

<원저>

소아백혈병 환자의 전신방사선조사 시 조직보상체의 재질변화에 따른
선량평가-In Pediatric Leukemia, Dose Evaluation according to the Type of
Compensators in Total Body Irradiation-동남권원자력의학원 방사선종양학과
부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과¹⁾이동연·김창수¹⁾·김정훈¹⁾

— 국문초록 —

소아백혈병의 치료방법 인 조혈모세포이식법의 전처치 방법으로서 항암제와 함께 대표적으로 사용되고 있는 전신방사선조사에 대하여 치료를 시행하기 전 정량적인 인체장기에 대한 선량을 평가하고자 하였다.

모의실험 프로그램 MCNPX를 사용하여 가상의 공간에서 소아용 모의괴폭체를 대상으로 조직보상체의 재질을 변화시켜 실험을 진행하였다.

그 결과 첫째, 평균괴부선량은 조직보상체의 재질에 따라 Plexiglass는 74.60 mGy/min, Al은 73.96 mGy/min, Cu는 72.26 mGy/min, Pb의 경우 67.90 mGy/min을 보였다. 둘째, 심부선량은 조직보상체 재질에 상관없이 갑상선, 생식선, 소화기계, 머리, 폐, 신장의 순으로 높게 나타났다. 끝으로 조직보상체와 환자와의 거리는 50 cm 이격시켰을 때가 이상적인 것으로 분석되었다. 본 연구결과를 토대로 할 때, 조직보상체 Al, Cu, Pb는 현재 사용되고 있는 Plexiglass 재질을 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

중심 단어: 소아백혈병, 전신방사선조사, 모의실험, 선량평가

I. 서 론

전신방사선조사(Total body irradiation, TBI)는 1923년에 Chaoul과 Lange에 의하여 처음 소개되었다. 광자선에 의한 전신방사선조사는 신경아세포종, 윌름스씨종양(Wilms' tumor), 유잉육종(Ewing's sarcoma) 등의 환자에 효과적인 치료방법으로 이용되고 있다. 또한 소아백혈병환자에게 건강한 조혈모세포를 이식하기 전에 암세포의 근절과 면역억제를 위하여 흔히 사용된다¹⁻⁵⁾.

전신방사선조사를 이용한 전처치는 항암제에 비해 투여 자체가 어렵지 않으며 경제적이고 교차 내성이 없으며 혈류

량과 관계없이 전신에 균일하게 조사할 수 있어 항암제처럼 침투가 어려운 조직이나 기관이 없다는 장점이 있다. 또한 항암제 사용 후 잔존해 있는 백혈병 세포, 골수세포 및 림프계 세포들은 다른 정상조직 세포들과 달리 방사선에 대해 감수성이 매우 높기 때문에 전신방사선조사를 이용한 치료에 있어서 표적세포가 된다⁶⁻⁸⁾.

전신방사선조사의 경우 상용의 치료 때와 달리 치료거리가 멀어지고 대형조사면을 사용하므로 체내에서의 선량분포가 확실하지 않고 방사선피폭으로 인한 합병증 등이 나타나게 된다. 특히 소아에서는 발달 중인 신체 장기로서 더욱 심각한 합병증을 초래할 수 있다⁹⁻¹¹⁾. 이를 극복하기 위

교신저자: 김정훈 (609-757)부산시 금정구 부곡3동 9번지 부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과.

Tel: 02-940-2824 / E-mail: minbogun@korea.ac.kr

접수일(2015년 01월 14일), 심사일(2015년 02월 11일), 확정일(2015년 03월 17일)

해서 인체 내에 균등한 선량분포를 이루기 위해 조직보상체를 사용하고 있으며, 흡수선량의 정량적인 평가를 위해 소형의 검출기 및 상용화되어 있는 모의피폭체 등을 이용하여 평가하고 있다. 그러나 전신방사선조사 후 조직에서의 균등한 선량분포에 대한 정해진 기준이 따로 없으며, 흡수선량 측정에 있어서도 조직등가물질 및 소형의 검출기를 사용한다는 점에서 매질에 대한 특성, 에너지 의존성, 방향의존성 등에 의해 평가 결과 값이 일정하지 않는 단점이 있다¹²⁻¹⁴⁾.

