

Dose Evaluation of Childhood Leukemia in Total Body Irradiation

Dongyeon Lee*, Seongjin Ko*, Sesik Kang*, Changsoo Kim*, Donghyun Kim*, Junghoon Kim*

Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Korea

소아백혈병의 전신방사선조사시 선량평가

이동연*, 고성진*, 강세식*, 김창수*, 김동현*, 김정훈*

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과*

Abstract

Total body irradiation in the treatment of childhood leukemia, which is one of the pre-treatment with stem cell transplantation is being used, the current organization using compensators are treated. However, under the terms of the compensator organization long-term impact on the human body, it is difficult to assess directly. In this study, we use the mathematical simulation of radiation exposures body energy and the distance to the crew and the patient (source surface distance, SSD), and patients with tissue compensators change of the distance along the body of the organ doses were evaluated. As a result, the surface dose of energy 4 MV, SSD 280 cm, tissue compensators and the patient when the distance 30 cm 5.84 G / min showed the highest levels. In addition, patients with tissue compensators and the distance apart when 30 cm TBI represents the ideal dose distribution was found.

Key Words : leukemia, total body irradiation, MCNPX

요 약

전신방사선조사는 소아백혈병의 치료 방법 중 하나인 조혈모세포이식의 전치치로 이용되고 있으며, 현재 조직보상체를 사용하여 치료를 시행하고 있다. 그러나 조직보상체의 조건에 따라 인체 내부 장기에 미치는 영향을 직접 평가하는 것은 어려움이 있다. 이에 본 연구는 수학적 모의피폭체를 사용하여 방사선의 에너지와 선원과 환자와의 거리 (source surface distance, SSD), 조직보상체와 환자와의 거리 변화에 따라 인체 장기의 선량을 평가하였다. 그 결과, 표면선량은 에너지 4 MV, SSD 280 cm, 조직보상체와 환자와의 거리 30 cm일 때 5.84 G/min 으로 가장 높은 수치를 나타내었다. 또한 조직보상체와 환자와의 거리가 30 cm 이하였을 때 TBI에서 가장 이상적인 선량분포를 나타냄을 알 수 있었다.

중심단어: 소아백혈병, 전신방사선조사, MCNPX

I. 서 론

건강보험심사평가원에 따르면 2010년 소아암의 총

환자는 5년 새 14.8%가 증가하는 것으로 보고되었고 이 중 백혈병은 소아기의 악성종양 중 빈도가 약 30%로 가장 높게 나타났고 2세부터 발생빈도가 증가하면

서 3~6세에 가장 많다고 보고 되었다. 백혈병의 종류로는 급성골수성, 만성골수성, 급성림프구성, 만성림프구성 4가지가 있는데 이 중 급성림프구성 백혈병이 76.4%로 가장 빈도가 높게 나타났다^[1]. 급성림프구성 백혈병의 치료 방법으로는 병세가 고 위험군이 아닐 경우 항암화학요법만으로 치료할 수 있지만 고위험군일 경우 조혈모세포이식법이 효과적이다^[2]. 조혈모세포이식법은 골수를 파괴시키는 고용량의 항암제 혹은 전신방사선조사(total body irradiation, TBI) 전처치(conditioning)를 통해 백혈병 세포를 제거한 후, 조직적합항원이 일치하는 형제 혹은 타인의 조혈모세포를 주입하여 골수를 재건해 주는 방법이다^[2]. 이때 전처치로 쓰이는 TBI는 항암제에 비해 투여 자체가 어렵지 않으며, 경제적이고, 다른 항암제와의 교차 내성이 없으며, 혈류량과 관계없이 전신에 균일하게 조사할 수 있어 항암제처럼 침투가 어려운 조직이나 기관이 없다는 장점이 있다^[2]. 그러나 소아의 경우 방사선 감수성이 높기 때문에 TBI 시행 시 정확한 선량평가가 이루어져야 한다. TBI의 경우 표면선량에 처방선량의 90% 이상을 처방하는데 그렇게 하기 위해서는 충분한 선원과 환자와의 거리(source surface distance, SSD)가 필요하다. 하지만 현재 각 병원은 치료실의 크기에 제약이 있기 때문에 조직보상체를 사용하여 표면선량을 높이고 있다. 조직보상체 사용의 경우, 현재 그 기준이 명확히 제시되어 있지 않다. 다만 이론적으로 환자에게 가능한 가깝게 하여 사용하기를 권고하고 있다^[3]. 그러나 실제 임상에서는 조직보상체와 환자사이의 거리를 이론만큼 가까이 하기가 불가능하다. 그래서 어느 정도 거리에서 선량이 이상적인지에 대하여 다양한 방법으로 연구를 하고 있다. 이에 본 연구는 소아용 모의피폭체를 사용하여 조직보상체의 두께는 0.5 cm로 고정시키고 방사선의 에너지, SSD, 그리고 조직보상체와 환자와의 거리에 따른 선량을 평가하고자 한다. 이를 바탕으로 소아백혈병에서의 TBI에 따른 최적의 피부선량과 각 장기별 선량에 대해 이상적인 조건을 제안하고자 한다.

