

Jaw tracking을 이용한 다발성 뇌 전이의 용적세기조절회전치료에 대한 유용성 평가

서울아산병원 방사선종양학과

김태원·유순미·전수동·윤인하·백금문

목 적 : 다발성 뇌 전이의 방사선치료 시 jaw tracking(JT)과 fixed jaw(FJ)를 이용한 용적세기조절회전치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)를 비교하고 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : JT를 이용하여 치료받은 다발성 뇌 전이(Multiple Brain Metastasis) 환자 중 6개 이상의 종양이 있고 조사면 크기가 $14 \times 14 \text{ cm}^2$ 이상인 환자 10명을 대상으로 하였다.

Eclipse(Ver 13.6 Varian, USA)로 JT와 FJ의 전산화치료계획을 각각 수립하였으며, 전자포털영상장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 감마지수(Gamma Index, 3 mm, 3 %, 95 % 신뢰구간) 및 최대선량차이(Max. Dose Difference)를 측정하였다. 또한 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)의 D_{\max} 및 D_{mean} 을 산출하고 비교하였으며 처방선량지수(Conformity Index, CI), 선량균질지수(Homogeneity Index, HI)를 평가하였다.

결 과 : JT와 FJ의 측정값을 평가한 감마지수는 모든 Case에서 허용 기준(3 mm, 3 %, 95 % 신뢰구간)에 충족하였으며, 최대선량차이값은 Leaf End Transmission이 발생하는 영역에서 시계방향(Clockwise, CW)은 최대 98.4 %, 평균 43.6 %, 반시계방향(Counter-Clockwise, CCW)은 최대 67.9 %, 평균 41.0 %로 측정되었다. 손상위험장기는 JT를 사용하였을 때 각 정상장기에 대한 D_{\max} 의 최대값은 15.36 %~74.59 %, 평균값은 2.84 %~39.80 % 감소, D_{mean} 의 최대값은 27.90 %~65.23 %, 평균값은 7.70 %~41.71 %로 감소하였으며, 처방선량지수와 선량균질지수값은 차이가 없었다.

결 론 : 다발성 뇌 전이에서 VMAT으로 치료할 경우 JT를 이용하면 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)의 선량분포에 영향을 미치지 않으면서 불특정 영역에서 발생하는 방사선의 누설 및 투과로 인한 불필요한 피폭을 감소시키고 정상장기에 더 낮은 선량으로 방사선치료가 가능할 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어** : jaw tracking, fixed jaw, VMAT

서 론

방사선치료기술은 3차원입체조형방사선치료(3-Dimensional Conformal Radiotherapy, 3D-CRT)를 시작으로 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 영상유도방사선치료(Image

Guided Radiation Therapy, IGRT), 정위체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT) 등 많은 발전이 있었다.⁽¹⁾ 이러한 방사선치료의 발전과 더불어 연속적으로 움직이는 다엽콜리메이터(Multi Leaf Collimator, MLC)를 이용한 IMRT가 정확한 선량 전달과 정상조직을 보호하여 방사선부작용이 생길 확률이 줄어들어 많이 시행되고 있다.⁽²⁾

최근에는 MLC 형태, 갠트리 회전 속도, 선량률(Dose rate)을 동시에 최적화하여 방사선을 조사하는 용적세기조절회전치료(Volumetric Modulated Arc Therapy,

책임저자: 김태원, 서울아산병원 방사선종양학과
서울특별시 송파구 올림픽로 43길 88
Tel: 02)3010-2784
E-mail: kkomar603@naver.com

