

비인두암 Split VMAT 치료계획 유용성 평가

삼성서울병원 방사선종양학과

박태양 · 김진만 · 권동열 · 임준택 · 김종식

목 적: 비인두암 (Nasopharyngeal cancer) 방사선 치료 시 Tomotherapy를 이용한 IMRT는 종양 조직에 정확한 선량을 전달하며 정상조직에는 급격한 선량 감소의 효과가 있지만 MU가 높고 Beam On Time이 긴 단점이 있다. 본 연구는 Helical IMRT (Tomotherapy)와 VMAT (Linac : 2Arc), Split VMAT (Linac : 4Arc)의 치료계획을 시행하여 종양 및 정상 조직, 저 선량 분포의 차이를 분석하고 Split VMAT의 효율성을 평가해 보고자 한다.

대상 및 방법: 본원의 비인두암 환자 10명을 대상으로 하였으며 3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)을 비교하였다. Helical IMRT 치료 계획은 Precision® (Version 1.1.1.1, Accuray, USA)을 이용하였고 VMAT, Split VMAT 치료계획은 Pinnacle3® (Version 9.10, Philips, USA)을 이용하였다. 선량은 Daily Dose 2.4 Gy (GTV + 0.3 cm) / 2 Gy (CTV + 0.3 cm) 16 Fx으로 Total Dose 38.4 Gy / 32 Gy를 적용하였고 GTV + 0.3 cm (P_GTV)가 $V_{38.4Gy}$ 이 95%가 되도록 처방하였다. VMAT은 360° 2Arc, Split VMAT은 좌, 우, 상, 하로 Field를 나누고 360° 4Arc, 6MV를 사용하였다. 평가는 종양 및 정상조직, 저 선량 영역의 차이를 비교하여 치료 계획의 Quality를 평가하였고 Beam On Time을 비교하여 효율성을 평가하였다.

결 과: 대상 환자들의 3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)의 평가 항목 평균 값은 P_GTV의 H.I (Homogeneity Index)는 (1.04, 1.11, 1.1), P_CTV의 C.I (Conformity Index)는 (1.03, 0.99, 1.00)이었다. RT Parotid Gland의 평균 선량 (Gy)은 (14.54, 17.06, 14.76), LT Parotid Gland의 평균 선량 (Gy)은 (14.32, 17.32, 15.09), P_Cord (Spinal Cord + 0.3 cm)의 최대 선량 (Gy)은 (20.57, 22.59, 21.06), Brain Stem의 최대 선량 (Gy)은 (22.35, 23.99, 21.68)이었다. 50% isodose curve (cc)는 (1332, 1132.5, 1065.2)이었다. Beam On Time (sec)은 (373.7, 130.7, 254.4)이었다.

결 론: Split VMAT은 두경부치료에 많이 사용하는 Helical IMRT와 비교했을 때 유사한 치료계획 Quality를 보이면서도 저 선량 영역을 줄여주며 Beam On Time이 줄어든 결과를 보여주었고 VMAT보다 좋은 결과를 보였다. Split VMAT은 비인두암 뿐만 아니라 다른 두경부암에서도 효과적이라 사료된다.

▶ **핵심용어:** Helical IMRT, VMAT, Split VMAT

서 론

비인두암에 있어 방사선치료와 항암화학요법을 병용하여 시행하는 치료법은 좋은 성적을 보이는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁾ 비인두암 방사선 치료에 많이 이용되는 To-

motherapy는 영상 유도 방사선 치료 (Image-Guided Radiotherapy) 및 세기 변조 방사선 치료 (Intensity-Modulated Radiotherapy) 장비로서 64개의 이중형 MLC (Binary Multi-Leaf Collimator)를 통해 나선형 모양을 그리며 종양에는 최적의 선량 분포를 전달하며 정상 조직 보호에는 적은 선량을 전달하는 치료법이지만⁽²⁾ Beam On Time이 길며 MU (Monitor Unit)가 높아 이는 2차 암 발생 확률을 높여준다⁽³⁾ 선형 가속기 (Linac)을 이용하여 다엽콜리메이터 (MLC) 모양, 선량률 (Dose Rate),