II. 실험 및 방법

1. 전신방사선조사(total body irradiation, TBI)

TBI는 백혈병, 재생불량성 빈혈, 림프종, 다발성 골수종, 자가면역 질환, 선천성 대사이상 등과 같은 다양한 질병의 치료에 이용되는 골수이식을 위한 조절요법으로 가장 보편적으로 이용된다^[4]. 그 역할은 수용자의 골수와 암세포를 파괴하고 기증자의 골수이식을 거부하지 않을 만큼 충분히 환자의 면역을 억제시키는 것이다^[5]. 전신방사선조사의 방법은 조사야가 환자 전신 전체를 포함할 수 있어야 한다^[6]. 그래서 조사야도 충분히 넓혀야 하고 SSD를 충분히 이격시켜 주어야 한다^[6]. 선량은 12 Gy~16 Gy를 하루에 2번 정도 3~4 일 동안 5~6 회 분할조사 하며, 선량은 처방선량의 90 % 이상을 표면선량에 주어야 한다^[7].

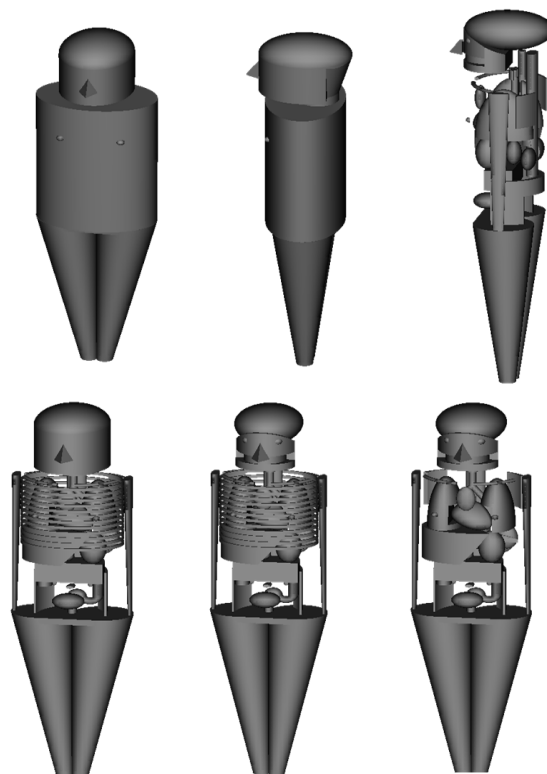


Fig. 1. Geometric Structure of the Phantom

2. 모의 피폭체 구성 및 선량평가 방법

본 연구에서 사용한 소아용 모의피폭체는 1966년 Oakridge National Laboratory에서 인체의 구성을 뼈, 뼈, 연부조직 3가지의 물성만으로 인체의 모든 구성을 표현하여 제작한 팬텀을 Florida 대학에서 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection,

Table 1. Composition of the tissues for the phantoms.

Element	Percent by weight									
	Brain	Lung	Liver	Digestion	Skin	Muscle	Testis	Ovary	Soft tissue	kidney
H	10.7	10.3	10.3	10.6	10	10.2	10.6	10.5	10.5	10.3
C	14.5	10.5	18.6	11.5	20.4	14.3	9.9	9.3	25.6	13.2
N	2.2	3.1	2.8	2.2	4.2	43.4	2	2.4	2.7	3
O	71.2	74.9	67.1	75.1	64.5	71	76.6	76.8	60.2	72.4
Na	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2
P	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
S	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2
Cl	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Ka	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1

ICRP) 89^[4], 국제 방사선 단위 측정 위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 49^[5]를 바탕으로 총 23개의 각각 조직들마다 다른 물성으로 표현하여 제작된 소아용 모의피폭체를 사용하였다. 연령은 소아백혈병이 가장 많이 발생하는 5세, 키는 110 cm, 몸무게는 18 kg 이다. 장기들의 물성은 table 1.과 같으며, 밀도 및 부피는 Table 2와 같다. 이를 바탕으로 광자의 에너지는 4, 10 MV를, SSD는 280 cm, 320 cm, 360 cm 세 가지 조건, 조직보상체와 환자와의 거리는 3 cm, 5 cm, 7 cm, 10 cm, 30 cm로 설정하였다. 또한 조직보상체의 두께는 0.5 cm의 Plexiglas (C₅O₂H₈, 밀도 1.16 g/cm³)를 선택하였다. 이후 모의실험 조건에 따른 표면 선량 및 각 장기별 선량을 평가하였다.