VMAT로 환자의 상태 및 부위에 따라 선택하여 치료할 수 있게 되었다.⁽³⁾

또한 다양한 치료기술을 가능하게 하는 Varian MLC의 경우 leaf의 이동은 최대 15 cm로 조사면의 크기가 15 cm 이상이면 MLC 변조 레벨이 감소하여 치료부위에 선량분포 및 손상위험장기(Organ At Risk, OAR) 보호의 저하가 발생할 수 있다.^(4,5,8) 이전 VMAT 치료에서 fixed jaw(FJ) 표적용적에 맞춰 조사면의 크기가 고정되어 있어 jaw로 닫혀있는 영역을 제외하고 MLC로만 차폐되는 영역에서는 방사선의 누설(leakage)과 투과(transmission)의 문제가 발생할 수 있다.^(6,7) 하지만 jaw tracking(JT)은 표적용적에 따라 jaw가 MLC의 움직임에 맞춰서 MLC의 끝부분으로 이동함으로써 MLC leaf 사이로 누설되는 방사선을 차폐하여 정상조직에 조사되는 선량을 줄일 수 있게 되었으며,⁽⁷⁾ Hao Wu의 논문에서 JT를 사용하면 분산되고 불규칙한 표적, 크기가 큰 치료계획용적 및 2차 암 유발 가능성이 큰 환자 등에 있어서 이점이 있다고 보고하였다.⁽⁸⁾

본 연구는 다발성 뇌 전이 환자의 JT와 FJ를 이용한 2개의 전산화치료계획을 전자포털영상장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 감마지수(Gamma Index) 및 최대선량차이(Max. Dose Difference)를 측정하고 여러 선량지표로 비교 및 분석하여 JT의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 실험 재료

- VitalBeam™(Varian, USA)
- Millennium120 MLC™ (Varian, USA)
- Portal Vision aS1200 Imager™(Varian, USA)
- Portal Dosimetry Application™(Ver. 13.6, Varian, USA)
- 전산화치료계획시스템(Eclipse Treatment Planning System Ver. 13.6, Varian, USA)
- Excel 2010(Microsoft, USA)
- MAT LAB(MathWorks, USA)

2. 대상 환자

Vital Beam™(Varian, USA)으로 JT를 이용하여 치료를 받은 다발성 뇌 전이(Multiple Brain Metastasis) 환자 중 6개 이상의 종양이 있고조사면 크기가 14×14 cm² 이상인 환자 10명을 대상으로 하였다(Table 1, Fig. 1).

3. 연구 방법

1) 전산화치료계획

방사선치료계획은 각각의 환자마다 같은 선량계획 조건에서 전산화치료계획시스템(Eclipse Treatment Planning System Ver. 13.6, Varian, USA)을 이용하였다.

VMAT은 0.5 cm의 표적 여지(Target Margin), 600

Table 1. Patients characteristics

	Patient No.	Number of Tumor	Field Size(cm ²)		Total Dose (cGy)
			CW*	CCW†	
Multiple Brain	1	14	18.1 × 16.5	18.3 × 16.5	4000
	2	8	12.1 × 14.4	12.1 × 14.4	4000
	3	10	17.0 × 16.5	16.2 × 16.5	4000
	4	6	14.8 × 15.0	14.9 × 15.0	4000
	5	10	17.9 × 19.0	18.0 × 19.0	4000
	6	15	18.1 × 17.5	18.1 × 17.5	4000
	7	9	13.8 × 15.5	14.1 × 15.5	4000
	8	10	14.6 × 15.0	14.6 × 15.0	4000
	9	8	14.5 × 16.9	14.3 × 16.9	4000
	10	14	14.6 × 16.5	14.6 × 16.5	4000

*Clockwise, †Counter-Clockwise



Fig. 1. Vital Beam™(Varian, USA)

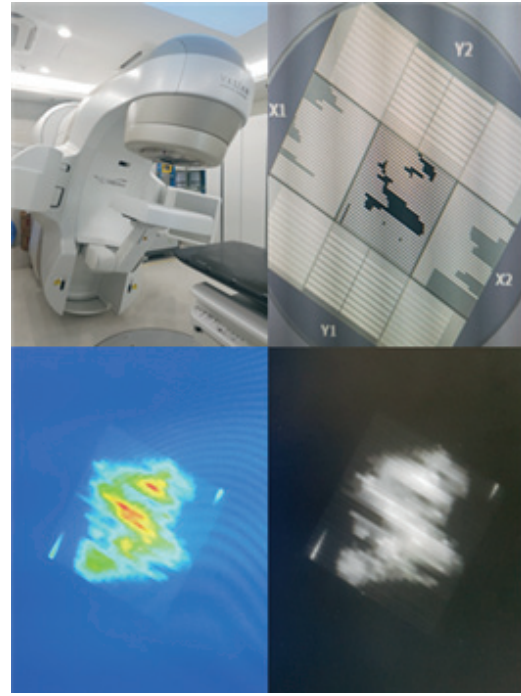


Fig. 2. Portal Dosimetry

MU/min의 선량률로 400 cGy를 10회에 걸쳐 총 4000 cGy가 조사될 수 있도록 처방선량을 정하였으며, 360° 회전반경을 가지는 2개의 arc를 이용하였다.

