

Dose Evaluation of the Man Adjacent to an Implanted Patient During the Prostate Cancer Brachytherapy

Euntae Park,¹ Junghoon Kim^{2,*}

¹Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University, Busan, Korea

²Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Korea

Received: January 03, 2016. Revised: January 20, 2016. Accepted: January 30, 2016.

ABSTRACT

This study is fulfilled to evaluate the exposure dose nearby a patient during the brachytherapy of the prostate cancer treatment and to minimize the radiation exposure by evaluating the exposure dose of the person near the relevant implanted patient, technicians and gardians. The experiment method is used on the study is MCNPX that is stood on the basis monte-carlo method and implant the source to MIRD-type phantom in ¹⁹²Ir, ¹²⁵I, and ¹⁰³Pd in virtual space. For dose evaluations according to distance, the radiation dose on the patient near the corresponding implanted patient is evaluated by each distance of 30, 50, 100, 200 cm to anterior from the implanted patient. As a result, ¹⁹²Ir showed a higher dose than ¹²⁵I and ¹⁰³Pd in every distance.

Keywords: Prostate cancer, Brachytherapy, MIRD-type phantom, MCNPX

I. INTRODUCTION

2015년에 발표된 국가암등록사업 연례 보고서에 따르면 전립선암은 OECD 국가들의 경우, 대표적으로 많이 발생하는 남자의 3대 암종으로 전립선암, 대장암, 폐암으로 보고하고 있으며 생활양식이 점차 서구화되어 가고 있는 우리나라의 경우에도 전립선암의 증가가 지속될 것으로 예상하고 있다. 국내에서도 지난 30년간 전립선암 발생률이 10.5배 늘어나 국내 암 사망 증가율 1위를 기록하고 있는 실정이다.^[1]

전립선암의 치료는 전립선 내에 국한된 저병기 암은 주로 근치적 적출술로 치료하나 국소적으로 진행된 암은 방사선치료 등이 이용되며, 주위 임파선 또는 원격 장기로 진행된 암은 남성호르몬 차단요법이나 화학요법이 시행된다. 이들 치료방법 중 완치를 목표로 하는 치료법으로 외과적 절제, 체외 방사선치료(External beam therapy) 및 근접방사선치료(Brachytherapy)가 있다.^[2] 근접방사선치료는 조직 내, 강내, 관내 또는 피부 표면

에 위치한 종양에 방사선원을 직접 삽입하여 정상조직에 주어지는 방사선피폭을 최소화하는 대신 종양부위에 최대한의 선량을 국한시켜 정상조직의 피해를 최소화하는 방사선치료 방법이다.^[3]

1980년대 중반부터 미국과 유럽에서는 침습성이 낮은 ¹⁹²Ir, ¹²⁵I나 ¹⁰³Pd와 같은 방사성 동위원소를 이용한 근접방사선치료법이 이미 널리 사용되고 있으며, 미국에서 매년 18만 건의 전립선암이 새로 진단되고 3만 내지 4만 건의 국소 전립선암에 방사성 핵종의 이식이 이루어지고 있다.^[4,5] 가까운 일본의 경우에도 ¹⁹²Ir를 일시적으로 삽입하여 ¹²⁵I나 ¹⁰³Pd와 동일한 효과를 얻는 치료 방법을 고안하였다.^[6]

국내에서도 2001년 오문목, 박용희의 연구에서 전립선암 환자를 대상으로 ¹²⁵I를 사용한 근접방사선치료 첫 치험례를 보고하였으며, 2008년 김정훈 등의 연구에서는 ¹²⁵I과 ¹⁰³Pd 선원을 사용한 근접치료 시 주변 장기의 선량 평가를 보고한 바 있다.^[7-9]

또한 전립선에 대한 동위원소를 이식하는 근접치료

*Corresponding Author: Junghoon Kim

E-mail: donald@cup.ac.kr Tel: +82-51-510-0589

Address: Catholic University of Pusan, 57, Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan, 46252, Republic of Korea

