

자궁경부암용 팬텀을 이용한 HDR (High dose rate) 근접치료의 선량 평가

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실*, 가톨릭대학교 강남성모병원 치료방사선과†

장지나* · 서태석* · 허순녕* · 김희남† · 윤세철† · 최보영* · 이형구*

HDR (High dose rate) 근접 치료는 기존의 LDR (Low dose rate) 근접 치료에서 야기되었던 치료 시간이나 선량 최적화 등의 문제점을 해결하였기 때문에 자궁경부암 치료에 많이 사용되고 있다. 그러나, 단 시간에 고선량이 조사되는 HDR 근접치료에서 치료 효과를 극대화시키기 위해서는 선량 계산 알고리즘, 위치 계산 알고리즘, 최적화 알고리즘이 정확하게 검증되어야 한다. 이를 위해서는 인체 등가 팬텀과 치료 계획 컴퓨터의 선량 분포 곡선을 비교함으로써 검증할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 검증이 가능하도록 자궁경부암용 팬텀을 설계, 제작하여 HDR 치료 계획 컴퓨터와 팬텀과의 선량을 비교, 평가하는 것이다. 이 자궁경부암용 팬텀은 높은 해상도를 가진 선량 측정기를 사용하여 정량적인 평가가 가능하도록 제작되었고, 인체 등가물질인 물과 아크릴을 사용하여 제작하였다. 또한, 팬텀 내의 방사선량 측정을 위해서 1/8 인치 TLD (Thermoluminescent dosimeters) 칩과 공간 해상도가 1 mm 이내인 필름을 사용하였다. 이 자궁경부암용 팬텀은 HDR applicator의 고정을 위해 applicator 홀더의 홈 안에 HDR applicator가 삽입되게 제작하였고 세 개의 TLD 홀더에는 TLD 칩(TLD 간의 거리는 5 mm)이 정렬되게 제작하여 A점이나 B점 같은 특정 점의 절대 선량을 측정할 수 있게 제작하였다. 필름은 3개의 직교(orthogonal) 평면에 삽입되도록 제작하여 상대 선량 측정이 가능하게 하였다. 사용된 치료 계획 시스템은 Nucletron Plato system이고, Microselectron Ir-192 소스를 사용하였다. 선량 평가 결과, TLD 선량의 경우 A, B point를 포함하여 직장과 방광 선량이 $\pm 4\%$ 이내로 치료계획 컴퓨터(Plato, Nucletron)와 일치하였고, 필름의 경우 선량 분포 곡선이 치료계획 컴퓨터의 선량 분포 곡선 패턴과 거의 일치하는 우수한 결과를 보였다. 제작된 자궁경부암용 팬텀은 HDR 치료 계획 컴퓨터의 선량 계산 알고리즘의 평가 및 검증에 유용하게 사용될 것이고, 이 팬텀은 강남성모병원 치료방사선과 HDR 근접치료 기기의 선량과 위치 확인의 QA(quality assurance) 도구로써 사용하려고 추진 중에 있다.

중심단어 : HDR 근접치료, 자궁경부암용 팬텀, TLD, 필름 선량 측정

서 론

HDR (High dose rate) 근접치료는 사용하기 쉽고 치료 시간이 짧으며, 임상적인 효과가 크기 때문에 자궁 경부암 치료에 많이 사용되고 있다. 특히 HDR 근접치료에서는 선량 최적화 분포를 다양한 종양의 모양에 따라 적용할 수 있기 때문에 치료 효과가 크다는 장점이 있다.¹⁾ HDR 근접 치료에서 치료를 위한 선량 최적화 분포는 치료 계획 컴퓨터에

서 자동적으로 얻어진다. 그러나 치료 계획 컴퓨터에서 선량 최적화 분포는 물리적 요인, 방사선 파라미터, 최적화 알고리즘 같은 여러 요인들에 의해 결정된다.²⁾ 이처럼, 선량 최적화 분포가 여러 요인들과 연관되어 있으므로 치료 계획 컴퓨터에서의 치료 계획 영상이나 선량 전달 등이 계획한 것과 맞지 않을 수 있다. 또한, HDR 근접 치료는 단 시간에 고선량이 조사되므로 정확한 검증 과정이 필요하다.³⁾ 그래서, 치료 계획 컴퓨터와 팬텀에서 직접 측정된 선량값의 비교를 통해 정확한 선량 분포를 측정해야 할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 절대 선량과 상대 선량 분포를 측정할 수 있는 새로운 자궁경부암용 팬텀의 설계, 제작하여 HDR 치료계획 시스템과 팬텀과의 선량을 비교, 평가하고자 한다.