그리고 선량 차이의 무작위성을 최소화하기 위하여 각각 1회의 최적화와 선량계산을 하고 처방선량의 100 %가 표적용적의 95 %를 포함할 수 있도록 계획하였다.⁽⁹⁾

전산화치료계획을 비교하기 위하여 첫 번째로 JT를 적용한 전산화치료계획을 수립하고, 두 번째는 JT를 적용한 전산화치료계획에 MAT LAB(Matrix Laboratory)을 이용하여 인위적으로 조사면의 크기를 표적에 0.5 cm 여지로 설정한 FJ 전산화치료계획을 만들었다.

이는 JT의 사용 여부와 상관없이 최적화 단계를 거치면서 여러 조건과 MLC Sequence 등이 변화될 수 있어⁽⁸⁾ JT와 FJ의 전산화치료계획을 비교하였을 때 jaw를 유일한 변수로 측정하고자 하기 위함이며, 모든 조건이 같은 환경에서 JT의 사용유무에 따른 선량 차이를 확인하고 JT와 FJ를 비교 평가하고자 하였다.

2) 감마지수, 최대선량차이

선량평가의 임상 적용 확인 및 신뢰도 확보를 위하여 EPID를 이용하여 Portal Dosimetry를 진행하였으며 셋

업이 간결하고 측정시간이 감소하며 측정된 선량분포의 해상도가 높아 분석이 쉬워 많이 사용되고 있다.⁽¹⁰⁾

JT와 FJ를 이용한 측정용 VMAT 전산화치료계획을 수립하였고 Vital Beam™의 EPID를 이용하여 측정 후 Portal Dosimetry Application으로 각각의 전산화치료계획의 감마지수를 분석하고 비교 기능을 이용하여 JT와 FJ의 측정값을 서로 비교하여 두 전산화치료계획의 감마지수 및 최대선량차이를 분석하였다. 감마지수는 3 %, 3 mm, 신뢰구간 95 %로 허용 기준으로 설정하였다(Fig. 2).

3) 손상위험장기

손상위험장기에 대한 선량평가는 전산화치료계획시스템에서 선량체적곡선(Dose Volume Histogram, DVH)을 사용하여 비교하였으며, JT와 FJ에 귀밑샘(Parotid), 시신경(Optic nerve), 수정체(Lens), 눈(Eye), 시신경교차(Optic chiasm), 뇌하수체(Pituitary), 뇌 줄기(Brain stem)의 D_{mean} 과 D_{max} 를 비교 평가하였다.

4) 처방선량지수, 선량균질지수

국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 보고서

62를 기준으로 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)의 선량분포와 균질성을 분석하는 지표인 처방선량 지수(Conformity Index, CI)[식 1]와 선량균질지수(Heterogeneity Index, HI)[식 2]를 구하였다.

$$CI = \frac{V_{TV}}{V_{PTV}} \quad \text{[식 1]}$$

V_{TV} : 처방선량이 포함하는 부피

V_{PTV} : PTV의 총 부피

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \quad \text{[식 2]}$$

$D_{5\%}$: PTV의 5 % 부피가 받는 선량

$D_{95\%}$: PTV의 95 % 부피가 받는 선량

결 과

1. 감마지수, 최대선량차이

Portal Dosimetry를 시행한 후 JT와 FJ의 측정값을 얻었다. 각각의 감마지수는 JT와 FJ의 모든 Case에서 98 % 이상으로 허용 기준 3 %, 3 mm 95 % 신뢰구간에 충족하였으며 두 측정값을 서로 비교하였을 때의 감마지수는

시계방향(Clockwise, CW)에서 최대 100 %, 최소 95.8 %, 평균 98.3 %이며 반시계방향(Counter-clockwise, CCW)에서 최대 100 %, 최소 95.9 %, 평균 98.6 %로 허용 기준에 충족하였다.

