

골반 림프선을 포함한 전립선암 치료 시 Split VMAT plan의 유용성 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

문준기 · 손상준 · 김대호 · 서석진

목 적 : 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료 시 기존 치료방법인 직장 전체를 윤곽 그리기한 2회전 치료계획(이하 Conventional VMAT plan)과 직장의 선량을 낮추기 위하여 상부와 하부로 나누어 윤곽 그리기한 2회전 치료계획(이하 Split VMAT plan)의 유용성을 비교, 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 본원에서 TrueBeam STX(Varian Medical Systems, USA)를 이용하여, Split VMAT plan으로 방사선치료를 받은 전립선암 환자 9명을 대상으로 하였다. 전산화치료계획은 Eclipse(Ver 10.0.42, Varian, USA), PRO3(Progressive Resolution Optimizer 10.0.28), AAA(Anisotropic Analytic Algorithm Ver 10.0.28) 알고리즘을 사용하였다.

전립선 PTV의 Superior 방향으로 1 cm부터 Inferior방향으로 1 cm까지를 하부 직장으로, 전체 직장에서 직장 하부를 제외한 부분을 상부 직장으로 윤곽 그리기(Contouring) 하였다. 치료계획은 콜리메이터 각도 30°, 330°, 겐트리 회전반경이 각각 360°인 두 개의 ARC, 10MV를 이용하였다. 처방 선량은 28회에 걸쳐 동시 추가 분할 선량법(Simultaneous Integrated Boost, SIB)으로 전립선에 총 선량이 각각 63~70 Gy, 골반 림프선에 총 선량이 50.4 Gy가 되도록 하였다. Split VMAT plan을 통해 도출된 전체 직장의 D_{mean}를 Conventional VMAT plan에서 전체 직장의 선량용적제한 값으로 설정하여 Conventional VMAT plan을 수립하였고, 그 외에 모든 조건은 동일하게 설정하였다. 모든 치료계획은 최적화 과정에서 나타나는 선량 차이의 무작위성을 최소화하기 위하여 각각 2회의 최적화와 선량 계산 과정을 거쳤으며 전립선 PTV100% = 90% 또는 95%로 Normalize 하였다.

전체 · 상부 · 하부 직장의 평균선량, 방광의 평균선량, 상부 직장의 V_{50%}, 각 치료 계획의 Total MU, 그리고 PTV의 H.I.(Homogeneity Index), C.I.(Conformity Index)를 평가 지표로 설정하였고, 전자영상유도장치를 이용하여 임상 적용 가능 여부 확인을 위한 IMRT verification QA (Gamma test)를 실시하였다.

결 과 : 두 치료계획의 평균선량을 비교한 결과 전체 직장은 최대 134.4 cGy, 최소 43.5 cGy, 평균 75.6 cGy로, 하부 직장은 최대 100.5 cGy, 최소 -34.6 cGy, 평균 34.3 cGy로, 상부 직장은 최대 1113.5 cGy, 최소 87.2 cGy, 평균 550.5 cGy로, 방광은 최대 271 cGy, 최소 55.5 cGy, 평균 117.8 cGy로 모두 Split VMAT plan이 낮은 값을 보였다. 상부 직장의 V_{50%}도 최대 63.4%, 최소 3.2%, 평균 23.2%로 Split VMAT plan이 낮은 것으로 나타났다. Total MU는 Split VMAT plan이 최대 148, 최소 7로, 평균 77 더 많이 사용하는 것으로 나타났다. PTV에 대한 H.I.와 C.I.는 두 치료계획 모두 서로 비슷한 결과를 나타냈다. Split VMAT plan에 대한 IMRT verification QA 결과 2 mm / 2%, Gamma pass rate 90.0% 기준을 모두 통과하였다.

결 론 : 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료 시 Split VMAT plan은 Conventional VMAT plan과 비교하여 대부분의 평가지표에서 유리한 것으로 나타났으며 치료효율을 높이면서 특히 상부 직장 선량을 감소시켜 전체 직장 선량을 낮추는데 탁월한 효과를 나타냈기 때문에 이를 적용시켜 방사선 치료효과를 높이는 것이 중요할 것이라 사료된다.

핵심용어 : 영상유도방사선치료, 영상선량, 유리선량계, CBDI(Cone Beam Dose Index)

서 론

전립선암(Prostate cancer)은 전 세계적으로 남성암 중 두 번째로 발생빈도가 높은 암이다. 선진국에서 주로 발병하는

전립선암은 최근 국내에서도 발병이 증가하고 있다. 2000년에서 2010년까지 국내 전립선암 발병률은 연평균 16.7% 증가하였고, 전체 암 발병의 3.8%를 차지하여 남성암 발병률 5위에 위치해 있다.¹⁾

본 논문은 2015년 11월 20일 접수하여 2015년 12월 14일 채택되었음.

책임저자 : 문준기, 서울대학교병원 방사선종양학과

서울시 중로구 연건동 28번지

Tel : 02)2072-4956

E-mail : masteroid87@nate.com

전립선암의 외부 방사선 치료(External Beam Radiation Therapy, EBRT)는 전립선암을 생화학적으로 통제하고 환자 삶의 질을 향상시키는 대표적인 치료방법으로 알려져 있

다.³⁾ 외부 방사선 치료는 원격전이가 없는 경우 병기에 관계없이 완치 목적으로 사용되며, 이 경우 중·고등도 위험 인자를 가진 환자에게 호르몬 치료와 병행되기도 한다. 그리고 수술 후 조직병리상 재발의 고위험 인자를 가진 환자나 전립선암 수술 후 추적 관찰 중에 전립선특이항원(Prostate Specific Antigen, PSA) 수치가 올라가거나 국소 재발이 발견된 경우에도 구제 목적으로 시행된다.³⁾

세기 변조 방사선 치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, 이하 IMRT)는 3차원 방사선 치료보다 정상조직에 방사선 부작용을 줄이고 전립선에 많은 선량을 전달할 수 있어 전립선암의 방사선 치료에 보편적으로 사용되어 왔다.^{4,8)} 하지만 최근 장비와 치료기술의 발달로 인해 용적 변조 방사선 치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, 이하 VMAT)가 많이 사용되고 있다. VMAT는 IMRT보다 치료 시간을 최대 55% 감소시켜 치료 중 움직임에 따른 오차를 최소화 할 수 있으며, Monitor Unit(이하 MU)을 감소시켜 누설선량과 산란선량을 줄일 수 있기 때문에 2차 암 발생 위험도 낮출 수 있다.⁹⁻¹¹⁾

