

전립선암의 방사선치료 시 직장풍선의 유용성 평가

연세대학교 의과대학 방사선종양학과, ¹김천대학 방사선과

이상규, 백종걸, 김주호, 전병철, 조정희, 김동욱, 나수경¹, 송태수, 조재호

목적 : 전립선암의 방사선치료에서 전립선의 움직임을 최소화하고 직장 벽의 선량한계를 극복할 수 있는 방법으로 직장 풍선을 사용하여 치료 부작용을 줄이고 환자 setup 시 직장풍선의 위치 재현성을 분석하여 임상치료에서의 유용성을 연구하였다.

대상 및 방법 : 본 원에서 전립선암에 방사선치료를 위해 내원한 환자 5명을 대상으로 하였다. 각각의 환자마다 자체 제작한 직장풍선을 삽입하고, 주사기를 이용하여 60 cc의 공기를 주입 후 치료 초기, 중기, 후기 3회에 걸쳐 CT-Simulation 영상을 획득하여 Pinnacle (ADAC)[®]내 자동영상융합프로그램인 Syntegra를 이용하여 최초 영상에 나머지 두 영상을 융합시켰다(CT to CT fusion). 직장풍선의 재현성을 확인하기 위하여 치골에서 직장풍선까지 중심과 양 외측으로 3개의 일직선을 긋고 각각의 좌표점을 찾아 각 영상의 위치변화를 정량적으로 분석하였다. 자동 Contouring 기능을 이용하여 매 환자의 영상에서 직장풍선의 중심점 위치와 용적을 구하였다. 세기조절방사선치료를 받은 환자에서는 직장풍선을 삽입한 경우와 삽입하지 않은 CT영상을 얻어 치료계획을 비교함으로써 직장풍선의 유용성을 확인하였다.

결과 : 각각의 환자에서 얻어진 영상의 용적은 일정 하였다. 직장풍선의 재현성을 의미하는 치골에서 직장풍선까지의 거리는 중심점이 2.1±1.7 mm, 오른쪽 2.3±2.2 mm, 왼쪽 2.0±1.6 mm이었다. 직장풍선의 편향은 좌우 2.4±1.6 mm, 전후 3.1±2.5 mm, 상하 5.6±3.5 mm였다. 세기조절방사선치료 계획에서 직장풍선의 삽입한 경우와 삽입하지 않은 경우의 비교결과 최대점 선량은 직장풍선을 삽입한 경우 63.3 Gy로 미삽입의 57.2 Gy보다 높았다. 하지만, 직장 벽의 평균 선량은 사용한 경우 36.6 Gy, 미사용 시 41.5 Gy였으며, 40 Gy가 조사되는 직장 벽의 용적은 각각 33.8%와 60%로 직장풍선을 사용한 경우에 적은 선량이 조사되어 직장의 선량체적히스토그램(DVH)은 향상되었다.

결론 : 직장풍선의 사용 시 후방경계를 2.5 mm 이내로 일정하게 유지할 수 있었고, 직장풍선의 위치 재현성이 정확함을 알 수 있었다. 이는 움직임이 많은 전립선암에 직장풍선의 사용으로 치료용적을 줄이고 인접한 직장체적을 줄여 방사선선량-체적분포의 향상으로 생각된다. 본 연구는 자체제작한 직장풍선의 재현성 및 유용성의 정확성을 보여줌으로서 향후 임상치료에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 전립선암, 직장풍선, 세기조절방사선치료

I. 서 론

방사선치료 시 환자의 해부학적 장기위치와 방사선

이 논문은 2005년 2월 10일 접수하여 2005년 9월 1일 채택되었음.

책임저자 : 이상규, 연세대학교 의과대학 세브란스병원 방사선종양학과

Tel: 02)2228-8085, Fax: 02)365-1792

E-mail: leeskuy@yumc.yonsei.ac.kr

치료에 필요한 자세는 치료기간 중에 조금씩 움직임이 발생한다. 방사선치료 부위의 움직임은 치료계획에 따른 선량분포가 다르게 변화될 것이다. 내부 장기의 움직임은 생리학적작용에 변화를 가져온다¹. 방사선치료 시 다양한 환자자세와 움직임은 정확한 환자자세 유지를 위한 시스템과 고정된 기구를 이용하여 움직임을 최소화하는 방법이 이용되고 있다.

전립선암의 방사선치료 시 전립선의 움직임은 연구

자료에 따라 차이는 있지만 Langen (2001) 등의 연구 논문에 의하면 전립선의 움직임은 5 mm 정도를 보였고, 최고 20 mm까지의 움직임이 있는 것으로 알려져 있다^{1,2}. 전립선암은 방사선 치료에 대한 초기반응과 종양억제확률(Tumor Control Probability, TCP)은 중앙에 전달되는 선량에 비례한다고 알려져 있다^{1,3}. Pollack 등이 발표한 논문에 따르면 전립선암의 방사선치료 시 방사선량의 8 Gy (70 Gy vs. 78 Gy)의 단계적 증가함에 따라서 직장반응이 소량 증가하였지만 고 위험 군 환자들의 치료효율이 크게 개선되었음을 보여주고 있다^{1,4,5}. 전립선 주위에 위치한 방광 및 직장과 같은 정상조직의 선량한계로 인해 전통적인 기법의 외부방사선치료법으로는 선량의 단계적 확대(Dose escalation)에 한계가 있었다. 최근 3차원입체조형치료계획 및 치료법(3D-dimensional conformal radiotherapy, 3DCRT), 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)법은 중앙표적에 최적화된 선량분포를 전달할 수 있어 이러한 한계를 어느 정도 극복할 수 있게 되었다⁴. 그러나 전립선의 내부 움직임에 따른 광범위한 치료 계획용 표적체적(Planning Target Volume: PTV)으로 인해 여전히 PTV에는 많은 정상장기의 체적이 포함되어 치료 중 부작용을 유발하게 되는 요인이 되고 있다. 따라서 전립선의 내부 움직임 및 치료 시 환자자세 오차를 가능한 최소화하여 PTV의 크기를 줄여줌으로서 정상조직의 피폭체적과 부작용을 감소시키기 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 일반적으로 전립선의 치료 용적을 줄이기 위한 방법으로 반복적인 컴퓨터 단층

