

# 직장풍선을 삽입한 전립선암 환자의 수술 후 방사선 치료 시 용적변조와 세기변조방사선치료계획 비교 평가

분당서울대학교병원 방사선종양학과

정해윤 · 석진용 · 홍주완 · 장남준 · 최병돈 · 박진홍

**목 적** : 전립선암의 방사선치료는 치료기법에 따라 주요장기와 정상조직의 선량분포에 차이가 나타난다. 본 연구에서는 전립선암 환자의 수술 후 방사선치료 시 직장풍선을 삽입한 환자에게 회전수를 달리한 용적변조회전치료(volumetric modulated arc therapy, VMAT)계획과 세기변조방사선 치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT)계획을 각각 수립하여 선량분포 특성을 비교하고 치료의 효율성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법** : 본원에서 전립선암 수술 후 방사선 치료를 시행한 10명의 환자를 대상으로 하였다. 직장풍선을 삽입한 환자의 CT영상을 3 mm 두께로 획득하고 Eclipse (Ver 11.0, Varian, Palo Alto, USA)를 사용하여 HD120MLC가 장착된 Truebeam STx (Varian, Palo Alto, USA)의 10 MV 에너지를 적용하였다. 환자마다 1 Arc, 2 Arc VMAT계획과 7조사면의 IMRT계획을 수립하였으며 각 치료계획의 선량체적제한과 plan normalization 값은 동일하게 적용하였다. 수립된 세 가지 치료계획을 평가하기 위해 PTV의 coverage, conformity index (CI), homogeneity index (HI)를 비교하였고, PTV주변 정상조직의 선량피침정도를 알아보기 위해 50% 등선량체적과 PTV체적의 비( $R_{50\%}$ )를 산출하였다. 결정장기 (organ at risk, OAR)에서는 직장의  $D_{25\%}$ 와 방광의  $D_{mean}$ 을 비교하였고 치료의 효율성을 평가하기 위해서 총 MU와 조사시간을 측정하였으며, 각 평가항목별 결과는 환자 10명의 평균값으로 비교분석하였다. 추가적으로 선량전달 정확도를 검증하기 위해 EPID를 이용한 portal dosimetry를 진행하였다.

**결 과** : 각 치료계획에서 나타난 PTV coverage와 HI의 차이는 크지 않았지만 CI는 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT에서 각각 1.036, 1.035, 1.230으로 VMAT에 비해 7F-IMRT가 높았고( $p=0.00$ ),  $R_{50\%}$ 는 3.083, 3.054, 3.991로 2A-VMAT이 제일 낮았고 7F-IMRT에서 가장 높게 나타났다( $p=0.00$ ). 치료계획에 따른 직장의  $D_{25\%}$ 는 VMAT에서 비슷했지만 7F-IMRT가 약 7% 높게 나타났고( $p=0.02$ ), 방광의  $D_{mean}$ 은 큰 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 총 MU는 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT에서 각각 494.7, 479.7, 757.9로 7F-IMRT가 가장 많았고( $p=0.00$ ), 조사시간은 65.2초, 133.1초, 145.5초로 1A-VMAT이 확연히 짧았다( $p=0.00$ ). portal dosimetry 검증에서는 모든 치료계획에서 99.5% 이상의 gamma pass rate(2 mm, 2%)을 보였다( $P=0.00$ ).

**결 론** : 본 연구결과 직장풍선을 삽입한 전립선암 환자의 수술 후 방사선치료 시, 치료기법에 따른 PTV coverage의 차이는 크지 않았지만 1A, 2A-VMAT이 7F-IMRT에 비해 정상조직과 직장선량을 낮추는데 효과적이었다. VMAT중에서는  $R_{50\%}$ 와 MU가 2A-VMAT에서 다소 낮았지만 조사시간이 짧은 1A-VMAT이 치료에 더 효율적이며 환자의 치료 중 움직임 또한 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 전립선암, 수술 후 방사선 치료, VMAT, IMRT

## 서 론

전립선암 수술 후 방사선치료가 수술 단독요법보다 치료 효과가 좋다는 사실은 앞서 진행된 많은 연구에서 증명되었다.<sup>1-3)</sup> 전립선을 제거한 환자의 방사선치료는 수술 전 전립선이 있던 자리에 계획표적용적(planning target volume, PTV)이 설정되는데 방광 및 직장의 일부분을 포함하게 된