전립선암의 방사선 치료 시 치료 계획용 용적(Planning Target Volume, 이하 PTV)의 범위에 따라 VMAT와 IMRT를 비교한 연구결과가 발표되고 있다. 이 연구에 따르면 PTV가 전립선과 정낭(Seminal vesicles)을 포함하면 VMAT

가 IMRT보다 MU와 치료시간을 감소시키면서 좋은 선량분포를 보였다.^{8,12-11)} 하지만 PTV가 전립선과 정낭을 비롯하여 골반 림프선(Pelvic lymph node)까지 포함한 경우 VMAT가 IMRT보다 주변 결정장기(Organs At Risk, 이하 OAR)인 직장(Rectum)의 선량을 증가시키는 것으로 나타났다.^{5,6)} 따라서 PTV 범위가 골반 림프선까지 확장된 경우 반드시 VMAT와 IMRT의 장, 단점을 비교한 후 신중하게 치료기법을 선택해야 한다고 보고되고 있다.¹⁵⁾

VMAT를 이용하면서 직장 선량을 감소시키기 위하여 골반 림프선과 직장 상부의 해부학적 위치 관계와 선량분포를 살펴본 결과, 직장 상부의 선량을 독립적으로 제어할 수 있다면 직장 선량을 더욱 감소시킬 수 있을 것이라 판단하였다. (Fig. 1.) 그러나 직장 전체를 윤곽 그리기(Contouring)한 기존의 VMAT 치료계획으로는 선량체적곡선(Dose Volume Histogram, DVH)을 이용한 최적화(Optimization) 과정에서 위치정보가 없는 직장 상부의 선량을 낮추는데 어려움이 있었다. 따라서 직장 전체를 상부(골반 림프선 부분)와 하부(전립선과 접하는 부분)로 나누어 윤곽 그리기를 진행하였으며, 최적화 과정에서 직장 상부에 독립적으로 선량용적제한(Dose Volume Constraint, DVC) 값을 설정하여 직장 상부의 선량을 집중적으로 낮추는 치료계획을 세웠다.

이에 본 논문에서는 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료



Fig 1. Anatomic relationship with the pelvic lymph nodes and upper rectum.



Fig 2. There are structures that showing prostate, pelvic lymph nodes and rectum divided into an upper and a lower.

시 직장 전체를 윤곽 그리기한 2회전 치료계획(이하 Conventional VMAT plan)과 직장의 선량을 낮추기 위하여 상부와 하부로 나누어 윤곽 그리기한 2회전 치료계획(이하 Split VMAT plan)의 유용성을 비교, 평가하고자 한다.

대상 및 방법

본원에서 TrueBeam STX (Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 정낭, 골반 림프선을 포함하여 방사선치료를 받은 전립선암 환자 9명을 대상으로 하였다. 전산화치료계획은 Eclipse(Ver 10.0.42, Varian, USA)를 이용하였으며, 선량계산을 위해 PRO3(Progressive Resolution Optimizer 10.0.28), AAA(Anisotropic Analytic Algorithm Ver 10.0.28) 알고리즘을 사용하였다.

윤곽 그리기는 RTOG(Radiation Therapy Oncology Group) [0534] 기준에 따라 진행하였으며¹⁶⁾ 직장구불결장 굴곡(Rectosigmoid flexure)부터 항문(Anus)까지를 전체 직장(Whole rectum)으로 하였다. 그리고 Split VMAT plan을 위하여 전립선 PTV의 Superior 방향으로 1 cm부터 Inferior방향으로 1 cm까지를 하부 직장(Lower rectum)으로 하였고, 전체 직장에서 직장 하부를 제외한 부분을 상부 직장(Upper rectum)으로 윤곽 그리기 하였다. (Fig. 2.) 주변 장기의 선량평가를 위하여 방광(Bladder)도 윤곽을 나타내었다.

치료계획의 동등한 비교를 위하여 Split VMAT plan을 우선적으로 시행하였다. 누설선량을 감소시키기 위하여 콜리

메이터 각도는 30°, 330°로 설정하였고, 겐트리 회전반경이 각각 360°인 두 개의 ARC와 에너지 10MV를 이용하여 치료계획을 수립하였다. 처방선량은 28회에 걸쳐 동시 추가 분할 선량법(Simultaneous Integrated Boost, SIB)으로 전립선에 총 선량이 각각 63~70 Gy, 골반 림프선에 총 선량이 50.4 Gy가 되도록 하였다. Split VMAT plan을 통해 도출된 전체 직장의 Dmean를 Conventional VMAT plan에서 전체 직장의 선량용적제한 값으로 설정하여 Conventional VMAT plan을 수립하였고, 그 외에 모든 조건은 동일하게 설정하였다. 최적화 과정에서 나타나는 선량 차이의 무작위성¹⁷⁾을 최소화하기 위하여 각각 2회의 최적화와 선량 계산 과정을 거쳤으며 전립선 PTV100% = 90% 또는 95%로 Normalize 하였다.

치료계획의 평가를 위하여 전체·상부·하부 직장의 평균선량, 방광의 평균선량, 그리고 처방선량의 50% 이상이 조사되는 상부 직장의 체적적인 V_{50%}를 산출하였다. 그리고 각 치료 계획의 Total MU와 PTV에 대한 균질성과 선량포함을 나타내는 선량균질지수(Homogeneity Index, 이하 H.I.) [식1], 처방선량지수(Conformity Index, 이하 C.I.) [식2]를 비교하였다. 또한 치료 계획의 임상 적용 가능 여부 확인을 위한 IMRT verification QA(Gamma test)를 실시하였다. QA는 전자영상유도장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 Portal dosimetry를 진행하였으며 2 mm / 2%, pass rate 90% 이상을 통과 기준으로 설정하였다.

$$H.I. = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [식 1]}$$

D5% : Target 용적 5%의 선량

D95% : Target 용적 95%의 선량

$$C.I. = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \text{ ----- [식 2]}$$

V95% : 치방선량의 95%가 조사되는 체적

VPTV : PTV의 체적

결 과

전체 직장 평균선량에 대한 두 치료계획 차이는 최대 134.4 cGy, 최소 43.5 cGy로, Split VMAT plan이 평균 75.6 cGy 낮은 값을 보였다. (Table 1, Fig. 3.)

