

손상위험장기에 인접한 불규칙한 모양의 타겟 치료 시, 용적변조회전 방사선치료와 비동일평면상의 빔을 이용한 세기변조 방사선치료의 유용성 평가 및 비교

서울대학교병원 방사선종양학과
김경아·나경수·서석진·이제희

목적: 본 연구는 모양이 불규칙하고 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)에 매우 인접한 타겟(Target)의 방사선 치료 시, 비동일평면상(Non-coplanar)의 빔(Beam)을 이용한 Fixed-field 세기변조 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)와 용적변조회전 방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 치료계획의 유용성을 평가 및 비교해 보고자 하였다.

대상 및 방법: 본원에서 True Beam STX(Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 전체 두피(Whole Scalp), 부분적 두피(Partial Scalp), 그리고 전체 뇌실(Whole Ventricle)에 방사선 치료를 받은 환자 중 각 부위별로 2명 씩, 총 6명을 대상으로 하였다. VMAT 치료계획 시, Beamlet에 포함되는 OAR의 용적을 최소화하기 위해 Coplanar 또는 Non-coplanar 빔을 이용하였고, Fixed-field IMRT는 6명 모두 2개 이상의 카우치(Couch) 각도를 이용한 Non-coplanar IMRT(이하 ncIMRT)로 치료계획 하였다.

결과: 양측 수정체, 양측 시신경, 시신경 교차, 그리고 뇌 줄기의 최대선량과 양측 안구와 해마의 평균선량을 측정하였고, 6명 모두 9개의 OAR 중 6개 이상에서 VMAT 치료계획이 ncIMRT보다 1.1배에서 8.2배가량 높은 선량 값을 나타내었다. 전체 두피와 부분적 두피의 치료 시, 20 Gy가 조사되는 뇌의 용적은 VMAT이 ncIMRT의 2배 이상이었으며, 전체 뇌실의 치료 시에는 두 치료계획이 큰 차이를 보이지 않았다. 타겟 Coverage는 두 치료계획 모두 PTV_{100%}=95%를 만족시켰고, 타겟 내 최대선량과 치료 시 필요한 총 Monitor Unit(MU)은 ncIMRT가 VMAT보다 높았으며 두 치료계획 모두 임상적용을 위한 Gamma test 시행 결과, 2 mm/2% 조건을 통과하였다.

결론: 본 연구 결과, ncIMRT는 VMAT에 비해 치료 시 필요한 MU가 높아 치료시간과 장비의 로딩>Loading)을 증가시키므로 치료의 효율성은 다소 떨어지지만, VMAT과 비슷한 타겟 Coverage를 유지하면서, OAR의 선량은 훨씬 감소시키는 것을 알 수 있었다. 따라서 모양이 불규칙하고 OAR에 매우 인접해 있는 타겟의 방사선 치료 시에는 ncIMRT 치료계획을 고려해 볼 필요가 있다고 사료된다.

▶ **핵심용어:** 불규칙한 모양의 타겟, 손상위험장기, 비동일평면상의 빔, 세기변조 방사선치료, 용적변조회전 방사선치료, 전체 두피, 부분적 두피, 전체 뇌실

서론

방사선 치료의 기본적인 목적은 종양조직에 최대의 선량을 전달하고, 주변장기와 정상조직에는 최소의 선량을

을 전달하는 것이다.⁽¹⁾ 종양은 인체의 여러 부위에서 발생하고, 그 모양 또한 매우 다양한데, 방사선 치료의 대상이 되는 종양, 즉 타겟(Target)이 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)에 매우 인접하고 그 모양이 불규칙한 경우에는 OAR을 보호하면서 타겟에 충분한 선량을 전달하기 위해서 매우 정교한 치료계획이 요구된다.⁽²⁾ 대표적인 예로는 두부(Head)에 위치한 두피(Scalp)와 뇌실(Ventricle)이 있는데, 두피와 뇌실은 해부학적으로 시각계(Visual

책임저자: 김경아, 서울대학교병원
서울시 종로구 연건동 28번지
Tel: 02) 2072-4948
E-mail: 8988kka@gmail.com

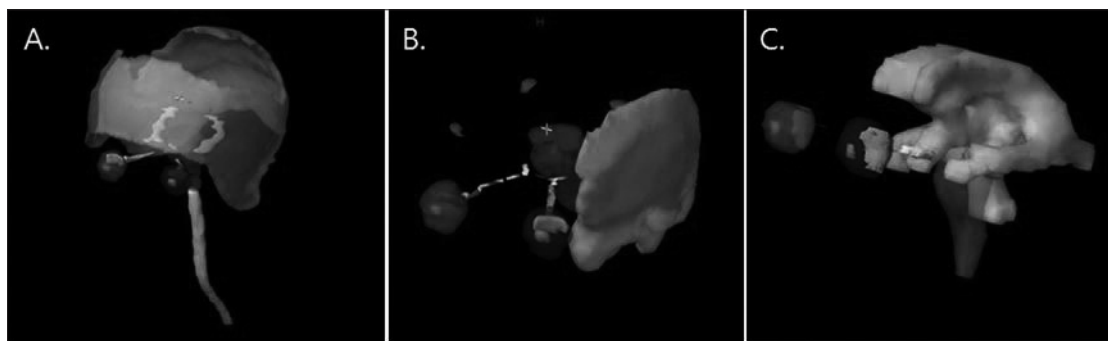


Fig. 1. 3D reconstruction of OAR and PTV (A) Whole Scalp, (B) Partial Scalp, (C) Whole Ventricle.

system)와 전뇌(Whole Brain)에 매우 인접해 있고, 그 모양 또한 불규칙하다는 특징을 가지고 있다(Fig. 1).

