

백혈병에서 골수이식을 위한 전신방사선조사시 선량분포 특성

김성규, 김명세, 신세원
영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

초 록

백혈병 환자에서 골수이식을 하기전 전신방사선조사를 시행할 때 우선적으로 해결되어야 할 과제는 총선량의 결정과 머리, 목, 폐, 복부, 골반과 다리등 모든 부위에 동일한 선량을 조사하는 것이다. 본 연구에서는 머리, 목, 폐등 밀도와 두께에 따른 선량보정을 AI으로 만든 조직보상체를 이용하는 미네소타대학 방법(방법 1)과 소아들이 장시간 동안 편안한 자세로 움직이지 않고 치료받을수 있도록 본원에서 개발한 고정치료틀에 조직등가물질로 머리, 목, 폐등을 보정한 방법(방법 2)의 선량분포를 비교검토하였다. 또한 슬로안-케트링 병원에서 시행하고 있는 똑바로 앉아 치료하는 경우(방법 3) 선량분포와 폐 차폐에 따른 차폐체 제작 및 여러 가지 문제들을 고려하였다. 방법 1에서는 95.6% 에서 100%의 선량분포를 보였으며, 방법 2에서는 95.4% 에서 100% 의 선량분포를 보였다. 또한 방법 2에서 중심 부위와 표면 부위의 선량분포는 머리 부위에서 103.4%, 목 부위에서 101.5%, 배꼽 부위에서 102.3%를 나타내었다.

서 론

일반적으로 전신방사선조사는 임파구성 백혈병 환자에게 골수이식을 시행하기에 앞서 암세포의 파괴와 이식자의 면역억제를 위하여 사용된다. 임파구성 백혈병의 적절한 치료를 위해서 전신방사선조사를 시행할 때 우선적으로 해결되어야 할 과제는 총선량의 결정과 머리, 목, 폐, 복부, 골반과 다리등 모든 부위에 동일한 선량을 조사하는 것이다^{1,2)}. 환자들의 불규칙한 골곡면과 부위에 따른 두께의 차이에 따른 균등한 선량분포를 얻기 위하여 조직보상체나 조직등가물질을 사용하였다. 전신방사선조사는 전신이 포함되는 매우 넓은 조사면적에 균등한 선량이 조사되어야 하기 때문에 상용의 방사선치료 때와는 달리 여러가지 다른 문제가 수반된다. 이러한 요소들의 보정을 위하여 실제 멀리 떨어진 거리에서의 측정값을 사용하여야 하며, 심부선량도 scatter, 펜텀크기, 환자의 크기와 모양에 따라 다르기 때문에 환자마다 선량을 측정하여 사용하는 것이 필수적이라는 주장도 있다. 최근에는 10 MV 이상 되는 고에너지를 이용한 전신방사선조사에 관한 많은 논문들이 보고되고 있으며, 사용된 총선량은 7.5 Gy-10 Gy 정도로 보고하고 있다³⁻⁷⁾.

전신방사선조사시 선원에서부터 환자가 3m 이상 떨어져 있음을 고려한다면 2 시간에서 3 시간 정도 치료하여야 하므로 동일한 자세를 장시간 유지하는 것이 힘들므로 여러 차례 분할하여 치료하는 것이 보통이다. 특히 어린아이인 경우에는 움직이지 않도록 하는 고정틀이 매우 중요한 치료인자가 될 수 있다.

본 연구에서는 Co-60 원격치료기(C/9, ATC)를 사용하였으며, 머리, 목, 폐등 밀도와 두께에

백혈병에서 골수이식을 위한 전신방사선조사시 선량분포 특성

따른 선량보정을 AI으로 만든 조직보상체를 이용하는 미네소타대학 방법(방법 1)(Fig. 1)과 소아들이 장시간 동안 편안한 자세로 움직이지 않고 치료받을수 있도록 본원에서 개발한 고정치료틀에 조직등가물질로 머리, 목, 폐등을 보정한 방법(방법 2)(Fig. 2)의 선량분포를 비교검토하였다. 아울러 슬로안-케트링 병원에서 시행하고 있는 똑바로 앉아 치료하는 경우(방법 3)의 선량분포와 폐 차폐에 따른 차폐체 제작 및 여러 가지 문제들을 고려하였다.

