

Usefulness Evaluation on the Treatment Plan of Tomotherapy and VMAT in Radiotherapy for Prostate Cancer

Kwangmyoung Heo, Jaebok Han, Namgil Choi

Dept. of Radiology, Dongshin University

전립선암의 방사선치료에서 토모테라피와 VMAT의 치료계획에 따른 유용성 평가

Abstract

In this study, to evaluate the usefulness of the treatment plan of tomotherapy and volumetric modulated arc therapy (VMAT) in the radiotherapy for prostate cancer, the absorbed dose, dose volume histogram (DVH), treatment efficiency, and the results of dose verification accuracy using MapCHECK2 were compared and analyzed. Of the prostate cancer patients who underwent tomotherapy treatment in the Radiologic Oncology of H University Hospital between July 2014 and December 2014, 12 patients were randomly selected. As a result of analyzing the absorbed dose and DVH, both radiologic treatment plans showed slight differences in the treatment of the cancer tissues and the bladder, but the difference was in the error range of -5% to +3%, and did not exceed the side effect guideline or the tolerance dose limit. VMAT showed higher treatment efficiency than tomotherapy with a 2.5 times shorter treatment time and a 10.3 times less monitor unit (MU). Both showed 95% or higher dose accuracy satisfying the standard. VMAT showed 2.3% higher efficiency than tomotherapy. In both tomotherapy and VMAT, appropriate doses were absorbed for cancer tissues, and did not exceed the tolerance dose for normal tissues showing no significant difference in dose distribution. However, considering the shorter treatment time, lower total MU, and better treatment efficiency and dose verification accuracy, VMAT may be more useful than tomotherapy in cancer treatments.

Key Words : Prostate cancer, Tomotherapy, VMAT, MapCHECK2

요약

전립선암의 방사선치료에서 토모테라피와 용적변조회전치료(volumetric modulated arc therapy, VMAT)의 치료계획에 따른 유용성 평가를 위해 흡수선량, 선량체적곡선(dose volume histogram, DVH), 치료효율성, MapCHECK2를 이용한 선량 검증 정확도 결과를 각각 비교·분석하였다. 대상으로는 2014년 7월부터 12월까지 H 대학병원 방사선종양학과에서 토모테라피 치료를 받은 전립선암 환자 중 12명을 무작위로 선택하였다. 흡수선량과 DVH를 분석한 결과 종양조직과 방광에서 두 방사선 치료계획이 근소한 차이를 나타냈지만 처방선량의 오차범위인 -5%에서 +3%안에 포함

됐고 정상조직 부작용 확률 권고치인 견딤선량 범위를 넘지 않았다. 치료시간은 2.5배 짧고 MU(monitor unit)도 10.3배 작아 VMAT가 치료효율성이 높았다. 선량정확도는 모두 95% 이상의 통과기준에 포함 되었으며 VMAT가 2.3% 더 높게 나타났다. 토모테라피와 VMAT 모두 종양조직에 적합한 선량이 흡수되었으며 정상조직의 견딤선량 범위를 넘지 않아 선량분포특성에서 큰 차이는 없었다. 하지만 치료시간이 짧고, total MU가 낮아 치료효율성이 좋고 선량 검증의 정확도 또한 우수한 VMAT를 선택하는 것이 치료에 더 유용할 것으로 사료된다.

중심단어: 전립선암, 토모테라피, VMAT, MapCHECK2

I. INTRODUCTION

전립선암에서 방사선치료는 수술을 대신해 근치적 목적으로 사용되며, 재발가능성이 높은 중등도, 고등도 위험인자를 가진 환자에게는 호르몬치료와 병행되기도 한다. 또한, 수술 후 재발의 고 위험 인자를 가진 환자나 전립선암 수술 후 전립선특이항원(prostate-specific antigen, PSA)이 올라가거나 국소재발이 발견된 경우에도 구제 목적으로 방사선치료가 시행된다^[1].

전립선암 방사선 치료에서 방광 및 직장의 일부분을 포함하게 되는데 치료 중 급성방광염, 직장염 등의 부작용을 줄이고 환자의 전반적인 삶의 질을 높이기 위해 정상조직의 선량을 줄이는 것이 중요하다. 반면 치료효과를 높이기 위해 종양의 처방선량을 증가시켜야 하는데^[2], 3차원 입체 조형 방사선 치료(3-dimensional conformal radiotherapy, 3D-CRT)에서는 처방선량을 증가시키면 종양선량과 주변 정상조직의 선량이 함께 증가하기 때문에 총 선량을 늘리는데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 다엽콜리메이터(multi leaf collimator, MLC)를 이용한 세기변조방사선치료(intensity modulated radiotherapy, IMRT)가 도입되었다^{[3],[4]}.