이 논문은 2003년 1월 24일 접수하여, 2003년 2월 17일 채택됨.
본 연구는 과학기술부 원자력 중장기 사업의 근접치료 검증을 위한 팬텀 제작 및 임상적용 과제 연구비 보조로 수행되었음.

책임저자 : 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505
가톨릭대학교 의과대학 의공학교실
Tel : 02)590-2414, Fax : 02)532-1779
E-mail : suhsanta@catholic.ac.kr

재료 및 방법

1. 제작 시 고려사항

제작한 자궁경부암용 팬텀은 실제 자궁경부암 환자의 임상적인 구조를 모사하여 설계하였다. 일반적으로 자궁경부암 치료시에는 HDR 근접치료 기기의 standard applicator (Fig. 1)가 많이 사용된다. 그리고, 치료 시간을 결정하는 A 점과 B점(Fig. 2)의 선량이 중요한 요소로 평가되며, 중앙 치료 범위를 결정하기 위한 선량 분포 또한 중요한 파라미터이다. 또한, 자궁경부암 치료에서의 중요 장기인 방광과 직장의 선량 역시 고려되어야 한다.⁴⁾ 제작된 팬텀에서는 A 점과 B 점의 선량, 깊이에 따른 방광과 직장의 선량 측정이 가능하도록 제작되었다. 방광과 직장의 위치(Fig. 3)는 사람마다 차이점을 고려하여 평균적인 위치를 지정하였다.

제작된 자궁경부암용 팬텀은 절대 선량과 상대 선량을 모두 측정할수 있게 제작되었다. 이 팬텀에서는 절대 선량 측

정을 위해서 보정된 TLD (Thermoluminescent dosimeters) 를 사용하고, 상대 선량 측정을 위해 3개의 직교 평면에서 필름이 사용 가능하도록 제작하였다. 그리고, 정확한 선량 계산을 위해서 인체 등가 물질인 물과 아크릴 판을 사용하여 제작하였다. 밀도 1.14 인 아크릴 판은 TLD chips와 필름, 그리고 HDR applicator를 고정시키기 위해 사용되었다. 자궁경부암 선량 측정 실험에 사용될 필름은 Kodak X-Omat (Kodak, USA)이다.

2. 팬텀의 구조

자궁경부암용 팬텀은 Fig. 4와 같이 크게 다섯 부분으로 구성되어 있다. 그 구성은 applicator 홀더, top과 bottom applicator 홀더 지지대 그리고 두 개의 필름 홀더이다. 팬텀의 가로, 세로, 높이는 각각 20×30×20 cm이고, 사용된 아크릴 판의 두께는 0.8 cm이다. Applicator 홀더는 4개의 아크릴 판으로 구성되어 있고, 4개의 아크릴 판의 홈 안으로 HDR applicator가 삽입되도록 제작하였기 때문에 applicator를 단단하게 고정시킬 수 있다. 제작된 Applicator 홀더의 가로, 세로, 높이는 각각 4×30×4 cm 이다.

Top과 bottom applicator 홀더 지지대에는 3개의 TLD 홀더(Fig. 5)가 삽입되며 자궁경부암 환자의 방광과 직장 부분을 모사하고 있다. 이 3개의 TLD 홀더는 A 점과 B점, 깊이에 따른 방광과 직장의 절대 선량 측정을 위해 제작되었다.