다. 통상적으로 전립선암의 외과적인 수술은 기대수명이 10년 이상인 환자에게 시행된다는 점을 고려할 때, 환자의 전반적인 삶의 질을 높이기 위해 방사선 치료 시 정상조직의 선량을 줄이는 것이 중요하다. 반면 치료효과를 높이기 위해서는 처방선량을 증가시켜야 하는데,<sup>4)</sup> 3차원 입체조형치료에서는 처방선량을 증가시키면 종양선량과 주변 정상조직의 선량이 함께 증가하기 때문에 총 선량을 늘리는데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 다엽콜리메이터(multi leaf collimator, MLC)를 이용하는 세기변조방사선 치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT)가 발달하였고, 표적용적(target volume)에 고 선량을 집중시키면서 정

본 논문은 2015년 5월 29일 접수하여 2015년 6월 24일 채택되었음.

책임저자 : 정해윤, 분당서울대학교병원 방사선종양학과  
경기도 성남시 분당구 구미로 166, 463-707  
Tel : 031) 787-2912  
E-mail : haeyun2@snuh.org

상 조직의 손상을 최소화 할 수 있게 되었다.<sup>5,6)</sup> 하지만 IMRT는 3차원 입체조형치료에 비해 monitor unit(MU)이 많이 늘어나고 치료시간이 길어지는데,<sup>7)</sup> 이는 환자가 치료 중에 움직일 확률이 증가하여 결과적으로 치료효과에 영향을 미칠 수가 있다. 최근에는 장비의 발달과 함께 용적변조 회전치료(volumetric modulated arc therapy, VMAT)가 많이 시행되고 있는데, 이는 갠트리(gantry)의 회전과 동시에 동적 다엽콜리메이터(dynamic MLC)를 적용하고 선량률(dose rate)과 갠트리 회전속도까지 연속적으로 조절이 가능하다.<sup>7)</sup> 이런 치료기법은 치료 시 MU를 감소시켜 누설선량과 산란선량을 줄일 수 있기 때문에 치료 후 2차 암 발생 위험도를 낮추면서,<sup>8)</sup> 치료시간을 단축시켜 환자가 움직일 수 있는 확률 및 내부 장기의 움직임에 따른 오차를 줄일 수 있다.<sup>9)</sup>

VMAT과 IMRT를 비교한 여러 연구들 중에 Fogilata 등은 두개내 종양치료에서 선량분포의 차이가 크지 않았다고 보고하였고,<sup>10)</sup> 비인두암 치료에 대한 T-F Lee 등의 연구에서는 VMAT이 더 높은 target coverage와 함께 정상장기의 선량을 줄이는데 효과적이라고 결론지었다.<sup>11)</sup> 그리고 전립선암에 관한 연구에서 D-Palma 등은 선량분포의 큰 차이 없이 VMAT에서 상대적으로 MU가 적고 정상장기의 선량을 감소시킬 수 있다고 하였지만,<sup>12)</sup> S. Yoo 등은 IMRT에서 더 나은 선량분포를 얻었고, VMAT에서 MU와 치료시간을 줄일 수 있기 때문에 두 치료기법에 대한 득과 실을 따져보고 선택해야 한다고 보고하였다.<sup>13)</sup>

본원에서는 최근 도입된 Truebeam STx로 전립선암의 VMAT을 시행하고 있는데, IMRT와는 PTV주변의 정상조직 선량분포에서 확인한 차이를 보였다. 이에 본 연구에서는 직장풍선을 삽입한 전립선암환자의 수술 후 방사선 치료 시 회전수를 달리한 VMAT과 IMRT계획을 수립하여 target coverage와 정상장기의 선량분포를 평가하고, PTV주변 정상조직선량과 치료 효율성에 대하여 알아보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 환자 선택과 모의치료촬영

본원에서 근치적 목적으로 수술 후 방사선치료를 받은 전립선암 환자 10명을 대상으로 하였다. 모의치료과정에서 환자는 바로 누운 자세로 handgrip ring을 이용하여 양손을

가슴에 모으고 편안한 자세를 유지하도록 하였다. CT촬영 1시간 전에 300 cc 물을 마셔 방광을 채우고, 직장풍선(rectal balloon)을 삽입하여 70 cc의 공기를 주입시켰다. CT image는 3 mm 두께로 획득하였다.