이에 본 연구는 소아용 수학적 모의피폭체를 이용하여, 전신방사선조사 시행 시 사용되는 조직보상체의 조건에 대하여 물성과 두께 그리고 환자와의 거리등을 변화시켜 피부선량은 물론 인체 내의 장기에 대한 선량을 평가하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 모의실험 및 모의피폭체

본 연구는 가상의 공간에서 컴퓨터를 이용한 모의실험을 진행하였다. 사용한 모의실험 프로그램은 몬테칼로 기법을 바탕으로 한 MCNPX 프로그램(Ver. 2.5.0)을 사용하였다¹⁵⁾.

사용한 모의피폭체는 MIRD(Medical Internal Radiation Dose committee; MIRD)형 모의피폭체로 플로리다대학에서 개발한 것이다. 기존의 ORNL(Oak Ridge National Laboratory; ORNL) 모의피폭체에서 표현한 인체 장기인 머리, 뇌, 신장, 곤창자에서 결장 그리고 폐외의 기도를 포함한 것은 물론 침샘과 인두하 기도를 표현하였으며, 방광, 소화기계의 점막하층까지 더 세분화 하여 표현하였다¹⁶⁾. 인체를 구성하는 물질의 요소와 질량 그리고 밀도는 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP) 89¹⁷⁾, 국제 방사선 단위 측정 위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements; ICRU) 46¹⁸⁾을 바탕으로 표현하였다¹⁶⁾.

2. 실험방법

모의피폭체는 현재 인체와 가장 유사한 UF-Rivised에서 소아백혈병이 가장 많이 발생하는 5세용 모의피폭체이며, 키는 110 cm, 몸무게는 18 kg 이다. 기본적으로 TBI 방법 중 전후 이문대향법에서 전후방향에 대하여 실험하였다. 광자의 에너지는 6 MV, SSD(Source to Skin Distance; SSD) 300 cm 으로 설정하였다. 사용한 조직보상체는 현재 각 병원에서 사용하고 있는 플렉시글라스(Plexiglass; C5O2H8, 밀도 1.16 g/cm³), 플렉시글라스와 원자번호와 밀도가 유사하나 밀도가

높은 알루미늄(Aluminum; Al, 밀도 2.7 g/cm³) 그리고 원자번호와 밀도가 모두 높은 구리(Copper; Cu, 밀도 8.94 g/cm³), 납(Lead; Pb, 밀도 11.34 g/cm³) 총 네 가지를 설정하였으며, 조직보상체와 환자와의 거리에 관한 기존의 이론¹⁹⁾은 환자에 가능한 한 가깝게 위치하기를 권고하고 있으나 현실적으로 어느 정도 이격될 수밖에 없다. 그래서 본 연구에서는 10, 20, 30, 40, 50 cm로 설정하였다. 마지막으로 조직보상체의 두께는 예비실험 결과 원자번호와 밀도의 차이로 인한 선량차이가 발생하여 4개의 조직보상체를 서로 비교할 수 있는 두께를 선택적으로 사용하였다. 이에 Plexiglass의 경우 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm Al의 경우 0.3 cm, 0.5 cm, 1 cm Cu와 Pb의 경우 0.1 cm, 0.2 cm, 0.3 cm 설정하였다. 이를 바탕으로 각각 실험을 진행하여 피부선량과 심부장기선량을 평가하였다.

III. 실험결과

광자의 에너지는 6 MV, SSD는 300 cm으로 고정하고 조직보상체 Al, Plexiglass, Cu, Pb 네 가지 종류에 대하여 조직보상체의 두께와 환자와의 거리에 따른 선량을 세로축은 선량, 가로축은 조직보상체와 환자와의 거리로 설정하여 분당 흡수선량률로 표현하였으며, 전신방사선조사에서 중요한 피부선량과 그 외의 인체 심부장기는 폐, 소화기계, 머리, 신장, 생식기, 갑상선 6개로 나누어 나타내었다. 이를 세부적으로 살펴보면 아래와 같다.

1. 피부선량 평가

먼저 피부선량 분석결과는 전체적으로 Plexiglass, Al, Cu, Pb 의 순으로 선량이 많이 나온 것을 볼 수 있었으며, Plexiglass의 경우 평균 74.60 mGy/min, Al의 경우 평균 73.96 mGy/min, Cu의 경우 평균 72.26 mGy/min, Pb의 경우 평균 67.90 mGy/min를 나타내었다(Fig. 1).