최대선량 차이는 Leaf End Transmission이 발생한 영역에서 시계방향은 최대 98.4 %, 평균 43.6 %, 반시계방향

Table 2. Measured results of Gamma Index and Max. Dose Difference (Unit in ratio : %)

Multiple Brain	Gamma Index*		Max. Dose Difference*	
	CW†	CCW‡	CW	CCW
1	99.8	98.6	42.5	52.8
2	100	100	6.2	5.3
3	98.5	98.7	43.2	40.9
4	95.8	97.7	55.2	61
5	98.4	98.8	45.2	37
6	96.7	97.9	70.9	57.8
7	100	100	2.1	9.7
8	99.7	99.7	24.3	29
9	96.2	95.9	98.4	67.9
10	98.9	98.5	48.1	49

*comparison of JT and FJ Measures

†Clock wise, ‡Counter-clock wise

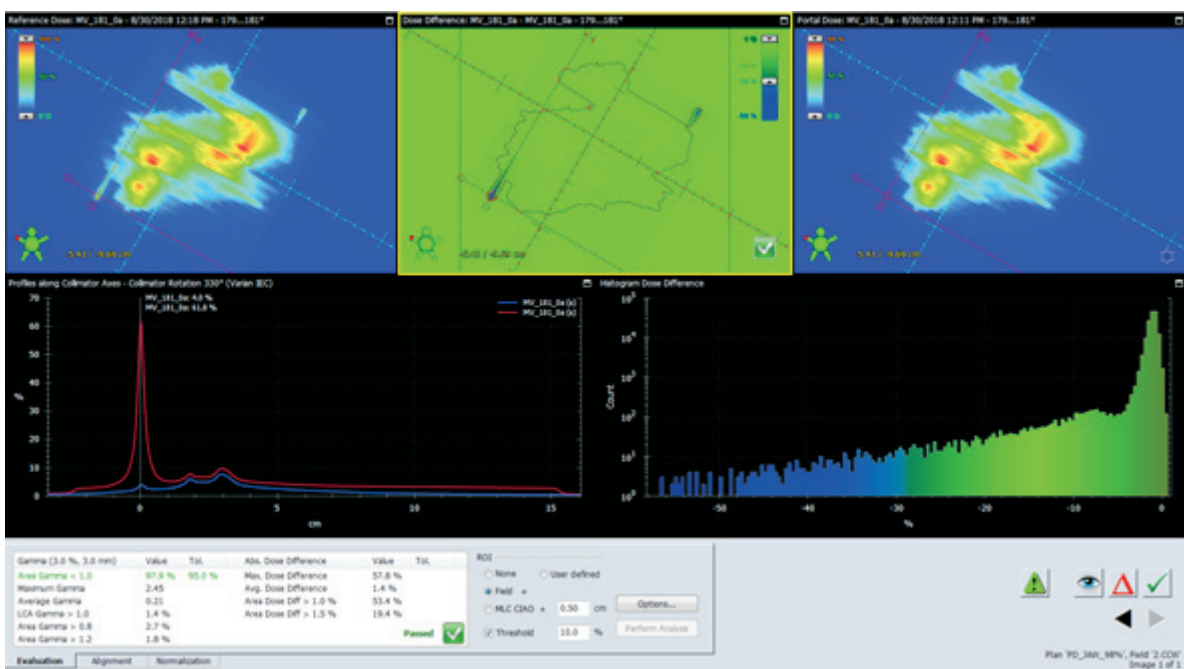


Fig. 3. Max. Dose Difference using Portal Dosimetry evaluation

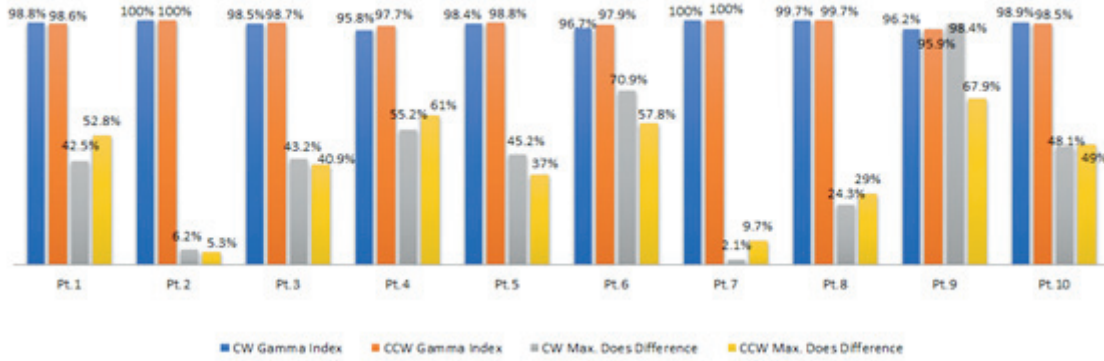


Fig. 4. Gamma Index and Max. Dose Difference using Portal Dosimetry evaluation

Table 3. Relative rate of OARs between JT and FJ-VMAT

Organ	Dmax				Dmean			
	Relative rate(%)		t	p	Relative rate(%)		t	p
	Average±SD*	Max			Average±SD*	Max		
Rt, Optic nerve	12,59±12,45	36,07	4,79	0,0009	18,10±14,73	42,63	6,46	0,0001
Lt, Optic nerve	13,64±13,80	41,09	4,27	0,0020	19,59±16,56	50,90	5,66	0,0003
Rt, Lens	39,80±17,43	66,03	3,46	0,0070	41,71±16,86	59,71	4,09	0,0020