### 2. 치료계획 설정

환자 움직임과 set up오차를 고려하여 임상표적용적(clinical target volume, CTV) 으로부터 10 mm margin을 주었고 posterior 방향으로 7 mm margin을 주어 PTV를 생성하였다. 또한 PTV에 인접한 주요장기의 선량평가를 위하여 직장, 방광의 윤곽을 나타내었다.

치료계획을 위해 Eclipse(Version 11.0, Varian, Palo Alto USA) 시스템을 사용하였으며 선량계산 과정에서 anisotropic analytical algorithm (AAA, Version 11.0)을 적용하였다.

선량처방은 총 33회에 걸쳐 일일선량을 200 cGy씩 PTV에 총선량이 6600 cGy가 되도록 하였다. 선량용적최적화(dose volume optimization)과정은 PTV에 균일하게 처방선량이 분포함과 동시에 주변정상조직의 선량을 줄이고 결정장기에는 허용선량을 만족하도록 선량용적제한(dose volume constraint, DVC)값을 설정한 후 시행하였으며, VMAT계획과 IMRT계획에서 동일하게 적용시켰다.

### 3. 치료계획

치료계획 시 빔 데이터는 Truebeam STx (Varian Medical system, Palo Alto, CA)의 10 MV 에너지 광자선을 사용하였다. VMAT계획에서 선량률은 600 MU/min으로 설정하였고, 갠트리는 1 Full Arc와 2 Full Arc의 계획을 각각 수립하였으며, tongue and groove 효과와 누설선량을 고려하여 시계방향과 반시계방향 회전에서 collimator 각도를 각각 15~30° 회전하였다. IMRT계획에서 선량률은 600 MU/min으로 설정하였고, 갠트리는 7조사야로 0°, 50°, 100°, 140°, 220°, 260°, 310°를 사용하여 수립하였다. (figure 1)

### 4. 치료계획 평가

수립된 3가지 치료계획의 평가를 위하여 선량 용적 히스토그램(dose volume histogram, DVH)에서 PTV의 평균선

**Table 1.** PTV coverage, CI, HI, R50% and OAR dose among 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT

				P-value
	1A-VMAT	2A-VMAT	7F-IMRT	1A vs 2A vs 7F
<b>Target(PTV)</b>				
D <sub>mean</sub> (cGy)	6724.6±23.8	6732.0±27.6	6711.6±26.4	p=0.01
D <sub>max</sub> (cGy)	7176.4±50.2	7147.0±27.3	6929.7±46.6	p=0.00
CI	1.036±0.010	1.035±0.010	1.230±0.035	p=0.00
HI	1.077±0.003	1.076±0.004	1.053±0.005	p=0.00
R50%	3.083±0.084	3.054±0.078	3.991±0.200	p=0.00
<b>Organ at Risk (OAR)</b>				
Rectum D <sub>25%</sub> (cGy)	5383.4±672.4	5427.0±644.3	5800.0±619.2	p=0.02
Bladder D <sub>mean</sub> (cGy)	2912.0±972.2	2923.1±981.1	2931.7±982.9	p>0.05

Values are mean ± stand deviation, D<sub>mean</sub> : mean dose, D<sub>max</sub> : maximum dose, CI : conformity index (volume involved in 95% isodose line / volume of PTV), HI : homogeneity index (dose to 5% volume of PTV / dose to 95% volume of PTV), R50% : (volume involved in 50% isodose line / volume of PTV)

량(D<sub>mean</sub>)과 최대선량(D<sub>max</sub>)을 산출하여 coverage를 확인하고 PTV체적과 처방선량의 95%가 조사되는 체적의 비인 conformity index(CI: V<sub>95%</sub> / VPTV)와 PTV체적의 95%와 5%에 조사되는 선량의 비인 homogeneity index(HI: D<sub>5%</sub> / D<sub>95%</sub>)를 비교하였다. 또한 중간선량의 퍼짐 정도를 알아보기 위해 PTV체적과 처방선량의 50%가 조사되는 체적의 비인 R50% (R<sub>50%</sub>: V<sub>50%</sub> / VPTV)를 산출하였다. OAR 평가에서는 직장 체적의 25%가 받는 선량인 D<sub>25%</sub>와 방광의 평균선량을 비교하였다.