Table 2. Volume and Density of Phantom

Organ	Volume(cm ³)	Density(g/cm ³)
Brain	1.04	1194
Lung	0.260	980
Digestion	1.03	439.14
Liver	1.05	562
Skin	1.09	514.74
Muscle	1.03	7547.568
Testis	1.04	1.57
Ovary	1.05	1.66
Kidney	1.05	111.12

III. 결 과

1. 전신방사선조사에 따른 표면선량 측정

조직보상체 두께, 에너지 및 환자와의 거리에 따른 표면선량 측정 결과 Fig. 2와 같다. 이를 세부적으로 살펴보면 에너지 4 MV이며, SSD는 280 cm 이고 조직보상체와 환자와의 거리는 3, 5, 7, 10, 30 cm의 순서로 표면선량의 값은 5.838, 5.837, 5.838, 5.837, 5.84 Gy/min 으로 나타났다. SSD가 320 cm 에서는 4.997, 4.994, 4.996, 4.997. 5.041 Gy/min 으로 나타났다. SSD가 360 cm 에서는 4.395, 4.394, 4.393, 4.395, 4.405 Gy/min 으로 나타났다. 에너지가 10 MV의 경우 SSD는 280 cm 에서 표면선량의 값은 조직보상체와 환자와의 거리 순서대로 4.571, 4.567, 4.561, 4.553, 4.522 Gy/min으로 나타났다. SSD 320 cm에서는 3.991, 4.006, 4.011, 3.999, 4.03 Gy/min으로 나타났다. SSD가 360 cm 에서는 3.587, 3.588, 3.567, 3.587, 3.603 Gy/min으로 선량이 나타났다.

2. 심부장기선량

조직보상체 두께를 0.5 cm으로 고정하고 에너지 4 MV 와 10 MV 두 가지 경우에 대하여 SSD는 280, 320, 360 cm 그리고 조직보상체와 환자와의 거리는 3, 5, 7, 10, 30 cm에 대하여 모의실험 하였다. 그 결과, 심부장

기선량은 Table 3.과 같이 분석되었다. 이를 세부적으로 살펴보면 에너지 4 MV일 때 두경부에서 평균 0.71 Gy/min으로 심부장기 중 가장 높은 선량을 보였고, 그

을 보였다. 반면에 생식선에서는 평균 0.0024 Gy/min으로 심부장기 중 가장 낮은 선량을 나타냈다. 그 중에서도 SSD는 320 cm 그리고 조직보상체와 환자와의 거리

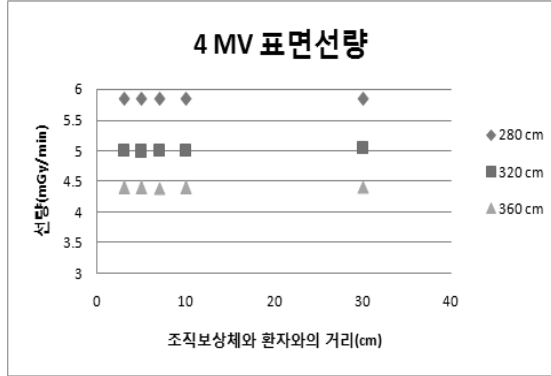


Fig. 2. a. Exposure dose in 4 MV

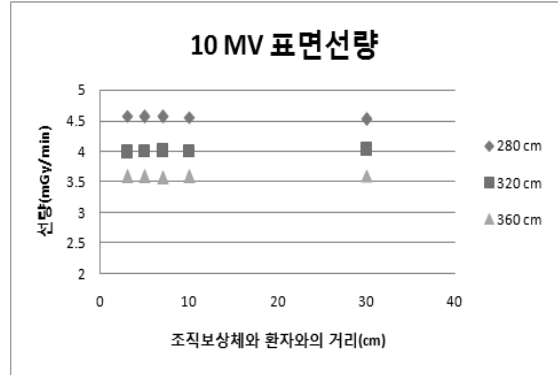


Fig. 2. b. Exposure dose in 10 MV
는 30 cm일 때 0.0017 Gy/min로 가장 낮은 선량을 나타

Table 3. Estimation of the absorbed dose of normal organs

[unit : Gy/min]