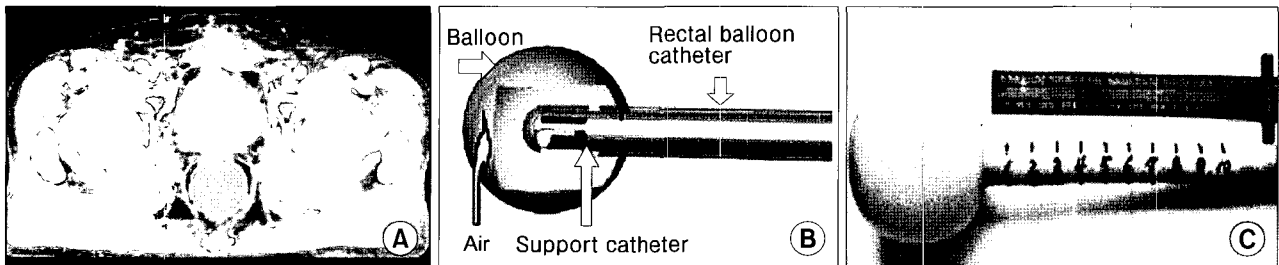
촬영을 통한 움직임 변화 관찰, 방사선 불투과성 카테터를 이용한 투시와 초음파를 이용하여 전립선의 움직임을 보정하고 있다^{1,2,4}.

본 연구에서는 자체 제작한 직장풍선을 이용하여 선량의 단계적 확대가 가능하고 전립선의 내부 움직임을 최소화함으로써 계획용 표적체적의 크기를 감소시키고, 직장 벽에 대한 선량한계를 극복할 수 있는 방법과 치료환자에 적용 시 간편하고 편리하게 시술할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한, 직장풍선을 환자에 적용 시 위치재현성 및 풍선의 용적을 분석하여 전립선암에 대한 임상치료 시 유용성을 연구하였다.

II. 대상 및 방법

1. 직장풍선

본 연구를 위해 자체 제작한 직장풍선은 [Fig. 1]에서 보여지는 것처럼 직장고무카테터, 지지카테터, 풍선, 60 cc 주사위, 겸자(Forceps), 애플을 이용하였다. 직장풍선은 풍선을 이용하여 공기 60 cc를 주입하였고, 공기 또는 물의 누수를 방지하기 위하여 겸자를 이용하였다. 직장 고무카테터에 지지 카테터를 삽입하여 임상적용 시 편리하도록 하였다. 또한, 적용 시마다 애플을 이용하여 직장풍선을 덮어줌으로써 항상 청결하도록 유지하였고, 치료를 위한 환자위치고정 시 직장풍선의 고정부위에 대한 정확성과 신속성을 위하여 풍선 끝 지점에서부터 1 cm 간격으로 눈금을 표시하였다. 공기, 물의 누설실험은 공기, 물을 60 cc 주입상태로 8일 동안 관찰하였다.



[Fig. 1] Custom-made rectal balloon prepare for rectal balloon. (A) 60 cc air or water into balloon and 1 cm interval maker on catheter are indicated (B, C)

2. 분석방법

본 연구의 대상 환자는 본 기관에 방사선치료를 위해 내원한 환자 5명을 대상으로 하였다. 각각의 환자마다 직장풍선을 자체 제작하여 위치 재현성 및 임상에서의 유용성 분석을 위해 각 환자마다 3회에 걸쳐 전산화단층촬영(Computerd Tomography, CT-Simulator; Philips, USA)으로 직장풍선을 사용한 영상과 미사용 영상을 얻었다.

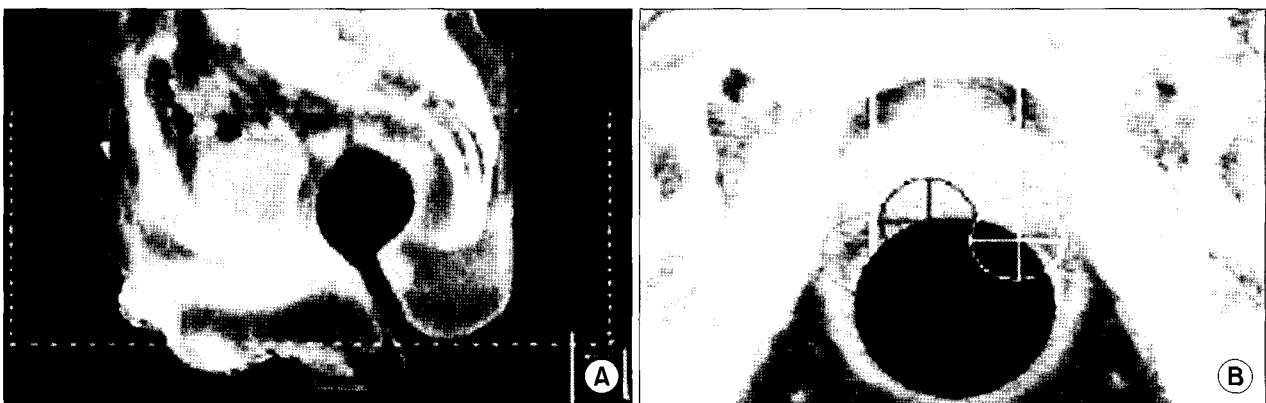
환자 자세는 편안하게 누운 자세(Supine Position)로 환자움직임을 최소화하고 일정한 환자자세를 위하여 발받침을 사용하였다. 환자직장에 직장풍선을 삽입하고 60 cc의 공기를 주입하였다. 겹자를 이용하여 공기의 누수를 방지하였고, 직장풍선을 환자의 괄약근에 맞추고 직장 카테터에 표시된 눈금을 읽고 각 환자마다 일정하게 고정하였다.