### 5. 치료 효율성

치료의 효율성을 비교하기 위해 치료시간과 total monitor unit(MU)값을 평가하였는데, 치료시간(treatment time)은 환자의 Set-up이 모두 끝났다는 가정 하에 QA모드에서 진행되었고, Truebeam STx의 automation 기능을 사용하여 beam ON 부터 beam OFF 까지의 시간을 측정하였다. 2 Full Arc의 경우 시계방향과 반시계방향 회전 사이의 collimator 회전 시간이 포함되었고 IMRT계획의 경우 각 조사야 사이의 gantry 회전시간이 포함되었다.

### 6. 선량검증

치료계획의 선량전달 정확도를 평가하기 위해 전자영상

유도장치(electronic portal imaging device, EPID)를 이용하여 portal dosimetry를 진행하였다. gamma distance to agreement는 2 mm, 2%로 적용한 분석의 area gamma 값이 1.0 미만인 pass rate를 비교하였다.

### 7. Data의 통계분석

평가항목별 결과는 환자 10명의 평균값으로 비교분석하였다. 수집한 Data의 통계분석은 ANOVA검정을 하여 유의수준을 0.05로 설정하였고 통계프로그램인 SPSS 20.0 (SPSS for Windows, Ver . 20.0; SPSS Inc. Chicago, IL, USA)를 사용하였다.

## 결 과

### 1. PTV Coverage와 선량지표

DVH를 비교한 결과 각 치료계획의 PTV 평균선량은 큰 차이를 보이지 않았다. PTV 최대선량은 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT에서 각각 7176.4 cGy, 7147.0 cGy, 6929.7 cGy였다. CI의 평균값은 1A-VMAT과 2A-VMAT이 각각 1.036, 1.035로 비슷했지만 7F-IMRT에서 1.230으로 가장 높았다. 그리고 HI는 VMAT에서 서로 비슷했고, 7F-IMRT

**Table 2.** Delivery efficiency and gamma pass rate summarized by patient.

Patient Number	Total MUs			Delivery time (sec)			Gamma pass rate (%)		
	1A-VMAT	2A-VMAT	7F-IMRT	1A-VMAT	2A-VMAT	7F-IMRT	1A-VMAT	2A-VMAT	7F-IMRT
1	471	438	663	66	134	140	99.8	100	99.9
2	456	475	720	64	131	141	99.8	99.9	98.9
3	446	434	733	65	134	143	99.9	99.9	99.2
4	455	435	693	65	134	140	99.7	100	99.5
5	483	421	645	65	134	139	99.6	100	99.3
6	517	519	741	65	134	144	99.8	99.8	99.9
7	489	502	740	65	132	143	99.7	100	99.2
8	497	474	770	64	134	145	99.4	100	99.8
9	564	537	940	66	132	160	99.3	99.9	99.4
10	569	562	934	67	132	160	99.1	99.5	99.8
AVG	494.7	479.7	757.9	65.2	133.1	145.5	99.6	99.9	99.5
Std.Dev	43.5	48.8	101.6	0.9	1.2	7.9	0.3	0.2	0.3
1A vs 2A vs 7F	p=0.00			p=0.00			P=0.00		

는 VMAT보다 조금 낮았다. R50%는 2A-VMAT에서 3.054로 가장 낮았고 1A-VMAT에서 3.083, 7F-IMRT에서 3.991로 가장 높은 결과를 보였다. (table 1)

IMRT에서 gamma pass rate(2 mm, 2%)은 각각 99.6%, 99.9%, 99.5%로 모든 치료계획에서 99.5% 이상이였다. (table 2)

## 2. 결정장기

치료계획에 따른 직장의 D25% 비교 결과, 1A-VMAT은 5383.4 cGy로 2A-VMAT의 5427.0 cGy 보다 0.8% 감소하였고 7F-IMRT의 경우 5800.0 cGy로 2A-VMAT 기준 6.9% 증가하였으며 방광의 평균선량은 모든 치료계획에서 비슷하였다. (table 1)

## 3. 치료효율성

조사시간은 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT가 각각 65.2 초, 133.1초 145.5초로 1A-VMAT이 가장 짧았다. total MU 는 2A-VMAT이 479.7 MU로 가장 적었고 7F-IMRT가 757.9 MU로 가장 많았으며, 1A-VMAT는 494.7 MU였다. (table 2)