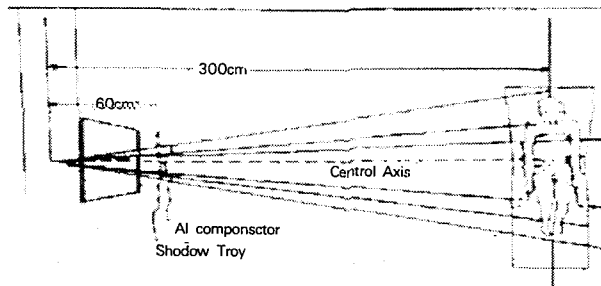


Fig. 1. Total body irradiation technique using AI compensator.

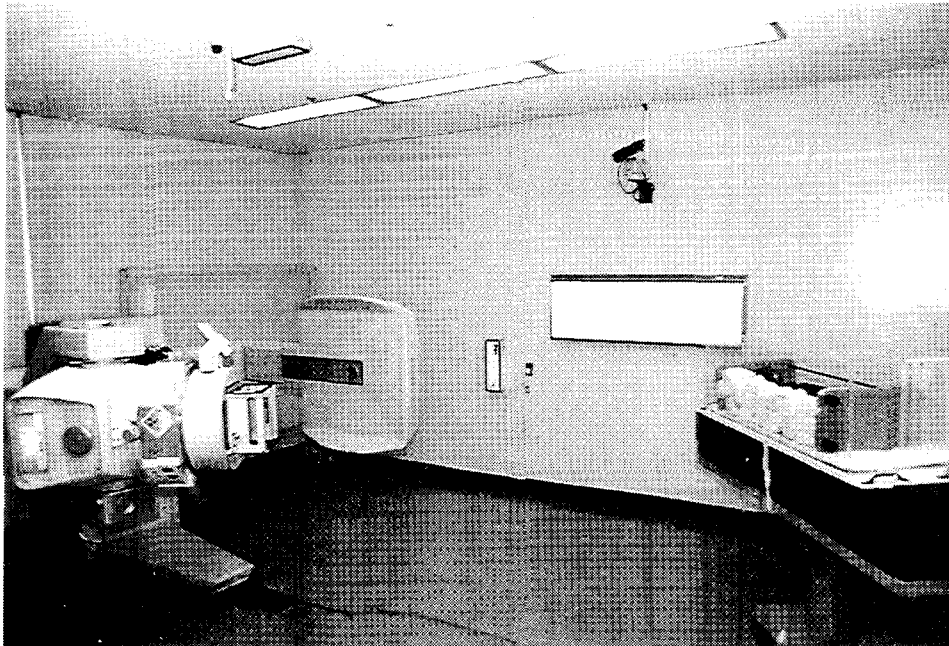


Fig. 2. Total body irradiation technique using acryl box made in Ycungham University Medical Center.

재료및 방법

전신방사선조사를 하기 위하여 먼저 C0-60 치료기의 gantry를 90도로 collimator를 180도로

회전시켜야 하며 head를 45도로 회전시켜 수직축과 수평축을 정확하게 맞추어야 한다. 그리고 환자는 TBI들과 일직선이 되도록 맞추어야 하며 될 수 있는대로 편안한 자세여야 한다(Fig. 3).