두피의 방사선 조사는 흔하지는 않지만 림프종(Lymphoma), 혈관육종(Angio sarcoma), 균상식육종(Myco-sis fungoides), 그리고 편평상피암(Squamous cell carcinoma)과 같은 악성종양의 경우 방사선치료를 실시한다.⁽³⁻⁵⁾ 두피에 위치한 병변은 모양이 매우 굴곡지며 불규칙하고, 수정체(Lens), 시신경(Optic nerve), 그리고 뇌(Brain)와 같은 중요 장기에 매우 인접해 있다.⁽⁶⁾ 방사선 치료 시, 세기변조 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 용적변조회전 방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT), 단층 방사선치료(TomoTherapy), 그리고 근접치료(Brachytherapy) 등이 주로 시행되고 있다.⁽⁷⁻¹⁰⁾

전체 뇌실 조사(Whole Ventricle Irradiation, WVI)는 국소적인 두개골 내부의 배세포종(Intracranial ger-minoma)의 경우 주로 시행되어왔다.⁽¹¹⁾ 이는 방사선 치료 시 10년 내 생존율이 90 % 이상이기 때문에 지능저하 또는 내분비계 기능저하와 같은 방사선 치료의 부작용을 감소시키기 위해서 주변의 정상 뇌 조직을 보호하는 것이 중요하다.⁽¹²⁻¹⁶⁾ 다양한 치료기술 중, 3D 입체조형 방사선치료와 고전적인 IMRT가 주로 이용되었고, 최근에는 장비의 발달로 VMAT 역시 WVI에 많이 이용되고 있는 추세이다.⁽¹⁷⁻¹⁸⁾

여러 치료기술 중에서 VMAT은 처방선량을 전달하기 위해 필요한 Monitor Unit(MU)이 비교적 낮기 때문에 2차 암을 발생시킬 수 있는 누설선량과 산란선량을 줄일 수 있다. 또한 빠른 속도로 갠트리(Gantry)가 회전하기 때문에

치료시간이 단축되므로, 치료 도중 발생할 수 있는 환자의 움직임 줄일 수 있어 여러 치료부위에 적용되고 있다.⁽¹⁹⁾

그러나 이러한 VMAT이 항상 우수한 결과를 보이는 것은 아니다. 예를 들어, 앞서 언급한 두피와 뇌실과 같이 타겟의 모양이 불규칙하고 OAR에 인접한 경우에는, VMAT을 이용한 치료계획 시, 갠트리가 회전하면서 생성되는 수많은 Beamlet에서 OAR을 완전히 제외시키는 것은 불가능하다. 그러므로 이러한 경우에는 OAR을 더 효과적으로 보호하기 위해 VMAT 외에도 다른 치료계획을 고려해 볼 필요가 있다고 생각하였다.

따라서 본 논문에서는 두피와 전체 뇌실 치료 시, VMAT 치료계획과 Non-coplanar 빔을 이용한 Fixed-field IMRT(이하 ncIMRT) 치료계획의 비교를 통해, 모양이 불규칙하고 OAR에 인접한 타겟의 방사선 치료 시, VMAT과 ncIMRT 치료계획이 OAR의 미치는 영향을 비교 및 분석해보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상 환자 및 장비

본원에서 True Beam STX(Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 전체 두피(Whole Scalp), 부분적 두피(Partial Scalp), 그리고 전체 뇌실(Whole Ventricle)의 방사선 치료를 받은 환자 중 각 부위별로 2명 씩, 총 6명을 대상으로 하였다. 치료부위가 전체 두피인 환자는 Pt.1, Pt.2, 부분적 두피인 환자는 Pt.3, Pt.4, 그리고 전체 뇌실인 환자는 Pt.5, Pt.6으로 나타내었다. 6명의 환자 모두 고

정기구는 아쿠아 플라스틱(Aquaplast)를 사용하였고, CT Simulator(Somatom definition AS, Siemens, Germany)를 통해 단면(Slice)의 두께를 3.0 mm 간격으로 하여 3D 영상을 획득하였다. 전산화 치료계획은 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.

2. OAR 윤곽 그리기(Contouring)

OAR의 선량평가를 위해서 양측 안구(Eyeball), 양측 수정체(Lens), 양측 시신경(Optic nerve), 시신경교차(Optic chiasm), 해마(Hippocampus), 뇌 줄기(Brain stem), 전뇌(Whole brain)의 윤곽 그리기를 진행하였다. 뇌실은 전뇌에 포함되어 있기 때문에 전체 뇌실 치료 시, 정상 뇌 조직의 선량을 평가하기 위해 전뇌에서 뇌실을 제외한 구조(B-V)를 생성하였다.

3. 선량 제한

Emami Estimates를 기준으로 참고하였고,⁽²⁰⁾ 수정체는 최대선량이 500 cGy 이하가 되도록 $D_1 \% \leq 500$ cGy로 설정하였고, 시신경은 $D_1 \% \leq 5800$ cGy, 시신경교차는 $D_1 \% \leq 5800$ cGy, 뇌 줄기는 $D_1 \% \leq 5400$ cGy, 안구는 $D_1 \% \leq 3000$ cGy 그리고 해마는 $D_{20} \% \leq 1700$ cGy으로 설정하였다. 두피의 방사선 치료 시에는 뇌의 선량을 최소화하기 위해서 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)에서 2.5 cm 떨어진 지점에 가상의 구조(Pseudo_2000)를 생성하여 선량제한을 $D_{20} \% \leq 2000$ cGy가 되도록 하였다

Table 1. Dose constraints for OARs

Organ	Constraint(cGy)
Lens	$D_1 \% \leq 500$
Optic nerve	$D_1 \% \leq 5800$
Optic chiasm	$D_1 \% \leq 5800$
Brain stem	$D_1 \% \leq 5400$
Eyeball	$D_1 \% \leq 3000$
Hippocampus	$D_1 \% \leq 1700$
Pseudo_2000	$D_{20} \% \leq 2000$

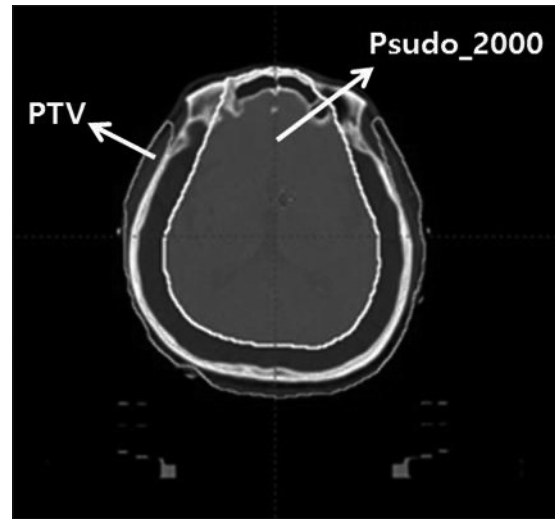


Fig. 2. The contouring of 'Pseudo_2000'

(Table 1, Fig. 2).