## 4. 선량검증

portal dosimetry 검증결과 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-

## 결론

전립선암 환자의 방사선 치료계획을 수립하는데 있어서 치료기법의 선택은 결정장기 및 주변 정상조직의 선량에 영향을 미친다. 본 연구에서 수립된 치료계획을 비교한 결과 PTV coverage의 차이는 3% 이내였고, HI와 CI에서도 VMAT과 IMRT 사이의 큰 차이는 나타나지 않았다.(figure 2) 하지만 PTV 주변 정상조직의 선량퍼짐정도를 나타낸 R50%에서는 2A-VMAT이 가장 낮았고 모든 환자에서 7F-IMRT의 R50%가 가장 높게 나타났다.(figure 3) 이는 VMAT의 360도 회전조사와 달리 IMRT는 제한된 방향에서 beam이 조사되기 때문에 국소적인 정상조직에 선량이 집중된 결과 50% 등선량곡선이 상대적으로 넓게 분포된 것으로 볼 수 있다.

앞서 IMRT와 VMAT의 선량분포를 비교하기위해 진행된 많은 연구에서는 VMAT의target coverage가 더 좋지만 직장선량 또한 높다는 결과를 얻었다.<sup>13-15)</sup> 하지만 위 연구들은

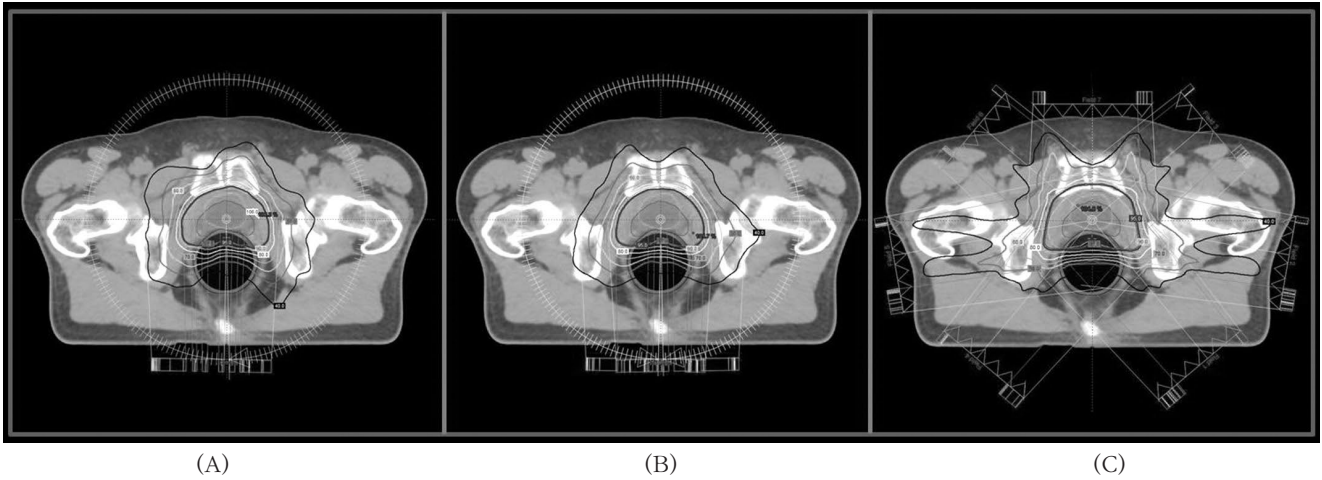


Fig 1. Beam orientations for three plans. (A) is 1 full arc VMAT , (B) is 2 full arc VMAT and (c) is 7-fields IMRT(0 ° , 50 ° , 100 ° , 140 ° , 220 ° , 260 ° , 310 ° )