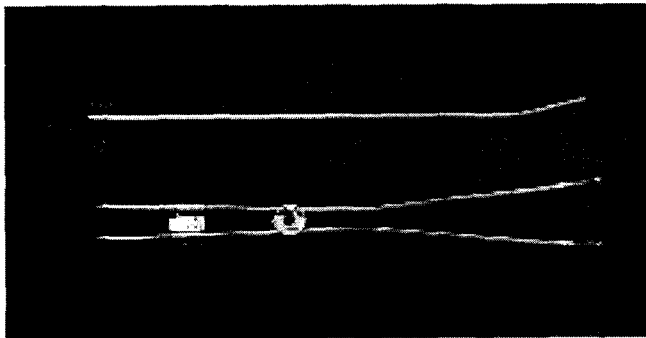


Fig. 1. Standard HDR applicator.

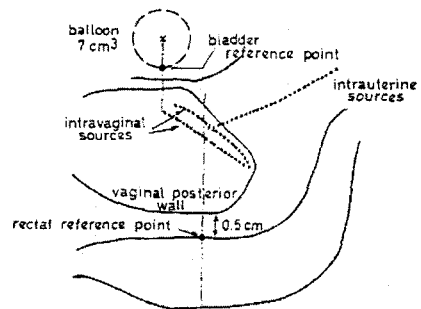


Fig. 3. Determination of the points: Point of bladder and rectum point⁴⁾.

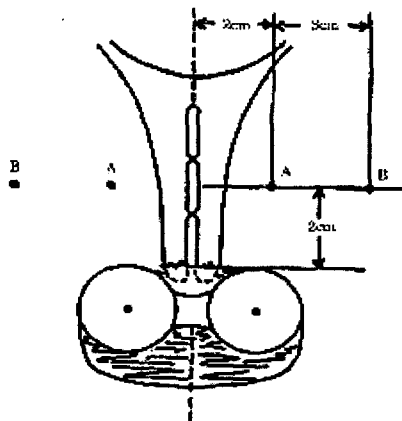


Fig. 2. Manchester system. Determination of the points: A and B point⁴⁾.

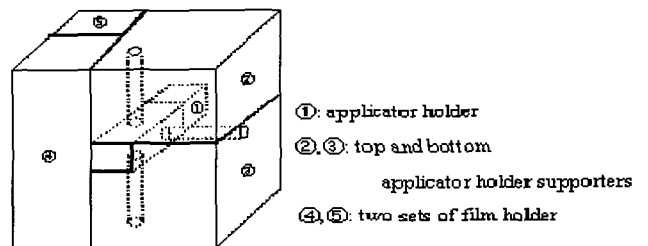


Fig. 4. Overall diagram of the pelvic phantom.

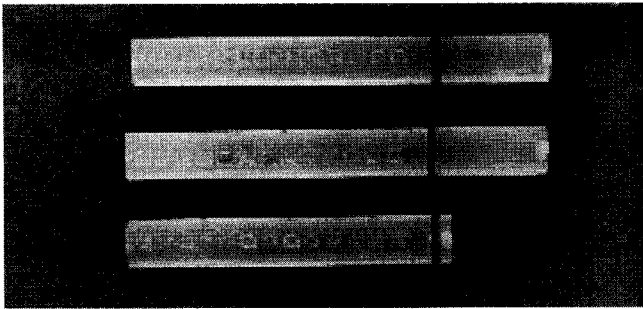


Fig. 5. TLD holders of TLD chips for dose measurement and lead ball.

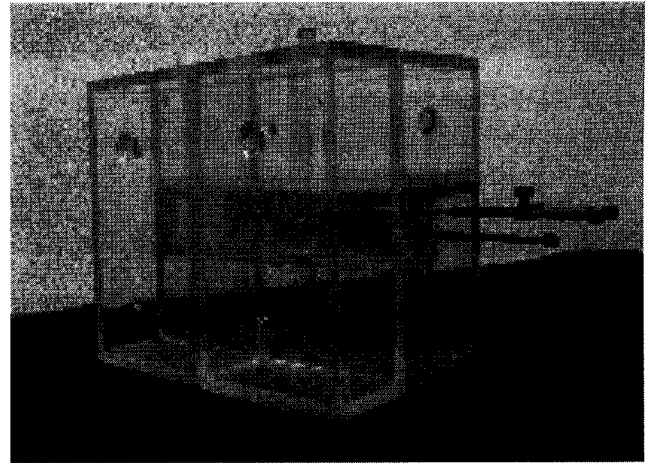


Fig. 7. Pelvic phantom of side view.