2. 심부장기선량 평가

다음은 심부선량 평가결과 Fig. 2와 같다. 심부장기선량 역시 전체적으로 Plexiglass, Al, Cu, Pb 의 순으로 선량이 많이 나온 것을 볼 수 있었다. 또한 갑상선, 생식선, 소화기계, 머리, 폐, 신장의 순으로 선량이 많이 나온 것을 볼 수 있었다. 각 장기별 평균선량은 갑상선 40.10 mGy/min, 생식기 31.81 mGy/min, 소화기계 32.30 mGy/min, 머리 32.16 mGy/min, 폐 31.49 mGy/min, 신장 26.87 mGy/min으로

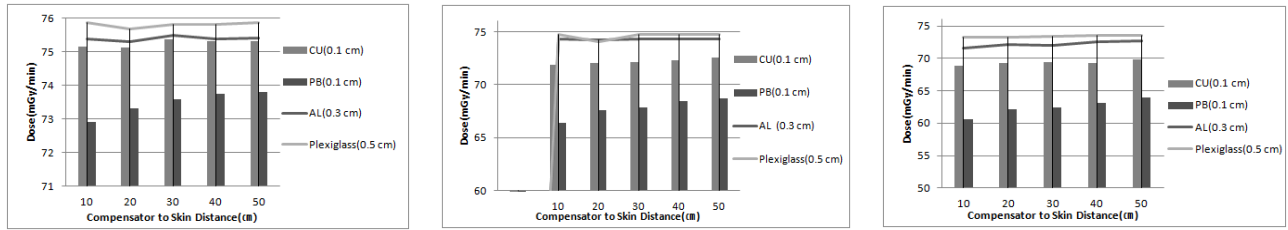


Fig. 1 Skin dose due to thickness.

나타났다. 또한 조직보상체의 재질에 따른 평균 선량은 Plexiglass 33.49 mGy/min, Al 33.20 mGy/min, Cu 32.36 mGy/min, Pb 30.76 mGy/min으로 나타났다. 장기선량 중 갑상선에서 Al을 사용하여 조직보상체와 환자와의 거리가 30 cm일 때 44.73 mGy/min으로 가장 높은 선량을 보였으며, 신장에서 Pb를 사용하고 조직보상체와 환자와의 거리가 10 cm일 때 23.65 mGy/min으로 가장 낮은 선량을 보였다.

IV. 고 찰

본 연구는 전신방사선조사시 사용되는 조직보상체의 재질과 두께 그리고 조직보상체와 환자와의 거리에 따라 변하는 피부선량과 각 심부장기선량에 대하여 연구하였다.

그 결과 피부선량, 갑상선, 생식선, 소화기계, 머리, 폐, 신장의 순으로 선량이 많이 나온 것을 확인할 수 있었다. 이는 전신방사선조사 시 치료 중심을 배꼽을 중심으로 시행하는 것과 장기들의 위치와 질량이 각각 다르기 때문에 선

량차이가 난 것으로 사료된다.

조직보상체의 재질에 따른 선량은 피부선량과 심부장기 선량 모두 Plexiglass, Al, Cu, Pb 순으로 선량이 많이 나온 것을 볼 수 있었다. 이는 각 물질의 원자번호와 밀도에 의해 일어나는 광자와의 상호작용이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 또한 기존의 논문²⁰⁾에서 X-선을 조사하였을 때 Cu의 두께가 Al의 두께의 약 1/3정도 하였을 때 투과한 후의 선량이 비슷하게 나온 결과와 유사하였다.

다음으로 조직보상체의 재질에 관계없이 두께가 두꺼워질수록 선량이 낮게 나온 것을 볼 수 있었다. 이는 두께가 두꺼울수록 광자와 조직보상체사이에 상호작용이 일어나는 확률이 증가하므로 선량이 낮게 나온 것으로 사료된다¹⁹⁾.

조직보상체와 환자와의 거리에 따른 선량은 피부선량의 경우 50cm를 이격시켰을 경우 가장 높은 선량을 보였다. 이는 산란판과 조직등가고체팬텀사이의 거리가 50 ~ 60 cm일 때 가장 높은 선량이 측정되는 결과를 보인 2007년 최종환 등²¹⁾의 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