본 연구의 분석방법은 각 환자마다 얻어진 전산화단층촬영 영상을 이용하여 직장전벽을 분석하였고, 직장풍선의 용적분석, 치료 시 얻어진 치료확인영상(Verification Film)을 분석하여 직장풍선의 유용성을 평가하고자 하였다. 직장전벽 편향분석은 Pinacle3[®] (ADAC) 내 자동영상융합프로그램인 Syntegra를 이용하여 치료 초기영상에 후에 얻은 영상을 정확히 융합시켰다(CT to CT fusion).

전립선과 직장풍선의 접면에 위치한 재현성을 확인하기 위해 전립선의 중심단면과 그 상하로 10 mm 떨어진 횡단면을 선택하여 비교하였다. 각 단면의 치끝에서 직장전벽까지 3개의 수직선이 만나는 좌표점을 찾은 후 이 점들의 위치변화를 정략적으로 분석하였다[Fig. 2].

직장풍선의 용적 분석은 치료계획시스템의 자동윤곽선(Auto Contouring) 기능을 이용하여 직장풍선의 외곽선을 그려 각 환자마다 얻어진 세 영상에서 직장풍선의 용적과 중심점의 위치변화를 분석하였고, 각 환자의 치료 시 6회에 걸쳐 정면(Anterior-Posterior)과 측면(Lateral)치료확인영상을 얻어 Film Digitizer (Vidar System)와 Film Dosimetry System (RIT 113)을 이용하여 직장풍선의 위치재현성 평가를 정략적으로 분석하였다. 또한, 세기조절방사선치료(IMRT) 계획으로 직장풍선을 삽입한 경우와 삽입하지 않은 경우에 동일한 치료조건을 주어 치료계획을 수립하였다.

치료계획은 Pinnacle[®] (ADAC)치료 계획 시스템과 Corvus (NOMOS)시스템을 이용하였다. 각 환자마다 SIB (Simultaneous Integrated Boost)기법을 이용하여 GTV에 2.5 Gy씩 70 Gy, PTV는 1.8 Gy씩 50.4 Gy를 처방하였고, 직장은 주요장기로 50 Gy의 선량제한을 두었다.



[Fig. 2] CT to CT fusion was done on Pinnacle[®]. (A) Distance from pubic bone to anterior rectal wall was measured and compared (B)

III. 결 과

1. 직장 전 벽의 편향분석

1.1. 직장 전 벽의 편향분석

본 연구에서 직장풍선을 이용한 직장전벽의 편향분석으로 방사선치료 시 각 환자마다 3회에 걸쳐 얻어진 컴퓨터 촬영 영상을 Pinacle3® (ADAC) 내 자동영상 융합프로그램인 Syntegra를 이용하여 최초 영상에 두 영상을 정확히 융합시켰다. 영상융합 시 각각의 좌표점 편향수치를 [Fig. 3]에서 보여주고 있다. 좌표점의

편향수치 분석결과 치골에서 직장풍선 전벽까지의 거리는 중심점이 2.1±1.7 mm, 오른쪽 2.3±2.2 mm, 왼쪽 2.0±1.6 mm이었다 [Table 1].

본 연구의 대상 환자에 대한 평균거리를 분석한 결과 중앙 2.2 mm, 오른쪽 2.4 mm, 왼쪽 2.3 mm로 원형모습처럼 중앙점 부위에서 거리가 짧게 나타났다.

1.2. 직장풍선의 중심점 분석

직장 전 벽 분석과 동일한 조건하에서 각 환자의 초기영상에 직장풍선의 중심점을 설정하고 두 영상을 융합하여 중심점의 위치변화를 분석하였다. 중심점의

Current	Name	Coord Sys	Lateral	Ant-Post	Sup-Inf	Diameter	2D Mode	3D Mode	Color	
✓	Ce-m-p	CT	21.72	-21.95	149.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Ce-rt-p	CT	20.01	-22.73	149.55	cm	12	cm Off	Off	tomato
✓	Ce-lt-p	CT	23.13	-22.68	149.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Ce-m-1	CT	21.72	-21.91	149.55	cm	12	cm Off	Off	maroon
✓	Ce-rt-1	CT	20.01	-22.79	149.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Ce-lt-1	CT	23.14	-22.51	149.55	cm	12	cm Off	Off	inverse_gr
✓	Ce-m-2	CT	21.72	-21.88	149.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Ce-rt-2	CT	20.01	-22.70	149.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Ce-lt-2	CT	23.14	-22.46	149.55	cm	12	cm Off	Off	Fusion_Re
✓	Lo-m-p	CT	21.90	-22.66	150.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Lo-rt-p	CT	20.25	-23.43	150.55	cm	12	cm On	Off	SUV2
✓	Lo-lt-p	CT	22.70	-23.08	150.55	cm	12	cm Off	Off	SUV3
✓	Lo-m-1	CT	21.90	-22.36	150.55	cm	12	cm Off	Off	
✓	Lo-rt-1	CT	20.26	-23.32	150.55	cm	12	cm Off	Off	rainbow1
✓	Lo-lt-1	CT	22.69	-22.77	150.55	cm	12	cm On	Off	rainbow2
✓	Lo-m-2	CT	21.91	-22.26	150.55	cm	12	cm On	Off	
✓	Lo-rt-2	CT	20.25	-23.03	150.55	cm	12	cm On	Off	