도입된 IMRT 방식 중에 하나인 토모테라피 방사선 치료 장비는 IMRT를 정밀하게 수행할 수 있는 첨단 방사선 치료기기로써 치료 전 MVCT (mega voltage computed tomography)영상을 통해 환자의 치료위치 및 자세의 오차를 확인하고 보정하여 영상유도방사선치료(image guided radiation therapy, IGRT)를 효과적으로 수행할 수 있으며 중요 장기 선량을 최소화하고 종양에 더 많은 선량을 부여할 수 있기에 다수의 병원에서 전립선암 방사선 치료에 운영되고 있다^{[5],[6]}. 최근 2011년 7월에 전립선암, 뇌종양, 두경부암, 척추암, 재발암과 함께 국민건강보험급여가 적용되면서 더욱 증가하고 있다^[7]. 하지만 IMRT 방식의 토모테라피는 MU가

많이 늘어나고 치료시간이 길어지는데 이는 환자가 치료 중에 움직일 확률이 증가하여 결과적으로 치료 효과에 영향을 초래할 수 가 있다. 이에 따라 최근 장비의 발달로 토모테라피와 유사성이 많지만 치료시간이 더 빠른 VMAT가 시행되고 있는데, VMAT는 방사선치료의 대상 구역을 나누지 않고 한꺼번에 방사선 조사를 할 수 있으며 갠트리(gantry)의 회전과 동시에 동적 다엽콜리메이터(dynamic MLC)를 적용하고 선량률과 갠트리 회전속도까지 연속적으로 조절이 가능하다. 이런 치료기술들은 연구 개발된 시점에 따라 방사선량 분포계획의 적절성, 방사선치료의 정밀도, 치료에 소요되는 시간 등 여러 가지 측면에서 장점과 단점을 가지는 양면성을 내포하고 있다^[8].

이에 본 연구에서는 H 대학병원에 최근 도입된 Novalis Tx로 전립선암의 방사선치료에 VMAT를 시행하고 있는데, 기존 시행된 토모테라피의 치료계획과 최근 도입된 VMAT의 치료계획을 이용하여 종양조직과 정상조직의 흡수선량 및 DVH, 치료시간 및 MU, 치료 계획 후 실제 치료에서 선량 검증 정확도를 후향적으로 각각 비교 분석하여 방사선 치료기술에 따른 유용성을 평가하고자 한다.

II. EXPERIMENTAL METHOD

1. 실험대상

본 연구의 실험대상으로는 2014년 7월부터 12월까지 H 대학병원 방사선종양학과에서 토모테라피 치료를 받은 전립선암 환자 중 무작위로 12명을 선택하였고 평균연령은 71세(63세~81세)였다.

2. 실험방법

2.1 실험기기

본 실험에 사용한 장비로 토모테라피는 Tomotherapy Hi-Art system (Tomotherapy Inc, USA)을 이용하였으며 VMAT는 Novalis Tx (Varian, V13, USA)를 이용하였다[Fig. 1],[Fig. 2]. 실험대상자의 치료계획용 영상은 컴퓨터단층촬영장치 (Bright speed Excel, GE, China)를 이용하여 2.5 mm 단편두께의 영상을 얻었다. 또한 치료계획장비로는 토모테라피용 Tomotherapy planning station (Tomotherapy Inc, V4.2.3, USA), VMAT 치료계획은 Eclipse System (Varian, V13, USA)을 이용하여 치료계획을 실시하였다. 선량검증 장비로는 1,527개의 8각형 모양의 다이오드타입 검출기 MapCHECK2 (Sun Nuclear, USA)와 물등가 팬텀 MapPHAN (Sun Nuclear, USA)으로 측정 후 분석프로그램인 SNC Patient software (Sun Nuclear, V6.12, USA)를 이용하였다[Fig. 3].



Fig. 1. Tomotherapy Hi-Art system.



Fig. 2. Novalis Tx.

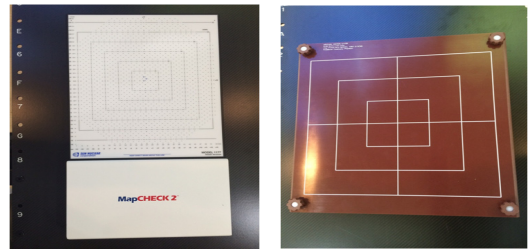


Fig. 3. Device in dose verification accuracy test MapCHECK2 & MapPHAN.