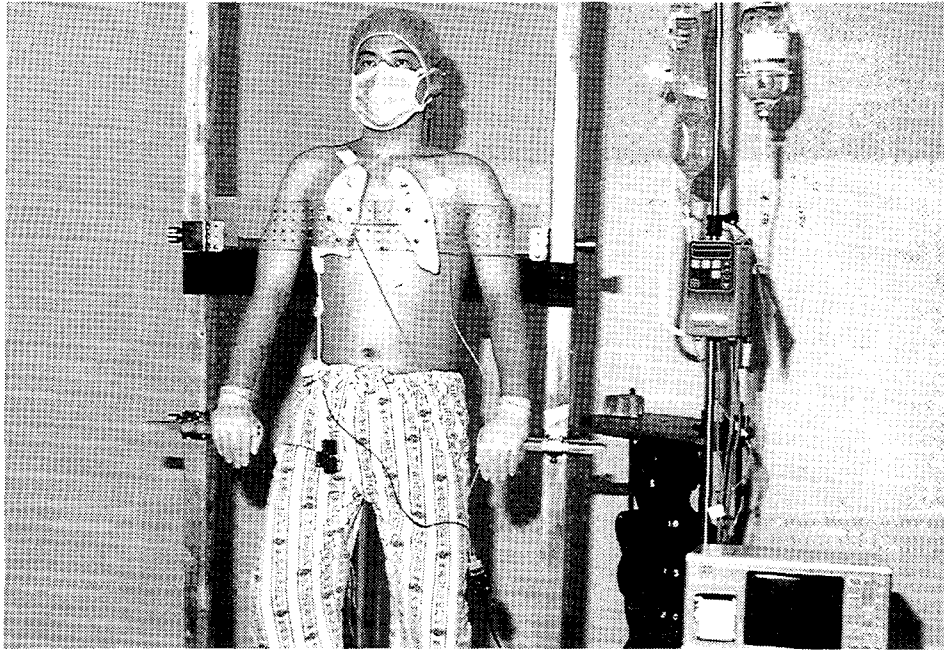


Fig. 3. Total body irradiation technique using AP-PA parallel opposed fields.

선량계산을 위해서는 심부선량백분율(percentage depth dose), 조직공중선량비(TAR, tissue air ratio), 조직/팬텀선량비(TPR, tissue phantom ratio) 등의 값들을 먼저 측정해야 한다⁸⁾. 먼저 아크릴팬텀(30×30×30cm)을 Co-60 치료기 선원으로부터 3.5m 되게 설치하여 open field 하여 놓고 PTW 30-351 0.6 cm 인 이온챔버로 측정 한 거리에 따른 선량값과 inverse square law 에 따른 이론치는 잘 일치하였다⁹⁾.

전신방사선조사에서 선원과 환자 몸의 중간 부위까지의 거리를 고려한 환자의 전신이 포함되는 조사면적에서 tumor dose(Dr) 를 조사하기 위한 Monitor Units(M. U.)는 다음 식으로 계산된다.

$$M. U. = \frac{Dr \times (f / f)}{TMR(r, d) \times Sc(r) \times Sp(r)}$$

여기서 Sc는 collimator scatter correction factor 이며, Sp 는 phantom scatter correction factor 이며, (f / f) 는 선원으로부터 떨어진 거리에 따른 inverse square law 를 나타내고 있다. 방법 1에서 조직보상체의 두께의 계산은 다음 식에 의해서 행해졌다.

$$Lc = 1/2 \times \frac{\tau}{\rho_{comp}} \times TD \frac{\ln \tau}{\mu} \frac{\tau}{\rho}$$

여기서는 두께비를 나타내며, 는 보상체의 밀도를 나타내며, K 는 off axis correction factor 이며, TD 는 조직결손두께를 나타내며, 는 조직에서의 방사선 에너지에 대한 linear attenuation coefficient 를 나타낸다.

방법 2의 선량측정을 위해서는 저자들이 직접 고정틀을 제작하여 소아들을 고정틀 속에 넣어 고정시키고 두께의 결손 부위에는 조직등가물질로서 두께를 보상하였다¹⁰⁾.

슬로안-케트링 병원에서 시행하고 있는 바로 앉은 자세에서 폐를 차폐하는 경우 폐 차폐체의 제작과 정확한 차폐가 문제가 된다. 그림 3과 같이 폐 앞에 고정틀을 놓고 차폐체를 부착하여 차폐할 경우 폐 차폐체의 확대 배율은 다음과 같이 계산된다.

$$F = \frac{SFD}{(SSD+d)} \times \frac{(SSD+d)}{STD}$$

본 실험에서는 방법 1과 방법 2에서 선량분포 특성을 측정하기 위하여 모형인체팬텀의 머리, 목, 폐, 배꼽등 측정 지점에 홈을 파서 이온 챔버를 삽입하여 직접적으로 선량을 측정하여 비교하였다(Fig 4). 선량 측정에 사용된 electrometer는 Victreen 5000 을 사용하였고, 이온 챔버는 PTW 30-351 0.6cc를 사용하였다.

