

자체 제작한 근접방사선치료용 다목적 팬텀의 유용성 평가

인하대학교 의과대학 방사선종양학교실

장인기 · 이정진 · 김완선

목적: 본 연구에서는 근접치료 시 선량기준점에서 선량을 정확히 분석하고자 근접방사선치료용 다목적 팬텀(Multi Purpose Brachytherapy Phantom, MPBP)을 제작하여 그 유용성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 자체 제작된 근접방사선치료용 다목적 팬텀(MPBP)에서 다기능삽입구(Multi Function Applicator, MFA)를 이용하여 치료 시와 동일한 조건을 재현한 후 열형광선량계(TLD)를 이용하여 전산화 치료계획 장치에서 계산된 좌표와 동일한 기준점에서 선량을 측정하였다. 측정 대상은 근접방사선 치료환자 중 탄뎀(tandem)과 난형체(ovoid)를 사용한 자궁경부암 환자 4명을 대상으로 환자 당 5회씩 총 20회 A point와 B point 그리고 방광에서 선량을 측정하였다.

결과: MPBP에서 TLD의 측정 결과는 A point에서 측정된 환자의 상대오차가 각각 -3.2%, -0.2%, 0%, 3.8%를 보였고, B point에서는 -1.4%, -1.4%, 2.4%, 4.0%를 보였다. 그리고 방광에서는 1.3%, 2%, 5.4%, 7.15%의 상대오차를 나타내었다.

결론: 자체 제작된 근접치료용 다목적 팬텀(MPBP)은 다기능삽입구(MFA)를 사용하여 치료 시와 동일한 조건에서 선량측정의 재현성을 이룰 수 있었고, A, B point지점과 방광의 선량을 정확히 분석할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제작된 근접방사선치료용 다목적 팬텀은 기준점 선량분석에 매우 유용한 것으로 판단된다.

핵심용어: 근접방사선치료, 다목적 근접방사선치료용 팬텀(MPBP), 다기능삽입구(MFA), 열형광선량계(TLD)

서 론

자궁경부암은 다른 종양에 비해 완치율이 높은 종양이다. 예후가 좋은 이유 중 하나는 선형가속기를 이용한 외부치료와 방사성동위원소를 이용한 내부치료 등으로 대부분 함께 병행하고 있기 때문이다. 이들 치료에 충분한 선량을 조사하는데 항상 제한적 요소는 자궁주변에 인접한 주요 장기가 견딜 수 있는 선량이 제한되어 있어서 다량의 방사선이 조사되면 부작용 발생 빈도가 증가하기 때문이다. 이러한 중요 장기에 과도한 방사선이 조사되면 치료종료 후 환자의 생활에 이차적인 장애로 인하여 환자들 삶의 질을 저하시키는 요인이 된다. 앞서 많은 저자들이¹⁻⁴⁾ 이들 장기들에 대한 선량과 부작용에 대한 많은 연구를 하였다. 또한 방광에 조사되는 선량을 줄이는 노력들도 진행되고 있다.⁵⁾ 한편 최근에는 진단용 장비의 발달로 CT, MRI 등⁶⁻⁹⁾을 이용하여 3차원 영상에서 방광에 대한 선량 분석을 보고하고 있다. 또한 전산화 치료 계획 장치를 이용하여 사전에 주요장기에 최소의 선량

이 조사되도록 선량최적화를 이룬 다음 치료를 시행하고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 근접방사선 치료의 특수성과 측정의 어려움 때문에 대부분 선량을 검증 없이 전산화 치료 계획 시스템의 계산된 값에만 의존하여 치료를 시행하고 있는 실정이다. 최근 들어 몇몇 저자들이^{3,10-13)} 열 형광선량계(TLD) 및 다이오드 검출기 등을 이용하여 생체 내에서 이들 장기들에 대한 선량 분석을 위한 노력들이 보고되고 있다. 그러나 이러한 노력들은 환자의 방광의 상태에 따라 측정의 일관성을 이룰 수가 없어 정확한 측정이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 근접 치료 시 선량기준점에서 선량을 정확히 분석하고자 근접방사선치료용 다목적 물 팬텀을 설계 및 제작하여 치료 시와 동일한 조건에서 선량을 측정함으로써 생체측정을 시행하지 않고도 팬텀에서 장기의 선량을 정확히 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 다목적 근접치료용 팬텀(Multi Purpose Brachytherapy Phantom) 설계 및 제작

