

비인두암 Vertical MLC VMAT plan 유용성 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

채승훈·손상준·이제희

목 적 : 비인두암 VMAT 치료 시 콜리메이터 각도 273°와 350°를 사용한 2회전 치료계획(Vertical MLC VMAT plan, 이하 VMV plan)과 콜리메이터 각도 20°와 340°를 사용한 2회전 치료계획(Complemental MLC VMAT plan, 이하 CMV plan)과의 비교 분석을 통해 유용성을 평가해 보고자 한다.

대상 및 방법 : 본원에서 VMAT 치료를 받은 비인두암 환자 30명을 대상으로 하였다. 전산화치료계획은 Eclipse, PO, AcurosXB 알고리즘을 이용하였으며, 치료기는 Vital-beam을 사용하였다. 치료계획은 갠트리 회전반경이 각각 360°인 두 개의 회전(Arc)을 6MV를 이용하여 생성하고, 콜리메이터 각도 변화에 의한 영향을 확인하기 위해 273°와 350°로 설정한 VMV plan과 20°와 340°로 설정한 CMV plan을 수립하였다. 선량용적 히스토그램에서 확인 및 산출된 계획표적용적(PTV)과 결정장기(OAR)들의 선량지표들과 변조복잡성지수(MCSv), MU, 치료시간에 대해 기술통계 및 대응표본 t-검정을 실시하였다. 그리고 대상별로 두 치료계획의 MCSv의 차이와 각각의 평가지표들의 차이 간 상관관계가 있는지 확인하기 위해 피어슨의 상관관계 분석을 실시하였다.

결 과 : PTV 평가 지표의 경우, VMV Plan에서 PTV_67.5의 CI가 3.76% 개선되었으며, OAR의 경우 척수(-14.05%)와 뇌 줄기(-9.34%)의 선량감소 효과가 두드러지게 나타났다. 그리고 귀밑샘들(왼쪽 : -5.38%, 오른쪽 : -5.97%)과, 시각기관들(왼쪽 시신경 : -4.88%, 오른쪽 시신경 : -5.80%, 시신경교차 : -6.12%, 왼쪽 수정체 : -6.12%, 오른쪽 수정체 : -5.26%), 청각기관(왼쪽 : -11.74%, 오른쪽 : -12.31%)과 갑상샘(-2.02%)에서의 선량감소효과도 확인할 수가 있었다. 또한 MCSv가 VMV Plan에서 5.31% 높게 나왔으며, MU의 경우에 6.11% 낮은 것으로 나타났다. 그리고 두 치료계획의 MCSv의 차이는 PTV_54의 CI(r=-0.55)의 차이, PTV_48의 CI(r=-0.43)의 차이와 유의한 음(-)의 상관관계를 보였고, 척수(r=0.40), 뇌줄기(r=0.34), 양쪽 침샘들(왼쪽 : r=0.36, 오른쪽 : r=0.37)의 차이와 양(+)의 상관관계를 보였다. 이는 VMV plan의 modulation 복잡성이 CMV plan에 비해 상대적으로 높아 질 때, PTV_54, 48의 CI 개선 및 척수, 뇌줄기, 양쪽침샘들의 선량감소 효과가 커지는 것을 의미하며, 이러한 분석결과들을 바탕으로 VMV plan의 modulation에 대한 효율성이 CMV plan 보다 크다는 것을 확인할 수 있었다. (위 모든 값에 대해 유의수준은 p<.05)

결 론 : VMV Plan은 CMV plan과 비교하여 MLC가 더 효율적으로 modulation할 수 있도록 함으로써, 치료계획의 질을 향상 시키는데 도움이 될 것이라 사료된다.

▶ **핵심용어 :** nasopharynx VMAT, collimator angle, MLC

서 론

용적세기조절회전치료(volumetric modulated arc therapy, VMAT)를 위한 전산화치료계획 시 콜리메이터 각도 설정은 정상조직을 효율적으로 차폐하면서, 원하는 선량분포를 형성하기 위한 최적화의 자유도를 결정하는

책임저자: 채승훈, 서울대학교병원 방사선종양학과
서울시 종로구 연건동 28번지
Tel: 02) 2072-4953, ***-****-****
E-Mail: chaegoon1015@naver.com

상당히 중요한 요소이다.⁽¹⁾ 또한 일반적으로 다엽콜리메이터(multi leaf collimator, MLC)의 엽 간 누설선량의 누적을 분산시키기 위하여 0°에서 회전시켜 설정하게 되며,⁽²⁾ 45°까지 증가시킬수록 치료부위의 위, 아래쪽 정상조직에 대한 누설선량의 증가를 일으킬 수 있어 신중한 선택이 필요하다.⁽³⁾

