

# 식도암 세기조절방사선치료와 용적세기조절회전치료에 대한 Jaw-Tracking의 유용성 평가

서울아산병원 방사선종양학과

오현택·유순미·전수동·김민수·송흥권·윤인하·백금문

**목 적:** 식도암 방사선치료 시 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT) 및 용적세기조절회전치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)에서 Jaw-Tracking 기법 유·무에 따라 저선량 영역에 대한 주변 정상장기의 용적선량을 분석하여 그 유용성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법:** 본 원에서 사용하고 있는 선형가속기 VitalBeam™(Varian Medical System, U.S.A)으로 식도암 방사선치료를 받은 27명을 대상으로 하였으며, 치료계획은 Eclipse(Ver. 13.6 Varian, U.S.A)를 이용하여 Jaw-Tracking(JT)을 사용한 치료계획과 Non Jaw-Tracking(NJT) 치료계획을 수립하였으며, 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)에 빗장위림프절(Supraclavicular Lymph Nodes, SCL)이 포함되어 있는 T자형 PTV를 가진 환자를 대상으로 하였다. 조사범위에 대한 영향을 확인하기 위해 복강(Celiac) 포함 여부로 비교군을 나누었다. 수립된 치료계획의 비교를 위해 손상위험장기는 양측 폐, 심장, 척수를 비교하였으며 Conformity Index(CI), Homogeneity Index(HI)를 비교하였다. 임상적용 검증을 위해 전자포탈영상장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 Portal Dosimetry를 실시하였고, 선량 영역의 임계치(Threshold)를 10%, 5%, 0%로 매개변수로 설정하여 감마분석을 실시하였다.

**결 과:** 모든 치료계획은 3 mm / 3 %, 감마통과율 95 % 기준에 대해 Threshold 10%의 경우 95 % 이상으로 JT, NJT 모두 통과하였으며, IMRT는 Threshold가 5 %, 0 %로 줄어들수록 JT보다 NJT의 값이 1 % 이상 줄어들었다. IMRT에서 양측 폐의  $V_5$ 와  $V_{10}$ 은 JT에서 Celiac을 포함하지 않을 때 최대 14.7 %, 평균 8.5 %, 5.3 % 만큼 감소했고,  $D_{mean}$ 은  $72.3 \pm 51$  cGy 감소하였으며, Celiac을 포함할 때 JT에서 선량감소가 증가하였다. 심장의  $D_{mean}$ 은  $68.9 \pm 38.5$  cGy, 척수의  $D_{max}$ 는  $39.7 \pm 30.1$  cGy만큼 감소하였다. VMAT은 JT기법 사용 시 폐에서  $V_5$  평균 2.5 % 감소하였고, 심장 및 척수에서 소량 감소하였으며, Celiac 포함 시 JT의 선량감소가 증가하였다.

**결 론:** 식도암 치료계획에서 IMRT가 JT 사용 시 양측 폐의  $V_5$ ,  $V_{10}$ 에서 유의미한 감소가 나타났고, 저선량영역에서 조사범위가 클수록 선량감소가 크게 나타났다. 따라서 식도암 방사선치료에는 IMRT가 VMAT보다 JT 적용 시 더 효과적이며, 저선량영역에서의 MLC 누설 및 투과선량으로부터 정상장기를 보호할 수 있다.

▶ **핵심용어:** 식도암, 저선량 영역, Jaw-Tracking

## 서 론

2019년에 발표한 중앙암등록본부의 통계 자료에 의하면 2016년도 식도암의 경우 10만명 당 19.1명의 조유병률을

보이고 있으며,<sup>(1)</sup> 세계에서 여덟 번째로 흔하게 나타나는 암이고, 암 관련사망의 여섯 번째 주요 원인으로 보고되고 있다. 진행성의 절제 불가능한 식도암의 경우에 방사선치료와 항암치료를 병행하는 항암화학방사선치료(Concurrent Chemoradiation Therapy)의 5년 생존율이 높아 일반적인 치료방법으로 사용되어왔다.<sup>(2,3)</sup>

세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT) 및 용적세기조절회전치료(Volumetric

책임저자: 오현택, 서울아산병원 방사선종양학과  
서울특별시 송파구 올림픽로 43길 88  
Tel: 02) 3010-4416  
E-mail: purebay@naver.com