실험에 사용된 다목적 근접치료용 팬텀은 본원에서 자체 제작된 것으로 Fig. 1과 같이 3차원 방향으로 이동이 가능하

이 논문은 2006년 4월 5일 접수하여 2006년 7월 15일 채택되었음.
책임저자: 장인기, 인하대병원 방사선종양학과
Tel: 032)890-3086, Fax: 032)890-3082
E-mail: jingis5@hanmail.net

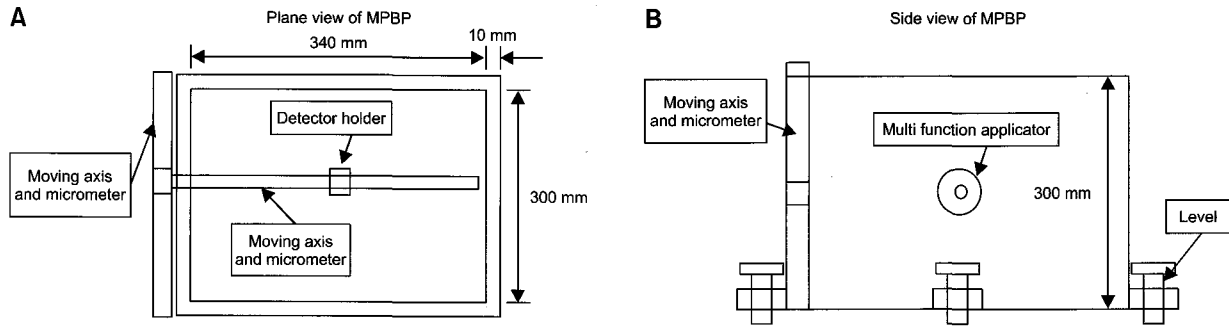


Fig. 1. Multi Purpose Brachytherapy Phantom, showing a schematic drawing from (A) top view, and (B) side view.

