

전립선암의 세기조절 방사선치료 시 불균질부에 의한 선량변화에 관한 고찰

서울대학교병원 방사선종양학과

윤일규 · 박장필 · 이제희 · 박흥득

목 적: 본원에서 시행하고 있는 전립선암의 세기조절 방사선치료시 직장 내에 존재하는 불균질부에 의한 선량변화를 전산화 치료계획 선량과 자체 제작한 전립선암 환자형 골반 팬텀을 이용하여 측정된 선량을 비교하고자 한다.

대상 및 방법: 전립선암 환자형 골반 팬텀(타원형의 물 팬텀: 30×20×20 cm³, 방광, 직장, 정낭을 묘사하는 팬텀)을 제작하였으며, 전산화단층촬영으로 3차원 영상을 획득하였다. 전산화치료계획장치(ECLIPSE, Varian, USA), 6 MV X선(Clinac 6EX, Varian, USA)을 이용하여 세기조절 방사선치료계획을 수립한 후, 전립선암 환자형 골반 팬텀을 이용하여 직장벽, 방광벽, 정낭 부위에 TLD를 삽입하고, 전산화치료계획 선량과 비교하였다.

결 과: 전산화치료계획에 의한 선량은 직장벽 100%, 방광벽 52%, 우측 정낭 86%, 좌측 정낭 87%, 표면 18%였으나, TLD로 측정 한 선량은 직장벽 89%, 방광벽 54%, 우측 정낭 85%, 좌측 정낭 84%, 표면 17%로 측정되었다. 직장벽은 11%, 방광벽은 2%, 우측 정낭은 1%, 좌측 정낭 3%, 표면 1%의 선량차이를 확인하였다.

결 론: 본원에서 개발한 전립선암 환자형 골반 팬텀으로 전산화치료계획에서 구현하는 불균질부 선량계산의 오차를 확인할 수 있었으며, 다양한 선량 측정 장치(TLD, film)를 이용하여 쉽고 간편하게 선량 검증을 할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어: 전립선암, 골반팬텀, 불균질부, 열형광선량계

서 론

세기조절 방사선치료계획은 종양의 불규칙한 형태에 따라 방사선이 조사됨으로써 정상조직에는 최소의 선량, 종양조직에 최대선량을 가장 훌륭히 구현할 수 있어, 국내 대부분의 병원에서 시행되고 있다. 특히 방사선 치료 대상 병소 중 전립선암은 3차원치료계획과 비교하여 세기조절 치료계획시 중요한 건강장기인 직장벽의 보호가 탁월하며, 고선량을 병소에만 집중하여 조사할 수 있다. 따라서 전립선암의 방사선 치료 시 세기조절 방사선치료계획은 필수적이라 할 수 있다.^{1,2)}

전립선암의 치료계획은 불균질한 조직(연부조직, 뼈, 직장 내 공기)들이 존재하여 전산화치료계획 시스템의 알고리즘이 정확해야하며, 최적의 치료계획을 환자에게 적용하면서 필수적으로 정도관리를 시행하여야 한다.^{3,4)}

세기조절 방사선치료계획의 정도관리는 치료계획 선량분포와 실제 치료시의 선량분포를 확인하기 위하여 이온전리함과 필름을 사용하고 있으며, 다수의 지점을 측정하는 경우 열형광선량계(이하 TLD)를 사용하고 있다.^{5,6)} 그러나, TLD

는 준비과정과 조사 후 결과 data를 얻는 시간이 많이 걸리는 단점이 있으며, 선량검증의 불확실도의 오차범위가 이온전리함, 필름과 비교하여 큰 이유로 절대선량 검증에는 비효율적인 측면이 있다. 하지만 TLD의 선량검증 오차를 줄인 상태를 계속적으로 유지한다면, 동시에 많은 선량 지점을 측정하여 선량 결과를 분석할 수 있는 장점이 있어 정도관리에 사용할 수 있다.