하부 직장 평균선량에 대한 두 치료계획 차이는 최대 100.5 cGy, 최소 -34.6 cGy로, Split VMAT plan이 평균 34.3 cGy 낮은 것으로 나타났으며, 상부 직장 평균선량도 최대 1113.5 cGy, 최소 87.2 cGy로, Split VMAT plan이 평균 550.5 cGy 낮은 값을 보였다. 그리고 상부 직장의 V50%는 최대 63.4%, 최소 3.2%로, Split VMAT plan이 평균 23.2% 낮은 것으로 나타났다. (Table 2, Fig. 4, Fig. 5.)

방광 평균선량에 대한 두 치료계획 차이는 최대 271 cGy, 최소 -55.5 cGy로, Split VMAT plan이 평균 117.8 cGy 낮은 것으로 나타났다. (Table 3, Fig. 6.)

Total MU는 Split VMAT plan이 최대 148 MU, 최소 7 MU로, 평균 77 MU 더 많이 사용하는 것으로 나타났다. (Table 4.)

PTV에 대한 균질성을 나타내는 H.I.의 두 치료계획 차이는 전립선과 골반 림프선에서 모두 최대 0.01, 최소 0, 평균 0으로 서로 비슷한 결과를 나타냈다. (Table 5.)

PTV에 대한 선량포함을 나타내는 C.I.의 두 치료계획 차

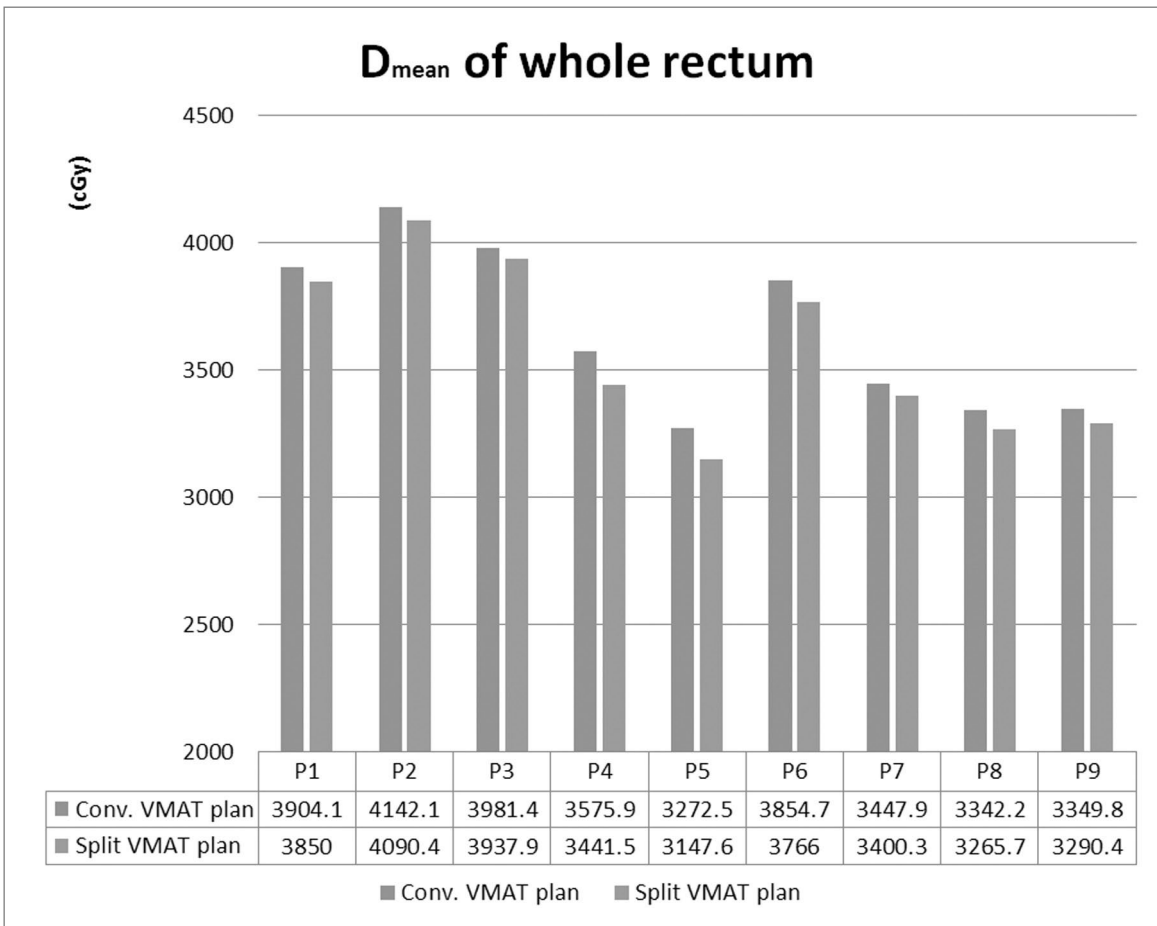


Fig 3. Comparison of Dmean of whole rectum.