4. 치료계획

Non-coplanar Fixed-field IMRT (ncIMRT)

Fixed-field IMRT는 6명의 환자 모두 기본적으로 6개 내지 8개의 빔을 사용하였고, 그 중에서 3개 이상의 Non-coplanar 빔을 사용하였다. Whole Scalp의 ncIMRT 치료계획 시, 치료계획 용적의 크기가 매우 넓기 때문에 부득이하게 OAR이 포함되는 필드가 생기는데, 이러한 필드

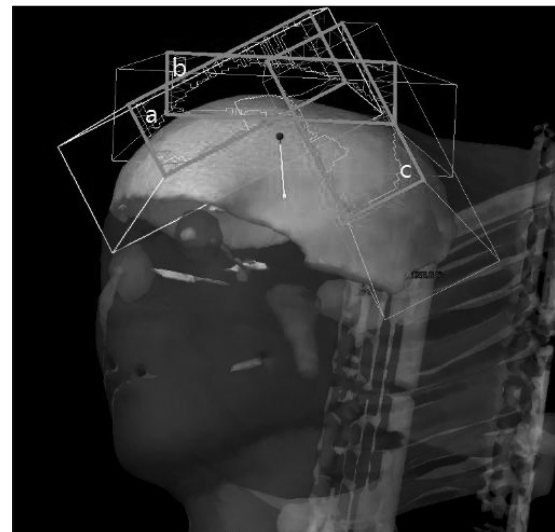


Fig. 3. Three fields at Gantry angle 60°, Couch angle 335° using Fixed Jaw

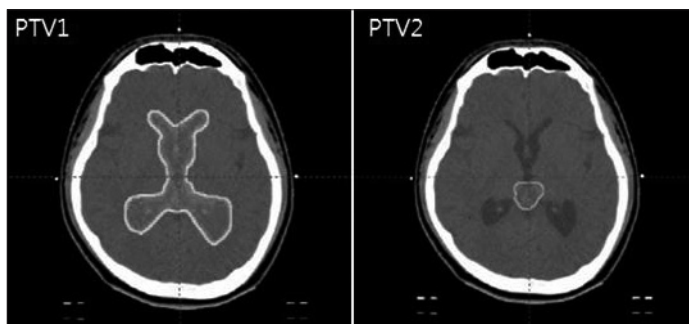


Fig. 4. PTV1 and PTV2 of Whole Ventricle

에서는 Fixed Jaw 기능을 이용하여 동일한 갱트리 각도에 서 독립된 2개 내지 3개의 필드를 생성해서 OAR을 보호하 고자 하였다(Fig. 3).

VMAT

VMAT은 갱트리가 회전하는 동안 필드 내에 OAR을 가 장 적게 포함할 수 있는 카우치 각도를 선정하여, Coplanar 또는 Non-coplanar VMAT으로 치료계획을 하였 다. Pt.2와 Pt.4는 카우치 각도가 각각 345°와 15°인 Non-coplanar 빔을 사용하였고, Pt.1, Pt.3, Pt.5, Pt.6은 카우 치 각도가 0°인 Coplanar 빔을 사용하였다. 모든 VMAT 치료계획에서 회전 반경이 360°또는 180°인 Arc를 2번 사 용하였고, 엽간 누설선량(Inter-leaf leakage)을 최소화하 기 위해 각 Arc에서 콜리메이터(Collimator)의 각도를 30° 와 330°로 설정하여 서로 보완하도록 하였다.

모든 치료계획은 최적화 과정에서 나타나는 선량 차이의 무작위성⁽²¹⁾을 최소화하기 위하여 각각 2회의 최적화와 선 량 계산과정을 거쳤으며, 각각의 PTV_{100%} = 95 %로 Nor-malization 하였다.

5. 처방선량

전체 두피(Pt.1, Pt.2)의 치료 시, 5 mm 볼루스(Bolus)를 사용하여 피부 표면에 충분한 선량이 전달되도록 하였고, 6 MV의 에너지를 사용하여 일 선량 180 cGy로 34회에 걸 쳐 총 6,120 cGy를 처방하였다.

부분적 두피(Pt.3, Pt.4)는 6 MV의 에너지를 사용하여 일 선량 180 cGy로 34회에 걸쳐 총 6,120 cGy를 처방하 였고, Pt.3은 병변이 진피층에 위치해 있기 때문에 볼루스 를 사용하지 않았으며 Pt.4는 병변이 표피층에 위치하여 5

mm 볼루스를 사용하였다.

전체 뇌실(Pt.5, Pt.6)은 치료계획용적을 PTV1과 추가조 사영역(Boost field)인 PTV2로 나누었다(Fig. 4). 10MV의 에너지를 사용하여 PTV1에는 일 선량 180 cGy로 13회에 걸쳐 총 2,340 cGy를 처방하였고, 추가적으로 PTV2에 일 선량 180 cGy로 12회에 걸쳐 총 2,160 cGy를 처방하여, 타겟에 25회에 걸쳐 총 4,500 cGy가 전달되도록 하였다.

6. 비교인자

각 치료계획이 OAR에 미치는 영향을 평가하기 위해서 양측 수정체, 양측 시신경, 시신경교차, 그리고 뇌 줄기의 최대선량과 양측 안구와 해마의 평균선량을 구하여 비교 하였다. Pt.1, Pt.2, Pt.3, Pt.4는 각각의 뇌의 용적 중 10 Gy 에서 60 Gy의 선량이 들어가는 용적을 전체 뇌 용적 대비 백분율로 나타내었고, $V_{10 Gy}$, $V_{20 Gy}$, $V_{30 Gy}$, $V_{40 Gy}$, $V_{50 Gy}$, $V_{60 Gy}$ 이라고 표기하였다. Pt.5와 Pt.6은 전체 뇌 용적에서 치료 계획용적이 제외된 'B-V'구조 중 10 Gy에서 40 Gy의 선 량이 들어가는 용적을 전체 'B-V'용적 대비 백분율로 나타 내고, $V_{10 Gy}$, $V_{20 Gy}$, $V_{30 Gy}$, $V_{40 Gy}$ 이라고 표기하였다.