이에 본 연구에서는, 본원에서 시행하고 있는 전립선암의 세기조절 방사선치료 시 종양부위와 직장 내에 존재하는 불균질부에 의한 선량변화를 전산화치료계획 선량과 자체 제작한 전립선암 환자형 골반 팬텀을 이용하여 TLD로 측정된 선량을 비교 분석하고 팬텀의 다용성을 보고하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상 및 장비

1) 대상

본 실험을 위하여 전립선암 환자형 골반 팬텀을 제작하였다(Fig. 1, 2). 타원형의 물 팬텀이며, 크기는 30×20×20 cm³ 이고, 방광, 직장, 정낭을 묘사하는 팬텀으로 구성되어 있다(Fig. 3). 방광의 재질은 5 mm 두께의 아크릴 안에 물을 채

이 논문은 2007년 4월 8일 접수하여 2007년 7월 10일 채택되었음.
책임저자 : 윤일규, 서울대학교병원 방사선종양학과
Tel: 02)2072-0636, Fax: 02)741-4755
E-mail: ilkyu1004@naver.com

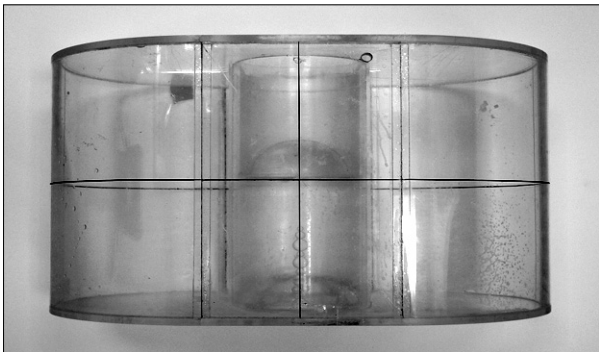


Fig. 1. Pelvic phantom.

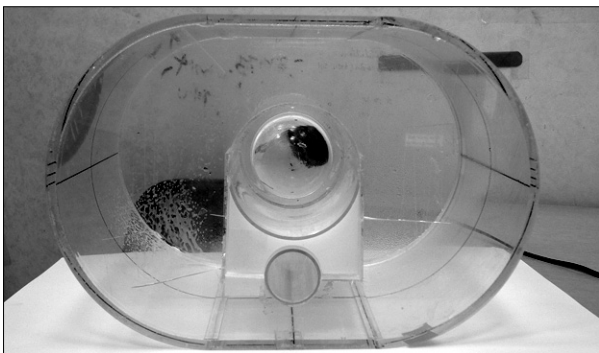


Fig. 2. Pelvic phantom.

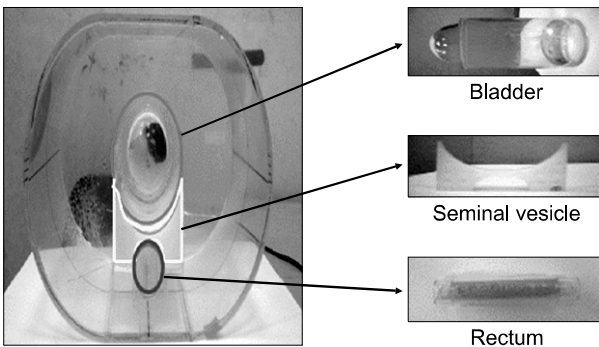


Fig. 3. Pelvic phantom.

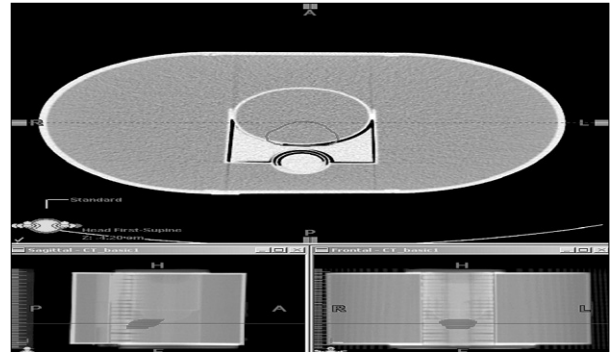


Fig. 4. Contouring of prostate.