2.2 실험과정

치료계획방법으로는 환자고정기구인 vac-lock을 사용하여 바로 누운 자세로 환자 체위를 고정하였으며 각 환자의 컴퓨터 단층 치료계획용 영상을 바탕으로 방사선종양학과 전문의가 육안적 종양체적(gross tumor volume, GTV)을 정의하였고, 이를 기준으로 4~8 mm의 여유면적을 설정하여 치료계획용적(planning target volume, PTV)을 결정하였다. 토모테라피의 경우는 6 MV (mega voltage)의 광자선을 이용하여 field width 2.5 cm, modulator factor는 2.468, pitch 0.287로 설정하고 VMAT의 경우는 1arc, 2arc로 10 MV (mega voltage)의 광자선을 이용하여 갠트리가 회전하는 동안 PTV를 포함시키고 tongue and groove 영향을 최소화하기 위해서 콜리메이터는 시계방향의 경우 30°로, 반시계방향의 경우 330°로 설정하였다.

처방선량은 PTV에 220 cGy를 25회 조사하여 총 55 Gy가 조사되도록 하였으며, 제약조건으로는 PTV에 52 Gy 이상이 95%가 되도록, 59 Gy 이상이 0% 되도록 하였으며, 관심장기로는 직장, 방광, 대퇴골두부를 고려하였으며, 직장의 방사선량은 36 Gy가 40%미만이 되도록, 방광의 방사선량은 36 Gy가 40% 미만이 되도록, 대퇴골두부의 방사선량은 25 Gy가 10% 미만이 되도록 제한하였다.

치료시간(treatment time) 및 total MU 측정은 환자 set up이 끝났다는 가정 하에 QA (quality assurance) 모드에서 진행하였고, beam on부터 beam off 까지의 시간을 측정하였다.

선량검증은 MapCHECK2 (Sun Nuclear, USA)와 물등가 팬텀 MapPHAN (Sun Nuclear, USA)을 이용해 실제

측정치와 계산치 사이 정확도의 정량적 평가를 위해 선량적, 공간적 허용 범위인 3%, 3 mm 범위 내에서 10% dose threshold (TH) 와 95% 이상의 통과를 기준으로 감마값이 1.0 미만인 pass rate를 측정하였다.

2.3 평가방법

최근 토모테라피 치료를 받은 전립선암 환자의 치료계획과 치료계획용 컴퓨터단층 영상자료를 바탕으로 VMAT의 치료계획을 다시 세운 후 장비에 따른 두 가지 치료기술의 선량분포특성을 평가하기 위하여 PTV와 결정 장기(organs at risk, OAR)의 흡수선량 및 DVH를 비교한 후 정상조직 부작용 확률(normal tissue complication probability, NTCP) 권고치에 적합한지를 확인하였다^[9][Table 1]. 또한 치료 효율성을 평가하기 위하여 치료시간 및 MU 측정을 하였고, 선량검증 평가를 위해 치료계획과 실제치료선량 전달의 정확도를 측정 후 평가하였다.

Table 1. Normal tissue complication probability(NTCP) parameters published by Emami1991

Organ	TD 5/5(Gy)	TD 50/5(Gy)
Rectum	60	80
Bladder	65	80
Femural head	52	65

TD 5/5(Gy), minimal tolerance dose

TD 50/5(Gy), maximal tolerance dose

2.4 통계분석

본 연구 자료의 통계처리는 SPSS for Windows 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS INC. US A)을 이용하였다. 연속형 변수는 평균값±표준편차로 기술하였고, 대상의 비교는 paired t-test 또는 Wilcoxon signed rank test를 시행하였다. 통계분석의 유의수준이 0.05 미만($p < 0.05$)일 경우 통계적으로 유의하다고 설정하였다.

III. RESULT

1. 종양조직의 흡수선량 평가

종양조직에 흡수되는 선량을 측정된 결과 PTV에서 토모테라피와 VMAT 평균값(Dmean)은 각각 55.4±0.4 Gy, 56.3±1.1 Gy의 선량값을 보여 처방선량인 55 Gy에 근접하였고 p값은 0.032로 두 치료기술에 따른 선량값은 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 2].