치료계획의 평가를 위해서 치료계획용적에 대한 균질 성과 선량포함을 나타내는 선량균질지수(Homogeneity Index, H.I.) [식1], 처방선량지수(Conformity Index, C.I.) [식2]를 비교하였다.

$$H.I. = \frac{D_5}{D_{95}} \text{ ----- [식1]}$$

D_5 : 타겟 용적 5%의 선량
 D_{95} : 타겟 용적 95%의 선량

$$C.I. = \frac{V_{95}}{V_{PTV}} \text{ ----- [식2]}$$

V_{95} : 처방선량의 95 %가 조사되는 체적
 V_{PTV} : PTV의 체적

치료 계획의 임상 적용 가능 여부 확인을 위한 IMRT Verification QA(Gamma test)를 실시하였고, QA는 전자영상유도장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 Portal Dosimetry를 진행하였으며 2 mm/2 %, pass rate 90 % 이상을 통과 기준으로 설정하였다. 그리고 치료계획의 임상 적용 시 효율성 평가를 위해 총 MU를 측정하여 비교하였다.

결 과

1. OAR 선량

Pt.1의 VMAT 치료계획 시 우측 안구와 좌측 안구의 평균선량은 ncIMRT의 0.9배, 0.8배로 낮았지만, 그 외의 모

든 OAR에서는 VMAT이 ncIMRT보다 높은 선량을 보였다. 특히, 시신경교차의 최대선량은 VMAT이 ncIMRT보다 5.8배 높은 값을 보이며 두 치료계획의 선량 차이가 가장 크게 나타났다. Pt.2는 좌측 안구를 제외한 모든 OAR에서 VMAT이 ncIMRT보다 높은 값을 보였고, 특히 시신경교차와 뇌 줄기의 최대선량은 ncIMRT보다 각각 8.2배, 8.1배 높았으며, 해마의 평균선량은 7.1배 높은 값을 나타냈다. Pt.3은 좌측 수정체의 최대선량이 VMAT 치료계획 시 ncIMRT의 0.9배로 낮은 선량을 보였지만, 그 외의 모든 OAR에서는 VMAT이 더 높은 값을 나타냈다. 특히 해마의 평균선량은 VMAT이 ncIMRT보다 2.5배 높았다. Pt.4의 경우, 양측 수정체의 최대선량은 VMAT이 ncIMRT의 0.8배, 좌측 안구의 평균선량은 0.9배로 VMAT이 낮은 값을 보였다. 그러나 그 외의 모든 OAR에서는 VMAT이 ncIMRT보다 1.1배에서 1.8배로 큰 차이는 아니지만 높은 값을 보였다. Pt.5의 양측 시신경의 최대선량은 VMAT이

Table 2. OAR dose and Ratio(VMAT/ncIMRT)

		Max dose(cGy)						Mean dose(cGy)		
		Rt. Lens	Lt. Lens	Rt. Optic nerve	Lt. Optic nerve	Optic chiasm	Brain stem	Rt. eyeball	Lt. eyeball	Hippo campus
Pt.1	ncIMRT	645.4	598.6	1575.3	1614.3	308.4	635.2	1084.4	953.0	645.3
	VMAT	729.0	702.5	2088.5	2043.4	1791.2	2202.3	958.9	804.4	1802.4
	Ratio	1.1	1.2	1.3	1.3	5.8	3.5	0.9	0.8	2.8
Pt.2	ncIMRT	152.6	461.3	171.3	1505.8	265.6	223.4	152.9	789.1	211.7
	VMAT	255.8	488.1	453.1	1748.3	2172.1	1799.1	284.2	717.4	1507.5
	Ratio	1.7	1.1	2.6	1.2	8.2	8.1	1.9	0.9	7.1
Pt.3	ncIMRT	222.3	503.0	1713.6	3240.8	2956.4	2175.1	507.8	874.7	1177.6
	VMAT	467.6	432.1	2583.2	3528.4	3928.0	3716.5	651.3	1014.9	2968.5
	Ratio	2.1	0.9	1.5	1.1	1.3	1.7	1.3	1.2	2.5
Pt.4	ncIMRT	629.7	293.3	504.8	272.3	263.0	229.4	633.4	258.9	179.2
	VMAT	500.3	235.4	530.7	284.9	334.3	415.4	748.0	224.8	315.6
	Ratio	0.8	0.8	1.1	1.0	1.3	1.8	1.2	0.9	1.8
Pt.5	ncIMRT	189.1	101.8	3720.7	3577.2	4622.5	4433.5	237.2	141.6	3332.3
	VMAT	441.2	452.9	3420.0	3253.9	4660.2	4537.7	575.4	629.4	3223.4
	Ratio	2.3	4.4	0.9	0.9	1.0	1.0	2.4	4.4	1.0
Pt.6	ncIMRT	142.2	101.9	1793.3	1724.5	3290.7	4324.0	162.8	109.5	3295.5
	VMAT	410.7	410.5	2189.9	2311.7	3211.7	4221.0	499.1	482.7	3274.2
	Ratio	2.9	4.0	1.2	1.3	1.0	1.0	3.1	4.4	1.0