Energy	SSD(cm)	Custom(cm)	gentile	digestion	lung	brain	liver	kidney
4 MV	280	3	0.00237	0.3331	0.1776	0.7959	0.419	0.0684
		5	0.0024	0.3304	0.1779	0.8006	0.4172	0.0664
		7	0.0024	0.3308	0.1782	0.8015	0.415	0.0685
		10	0.0024	0.3186	0.178	0.8058	0.4181	0.0647
		30	0.0024	0.3318	0.1792	0.7977	0.4214	0.0666
	320	3	0.0017	0.2956	0.1541	0.8163	0.3808	0.067
		5	0.0018	0.2961	0.1548	0.8161	0.3773	0.0665
		7	0.0019	0.2951	0.1543	0.8172	0.378	0.0661
		10	0.0017	0.2937	0.154	0.8143	0.3776	0.0665
		30	0.0017	0.2976	0.1547	0.813	0.3798	0.0689
	360	3	0.0032	0.2451	0.1397	0.6611	0.3202	0.0488
		5	0.0032	0.2438	0.1405	0.6616	0.3177	0.0491
7		0.0033	0.2348	0.1397	0.6602	0.3185	0.0492	
10		0.0032	0.2422	0.1396	0.6597	0.3181	0.048	
30		0.0032	0.2472	0.1409	0.6599	0.3247	0.0478	
10 MV	280	3	0.0018	0.2169	0.1442	0.7172	0.3166	0.0251
		5	0.0018	0.2179	0.1442	0.7143	0.3155	0.0519
		7	0.0021	0.2171	0.1449	0.7185	0.3129	0.0520
		10	0.0018	0.2196	0.1456	0.7238	0.3152	0.0516
		30	0.0018	0.2173	0.1445	0.7201	0.3081	0.0531
	320	3	0.001	0.2014	0.128	0.6235	0.2668	0.0423
		5	0.001	0.2016	0.1279	0.6268	0.2667	0.0421
		7	0.001	0.1995	0.1279	0.6245	0.267	0.0418
		10	0.001	0.1999	0.1272	0.6266	0.2666	0.0428
		30	0.001	0.2038	0.1278	0.6297	0.2647	0.0426
	360	3	0.001	0.2083	0.1195	0.6286	0.256	0.0416
		5	0.001	0.2076	0.1191	0.6273	0.258	0.0416
7		0.001	0.2093	0.1201	0.6254	0.2564	0.0414	
10		0.001	0.2091	0.12	0.6231	0.2594	0.0417	
30		0.001	0.2114	0.1202	0.6226	0.2604	0.0407	

중에서도 SSD는 320 cm 그리고 조직보상체와 환자와의 거리가 7 cm일 때 0.8172 Gy/min로 가장 높은 선량

였다. 10 MV의 경우 두경부에서 평균 0.6568 Gy/min으로 장기 중 가장 높은 선량을 나타냈으며, 선원과 환자

와의 거리가 280 cm에 조직보상체와 환자와의 거리는 10 cm일 때 0.7238 Gy/min으로 가장 높은 선량을 나타내었다. 또한 전반적으로 SSD가 증가 할수록 조직보상체와 환자와의 거리에 따른 선량의 차이는 미미하였고, 상대적으로 작은 질량의 장기인 경우 SSD가 증가 할수록 조직보상체와 환자와의 거리에 관계없이 일정한 선량을 유지함을 보였다.