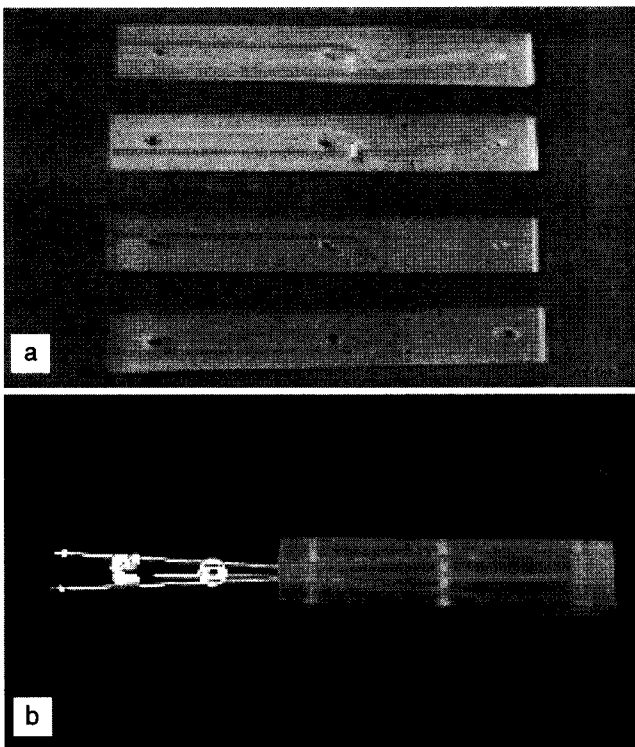


Fig. 6. HDR applicator holder (a), (b). (a) Sectional view of the applicator holder, (b) HDR applicator in the applicator holder

이 TLD 홀더에는 TLD 칩과 위치 확인을 위한 납 볼이 삽입될 수 있는 공간이 있고, 팬텀 내부에도 상대적인 납볼의 위치의 확인을 위한 절대 좌표가 포함되어 있다. TLD 홀더의 TLD 칩과 납볼의 삽입을 위한 공간은 가로, 세로 1/8 인치이고 깊이는 1 mm이며 각각 중심으로부터 5 mm씩 떨어져 있다. 또한 이 팬텀은 필름을 이용하여 얻을 수 있는 상대 선량 측정을 위해서 필름을 넣을 수 있는 sagittal, axial, transverse 평면, 이렇게 3개의 직교 평면을 가지고 있다. Fig. 7은 실제 제작된 자궁경부암용 팬텀의 모습을 보여주고

있다.

Applicator 홀더(Fig. 6. (a),(b))의 가로와 높이가 각각 4 cm이므로 applicator 중심에서부터 팬텀의 sagittal 평면까지는 2 cm가 된다. 그러므로 팬텀의 sagittal 평면은 A점의 선량 분포 측정이 가능하고 axial 평면에서는 A와 B점의 선량 분포 측정이 가능하다. Transverse 평면은 HDR applicator 주위의 선량 분포를 측정하기 위해서 제작하였다.

3. 실험방법

제작된 자궁경부암용 팬텀을 이용한 선량 평가는 TLD와 필름을 이용해서 측정된 선량 값과 치료 계획 컴퓨터에서의 선량 값을 비교함으로써 검증할 수 있다. 사용된 치료 계획 시스템은 Nucletron Plato system이고, Microselectron Ir-192 소스를 사용하였다. 실험에 사용된 측정기는 calibration 데이터를 활용하여 보정하였다. 본 실험에서는 절대 선량 측정을 위해 TLD를 사용하였고 상대 선량 측정을 위해 필름을 사용하였다.