Eclipse 전산화 치료계획 시스템(Varian Medical System, Palo Alto, CA)에서는 2회전 치료계획 시 30°를 기본 값으로 하여 두각의 합이 360°가 되는 complement angle과의 조합을 사용하는 방법이 추천되고 있지만⁽⁴⁾, 여러 선행연구들에서는 다양한 부위와 계획에 대한 최적의 콜리메이터 각도를 찾기 위한 노력이 진행되어 왔다.^(5, 6, 7) 비인두암 VMAT 치료계획에 대한 연구에선, 김용호(2017) 등은 0°에서 45°의 콜리메이터 각도와 complement angle의 조합을 이용한 2회전 치료계획들에 대한 비교 분석을 진행한바가 있지만⁽⁸⁾, 이보다 다양한 콜리메이터 각도의 조합에 대한 연구는 부족한 상황이다. 한편, 본원에서는 Spine SBRT 치료 시, MLC의 운동방향과 척수의 장축을 일치시키기 위한 콜리메이터 각도인 273°(Coaxial MLC)와 추가로 conformity 보안을 위해 350°로 설정한 2회전 Vertical MLC VMAT Plan의 유용성에 대해 보고한 바가 있다. 위 연구에서 척수를 더욱 효율적으로 차폐할 수 있는 MLC 배치를 바탕으로 한 modulation을 통해 척수선량의 감소, HI(Homogeneity Index)의 개선, MU의 감소효과를 낼 수 있음을 확인할 수 있었다.⁽⁶⁾ (Fig. 1)

본 연구에서는 Vertical MLC VMAT Plan을 비인두암에 대해 적용시켰을 때에도 척수(spinal cord)와 뇌줄기(brain stem)의 선량 감소효과를 기대할 수 있는지, 그리고 표적용적과 다른 정상장기들에 대한 평가지표들을 함께 분석하여 전체적인 치료계획의 질을 평가해 보고자 하였다. 또한 비인두암의 표적용적은 주 종양(main tumor)과 양쪽 국소 림프절(bilateral regional Lymph node)이 합쳐진 오목한 형태를 이루고 있는데⁽⁹⁾, 이러한 표적용적을 MLC가 위아래 방향으로 움직일 수 있도록 배치하였을 때 좌우에 가까운 방향으로 움직이도록 하는 배치보다 더 효율적으로 modulation 할 수 있을 것 이라는 가설을 세우고, 그 효율성을 검증해보고자 하였다. (Fig. 2) 이리하여 본 연구에서는 비인두암에 대한 complement angle



Fig. 1. MLC modulation image at collimator angles of 273° for spine SABR

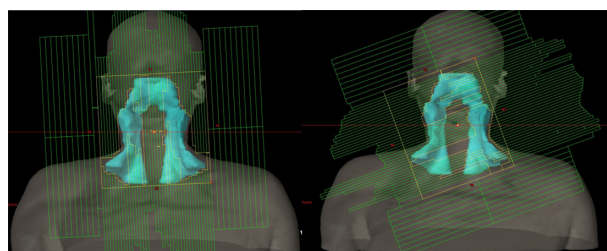


Fig. 2. Comparison of beam's eye-view images for collimator angles of 273°(left) and 20°(right) at gantry angle of 180° for nasopharyngeal carcinoma

들의 조합들을 비교 평가한 선행연구를 통해 여러 지표들에서 우수한 효과를 나타내어 추천하고 있는 20°와 340°의 조합을 사용한 2회전 치료계획(Complemental MLC VMAT plan, 이하 CMV plan)⁽³⁾과의 비교 분석을 통해 Vertical MLC VMAT plan(이하 VMV plan)의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 환자 선택

본원에서 VitalBeam(Varian Medical System, USA)을 이용하여, VMAT 치료계획으로 양쪽 림프절을 포함하여 치료받은 비인두암 환자 30명을 대상으로 하였다. 전산화 단층 촬영(Brilliance big bore 16-slice, Philips, Netherlands)은 Mouth Piece를 이용하여 입을 벌리는 정도와 혀를 아래로 고정하고, 고정용 열성형가면(Thermoplastic mask)을 사용한 상태에서 조영제를 주입하여 3 mm 두

계로 스캔하였다. 획득한 환자의 CT 영상에 임상표적용적 (clinical target volume, CTV), 계획표적용적(planning target volume, PTV), 및 결장장기(organ at risk, OAR)의 윤곽을 그렸다.