Table 1. Comparison of Dmean of whole rectum (Unit in cGy)

| | Whole rectum | | Difference |
|------|------------------------|-----------------|------------|
| | Conventional VMAT plan | Split VMAT plan | |
| P1 | 3904.1 | 3850.0 | 54.1 |
| P2 | 4142.1 | 4090.4 | 51.7 |
| P3 | 3981.4 | 3937.9 | 43.5 |
| P4 | 3575.9 | 3441.5 | 134.4 |
| P5 | 3272.5 | 3147.6 | 124.9 |
| P6 | 3854.7 | 3766.0 | 88.7 |
| P7 | 3447.9 | 3400.3 | 47.6 |
| P8 | 3342.2 | 3265.7 | 76.5 |
| P9 | 3349.8 | 3290.4 | 59.4 |
| Mean | | | 75.6 |

Table 2. Comparison of Dmean of lower rectum, Dmean & V50% of upper rectum.

| | Dmean of lower rectum (Unit in cGy) | | | Dmean of upper rectum (Unit in cGy) | | | V50% of upper rectum (Unit in %) | | |
|------|--|--------|-------|--|--------|--------|-------------------------------------|-------|-------|
| | Conv. | Split | Diff. | Conv. | Split | Diff. | Conv. | Split | Diff. |
| P1 | 3895.3 | 3873.1 | 22.2 | 4048.1 | 3960.9 | 87.2 | 77.3 | 71.0 | 6.3 |
| P2 | 4521.5 | 4467.9 | 53.6 | 4172.1 | 3633.5 | 538.6 | 80.3 | 52.6 | 27.7 |
| P3 | 3861.3 | 3895.9 | -34.6 | 4417.9 | 3410.9 | 1007.0 | 98.9 | 40.3 | 58.6 |
| P4 | 3651.7 | 3609 | 42.7 | 2701.9 | 1613.3 | 1088.6 | 28.0 | 0.7 | 27.3 |
| P5 | 3569.6 | 3548.4 | 21.2 | 2703.0 | 2199.0 | 504.0 | 19.9 | 8.5 | 11.4 |
| P6 | 3940.9 | 3879.6 | 61.3 | 4174.4 | 3060.9 | 1113.5 | 99.4 | 36.0 | 63.4 |
| P7 | 3863.9 | 3847.6 | 16.3 | 3295.0 | 3174.6 | 120.4 | 42.8 | 38.2 | 4.6 |
| P8 | 3759.4 | 3734.3 | 25.1 | 2727.3 | 2464.6 | 262.7 | 25.3 | 22.1 | 3.2 |
| P9 | 3745.5 | 3645.0 | 100.5 | 2835.4 | 2602.6 | 232.8 | 22.3 | 15.8 | 6.5 |
| Mean | | | 34.3 | | | 550.5 | | | 23.2 |

※ Conv. = Conventional, Diff. = difference.

Table 3. Comparison of Dmean of bladder (Unit in cGy)

| | Conventional VMAT plan | Split VMAT plan | Difference |
|------|------------------------|-----------------|------------|
| P1 | 4739.9 | 4620.3 | 119.6 |
| P2 | 4671.5 | 4727.0 | -55.5 |
| P3 | 5105.8 | 5138.9 | -33.1 |
| P4 | 4980.5 | 4751.3 | 229.2 |
| P5 | 4360.8 | 4274.0 | 86.8 |
| P6 | 4925.5 | 4774.6 | 150.9 |
| P7 | 4049.5 | 3778.5 | 271.0 |
| P8 | 4385.3 | 4363.1 | 22.2 |
| P9 | 4542.9 | 4274.1 | 268.8 |
| Mean | | | 117.8 |

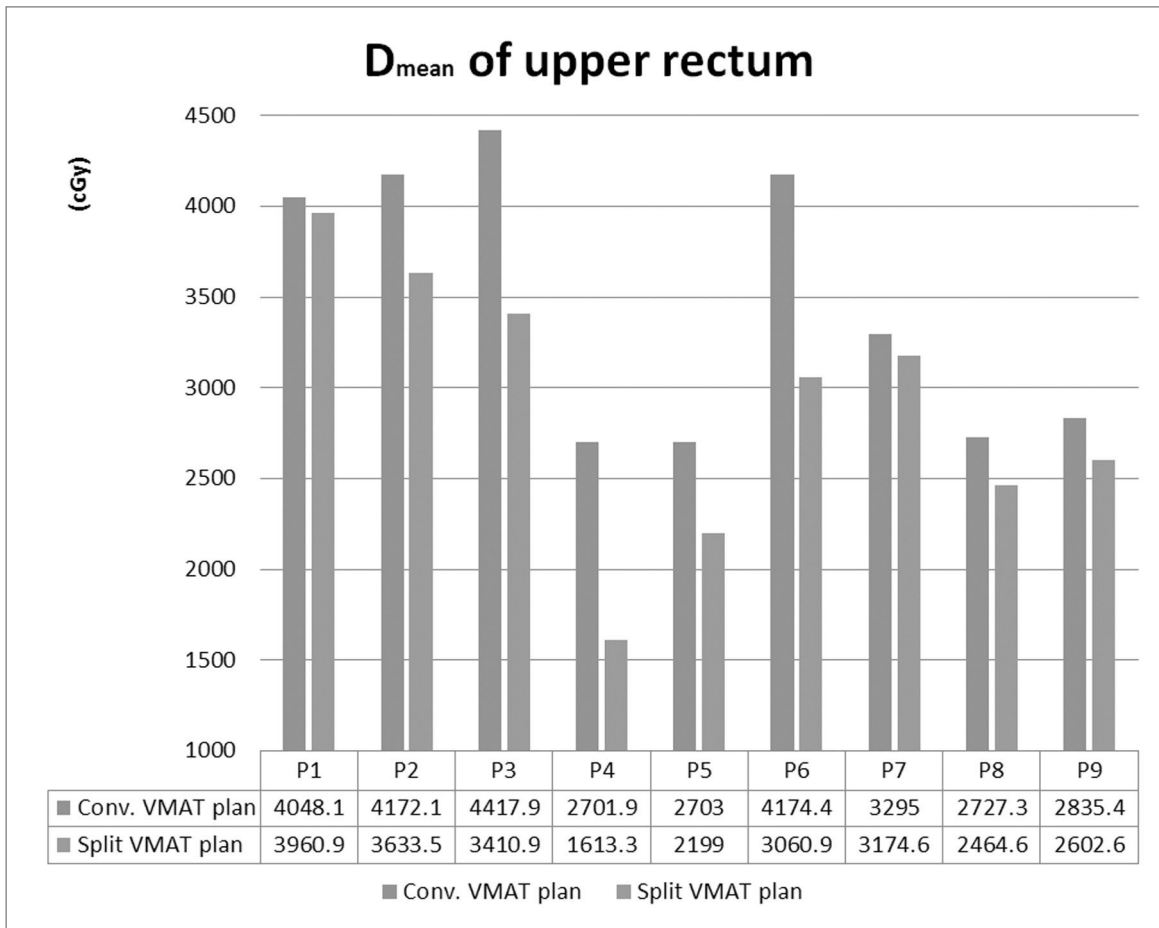


Fig 4. Comparison of Dmean of upper rectum.