Lt, Lens	35,77±17,17	55,07	3,69	0,0040	36,79±15,75	57,54	4,43	0,0016
Rt, Eye	19,36±14,62	40,90	3,27	0,0090	31,01±14,09	50,91	5,58	0,0003
Lt, Eye	18,62±15,33	50,58	4,49	0,0010	27,61±15,93	59,28	6,52	0,0001
Rt, Parotid	29,04±15,59	55,30	6,78	0,0001	38,86±19,21	62,79	5,89	0,0002
Lt, Parotid	33,08±22,99	74,59	6,09	0,0001	38,44±18,86	65,23	5,83	0,0002
Pituitary	8,64±11,06	29,85	3,67	0,0050	9,85±12,42	34,38	3,71	0,0040
Optic chiasm	6,16±8,80	24,93	3,33	0,0080	8,20±10,97	30,00	3,49	0,0060
Brain stem	2,84±4,94	15,36	1,84	0,1000	7,70±10,19	27,90	3,66	0,0050

*standard deviation

은 최대 67.9 %, 평균 41.0 %로 측정되었다(Table 2, Fig. 3, Fig. 4).

2. 손상위험장기

JT와 FJ에 D_{max}, D_{mean}의 최대값, 평균값과 표준편차를 구하고 분석하였다.

양측 귀밑샘, 양측 시신경, 양측 수정체, 양측 눈, 시신경 교차, 뇌하수체, 뇌 줄기등 모든 손상위험장기에서 FJ에 비하여 JT가 선량이 감소하였다. 이중에서도 평균값은 우측 수정체가 D_{max}에서 39.80 %±17.43 %, D_{mean}은 41.71 %±16.86 %로 가장 크게 감소하였으며, 뇌 줄기가 D_{max}에서

2.84 %±4.94 %, D_{mean}은 7.70 %±10.19 %로 가장 작게 감소하였다. 또한 최대값은 좌측 귀밑샘이 D_{max}에서 74.59 %, D_{mean}에서 65.23 %로 가장 크게 감소하였다.

이러한 측정결과는 JT의 사용은 저선량 영역에서 누설 선량에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, T검정을 시행한 결과 뇌 줄기를 제외한 모든 손상위험장기가 통계적으로 유의(p<0.05)함을 확인하였다(Table 3, Fig. 5).