책임저자: 김진만, 삼성서울병원
서울 강남구 일원로 81
Tel: 02) 3410-2653
E-mail: jmm.kim@samsung.com

Table 1. Homogeneity Index (H.I)

Homogeneity Index	D_{max}/D_x
	D_x : Prescription Dose

Table 2. Conformity Index (C.I)

Conformity Index	V_{RI}/TV_{RI}
	V_{RI} : Total tissue volume that receives the prescription isodose
	TV_{RI} : Tumor volume that receives the prescription isodose

Gantry 속도를 동시에 최적화하여 표적 용적에 방사선을 조사할 수 있는 부피적조절회전방사선치료 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)는 두경부암 등에 정밀한 방사선치료가 가능하고⁽⁴⁾ MU도 Tomotherapy의 Helical IMRT보다 낮출 수 있다. 이에 VMAT보다 치료계획 Quality를 높이면서 Tomotherapy의 긴 Beam On Time을 줄이고자 Field를 좌, 우, 상, 하로 나눈 Split VMAT 치료계획을 중심으로 연구하였다. 선행 논문에서는 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료에서 Split VMAT과 VMAT을 비교하여 Split VMAT이 VMAT보다 우수한 결과를 보였으나⁽⁵⁾ 상, 하로만 진행한 Split VMAT이며 두경부 부위에 적용한 논문은 보고되지 않고 있다. 이에 본 저자는 Tomotherapy를 이용한 Helical IMRT와 Linac을 이용한 2Arc VMAT, 4Arc Split VMAT의 치료계획을 시행하여 3개의 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에 대해 종양 및 정상 조직, 저 선량 분포의 차이를 비교하여 치료 계획의 Quality를 평가하고 Beam On Time을 측정하여 Split VMAT의 효율성을 평가하였다.

대상 및 방법

1. 실험 재료

- Precision[®] Treatment Planning System (Version 1.1.1.1, Accuray, USA)
- Pinnacle3[®] Treatment Planning System (Version 9.10, Philips, USA)

- TomoHDA[™] (Version 1.1.0.1, Accuray, USA)
- VitalBeam[™] (Version 02.07.4001, Varian Medical Systems, USA)
- SunCHECK[™] (Version 2.2.2.31209, Sun Nuclear, USA)
- SPSS Data Analysis Software (Version 18.0.0, International Business Machines, USA)

2. 실험 방법

1) 치료계획

2020년 8월~12월까지 본원 Tomotherapy를 이용하여 Definitive Concurrent Chemo-RT로 치료받은 비인두암 환자 10명을 대상으로 하였으며 실제 치료를 시행한 Helical IMRT 치료계획을 기준으로 비교하였다. 3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)은 Daily Dose 2.4 Gy (GTV + 0.3 cm) / 2 Gy (CTV + 0.3 cm) 16 Fx으로 Total Dose 38.4 Gy / 32 Gy인 동시 추가 분할 선량법 (Simultaneous Integrated Boost, SIB)를 적용하였고 GTV + 0.3 cm (P_GTV)가 V38.4Gy이 95%가 되도록 처방하였으며 P_GTV, P_CTV 모두 처방 선량의 95%가 용적의 98%이상 들어가기도록 치료계획을 세웠다. Helical IMRT는 Precision[®] Treatment Planning System (Version 1.1.1.1, Accuray, USA)로 치료계획을 진행하였고 Plan Setup Parameter는 Jaw Mode는 Dynamic, Field Width는 2.5 cm, Pitch는 0.287, Modulation Factor는 2.7을 동일하게 적용하였으며 Dose Rate 850 (MU/min)의 TomoHDA[™] (Version 1.1.0.1, Accuray, USA)에서 치료를 하였다. Linac을 이용한 2개의 치료계획 (VMAT, Split VMAT)은 Pinnacle[®] Treatment Planning System (Version 9.10, Philips, USA)으로 치료계획을 세웠고 치료기는 VitalBeam[™] (Version 02.07.4001, Varian Medical Systems, USA)을 적용하였다. 같은 조건으로 치료계획을 비교하기 위해 동일한 Structure를 적용하였다 (Fig. 1). VMAT은 콜리메이터 각도가 각각 95°, 355°, Gantry 회전반경이 360°인 2Arc를 사용하였고 (Fig. 2), Split VMAT은 콜리메이터 각도가 상, 하 Field는 95°, 좌, 우 Field는 355°, Gantry 회전반경이 360°인 4Arc를 사용하였다 (Fig. 3). 에너지는 6MV, Dose Rate는 600 (MU/min)를 적용하였다.