법에 대하여 ICRP 98에서는 환자의 치료와 환자 주변의 선량에 대하여 자료를 제시하고 있다. 특히 환자 주변 선량에 대하여 계측기를 이용하여 실측한 값을 제시하고 있다. 하지만 ^{192}Ir , ^{125}I 나 ^{103}Pd 에서 발생한 광자는 굉장히 낮은 에너지로서 실측으로는 정확한 선량을 측정하는 것은 한계가 있다.^[4]

이에 본 연구는 가상의 공간에서 환경의 영향을 제어 할 수 있는 모의실험을 시행하고자 한다. ^{125}I , ^{192}Ir , ^{103}Pd 을 사용하여 전립선암의 방사선치료 시 이식환자에 근접한 사람의 선량을 수학적 모의피폭체와 MCNP X 수송코드를 통하여 예측함으로써 전립선암의 근접 방사선치료에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 전립선 근접치료용 방사성핵종의 물리적 특성

근접치료는 밀봉 방사성동위원소를 조직내, 강내, 관내 또는 피부표면에 직접 주입하여 종양을 치료하는 방법으로, 외부 방사선치료에 비하여 고선량의 방사선을 종양에 집중할 수 있는 반면 주위 정상조직에는 선

량을 급격히 감소시킬 수 있는 장점이 있다.^[3,10]

Table 1은 본 연구에 사용된 근접치료용 핵종의 물리적 특성이며, Table 2는 각 핵종의 붕괴특성을 나타냈다. 이중 일시적 삽입형으로 사용되는 ^{192}Ir 의 경우 감마선 에너지 스펙트럼은 상당히 복잡하며, 평균 에너지는 380 keV로 에너지가 낮기 때문에 방사선 차폐가 용이하다. ^{192}Ir 은 물리적 반감기가 74.2일로 짧은 단점이 있으나 치료시간에 비해서 반감기가 충분히 길기 때문에 ^{226}Ra 이나 ^{137}Cs 처럼 일시적 삽입용 선원으로 사용 가능하다.^[3] 또한 ^{125}I 는 방사선치료에서 영구자입(permanent implants)으로 널리 사용되고 있으며, ^{222}Rn 과 ^{198}Au 인공 방사성동위원소와 비교하면 반감기가 59.4일로 상대적으로 길어서 오래 보관할 수 있다. 그리고 감마선의 에너지가 약 27 keV로 낮아 차폐가 용이한 것이 그 특징이다. ^{103}Pd 방사성 동위원소는 비교적 최근에 근접치료용 선원으로 활용되었으며, 임상적 특성과 응용 방법은 ^{125}I 와 비슷하지만 ^{103}Pd 의 반감기가 17일로 더 짧기 때문에 영구자입형 치료에 있어서 생물학적으로 더 많은 장점이 있다. 이외에 근접치료에 사용되는 방사성핵종으로는 ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{198}Au 등이 있다.^[3]

Table 1. Radioisotopes used for prostate brachytherapy

Radioisotope	Half-Life	γ -ray Energy (MeV)	HVL (mmPb)	Exposure Rate Constant (Rcm ² /mCi-h)	Source Form
^{192}Ir	74.2 days	0.136~1.06 (0.38 avg.)	2.5	2.38	wire, seed
^{125}I	60.2 days	0.028 avg.	0.025	1.46	seed
^{103}Pd	17.0 days	0.021 avg.	0.008	1.48	seed

Table 2. Decay characteristics of ^{192}Ir , ^{125}I and ^{103}Pd

Iridium-192			Iodine-125		
Freq.(%)	E(MeV)	Yield	Freq.(%)	E(MeV)	Yield
29	0.2960	0.2900	39.71	27.2	0.3971
29.7	0.3084	0.2970	73.95	27.5	0.7395
82.8	0.3165	0.8280	7.19	30.9	0.0719
0.662	0.4165	0.0066	13.98	31	0.1398
4.52	0.5886	0.0452	4.29	31.7	0.0429
8.18	0.6044	0.0818	6.65	35.5	0.0665
5.33	0.6125	0.0533			
0.302	0.8845	0.0030			
4.58	0.0668	0.0458			
2.67	0.0651	0.0267			
0.466	0.2013	0.0047			
3.29	0.2058	0.0329			
0.729	0.3745	0.0073			
3.16	0.4846	0.0316			
0.397	0.4891	0.0040			
2.18	0.0630	0.0218			