3. 처방선량지수, 선량균질지수

JT와 FJ의 전산화치료계획에서 처방선량지수값은 JT에서 평균 0.9281, FJ에서 평균 0.9284였으며 선량균질지수

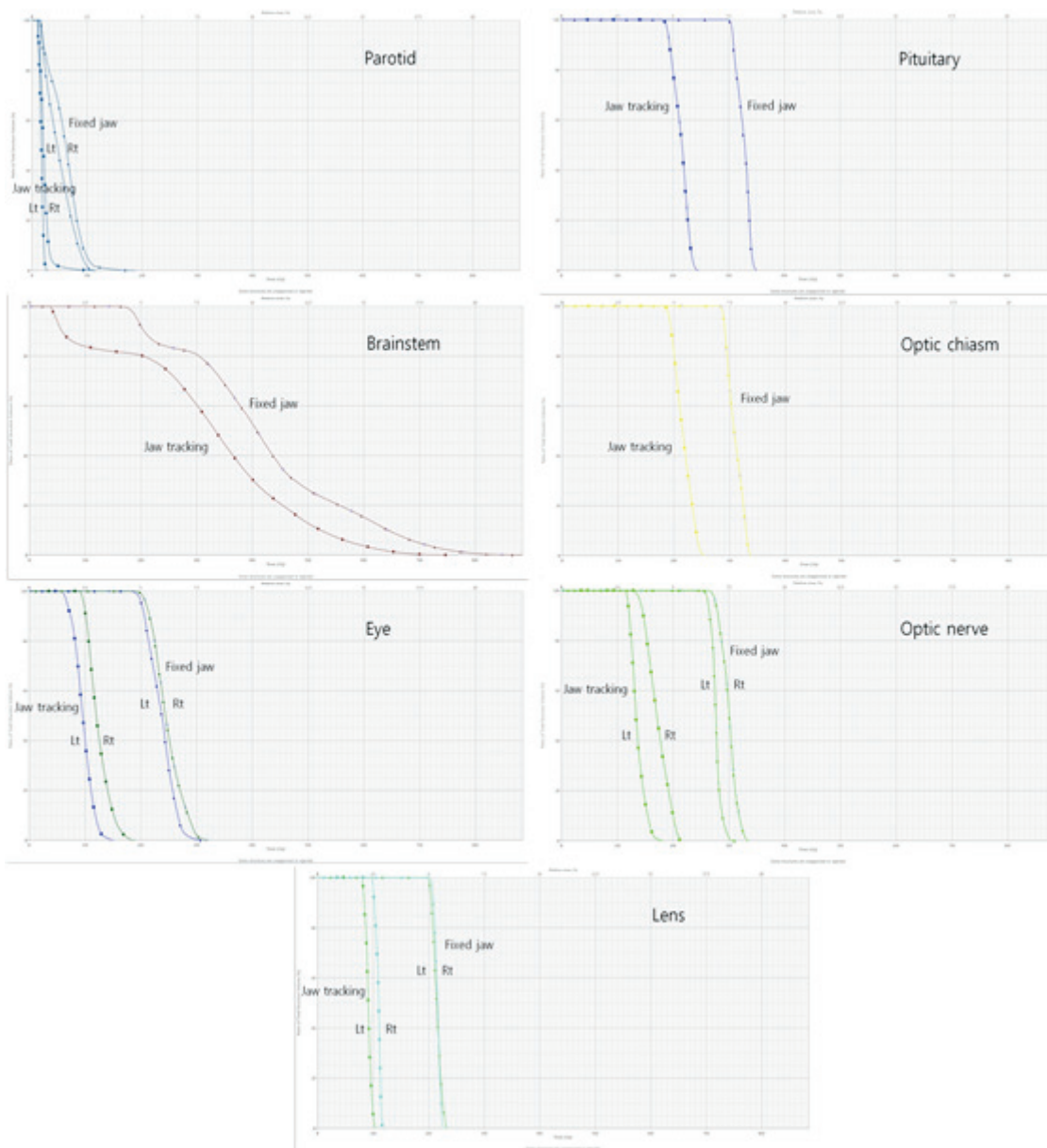


Fig. 5. The comparison of DVHs for normal organs in jaw tracking and fixed jaw.

값은 JT에서 평균 1.0741, FJ에서 평균 1.0742로 차이가 없었으며, JT의 사용은 치료계획용적의 선량분포에는 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다(Table 4).