[Fig. 3] Point of interest in pinnacle

[Table 1] Analysis mean distance deviation on the rectal wall

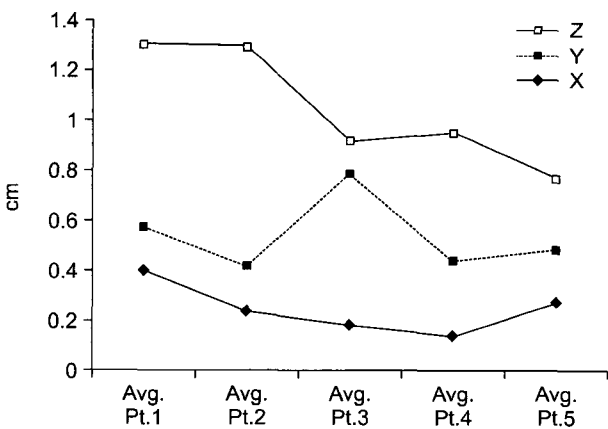
cm	Upper	Mid	Lower	STD
MID Avg.	0.19	0.22	0.21	0.17
RT Avg.	0.24	0.23	0.23	0.22
LT Avg.	0.18	0.23	0.20	0.16

[Table 2-1] Center of rectal balloon 1 (cm)

	X	Y	Z
Average	0.24	0.31	0.56
STD	0.16	0.25	0.35

[Table 2-2] Center of rectal balloon 2 (cm)

		X	Y	Z
Pt. 1	First	0.43	0.25	0.74
	Second	0.40	0.08	0.74
	Avg.	0.41	0.16	0.74
Pt. 2	First	0.13	0.23	0.76
	Second	0.32	0.14	1.00
	Avg.	0.23	0.19	0.88
Pt. 3	First	0.02	0.87	0.25
	Second	0.33	0.32	0.01
	Avg.	0.18	0.60	0.13
Pt. 4	First	0.02	0.21	0.24
	Second	0.25	0.40	0.76
	Avg.	0.14	0.31	0.50
Pt. 5	First	0.31	0.23	0.35
	Second	0.23	0.19	0.23
	Avg.	0.27	0.21	0.29



[Fig. 4] Mean rectal balloon shift X, Y, Z direction for each patients

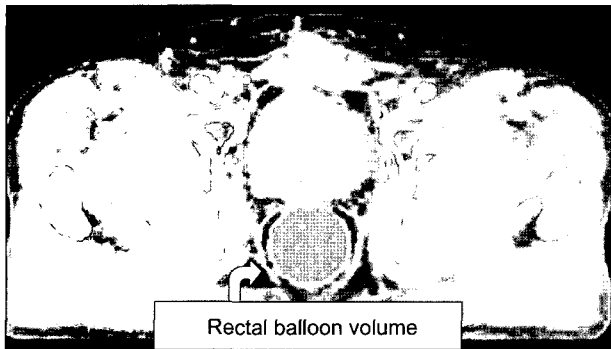
이동은 X, Y, Z 방향으로 설정하였다. 각 환자의 직장 풍선의 중심점의 이동은 평균 X방향으로 0.24 cm, Y 방향 0.31 cm, Z방향으로 0.56 cm로 X, Y방향보다 Z 방향으로 다소 큰 움직임을 보였다 [Table 2-1, 2-2, Fig. 4].

2. 직장풍선의 용적 분석

각 환자마다 직장풍선을 제작하여 60 cc의 공기를 주입하였다 [Fig. 5]. 본 연구 결과 다섯 명의 환자 중 한 환자에게서 다소 차이를 보이는 공기량을 보여주었다 [Table 3]. 본 연구시작 전 각각의 단계별로 프로토콜을 계획하고 연구하였다. CT촬영 전 전처치를 실

시하고, 치료상황과 동일한 자세로 검사를 실시하였다. 치료 시에도 전처치를 실시하고 치료하였다.

방사선치료 시 환자에게 전립선에 대한 방사선치료 및 직장풍선 삽입에 대한 충분한 설명을 한 후 본 연구를 시작하였음에도 불구하고, 환자의 치료에 대한 불안감과 직장삽입에 대한 긴장으로 인하여 직장풍선의 용적 및 재현성에 다소 차이를 보이는 결과를 보였다. 또한, 직장암 치료 시 직장벽의 불규칙한 종양으로



[Fig. 5] Rectal balloon volume of Pinnacle

인하여 직장풍선의 모양과 직장용적이 다소 변화하는 결과도 나타났다. 주사위를 이용한 공기주입은 60 cc 이지만 직장 카테터 내부의 공기가 더해져 약 64.98 cc의 공기가 삽입되었음을 본 연구결과 알 수 있었다.

3. 치료확인영상(Verification Film) 분석

각 환자에 적합하게 완성된 직장풍선을 이용하여 직장편향분석, 직장풍선의 중심점 이동과 용적을 확인하고 방사선치료 시 치료 전 영상을 획득하여 직장풍선의 위치재현성 확인 후 치료하는 방법으로 각 환자마다 6회의 치료확인 영상을 정면(Anterior-Posterior)과 측면(Lateral)으로 획득하여 분석하였다 [Fig. 6, Table 4].