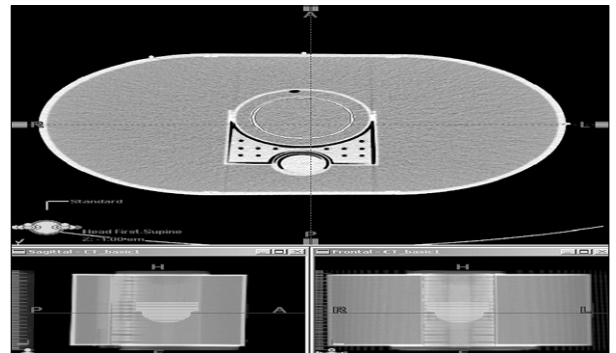


Fig. 5. Contouring of bladder.

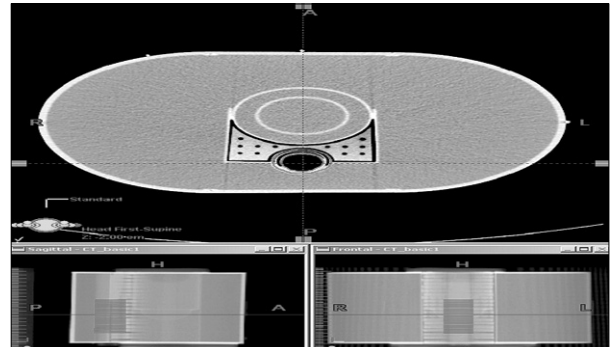


Fig. 6. Contouring of rectum wall.

웠고, 정낭은 1 cm 두께의 아크릴 안에 작은 구멍을 여러 개 홈을 내었으며, 직장은 3 cm 두께의 플라스틱 파이프 형태로 안쪽에 TLD 혹은 필름을 삽입할 수 있도록 제작하였다.

2) 장비

제작된 팬텀을 이용하여 전산화단층촬영(Brilliance Big Bore, Philips)으로 3차원 영상을 획득하였고, 획득한 3차원 영상에 전립선, 방광벽, 직장벽, 정낭의 윤곽을 그려 넣은

(Fig. 4~7) 후, 전산화치료계획장치(ECLIPSE, Varian, USA)로 6 MV X선(Clinac 6EX, Varian, USA)을 이용하여 세기조절 방사선치료계획을 수립하였다.

2. 측정방법

전립선암 환자형 골반 팬텀을 이용하여 정낭(고선량 부위), 직장벽(고선량 변화 부위), 방광벽(중선량 부위), 표면

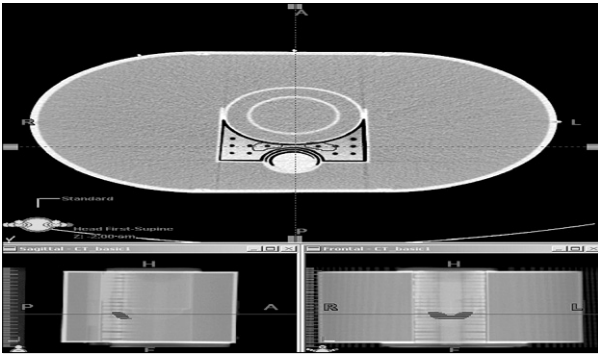


Fig. 7. Contouring of seminal vesicle.

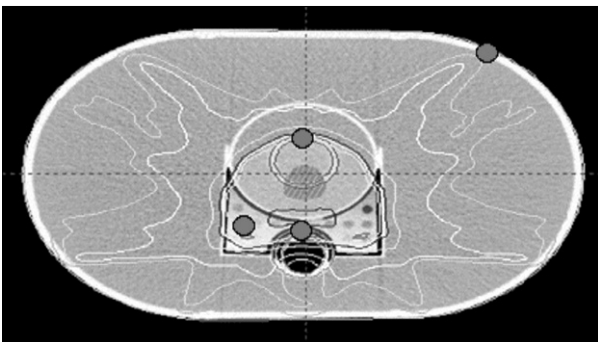


Fig. 8. TLD position within pelvic phantom.