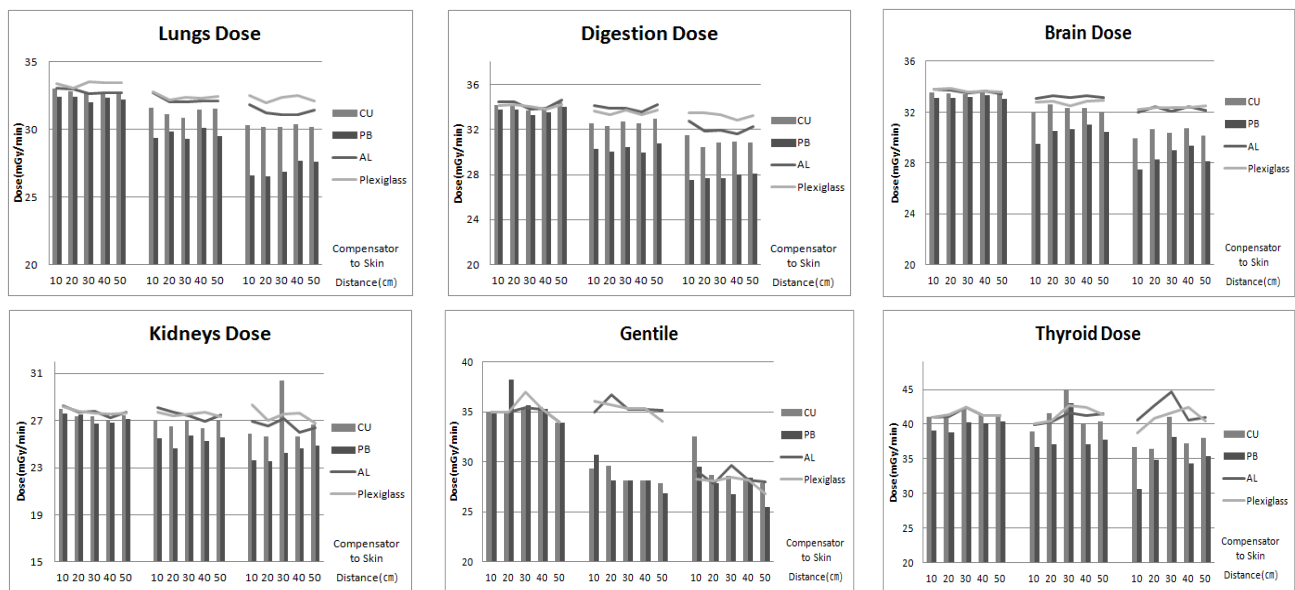


Fig. 2 Organ dose.

V. 결 론

모의실험을 통해 소아전신방사선조사에 따른 조직보상체의 조건인 물성, 두께 및 환자와의 최적의 거리를 파악하고자 한 본 연구의 결론은 첫째, Al의 경우 두께를 Plexiglass의 약 1/2정도, Cu 와 Pb의 경우 약 1/6정도의 두께를 선택하는 것이 타당하다고 판단된다. 둘째, 조직보상체와 환자와의 거리는 50 cm 이상 이격을 하는 것이 가장 이상적인 것으로 판단된다.