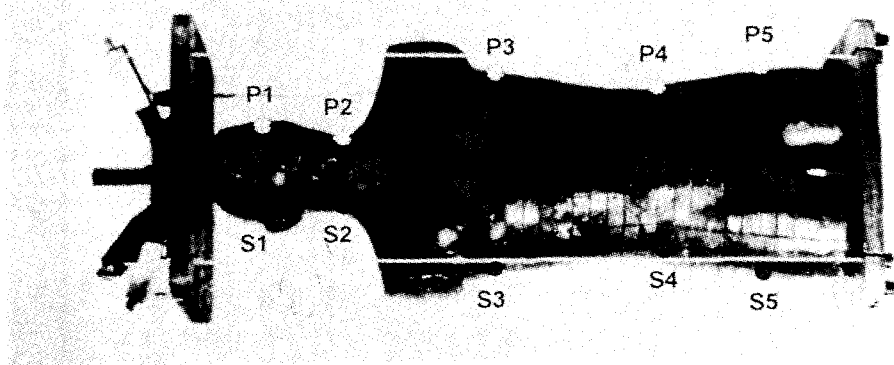


Fig. 4. Measurement point in Rando Phantom.

성 적

방법 1은 배꼽의 두께를 기준으로 하여 머리, 목, 폐에 대하여 알루미늄으로 두께에 대한 보상체를 만들어 선량을 보상하였다. 방법 2는 저자들이 직접 제작한 아크릴 상자를 이용하여 두께가 얇은 머리, 목, 다리 부분에는 잘 소독된 조직등가물질을 채워서 선량분포를 균등하게 하였다.

방법 1에서는 95.6% 에서 100%의 선량분포를 보였으며, 방법 2에서는 95.4% 에서 100%의 선량분포를 보였다(Table 1).

또한 방법 2에서 중심 부위와 표면 부위의 선량분포는 머리 부위에서 103.4%, 목 부위에서 101.5%, 배꼽 부위에서 102.3%를 나타내었다(Table 2).

폐 차폐체에 대한 계산은 각 폐에 대하여 10 지점으로 하였으며(Fig. 5), 실제 치료 환자에서 확인 된 바와 같이 매우 정확하게 잘 맞았다(Fig. 6).

Table 1. Dose Distribution of Rando Phantom following Treatment Method

	Compensator(Treatment 1)	Bolus(Treatment 2)
1.	4.66 (95.6%)	4.65 (95.4%)
2.	4.80 (98.5%)	4.79 (98.2%)
3.		
4.		
5.	4.88 (100%)	4.88 (100%)

Table 2. Dose Distribution of Rando Phantom of Method 2

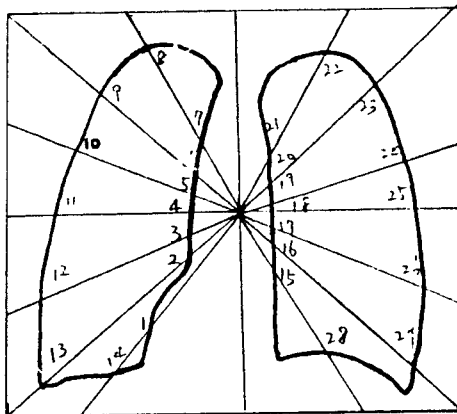
	Anterior	Midline	Posterior
1.	6.84	4.58 (103.4%)	2.63
2.	6.48	4.72 (101.5%)	3.10
3.	8.62		3.10
4.	8.05		1.94
5.	7.80	4.80 (102.3%)	2.02

LUNG BLOCK SHEET - PA

PA Chest Film :

SSD =

SFD =



POINT	LOCATION	POINT	LOCATION
1		15	
2		16	
3		17	
4		18	
5		19	
6		20	
7		21	
8		22	
9		23	
10		24	
11		25	
12		26	
13		27	
14		28	

Fig. 5. Calculation sheet of lung block.