결론 및 고찰

이번 연구에 사용된 Millennium120 MLC™(Varian, USA)의 차폐 효율은 Average leaf transmission은 2.5 %

이하, Maximum inter leakage는 3.0 % 이하이며, jaw와 결합하여 사용하는 경우 0.02 % 이하로 차폐할 수 있다.⁽¹¹⁾ Mohan R 연구에 따르면 Build up 영역에서 표면선량, 반음영 등을 최소화하기 위하여 MLC와 jaw를 동시에 사용해야 한다고 하였으며,⁽¹²⁾ FJ는 MLC의 움직임과 상관없이 설정된 조사면으로 고정되어 있지만, JT는 jaw가 치료 중에 계속 이동하여 차폐 효율을 보완해 줄 수 있다. 본 논문에서는 표적의 수가 많고 조사면의 크기가 큰 다발성 뇌 전이를 대상으로 하였으며, VMAT을 이용하여 치료하는 경

Table 4. comparison of Homogeneity Index(HI) and Conformity Index(CI) between JT and FJ-VMAT

Patient No.	FJ-VMAT		JT-VMAT		Difference	
	CI	HI	CI [†]	HI [*]	CI	HI
1.	0.934	1.049	0.933	1.049	0.001	0
2.	0.939	1.053	0.939	1.053	0	0
3.	0.942	1.087	0.942	1.087	0	0
4.	0.930	1.053	0.929	1.052	0.001	0.001
5.	0.944	1.087	0.944	1.087	0	0
6.	0.943	1.071	0.944	1.071	0.001	0
7.	0.927	1.042	0.927	1.042	0	0
8.	0.923	1.103	0.923	1.103	0	0
9.	0.897	1.102	0.894	1.101	0.003	0.001
10.	0.906	1.095	0.906	1.096	0	0.001

[†]Conformity Index(CI), ^{*}Homogeneity Index(HI)

우 FJ에서는 MLC의 움직임에 대한 기계적인 제한으로 조사면 내 불특정 영역에 Leaf End Transmission이 발생하는 것을 최대선량차이값을 통하여 확인할 수 있었다. 이는 정상장기에 불필요한 선량이 조사될 가능성이 있어 JT를 이용한 VMAT이나 IMRT 치료계획을 고려해야 함을 확인할 수 있었다.

반면 JT는 방사선 조사 중 jaw가 MLC 움직임에 맞춰서 MLC의 끝부분으로 이동함으로써 손상위험장기에 대한 D_{max}의 최대값은 15.36 %~74.59 %, 평균값은 2.84 %~39.80 % 감소, D_{mean}의 최대값은 27.90 %~65.23 %, 평균값은 7.70 %~41.71 %로 감소하였으며, 처방선량지수와 선량균질지수값은 변화가 없었다. 이러한 JT의 사용은 치료 계획용적의 선량분포에 영향을 미치지 않으면서 손상위험 장기에 조사되는 선량이 감소하는 것을 이번 연구를 통해 확인할 수 있었다.

VMAT은 IMRT와 비교하였을 때 연속적인 선량전달이 가능하며 MU가 적고 치료시간이 짧다는 장점이 있어 선형가속기에서 MU에 비례하여 발생하는 산란선으로 인한 2차 악성종양에 위험도가 낮고 치료시간 단축으로 환자의 움직임 및 내부 장기 움직임을 최소화함으로써 치료의 질 향상을 가져온다는 보고가 있다.⁽¹³⁾ 이러한 장점이 있는 VMAT과 더불어 다발성 뇌 전이 뿐만 아니라 골반과 같은 크기가 큰 부위를 고려하여 JT를 이용한다면 FJ를 이용했

을 경우보다 치료계획용적의 선량분포에 영향을 미치지 않으면서 불특정 영역에서 발생하는 방사선의 누설 및 투과로 인한 불필요한 피폭을 감소시키고 정상장기에 더 낮은 선량으로 방사선치료가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Jong Hoon Kim, MD, LINAC-based High-precision Radiotherapy: Radiosurgery, Image-guided Radiotherapy, and Respiratory-gated Radiotherapy, J Korean Med Assoc 2008; 51(7): 612-618
2. LoSasso T, Chui CS, Ling CC. Physical and dosimetric aspects of a multileaf collimation system used in the dynamic mode for implementing intensity modulated radiotherapy. Med Phys, 1998;25(10):1919-27.
3. JL Bedford, Treatment planning for volumetric modulated arc therapy. Med Phys 2009; 36: 5128-38
4. Wu-Zhe Zhang, A Dosimetric Study of Using Fixed-jaw Volumetric Modulated Arc Therapy for the Treatment of Nasopharyngeal Carcinoma with Cervical Lymph Node Metastasis . PLOS ONE 11(5):E0156675. doi:10.1371/journal.pone.0156675
5. B Huang B, A dosimetric analysis of volumetric-modulated arc radiotherapy with restriction vs 7 field intensity-modulated radiotherapy for definitive treatment of cervical cancer. doi:10.1259/bjr.20140183
6. Zhongsu Feng, Dosimetric comparison between JT and static jaw technique in intensity-modulated radiotherapy. Feng et al, Radiation Oncology 10:28 DOI 10.1186/s13014-015-0329-4
7. Byung Do Park1,, Dosimetric Impact of the Jaw-Tracking Technique in Volumetric Modulated Arc Therapy. ark et al., J Nucl Med Radiat Ther 2016, 7:5 DOI: 10.4172/2155-9619.1000301