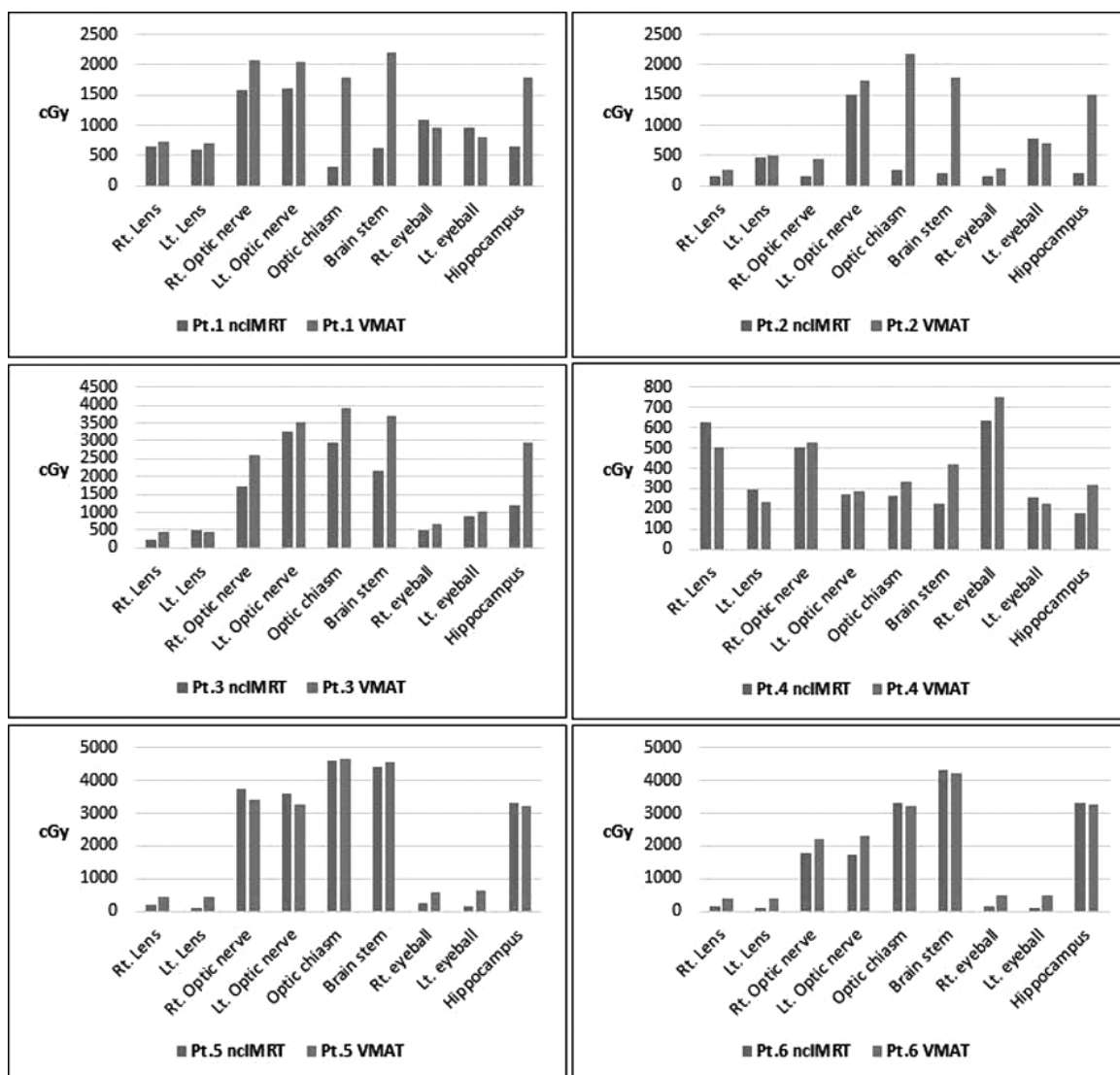


Fig. 5. Comparison about OAR dose

ncIMRT의 0.9배로 낮았고, 그 외 모든 OAR에서는 같거나 높았다. 특히 좌측 안구의 평균선량은 VMAT이 ncIMRT의 4.4배로 높은 값을 보였다. Pt.6는 모든 OAR에서 VMAT이 ncIMRT와 같거나 높은 값을 보였고, 특히 양측 안구의 평균선량이 우측은 3.1배, 좌측은 4.4배로 VMAT이 높았다(Table 2, Fig. 5).

2. 뇌(Brain) 용적

Pt.1, Pt.2, Pt.3, Pt.4는 VMAT의 $V_{10 Gy}$, $V_{20 Gy}$, $V_{30 Gy}$, $V_{40 Gy}$, $V_{50 Gy}$, $V_{60 Gy}$ 값이 ncIMRT보다 확연히 높았다. 각 환자의 $V_{20 Gy}$ 은 VMAT이 ncIMRT보다 각각의 전뇌 용적의

25.7%, 38.8%, 30.3%, 25.0%를 더 포함하는 것으로 나타났다. 즉, VMAT 치료계획 시 ncIMRT에 비해 10 Gy에서 60 Gy가 조사되는 뇌의 용적이 매우 큰 것을 알 수 있었다. 반면에 Pt.5와 Pt.6은 두 치료계획의 $V_{10 Gy}$, $V_{20 Gy}$, $V_{30 Gy}$, $V_{40 Gy}$ 값이 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3, Fig. 6).

전체 두피와 부분적 두피의 방사선 치료 시, VMAT의 2000 cGy와 3000 cGy 등선량 곡선이 ncIMRT에 비해서 더 많은 뇌의 영역을 포함하는 것을 알 수 있었다. 반면에 전체 뇌실 치료 시에는 두 치료계획의 등선량 곡선의 분포가 비슷한 양상을 보이므로, 뇌에 미치는 영향은 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다(Fig. 7).

Table 3. Volume of normal brain irradiated (10 Gy~60 Gy)

(Unit in %)

		V _{10 Gy}	V _{20 Gy}	V _{30 Gy}	V _{40 Gy}	V _{50 Gy}	V _{60 Gy}
Pt.1	ncIMRT	70.1	36.8	24.0	14.2	5.6	0.4
	VMAT	98.1	62.5	37.1	24.8	12.9	0.4
Pt.2	ncIMRT	53.2	40.0	31.3	23.8	14.4	2.2
	VMAT	85.0	78.8	69.6	48.3	31.7	4.9
Pt.3	ncIMRT	50.4	15.3	9.6	6.3	3.3	0.2
	VMAT	79.6	45.6	23.1	11.9	5.0	0.5
Pt.4	ncIMRT	25.6	13.8	9.9	7.3	4.5	0.2
	VMAT	57.5	38.8	23.7	10.9	4.0	0.1
Pt.5	ncIMRT	70.2	34.5	9.8	2.0	-	-
	VMAT	66.2	51.4	7.5	1.6	-	-
Pt.6	ncIMRT	75.7	33.0	6.0	1.1	-	-
	VMAT	75.0	30.4	5.3	0.9	-	-