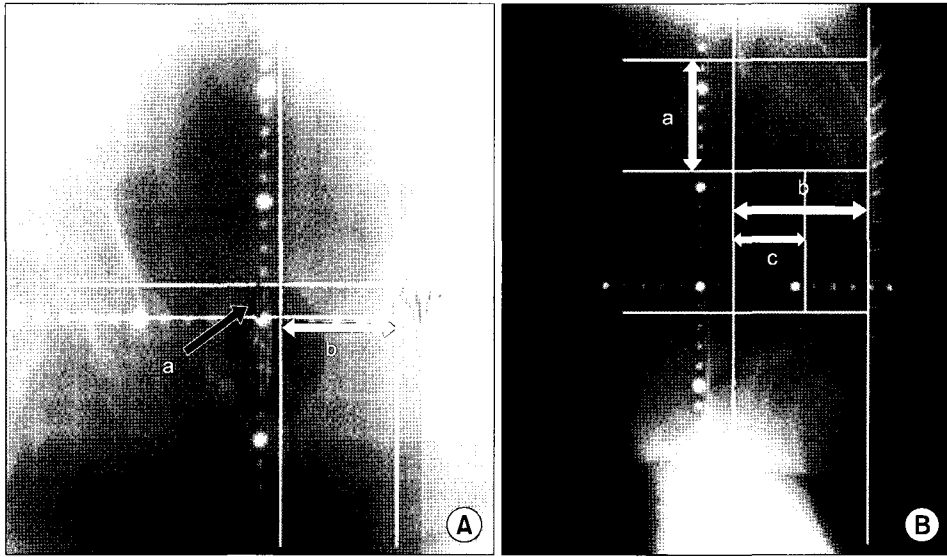
분석결과 모든 환자에게서 직장풍선의 위치 및 용적 재현성에서 우수하게 나타났다. 정면 치료확인영상에서 표준편차가 a점에서 4.25 ± 0.16 cm, b점에서 6.41 ± 0.32 cm이 나타났다. 측면 영상에서는 a점 10.75 ± 0.33 cm, b점 8.5 ± 0.06 cm, c점 4.26 ± 0.11 cm으로 a점에서 다소 큰 오차를 보였다. 치료확인영상의 분

[Table 3] Rectal balloon volume (cc)

	Pt. 1	Pt. 2	Pt. 3	Pt. 4	Pt. 5
Image 1	64.99	65.21	65.75	64.63	66.35
Image 1	64.46	65.11	65.25	60.91	65.59
Image 1	67.74	66.74	65.25	59.10	66.14
Avg.	65.73	65.69	65.42	61.55	66.02

[Table 4] Analysis of rectal balloon variation on AP and lateral verification film (cc)

	a (AP)	b (AP)	a (AP)	b (Lat.)	c (Lat.)
1	4.3	6.5	10.9	8.5	4.3
2	4.0	6.6	11.0	8.5	4.2
3	4.5	6.5	10.7	8.5	4.1
4	4.1	6.2	11.2	8.5	4.4
5	4.3	6.4	10.5	8.4	4.4
6	4.3	6.3	10.2	8.6	4.2
Avg.	4.25	6.41	10.75	8.5	4.26
STD	0.16	0.32	0.33	0.06	0.11



[Fig. 6] Verification film of anterior-posterior (A), lateral (B) image. (A) a point: from simulation center to rectal balloon top, b point: from simulation center to pubic ramus, (B) a point: from rectal balloon top to sacral promontory, b point: from rectal balloon anterior top to table, c point: width of rectal balloon

석결과에서 나타난 결과와 직장풍선의 중심점 분석결과 Z방향으로의 움직임을 보여 상호분석결과 직장풍선의 움직임이 일치하였다.

4. 세기조절방사선치료(IMRT) 계획

본 연구에서 직장풍선의 제작으로 전립선암의 방사선치료에 있어서 고 난이도의 치료계획을 수립할 수 있었다. IMRT전용 치료계획장비인 Corvus와 Pinnacle를 이용하여, 직장풍선의 미사용과 사용 시에 따른 치료계획을 수립하였다.

치료방향은 9문수로 정하고, 육안적 종양체적(Gross tumor volume, GTV)에 70 Gy, 임상표적체적(Clinical target volume, CTV)은 60.2 Gy, 계획용표적체적(Planning target volume, PTV)는 50.4 Gy를 처방하였다.