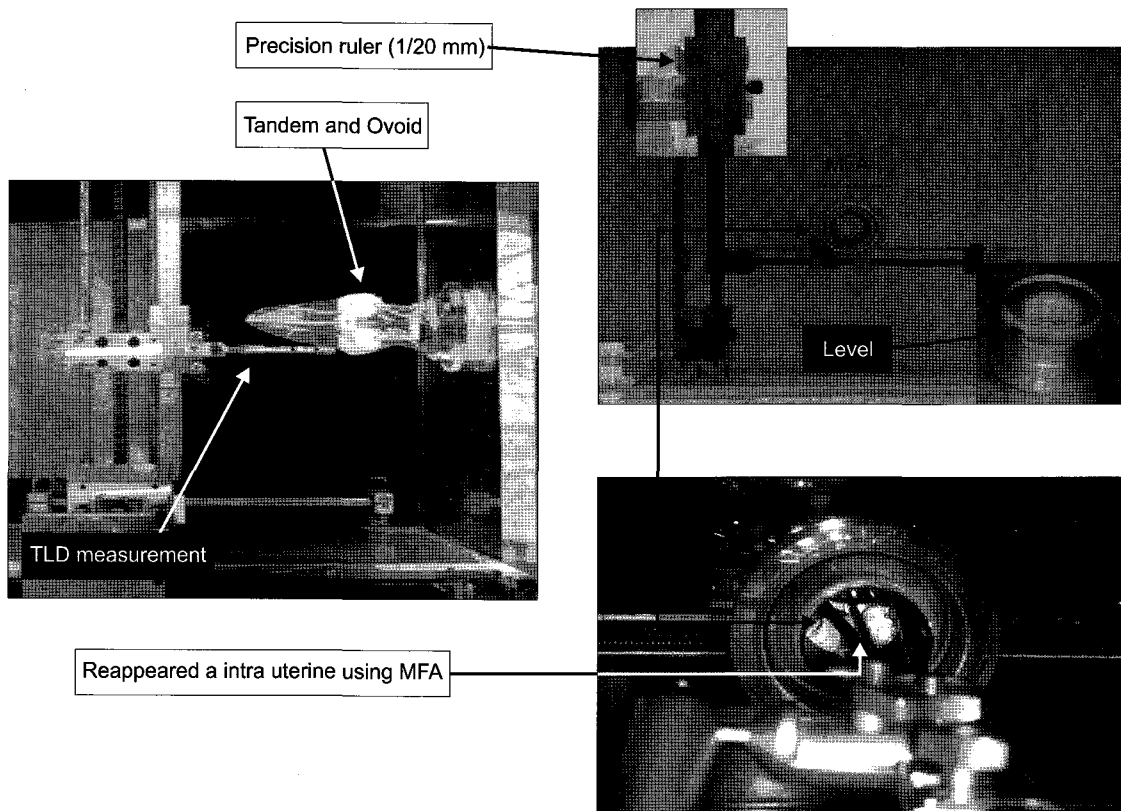


Fig. 2. Experimental setup for dose measurement. This shows a setup for rectal dose measurement with TLD using tandem and Ovoid applicator inside MPBP.

고, 근접방사선치료에 필요한 기구들을 설치할 수 있도록 설계하였으며 팬텀의 내부 크기는 $34 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ 이다. 가로, 세로, 높이 모두 정밀자(vernier caliper)를 부착하여 이동의 정밀도를 0.05 mm까지 조절되도록 제작되었다. 재질은 아크릴과 알루미늄으로 구성되었다. X축 방향의 중앙에 전리함, 필름 및 열형광선량계 등을 설치하여 3차원 공간에서 선량측정이 가능하도록 제작되었다. 또한 다기능삽입구(Multi Function Applicator)를 개발 부착하여 환자 치료 시와 동일한 모

습으로 치료기구들을 재현 할 수 있도록 제작하였으며 선원 교체 시 선원교정을 위한 기구 설치가 가능 하도록 하였다. 그리고 팬텀의 밑바닥에 수평조절기를 부착하여 팬텀의 안정성 및 측정의 정확성을 추구하였다(Fig. 2).

2. 선량계산 및 치료

Fig. 3에 나타 낸 것처럼 Tandem과 Ovoid를 사용한 4명의 자궁경부암 환자를 대상으로 근접방사선 모의 치료 시 촬영

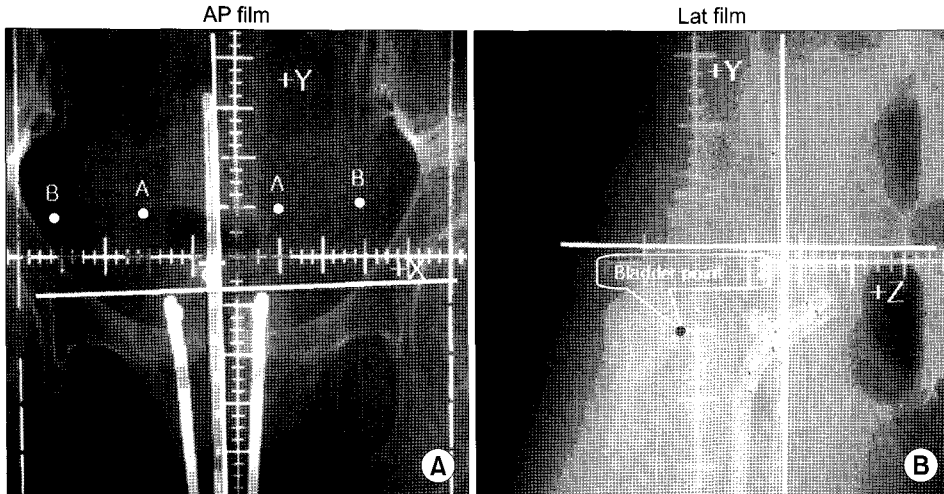


Fig. 3. Showing a set of orthogonal radiographs. In the lateral radiograph, with barium inject in rectal sound to mark the position, line is drawn from the inner aspect of the canal to the rectal reference point and thus to the sacrum at S1-S2 (B). The three points are located along this angulated line: one 2 cm caudad to the rectal reference point and another point cephalad at 2 cm.