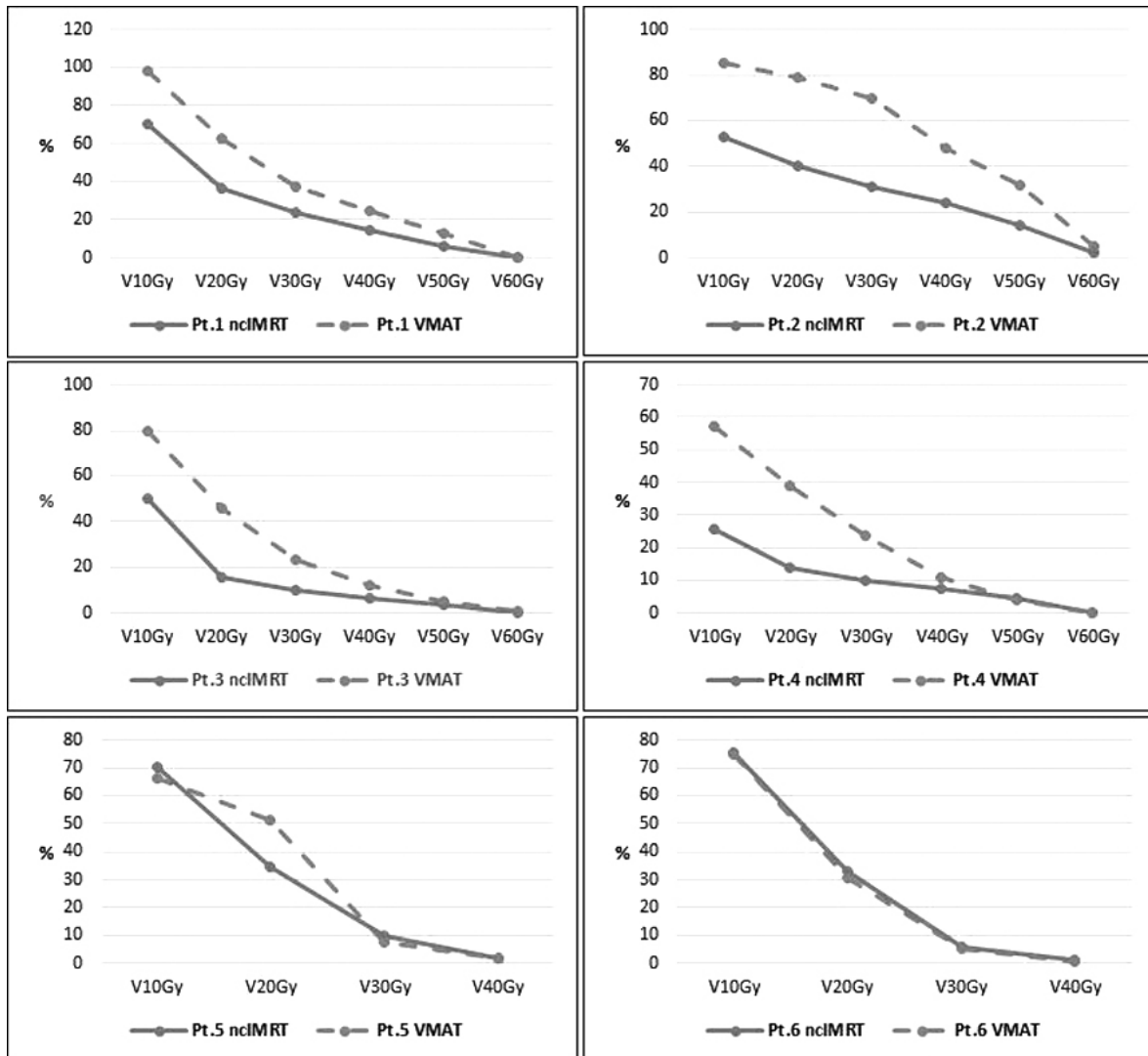


Fig. 6. Comparison about volume of normal brain irradiated (10 Gy~60 Gy)

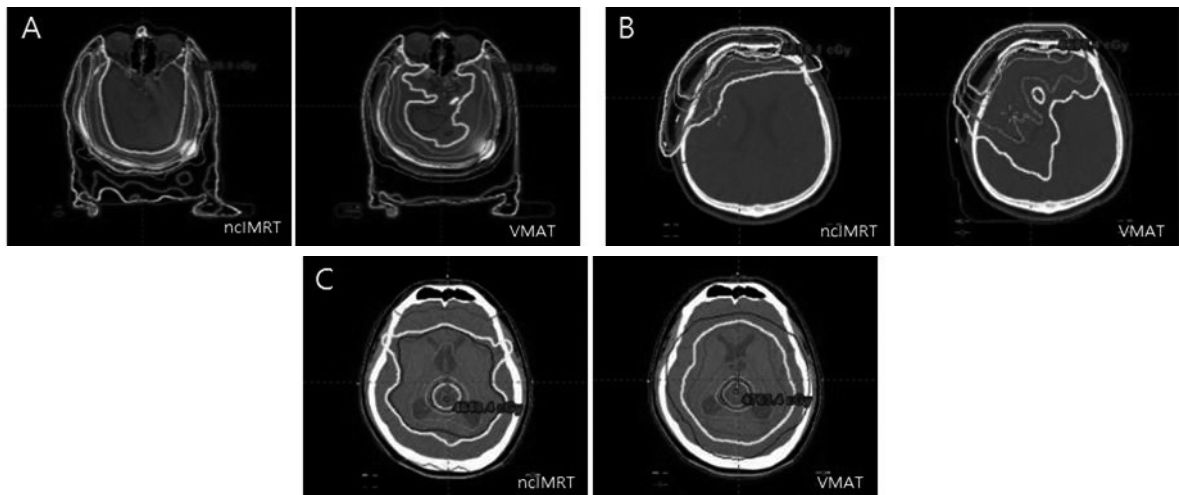


Fig. 7. Isodose line of 2000 cGy and 3000 cGy (A. Whole Scalp, B. Partial Scalp, C. Whole Ventricle, Yellow color: 2000 cGy, Pink color: 3000 cGy, Cyan color: PTV)

3. 플랜의 질(Quality)과 타겟 내 최대선량

두 치료계획 모두 $PTV_{100\%} = 95\%$ 를 만족시키고, 타겟 Coverage는 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 8). 또한 모든 환자의 H.I.와 C.I.는 두 치료계획이 비슷한 수치를 보였다(Table 4).

두 치료계획의 타겟 내 최대선량은 Pt.1, Pt.2, Pt.3, Pt.4에서는 ncIMRT가 VMAT보다 각각 391.2 cGy(처방선량

의 6.3%), 563.1 cGy(9.2%), 217.2 cGy(3.5%), 그리고 25.4 cGy(0.4%) 만큼 더 큰 값을 나타냈고, 반면 Pt.5와 Pt.6은 VMAT이 ncIMRT보다 각각 44.6 cGy(1.0%), 30.6 cGy(0.7%) 만큼 더 큰 것으로 나타났다(Table 5).