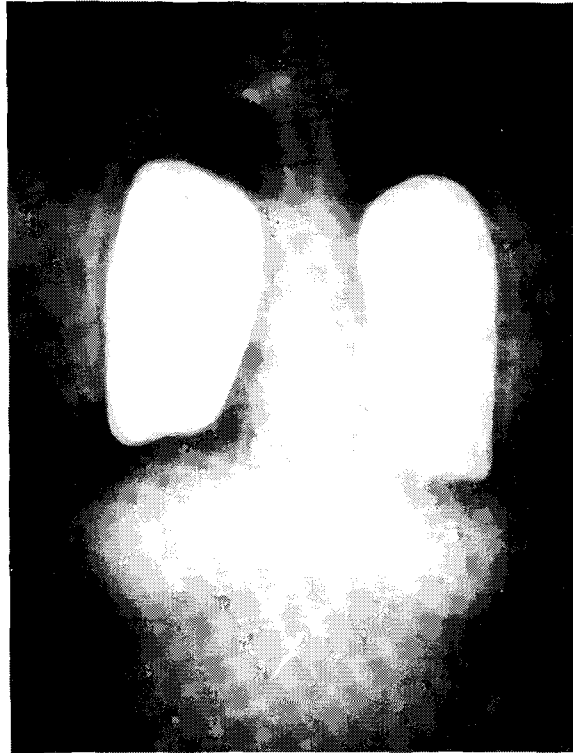


Fig. 6. Verification film of lung block.

고 찰

전신방사선 조사는 1923년 Chaoul 등에 의하여 처음으로 치료에 도입되었고, 그 후 많은 연구자들에 의하여 연구되었다. 전신방사선조사에는 여러가지 방법이 보고되고 있으나 bilateral opposed beam 으로 치료하는 것이 편리함 때문에 가장 많이 이용되었으나 치료후 많은 환자들에게서 폐렴이 발병하여 치료에 실패하는 경우가 많았다. 이에 치료후 폐에 대한 부작용을 없애기 위하여 요즈음 들어 점차적으로 폐를 차폐하는 AP-PA parallel opposed beam 으로 치료하는 것이 많이 이용되고 있다. 본 병원에서도 소아를 상대로 bilateral opposed beam 으로 2 명을 치료했고, 폐 차폐체를 부착하여 AP-PA parallel opposed beam 으로 5명을 치료했다. 치료 후 5명에게서 폐렴도 발병하지 않았고 환자들에게 시술도 쉬운 편이었다.

치료 조사면적을 최대한 크게 사용하기 위하여 콜리메타를 45 회전하여 사용하기도 하며, 더 큰 치료면적을 얻기 위하여 특수하게 고안된 flattening filter 를 부착하기도 한다.

Hall 등¹¹⁾은 shadow tray 에 보상체를 놓고 치료에 이용함으로써 편리하고 쉬운 보상체 이용 방법을 보고하였으며, Khan 등¹²⁾은 보상체는 깊이에 따라 달라지므로 실제 임상에서는 5% 이내의 보상을 이룰 수 있는 평균보상비를 얻는 것이 합리적이라고 하였으며, Co-60 원격치르기, 4 MV 나 10 MV 선형가속기에서 보상비 0.7은 환자 표면으로부터 20 cm 이상 떨어졌을 때 좋은 결과를 얻었다고 보고하고 있다.

Svesson 등¹³⁾은 폐에 많은 선량이 조사되어 폐동맥 합병증과 호흡기계부전증을 동반할 수 있음을 시사하고 폐에 대한 선량 보상의 필요성을 강조하였다. 또한 그는 20여명의 환자를 대상으로 총 조사선량 10 GY와 연속적이고 강력한 항암요법의 병행은 더 많은 경우에서 합병증을 유발한다고 생각하고 총 조사선량을 8 GY로 감소하여 치료함으로써 비슷한 생존율에 비해 훨씬 적은 합병증을 보고하고 있다.

Khan 등은 10 MV X-ray 를 사용한 bilateral opposing field 방법으로 전신방사선 조사에서 조직보상체를 제작하여 계산치와 측정치의 비교에서 6% 이하의 좋은 결과를 보고하고 있다. 그는 또한 전신방사선 조사의 보상판에 대한 원리와 적용에 있어서 보상판의 제작을 위하여 조직결손, 조직밀도, 두께비등을 고려해야 한다고 주장하고 있다.