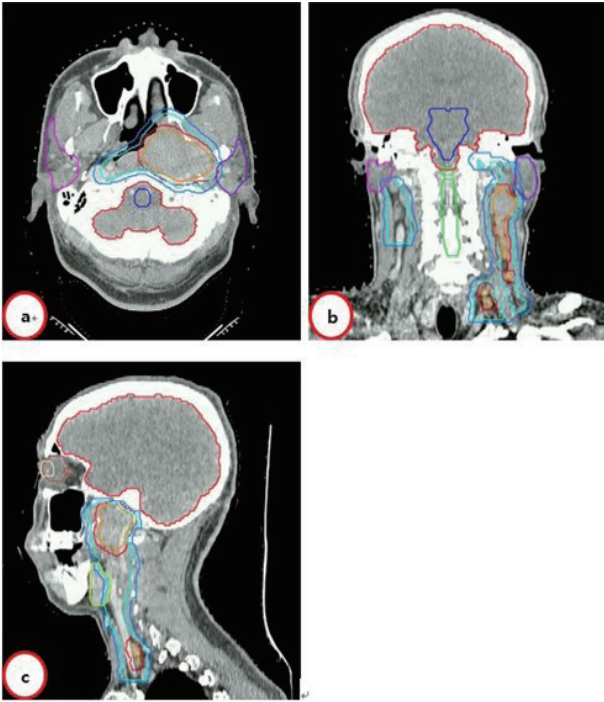


Fig. 1. Target and OAR structures (a) Axial image, (b) Coronal image, (c) Sagittal image

2) 평가항목

3개의 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에 대한 평가는 P_GTV에 대한 H.I (Homogeneity Index), P_CTV에 대한 C.I (Conformity Index)를 평가하였다 (Table 1,2). C.I.는 처방 선량이 받은 종양 용적에 대한 처방 선량이 받은 총 조직의 용적을 나타냈고 H.I.는 처방 선량에 대한 최대 선량을 나타냈다. H.I. 와 C.I. 값은 1에 가까울수록 이상적인 값이다⁶⁾ 손상위험장기 (Organ At Risk)에서는 RT/LT Parotid Gland 및 RT/LT SubMandibular Gland 평균 선량 (Mean Dose), Spinal Cord + 0.3 cm (P_Cord) 및 Brain Stem 최대 선량 (Max Dose)을 평가하였다. 저 선량 영역 평가를 위한 지표로는 50% 선량 분포 영역 (50% Isodose Curve)의 용적을 비교하였다. 치료계획 Quality 대비 효율성 평가를 위해 beam이 On/Off되는 시점을 기준으로 Beam On Time을 측정하여 비교하였다. 추가로 각 치료계획 별 Total MU도 비교하였다.