한 AP 필름과 LAT 필름을 이용하여 전통적인 방법에¹⁵⁾ 따라 point A는 자궁입구 표지로부터 상방 2 cm 및 좌우로 2 cm 되는 곳을 정하였으며, Point B는 자궁입구 표지로부터 상방 2 cm 좌, 우로 각각 5 cm 되는 곳을 정하였다. 선량계산은 전산화 치료계획 장치 Plato RTP (BPS v13.2, Nucletron, Netherlands)를 이용하였다. Point A에 50 cGy가 조사되도록 조사시간을 결정하여 총 300 cGy를 6회에 나누어 조사하였다. 방광의 기준점은 모의치료 설계 시 방광에 조영제 70 cc 정도 주입 후 선원(source)과 가장 가까운 곳에 기준점을 정하였다.¹⁾ 또한 이 기준점에 50 cGy가 초과 조사되지 않도록 선량 최적화 작업을 하였다. 방향 설정은 환자의 발에서 머리 쪽으로 +Y, 오른쪽에서 왼쪽 +X방향, 앞쪽에서 뒤쪽으로 +Z방향을 정하였다.

3. 팬텀 측정

팬텀에서 측정은 생체 측정을 시행한 동일한 환자를 대상으로 하였다. 측정 도구는 열형광 선량계를 이용하였다. 열형광선량계(TLD)는 LiF TLD-100 칩(3×3×1 mm³)을 사용하였고 판독기는 HARSHAW 5500 TLD 시스템을 이용하였다. TLD 교정은 6 MV 선형가속기(KD-2, Seimens)를 이용하였고, 팬텀은 상용화된 화이트 폴리스틸렌 팬텀(RW3, PTW)을 가지고 산란선을 충분히 고려하도록 30×30×30 cm³ 두께와 조사면 10×10 cm²에서 깊이 5 cm 되도록 설치하여 100 cGy가 조사되도록 MU 값을 계산하여 조사하여 교정인자를 구하였다. 교정된 TLD는 불확정도가 ±5% 이내 값만 가지는 것을 선별하여 측정에 이용하였다. 또한 측정에 사용된 TLD는 1 mm 아크릴 캡을 이용하여 물이 스며들지 않도록 하여 물 팬텀에 설치하여 측정하였다.

측정 방법은 투시를 통하여 환자의 모의치료 설계 시 촬영

한 필름과 동일하도록 치료기구를 팬텀에서 설치 재현하였다(Fig. 4). 측정점은 전산화 치료계획 장치에서 출력된 계산 차트를 이용하여 측정지점의 좌표 값을 이용하여 팬텀에서 동일한 지점에 TLD를 설치 하였다(Fig. 4).