2. 치료계획

전산화 치료계획시스템은 Eclipse(Ver 13.7, Varian Medical system, Palo Alto, CA), PO (Photon Optimizer Ver. 13.7.16), AcurosXB(Acuros External Beam Ver. 13.7.16) 알고리즘을 이용하였으며, 치료기는 Vital-beam(Varian Medical system, Palo Alto, CA)을 사용하였다. 갠트리 회전반경이 각각 360°인 두 개의 회전(Arc)을 6MV를 이용하여 생성하고, 콜리메이터 각도 변화에 의한 영향을 확인하기 위해 273°와 350°로 설정한 VMV plan과 20°와 340°로 설정한 CMV plan을 수립하였다.

콜리메이터 각도를 270°가 아닌 273°로 설정한 이유는 270°로 설정하여 IMRT verification QA를 진행하게 되면 치료중심부분에서 failed point가 수 회 발생하였고, 콜리메이터 각도를 3°회전하여 설정함으로써 문제점을 보완할 수 있었기 때문이다.⁽⁸⁾ 그리고 0°를 사용하지 않고 350°를 사용한 이유는 MLC의 엽 간 누설선량의 누적을 분산시키기 위해서이다.

치료계획의 처방선량은 동시통합추가치료법(simultaneous integral boost, SIB)으로 총 선량 6750, 5400, 4800 cGy를 30회에 걸쳐 일 선량 225, 180, 160 cGy 로 하였다. 콜리메이터 각도를 제외한 모든 조건을 동일하게 설정하였고, 최적화(Optimization) 과정에서 나타나는 선량 차이의 무작위성을 최소화하기 위해 각각 2회의 최적화 선량 계산과정을 거쳤다.⁽¹⁰⁾ 계산 Grid 는 0.2 cm, Target V_{100%} = 95%로 설정하였다.

3. 치료계획 평가 지표

각 계획의 선량 용적 히스토그램(dose-volume histogram, DVH)에서 용적 내 최대선량(Global Maximum Dose)과 PTV_{67.5}, PTV₅₄, PTV₄₈에 대한 평균선량, PTV의 95%가 조사되는 선량을 확인하였고, C.I.(Conformity Index.)[Eq. 1]⁽¹¹⁾, H.I.(Homogeneity

Index)[Eq. 2]를 산출하여 비교하였다. 두 지수의 이상적인 값은 1이며, CI는 커지고, HI는 작아져서 1에 가까울수록 더 좋은 선량분포임을 뜻한다.

$$CI = \frac{TV_{RI} \times TV_{RI}}{TV \times V_{RI}} \text{ ----- [Eq. 1]}$$

VRI = Volume of the prescription isodose

TV = Target Volume

TVRI = Target volume covered by the prescription isodose

$$HI = \frac{D_5}{D_{95}} \text{ ----- [Eq. 2]}$$

D5% = Dose of Target Volume 5%

D95% = Dose of Target Volume 95%

또한 OAR들의 평가를 위해서 뇌줄기(brain stem), 척수(spinal cord), 수정체(lens), 시신경(optic nerve), 시신경교차(optic chiasm)의 최대선량을 체적 0.03 cc를 기준으로 확인하고, 귀밑샘(parotid gland), 턱밑샘(submandibular gland), 청각기관(auditory organ), 갑상샘(thyroid)의 평균선량을 비교분석하였다.

그리고 치료 계획 전달의 효율성을 확인하기 위해 MCSv(Modulation complexity score of VMAT)를 산출하고, MU(Monitor Unit)와 치료시간을 기록하여 비교 평가하였다. MCSv는 VMAT에서 MLC의 선량 변조 복잡성을 평가하기 위한 지표로, A. L. McNiven et al. (2010)⁽¹²⁾ 이 static field IMRT의 MLC 선량 변조 복잡성을 평가하기 위해 만든 지표인 MCS가 Laura Masi et al.(2013)⁽¹³⁾ 에 의해 VMAT에 적용시킬 수 있도록 변형된 것이다. 이 값이 작아질수록 MLC 변조가 심해지고, 반대로 커질수록 선량 변조가 단순해지고 선량전달이 용이해짐을 뜻한다.[Eq. 3]