이는 최대 2%, 최소 -4%로, Split VMAT plan이 평균적으로 1% 낮은 것으로 나타났다. (Table 6.)

Split VMAT plan에 대한 IMRT verification QA 결과 2 mm / 2%, Gamma pass rate 90.0% 기준을 모두 초과하여 통과하였다.(Table 7.)

결론 및 고찰

방사선 치료의 근본적인 목표는 종양조직에 최대한의 선량을 주고 주변 정상조직을 최대한 보호함으로써 부작용을 최소화하여 환자의 삶의 질을 향상시키는데 있다. 이를 위하여 종양조직에 처방선량을 증가시켜야 하지만 전립선은 OAR인 직장과 방광이 매우 인접해 있어 한계가 있었다. 최근 장비와 기술의 발달로 한계를 극복하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 직장 하부의 선량을 낮추기 위한 방법

으로 풍선을 사용하여 움직임 최소화하고 재현성을 높혀 직장 벽의 선량 한계를 극복하기 위한 연구도 있었으며, VMAT를 사용하여 PTV에 고선량을 집중시키면서 MU와 치료시간도 감소시켜 치료효율을 높이려는 연구도 있었다. 그러나 정낭, 골반 림프선을 포함한 경우 직장선량을 높일 수 있다는 단점이 있었다.^{5,6)}

본 논문에서는 정낭, 골반 림프선을 포함하여 방사선치료를 받는 전립선암 환자를 대상으로 VMAT를 이용하여 치료효율을 높임과 동시에 직장선량을 감소시키기 위하여 직장을 상?하부로 나누어 윤곽 그리기를 진행하였다. 이를 통하여 상부 직장의 선량을 감소시켜 전체 직장의 선량을 감소시키기 위하여 노력하였다. 그 결과 Split VMAT plan은 Conventional VMAT plan과 비교하여 PTV와 인접해 있는 하부 직장 선량은 크게 감소시키지 못하였지만, 상부 직장 선량을 감소시켜 전체 직장 선량을 낮추는데 탁월한 효과를 보였다. 그리고 주변의 OAR인 방광의 선량도 감소시키는

Table 4. Comparison of Total MU

| | Conventional VMAT plan | Split VMAT plan | Difference |
|------|------------------------|-----------------|------------|
| P1 | 450 | 479 | -29 |
| P2 | 549 | 596 | -47 |
| P3 | 506 | 513 | -7 |
| P4 | 593 | 730 | -137 |
| P5 | 582 | 730 | -148 |
| P6 | 584 | 674 | -90 |
| P7 | 606 | 729 | -123 |
| P8 | 567 | 628 | -61 |
| P9 | 588 | 642 | -54 |
| Mean | | | -77 |

결과를 나타냈다. H.I.와 C.I.는 두 치료계획이 큰 차이를 보이지 않았으나 Split VMAT plan이 미세하게 앞선 결과를 보였으며, Split VMAT plan에 대한 IMRT verification QA 결과로 선량전달에 문제가 없음을 확인하였고 임상 적용 가

능하다는 결론을 얻었다. (Fig. 7.)

그러나 Split VMAT plan이 모든 면에서 긍정적인 결과를 나타내진 않았다. Conventional VMAT plan과 비교하여 높은 C.I. 값을 나타낸 환자를 분석한 결과 방광과 골반 림프

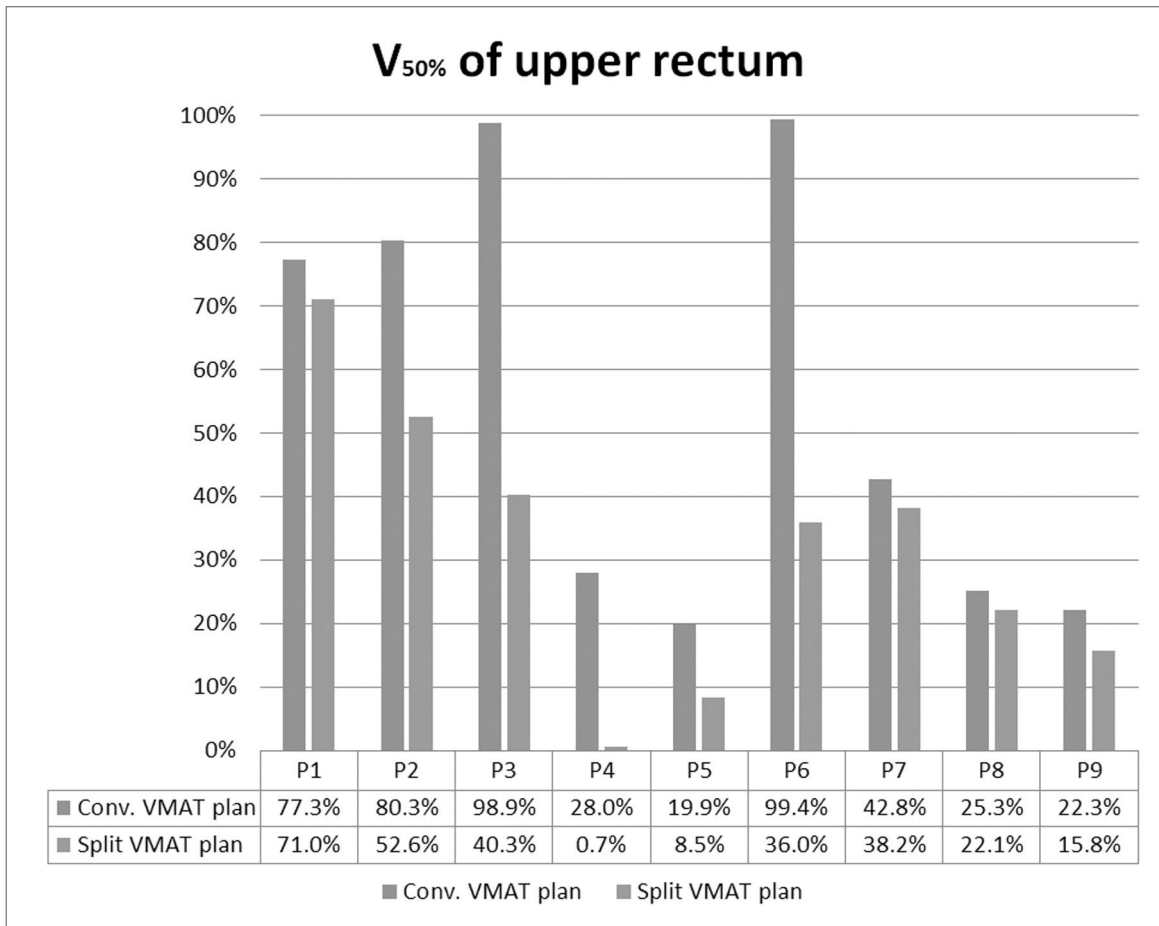


Fig 5. Comparison of V_{50%} of upper rectum.