IV. 고 찰

본 연구는 전신방사선조사에 따른 피부 선량 및 각 장기별 선량을 수학적 모의피폭체를 사용하여 선량평가를 하였다. 그 결과 피부 선량과 각 장기별 선량 모두 에너지가 4 MV 보다는 10 MV에서 그리고 SSD가 짧을수록, 선량이 높게 나타났다. 그러나 조직보상체와 환자와의 거리에서는 그 거리가 가까울수록 선량이 높게 나타나다가 10 cm이상 떨어졌을 때부터 선량이 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 피부선량과 소화기계통, 폐, 간에서는 30 cm일 때 가장 높은 선량이 나타났다. 또한 4 MV 보다 10 MV 일 때 즉 에너지가 높을수록 거리가 멀어짐에 따라 선량이 많이 나오는 경향이 더욱 뚜렷하였다. 이는 실험에서 사용된 X선과 조직보상체인 Plexiglas와의 상호작용에 의한 것으로 판단된다. 끝으로 조직보상체와 환자사이의 거리에 따라 선량의 변화를 연구한 기존의 논문^[6]은 조직등가 고체 팬텀 패널을 성인의 흉부두께에 근접하게 조합하였고, 아크릴 재질의 산란판 두께 1 cm 를 환자와의 거리에 따라 설정하여, 전리함과 전위계를 사용하여 실험하였다. 본 연구 결과와 기존의 논문^[6]과 비교한 결과 유사한 경향을 나타냈다. 다만 기존의 논문^[6]에서는 약 20 cm 일 때 가장 높은 선량을 나타내 본 연구결과와 다소 차이를 나타냈다. 이런 결과는 각 실험에서 사용된 팬텀의 물성에 기인한 결과라고 판단된다. 향후 본 연구를 토대로 실제 인체에 근접한 물성을 사용하여 실험을 진행한다면 보다 더 정량적인 결과를 도출할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 소아백혈병 치료 시 조혈모세포 이식의 전치치료 사용되는 전신방사선 조사에 대한 표면 선

량 및 각 장기별 선량을 평가하였다. 평가 결과 조직보상체와 환자와의 거리에 따라 표면선량과 심부장기 선량이 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 고에너지 보다 저에너지인 경우 그리고 조직보상체와 환자와의 거리가 30 cm정도 유지될 때 가장 이상적인 선량 분포가 나오는 것으로 평가되었다. 끝으로 본 연구를 바탕으로 조직보상체의 종류와 두께에 따른 선량 변화 그리고 두경부와 폐, 신장, 생식기 등 차폐까지 변수를 더하여 연구를 진행한다면 보다 더 정량적인 선량 평가가 이루어 질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Kim SH, Yu IY, "Identification of symptoms by treatment phases in children with leukemia", The graduate school of nursing Yonsei University, 2009.
- [2] Kim SJ, Han DG, Baek HJ et al. "Comparison of Total Body Irradiation (TBI) or Non-TBI as conditioning Regimen for Stem Cell Transplantation (SCT) in Pediatric Leukemia patient", Korean Journal of Pediatrics, Vol. 53, No. 4, pp.538-547, 2010.
- [3] "The Physics Of Radiation Therapy-Fourth Edition", Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, US, 2003.
- [4] "ICRP Publication 89, Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values", Ann. ICRP 32 (3-4), Elsevier Publishing Company, 2002
- [5] "ICRU Report NO. 49, Stopping Power and Ranges for Protons and Alpha Particles", Oxford Univ. Pr. UK, 1993
- [6] Choi JH, Kim JS et al., "Analysis of Surface Dose Refer to Distance between Beam Spoiler and Patient in Total Body Irradiation" Korean Society Radiotherapeutic Technology, Vol. 19, No. 1, pp51-54, 2007
- [7] Ahn SJ, Kang WS, Park SJ et al. "The Dosimetric Data of 10 MV Linear Accelerator Photon Beam for Total Body Irradiation", J.Korean. Soc. Ther. Radiol, Vol. 12, No. 2, pp.225-232, 1994
- [8] "National Cancer Registration Statistics 2010", Central Cancer Registry in Korea, National Cancer Center and Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea, 2012
- [9] Choi SY, "Results of autologous peripheral blood stem cell transplantation in childhood acute myelocytic leukemia patients with continuous complete remission during consolidation chemotherapy" Department of Medicine The Graduate School, Yonsei University, 2006

- [10] Park SJ, Jung WG, An SJ et al. "Utilization of Tissue Compensator for Uniform Dose Distribution in Total Body Irradiation" J. Korean Soc. Ther. Radiol. Oncol. Vol. 12 No. 2 pp. 233-242, 1994.
- [11] Min WS, Cho SG, Chung II, "Autologous bone marrow transplantation for acute myeloid leukemia in first remission, Purging with hyperthermia and ether lipid in vitro" Korean Cancer Association, pp. 670-677, 1996.
- [12] Jung DH, Lee JO, Kang JG et al. "Measurement and Monte Carlo Simulation of 6 MV X-rays for Small Radiation Field", J. Korean SOC Ther. Radiol. Oncol. Vol. 16 No. 2, pp. 195-202, 1998.
- [13] Jung GH, Su TS, Jo BC, "The Effect of The Statistical Uncertainties in Monte Carlo Photon Dose Calculation for the Radiation Therapy" J. Korea Asso. Radiat. Prot. Vol. 29, No. 2 pp. 105-115, 2004.