2. 정상조직의 흡수선량 평가

2.1 직장(Rectum)의 흡수선량

직장에 흡수되는 선량을 측정된 결과 토모테라피와 VMAT 평균값(Dmean)은 각각 32.5±2.1 Gy, 33.7±1.5 Gy의 선량값을 보였고 p값은 0.156으로 두 치료기술에 따른 선량값은 통계적으로 유의한 차이는 없었다[Table 2].

2.2 방광(Bladder)의 흡수선량

방광에 흡수되는 선량을 측정된 결과 토모테라피와 VMAT 평균값(Dmean)은 각각 31.8±2.5 Gy, 33.9±1.6 Gy의 선량값을 보였고 p값은 0.036으로 두 치료기술에 따른 선량값은 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 2].

2.3 대퇴골두(Femural head)의 흡수선량

대퇴골두에 흡수되는 선량을 측정된 결과 토모테라피와 VMAT 평균값(Dmean)은 각각 15±3.2 Gy, 14.4±2.8 Gy의 선량값을 보였고 이들의 p 값은 0.459로두 치료기술에 따른 선량값은 통계적으로 유의한 차이는 없었다[Table 2].

Table 2. Absorbed dose of tumor and organ (Unit : Gy)

	Tomotherapy (mean ± SD)	VMAT (mean ± SD)	p-value
PTV Dmean	55.4 ± 0.4	56.3 ± 1.1	0.032
Rectum Dmean	32.5 ± 2.1	33.7 ± 1.5	0.156
Bladder Dmean	31.8 ± 2.5	33.9 ± 1.6	0.036
Femoral head Dmean	15 ± 3.2	14.4 ± 2.8	0.459

Dmean, mean dose
SD, standard deviation
PTV, planning target volume
VMAT, volumetric modulated arc therapy

3. 선량체적곡선(Dose volume histogram, DVH)

3.1 종양조직의 DVH 비교

토모테라피의 경우 D₉₅(체적의 95%에서 흡수되는 선량)는 52.7 ± 0.6 Gy이고 D₇₀은 55.1 ± 0.5 Gy, D₄₀은 56.0 ± 0.5 Gy, D₁₀은 56.0 ± 0.5 Gy로 나타났다. VMAT의 경우 D₉₅는 53.4 ± 0.6 Gy이고 D₇₀은 55.8 ± 1.0 Gy, D₄₀은 56.9 ± 1.0 Gy, D₁₀은 57.1 ± 1.1 Gy로 나타났다. p값이 0.05미만으로 두 치료기술에 따른 DVH는 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 3],[Fig. 4].

Table 3. DVH of PTV (Unit : Gy)

PTV	Tomotherapy (mean ± SD)	VMAT (mean ± SD)	p-value
D95%	52.7 ± 0.6	53.4 ± 0.6	0.002
D70%	55.1 ± 0.5	55.8 ± 1.0	0.051
D40%	56.0 ± 0.5	56.9 ± 1.0	0.012
D10%	57.1 ± 0.7	57.1 ± 1.1	0.05

DVH, dose volume histogram
PTV, planning target volume
VMAT, volumetric modulated arc therapy
D %, dose to % of PTV volume
SD, standard deviation

3.2 직장 조직의 DVH 비교

토모테라피의 경우 D₉₅는 21.7 ± 6.6 Gy이고 D₇₀은 27.7 ± 3.4 Gy, D₄₀은 33.5 ± 2.1 Gy, D₁₀은 43.3 ± 2.2 Gy로 나타났다. VMAT의 경우 D₉₅는 20.9 ± 7.7 Gy이고 D₇₀은 25.1 ± 3.8 Gy, D₄₀은 33.5 ± 2.3 Gy, D₁₀은 45.9 ± 3.1 Gy로 나타났다. D₉₅와 D₇₀에서 p값이 0.05미만으로 두 치료기술에 따른 DVH는 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 4],[Fig. 4].

9.3 ± 3.2 Gy, D₄₀은 33.7 ± 3.9 Gy, D₁₀은 43.9 ± 1.8 Gy로 나타났다. p값이 0.05이상으로 두 치료기술에 따른 DVH는 통계적으로 유의한 차이는 없었다[Table 4],[Fig. 4].