Palladium-103		
Freq.(%)	E(MeV)	Yield
37.5	20.22	0.375
19.8	20.07	0.198
6.6	22.72	0.066
1.74	23.17	0.0174
3.48	22.7	0.0348
2.23	2.7	0.0223

2. MIRD type Phantom과 MCNPX

본 연구에서 사용한 모의실험 프로그램은 MCNPX (ver.2.5.0)으로 몬테칼로 기법을 사용하는 대표적인 방사선 수송 코드로서 전자, 광자, 중성자, 양성자 등 총 34개의 입자 수송이 가능한 장점이 있으며, 광자의 경우 1 keV에서 100 GeV까지의 수송 해석이 가능한 장점이 있다.^[11] 또한 선량의 결과값 획득에 있어서 자유도가 높으며, 윈도우 운영체제로서 접근성이 용이한 장점이 있어 본 실험에 사용하였다.

모의피폭체는 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 개발한 MIRD type 인체 팬텀을 사용하였다.^[12-16] 이 팬텀은 최초의 수학적 팬텀으로 알려져 있으며 몬테칼로 방법과 결합하여 방사선 방호와 의학적 목적의 선량분포 계산에 유용하게 쓰이고 있다. 선행 연구에서 기존 ICRP 89 표준인의 전립선 질량과 한국표준인의 신체 크기를 고려하여 각 장기가 겹치지 않는 범위에서 전립선을 모사하였으며, 이 팬텀을 바탕으로 선량 평가를 진행하였다.^[15,17]

Fig. 1은 본 연구에 사용한 MIRD 팬텀의 외관과 내부 구성의 개략도이다.

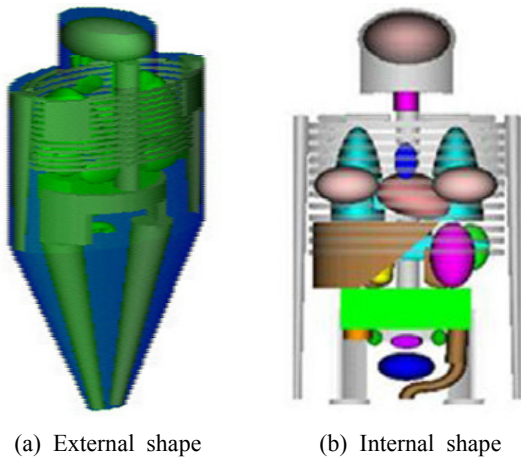


Fig. 1. Constitution of the MIRD type phantom.

3. 이식환자에 근접한 사람의 선량평가 방법

MCNPX를 이용하여 환자로부터 30, 50, 100, 200 cm 인 지점에 관심영역을 지정하여 광자의 입자플루언스를 측정하였다. 이 때 선원은 ^{192}Ir , ^{125}I , ^{103}Pd 3가지를

선택하였으며, 전립선 내의 씨앗형태의 점 선원이 균일하게 분포하고 있는 것으로 가정하여 설정하였다. 관심 영역에 대하여 F4 tally를 사용하여 시간당 광자 플루언스율(photon number/cm² · sec)을 측정하였다. 이때 상대오차는 1% 이내로 하여 결과값의 신뢰도를 확보하였다.