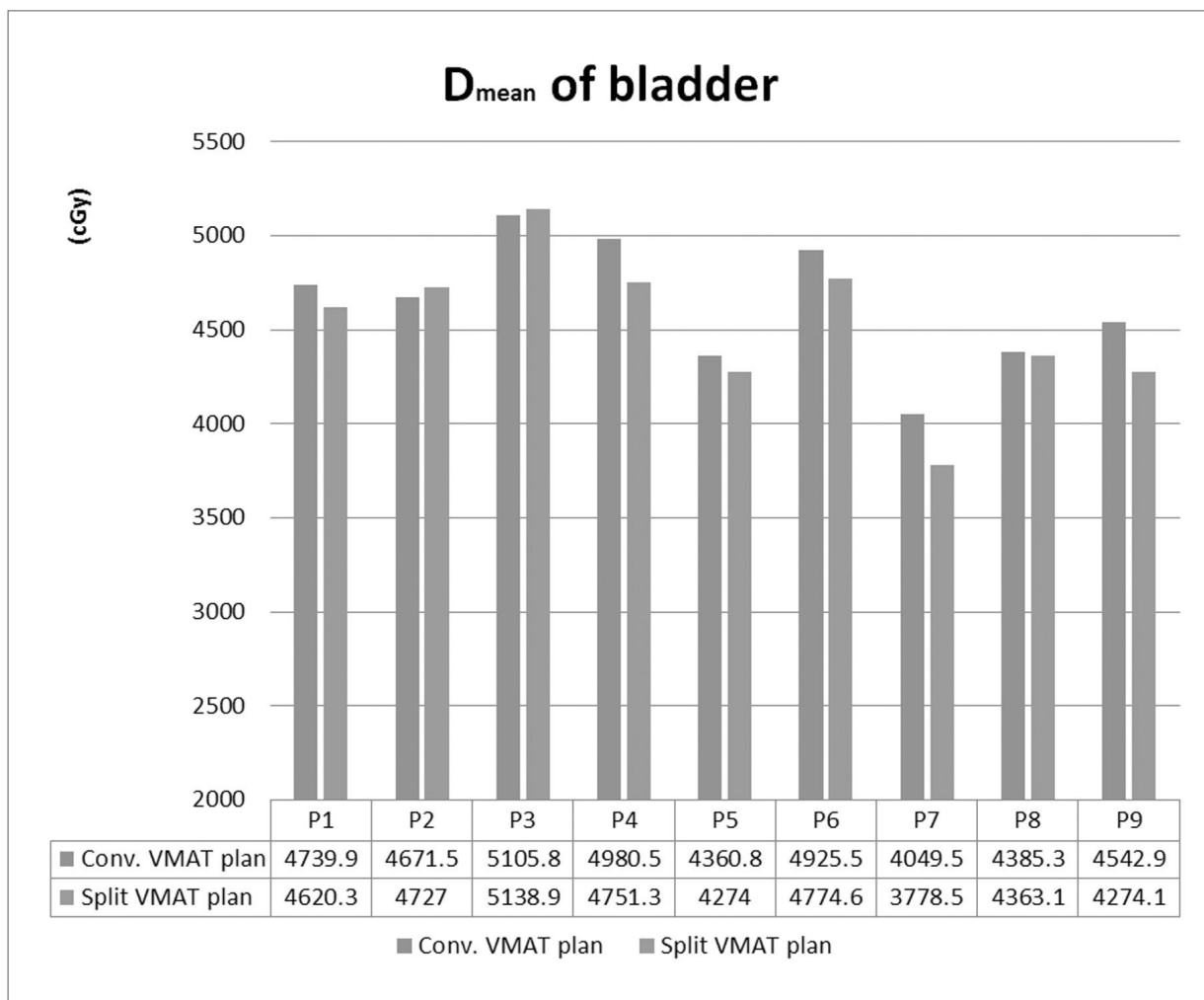
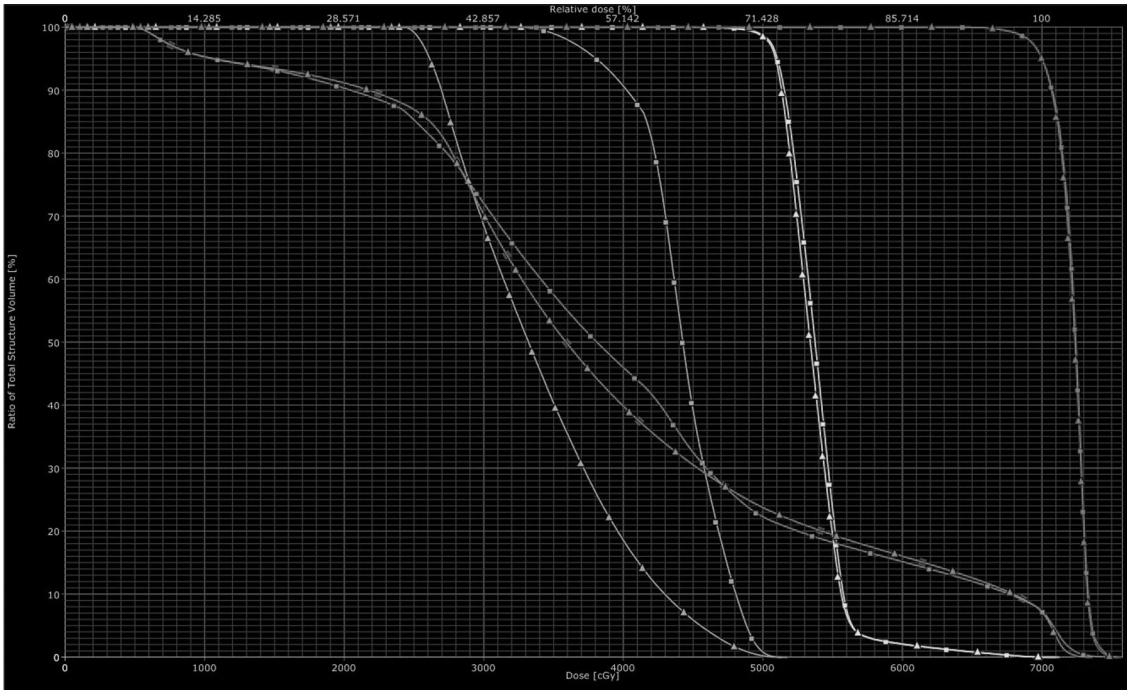