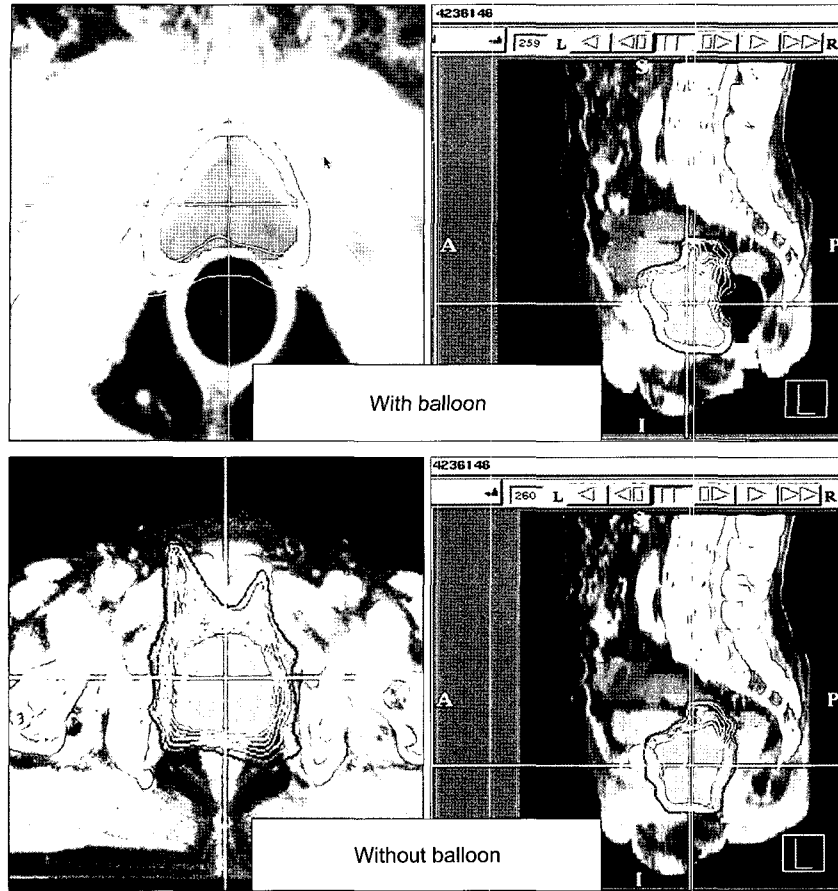
IMRT 치료계획을 수행하여 비교해 본 결과 직장의 최대점 선량(Max. point dose)은 직장풍선을 사용한 경우 70.9 Gy, 사용하지 않은 경우 68.7 Gy로 다소 높게 나왔다. 직장벽의 평균선량은 사용한 경우 39.9 Gy, 사용하지 않은 경우 45.9 Gy였다. 전립선과 인접

한 방광의 체적은 두 경우간의 차이가 없었고 최대점 선량은 직장풍선을 사용한 경우 71.6 Gy, 사용하지 않은 경우 67.4 Gy였다.

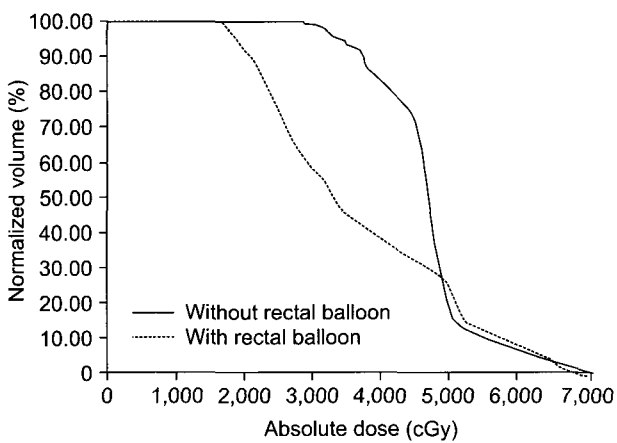
[Fig. 7]에서 직장풍선의 사용, 미사용에 따라 전립선과 직장후벽의 거리가 증가함을 알 수 있었다. 거리의 증가는 방사선치료 시 직장을 GTV에서 제외됨으로 직장을 보호할 수 있었다.

또한, 직장풍선의 사용 유무에 따른 선량체적히스토그램(Dose-volume histogram, DVH)을 비교하였다 [Fig. 8]. 두 경우 직장체적을 동일하게 100%로 표준화하였다. DVH상 20~50 Gy 간격에서 직장풍선의 사용 시 방사선치료영역으로부터 직장을 보호할 수 있었다.

IMRT 치료계획과 더불어 육안적 종양체적(GTV)에 포함되는 전립선 및 정낭과 인접한 후방직장체적의 간격을 직장풍선을 이용하여 멀어지게 하여 직장풍선의 미사용 시 보다 많은 직장체적을 고 선량의 방사선치료영역으로부터 보호함으로써 치료 중 방사선치료 부작용을 줄일 수 있게 되었다 [Fig. 9].



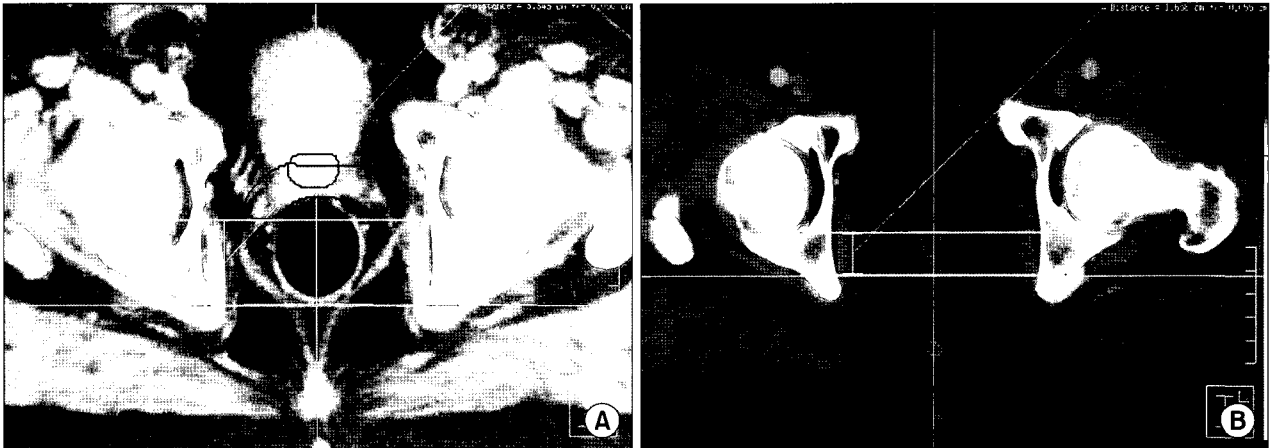
[Fig. 7] Axial CT scan of one patients at with and without rectal balloon. Demonstrating the increase in distance between prostate and posterior rectum wall. Prescription and dose plan to with balloon and without balloon. The prescription was 2.5 Gy×28 fractions=70 Gy GTV, 1.8 Gy×28 fractions=50.4 Gy ITV