(저선량 부위)에 TLD (4,000, Harshaw, Solon Technologies Inc., USA)를 부착하였다(Fig. 8). 일일종양선량은 180 cGy로 계획 하였으며, 6 MV X선으로 3회 조사한 측정값을 전산화 치료계획 선량과 비교 분석 하였다. TLD 선량 값은 3회 측정치의 평균값을 표시하였고, 각 부위의 측정값을 180 cGy를 100%로 기준으로 상대적인 비율 값으로 나타내었다.

결 과

1. 팬텀을 이용한 치료계획의 검, 교정

1) 정낭(고선량 부위)

고선량 부위에 위치하는 정낭에서는 전산화치료계획 선량이 우측 정낭이 86%, 좌측 정낭 87%였으나, TLD로 측정 한 선량은 우측 정낭 85%, 좌측 정낭 84%로 측정되어 1~3%의 선량차이를 확인하였다(Table 1).

2) 방광벽(중선량 부위)

중선량 부위에 위치하는 방광에서는 전산화치료계획 선량이 52%, TLD로 측정 한 선량은 54%로 측정되어 2%의 선량 차이를 확인하였다(Table 2).

Table 1. TLD and RTP dose of seminal vesicle

| Region | TLD dose | RTP dose | Error (% , mm) |
|----------------------|----------|----------|----------------|
| Seminal vesicle (Rt) | 85% | 86% | 1% |
| Seminal vesicle (Lt) | 84% | 87% | 3% |

Table 2. TLD and RTP dose of bladder wall

| Region | TLD dose | RTP dose | Error (% , mm) |
|--------------|----------|----------|----------------|
| Bladder wall | 54% | 52% | 2% |

Table 3. TLD and RTP dose of surface

| Region | TLD dose | RTP dose | Error (% , mm) |
|---------|----------|----------|----------------|
| Surface | 17% | 18% | 1% |

Table 4. TLD and RTP dose of rectum-wall

| Region | TLD dose | RTP dose | Error (% , mm) |
|-------------|----------|----------|----------------|
| Rectum wall | 89% | 100% | 11% |

3) 표면(저선량 부위)

저선량 부위에 위치하는 표면에서는 전산화치료계획 선량이 18%, TLD로 측정 한 선량은 17%로 측정되어 1%의 선량 차이를 확인하였다(Table 3).

TLD 측정 횟수가 3회로 비교적 정확한 값을 유추하기에는 횟수가 부족하지만, 고선량, 중선량, 저선량 부위인 정낭, 방광벽, 표면에서는 대체적으로 오차 범위안에 포함되는 선량 값을 확인하였다.

2. 불균질부 선량계산의 불확실성 확인

1) 직장벽(고선량 변화 부위)

고선량 변화 부위에 위치하는 직장벽은 전산화치료계획 선량이 100%, TLD로 측정 한 선량은 89%로 측정되어 11.0%의 선량차이를 확인하였다(Table 4). 이와 같은 선량차이는 직장벽이 조직과 공기사이의 중간 계면에 위치하고 있는 관계로 큰 밀도차이에 의한 선량계산 불확실도로 확인할 수 있다. 비슷한 예로 폐와 흉벽사이, 또는 상대 부위 등이 있으며, 임상적으로 중요 관점인 부분으로 정상 조직의 합병 가능성 (NTCP, normal tissue complication probability)으로도 평가 할 수 있다.