Fig 6. Comparison of Dmean of bladder.

Table 5. Comparison of H.I.

| | Prostate | | | Pelvic node | | |
|------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|
| | Conventional | Split | Difference | Conventional | Split | Difference |
| P1 | 1,05 | 1,05 | 0,01 | 1,08 | 1,08 | 0,00 |
| P2 | 1,08 | 1,07 | 0,00 | 1,13 | 1,12 | 0,01 |
| P3 | 1,05 | 1,05 | 0,00 | 1,11 | 1,11 | 0,00 |
| P4 | 1,05 | 1,05 | 0,00 | 1,13 | 1,13 | 0,00 |
| P5 | 1,05 | 1,05 | 0,00 | 1,09 | 1,09 | 0,00 |
| P6 | 1,08 | 1,08 | 0,00 | 1,04 | 1,03 | 0,01 |
| P7 | 1,06 | 1,06 | 0,00 | 1,15 | 1,15 | 0,00 |
| P8 | 1,06 | 1,05 | 0,00 | 1,14 | 1,13 | 0,00 |
| P9 | 1,08 | 1,06 | 0,01 | 1,10 | 1,10 | 0,00 |
| Mean | | | 0,00 | | | 0,00 |

Fig 7. There are differences in the DVH that comparing with Split VMAT plan and Conventional VMAT plan.



*Split VMAT plan : ▲Prostate, ▲Pelvic node, ▲Upper rectum, ▲Whole rectum

*Conventional VMAT plan : ■ Prostate, ■ Pelvic node, ■ Upper rectum, ■ Whole rectum

Table 6. Difference of C.I.

(Unit in ratio : %)

| *Difference of C.I. | |
|---------------------|----|
| P1 | -2 |
| P2 | 2 |
| P3 | 0 |
| P4 | 0 |
| P5 | -1 |
| P6 | -2 |
| P7 | -4 |
| P8 | 1 |
| P9 | -4 |
| Mean | -1 |

Table 7. Gamma pass rate of Split VMAT plan

(Unit in ratio : %)

| Split VMAT plan | |
|-----------------|------|
| P1 | 96.3 |
| P2 | 92.4 |
| P3 | 96.7 |
| P4 | 98.7 |
| P5 | 96.6 |
| P6 | 99.1 |
| P7 | 99.1 |
| P8 | 95.8 |
| P9 | 98.4 |

(2 mm / 2% criteria)

Difference(%)=100(C.I.Split-C.I.Conv.)/C.I.Split. , Lower is better.

선이 접하는 곳에서는 균등한 선량분포를 얻지 못하였다. 그리고 Split VMAT plan이 Conventional VMAT plan보다 Total MU가 평균 12% 증가하는 것을 알 수 있었다. MU 증가가 누설선량과 산란선량에 의해 2차암 발생확률이 증가시킨다는 점을 고려할 때 비슷한 질의 치료계획이라면 MU

가 적을수록 좋다.¹⁸⁾ 그러나 VMAT가 IMRT와 비교하여 MU가 최소 32%, 최대 64% 감소하는 것을 고려한다면¹⁵⁾ Split VMAT plan의 MU 증가는 미미한 것으로 판단되어지며, MU는 증가하였지만 선량율도 증가하였기 때문에 치료시간에는 영향이 없었다. 그리고 MU를 제외한 부분에선 Split

VMAT plan이 더 좋은 결과를 나타냈다. 특히 직장선량을 크게 줄일 수 있다는 장점은 특정 부위의 불균등한 선량분포와 미미한 MU 증가와 비교하여 훨씬 큰 이점이라고 할 수 있다. 그러나 PTV가 전립선, 정낭만을 포함한 전립선암 치료 시 Split VMAT plan을 적용한 결과 Conventional VMAT plan과 비교하여 큰 개선점이 없었다는 점은 아쉬움으로 남는다.