[Fig. 8] Rectal dose volume histogram

IV. 결론 및 고찰

본 연구는 방사선치료 기간 동안 전립선의 움직임을 최소화 하고, 고정된 치료용적을 유지하여 부작용 없이 치료효율을 극대화하는 데 있다. 방사선치료는 종양주위의 정상조직을 보호하며 종양을 치료하는 데 그 목적이 있다. IMRT는 정상조직 주위에 선량을 제한하면서 종양부위에 많은 방사선을 조사할 수 있는 치료기법이다. 하지만 많은 움직임을 가진 장기는 IMRT의 높은 치료효율을 기대하기 어려울 것이다. 전립선암은 방사선치료부위에 전립선과 정낭(Seminal vesicle), 인접한 정상조직으로 방광과 직장이 위치하고

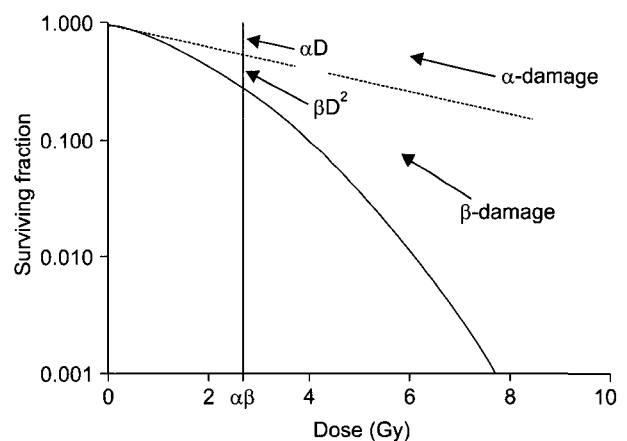


[Fig. 9] The rectum balloon enables the sparing of parts of the posterior rectum wall by an increase of the distance between seminal vesicles and posterior rectum wall. With rectum balloon is 3.428 cm between seminal vesicles+prostate and posterior rectum wall (A), without rectum balloon is 1.585 cm between seminal vesicles+prostate and posterior rectum wall (B)

있다. 전립선암의 방사선치료 시 전립선의 움직임과 직장장기의 부작용은 치료에 많은 어려움을 주고 있었다. 본원에서 자체 개발한 직장풍선을 사용하여 전립선의 움직임을 최소화하여 주위에 인접한 정상조직을 보호하며 치료효율을 극대화하였다. 직장풍선의 용적을 64.98 cc로 일정하게 유지하여 직장을 채움 효과로서 전립선을 치골까지 올려 고정하였고, 전립선의 후방경계를 2.4 mm 이내로 일정하게 유지하였다. 직장팽창을 통한 직장체적의 감소와 고 선량 영역으로부터 직장 벽을 보호하고 방사선선량-체적분포의 향상을 가져왔다.

Vlachaki 외 다수 연구자의 발표논문에 따르면, 직장풍선을 이용하여 3DCRT와 IMRT치료 시 IMRT 치료가 선량의 단계적 확대와 직장 및 정상조직을 더 많이 보호할 수 있다고 기술하고 있다¹⁰. 전립선암의 방사선치료선량은 기존의 외부방사선치료법으로 65~70 Gy, 3차원 입체조형치료법으로 75~80 Gy, IMRT 시 84~90 Gy까지 선량의 단계적 확대가 가능하게 되었다.

선량의 단계적 확대(Dose escalation)는 생물학적 유효선량(Biologically effective dose: BED)에 의해 설명할 수 있다. 전립선암의 α/β 비 추정치는 1999년에 의사 Brenner와 Hall Ej (IJROBP 1999;43:1095)에



[Fig. 10] The L-Q model: α/β ratio

의해 만들어 졌다^{10,13}. 연구에 의하면 L-Q Model을 적용하고, α 는 선량분할에 영향을 받지 않는 회복 불가능한 α -TYPE의 세포 손상정도를 표현하였고, β 는 선량 분할에 관련이 깊은 세포구조물의 다중손상을 β -TYPE으로 의미하고 있다. 결론적으로 α/β 비는 선량분할 변화에 의한 종양 또는 장기에 반응을 나타내는 지표이다. 따라서 α/β 비가 큰 경우($\alpha > \beta$)분할선량의 변화에 적은 감수성을 의미하며, 반대로 α/β 비가 적은 경우 분할선량변화에 대단히 민감하다고

보고하고 있다 [Fig. 10]. 생물학적유효선량 즉, BED의 식은 다음 (1)의 식으로 나타낼 수 있다(식 1).

$$BED = N \times D \times (1 + D/\alpha/\beta) \dots\dots\dots (식 1)$$

(N: 총 치료횟수, D: 분할선량, α/β 비는 정상조직: 1~4 Gy, 전립선: 3 Gy, 암: 10 Gy)

(1)의 식에 의하면 총 치료횟수가 같아도 분할선량이 높으면 BED 값은 다르게 나타난다. 즉, 전립선암의 경우 직장풍선으로 고정하고 인접장기를 GTV에서 제외시켜 D값을 높임으로서 선량의 단계적 확대가 가능하다. 또한, 전립선암은 α/β 비가 낮고, D값을 높여 방사선치료 기간단축이 가능하였다.