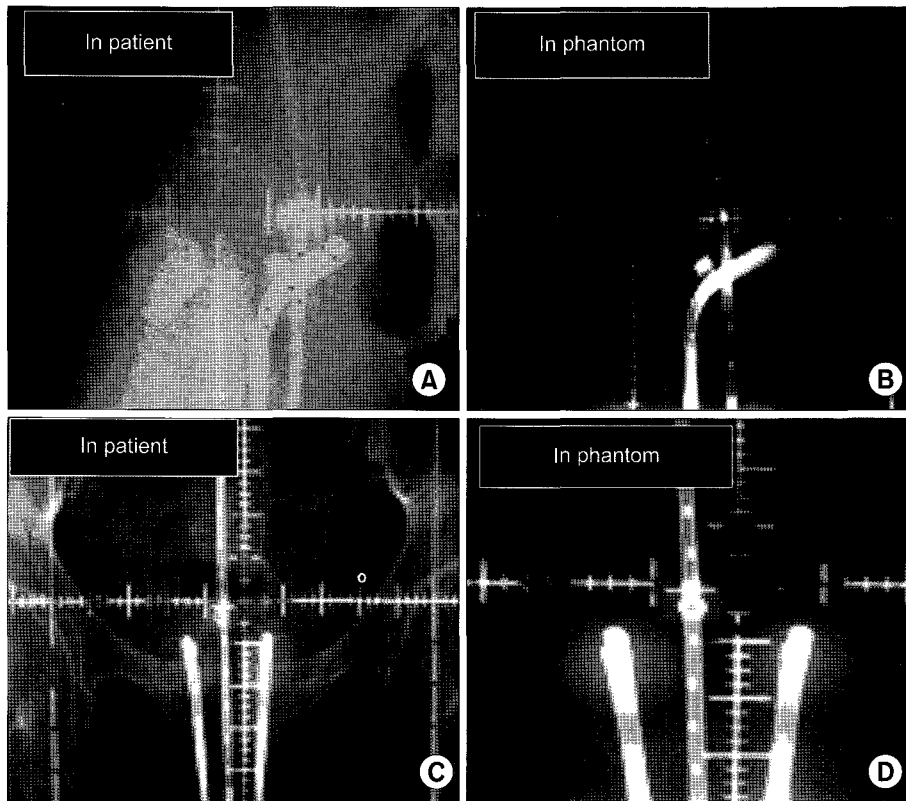
결 과

1. 팬텀 측정

TLD를 이용하여 다목적 근접치료용 팬텀에서 측정의 결과는 Table 1에 나타내었고, 각각의 결과를 Fig 5, 6, 7과 같이 각각 그래프로 나타내었다. 다목적 물팬텀에서 TLD의 측정 결과는 처방선량 50 cGy를 주었을 때 A point에서 측정환자의 상대오차가 각각 -3.2, -0.2, 0, 3.8%를 보였고, B point에서는 -1.4, -1.4, 2.4, 4.0%를 보였다. 그리고 방광에서는 1.3, 2, 5.4, 7.15%의 상대오차를 나타내었다. 따라서 A point에서 상대오차는 최저 -3.2~최대 3.8%를 보였고, B point에서는 최저 -1.4~최대 4.0%를 보였다. 그리고 방광에서는 최저 1.3~최대 7.15%를 나타내었다.

측정의 결과를 보면 생체측정과 달리 set up 오차에 따른 선량의 변화는 나타나지 않은 것으로 분석되었다. 대부분 측정값들이 계산 값보다 높게 나타났다. 이것은 TLD 설치 시 TLD가 선원 쪽으로 이동되어 측정된 것이라 판단보다 선량 계산 프로그램 알고리즘에서 공기와 물에 대한 보정을 하였지만 산란 선에 대한 보정은 고려하지 않은 것으로 사료된다.

모든 측정값 결과를 분석하면 상대오차가 최고 7.15%를 보였으나 TLD 자체오차(±5%)와 측정오차가 함께 포함된 것을 고려하면 계산 값과 측정값의 상대오차가 미국의학물리학회(TG41)권고치 ±15% 범위 내에서 잘 일치하는 것으로 분석되었다.



E
Marking points:

Point	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Dose (%)	Dose (cGy)	Description
1	-6.1	-6.1	16.5	98.6	493.2	Bladder
2	-1.5	14.1	-31.0	49.5	247.5	Rectum
3	0.1	0.1	30.2	62.3	311.4	Rectum1
4	0.2	-13.6	-31.4	57.4	287.1	Rectum2
5	-50.4	21.0	1.0	26.3	131.3	Rt B point
6	50.3	19.6	0.8	27.0	135.0	Lt B point

The coordinates X, Y and Z are relative to the world coordinate system.

Marking points:

Point	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Dose (%)	Dose (cGy)	Description
1	-20.1	20.3	-0.5	98.6	494.2	Rt A point
2	20.0	20.0	-0.6	101.2	505.8	Lt point

The coordinates X, Y and Z are relative to the world coordinate system.

Fig. 4. TLD measurement procedure shown from radiograph with tandem and ovoid: (A) ap in patient, (B) ap in phantom, (C) Lat in patient, (D) Lat in phantom, (E) sheet of calculation.