이번 연구를 통하여 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료 시 직장을 상·하부로 나누어 윤곽 그리기한 VMAT 치료계획 (Split VMAT plan)이 치료효율을 높이면서 기존의 치료계획에 부수적으로 많은 작업 없이 PTV 선량분포를 개선하는 것을 확인 하였다. 특히 상부 직장 선량을 감소시켜 전체 직장 선량을 낮추는데 탁월한 효과를 나타냈기 때문에 이를 적용시켜 방사선 치료효과를 높이는 것이 중요할 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Jung KW, Won YJ, Kong HJ, Oh CM, Seo HG, Lee JS. Cancerstatistics in Korea: incidence, mortality, survival and prevalencein 2010. *Cancer Res Treat* 2013;45:1-14.
2. Zienman AL, Bae K, slater JD,et al. Randomized trial comparing conventional-dose with high-dose conformal radiation therapy in early stage adenocarcinoma of the prostate: long term result frome proton radiation oncology group/ American college of radiology 95-09. *J Clin Oncol* 2012;28:1106-1111.
3. Won park. Diagnosis and management of prostate cancer. *J Korean med assoc.* 2015;58(1):5-6
4. Zelefsky MJ, Fuks Z, Happersett L, et al. Clinical experience with intensity modulated radiation therapy (IMRT) in prostate cancer. *Radiother Oncol.* 2000;55:241-249.
5. Davidson MT, Blake SJ, Batchelar DL, Cheung P, Mah K. Assessing the role of volumetric modulated arc therapy (VMAT) relative to IMRT and helical tomotherapy in the management of localized, locally advanced, and post-operative prostate cancer. *Int J Radiation Oncol Biol Phys.* 2011;80:1550-1558.
6. Fontenot JD, King ML, Johnson SA, Wood CG, Price MJ, Lo KK. Single-arc volumetric-modulated arc therapy can provide dose distributions equivalent to fixed-beam intensity-modulated radiation therapy for prostatic irradiation with seminal vesicle and/or lymph node involvement. *Br J Radiol.* 2012;85:231-236.
7. Hall WA, Fox TH, Jiang X, et al. Treatment efficiency of volumetric modulated arc therapy in comparison with intensity-modulated radiotherapy in the treatment of prostate cancer. *J Am Coll Radiol.* 2013;10:128-134.
8. Shaffer R, Morris WJ, Moiseenko V, et al. Volumetric modulated arc therapy and conventional intensity-modulated radiotherapy for simultaneous maximal intraprostatic boost: A planning comparison study. *Clin Oncol (R Coll Radiol).* 2009;21:401-407.
9. Pengpeng Zhang, Laura Happersett, et al. Volumetric modulated arc therapy and evaluation of prostate cancer cases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2010;76:1456-1462.
10. Hall EJ : Intensity-modulated arc therapy, protons, and the risk of second cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2006;65:1-7.
11. 박혜진, 김미화, 전미선 외 2인 : 아주대학교병원에서의 전립선암에 대한 래피드아크치료. *의학물리.* 2010;2:183-191.
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. Tsai CL, Wu JK, Chao HL, Tsai YC, Cheng JC. Treatment and dosimetric advantages between VMAT, IMRT, and helical tomotherapy in prostate cancer. *Med Dosim.* 2011;36:264-271.
14. Wolff D, Stieler F, Welzel G, 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. S. Yoo, Q. Jackie Wu, et al : Radiotherapy Treatments plans with Rapidarc for prostate cancer involving seminal vesicles and lymph nodes. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2010;76:935-942.
16. Sten Myrehaug, Gordon Chan, et al. A Treatment planning and acute toxicity comparison of two pelvic nodal volume delineation techniques and delivery comparison of intensity-modulated radiotherapy versus volumetric modulated arc therapy for hypofractionated high-risk prostate cancer radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2012;82:657-662.
17. Eugenio Vanetti, Giorgia Nicolini, et al. On the role of the optimization algorithm of RapidArc[®] volumetric modulated arc therapy on plan quality and efficiency : Medical Physics 2011;38(11):5844-5846.
18. 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.

Abstract

Evaluating efficiency of Split VMAT plan for prostate cancer radiotherapy involving pelvic lymph nodes.

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

Mun Jun Ki, Son Sang Jun, Kim Dae Ho, Seo Seok Jin

Purpose : The purpose of this study is to evaluate the efficiency of Split VMAT planning(Contouring rectum divided into an upper and a lower for reduce rectum dose) compare to Conventional VMAT planning(Contouring whole rectum) for prostate cancer radiotherapy involving pelvic lymph nodes.

Materials and Methods : A total of 9 cases were enrolled. Each case received radiotherapy with Split VMAT planning to the prostate involving pelvic lymph nodes. Treatment was delivered using TrueBeam STX(Varian Medical Systems, USA) and planned on Eclipse(Ver. 10.0.42, Varian, USA), PRO3(Progressive Resolution Optimizer 10.0.28), AAA(Anisotropic Analytic Algorithm Ver. 10.0.28).

Lower rectum contour was defined as starting 1cm superior and ending 1cm inferior to the prostate PTV, upper rectum is a part, except lower rectum from the whole rectum. Split VMAT plan parameters consisted of 10MV coplanar 360° arcs. Each arc had 30° and 330° collimator angle, respectively. An SIB(Simultaneous Integrated Boost) treatment prescription was employed delivering 50.4Gy to pelvic lymph nodes and 63~70Gy to the prostate in 28 fractions. D_{mean} of whole rectum on Split VMAT plan was applied for DVC(Dose Volume Constraint) of the whole rectum for Conventional VMAT plan. In addition, all parameters were set to be the same of existing treatment plans. To minimize the dose difference that shows up randomly on optimizing, all plans were optimized and calculated twice respectively using a 0.2cm grid. All plans were normalized to the prostate $PTV_{100\%} = 90\%$ or 95% .

A comparison of D_{mean} of whole rectum, upper rectum, lower rectum, and bladder, $V_{50\%}$ of upper rectum, total MU and H.I.(Homogeneity Index) and C.I.(Conformity Index) of the PTV was used for technique evaluation. All Split VMAT plans were verified by gamma test with portal dosimetry using EPID.

Results : Using DVH analysis, a difference between the Conventional and the Split VMAT plans was demonstrated. The Split VMAT plan demonstrated better in the D_{mean} of whole rectum, Up to 134.4 cGy, at least 43.5 cGy, the average difference was 75.6 cGy and in the D_{mean} of upper rectum, Up to 1113.5 cGy, at least 87.2 cGy, the average difference was 550.5 cGy and in the D_{mean} of lower rectum, Up to 100.5 cGy, at least -34.6 cGy, the average difference was 34.3 cGy and in the D_{mean} of bladder, Up to 271 cGy, at least -55.5 cGy, the average difference was 117.8 cGy and in $V_{50\%}$ of upper rectum, Up to 63.4%, at least 3.2%, the average difference was 23.2%. There was no significant difference on H.I., and C.I. of the PTV among two plans. The Split VMAT plan is average 77 MU more than another. All IMRT verification gamma test results for the Split VMAT plan passed over 90.0% at 2 mm / 2%.

Conclusion : As a result, the Split VMAT plan appeared to be more favorable in most cases than the Conventional VMAT plan for prostate cancer radiotherapy involving pelvic lymph nodes. By using the split VMAT planning technique it was possible to reduce the upper rectum dose, thus reducing whole rectal dose when compared to conventional VMAT planning. Also using the split VMAT planning technique increase the treatment efficiency.

Keyword : Prostate cancer, Pelvic lymph node, Rectum Contouring, VMAT, IMRT.