본원에서 보유하고 있는 전산화치료계획장치의 불균질부

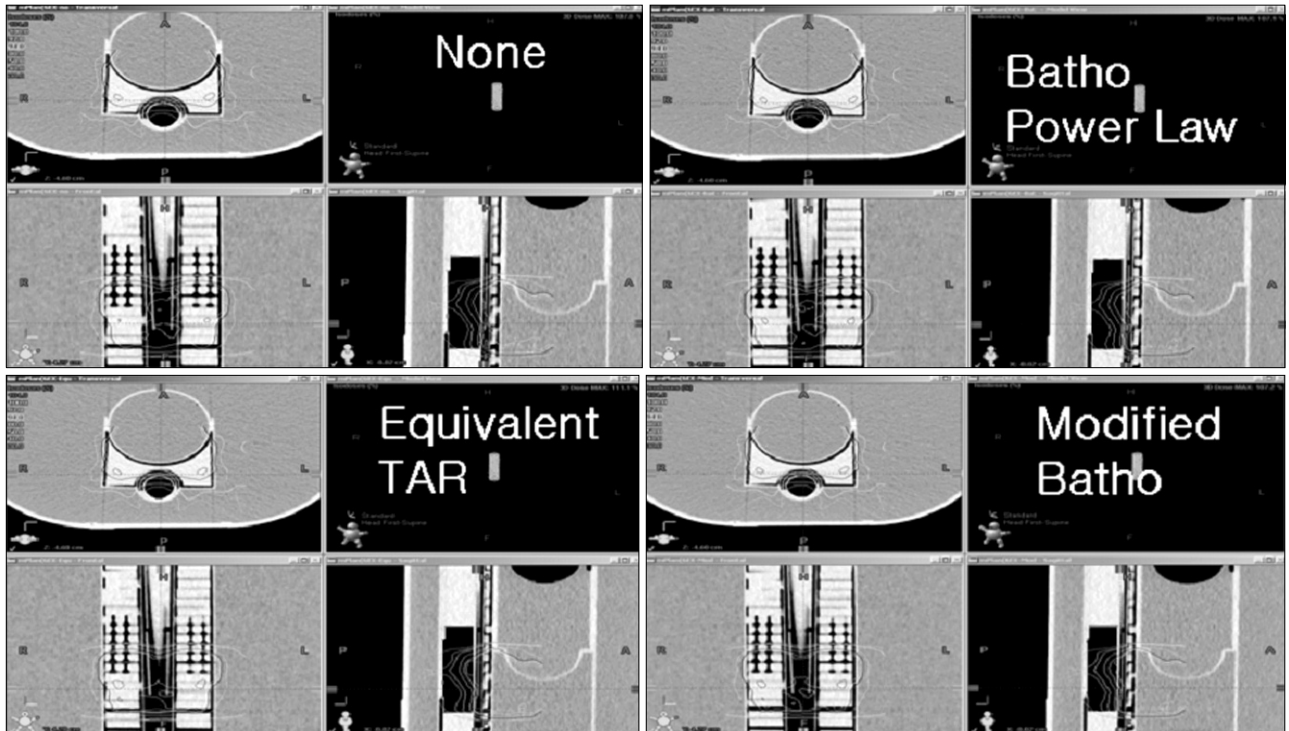


Fig. 9. Inhomogeneity correction of ECLIPSE RTP system.

알고리즘 별 계산을 나누어 비교하였지만, 큰 차이는 없는 것으로 확인되었으며(Fig. 9), 이는 전산화치료계획장치의 불균질부 선량계산의 불확실성을 확인하는 예가 될 것으로 사료된다.⁷⁾

보다 정확한 선량 값을 얻고자 한다면 Monte carlo와 같은 전산화치료계획장치를 사용하는 것을 권고하고자 한다.

고안 및 결론

방사선 치료는 환자를 치료촬영 과정에서부터 실제 치료를 하는 동안 정확한 환자의 자세를 재현하기 위하여 고정장치를 사용하고 있으며, 선량계산 또한 수차례의 검증을 통하여 확인을 하며, 실제 환자를 대신하여 여러 팬텀을 이용한 정도 관리를 시행하고 있다. 정도관리는 선량에 관련된 부분들과, 장비의 기계적인 부분, 환자와 관련된 안전장치 부분 등을 매일, 매주, 매달, 매년 시행하고 있으며, 환자를 치료하는 과정만큼 정도관리 또한 중요한 절차이기도 하다. 상용화 되어있는 시스템을 구입하여 정도관리에 사용을 하는 경우도 있지만, 자체 제작한 정도관리 시스템을 사용하는 경우도 있다. 자체 제작하는 경우 실제 사용자의 입장과 경험을 반영하여 보다 나은 시스템이 개발되기도 하고 있다. 본원에서 개발한 전립선암 환자형 골반 팬텀이 그러한 예인데,



Fig. 10. Computed tomography dose index phantom.