Modulated Arc Therapy, VMAT)는 다엽콜리메이터 (MultiLeaf Collimator, MLC)를 이용하여 정상조직을 보호하고 종양조직에 원하는 선량을 조사할 수 있어 보편화 되고 있는 방사선치료기법이다.<sup>(4,5)</sup> 하지만 MLC는 방사선의 누설(Leakage) 및 투과(transmission)가 발생할 수 있고, MLC의 기계적 특성상 X축 방향 턱(Jaws)이 동중심에서 15 cm 이상인 경우 변조레벨(Modulation)이 변하게 된다.<sup>(6)</sup> 조사범위가 크거나, 에너지가 큰 경우 방사선의 누설과 투과가 더욱 증가한다는 연구결과가 보고된 바 있다.<sup>(7-8)</sup> 이러한 방사선의 누설과 투과는 주변 정상장기의 저 선량 영역에서 선량 차이를 유발할 수 있으며,<sup>(9)</sup> 복합적인 영향으로 예상치 못한 부작용을 야기할 수 있게 된다. 식도암은 폐를 포함하는 Y축 방향으로 치료범위가 길고, 폐와 인접해 있어 방사선폐렴(Radiation pneumonia)에 대해 고려해야 한다. 방사선폐렴을 발생시킬 수 있는 인자인 V<sub>5</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>20</sub>, D<sub>mean</sub>의 경우 발병률 증가와 밀접한 연관이 있으므로,<sup>(10-13)</sup> 식도암 방사선치료의 경우 저 선량 영역의 용적선량을 증가시키는 방사선의 누설과 투과를 특히 고려해야 할 것이다. 또한, 빗장위림프절(Supraclavicular Lymph Nodes, SCL)을 포함하는 T자형 조사범위에서의 저 선량 영역에 대한 영향이 더욱 클 것이라고 판단된다.

현재 방사선의 누설과 투과를 최소화하고 저 선량 영역에 대한 차폐를 위한 많은 연구와 보고가 진행되고 있다. 최신 선형가속기 VitalBeam™(Varian Medical System, USA)에서 제공하는 Jaw-Tracking 기법은 Jaw가 MLC의 끝부분을 실시간으로 따라감으로써 MLC의 누설 및 투과선량을 최소화 할 수 있는 기법이다.<sup>(14)</sup> 본 연구에서는 식도암 방사선치료 시 IMRT와 VMAT 치료계획에서 Jaw-Tracking(이하 JT) 기법을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때 Non-Jaw-Tracking(이하 NJT)일 때 저 선량영역에 대한 차폐와 폐를 포함한 주변 정상장기의 용적선량을 분석하여 유용성을 평가해보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험 재료

- VitalBeam™(Varian Medical Systems, Palo Alto,

U.S.A)

- Eclipse(Treatment Planning System Version 13.6, Varian, U.S.A)
- Portal Vision aS1200 Imager(Varian, U.S.A)
- Portal Dosimetry Application(Ver.13.6, Varian)
- GE Discovery CT590 Computed Tomography(GE, U.S.A)
- MAT LAB(MathWorks, U.S.A)

### 2. 대상 환자

본원에서 2018년 6월부터 2019년 2월까지 선형가속기 VitalBeam™에서 식도암 방사선치료를 받은 27명의 환자를 대상으로 하였으며, 모든 환자는 IMRT와 VMAT으로 전산화치료계획되었다. 복강(Celiac)의 포함 여부에 따라 조사범위에 대한 기준을 나누었고, 환자의 치료체적에 SCL이 포함되는 T자모양의 치료계획용적을 가진 환자를 대상으로 하였다(Table 1).

### 3. 연구 방법

#### 1) 전산화치료계획

각 환자는 GE Discovery CT590을 이용하여 2.5 mm slice로 기관 분기부(Tracheal bifurcation)를 중심으로 안와 밑에서부터 영덩이의 시작지점까지 촬영하였다. 전산화치료계획은 Eclipse(Treatment Planning System, Version 13.6, Varian, U.S.A)를 통해 수립되었으며, 모든 환자의 선량계산은 AAA(Anisotropic Analytic Algorithm, Version 13.6) 알고리즘을 이용하였다. IMRT와 VMAT은 0.5 cm의 Target Margin과 10 MV 에너지를 사용하고, 600 MU/min 선량률로 IMRT는 Gantry Angle은 7~9개의 치료각도를 사용하였고, VMAT은 양측방향의 회전각 80°를 제외한 (50°~130°, 230°~310°) 2개의