[Eq. 3]

$$pos_{max}(CP) = \langle \max(pos_{n \in N}) - \min(pos_{n \in N}) \rangle_{leaf\ bank}$$

$$LSV_{CP} = \langle \frac{\sum_{n=1}^{N-1} (pos_{max} - |(pos_n - pos_{(n+1)})|)}{(N-1) \times pos_{max}} \rangle_{leaf\ bank}$$

$$\times \langle \frac{\sum_{n=1}^{N-1} (pos_{max} - |(pos_n - pos_{(n+1)})|)}{(N-1) \times pos_{max}} \rangle_{right\ bank}$$

$$AAV_{cp} =$$

$$\frac{\sum_{(a=1)}^A \langle pos_a \rangle_{leaf\ bank} - \langle pos_a \rangle_{right\ bank}}{\sum_{(a=1)}^A \langle \max(pos_a) \rangle_{leaf\ bank \in arc} - \langle \max(pos_a) \rangle_{right\ bank \in arc}}$$

$$MCS_v = \sum_{i=1}^{i-1} \left[\frac{(AAV_{CPi} + AAV_{CPi+1})}{2} \times \frac{(LSV_{CPi} + LSV_{CPi+1})}{2} \times \frac{MU_{CPi+1}}{MU_{arc}} \right]$$

POS: leaf position

CP: control point

LSV : leaf sequence variability

AAV: aperture area variability

MCSv : modulation complexity score for VMAT

연구 분석을 위해서 PRISM(Ver. 9.2.0, GraphPad Software, San Diego, CA) 프로그램을 이용하였다. 두 치료계획에서 각각의 변수들에 유의한 차이를 보이는지 검증하고자 기술통계 및 대응표본 t-검정을 실시하였다. 또한 효율성에 대한 측면을 좀 더 깊이 분석하기 위해 대상별로 두 치료계획의 MCSv의 차이(CMV plan의 MCSv - VMV plan의 MCSv)와 각각의 평가지표들의 차이(CMV plan의 평가지표 - VMV plan의 평가지표) 간에 미치는 효과를 피어슨의 상관관계 분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하여 확인하였다.

결 과

1. PTV 평가 지표

PTV에 대한 평가 지표들에서는, PTV_67.5의 CI는 VMV Plan(0.748±0.095)이 CMV Plan(0.721±0.092)보다 높아 1에 근접하게 나타났으며(p=0.002), HI는 VMV Plan(1.086±0.032)이 CMV Plan(1.097±0.039)보다 낮아 1에 근접하게 분석되었다(p=0.006). 최대선량(p=0.023)과 PTV_67.5, PTV_54의 평균선량(각각 p=0.001) 그리고 PTV_48의 D95%(p=0.001)는 VMV Plan이 CMV Plan 보다 낮았지만 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. 그리고 나머지 지표들에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다.(Table 1).

2. OAR 평가 지표

정상장기의 평가지표 중에서는 척수, 뇌줄기, 양쪽 수정체, 양쪽 시신경, 시신경교차의 최대선량과 양쪽 귀밑샘, 오른쪽 턱밑샘, 청각기관, 갑상샘의 평균선량에서 유의한 차이를 보이는 것으로 분석되었으며, VMV Plan에서 모두 더 낮은 것으로 나타났다. 척수는 VMV Plan에서 2893.19 ±920.55 cGy(-14.05%), CMV Plan에서 3366.28±969.25 cGy로 나타났으며, 뇌줄기는 VMV Plan에서 3853.88±817.88 cGy(-9.34%), CMV Plan에서 4251.15±850.03

Table 1. Average dose–volumetric(DV) parameters of planning target volume

DV parameter		VMV plan	CMV plan	P-value(two-tailed)
Global	D _{max} (%)	111.82±3.92	112.88±4.94	0.023*
	D _{mean} (cGy)	7095.96±141.21	7151.51±162.02	0.001**
67.5	CI	0.748±0.095	0.721±0.092	0.002**
	HI	1.086±0.032	1.097±0.039	0.006**
	D _{mean} (cGy)	5937.24±172.33	6001.93±164.31	0.001**
	D _{95%} (cGy)	5436.13±128.77	5489.50±110.73	0.082
54	CI	0.314±0.180	0.305±0.174	0.147
	HI	1.244±0.049	1.244±0.045	0.980
	D _{mean} (cGy)	5151.96±160.30	5187.41±170.51	0.055
	D _{95%} (cGy)	4870.16±116.44	4982.61±177.30	0.001**
48	CI	0.144±0.163	0.141±0.158	0.476
	HI	1.149±0.083	1.134±0.074	0.059