여러 개의 지점을 동시에 측정하여 정도관리에 이용을 하고 있는 장점뿐만이 아니라, 아래와 같이 방사선치료 전 과정에 다양한 용도로 사용할 수 있다.

1. 전립선암 환자용 골반 팬텀의 다용성

1) CT 선량 측정

CT 선량 측정은 CT 정도관리 항목 중의 하나로 AAPM TG-66⁸⁾에서 권고하는 팬텀(Computed Tomography Dose Index, 이하 CTDI) (Fig. 10)을 이용하여 CT 이온전리함으로

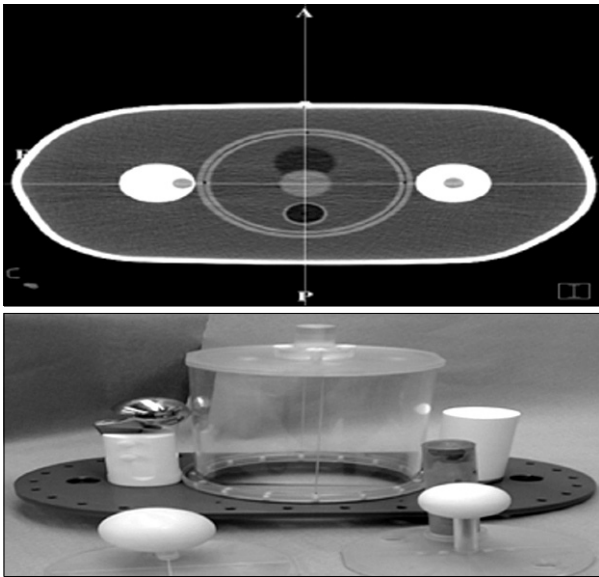


Fig. 11. Pelvic phantom of MD anderson cancer center.

측정을 하고 있다. 이를 전립선암 환자용 골반 팬텀을 이용하여 TLD를 부착한 후 측정값을 비교한 결과, 표면에서는 2 cGy, 중심점에서는 1 cGy로 CTDI 팬텀을 이용한 측정값과 동일한 결과 치를 얻을 수 있었다. 비교적 고가인 CTDI 팬텀과 CT 이온전리함을 대신하여 사용하여도 무관하다고 볼 수 있다.

2) CT setup, CT 영상 정도관리

전립선암 환자용 골반 팬텀 내에 격자 모양의 아크릴을 삽입하여 CT 촬영기의 laser와 기계적인 정확도를 확인할 수 있었으며, CT 촬영으로 얻은 영상을 이용하여 물에서의 Hounsfield Unit의 정확성(0 ± 5 HU)을 확인할 수 있었다.⁸⁾

3) 불균질 물질을 삽입한 팬텀

M.D. Anderson Cancer Center에서 사용하고 있는 골반팬텀(Fig. 11)은 팬텀내에 공기, 물, 아크릴, 티타늄(인공 고관절)을 삽입하여 세기조절방사선치료계획의 선량 값을 검증하고 있으며, 본원에서 제작한 전립선암 환자용 골반 팬텀 또한 비슷한 구조로 제작을 하여 정도관리에서 보다 정확한

선량검증 팬텀으로 이용하고 있다.

4) TLD 및 필름을 이용

팬텀내에 TLD를 여러 지점에 부착하여 동시에 측정을 할 수 있고, 필름 또한 팬텀내에 삽입하여 사용되며, 이온전리함과 비교하여 쉽고 간편하게 선량검증을 할 수 있다.