끝으로 본 연구는 가상의 공간에서 에너지와 SSD를 고정하고 조직보상체의 물성과 두께, 조직보상체와 환자와의 거리를 변화시켜 모의실험을 진행하였다. 하지만 실제 TBI 시행 시 머리와 폐, 신장 부분을 차폐를 하고 진행되며 또한 사용하는 에너지도 다를 것으로 생각된다. 이에 본 연구를 바탕으로 차폐와 에너지부분까지 변수를 더하여 모의실험을 한다면 더욱 정량적인 선량평가를 할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Sang Jeong Kim: Total Body Irradiation (TBI) or non-TBI as Conditioning Regimen for Stem Cell Transplantation (SCI) in Pediatric Leukemia, Faculty of Medical Sciences Graduate School Chonnam National University, 2010
2. Hong-wei Liu., Matthew, Seftel, Morel Rubinger et al.: Total Body Irradiation compared with beam: Long-term outcomes of Peripheral blood autologous stem cell transplantation for non-hodgkin's lymphoma, *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 78(2), 513-520, 2010
3. Bogdan Umek, M. Zwitter, H. Habic, Total body irradiation with translation method, *Radiotherapy and Oncology* 38, 1253-255, 1996
4. Barrett A.: Total Body Irradiation, *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* 4(3), 47-64, 1999
5. Seung Jin Park, Woong Ki Chung, Sung Ja Ahn, Teak Keun Nam, Byung Sik Nah: Utilization of Tissue Compensator for Uniform Dose Distribution in Total Body Irradiation, *J. Korean Soc. Ther. Radiol*, vol 12(2), 233-241, 1994
6. Jun Ah Lee: Peripheral Blood Stem Cell Transplantation (PBSCT) in Acute Myelogenous Leukemia-Experience in Children-, *Philosophy in Medicine* Seoul National University, 1998
7. Tomasz Piotrowski, Julian Malicki: The rotary dual technique for total skin irradiation in the treatment of mycosis fungoides - a description of the applied method, *Rep Pract Oncol Radiother*, 11(1), 29-37, 2006
8. Aneta Kawa-Iwanicka, Marcin Dybek, Tomasz Iwanicki, Włodzimierz Łłobodziec, Andrzej Radkowski: The technique of Total Body Irradiation Applied at the leszczyński memorial hospital, *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* 7(2), 53-60, 2002
9. Min WS, Cho SG, Chung IJ, et al.: Autologous bone marrow transplantation for acute myeloid leukemia in first remission; purging with hyperthermia and ether lipid in vitro. *J KoreanCancer Association*, 28, 670-677, 1996
10. Akmal Safwat, Ninna Aggerholm, Ivan Roitt, Jens Overgaard, Marianne Hokland: Tumour burden and interleukin-2 dose affect the interaction between low-dose total body irradiation and interleukin 2, *European Journal of Cancer*, 40, 1412-1417, 2004
11. Jacek Wachowiak, Julian Malicki, Dariusz Buczkowski: Allogeneic bone marrow transplantation in children with acute lymphoblastic leukemia in the first and second complete remission conditioned with fractionated Total Body Irradiation and cyclophosphamide or etoposide, *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* 7 (3), 117-125, 2002
12. Jeong-Eun Rah, Ui-Jung Hwang, Hojin Jeong: Clinical application of glass dosimeter for in vivo dose measurements of total body irradiation treatment technique, *Radiation Measurements*, 46, 40-45, 2011
13. Mustafa Cengiz, Eren Cetin, Ferah Yildiz, Ugur Selek, Ercan Aydinkarahaliloglu: Change in blood chemistry may explain higher toxicity of total body irradiation for bone marrow transplantation, *Medical Hypotheses*, 68, 554-57, 2007
14. M. Loes van Kempen-harteveld, Henk Struikmans, Henk B. Kal: Cataract after Total Body Irradiation and bone marrow transplantation, *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 52(5), 1375-1380, 2002

15. Jeong Ok Lee, Dong Hyeok Jeong : Calculation of Energy Spectra for 6 MeV Electron Beam of LINAC Using MCNPX, Korean Society of Medical Physics, 17(4), 224-231, 2006
16. Eun Young Han, Wesley E. Bolch, Keith F. Eckerman : Revision to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRDSchema, Health Phys., 90, 337-356, 2006
17. ICRP Publication 89: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values, Elsevier Publishing Company, 2002
18. ICRU Report 46: Photon, electron, proton and neutron interaction data for body tissues, Oxford Univ., 1992
19. Khan FM: The physics of Radiation Therapy, 4th ed., Williams & Wilkins, 517-526, 2003
20. Lee Min Yong: The effect of x-ray filter materials in the skin dose & tube loading at x-ray examinations, Dept. of Health Science Graduate School Korea University, 2005
21. Jong Hwan Choi, Jong Sik Kim, Ji Min Choi, Eun Hyuk Shin, Ki Won Song, Young Hwan Park: Analysis of Surface Dose Refer to Distance between Beam Spoiler and Patient in Total Body Irradiation, Korean Society for Radiation Therapy, 19(1), 51-54, 2007

•Abstract

In Pediatric Leukemia, Dose Evaluation according to the Type of Compensators in Total Body Irradiation

Dongyeon Lee · Changsoo Kim¹⁾ · Junghoon Kim¹⁾

Dongnam Inst. of Radiological & Medical science.

Dept. of Radiologic Science, College of Health Science, Catholic University of Busan¹⁾

Total body irradiation(TBI) and chemotherapy are the pre-treatment method of a stem cell transplantations of the childhood leukemia, in this study, we evaluate the Quantitative human body dose prior to the treatment.

The MCNPX simulation program evaluated by changing the material of the tissue compensators with imitation material of pediatric exposure in a virtual space.

As a result, first, the average skin dose with the material of the tissue compensators of Plexiglass tissue compensators is 74.60 mGy/min, Al is 73.96 mGy/min, Cu is 72.26 mGy/min and Pb 67.90 mGy/min respectively.

Second, regardless of the tissue compensators material that organ dose were thyroid, gentile, digestive system, brain, lungs, kidneys higher in order.

Finally, the ideal distance between body compensator and the patient were 50 cm aparting each other.

In conclusion, tissue compensators Al, Cu, Pb are able to replace of the currently used in Plexiglass materials.

Key Words : Pediatric Leukemia Patient, Total Body Irradiation, Simulation, Dose Evaluation