Table 4. DVH of Rectum (Unit : Gy)

Rectum	Tomotherapy (mean ± SD)	VMAT (mean ± SD)	p-value
D95%	21.7 ± 6.6	20.9 ± 7.7	0.664
D70%	27.7 ± 3.4	29.3 ± 3.2	0.311
D40%	33.5 ± 2.1	33.7 ± 3.9	0.06
D10%	43.3 ± 2.2	43.9 ± 1.8	0.481

DVH, dose volume histogram
VMAT, volumetric modulated arc therapy
D %, dose to % of rectum volume
SD, standard deviation

3.3 방광 조직의 DVH 비교

토모테라피의 경우 D₉₅는 17.6 ± 3.9 Gy이고 D₇₀은 25.1 ± 3.8 Gy, D₄₀은 33.5 ± 2.3 Gy, D₁₀은 46.0 ± 1.0 Gy로 나타났다. VMAT의 경우 D₉₅는 22.5 ± 2.6 Gy이고 D₇₀은 29.2 ± 2.4 Gy, D₄₀은 34.4 ± 1.9 Gy, D₁₀은 45.9 ± 3.1 Gy로 나타났다. D₉₅와 D₇₀에서 p값이 0.05미만으로 두 치료기술에 따른 DVH는 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 5],[Fig. 4].

Table 5. DVH of Bladder (Unit : Gy)

Bladder	Tomotherapy (mean ± SD)	VMAT (mean ± SD)	p-value
D95%	17.6 ± 3.9	22.5 ± 2.6	0.004
D70%	25.1 ± 3.8	29.2 ± 2.4	0.015
D40%	33.5 ± 2.3	34.4 ± 1.9	0.308
D10%	46.0 ± 1.0	45.9 ± 3.1	0.945

DVH, dose volume histogram
VMAT, volumetric modulated arc therapy
D %, dose to % of bladder volume
SD, standard deviation

3.4 대퇴골두 조직의 DVH 비교

토모테라피의 경우 D₉₅는 9.3 ± 3.9 Gy이고 D₇₀은 11.9 ± 3.6 Gy, D₄₀은 15.2 ± 3.6 Gy, D₁₀은 21.7 ± 2.7 Gy로 나타났다. VMAT의 경우 D₉₅는 8.8 ± 4.0 Gy이고 D₇₀은 11.8 ± 3.7 Gy, D₄₀은 15.1 ± 3.5 Gy, D₁₀은 20.6 ± 2.8 Gy로 나타났다.

P값이 0.05이상으로 두 치료기술에 따른 DVH는 통계적으로 유의한 차이는 없었다[Table 6],[Fig. 4].

Table 6. DVH of Femural head (Unit : Gy)

Femural head	Tomotherapy (mean ±SD)	VMAT (mean ±SD)	p-value
D95%	9.3±3.9	8.8±4.0	0.358
D70%	11.9±3.6	11.8±3.7	0.847
D40%	15.2±3.6	15.1±3.5	0.92
D10%	21.7±2.7	20.6±2.8	0.373

DVH, dose volume histogram
 VMAT, volumetric modulated arc therapy
 D %, dose to % of femural head volume
 SD, standard deviation

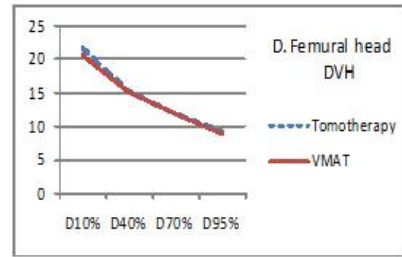


Fig. 4. (Dose volume histogram, DVH)
 D %, dose to % of volume (Unit : Gy)
 VMAT, volumetric modulated arc therapy.

4. 치료 효율성 평가

치료시간에서는 토모테라피가 349.8±23.6 sec, VMA T가 141.2±44.4 sec이었고, total MU는 토모테라피가 50 27.3±349.1 MU, VMAT가 485.8±35.9 MU였고 p값은 <0.01로 두 치료기술에 따른 치료 효율성은 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 7].

Table 7. Treatment efficiency

	Tomotherapy (mean ±SD)	VMAT (mean ±SD)	p-value
Treatment Time (sec)	349.8±23.6	141.2±44.4	<0.01
Total MU	5027.3±349.1	485.8±35.9	<0.01

MU, monitor unit
 VMAT, volumetric modulated arc therapy
 SD, standard deviation

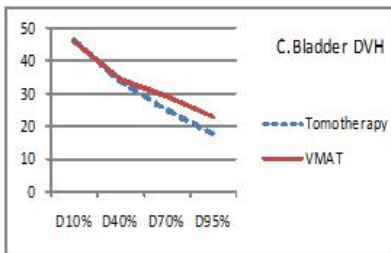
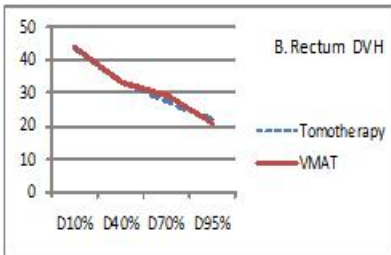
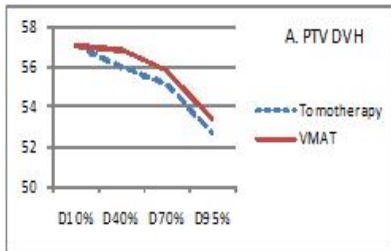
5. 선량 검증