3) DQA (Delivery Quality Assurance)

치료 계획의 재현성 및 MLC Performance 측정을 위

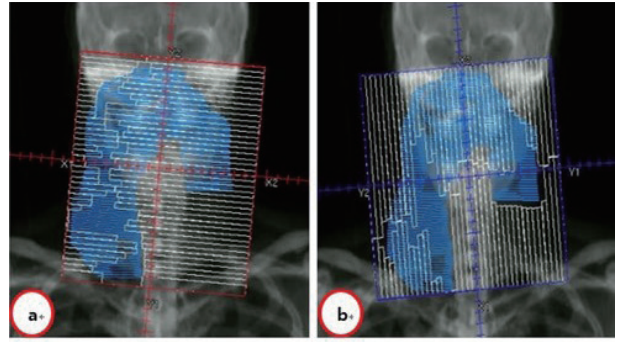


Fig. 2. VMAT field (a) Gantry angle $181^\circ \sim 179^\circ$, Collimator angle 355° , (b) Gantry angle $179^\circ \sim 181^\circ$, Collimator angle 95°

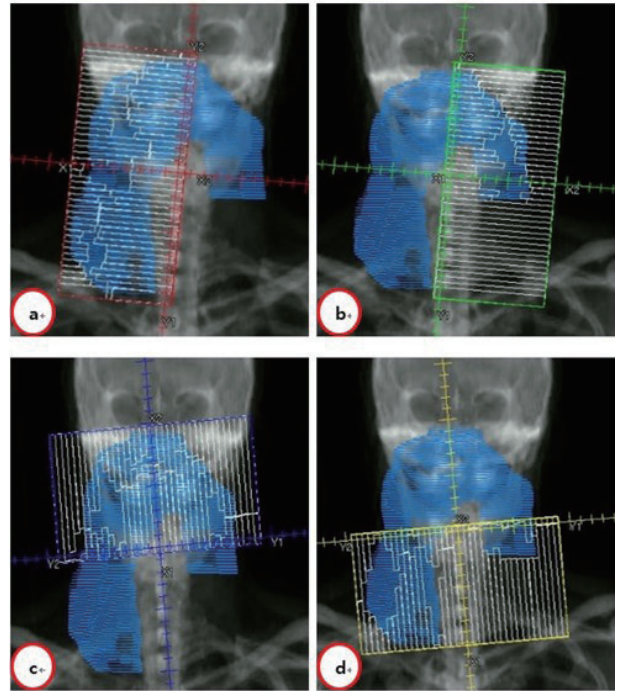


Fig. 3. Split VMAT field (a) Gantry angle $181 \text{ i } \pm \sim 179 \text{ i } \pm$, Collimator angle 355° (Left field), (b) Gantry angle $181^\circ \sim 179^\circ$, Collimator angle 355° (Right field), (c) Gantry angle $179^\circ \sim 181^\circ$, Collimator angle 95° (Upper field), (d) Gantry angle $179^\circ \sim 181^\circ$, Collimator angle 95° (Lower field)

해 DQA (Delivery Quality Assurance)을 진행하였다. Helical IMRT는 Phantom DQA를 시행하였다. Linac을 이용한 VMAT, Split VMAT은 SunCHECK™ (Version 2.2.2.31209, Sun Nuclear, USA)으로 DQA를 진행하였다. Absolute 기준은 $\pm 3\%$, Relative 기준은 $3\% / 3 \text{ mm } 90\%$ 이상으로 하였다.