본원에서 자체 제작한 직장풍선을 이용한 IMRT 치료 환자는 2004년 6월부터 2005년 6월까지 총 60명과 기존의 외부방사선 치료 후 직장풍선을 이용한 환자가 10명이다. IMRT치료 환자 중 2명에서 RTOG (Radiotherapy Oncology Group) Grade 2 이상의 부작용이 발생하였고, 적당한 휴식 후(약 1주)다시 치료를 종료할 수 있었다. 지금까지 자체 제작한 직장풍선을 이용하여 부작용 발생확률은 0.3%로 아주 낮게 나타나고 있다. 자체 제작한 직장풍선의 이용으로 전립선암 이외에도 직장암이나 자궁암의 침윤에 따른 다양한 환자에 적용하여 사용하고 있다.

자체 제작한 직장풍선의 장점과 단점을 서술하면 다음과 같다. 먼저 장점으로, 고정된 GTV를 가지며 치료부위의 확인을 위한 초음파와 인체 속에 불 투과 성물질을 삽입이 필요하지 않으며, 저비용과 정확하고 신속한 시술이 가능하다는 점이다. 단점으로는, 항문을 통하여 삽입함으로서 인한 불편감 및 불편함과 치질환자 및 직장염이 있는 환자에 대한 적용이 어렵다는 단점이 있다.

본 연구는 자체 제작한 직장풍선의 높은 재현성 과 유용성을 보여줌으로서 향후 적극적인 활용에 토대를 제공 하였고, 더욱 향상된 치료기법과 선량의 단계적 확대가 가능하게 되었다.

참고문헌

1. Langen KM, Jones D : Organ motion and its

management, Int J Radiation Biol Phys 2001 ; 50 : 265-278

2. Emile NJTh. van Lin, Lisette, et al. : The effect of an endorectal balloon and off-line correction on the interfraction systematic and random prostate position variations, Int J Radiation Biol Phys 2005 ; 61 : 278-288

3. Hanks GE, Martz KL, Dianmond JJ : The effect of dose on local control of prostate cancer, Int J Radiation Oncology Biol Phys 1988 ; 15 : 1299-1306

4. Tes BS, Woo SY, Mai W, et al. : Clinical experience with intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for prostate with the use of rectal balloon for prostate immobilization, Med Dosim 2002 ; 27 : 105-113

5. Pollack A, Zagars GK, Starkschall G, et al. : Prostate cancer radiation dose response: Results of the M.D.Anderson Phase III randomized trial, Int J Radiation Oncology Biol Phys 2002 ; 53 : 1097-1105

6. Storey MR, Pollack A, Zagars GK, et al. : Complications from dose escalation in prostate cancer: preliminary results of a randomized trial, Int J Radiation Oncol Biol Phys 2000 ; 48 : 635-642

7. Bin S, Barry M, Wei-Yuan M, et al. : Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for prostate cancer with the use of a rectal balloon for prostate immobilization: acute toxicity and dose-volum analysis, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001 ; 49 : 705-712

8. Wachter S, Gerstner N, Dorner D, et al. : The influence of a rectal balloon tube as internal immobilization device on variation of volumes and dose-volumes histograms during treatment course of conformal radiotherapy for prostate cancer, Int J Radiat Oncol Biol Phys

- 2002 ; 52 : 91-100
9. Antolak JA, Rosen II, Childreess CH, et al. : Prostate target volume variations during a course of radiotherapy, Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998 ; 42 : 661-672
 10. Dale RG : The application of the linear-quadratic dose-effect equation to fractionated and protracted radiotherapy, Br J Radiol 1985 ; 58 : 515-528
 11. Vlachaki MT, Teslow TN, Amosson C, et al. : IMRT versus conventional 3dcrct on prostate and normal tissue dosimetry using an endo-rectal balloon for prostate immobilization, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2005 ; 30 : 69-75
 12. Tucker SL, Cheung R, Dong L, et al. : Dose-volumes response analysis of late rectal bleeding after radiotherapy for prostate cancer, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2004 ; 59 : 353-365
 13. Brenner DJ, Hall EJ : In response to Drs. King and Mayo: low α/β value for prostate appear to be independent of modeling details, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2002 ; 47 : 538-539

Abstract

Rectal Balloon for the Immobilization of the Prostate Internal Motion

Sang Kyu Lee, Jong Geal Beak, Joo Ho Kim, Byong Chul Jeon, Jeong Hee Cho,
Dong Wook Kim, Soo Kyong Na¹, Tae Soo Song, Jae Ho Cho

Department of Radiation Oncology, Yonsei University College of Medicine,
Yonsei Cancer Center, Seoul, ¹Department of Radiology, Kim-cheon College, Gimcheon, Korea

Purpose : The using of endo-rectal balloon has proposed as optimal method that minimized the motion of prostate and the dose of rectum wall volume for treated prostate cancer patients. so we make the customized rectal balloon device. In this study, we analyzed the efficiency of the Self-customized rectal balloon in the aspects of its reproducibility.

Materials and Methods : In 5 patients, for treatment planning, each patient was acquired CT slice images in state of with and without rectal balloon. Also they had CT scanning samely repeated third times in during radiation treatment (IMRT). In each case, we analyzed the deviation of rectal ballon position and verified the isodose distribution of rectum wall at closed prostate.

Results : Using the rectal balloon, we minimized the planning target volume (PTV) by decreased the internal motion of prostate and overcome the dose limit of radiation therapy in prostate cancer by increased the gap between the rectum wall and high dose region.

Conclusion : The using of rectal balloon, although, was reluctant to treat by patients. View a point of immobilization of prostate internal motion and dose escalation of GTV (gross tumor volume), its using consider large efficients for treated prostate cancer patients.

Key words : prostate cancer, rectal balloon, IMRT