감마값은 토모테라피가 97.5±1.1%, VMAT는 99.8±0. 1%였고 p값은 <0.01로 두 치료기술에 따른 통계적으로 유의한 차이를 보였다[Table 8],[Fig. 5],[Fig. 6].

Table 8. Gamma pass rate summarized by patient

	Tomotherapy (mean ±SD)	VMAT (mean ±SD)	p-value
total points	860.6±51.3	780.1±41.5	<0.01
pass	840.0±56.0	779.1±41.7	0.005
fail	20.7±8.6	1.0±0.9	<0.01
% pass (Gamma-index)	97.5±1.1	99.8±0.1	<0.01

VMAT, volumetric modulated arc therapy
 SD, standard deviation



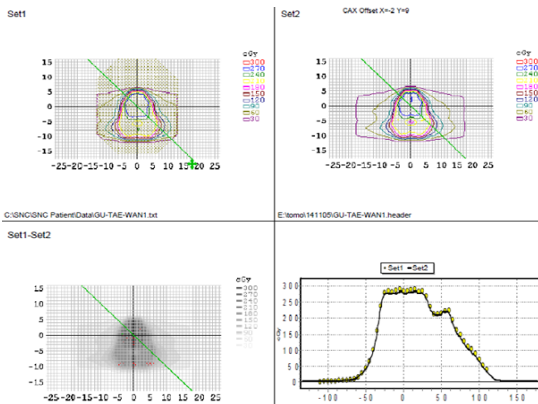


Fig. 5. MapCHECK2 QA of dose distribution : Tomotherapy.

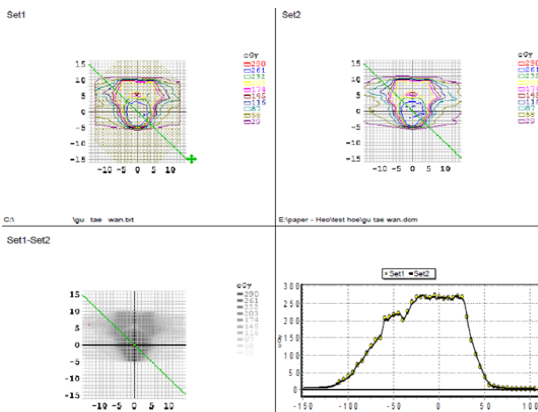


Fig. 6. MapCHECK2 QA of dose distribution : VMAT.

IV. DISCUSSION

방사선치료 장비중 Tomotherapy Hi-Art의 토모테라피와 Novalis Tx의 VMAT는 전립선암의 위치와 모양, 크기 면에서 가장 이상적인 치료기술로 많이 이용되고 있다. Ayakawa. S 등^[10]은 토모테라피와 VMAT는 기존의 일반적인 IMRT보다 PTV를 충분히 포함하고 그 주변의 결정 장기를 효과적으로 보호해주는 방사선치료기술이고, 이 두 가지 치료기술의 비교 연구는 많이 있으나 VMAT의 치료시간과 MU차이 이외에는 비교우위를 확실하게 정하지는 못하고 있다고 하였다. 이에 본 연구는 토모테라피와 VMAT의 방사선 치료기술에 따른 유용성을 평가하였다.

종양조직의 두 치료기술에 따른 흡수선량과 DVH

을 분석한 결과 토모테라피와 VMAT의 경우 평균값(Dmean)은 각각 처방선량 55 Gy에 0.72% 증가한 55.4±0.4 Gy, 2.36% 증가한 56.3±1.1 Gy이고 p값은 0.05미만으로 VMAT가 토모테라피보다 1.6% 증가하여 근소한 차이는 있었으나 두 치료기술 모두 처방선량 오차범위인 -5%에서 +3%를 만족하였다^[11]. 김수동^[12]의 연구에 의하면 처방선량의 증가와 정확한 전달이 국소 종양 제어 비율을 증가 시키고 생화학적 재발을 감소시킬 수 있다고 하였다.