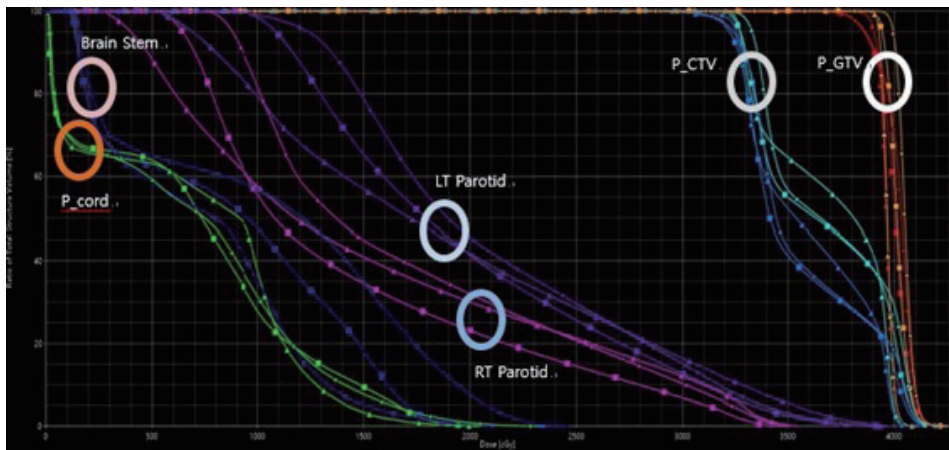


Fig. 4. Comparison of DVH Helical IMRT, VMAT and Split VMAT (▲ : Helical IMRT, ● : VMAT, ■ : Split VMAT)

4) 통계분석

각각의 평가항목에 대해서 3개의 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)을 Split VMAT-VMAT, Split VMAT-Helical IMRT, VMAT-Helical IMRT간 평균 비교를 통해서 통계적 유의성을 평가하였다. SPSS Data Analysis Software (Version 18.0.0, International Business Machines, USA)을 이용하여 Shapiro-wilk test로 정규성 검정을 먼저 시행하였고 모든 항목에 대해 유의확률 (p-value) > 0.05를 넘어 정규성을 따르므로 모수적 검정을 선택하였다. 모수적 검정 평균 비교 방법 중에 하나인 대응 표본 t-검정 (Paired t-test)을 이용하였다.

결 과

1. TARGET : H.I (P_GTV), C.I (P_CTV)

3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에서 P_GTV의 H.I 평균 값은 각각 (1.04, 1.11, 1.10)이었다. Helical IMRT가 1에 가장 가까운 값을 보여주었고 VMAT과 Split VMAT은 비슷한 값을 보였다. P_CTV의 C.I 평균 값은 각각 (1.03, 0.99, 1.00)이었다. C.I는 VMAT과 Split VMAT이 비슷한 값을 보이면서 Helical IMRT보다 1에 더 가까운 값을 보여주었다. 통계 결과에서 H.I에서는 Split VMAT-Helical IMRT p (p-value) < 0.001로 평균의 유의미한 차이를 보였고 C.I에서는 실제 평균 값의 차이와는

달리 3개 치료계획 간 모든 비교에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다 (Table 3).

2. Organ At Risk (OAR) : RT/LT Parotid Gland, RT/LT SubMandibular Gland, Spinal Cord + 0.3 cm (P_Cord), Brain Stem

3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에서 RT/LT Parotid Gland 평균 선량 (Gy)은 각각 (14.54, 17.06, 14.76), (14.32, 17.32, 15.09)이었다. Helical IMRT와 Split VMAT은 값의 큰 차이는 보이지 않았으며 2개 치료계획 모두 VMAT보다 평균 선량이 낮게 나타났다. RT/LT

Table 3. H.I, C.I value and Statistics

	Target	
	H.I* (P_GTV)	C.I† (P_CTV)
Helical IMRT	1.04	1.03
VMAT	1.11	0.99
Split VMAT	1.10	1.00
Statistics (p-value)		
	H.I* (P_GTV)	C.I† (P_CTV)
Split VMAT-VMAT	0.342	0.660
Split VMAT-Helical IMRT	< 0.001	0.140
VMAT-Helical IMRT	< 0.001	0.167

*Homogeneity Index, †Conformity Index

Table 4. OAR (Organ At Risk) Dose (Gy) and Statistics

OAR (Organ At Risk)						
	RT Parotid*	LT Parotid*	RT SMG*	LT SMG*	P_Cord [†]	Brain Stem [†]
Helical IMRT	14.54	14.32	24.43	23.52	20.57	22.35
VMAT	17.06	17.32	23.69	22.79	22.59	23.99
Split VMAT	14.76	15.09	22.13	21.17	21.06	21.68
Statistics (p-value)						
	RT Parotid	LT Parotid	RT SMG	LT SMG	P_Cord	Brain Stem
Split VMAT-VMAT	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	0.002	< 0.001
Split VMAT-Helical IMRT	0.412	0.001	0.002	0.051	0.623	0.522
VMAT- Helical IMRT	< 0.001	< 0.001	0.132	0.465	0.118	0.127