*:p<.05, **:p<.01, ***:p<.001

cGy로 확인되어 선량감소 효과가 두드러지게 나타났다(각각 $p < 0.001$). 또한 침샘들(왼쪽 귀밑샘 : -5.38% , $p < 0.001$, 오른쪽 귀밑샘 : -5.97% , $p < 0.001$, 오른쪽 턱밑샘 : -1.83% , $p = 0.040$)과, 시각기관들(왼쪽 수정체 : -6.12% , $p = 0.001$, 오른쪽 수정체 : -5.26% , $p = 0.024$, 왼쪽 시신경 : -4.88% , $p = 0.031$, 오른쪽 시신경 : -5.80% , $p = 0.028$, 시신경교차 : -6.12% , $p = 0.022$) 그리고 청각기관(왼쪽 : -11.74% , $p < 0.001$, 오른쪽 : -12.31% , $p < 0.001$)과 갑상샘 (-2.02% , $p = 0.048$)의 감소효과도 확인할 수가 있었다. 하지만 나머지 정상장기에 대한 선량들에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2).

3. MCSv, MU 및 치료시간

선량변조 복잡성을 나타내는 지표인 MCSv와 총 MU가 두 치료계획간 유의한 차이를 보였다. MCSv는 VMV Plan($M=0.208$)이 CMV Plan($M=0.198$)과 비교하여 더 높게 나타났으며($p=0.003$), 총 MU는 VMV Plan($M=522.40$)이 CMV Plan($M=556.37$) 보다 더 낮은 것을 확인할 수 있었다($p < 0.001$). 그러나 치료시간은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 3).

4. MCSv의 차이와 평가지표들의 차이 간의 상관관계

선량변조 복잡성 피어슨 상관관계 분석을 실시한 결과 두 치료계획의 MCSv의 차이는 PTV_54의 CI의 차이

Table 2. Average dose–volumetric(DV) parameters of normal organs

(Unit in cGy)

DV parameter	VMV plan	CMV plan	P–value(two–tailed)
Spinal cord D _{max}	2893.19±920.55	3366.28±969.25	<0.001***
Brain stem D _{max}	3853.88±817.88	4251.15±850.03	<0.001***
Lens Lt D _{max}	385.32±152.53	410.43±147.69	0.001**
Lens Rt D _{max}	395.41±164.63	417.37±158.45	0.024*
Optic nerve Lt D _{max}	1341.71±1194.96	1410.56±1104.07	0.031*
Optic nerve Rt D _{max}	1319.58±1112.13	1400.89±1047.92	0.028*
Optic chiasm D _{max}	1478.72±1150.50	1575.05±1157.49	0.022*
Parotid gland Lt D _{mean}	2189.80±707.60	2314.23±709.60	<0.001***
Parotid gland Rt D _{mean}	2400.84±1153.39	2553.26±1152.16	<0.001***
Submandibular gland Lt D _{mean}	4736.63±1197.54	4656.79±1215.52	0.185
Submandibular gland Rt D _{mean}	4823.61±1131.93	4913.37±1173.96	0.040*
Oral cavity D _{mean}	4021.11±1002.15	4047.61±1010.83	0.539
Auditory organ Lt D _{mean}	3449.47±916.62	3908.18±1100.67	<0.001***
Auditory organ Rt D _{mean}	3569.51±1062.04	4070.50±1299.66	<0.001***
Thyroid D _{mean}	3942.26±1919.00	4023.40±1905.36	0.048*

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Table 3. Average parameters of MCSv, MU and Treatment time

parameter	VMV plan	CMV plan	P–value(two–tailed)
MCSv	0.208±0.041	0.198±0.037	0.003**
MU	522.40±76.73	556.37±87.38	<0.001***
TIME (min)	2,001±0,910	2,002±0,912	0.484

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Table 4. Pearson’s Correlations Coefficient between difference of MCSv and difference of evaluation indexes(CMV plan – VMV plan)

Difference between plans		Pearson Correlations Coefficient (r)	P-value(two-tailed)
MCSv		1	
Global D _{max}		0,019	0,922
PTV_67,5	CI	-0,066	0,730
	HI	0,136	0,475
PTV_54	CI	-0,554	0,002**
	HI	0,140	0,461
PTV_48	CI	-0,434	0,017*
	HI	0,215	0,253
Spinal cord D _{max}		0,403	0,027*
Brain stem D _{max}		0,343	0,049*
Lens Lt D _{max}		0,126	0,506
Lens Rt D _{max}		0,113	0,552
Optic nerve Lt D _{max}		-0,023	0,905
Optic nerve Rt D _{max}		-0,112	0,555
Optic chiasm D _{max}		0,018	0,924
Parotid gland Lt D _{mean}		0,364	0,048*
Parotid gland Rt D _{mean}		0,369	0,045*
Submandibular gland Lt D _{mean}		-0,081	0,669
Submandibular gland Rt D _{mean}		0,143	0,451
Oral cavity D _{mean}		0,016	0,342
Auditory organ Lt D _{mean}		-0,083	0,659
Auditory organ Rt D _{mean}		0,303	0,104
Thyroid D _{mean}		-0,055	0,772