정상조직의 두 치료기술에 따른 흡수선량과 DVH를 분석한 결과 직장과 대퇴골두부의 p값은 0.05이상으로 두 치료기술에 따른 선량값과 DVH 차이는 없는 것으로 나타났고, 방광에서 토모테라피와 VMAT의 평균값(Dmean)은 각각 31.8±2.5 Gy, 33.9±1.6 Gy의 선량값을 보였고, DVH의 D₉₅는 각각 17.6±3.9 Gy, 22.5±2.6 Gy, D₇₀은 각각 25.1±3.8 Gy, 29.2±2.4 Gy로 p값은 0.05미만으로 토모테라피가 VMAT보다 방광의 평균흡수선량이 6.2% 더 적은 근소한 차이를 보였으나 두 치료기술 모두 정상조직 부작용 확률 권고치인 건넌선량에 포함되어 종양 및 정상조직의 선량분포특성에서는 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 안용찬^[8]의 연구에 의하면 방사선치료의 대상 주변 장기들에 미치는 방사선량의 분포는 토모테라피가 다소 우월한 경향이 있다고 하였고, Chiao-Ling^[13] 등은 결정장기의 보호측면에서 토모테라피와 VMAT는 동등하다고 보고하였고, Min Rao^[14] 등은 결정장기 보호측면에서 토모테라피와 VMAT는 큰 차이가 없다고 보고하였고, Ayakawa. S^[10] 등은 토모테라피가 직장의 보호에 더 효과적이고 VMAT는 방광의 보호에 더 효과적이다 발표하고 이전 연구들과의 차이는 종양과 장기의 위치 및 용적, 치료 계획 최적화 조건에 따른 차이로 보인다고 하였다.

치료 효율성을 평가하기 위한 토모테라피와 VMAT의 치료시간은 각각 349.8 sec, 141.2 sec였고 total MU는 각각 5027.3 MU, 485.8 MU로 나타났고 p값은 <0.01로 VMAT가 토모테라피 보다 시간은 2.5배 짧고 MU는 10.3배 작은 것으로 나타났다. 치료시간이 길면 환자의 치료 중 움직임이 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 움직임 확률은 5%였지

만 60 sec, 90 sec, 120 sec로 늘어날수록 8%, 11%, 14%로 증가한다고 하였다^[15]. 이에 따라 치료시간동안 자세를 고정하고 있기 힘든 환자일 수록 VMAT가 더욱 효율적인 것으로 판단되었다. 또한 MU가 증가함에 따라 치료시간이 길어져 움직임에 의한 정확성이 저하될 우려가 높다. 특히 광중성자 발생이 상대적으로 높아 그로 인한 주위 정상조직에 대한 피해가 우려된다고 하였다^[16]. total MU가 증가하면 누설선량과 산란선량에 의해 2차암 발생 확률이 증가 한다는 점을 고려해야 한다고 하였다^[17]. 이런 연구결과에 따라 정상조직의 보호측면에서 치료 효율성 평가는 치료시간이 짧고 total MU가 적은 VMAT가 우위에 있을 것으로 판단되었다.

치료기술과 과정이 복잡해지고 방사선속의 공간적 분포가 세밀해지면서, 방사선 치료계획 과 선량계산의 정확도와 장비의 재현성에 대한 포괄적이면서도 세부적인 품질 관리가 요구되어 지고 있고^[18], 치료기술에 따른 치료계획의 동일함을 확인하는 검증절차의 중요성이 더욱 증가하고 있다^[19]. 이에 본 연구에서 정도관리(quality assurance, QA)모드로 선량정확도를 검증한 결과 감마값은 두 치료기술 모두 95% 이상의 통과기준에 포함되었으며 토모테라피가 97.5±1.1%, VMAT는 99.8±0.1%로 나타났고 p값은 <0.01로 VMAT의 선량검증 정확도가 토모테라피 보다 2.3% 더 높은 것을 알 수 있었다.

본 연구의 제한점이나 향후 연구과제로는 토모테라피에서는 MVCT (Megavoltage computed tomography)를 VMAT에서는 콘빔CT (Cone Beam CT, CBCI)을 이용하여 두 치료기술 모두 IGRT를 효과적으로 수행 할 수 있는데 IGRT 장비의 정확도와 피폭선량에 대한 측정값을 비교하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

V. CONCLUSION

전립선암의 방사선치료에서 토모테라피와 VMAT의 치료계획에 따른 비교 분석 결과 두 방사선 치료기술 모두 종양조직에 적합한 선량이 흡수되었으며 정상조직의 부작용 확률 권고치인 견딤선량 범위를 넘지 않아 선량분포특성에서는 큰 차이가 없었다. 하지만 치

료시간이 짧고, total MU가 낮아 치료효율성이 좋고 선량 검증의 정확도 또한 우수한 VMAT를 선택하는 것이 치료에 더 유용할 것으로 사료된다.