*Mean dose, [†]Max dose

SubMandibular Gland 평균 선량 (Gy)은 (24.43, 23.69, 22.13), (23.52, 22.79, 21.17)이었다. Split VMAT이 제일 낮고 다음 VMAT, Helical IMRT 순으로 평균 선량이 더 낮았다. Spinal Cord + 0.3 cm (P_Cord) 최대 선량 (Gy)은 각각 (20.57, 22.59, 21.06)이었다. Helical IMRT이 제일 낮고 다음 Split VMAT, VMAT 순으로 최대 선량이 더 낮았으며 Helical IMRT와 Split VMAT은 값의 큰 차이를 보이지 않았다. Brain Stem 최대 선량 (Gy)은 (22.35, 23.99, 21.68)이었다. Split VMAT이 제일 낮고 다음 Helical IMRT, VMAT 순으로 최대 선량이 낮았다. 통계 결과는 RT Parotid Gland에서 Split VMAT-VMAT는 $p < 0.001$ 로 평균의 유의미한 차이를 보였다. LT Parotid Gland에

서는 모든 비교에서 평균의 유의미한 차이를 보였다 ($p < 0.001$). RT/LT SubMandibular Gland에서 Split VMAT이 다른 치료계획 대비 전체적으로 유의미한 차이를 보였는데 LT SubMandibular Gland에서 Helical IMRT와 비교했을 때 $p=0.05$ 와 유사한 결과를 보였다 ($p = 0.051$). P_Cord, Brain Stem에서 Split VMAT이 VMAT 대비 모두 유의미한 차이를 보였다 (Table 4).

3. Low Dose Area : 50% Isodose Curve

3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에서 50% Isodose Curve 용적의 평균 값 (cc)는 (1332, 1132.5, 1065.2)였다. Split VMAT이 제일 작고 다음 VMAT, Helical IMRT 순으로 용적이 작았으며 통계 결과에서도 유의미한 차이를 보였다 (Split VMAT-VMAT ($p : 0.012$), Split VMAT-Helical IMRT ($p < 0.001$)) (Table 5).

4. Beam On Time

3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에서 Beam On Time의 평균 값 (sec)은 (373.7, 130.7, 254.4)였고 10명의 실험대상에서 모두 Helical IMRT가 제일 길고 다음 Split VMAT, VMAT 순으로 Beam On Time이 길었으며 Total MU도 Helical IMRT가 제일 높고 다음 Split VMAT, VMAT 순으로 높았다 (Table 6).

Table 5. Low Dose Area Volume (cc) and Statistics

Low Dose Area	
	50% Isodose Curve
Helical IMRT	1332
VMAT	1132.5
Split VMAT	1065.2
Statistics (p-value)	
	50% Isodose Curve
Split VMAT-VMAT	0.012
Split VMAT-Helical IMRT	< 0.001
VMAT- Helical IMRT	< 0.001

Table 6. Beam On Time (sec) and Total MU

	Beam On Time	Total MU
Helical IMRT	373.7	5443
VMAT	130.7	723.3
Split VMAT	254.4	1149.5