4. 총 MU와 Gamma pass rate

총 MU 사용량은 Pt.1, Pt.2, Pt.3, Pt.4, Pt.5, Pt.6 순서대

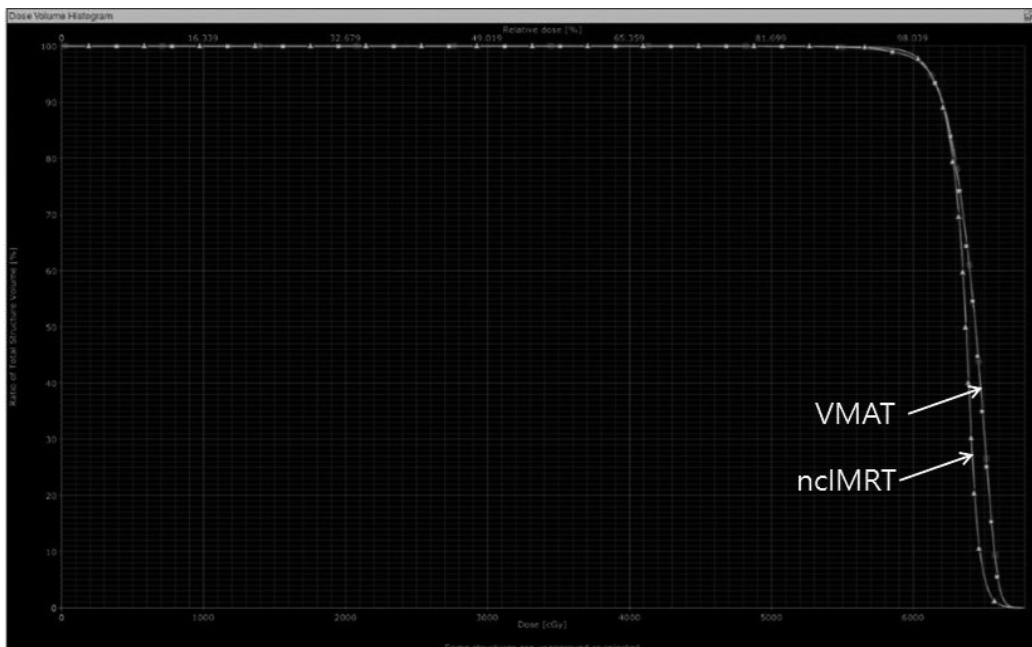


Fig. 8. Dose Volume Histogram of PTV

Table 4. Homogeneity Index and Conformity Index

		H.I.	C.I.
Pt.1	ncIMRT	1.16	0.93
	VMAT	1.06	0.99
Pt.2	ncIMRT	1.13	0.96
	VMAT	1.08	1.00
Pt.3	ncIMRT	1.08	0.99
	VMAT	1.09	0.99
Pt.4	ncIMRT	1.06	0.99
	VMAT	1.08	0.99
Pt.5	ncIMRT	1.05	0.99
	VMAT	1.05	0.99
Pt.6	ncIMRT	1.05	0.99
	VMAT	1.05	0.99

Table 5. Maximum dose in target (Unit in cGy)

	ncIMRT	H.I.	C.I.
Pt.1	7106.6	6715.4	391.2
Pt.2	7378.5	6815.4	563.1
Pt.3	7119.4	6902.2	217.2
Pt.4	6783.7	6758.3	25.4
Pt.5	4766.4	4811.0	-44.6
Pt.6	4738.0	4768.6	-30.6

Table 6. Total MU

	ncIMRT	VMAT
Pt.1	1938	403
Pt.2	1834	275
Pt.3	734	251
Pt.4	739	252
Pt.5	1124	554
Pt.6	1020	566

로 ncIMRT가 VMAT보다 4.8배, 6.7배, 2.9배, 2.9배, 2.0배, 그리고 1.8배 높은 MU를 필요로 하는 것으로 나타났다(Table 6). 두 치료계획에 대한 IMRT verification QA 결과 2 mm/2 %, Gamma pass rate 90.0 % 기준을 모두 초과하여 통과하였다.

고안 및 결론

동일한 타겟 플랜 시, ncIMRT는 VMAT에 비해 최대선량이 높았고, 이는 Non-coplanar 빔을 이용한 Fixed-field IMRT 치료 시, 여러 필드 중 서로 중첩되는 지점이 발생한 것으로 추정된다. 따라서 ncIMRT 치료계획 시에는 VMAT에 비해 열점(Hot spot)이 발생할 확률이 높기 때문에, 다양한 각도의 여러 필드가 서로 중첩되지 않도록 신중한 치료계획이 필요하다. 또한 처방선량을 전달하기 위해 필요한 총 MU는 기존의 예상대로 ncIMRT가 VMAT보다 높았고, 이는 ncIMRT를 이용한 치료가 VMAT에 비해 장비의 로딩>Loading)과 치료시간을 증가시켜 치료의 효율성이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

그러나 ncIMRT 치료계획은 VMAT과 비슷한 PTV Coverage를 유지하면서 OAR의 선량을 훨씬 감소시킬 수 있었다. 전체 두피, 부분적 두피, 그리고 전체 뇌실의 치료 시, 몇몇의 경우를 제외한 대부분의 OAR에서는 VMAT이 ncIMRT보다 적게는 1.1배에서 많게는 8.2배 가량 높은 선량 값을 나타냈다. 이는 ncIMRT가 고정된 갠트리 각도에서 OAR을 최대한 제외시킨 필드를 생성하여 빔을 조사하는 것과 달리, VMAT 치료 시에는 갠트리가 회전하면서 OAR이 포함되는 Beamlet이 다수 발생한 것으로 보인다. 본 연구에서는 VMAT 치료계획 시 2회의 Arc로 조건을 설정하였는데, 모양이 불규칙한 타겟에 충분한 선량을 전달하기 위해서는 2회의 Arc 동안 연속적으로 빔이 조사되어야 한다. 이 때, 타겟과 매우 인접해있는 OAR 또한 지속적인 방사선의 영향을 받은 것으로 보인다.

본 연구를 통해서 두피와 뇌실의 방사선 치료 시, ncIMRT 치료계획이 VMAT에 비해 치료의 효율성은 다소 떨어지지만, OAR의 보호 효과는 더 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 모양이 불규칙하고 OAR에 인접해 있는 타겟의 방사선 치료 시에는 OAR의 선량을 더 낮추기 위한 방법으로 ncIMRT 치료계획을 고려해 볼 필요가 있다고 사료된다. 특히, 이전에 방사선치료를 받은 환자나 추후 추가적인 치료가 예정된 환자의 경우에는 OAR의 선량을 감소시키는 것이 더욱 중요하기 때문에 ncIMRT 치료계획이 매우 유용할 것이라 사료된다.