고찰 및 결론

근접방사선치료 시 자궁주변의 주요장기인 방광에 고 선량이 조사되는 것을 줄이므로 부작용이 최소화 되도록 많은 노력들을 해 왔다.^{1-5,14} ICRU 38¹⁵)에서도 방광의 최대선량 기준점을 제시하여 방광의 부작용을 줄이고자 노력하고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 선량을 정확히 측정하

고 분석하는 방법들은 아직까지 명확한 해답을 찾을 수가 없다. 최근 방사선치료에도 측정 장비들^{16,17})의 발달로 측정도구들이 점차 치료방법에 맞게 개발되고 있지만 아직 근접방사선 치료에 바로 적용하는 것은 측정의 어려운 점이 많다. TLD 및 필름, 다이오드 등을^{3,10-13,19}) 이용하여 방광 내 직접 삽입하여 선량을 분석하고자 하였으나 여러 가지 이유로 정확한 위치에서 선량측정이 어렵다고 주장하고 있다.

Table 1. Calculated dose and measured dose at the A point, B point, Bladder

	A point			B point			Bladder		
	C.V	M.V	Percentage	C.V	M.V	Percentage	C.V	M.V	Percentage
pt 1	52.6	52.6±0.96	0	12.5	13.0±0.16	4.0	35.5	38.0±0.68	7.15
pt 2	51.2	49.5±0.43	-3.2	14.1	13.9±0.23	-1.4	47.9	50.5±0.46	5.4
pt 3	50.1	52.0±0.45	3.8	12.0	12.29±0.18	2.4	49.9	50.88±1.45	2.0
pt 4	51.2	51.1±0.46	-0.2	13.6	13.4±0.13	-1.4	61.7	62.5±0.42	1.3

prescription dose: 50 cGy, C.V: calculation value, M.V: measurement value

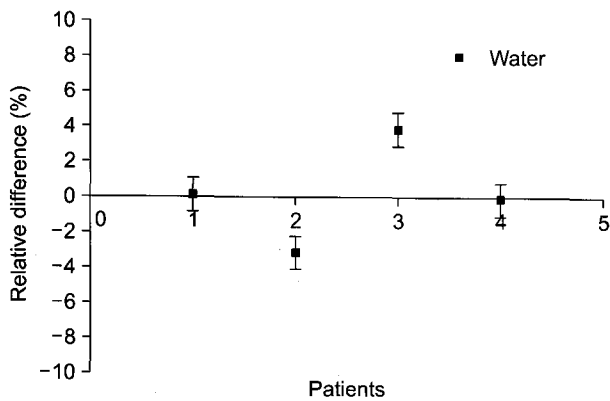


Fig. 5. A comparison between calculated dose and measured dose at A point.

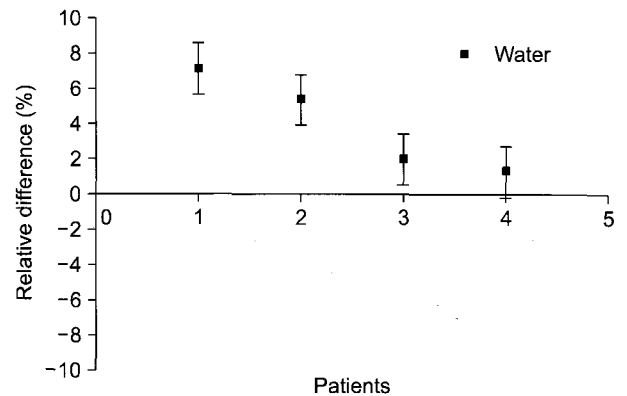


Fig. 7. A comparison between calculated dose and measured dose at the bladder point.

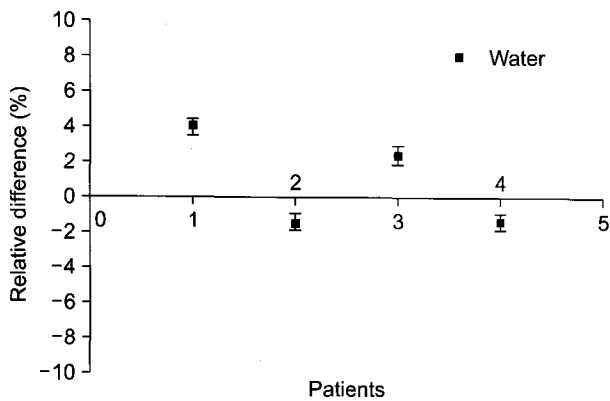


Fig. 6. A comparison between calculated dose and measured dose at B point.