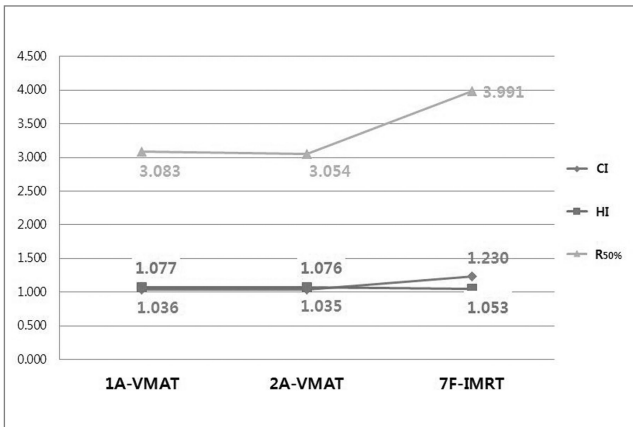


Fig 2. CI, HI and R50% averages of 10 patients for 1A-VMAT, 2A-VMAT and 7F-IMRT

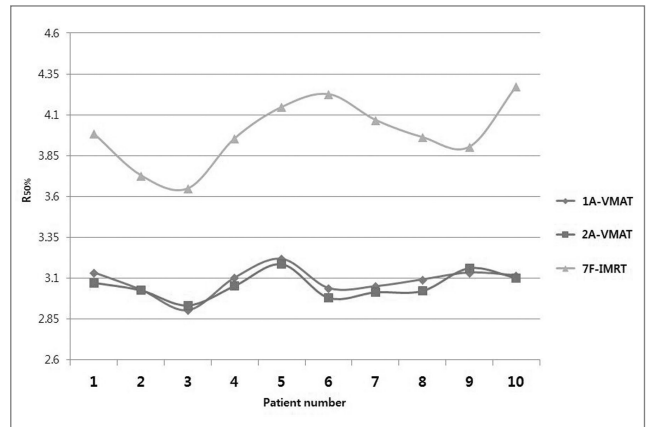


Fig 3. R50% results of 10 patients for 1A-VMAT, 2A-VMAT and 7F-IMRT

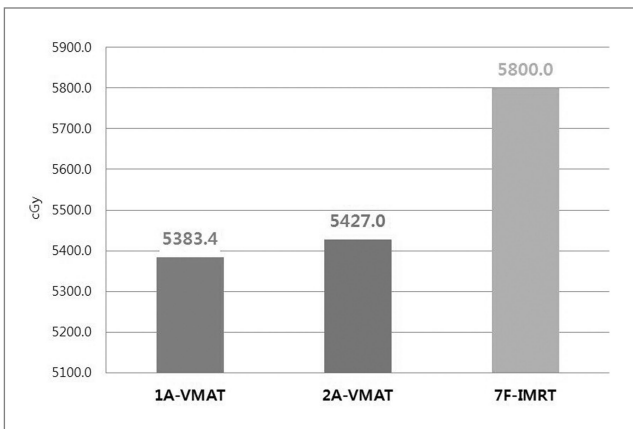


Fig 4. Rectum D25% averages for 1A-VMAT, 2A-VMAT and 7F-IMRT

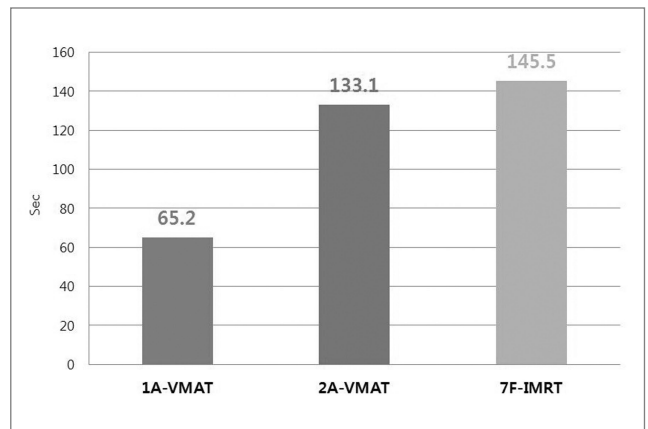


Fig 5. Delivery time averages for 1A-VMAT, 2A-VMAT and 7F-IMRT



모두 직장풍선을 삽입하지 않은 환자들을 대상으로 진행된 연구 결과이며, 직장풍선의 삽입은 두 치료기법간의 직장선량차이에 영향을 줄 수 있다. 실제로 직장풍선을 삽입한 본 연구에서는 직장의 D<sub>25%</sub>가 VMAT에 비해 7F-IMRT에서 약 7% 더 높았다.(figure 4) 이는 직장풍선에 의해 CTV와 직장 앞쪽 벽의 경계면이 오목해졌기 때문에 제한된 beam 각도를 사용하는 IMRT에서 상대적으로 D<sub>25%</sub>가 더 높게 나타난 것으로 보여진다.