Galvin 등^{14, 15)}은 CCSG(Childrens Cancer Study Group) protocol에서 심부선량백분율, 조직/펜텀선량비등을 전신방사선 조사를 시행하는 조건과 같은 조건의 거리와 조사면적을 고려하여 측정하여야 한다고 보고하고 있으며, Lam 등¹⁶⁾은 Ap 와 lateral field 를 동시에 사용함으로써 일반적으로 폐에 더 조사되는 10-12% 의 선량을 5-7%로 줄일 수 있다고 보고하고 있다. 최등¹⁷⁾은 다이오드 측정기를 이용하여 신체 각 부위에 들어가는 흡수 선량을 측정하여 3.5% 정도의 좋은 결과를 보고하고 있으며, 박등¹⁸⁾은 직접 제작한 인체 펜텀을 사용하여 납으로 만든 보상체를 사용했을 때는 5-7.9% 의 선량 분포를, 알루미늄 보상체를 이용했을 때는 1.3-5.3% 의 선량 분포를 보고하고 있다.

방법 1은 배꼽의 두께를 기준으로 하여 머리, 목, 폐에 대하여 알루미늄으로 두께에 대한 보상체를 만들어 선량을 보상하였다. 어른에게는 다소 편리한 점이 있으나 어린아이들은 앉은 자세로 움직이지 않고 장시간 견디기가 어려운 단점이 있다. 그러한 반면에 방법 2는 누운 자세로 치료하기 때문에 어린아이들도 별 어려움 없이 장시간 같은 자세를 유지하면서 견딜 수 있다. 저자들이 직접 제작한 아크릴 상자를 이용할 경우에는 쉬었다가 다시 치료를 하더라도 같은 자세를 유지하면서 바로 치료를 할 수는 장점도 있다. 반면 조직등가물질을 이용할 때는 철저히 소독하여야 하는 어려움이 있었다. 방법 3에서는 기마자세로 수십분을 앉아있는 어려움과 폐 차폐체를 폐와 정확하게 일치시키는 어려움이 있었지만, 선량분포도 균일하였고 치료 환자중에서 폐렴을 호소하는 환자도 한명도 없었다.

결 론

방법 1은 앉은 자세로 치료를 하기 때문에 장시간 같은 자세를 유지하기가 매우 힘이든다. 특히 소아의 경우는 같은 자세를 유지하기가 거의 불가능 하다. 반면에 저자들이 개발한 방법 2는 누운 자세로 치료를 받기 때문에 소아들도 움직이지 않고 장시간 견딜 수 있는 장점이 있다.

방법 1과 방법 2의 선량 분포 특성에서 거의 비슷한 분포를 나타내고 있다. 방법 1에서는 95.6% 에서 100%의 선량분포를 보였으며, 방법 2에서는 95.4% 에서 100% 의 선량분포를 보였다. 또한 방법 2에서 중심 부위와 표면 부위의 선량분포는 머리 부위에서 103.4%, 목 부위에서 101.5%, 배꼽 부위에서 102.3 % 를 나타내었다. 그러므로 소아들의 전신방사선 치료에 저자들이 개발한 아크릴을 사용한 치료방법은 편리할 뿐만 아니라 치료 성적도 좋을 것으로 기대된다. 방법 3은 AP-PA 로 환자를 치료하므로 선량분포가 이상적이며 또한 폐 차폐체를 제 위치에 잘 부착하여 폐차폐가 확실하므로 환자치료에 있어서 가장 보편