Chung과 Lee¹³⁾ 및 Wadhäusl¹⁸⁾ 등의 연구 보고에서도 알 수 있듯이 방광 내 생체 측정에는 많은 변수들 때문에 반복적 측정이 일치 할 수가 없고, 또한 ICRU 38에서 권고한 점 또는 선원과 가장 가까운 방광 전면 벽에서 측정은 거의 불가능한 것을 알 수 있다.

Alecu와 Alecu¹²⁾는 생체 내 측정의 문제점을 개선하고자 Fletcher Suit Delclos 기구를 골반 팬텀에 장착하여 TLD를 가지고 팬텀 내에서 생체 측정의 조건을 갖추고 측정된 결과 5% 이내로 일치한다고 보고하고 있다. 그러나 상용화된 골반 팬텀은 3차원 공간에서 정밀하게 이동할 수 있는 장치들이 없으므로 관심 점에서 정확한 선량분석이 불가능한 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 다목적 근접치료 팬텀은 생체 측정의 문제를 개선하고 3차원 공간에서 정확하게 이동이 가능하도록 하였다. 또한 기존의 상용화된 팬텀과 다르게 치료 시와 동일한 모습으로 기구를 설치할 수 있도록 다기능 기구(MFA)를 개발 부착함으로써 생체 내부의 조건과 동일하게 하였다. 팬텀 내에서 TLD를 이용하여 관심 점(A point, B point, 방광)에서 측정결과 계산 값과 ±5% 이내로 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 앞선 Alecu와 Alecu¹²⁾, Pai 등¹⁹⁾의 결과와 비교에서도 잘 일치하고 있어, 근접 치료의 정도 관리용으로 사용 가능하다고 판단된다. 다양한 분석을 위해 이온 검출기, 다이오드 검출기 및 필름 등을 이용한 선

량분석과 CT 스캔을 통한 등 선량곡선 비교 분석 등이 요구된다. 다목적 근접치료용 팬텀을 이용한 선량분석은 생체 내 측정의 문제점인 반복측정의 오차를 줄일 수 있었고 A point 와 B point 그리고 방광의 관심 점에서 선량을 정확히 분석할 수 있었다.