Table 1. Patient Group

Patient	Jaw-tracking		Total dose (cGy)
	IMRT	VMAT	
SCL(+), Celiac(-)	20	20	5000
SCL(+), Celiac(+)	7	7	5000

\*Supraclavicular Lymph Nodes

Arc를 이용하여 치료계획을 수립하였다. PTV의 처방선량은 총 선량 5000 cGy, 25회 분할치료로 PTV의 95 %를 처방선량 100 %가 포함할 수 있게 하였고, 표적용적의 크기와 모양을 충분히 포함시키고 정상장기를 최대한 보호할 수 있도록 하였다. PTV는 SCL을 포함하고, Celiac의 포함 여부에 따른 조사범위를 변수로 설정하였으며, 주변 정상 장기는 양측 폐, 심장, 척수로 설정하였다. JT 기법을 적용

한 치료계획과 NJT 기법으로 치료계획을 세우기 위하여 인위적으로 MAT LAB(MathWorks, U.S.A)을 사용하여 TV(Target Volume)에 0.5 cm Margin으로 Jaw를 고정하여 NJT 기법의 치료계획을 수립하였다.

### 2) 감마지수

27명의 환자를 IMRT와 VMAT로 전산화치료계획을 수립하고 JT 기법과 NJT 기법으로 나누어 평가하였다. IMRT 전산화치료계획의 임상적용 검증을 위해 가장 많이 사용하는 Portal Dosimetry를 시행하였다. VitalBeam™에 장착된 전자포탈영상장치(Electronic Portal Imaging Device, EPID)를 이용하여 진행하였으며(Fig. 1), 3 mm / 3 %, Gamma pass rate 95 % 기준으로 평가하였다. 또한 저 선량 영역의 임계치(Threshold)를 10 %, 5 %, 0 %로 매개변수를 설정하여 분석하였다(Fig. 2).

### 3) 손상위험장기

JT 기법과 NJT 기법의 손상위험장기(Organ at Risk, OAR)를 평가하기 위하여 전산화치료계획 평가도구인 선량체적용적(Dose Volume Histogram, DVH)을 이용하였다.