*:p<.05, **:p<.01, ***p<.001

(r=-0.554, p=0.002), PTV_48의 CI의 차이(r=-0.434, p=0.017)와 유의한 음(-)의 상관관계를 보였고, 척수(r=0.403, p=0.027), 뇌줄기(r=0.343, p=0.049), 양쪽 침샘들(왼쪽 : r=0.364, p=0.048, 오른쪽 : r=0.369, p=0.045)의 차이와 유의한 양(+)의 상관관계를 보였다. 반면에, 나머지 지표들과는 상관관계를 보이지 않았다(Table 4). 이는 VMV plan의 modulation 복잡성이 CMV plan에 비해 상대적으로 높아 질 때, PTV_54, 48의 CI 개선 및 척수, 뇌줄기, 양쪽침샘들의 선량 감소 효과가 커지는 것을 의미하여, 반대로 CMV plan의 modulation 복잡성이 VMV plan의 것보다 상대적으로 더 커짐에도 불구하고 PTV_54, 48의 CI 개선 및 척수, 뇌줄기, 양쪽침샘들의 선량 감소 효과가 낮아

지는 것을 나타낸다.(Fig. 3, 4, 5) 이러한 분석결과를 바탕으로 VMV plan의 modulation에 대한 효율성이 CMV plan보다 크다는 것을 추론해낼 수가 있었다.

고찰 및 결론

Vertical MLC VMAT Plan의 유용성을 평가하기 위한 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

VMV plan에서 PTV_67,5의 CI가 개선되는 경향을 보였으며, OAR의 경우 척수와 뇌 줄기의 선량감소 효과가 두드러지게 나타나, VMV Plan이 Spine SBRT 치료 시 척수의

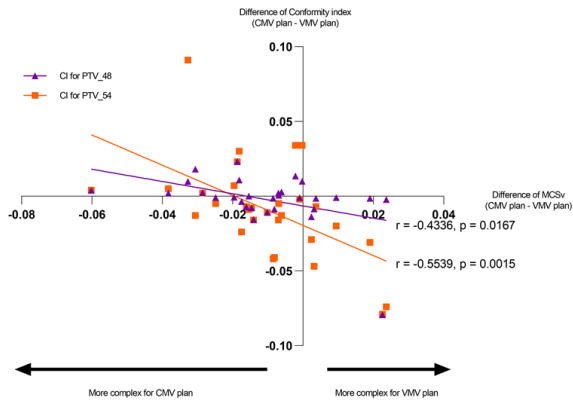


Fig. 3. Pearson's Correlations Coefficient between difference of MCSv and difference of CI for PTV_54 and PTV_48 (CMV plan - VMV plan)

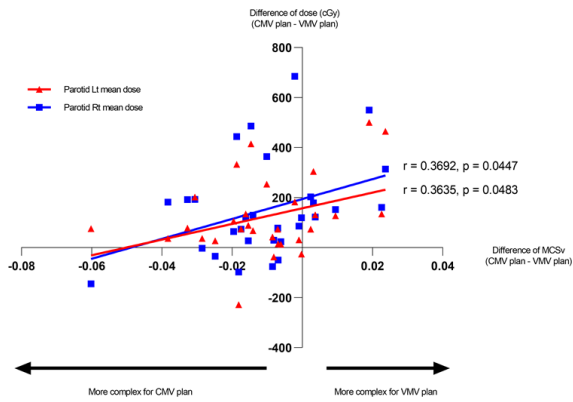


Fig. 4. Pearson's Correlations Coefficient between difference of MCSv and difference of left and right parotid glands (CMV plan - VMV plan)

흡수선량을 낮추는데 유리하다는 본원의 선행연구의 결과와 일치함을 확인할 수 있었다.⁽⁸⁾ 또한 침샘, 시각기관, 청각기관들에 대해서도 선량감소효과를 보여 환자의 회복과 삶의 질을 향상시키는데 의미가 있다고 보여진다.^(14, 15, 16)