두피와 뇌실 외에도 척추(Spine)에 인접한 뼈 전이

(Bone metastasis)나 여러 OAR에 인접한 림프종(Lym-poma) 등 다양한 치료부위로 연구의 대상을 확대할 필요가 있고, VMAT 치료계획 시 여러 인자들을 변화시켜 지속적으로 ncIMRT 치료계획과 비교해 볼 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Purdy J: Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*. 2001;51:880-914
2. Matthias G, Anne R, Thomas K, et al.: A single arc sufficient in volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for complex-shaped target volumes? *Radiotherapy and Oncology*. 2009;93:259-265
3. Samant RS, Fox GW, Gerig LH, et al.: Total scalp radiation using image-guided IMRT for progressive cutaneous T cell lymphoma. *The British Institute of Radiology*. 2008;82:e122-e125
4. Miki Y, Tada T, Kamo R, et al.: Single institutional experience of the treatment of angiosarcoma of the face and scalp. *The British Institute of Radiology*. 2013;86:1-5
5. Mendenhall WM, Mendenhall CM, Werning JM, et al.: Cutaneous Angiosarcoma. *American Journal of Clinical Oncology*. 2006;29:524-528
6. Christian O, Martin J, Patrick H, et al.: The treatment of extensive scalp lesions using coplanar and non-coplanar photon IMRT: a single institution experience. *Radiation Oncology*. 2014;9:1-11
7. Samant RS, Fox GW, Gerig LH, Montgomery LA, et al.: Total scalp radiation using image-guided IMRT for progressive cutaneous T cell lymphoma. *The British Institute of Radiology*. 2009;82:e122-125
8. Jadwiga BW, Donette EL, Sandra SM, et al.: Dosimetric comparison of three different treatment techniques in extensive scalp lesion irradiation. *Radiotherapy and Oncology*. 2009;91:255-260
9. Samul ST, Almon SS, George S, et al: Dosimetric evaluation of total scalp irradiation using a lateral electron-photon technique. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1993;27:153-160
10. Jay L, Daniel AL, Todd G et al.: Potential of tomotherapy for total scalp treatment. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2002;52:553-559
11. Michael B, Rolf-DK, Gabriele C, et al.: Radiation therapy for intracranial germinoma: Results of the German cooperative prospective trials MAKEI 83/86/89. *Journal of Clinical Oncology*. 1999;8:2585-2592
12. Cho J, Choi JU, Kim DS, et al.: Low-dose cranio-spinal irradiation as a definitive treatment for intracranial germinoma. *Radiother Oncol*. 2009;91:75-79
13. Sawamura Y, Ikeda J, Shirato H, et al.: Germ cell tumours of the central nervous system: Treatment consideration based on 111 cases and their long-term clinical outcomes. *Eur J Cancer*. 1998;34:104-110
14. Sands SA, Kellie SJ, Davidow AL, et al.: Long-term quality of life and neuropsychologic functioning for patients with CNS germ-cell tumors: From the First International CNS GermCell Tumor Study. *Neuro-Oncol*. 2001;3:174-183
15. Balmaceda C, Heller G, Rosenblum M, et al.: Chemotherapy without irradiation-a novel approach for newly diagnosed CNS germ cell tumors: Results of an international cooperative trial. *The First International Central Nervous System Germ Cell Tumor Study*. *J Clin Oncol*. 1996;14:2908-2915

16. Shirato H, Aoyama H, Ikeda J, et al.: Impact of margin for target volume in low-dose involved field radiotherapy after induction chemotherapy for intracranial germinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004;60:214-217
17. Katsuyuki S, Takashi M, Mashiro H: Dosimetric advantage of intensity-modulated radiotherapy for whole ventricles in the treatment of localized intracranial germinoma. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys*, 2012;8:e273-280
18. Antonella F, Alessandro C, Giorgia N, et al.: Intensity modulation with photons for benign intracranial tumours: A planning comparison of volumetric single arc, helical arc and fixed gantry techniques. *Radiotherapy and Oncology*, 2008;89:254-262
19. Otto, K.: Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical physics*, 2008;35(1):310-317
20. Emami B, Lyman J, Brown A, et al.: Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. *Inr J. Radiation Oncology Biol. Phys*, 1991;21:109-122
21. Eugenio V, Giorgia N, Janne N., et al.: On the role of the optimization algorithm of RapidArc® volumetric modulated arc therapy on plan quality and efficiency. *Medical Physics*, 2011;38:5844-5846

Comparison of Volumetric Modulated Arc Therapy and Non-coplanar Fixed-field Intensity Modulated Radiation Therapy for Irregular Target adjacent to Organ At Risk

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

Kim Kyung Ah, Na Kyung Soo, Seo Seok Jin, Lee Je Hee

Purpose: The purpose of this study was to compare volumetric modulated arc therapy (VMAT) with fixed-field intensity modulated radiation therapy (IMRT) using non-coplanar beam when the shape of target is irregular and the location is adjacent to organ at risk (OAR).

Materials and Methods: The subjects of this study were a total of 6 patients who had radiation therapy for whole scalp (2 patients), partial scalp (2 patients), and whole ventricle (2 patients) by True Beam STX (Varian Medical Systems, USA). VMAT plans consisted of coplanar or non-coplanar arcs which can minimize the volume of OAR included in beamlets. All fixed-field IMRT plans consisted of non-coplanar beams using more than 2 angles of Couch.

Results: The VMAT and IMRT plans were compared with regard to the maximum dose of both lens, both optic nerves, optic chiasm, and brain stem and the mean dose of both eyeballs and hippocampus. VMAT plans showed higher dose than ncIMRT plans at more than 6 of all OARs in every patient, and the ratio was from 1.1 times to 8.2 times. In case of total scalp and partial scalp, the volume of brain which received more than 20 Gy in the VMAT plans was 2 times larger than the volume in the ncIMRT plans. In case of whole ventricle, there was no significant difference. Target coverage was satisfied in both plans ($PTV_{100\%} = 95\%$). The maximum dose in target volume and required monitor unit (MU) of ncIMRT were higher than them of VMAT plans.

Conclusion: Even though ncIMRT is less efficient than VMAT with regard to required MU and treatment time, the dose to OARs is much lower than VMAT and PTV Coverage is similar with VMAT. If the shape of target is irregular and location is adjacent to OAR, comparison VMAT plan with ncIMRT plan deserves to be considered.

▶ Key words: Irregular shape of target, Organ At Risk, Non-coplanar Beam, Intensity Modulated Radiation Therapy, Volumetric Modulated Arc Therapy, Whole Scalp, Partial Scalp, Whole Ventricle