치료시간이 길면 환자의 치료 중 움직임(intra-fractional motion)이 발생할 수 있는 확률이 증가하여 치료의 정확성에 영향을 미칠 수 있는데, 전립선암 환자의 치료 중 움직임을 분석한 연구에 따르면 30초가 경과하였을 때 2 mm 이상 움직일 확률은 5%였지만 60초, 90초, 120초로 늘어날수록 8%, 11%, 14%로 증가한다.<sup>16)</sup> 또한 total MU가 증가하면 누설선량과 산란선량에 의해 2차암 발생확률이 증가한다는 점을 고려할 때<sup>17)</sup> 비슷한 plan quality를 나타낸다면, MU는 적을수록 좋다.

본 연구에서 조사시간의 평균은 1A-VMAT 65.2초, 2A-VMAT 133.1초, 7F-IMRT 145.5초로 1A가 다른 두 치료계획에 비해 확연히 짧은 것으로 나타났다.(figure 5) 하지만 이는 Truebeam STx의 automation기능을 적용한 결과로 만약 automation기능이 없는 장비로 비교한다면 그 차이는 더 커질 것이다. 실제로 VMAT과 IMRT의 조사시간을 비교한 다른 연구에서는 21EX로 1A-VMAT과 7F-IMRT를 비교하여 각각 91초, 292초로 약 3배의 차이를 보여주었다.<sup>18)</sup> total MU에서도 IMRT가 VMAT 보다 약 280 MU 높은 결과가 나타났다.

결론적으로 직장풍선을 삽입한 전립선암 환자의 수술 후 방사선치료 시 치료기법에 따른 PTV coverage의 차이는 크지 않았지만 1A, 2A-VMAT이 7F-IMRT에 비해 정상조직과 직장선량을 낮추는데 효과적이었다. VMAT중에서는 R<sub>50%</sub>와 MU값이 2A-VMAT에서 다소 낮았지만 조사시간이 짧은 1A-VMAT이 치료에 더 효율적이며 환자의 치료 중 움직임 또한 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Thompson IM, Tangen CM, Paradelo J, et al : Adjuvant radiotherapy for pathological T3N0M0 prostate cancer significantly reduces risk of metastases and improves

survival : long-term followup of a randomized clinical trial. J Urol. 2009;181:956-962

2. Thompson IM, Tangen CM, Paradelo J, et al : Adjuvant radiotherapy for pathologically advanced prostate cancer: a randomized clinical trial. JAMA 2006;296:2329-2335

3. Swanson GP, Goldman B, Tangen CM, et al : The prognostic impact of seminal vesicle involvement found at prostatectomy and the effects of adjuvant radiation: data from Southwest Oncology Group 8794. J Urol. 2008;180:2453-2457; discussion 2458.

4. Michael J Zelefsky, Steven A Leibel, Paul B Gaudin, et al : Dose escalation with three-dimensional conformal radiation therapy affects the outcome in prostate cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1998;41(3):491-500

5. Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group : Intensity modulated radiotherapy : Current status and issues of interest. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001;51:880-917

6. Ling CC, Burma C, Cui CS, et al : Conformal radiation treatment of prostate cancer using inversely-planned intensity-modulated photon beams produced with dynamic multileaf collimation. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1996;32:721-730

7. 안용찬 : 세기조절 방사선치료 기술의 소개. J Korean Med Assoc. 2011;54:1172-1178

8. Hall EJ : Intensity-modulated arc therapy, protons, and the risk of second cancers. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2006;65:1-7

9. 박혜진, 김미화, 전미선 외 2인 : 아주대학교병원에서의 전립선암에 대한 래피드아크 치료. 의학물리. 2010;2:183-191

10. A. Fogliata, A. Clivio et al : Intensity modulation with photons for benign intracranial tumours: A planning comparison of volumetric single arc, helical arc and fixed gantry techniques. Radiother Oncol. 2009;89:254-262

11. T-F. Lee, H-M. Ting et al : Dual Arc Volumetric-modulated Arc Radiotherapy(VMAT) of Nasopharyngeal Carcinomas: A Simultaneous Integrated Boost Treatment Plan Comparison with Intensity-modulated