또한 치료계획의 효율성을 알아보고자 진행했던 분석에서는 MCSv가 VMV Plan에서 5.32%가 높게 나와 CMV Plan 보다 MLC의 선량 변조가 단순하며, 선량전달이 용이함을 확인 할 수가 있었다. MU의 경우에도 6.11% 낮은 것으로 나타나 MU의 효율성이 더 좋은 것을 확인할 수가 있었다. 치료계획들의 각 회전별 MCSv와 MU를 살펴보면 273°로 설정한 회전이 상대적으로 높은 MCSv와 낮은 MU를 보이며, modulation의 효율성을 높이는 효과를 만들어 내는데 주된 역할을 한 것을 알아낼 수 있었다.(Fig. 6)

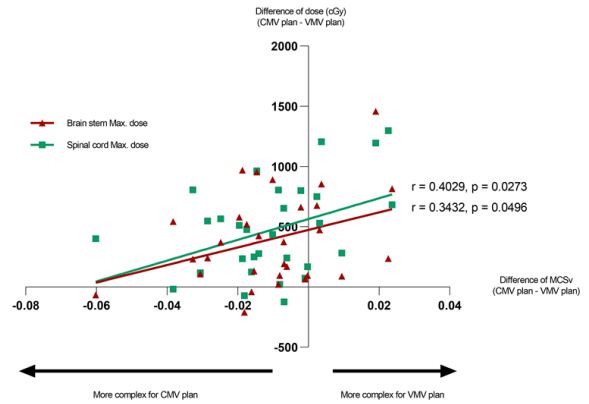


Fig. 5. Pearson's Correlations Coefficient between difference of MCSv and difference of spinal cord and brain stem (CMV plan - VMV plan)

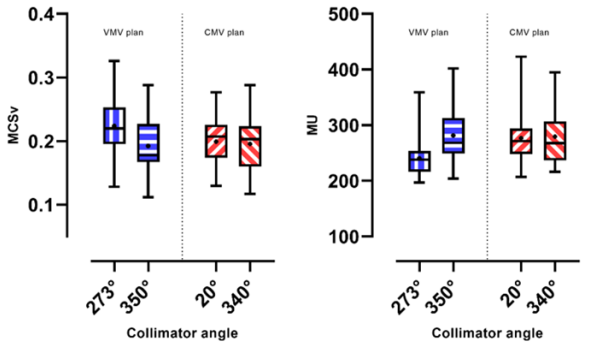


Fig. 6. MU and MCSv for each arc

본 연구의 한계점으로는 비인두암 치료의 치료용적은 위아래로 긴 형태를 보이는데, 콜리메이터를 270°(또는 90°) 방향으로 돌릴수록 MLC의 이동거리 제약은 커지게 된다. 본 연구의 대상 치료용적들의 세로축 평균길이는 18±3.1 cm로 측정 되었으며, 그 길이와 콜리메이터각도별 유용성간의 상관관계에 대한 연구를 진행하기에는 표본의 수가 부족하여 이를 진행하지 못한 점이 아쉬움으로 남는다. 그러므로 임상에서는 개별 환자와 치료기관 현장의 특성을 고려하여 신중한 치료계획이 이루어져야 할 것이다.

그럼에도 불구하고, 비인두암 환자에 대한 치료계획 수립 시, 기존의 연구에서 발전하여 Vertical MLC VMAT Plan이 MLC가 더 효율적으로 modulation할 수 있는 콜리메이터 각도를 부여함으로써, 지향하는 선량분포 형성에 기여하여 환자에 대한 치료효과와 삶의 질을 향상시키는데 도움이 되리라 사료된다.