결론 및 고찰

비인두암을 포함하여 두경부암에 주로 적용하는 Tomotherapy는 Binary MLC를 이용한 나선형 선량 전달 방식으로 정상 조직의 선량 감소 효과가 뛰어난 장점이 있다. 이는 회전 조사와 더불어 빠른 MLC의 움직임 때문에 가능한 것으로 기존의 Linac의 VMAT 방식으로는 넓은 Field Size에서 다소 느린 MLC 움직임으로 인해 정상 조직의 선량 감소 효과가 제한된다. 이에 본 연구는 Tomotherapy와 유사한 치료계획 효과를 얻기 위해서 기존의 VMAT과 차별하여 인위적으로 Field Size를 제한하여 빠른 MLC 이동이 가능한 Split-VMAT 치료계획을 진행하였다. 3개 치료계획 (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT)에 평가항목에서 P_GTV의 H.I는 Helical IMRT 치료 계획이 더 좋은 결과를 보였고 P_CTV의 C.I는 Linac 치료 계획 (VMAT, Split VMAT)이 더 좋은 결과를 보였다. 하지만 통계적으로는 C.I는 치료 계획에 따른 차이가 없다는 결과를 나타냈으며 Target은 Helical IMRT가 통계적으로 Linac 치료계획 (VMAT, Split VMAT)보다는 우수하다는 결론을 낼 수 있었고 VMAT과 Split VMAT의 비교에서는 통계적으로 차이가 없었다. OAR에서 RT/LT Parotid Gland Mean Dose는 전체적으로 Helical IMRT가 적었지만 LT Parotid Gland에서는 Helical IMRT와 Split VMAT 간 통계적 차이가 없다는 결과를 보였다. 이는 기존 VMAT보다 Split VMAT에서 급격한 선량 감소가 가능했기 때문이고 Helical IMRT는 나선회전전달방식의 이점으로 Parotid Gland 선량을 줄일 수 있던 것으로 판단된다. P_Cord, Brain Stem Max Dose는 Helical IMRT 대비 Split VMAT간의 통계적으로 차이가 없었고 기존 VMAT보다 좋은 결과를 보였다 (Fig 4). Max Dose을 줄여야 하는 상황에서 Split VMAT이 기존 VMAT보다 더 효과적

으로 줄여주는 것을 알 수 있었다. Low Dose Area에서 50% Isodose Curve의 용적 차이는 Split VMAT이 제일 작고 다음 VMAT, Helical IMRT 순으로 작은 용적 크기와 유의미한 차이의 통계 결과를 보였다. Split VMAT은 인위적으로 Field Size를 제한했기 때문에 Field Size의 제약이 없는 기존 VMAT과 누설 선량의 차이가 발생한 것으로 보여진다. Beam On Time에서는 Helical IMRT이 제일 길고 다음 Split VMAT, VMAT 순으로 길어지는 결과를 보였는데 beam delivery 방식의 차이로 발생한 것으로 보인다. 연구를 위해 진행한 모든 치료 계획은 DQA를 시행하였고 기준을 통과하였다. 이 논문의 제한점으로는 첫째, Helical IMRT 같은 경우 Field Width, Modulation Factor 조절을 통해 Beam On Time을 줄인 치료 계획도 비교 할 수 있었으나 본 연구에서는 진행하지 못하였다. 둘째, Eclipse에서 적용하는 Jaw Tracking에 대한 비교를 통해 Split VMAT 방법과 비교해 볼 수 있었으나 본 연구에서는 진행하지 못하였다. 몇 가지 제한점이 있었으나 통계적 결과를 비추어볼 때 Split VMAT은 Helical IMRT 대비 OAR 선량 감소에 있어 유사한 효과를 보이면서 저 선량 영역을 줄여주었고 짧은 Beam On Time을 보여주면서 효율적인 치료가 가능하다고 보여지고 기존 VMAT보다 OAR 및 저 선량 영역을 효과적으로 줄여주었다. Split VMAT의 효과를 활용한다면 비인두암을 포함하여 두경부암의 치료 계획에 있어 효과적인 방법이 될 것이라 사료된다.