참고문헌

1. Ahamad A, D'Souza W, Salehpour M, et al.: Intensity modulated radiation therapy (IMRT) for post-hysterectomy pelvic radiation: selection of patients and planning target volume (PTV). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002;54:42
2. Zelefsky M, Leibel S, Gaudin P, et al.: Dose escalation with three-dimensional conformal radiation therapy affects the out-come in prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Phys* 1998; 41:491-500
3. Parker RP, Hobday PA, Cassell KJ: The direct use of CT number in radiotherapy dosage calculations for inhomogeneous media. *Phys Med Biol* 1979;24:802-809
4. Agazaryan N, Solberg TD, Demarco JJ: Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 2003;4:40-49
5. Van Esch A, Bohsung J, Sorvari P, et al.: Acceptance tests and quality control (QC) procedures for the clinical implementation of intensity modulated radiotherapy (IMRT) using inverse planning and the sliding window technique: experience from five radiotherapy departments. *Radiother Oncol* 2002;65: 53-70
6. Low DA, Mutic S, Dempsey JF, et al.: Quantitative dosimetric verification of an IMRT planning and delivery system. *Radiother Oncol* 1998;49:305-316
7. Greg W, Matthew T, David G: Dose calculation errors due to inaccurate representation of heterogeneity correction obtained from computerized tomography. *Med Dosimetry* 2002;27: 275-278
8. Mutic S, Palta J, Butker E, et al.: Quality assurance for computed tomography simulation and computed tomography simulation process: American Association of Physicist in Medicine, Radiation Therapy Committee task Group 66. *Med Phys* 2003;30:2762-2792

Abstract

The Investigation Regarding the Dose Change due to the Heterogeneity of Prostate Cancer Treatment with IMRT

Il Kyu Yoon, Jang Pil Park, Jae Hee Lee, Heung Deuk Park

Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: The pelvic phantom was fabricated in the following purposes: (1) Dose verification of IMRT plan using Eclipse planning computer, (2) to study the interface effect at the interface between rectal wall and air. The TLD can be inserted in the pelvic phantom to confirm the dose distribution as well as uncertainty at the interface.

Materials and Methods: A pelvic phantom with the dimension of 30 cm diameter, 20 cm height and 20 cm thickness was fabricated to investigate the dose at the rectal wall. The phantom was filled with water and has many features like bladder, rectum, and prostate and seminal vesicle (SV). The rectum is made of 3 cm-diameter plastic pipe, and it can be blocked by using a plug, and film can be inserted around the rectal wall. The phantom was scanned with Philips Brilliance scanner and various organs such as prostate, SV, and rectal wall, and bladder wall were delineated. The treatment parameters used in this study are the same as those used in the protocols in the SNUH. TLD chips are inserted to the phantom to evaluate the dose distribution to the rectal wall (to simulate high dose gradient region), bladder wall and SV (to simulate the high dose region) and 2 spots in anterior surface (to simulate the low dose region). The TLD readings are compared with those of the planning computer (ECLIPSE, Varian, USA).

Results: The target TLD doses represented as the prostate and SV show excellent agreements with the doses from the RTP within $\pm 3\%$. The rectal wall doses measured at the rectal wall are different from the those of the RTP by -11% . This is in literatures called as an interface effect. The underdosages at the rectal wall is independent of 3 heterogeneity correction algorithm in the Eclipse RTP. Also the low dose regions represented as surface in this study were within $\pm 1\%$.

Conclusion: The RTP estimate the dosage very accurately within $\pm 3\%$ in the high dose (SV, or prostate) and low dose region (surface). However, the dosage at the rectal wall differed by as much as 11% (In literatures, the underdosage of 9~15% were reported). This range of errors occurs at the interface, for example, at the interface between lung and chest wall, or vocal cord. This interface effect is very important in clinical situations, for example, to estimate the NTCP (normal tissue complication probability) and to estimate the limitations of the current RTP system. Monte-carlo-based RTP will handle this issue correctly.

Key words: prostate cancer, pelvic phantom, interface effect, TLD