방사선속이 진행하는 위치에 있는 물질의 질량감쇠계수와 이 위치에서 물질에 흡수되는 방사선의 흡수선량율은 방사선속의 선속밀도, 에너지 및 물질의 질량에너지감쇠계수에 비례하여 다음과 같은 Eq. (1)을 갖는다.^[18]

$$\dot{D} = \frac{\left(\frac{\phi \text{ photons/cm}^2}{\text{sec}} \times E \text{ MeV/photon} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times \mu_m \text{ cm}^{-1} \right)}{\rho_m \text{ kg/cm}^3 \times 1 \frac{\text{J/kg}}{\text{Gy}}} \quad (1)$$

여기서 \dot{D} 는 흡수선량율(Gy 또는 Sv), μ_m / ρ_m 은 물질의 질량감쇠계수, ϕ 는 선속밀도, E는 에너지 (MeV) 이다.

또한 일반적으로 환자로부터 주어진 거리에서 총 선량 D는 Eq. (2)로 평가 할 수 있다.^[4]

$$D(\infty) = 34.6 T_b \dot{D}(t_0) E \quad (2)$$

여기서 $\dot{D}(t_0)$ 는 흡수선량율(Gy 또는 Sv), T_b 는 물리적 반감기, E는 이식 환자근처에 머무르는 점유도이다.

III. RESULT AND DISCUSSION

MIRD형 모의피폭체와 MCNPX를 사용하여 모의실험을 진행하였으며, ^{192}Ir , ^{125}I , ^{103}Pd 이식환자에 근접한 사람의 선량평가는 Eq. (2)를 사용하였다. 또한 거리별 선량평가를 위해 이식환자를 선원으로 하여 전방 30, 50, 100, 200 cm 거리에 일반인이 위치하는 것으로 가정하여 이식환자에 근접한 사람의 선량을 평가하였다. 그 결과를 바탕으로 Table 3과 같이 흡수선량을 산정하였다.

핵종별 비교 결과 ^{192}Ir 가 ^{125}I 와 ^{103}Pd 보다 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과는 일반인에 대한 한계 선량치인 1 mSv에 못 미치는 것으로 나타났다.^[19]

Table 3. Dose of persons following the distance from an implanted patient

Distance	Absorbed dose rate(Gy/hr)			Absorbed dose(Sv)		
	¹⁹² Ir	¹²⁵ I	¹⁰³ Pd	¹⁹² Ir	¹²⁵ I	¹⁰³ Pd
30 cm	3.59E-09	6.82E-11	1.73E-11	9.19E-06	1.75E-07	4.42E-08
50 cm	1.99E-09	3.78E-11	9.57E-12	5.10E-06	9.69E-08	2.45E-08
100 cm	7.28E-10	1.38E-11	3.50E-12	1.86E-06	3.53E-08	8.94E-09
200 cm	2.12E-10	4.03E-12	1.02E-12	5.42E-07	1.03E-08	2.61E-09

Table 4. The dose for the distance at particular points of the ¹⁹²Ir, ¹²⁵I and ¹⁰³Pd source

		1 day	5 day	10 day	15 day	30 day
¹⁹² Ir	30 cm	9.10E-06	8.77E-06	8.37E-06	7.98E-06	6.93E-06
	50 cm	5.05E-06	4.87E-06	4.64E-06	4.43E-06	3.85E-06
	100 cm	1.84E-06	1.77E-06	1.69E-06	1.62E-06	1.40E-06
	200 cm	5.37E-07	5.17E-07	4.93E-07	4.71E-07	4.09E-07
¹²⁵ I	30 cm	1.73E-07	1.65E-07	1.56E-07	1.47E-07	1.24E-07
	50 cm	9.58E-08	9.15E-08	8.64E-08	8.15E-08	6.86E-08
	100 cm	3.49E-08	3.33E-08	3.15E-08	2.97E-08	2.50E-08
	200 cm	1.02E-08	9.72E-09	9.18E-09	8.67E-09	7.29E-09
¹⁰³ Pd	30 cm	4.24E-08	3.60E-08	2.93E-08	2.39E-08	1.29E-08
	50 cm	2.35E-08	2.00E-08	1.63E-08	1.32E-08	7.16E-09
	100 cm	8.58E-09	7.28E-09	5.93E-09	4.83E-09	2.61E-09
	200 cm	2.51E-09	2.13E-09	1.73E-09	1.41E-09	7.63E-10