Reference

- [1] W. Park, "Radiotherapy for prostate cancer", J Korean Med Assoc, Vol. 58, No. 1, pp.21-29, 2015.
- [2] M. J. Zelefsky, S. A. Leibel, P. B. Gaudin, et al, "Dose escalation with three-dimensional conformal radiation therapy affects the outcome in prostate cancer", Int J Radiat Oncol Biol Phys, Vol. 41, No. 3, pp.491-500, 1998.
- [3] Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group, "Intensity modulated radiotherapy", Current status and issues of interest. Int J Radiat Oncol Biol Phys, Vol. 51, pp. 880-917, 2001.
- [4] C. C. Ling, C. Burma, C. S. Cui, 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, Vol. 32, pp.721-730, 1996.
- [5] J. Balog, G. Olovera, J. Kapatoes, "Clinical helical tomotherapy commissioning dosimetry", Medical physics, Vol. 30, No. 12, pp.3097-3106, 2003.
- [6] J. Y. Kim, C. S. Kay, Y. S. Kim, et al, "Helical tomotherapy for simultaneous multitarget radiotherapy for pulmonary metastasis", Int J Radiat Oncol Biol Phys, Vol. 75, No. 3, pp.703-710, 2009.
- [7] H. S. Kim, "Anticancer drug use and out-of-pocket money burden in Korean cancer patients: A questionnaire study", Korean journal of clinical pharmacy, Vol. 22, No. 3, pp.239-250, 2012.
- [8] Y. C. Ahn, "Introduction of intensity modulated radiation therapy", J Korean Med Assoc, Vol. 54, No. 11, pp.72-1178, 2011.
- [9] B. Emami, J. Lyman, A. Brown, et al, "Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation", Int J Radiat Oncol Biol Phys, Vol. 21, pp.109-122, 1991.
- [10] S. Ayakawa, C. Sugie, F. Baba, et al, "Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) Versus Helical Tomotherapy (HT) for Localized Prostate Cancer: Dosimetric Comparison by Using the Identical Prescription Dose to the Prostate", Vol. 87, No. 2, pp.S375-S375, 2013.
- [11] Y. J. Kim, G. U. Seol, "The Study of Dose Distribution

- according to the Using Linac and Tomotherapy on total Lymphnode Irradiation", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 7, No. 4, pp.285-291, 2013.
- [12] S. D. Kim, "What's New in Radiation Therapy for High Risk Prostate Cancer", *Korean J Urol Oncol*, Vol. 12, No. 3, pp.106-111, 2014.
- [13] C. L. Tsai, Jian-Kuen, H, L. Chao, et al, "Treatment and Dosimetric Advantages Between VMAT, IMRT, and Helical Tomotherapy in Prostate Cancer", *Medical Dosimetry*, Vol. 36, No. 3, pp. 264-271, 2011.
- [14] M. Rao, W. Yang, F. Chen, et al, "Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: Plan quality, delivery efficiency and accuracy", *Medical Physics*, Vol. 37, No. 3, pp.1350-1359, 2010.
- [15] Y. Xie, D. Djajaputra, C. R. King et al, "intrafractional motion of the prostate during hypofractionated radiotherapy", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol. 72, pp.236-246, 2010.
- [16] I. Gudowska, A. Brahme, P. Andreo, et al, "Calculation of absorbed dose and biological effectiveness from photonuclear reactions in a bremsstrahlung beam of end point 50 MeV", *Phys, Med, Bio*, Vol. 44, No. 9, pp.2099-125, 1999.
- [17] S. F. Kry, M. Salehpour, D. S. Followill et al, "The calculated risk of fatal secondary malignancies from intensity-modulated radiation therapy", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol. 62, pp.1195-1203, 2005.
- [18] F. C. Henriquez, S. V. Castrillon, "A probability approach to the study on uncertainty effects on gamma index evaluations in radiation therapy", *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Vol. 2011, pp.1-10, 2011.
- [19] L. Daniel, G. Misbah, Y. Di, et al, "Evaluation of a 2D diode array for IMRT quality assurance", *Radiation & Oncology*, Vol. 70, pp.199-206, 2004.