적으로 환자들에게 적용할 수 있을 것으로 사료되어 앞으로 환자 치료에 많이 이용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Brenda, S., Seymour, H., Kim, J. H., Chu, F. C. H., Elliot, G., Neena, K., Dahlia, K., Robert, D., Larry, S., Ann, R., Chen, C., Radhe, M., Denise, F., and Richard, J. O. : Hyperfractionated total body irradiation for bone marrow transplantation : I. Early results in leukemia patients. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 7 : 1109-1115 (1981)
2. Kim, T. H., Khan, F. M., Galvin, J. M. : A report of the work party : Comparison of total body irradiation techniques for bone marrow transplantation. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 6 : 779-784 (1980)
3. Ramsay, N. K. C., Kim, T., Nesbit, M. E., Kriuit, W., Coccia, P. F., Levitt, S. H., Wood, W. G., Kersey, J. H. : Total lymphoid irradiation and cyclophamide as preparation for bone marrow transplantation in severe aplastic anemia. *Blood*, 55 : 34-346 (1980)
4. Glasgow, G. P. : The dosimetry of fixed single source hemibody and total body irradiators. *Med. Phys.*, 9 : 311-232 (1982) 5. Pla, M. P., Chenery, S. G., Podgorsak E. B. : Total body irradiation with a sweeping beam. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 9 : 83-89 (1983)
6. Van Dyk, J., Leung, P. M. K., Cunningham, J. R. : Dosimetric considerations of very large Co-60 fields. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 6 : 753-759 (1980)
7. Devorah, H. N., and James P. K. : Total body irradiation. *Front. Radiat. Ther. Onc.*, 21 : 68-83 (1987)
8. Thomas, H. K., William, F. H., and Douglas, A. C. : Verification of total body photon irradiation dosimetry techniques. *Med. Phys.*, 15 : 364-369 (1988)
9. Peters, V. G., and Herer, A. S. : Modification of a standard Cobalt-60 unit SSD. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 10 : 927-932 (1984)
10. 김성규, 김명세, 신세원 : 전신방사선조사에서 치료방법에 따른 선량분포 특성 비교. *의학물리*, 6(2) : 21-28 (1995)
11. Hall, E. J., Oliver, R : The use of standard isodose distributions with high energy radiation beams the accuracy for compensator technique in correcting for body contours. *Br. J. Rad.* 34: 43-52 (1961)
12. Khan, F. M. Williamson, J. F., Sewchand, W., and Kim, T. H. : Basic data for dosage calculation and compensation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 6 : 745-751 (1980)
13. Svensson, G. K., Larsen, R. D., and Chen, T. S. : The use of a 4MV Linear accelerator for whole body irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 6 : 761-765 (1980)
14. Galvin, J. M. : Calculation and prescription of dose for total body irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 9 : 1919-1924 (1983)
15. Galvin, J. M., D'Angio, G. J., and Walsh, G. : Use of tissue compensators to improve the dose uniformity for total body irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 6 : 767-771 (1980)
16. Lam, W. C., Order, S. E., and Thomas, E. D. : Uniformity and standardization of single and opposing cobalt 60 sources for total body irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 6 : 245-250 (1980)
17. 박승진, 정용기, 안성자, 남택근, 나병식 : 전신방사선조사시 균등한 선량분포를 이루기 위한 조직보상체의 이용. *대한치료방사선과학회지*. 12(2) : 233-241 (1994)
18. 최동락, 최일봉, 강기문, 신경섭, 김춘추 : 방사성전신조사 : 기본자료 측정 및 생체 내에서의 선량측정, *치료방사선과학회지*. 12(2) : 219-223 (1994)

김성규, 김명세, 신세원

Dose Distribution of Total Body Irradiation for Bone Marrow Transplantation in Leukemia

Sung Kyu Kim, Ph. D., Myung Se Kim, M.D., Se One Shin, M.D.
Department of Therapeutic Radiology & Oncology College of Medicine, Yeungnam
University Taegu, 705-035, Korea

Abstract

Total Body Irradiation(TBI) is one of the essential treatment modalities in bone marrow transplantation for leukemia and lymphoma. Various techniques and dose regimens were introduced with several advantages and disadvantages. In TBI, lung block could reduce lung dose to 75% of original beam for decreasing lung dose with homogenous total body irradiation.

Accurate provision for specified dose and the desired homogeneity are essential before clinical total body irradiation. When performed in total body irradiation, the problem obtain uniform dose distribution in brain, neck, lung, umbilicus, pelvis and leg.

Authors compared to dose distribution with method 1 and method 2. The method 1 used compensating filters for homogeneous dose distribution(Minnesota University Method). The method 2 used fixing frame made in acrylic developing authors. Results were following.

1. Method 1 was showed dose distribution from 95.6% to 100%, method 2 showed dose distribution from 95.4% to 100%.

2. Method 2 was showed different to 3.4% at skin region and midline in the brain. In the neck, showed different to 1.5%. In the umbilicus, showed different to 2.3%.