참고문헌

1. Zhang P, Happersett L, Yang Y, et al.: Optimization of collimator trajectory in volumetric modulated arc therapy: development and evaluation for paraspinal SBRT. *Int J Radiat Oncol* 2010;77:591-599
2. Cilla S, Deodato F, Diges C et al: Assessing the feasibility of volumetric-modulated arc therapy using simultaneous integrated boost (SIB-VMAT): An analysis for complex head-neck, high-risk prostate and rectal cancer cases. *Med. Dosimetry* 2014;39:108
3. Kim Yong Ho, Park Dahi, Park Ha Ryung et al.: Effect of collimator angles on the dosimetric results of volumetric modulated arc therapy planning for patients with a locally-advanced nasopharyngeal carcinoma. *The Journal of the Korean Physical Society* 2017;70:539-544
4. Varian Medical Systems: Eclipse photon and electron instructions for use. 2015; <http://www.myvarian.com>. Accessed Oct 2021
5. Tas B, Bilge H, Ozturk ST: An investigation of the dose distribution effect related with collimator angle in volumetric arc therapy of prostate cancer. *J Med Phys.* 2016;41:100-105
6. Treutwein M, Hipp M, Koelbl O et al: Searching standard parameters for volumetric modulated arc therapy (VMAT) of prostate cancer. *Radiation oncology* 2012;7:108
7. Shingo O, Tomohiro S, Yoshihiro U et al: Effect of collimator angle on HyperArc stereotactic radiosurgery planning for single and multiple brain metastases. *Medical Dosimetry* 2020;45:85-91
8. Son Sang Jun, Mun Jun Ki, Kim Dae Ho et al: Evaluating efficiency of Coaxial MLC VMAT plan for spine SBRT. *Journal of Korean Society for Radiation Therapy* 2014;26(2):313-320
9. Biau J, Lapeyre M, Troussier I, et al: Selection of lymph node target volumes for definitive head and neck radiation therapy: a 2019 Update. *Int J Radiat Oncol* 2019;134:1-9
10. Vanetti E, Nicolini G, Nord J, 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
11. Van't Riet A, Mak AC, Moerland MA, et al.: A conformation number to quantify the degree of conformality in brachytherapy and external beam irradiation. Application to the prostate. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;37:731-736
12. McNiven AL, Sharpe MB, Purdie TG: A new metric for assessing IMRT modulation complexity and plan deliverability. *Med. Phys* 2010;37:505-515
13. Masi L, Doro R, Favuzza et al: Impact of plan parameters on the dosimetric accuracy of volumetric modulated arc therapy. *Med. Phys* 2013;40:071718.
14. Deasy JO, Moiseenko V, Marks L et al.: Radiotherapy Dose-Volume Effects on Salivary Gland Function. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010;76:S58-S63
15. Mayo C, Martel MK, Marks LB et al.: Radiation Dose-Volume Effects of Optic Nerves and Chiasm. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010;76:S28-S35
16. Bhandare N, Jackson A, Eisbruch A et al.: Radiation Therapy and Hearing Loss. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010;76:S50-S57

Evaluating efficiency of Vertical MLC VMAT plan for nasopharyngeal carcinoma

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

Chae Seung Hoon, Son Sang Jun, Lee Je Hee

Purpose : The purpose of the study is to evaluate the efficiency of Vertical MLC VMAT plan (VMV plan) Using 273° and 350° collimator angle compare to Complementary MLC VMAT plan (CMV plan) using 20° and 340° collimator angle for nasopharyngeal carcinoma.

Materials & Methods : Thirty patients treated for nasopharyngeal carcinoma with the VMAT technique were retrospectively selected. Those cases were planned by Eclipse, PO and AcurosXB Algorithm with two 6MV 360° arcs and Each arc has 273° and 350° of collimator angle. The Complementary MLC VMAT plans are based on existing treatment plans. Those plans have the same parameters of existing treatment plans but collimator angle. For dosimetric evaluation, the dose-volumetric (DV) parameters of the planning target volume (PTV) and organs at risk (OARs) were calculated for all VMAT plans. MCSv (Modulation complexity score of VMAT), MU and treatment time were also compared. In addition, Pearson's correlation analysis was performed to confirm whether there was a correlation between the difference in the MCSv and the difference in each evaluation index of the two treatment plans.

Result : In the case of PTV evaluation index, the CI of PTV_{67.5} was improved by 3.76% in the VMV Plan, then for OAR, the dose reduction effect of the spinal cord (-14.05%) and brain stem (-9.34%) was remarkable. In addition, the parotid glands (left parotid : -5.38%, right : -5.97%) and visual organs (left optic nerve: -4.88%, right optic nerve: -5.80%, optic chiasm : -6.12%, left lens: -6.12%, right lens: -5.26%), auditory organs (left: -11.74%, right: -12.31%) and thyroid gland (-2.02%) were also confirmed. The difference in MCSv of the two treatment plans showed a significant negative (-) correlation with the difference in CI ($r=-0.55$) of PTV₅₄ and the difference in CI ($r=-0.43$) of PTV₄₈. Spinal cord ($r=0.40$), brain stem ($r=0.34$), and both salivary glands (left: $r=0.36$, right: $r=0.37$) showed a positive (+) correlation. (For all the values, $p<.05$)

Conclusion : Compared to the CMV plan, the VMV plan is considered to be helpful in improving the quality of the treatment plan by allowing the MLC to be modulated more efficiently

▶ **Key words:** nasopharynx VMAT, collimator angle, MLC