실험 계획 과정은 다음과 같다. 우선 팬텀은 C-arm (Model KXO-15E, TOSHIBA) 기기에 놓여지고 위치 확인을 위한 목적으로 Image 증감기에는 grid 판이 놓여진다. 그러면 applicator 홀더에 삽입된 applicator와 dummy 소스의 AP와 lateral 필름을 얻을 수 있게 된다. 이 두 개의 필름은 치료 계획 컴퓨터에 등록되어 위치에 따른 선량을 계산하게 된다.⁵⁾

실제 실험을 위해 TLD 삽입 간격의 거리가 5 mm인 3개의 TLD 홀더 안에 TLD 칩을 정렬시키고 3개의 직교 평면에 필름을 삽입한 후 방사선을 조사한다. 치료 선량은 A point에 500 cGy를 조사하였다. TLD 칩은 TLD reader

장지나 외 6인 : 자궁경부암용 팬텀을 이용한 HDR (High dose rate) 근접치료의 선량 평가

(Model 5500, HARSHAW)를 이용해 실험 과정에서 흡수된 선량을 측정한다. 이렇게 얻어진 팬텀의 선량 값으로 치료 계획 컴퓨터와의 비교와 평가를 할 수 있게 된다.

결 과

자궁경부암용 팬텀을 이용한 치료 계획 컴퓨터의 치료 계획 결과는 Table 1과 같다. A point에 500 cGy를 조사한 치료 계획의 TLD 선량 평가 결과의 경우 A, B point를 포함하여 직장과 방광 선량이 $\pm 4\%$ 이내로 치료계획 컴퓨터와 일치하는 우수한 결과를 보여주고 있다(Table 2).

또한, TLD 홀더의 TLD 칩이 5 mm 간격으로 삽입되어 특정 포인트를 포함한 라인의 선량 기울기 정보도 관찰할 수 있었다(Table 3). 이 선량 평가 결과로 A, B point를 포함하는 선량 라인의 기울기 정도를 알 수 있었고, 깊이에 따른 bladder point와 rectum point의 선량을 분석 할 수 있었다.

제작된 자궁경부암용을 이용한 선량 평가는 TLD를 이용한 절대 선량 분석의 경우, 오차 범위 $\pm 4\%$ 이내의 좋은 결과를 얻었다. 이 $\pm 4\%$ 의 오차는 아크릴의 밀도와 TLD calibration 오차, TLD reader의 PM (photomultiplier) tube

의 상태 등으로 인하여 발생한 것으로 예상된다. 팬텀은 인체 등가 물질인 아크릴과 물을 이용하여 제작하였고, TLD의 정확한 선량 측정을 위한 3개의 아크릴 봉과 HDR applicator의 고정을 위한 applicator 홀더로 인해 반복적인 실험에도 정확한 결과와 비교적 적은 표준 편차를 보여주었다.

결 론

HDR 근접치료는 LDR (Low dose rate) 근접 치료와는 달리 단 시간에 고 선량이 조사되므로 치료 계획 컴퓨터의 정확한 검증 과정이 더욱 중요해졌다. 우리는 자체 제작한 자궁경부암용 팬텀을 이용한 선량 분석 결과로부터 HDR 근접 치료 기기의 신뢰성을 직접 확인할 수 있었고 물과 아크릴을 사용한 비교적 간단하고 경제적인 방법으로 팬텀을 제작하여 쉽고 정확하게 선량을 확인할 수 있었다. 그러나, 현재 HDR 근접치료에서 Radiochromic 필름을 이용한 선량 평가 연구가 많이 이루어지고 있고,⁸⁻¹⁰⁾ 그 결과 또한 신뢰할 만하기 때문에 차후에 Radiochromic 필름을 이용한 실험을 계획 중에 있다. 이 자궁경부암 팬텀은 근접치료를 포함하여 관련 팬텀 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상되며, 현재 이 팬텀은 검증된 실험 결과를 바탕으로 강남성모병원 치료방사선과 HDR 근접치료 기기의 선량과 위치 확인의 QA (quality assurance) 도구로써 사용하려고 추진 중에 있다.

참 고 문 헌

1. AAPM TG No.59: High dose-rate brachytherapy treatment delivery. American Association of Physicist

Table 1. Description of Points by Planning System

Point	Dose (%)	Dose (cGy)	Description
1	100	500	A point
2	22.4	111.9	B point
3	222.2	1111.2	os
4	31.8	159.2	bladder
5	48.1	240.4	rectum

Table 2. TLD Response

Description	Planning system (cGy)	TLD Response (cGy)		Difference (%)	Standard dev. (%)
			mean		
A point	500		507.4	1.48	2.94
B point	111.9		115.2	2.95	3.10
Os	1111		1113	0.18	1.63
Bladder	159.2		155.9	2.07	3.26
Rectum	240.4		249.4	3.74	3.29