참고문헌

1. P. Jardel, J. Thariat, P. Blanchard, et al.: Nasopharyngeal cancers, an overview. Bulletin du Cancer. 2014;101(5):445-454
2. Yi Rong, James S Welsh: Dosimetric and clinical review of Tomo tomotherapy. Expert Review of Anti-cancer Therapy. 2011;11(2):309-320.
3. Jie Qiu, Zhikai Liu, Bo Yang, Xiaorong Hou, et al.: Low-Dose-Area-Constrained Tomo Tomotherapy-Based Whole Breast Radiotherapy and Dosi-

- metric Comparison with Tangential Field-in-Field IMRT, *BioMed Research International*, 2013;10,1155.
4. Otto K: Volumetric modulated arc therapy : IMRT in a single gantry arc, *Med Phys*, 2008;35(1):310-317.
5. 문준기, 손상준, 김대호 등: 골반 림프선을 포함한 전립선암 치료 시 Split VMAT plan의 유용성 평가. *대한방사선치료학회*, 2015;27(2):145~156.
6. Feuvret L, Noël G, Mazeron JJ et al.: Conformity index: a review. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006;64(2):333-342.
5. 문준기, 손상준, 김대호 등: 골반 림프선을 포함한 전립선암

Utility Evaluation of Split VMAT Treatment Planning for Nasopharyngeal cancer

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center

**Tae Yang Park, Jin Man Kim, Dong Yeol Kwon,
Jun Taek Lim, Jong Sik Kim**

Purpose : IMRT using Tomotherapy during nasopharyngeal cancer radiation therapy irradiate an accurate dose to tumor tissues and is effective to reduce a dose rapidly in normal tissues. However, this has high MU and long Beam On Time. This study aims to analyze differences in tumors, normal tissues and low-dose distributions and the efficiency of Split VMAT after applying Helical IMRT (Tomotherapy), VMAT (Linac : 2Arc) and Split VMAT (Linac : 4Arc) plans.

Materials and Methods : This study targeted ten nasopharyngeal cancer patients of this hospital and compared three treatment plans (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT). For Helical IMRT planning, Precision® (Version 1.1.1.1, Accuray, USA) was used, and for VMAT and Split VMAT planning, Pinnacle³® (Version 9.10, Philips, USA) was used. The total dose applied was 38.4 Gy / 32 Gy (Daily Dose 2.4 Gy (GTV + 0.3 cm) / 2 Gy (CTV + 0.3 cm) 16Fx), and for GTV + 0.3 cm (P_GTV), 95% of $V_{38.4Gy}$ was prescribed. VMAT with an angle of 360° 2Arc was applied, and for Split VMAT, the field was divided into the right, the left, the top and the bottom and an angle of 360° 4Arc, 6MV was set. For evaluating the quality of the treatment plans, differences in tumors, normal tissues and low-dose area were compared, and Beam On Time was measured to analyze the efficiency.

Results : When calculating the mean values of evaluation items of the three treatment plans (Helical IMRT, VMAT, Split VMAT) for the patients, the H.I (Homogeneity Index) of P_GTV was 1.04, 1.11 and 1.1 respectively, and the C.I (Conformity Index) of P_CTV was 1.03, 0.99 and 1.00 respectively. The mean dose of RT Parotid Gland (Gy) was 14.54, 17.06 and 14.76 respectively, the mean dose of LT Parotid Gland (Gy) was 14.32, 17.32 and 15.09 respectively, the maximum dose of P_Cord (Spinal Cord + 0.3 cm) (Gy) was 20.57, 22.59 and 21.06 respectively, and the maximum dose of Brain Stem (Gy) was 22.35, 23.99 and 21.68 respectively. The 50% isodose curve (cc) was 1332, 1132.5 and 1065.2 respectively. Beam On Time (sec) was 373.7, 130.7 and 254.4 respectively.

Conclusion : Displaying a similar treatment plan quality to Helical IMRT, which is used a lot for head and neck treatment, Split VMAT reduced the low-dose area and Beam On Time and produced a better result than VMAT. Therefore, it is considered that Split VMAT is effective not only for nasopharyngeal cancer but also for other head and neck cancers.

▶**Key words :** Helical IMRT, VMAT, Split VMAT