Radiation therapy of generalized lymphocytic lymphomas. *Am J Roentgenol* 117 : 50-53, 1973
 16. **Kereiakes JG, Van de Riet W, Born C, et al** : Active bone marrow dose related to hematological changes in whole body and partial body ⁶⁰Co gamma radiation exposures. *Radiology* 103 : 651-656, 1972
 17. **Rider WD, Van Dyk J** : Total and partial body irradiation. In "Radiation Therapy Planning". Bleeher NM, Glatstein E, Haybittle J(Eds). New York, Marcel Dekker, 1982, pp 559-594
 18. **Van Dyk J** : Whole and partial body radiotherapy; Physical consideration. In "Advances in Radiation Therapy Planning". *AAPM Med Phys Monog* 9 : 403-426, 1983
 19. **Karzmark CJ, Denbert A, Loevinger R** : Tissue-phantom ratios. An aid to treatment planning. *Br J Radiol* 38 : 158-159, 1965
 20. **Kirby TH, Hanson WF, Cates DA** : Verification of total body photon irradiation dosimetry techniques. *Med Phys* 15 : 364-369, 1988
 21. **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(in print)
 22. **Svensson GJ, Larsen RD, Chen TS** : The use of 4MV linear accelerator for whole body irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 6 : 761-765, 1980
 23. **Galvin JM, D'Angio GJ, Walsh G** : Use of tissue compensators to improve the dose uniformity for total body irradiation. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 6 : 767-771, 1980
 24. **Van Dyk J, Galvin JM, Glasgow GP, et al** : The physical aspects of total and half body photon irradiation. *AAPM report No.17*, American Institute of Physics, 1986, pp25-27
 25. **International Commission on Radiation Units and Measurements(ICRU)** : Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures. *ICRU Report*24.1976, pp 45-50
 26. **Keane TJ, Van Dyk J, Rider WD** : Idiopathic interstitial pneumonia following bone marrow transplantation; The relationship with total body irradiation. *Int J Radiat. Oncol Biol Phys* 7 : 1365-1370, 1981
 27. **Van Dyk J, Keane TJ, Kan S, et al** : Radiation pneumonitis following large single dose irradiation; A re-evaluation based on absolute dose to lung. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 7 : 461-467, 1981
 28. **Kim TH, Gerbi BJ, Lo JN** : Total body irradiation for bone marrow transplantation In "Levitt and Tapley's Technological Basis of Radiation Therapy". Levitt SH, Khan FM, Potish RA(Eds). 2nd Ed, Philadelphia/London, Lea & Febiger, 1992,pp 382-395
 29. **Kim JK, Kwon HC, Kim JS, et al** : Basic measurements and dose compensation for total body irradiation. *J Korean Aso Phys Med* 3 : 25-34, 1992
 30. **Kang WS** : Dose distribution of Co-60 photon beam in total body irradiation. *J Korean Aso Phy Med* 2 : 109-119, 1991

국문초록 =

전신방사선조사시 균등한 선량분포를 이루기 위한 조직보상체의 이용

경상대학교 병원 치료방사선과* 전남대학교병원 치료방사선과

박승진* · 정웅기 · 안성자 · 남택근 · 나병식

연구목적 : 전신방사선조사시 인체내에 균등한 선량분포를 얻기 위하여 조직보상체를 제작하고 그에 따른 선량 분포를 확인하고자 하였다.

대상 및 방법 : 0.8mm 두께의 납판을 이용한 조직보상체와 1mm 및 5mm 두께의 알루미늄판을 이용한 조직보상체를 두경부와 하지 두 부분에 대하여 각각 제작하였다. 좌우 대향전신조사시 각 신체부위에 따른 선량분포의 측정을 위하여 파라핀으로 성인 크기의 인체 모형을 실제 치료시의 체위와 비슷하게 만들어 사용하였다. 방사선은 10MV X-ray(CLIAC 1800, Varian Co., USA)를, 측정기구는 exposure/exposure rate meter(model 192, Capintec, Inc., USA) with ionization chamber(PR 05)를 이용하였고 SAD 360cm에 파라핀 팬텀의 정중선을 맞추고 기하학적 방사선조사야는 $144 \times 144 \text{cm}^2$ 으로하여 전신이 포함되도록 하였으며 head, mouth, mid-neck, sternal notch, mid-mediastinum, xiphoid, umbilicus, pelvis, thigh, knee 및 ankle부위에서 midline absorbed dose를 각각 측정하였다. 흉부의 선량 측정에는 조직등가물질로 제작된 상업용 humanoid 팬텀에서 $1 \times 1 \times 6 \text{mm}^3$ 부피의 TLD rod(LiF, Harshaw Co., Netherland)를 이용하였다.

결과 : Umbilicus를 기준으로 하였을 때 조직보상체를 적용하지 않은 경우 흡수선량은 -11.8%에서 21.1%까지의 차이를 보였다. 어깨가 포함되는 sternal notch에서의 선량은 11.8% 감소하였다. 조직보상체를 적용한 경우의 흡수선량은 0.8mm 납보상체의 경우 mid-neck에서 -7.9%, 그외 다른 부위는 +1.3%에서 -5.3%까지 였다. 그리고 1mm 및 5mm 알루미늄 보상체를 적용한 경우 ankle 부위에서 5.3%, 그외 다른 부위는 -2.6%에서 2.6%까지의 흡수선량 차이를 보였다.

결론 : 납과 알루미늄으로 제작한 전신방사선조사용 조직보상체는 선량기준점인 umbilicus 선량에 비교하였을 때 두경부와 하지에 있어서 비교적 만족할만한 보상효과를 나타내었다. 어깨가 있는 상흉부에서는 선량이 11.8% 정도 감소하므로 환자의 lateral thickness 차이에 따라 선량기준점을 sternal notch로 선택하거나 boost irradiation이 고려되어야함을 알 수 있었다.

주요어 : 전신방사선조사, 조직보상체, 흡수선량