Table 3. TLD Responses in TLD Holders

OS로부터의 거리(cm)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
TLD holder 1 (cGy), mean (A, B point)	507.4	344.6	257.0	190.8	142.9	126.2	115.2	96.31	80.58
TLD holder 2 (cGy), mean (Bladder)	200.6	155.9	121.1	98.18					
TLD holder 3 (cGy), mean (Rectum)	331.9	249.4	200.5	154.6	118.8				

- in Medicine (1998)
2. 장홍석, 서태석, 윤세철, 유미령, 박용휘, 신경섭: 자궁강내 근접방사선조사시 인체조직등가 팬텀을 이용한 방사선량 측정. 의학물리 20:45-52 (1995)
 3. Li Z, Mitchell TP, Palta JR et al.: A quality assurance test tool for high dose-rate remote afterloading brachytherapy unit. Med Phys 25(2):232-235 (1998)
 4. ICRU Report 38: Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology 1985
 5. Siddon RL and Chin LM: Two-film brachytherapy reconstruction algorithm. Med Phys 12:77-82 (1985)
 6. Schumer W, Fernando W, Carolan M, et al: Verification of brachytherapy dosimetry with radiochromic film. Medical dosimetry 24(3): 197-203 (1999)
 7. Zhu Y, Mishra V, Meigooni AS, Williamson JF: Quantitative evaluation of Radiochromic film response for two-dimensional dosimetry. Med Phys 24(2):223-231 (1997)
 8. Muench PJ, Meigooni AS, Nath R: Photon energy dependence of the sensitivity of radiochromic film and comparison with silver halide film and LiF TLDs used for brachytherapy. Med Phys 18:769-775 (1991)

Dose Verification Using Pelvic Phantom in High Dose Rate (HDR) Brachytherapy

Ji-Na Chang*, Tae-Suk Suh*, Soon-Nyung Huh*, Hoi-Nam Kim[†],
Sei-Chul Yoon[†], Hyung-Koo Lee*, Bo-Young Choe*

**Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Catholic University, Seoul, Korea*

[†]Department of Radiation Oncology, Kangnam St.Marys Hospital, Seoul, Korea

High dose rate (HDR) brachytherapy for treating a cervix carcinoma has become popular, because it eliminates many of the problems associated with conventional brachytherapy. In order to improve the clinical effectiveness with HDR brachytherapy, a dose calculation algorithm, optimization procedures, and image registrations need to be verified by comparing the dose distributions from a planning computer and those from a phantom. In this study, the phantom was fabricated in order to verify the absolute doses and the relative dose distributions. The measured doses from the phantom were then compared with the treatment planning system for the dose verification. The phantom needs to be designed such that the dose distributions can be quantitatively evaluated by utilizing the dosimeters with a high spatial resolution. Therefore, the small size of the thermoluminescent dosimeter (TLD) chips with a dimension of 1/8" and film dosimetry with a spatial resolution of <1mm used to measure the radiation dosages in the phantom. The phantom called a pelvic phantom was made from water and the tissue-equivalent acrylic plates. In order to firmly hold the HDR applicators in the water phantom, the applicators were inserted into the grooves of the applicator holder. The dose distributions around the applicators, such as Point A and B, were measured by placing a series of TLD chips (TLD-to-TLD distance: 5mm) in the three TLD holders, and placing three verification films in the orthogonal planes. This study used a Nucletron Plato treatment planning system and a Microselectron Ir-192 source unit. The results showed good agreement between the treatment plan and measurement. The comparisons of the absolute dose showed agreement within $\pm 4.0\%$ of the dose at point A and B, and the bladder and rectum point. In addition, the relative dose distributions by film dosimetry and those calculated by the planning computer show good agreement. This pelvic phantom could be a useful to verify the dose calculation algorithm and the accuracy of the image localization algorithm in the high dose rate (HDR) planning computer. The dose verification with film dosimetry and TLD as quality assurance (QA) tools are currently being undertaken in the Catholic University, Seoul, Korea.

Key Words : HDR brachytherapy, A pelvic phantom, TLD, Film dosimetry