따라서 자체 제작된 다목적 근접치료용 팬텀은 근접치료용 정도관리 도구로서 매우 유용하다고 판단되고 또한 팬텀에서 측정된 데이터를 이용하여 치료 전 선량 최적화를 이루어 조사한다면 주요장기에 조사선량을 최소화할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Crook JM, Esche BA, Chaplain G, Iose I, Sentenac I, Horiot JC: Dose-Volume analysis and the prevention of radiation sequelae in cervical cancer. *Radiotherapy Oncology* 1987;8: 321-332
2. Roeske JC, Mundt AJ, Halpern H, et al.: Late rectal sequelae following definitive radiation therapy for carcinoma of the uterine cervix: a dosimetric analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;37:351-358
3. Clark BG, Souhami L, Roman TN, Evans MDC, Pla C: Rectal complications in patients with carcinoma of the cervix treated with concomitant cisplatin and external beam irradiation with high dose rate brachytherapy: a dosimetric analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;28:1243-1250
4. Shin KH, Huh SJ, Chie EK, et al.: Analysis of correlation between rectal complications and rectal dose following high dose rate intracavitary radiotherapy in patients with uterine cervix cancer: in vivo dosimetric analysis. *Radiation Medicine* 1999;17:289-293
5. Eng TY, Fuller CD, Cavanaugh SX, Blough MM, Sadeghi A, Herman T: Significant rectal and bladder dose reduction via utilization of foley balloon catheters in high-dose-rate tandem and ovoid intracavitary brachytherapy of the uterine cervix. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004;59:174-178
6. Saarnak AE, Boersma M, Bunningen BNF, Wolterink R, Steggerda MJ: Inter-observer variation in delineation of bladder and rectum contours for brachytherapy of cervical cancer. *Radiotherapy and Oncology* 2000;56:37-38
7. Hellebust TP, Dale E, Skjonsberg A, Olsen DR: Inter fraction variations in rectum and bladder volumes and dose distributions during high dose rate brachytherapy treatment of the uterine cervix investigated by repetitive CT-examinations. *Radiothe Oncol* 2001;60:273-280
8. Pelloski CE, Palmer M, Chronowski GM, Jhingran A, Horton J, Eifel PJ: Comparison between CT-based volumetric calculations and ICRU reference-point estimates of radiation dose delivered to bladder and rectum during intracavitary radiotherapy for cervical cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:131-137
9. Gerstner NW, Wachter S, Reinstadler E, et al.: Bladder and rectum dose defined from MRI base treatment planning for cervix cancer brachytherapy: comparison of dose-volume histograms for organ contours and organ wall, comparison with ICRU rectum and bladder reference point. *Radiothe Oncol* 2003;68:269-276
10. Cunningham DE, Stryker JA, Velkley DE, Chung CK: Routine clinical estimation of rectal, rectosigmoidal, and bladder dose from intracavitary brachytherapy in the treatment of carcinoma of the cervix. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1981;7:653-660
11. Kessarri N, Nori D: Rectal thermoluminescent dosimeter measurements using the microSelectron high dose rate afterloader in postoperative intravaginal radiation case. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;26:341-345
12. Alecu R, Alecu M: In-vivo rectal dose measurements with diodes to avoid misadministrations during intracavitary high dose rate brachytherapy for carcinoma of the cervix. *Med Phys* 1999;26:768-770
13. Chung EJ, Lee SH: Comparison between the calculated and measured dose in the rectum during high dose rate brachytherapy for uterine cervical carcinomas. *J Korean Soc Ther Radiol* 2002;20:396-404
14. Ogino I, Kitamura T, Okamoto N et, al.: Late rectal complication following high dose rate intracavitary brachytherapy in cancer of the cervix. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;32: 725-734
15. ICRU. Report 38: Dose and volume specification for reporting intracavitary therapy in gynecology. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, USA, 1985
16. Scalchi P, Francescon P: Calibration of a MOSFET detection system for 6-MV in vivo dosimetry. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;40:987-993
17. Sanini AS, Zhu TC: Temperature dependence of commercially available diode detectors. *Med Phys* 2002;29:622-630
18. Waldhäusl C, Wambersie A, Pötter R, Georg D: In-vivo dosimetry for gynecological brachytherapy: physical and clinical considerations. *Radiothe Oncol Article* (in press) 2005:1-8
19. Pai S, Reinstein LE, Gluckman G, Xu Z, Weiss T: The use of improved radiochromic film for in vivo quality assurance of high dose rate brachytherapy. *Med Phys* 1998;25:1217-1221

Abstract

Effectiveness of a Custom-made Multi Purpose Brachytherapy Phantom

In Gi Jang, Jin Joung Lee, Wan Sun Kim

Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University, Incheon, Korea

Purpose: To measure the dose for dose optimization at the reference point (A, B) and the critical organ with multi purpose brachytherapy phantom (MPBP). For this work the MPBP was custom made, and designed to reconstruct the treatment applicator using multi function applicator (MFA) in the same way as the treatment of patient.

Materials and Methods: Dose measurements were made at the reference points (A, B) and the bladder with thermoluminescence dosimeter (TLD) for four patients with tandem and ovoid of uterine cervix cancer using the phantom. In Phantom, Total 20 times of the measurements were made with 5 times a patient.

Results: The results of TLD measurements in MPBP phantom showed the relative error ranging from -3.2% to 3.8% at A point, and -1.4% to 4% at B point and 1.3% to 7.15% at the bladder of reference point.

Conclusion: The reproducibility of dose measurement under the same condition as the treatment could be achieved using the custom-made MFA in phantom and the dose at the reference point (A, B) and bladder could be analyzed accurately. The measured dose acquired in MPBP can apply for the dose optimization.

Key words: brachytherapy phantom, purpose brachytherapy phantom, multi function applicator, thermoluminescence dosimeter