(unit : Sv)

그러나 이렇게 미량의 방사선이라도 확률적 영향의 관점에서 간과할 수는 없다. 방사선의 확률적 영향은 피폭으로 인한 영향의 발생확률이 피폭 받은 선량과 함수관계를 유지하며 그 효과의 심각성은 선량과 무관하게 된다. 따라서 선량이 낮은 경우에도 어떠한 역치 선량 없이 영향의 발생 확률이 존재하게 되므로 근접 치료 종료시점까지 지속적인 관리가 이루어져야 할 것이다.

Table 4는 시간 경과에 따른 흡수선량의 변화를 나타낸 표이다. 위 결과와 유사하게 ¹⁹²Ir이 특정시점(1일, 5일, 10일, 15일, 30일)에서도 선량이 가장 높게 나타났으며, 시간의 경과에 따라 감소되고 있음을 알 수 있었다. 물론 ¹⁹²Ir는 전립선암 치료 시에 일시삽입(temporary implants)하여 사용하므로 시간 경과에 따른 선량은 큰 의미가 없지만, 영구삽입하는 ¹²⁵I와 ¹⁰³Pd 핵종과의 비교를 위해 결과값을 첨부하였다.

현재 근접치료에 이용되는 인공방사성동위원소의 개발이 늘어나고, 전립선 이외의 많은 장기에 대한 적응증이 늘어나고 있는 실정이다. 그러므로 다양한 핵종에 대한 연구는 꾸준히 지속되어야 할 것이다. 더불어 이전의 관련 연구가 환자의 병소와 인접장기에 대한 선량평가였다면, 이제는 환자 보호자와 간병인, 의료 종사자들에게 대한 선량 평가부분도 반드시 고려되어야 할 것이다.

IV. CONCLUSION

전립선암은 미국과 유럽의 남성암 중 발생율 1위와 사망률 2위를 보이고 있으며, 우리나라도 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 본 연구는 전립선암의 치료에 있어서 방사성동위원소를 사용하는 근접치료 시 이식 환자에 근접한 사람의 선량을 수학적 모의피폭체를 이용하여 평가하였다.

이식환자에 근접한 사람의 선량을 평가한 결과, ¹⁹²Ir이 타 핵종에 비해 흡수선량이 가장 높게 나타났다.

ICRP는 일반인에 대해서는 1 mSv/year 선량한도에, 환자의 친척, 방문객, 간병인에 대해서는 사건 당 5 mSv를 초과할 우려가 없도록 제한하고 있으며, 우리나라의 경우에도 원자력 안전위원회에서 환자의 가족이나 친지 등이 받는 개인의 유효선량이 5 mSv를 초과하지 않도록 권고하고 있다.

본 연구 결과는 한 시간에 받는 선량과 특정 시점의 선량을 평가한 것이기 때문에 장기적으로 이식환자와 생활하는 간병인 및 보호자의 선량 관리에 충분한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