- Radiotherapies and Single Arc VMAT. *Clinical Oncology*. 2012;24:196-207
12. D. Palma, E. Vollans, et al : Volumetric Modulated Arc Therapy for delivery of prostate Radiotherapy: Comparison with Intensity-Modulated Radiotherapy and Three-Dimensional Conformal Radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2008;72:996-1001
  13. S. Yoo, Q. Jackie Wu, et al : Radiotherapy Treatment plans with Rapidarc for prostate cancer involving seminal vesicles and lymph nodes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;76:935-942
  14. Dirk Wolff, Florian Stieler, Grit Welzel et al : Volumetric modulated arc therapy(VMAT) vs. serial tomotherapy, step-and-shoot IMRT and 3D-conformal RT for treatment of prostate cancer. *Radiother Oncol*. 2009;93:226-233
  15. Matthias Guckenberger, Anne Richter, Thomas Krieger et al : Is a single arc sufficient in volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for complex-shaped target volumes?. *Radiother Oncol*. 2009;93:259-265
  16. Yaoqin Xie, David Djajaputra, Christopher R. King et al : Intrafractional motion of the prostate during hypofractionated radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2008;72:236-246
  17. Stephen F. Kry, Mohammad Salehpour, David S. Followill et al : The calculated risk of fatal secondary malignancies from intensity-modulated radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2005;62:1195-1203
  18. Nicholas Hardcastle, Wolfgang A. Tome, Kerwin Foo et al : Comparison of prostate imrt and vmat biologically optimised treatment plans. *Medical Dosimetry*. 2010;36:292-298

---

Abstract

## Comparison and evaluation of volumetric modulated arc therapy and intensity modulated radiation therapy plans for postoperative radiation therapy of prostate cancer patient using a rectal balloon

Department of Radiation Oncology, Seoul national university bundang hospital, Gyeonggi-do, Korea

Jung hae youn, Seok jin yong, Hong joo wan, Chang nam jun, Choi byeong don, Park jin hong

---

**Purpose** : The dose distribution of organ at risk (OAR) and normal tissue is affected by treatment technique in postoperative radiation therapy for prostate cancer. The aim of this study was to compare dose distribution characteristic and to evaluate treatment efficiency by devising VMAT plans according to applying differed number of arc and IMRT plan for postoperative patient of prostate cancer radiation therapy using a rectal balloon.

**Materials and Methods** : Ten patients who received postoperative prostate radiation therapy in our hospital were compared. CT images of patients who inserted rectal balloon were acquired with 3 mm thickness and 10 MV energy of HD120MLC equipped Truebeam STx (Varian, Palo Alto, USA) was applied by using Eclipse (Version 11.0, Varian, Palo Alto, USA). 1 Arc, 2 Arc VMAT plans and 7-field IMRT plan were devised for each patient and same values were applied for dose volume constraint and plan normalization. To evaluate these plans, PTV coverage, conformity index (CI) and homogeneity index (HI) were compared and  $R_{50\%}$  was calculated to assess low dose spillage as per treatment plan.  $D_{25\%}$  of rectum and bladder  $D_{mean}$  were compared on OAR. And to evaluate the treatment efficiency, total monitor units(MU) and delivery time were considered. Each assessed result was analyzed by average value of 10 patients. Additionally, portal dosimetry was carried out for accuracy verification of beam delivery.

**Results** : There was no significant difference on PTV coverage and HI among 3 plans. Especially CI and  $R_{50\%}$  on 7F-IMRT were the highest as 1.230, 3.991 respectively( $p=0.00$ ). Rectum  $D_{25\%}$  was similar between 1A-VMAT and 2A-VMAT. But approximately 7% higher value was observed on 7F-IMRT compare to the others( $p=0.02$ ) and bladder  $D_{mean}$  were similar among the all plan( $P>0.05$ ). Total MU were 494.7, 479.7, 757.9 respectively( $P=0.00$ ) for 1A-VMAT, 2A-VMAT, 7F-IMRT and at the most on 7F-IMRT. The delivery time were 65.2sec, 133.1sec, 145.5sec respectively( $p=0.00$ ). The obvious shortest time was observed on 1A-VMAT. All plans indicated over 99.5%( $p=0.00$ ) of gamma pass rate (2 mm, 2%) in portal dosimetry quality assurance.

**Conclusion** : As a result of study, postoperative prostate cancer radiation therapy for patient using a rectal balloon, there was no significant difference of PTV coverage but 1A-VMAT and 2A-VMAT were more efficient for dose reduction of normal tissue and OARs. Between VMAT plans,  $R_{50\%}$  and MU were little lower in 2A-VMAT but 1A-VMAT has the shortest delivery time. So it is regarded to be an effective plan and it can reduce intra-fractional motion of patient also.

---

**Keyword** : Prostate cancer, Postoperative radiation therapy, Rectal balloon, VMAT, IMRT