8. Hao Wu, A comparative study of identical VMAT plans with and without technique. JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 17, NUMBER 5, 2016
9. Eugenio Vanetti, Giorgia Nicolini, et al. On the role of the optimization algorithm of RapidArc(R) RapidArc(R) volumetric modulated arc therapy on plan quality and efficiency : Medical Physics 2011;38(11): 5844-5846
10. Se Hyeon Kim, Evaluate the implementation of Volumetric Modulated Arc Therapy QA in the radiation therapy treatment according to Various factors by using the Portal Dosimetry, 대한방사선치료학회지 2015 ; 27(2) : 167-174
11. Varian Medical Systems, VitalBeam System Specification, Inc,Palo Alto, CA: 1-17
12. Mohan R, Dosimetric evaluation of 120-leaf multileaf collimator in a Varian linear accelerator with 6-MV and 18-MV photon beams. J Med Phys, 2008 Jul; 33 (3) : 114-8, doi : 10.4103 / 0971-6203.42757
13. Hall EJ : Intensity-modulated arc therapy, protons, and the risk of second cancers. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006;65:1-7

Evaluation of the Usefulness for VMAT of multiple brain metastasis using jaw tracking

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, Seoul, Korea

Kim Tae Won, Yoo Soon Mi, Jeon Soo Dong, Yoon In Ha, Back Geum Mun

Purpose : The aims of this study were to compare and assess the effectiveness of Volumetric Modulated Arc Therapy(VMAT) using jaw tracking(JT) and fixed jaw(FJ) in radiation therapy of multiple brain metastasis.

Method and material : Among the patients with Multiple Brain Metastasis treated with jaw tracking, 10 patients with more than 6 tumors and with the size of radiation field $14 \times 14 \text{ cm}^2$ or more were included. Each Treatment plans with jaw tracking(JT) and fixed jaw(FJ) was established with Eclipse (Ver. 13.6 Varian, USA). Gamma Index (3 mm, 3 % confidence interval - 95 %) and maximum dose difference were measured with an electronic portal imaging device(EPID). The D_{\max} and D_{mean} of Organ At Risk(OAR) were assessed and compared, and the Conformity Index(CI) and Homogeneity Index(HI) were evaluated.

Result : Evaluating jaw tracking(JT) and fixed jaw(FJ) outcomes, in all cases, Gamma Index met the permissible standard of 3 mm, 3 % confidence intervals of 95 %. The maximum dose difference value from the areas with leaf end transmission was measured at a maximum of 98.4 % and an average of 43.6 % in clockwise(CW), and 67.9 % and 41.0 % for each in Counter-Clockwise(CCW). With jaw tracking, the maximum value of D_{\max} for each normal organ in OAR decreased in 15.36 %~74.59 % with the average value decreasing in 2.84 %~39.80 %. The maximum value of D_{mean} in OAR decreased in 27.90 %~65.23 %, with the average value decreasing in 7.70 %~41.71 %. No change has been found in Conformity Index and Homogeneity Index values.

Conclusion : When Jaw tracking is used in treating patients with multiple brain metastasis with VMAT, the unnecessary exposure due to leakage and transmission of radiation in unspecified areas was reduced, without affecting the dose distribution of the planning target volume(PTV), and the availability of radiation therapy with lower doses in normal organs is expected.

▶ **Keyword :** jaw tracking, fixed jaw, VMAT