Reference

- [1] Ministry of Health & Welfare, "Annual report of cancer statistics in Korea in 2013," Korea, 2015.
- [2] W. Park, S. J. Huh, H. H. Choi, H. M. Lee, S. E. Chai, Y. C. Ahn, D. H. Lim, "Results of Definitive Radiotherapy in the Treatment of Prostate Cancer," *The Korean Urological Association*, Vol. 46, No. 3, pp. 201-228, 2005.
- [3] S. S. Kang, I. H. Go, G. J. Kim, S. H. Kim, Y. S. Kim, Y. J. Kim, *Radiation Therapeutics*, third edition, Chung-ku munhwasa, Korea, 2014.
- [4] International Commission on Radiological Protection, "Radiation Safety Aspects of Brachytherapy for Prostate Cancer using Permanently Implanted Sources," ICRP Publication 98, Pergamon Press, Oxford, UK, 2005.
- [5] T. P. Arthur, C. B. John, D. G. Peter, M. R. Sarada, R. Haakon, "Brachytherapy for Prostate Cancer," *Cancer Journal for Clinicians*, Vol. 45, pp. 165-178, 1995.
- [6] S. Saito, T. Momma, T. Dokiya, M. Murai, "Brachytherapy for Prostate Cancer in Japan," *International Journal of Urology*, Vol. 8, pp. 22-27, 2001.
- [7] M. M. Oh, Y. W. Bahk, E. T. Scott, "Preliminary Report of Clinical Experience of Iodine-125 Seed Implant for Early Prostatic Cancer: The First Case in Korea," *The Korean Urological Association*, Vol. 42, No. 11, pp. 1235-1240, 2001.
- [8] J. H. Kim, C. S. Lim, J. H. Whang, "Radiation Dose Calculation in the Surrounding Organs during Brachytherapy of Prostate Cancer," *The Korean Society of Medical Physics*, Vol. 19, No. 3, pp. 172-177, 2008.
- [9] J. K. Park, S. H. LEE, S. Y. Cha, Y. S. Kim, S. Y. Lee, "Availability and Reproducibility Evaluation of High-dose-rate Intraluminal Brachytherapy for Unresectable Recurrent Cholangiocarcinoma," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 6, No. 2, pp. 151-157, 2012.
- [10] F. M. KHAN, *The Physics of Radiation Therapy 4/E*, Lippincott Williams & Wilkins, 2009.
- [11] LANL, *User's manual version 2.5.0*, Los Alamos National Laboratory, LA-CP-05-0369, 2005.
- [12] H. L. Fisher, W. S. Snyder, "Distribution of dose in the body from a source of gamma rays distributed uniformly in an organ," *Health Physics Division Annual Progress Report for Period Ending July 31, 1967* Report ORNL-4168 (Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory), 1967.
- [13] International Commission on Radiological Protection, "Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values," A report of ICRP Publication 89, *Ann. ICRP* 32 (3-4), 2002.
- [14] International Commission on Radiation Units and Measurements (1992c), "Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues," *ICRU Report 46* (Bethesda, MD: ICRU), 1992.
- [15] XU XG, "An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 59, No. 18, pp. R233-R302, 2014.
- [16] J. S. LEE, "Dose Evaluation Using Mathematical Simulation of Radiation Exposure Body in Mammography System," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 4, pp. 155-161, 2014.
- [17] J. H. Kim, C. S. Kim, J. H. Whang, "Assessment of Radiation Dose for Surrounding Organs and Persons Approaching Implanted Patients upon Brachytherapy of Prostate Cancer with Iridium-192," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 141, No. 3, pp. 283-288, 2010.
- [18] H. Cember, *Introduction to Health Physics*, Third edition, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [19] International Commission on Radiological Protection, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," *ICRP Publication* 103, 2007.

전립선암의 근접치료 시 이식환자에 근접한 사람의 선량평가

박은태,¹ 김정훈^{2,*}

¹인제대학교 부산백병원 방사선종양학과

²부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

요약

본 연구는 전립선암의 치료방법 중 근접치료 시 환자 주변의 공간에 대한 선량을 평가한 것으로 환자, 시술자 그리고 보호자에 대한 선량을 예측함으로써 피폭을 최소한으로 예방하고자 수행하였다. 실험방법은 몬테칼로법을 기반으로 한 MCNPX를 사용하여 가상의 공간에서 모의피폭체를 만들어 실험하였으며, 선원은 ¹⁹²Ir, ¹²⁵I, ¹⁰³Pd를 seed 형태로 이식하였다. 환자를 중심으로 전방 30, 50, 100, 200 cm 거리에 관심영역을 설정하여 공간 선량을 평가하였다. 그 결과 거리에 관계없이 ¹⁹²Ir에서 가장 높은 선량을 나타내었다.

중심단어: 전립선암, 근접치료, 모의피폭체, MCNPX