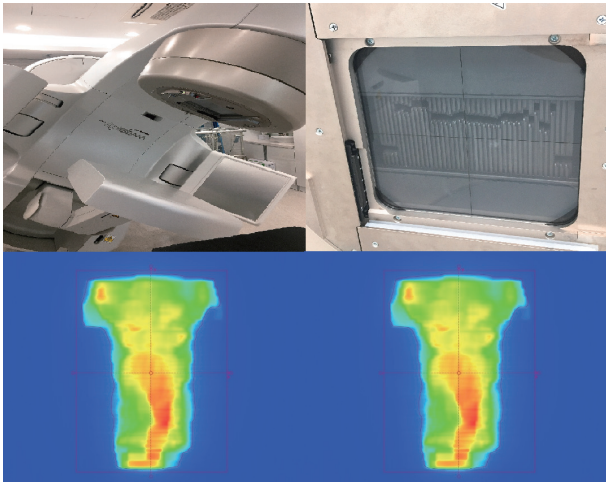


Fig. 1. Multileaf Collimator and Electronic Portal Imaging Device of VitalBeam™

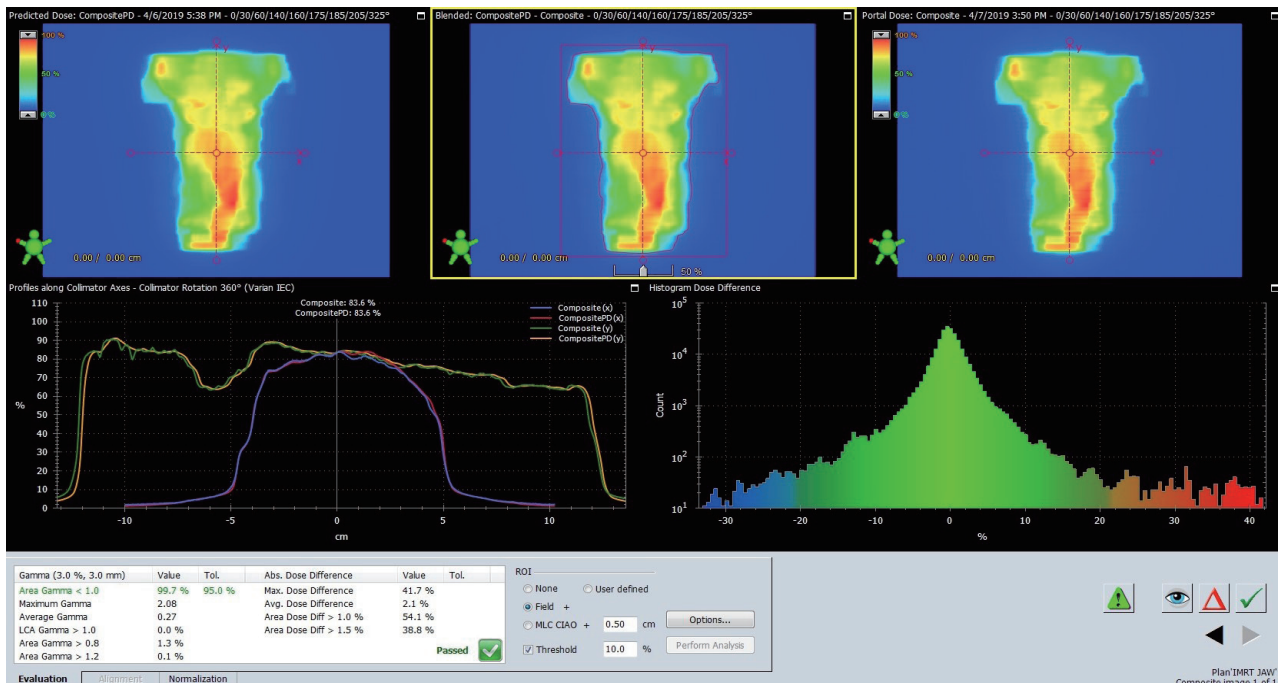


Fig. 2. Dose distribution of Portal Dosimetry

손상위험장기의 평가대상으로는 양측 폐, 심장, 척수를 선정하였으며, 선정된 평가대상의 선량평가지표로 양측 폐는  $D_{mean}$ ,  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ 을 평가하였으며, 심장은  $D_{mean}$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ 을 평가하였다. 척수는  $D_{max}$ 를 평가하였다.

4) 선량균질지수, 처방선량지수

표적의 선량평가를 위해 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 보고서 62를 기준으로 치료계획용적의 평가지표인 선량균질지수(Homogeneity Index, HI)[식 1]와 처방선량지수(Conformity Index, CI)[식 2]를 JT 기법과 NJT 기법의 전산화치료계획을 이용하여 각각 구하였다.

$$CI = \frac{V_{TV}}{V_{PTV}} \dots\dots\dots [식1]$$

$V_{TV}$  : 처방선량이 포함하는 용적( $cm^3$ )

$V_{PTV}$  : PTV의 용적( $cm^3$ )

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \dots\dots\dots [식2]$$

$D_{5\%}$  : PTV의 5 % 용적이 받는 선량(Gy)

$D_{95\%}$  : PTV의 95 % 용적이 받는 선량(Gy)

결 과

1. 감마지수

IMRT, VMAT을 JT의 적용 유·무에 따라 EPID를 이용하여 Portal Dosimetry를 시행한 후 측정값을 확인하였다. 각 치료계획의 Threshold 10 %, 5 %, 0 %에서 감마통과율의 최대값은 모두 100 %이고, IMRT에서 평균값으로 Threshold 10 %의 JT 99.78 %, NJT 99.39 %이고, Threshold 5 %에서는 JT 99.71 %, NJT 98.45 %였다. Threshold 0 %에서는 JT 97.99 %, NJT 96.89 %였다. VMAT은 Threshold 10 %에서 JT 99.34 %, NJT 99.3 %, Threshold 5 %에서 JT 99.33 %, NJT 99.3 %, Threshold 0 %에서는 97.37 %로 동일했다. 모든 치료계획은 실제 치료 시 분석에 사용되는 Threshold 10 %에서는 3 mm / 3 %,

Table 2. Comparison of Gamma Index

Gamma Index		10 %	5 %	0 %
IMRT	JT*	99.78	99.71	97.99
	NJT†	99.39	98.45	96.89
VMAT	JT	99.34	99.33	97.37
	NJT	99.3	99.3	97.37

\*Jaw-Tracking, †Non Jaw-Tracking

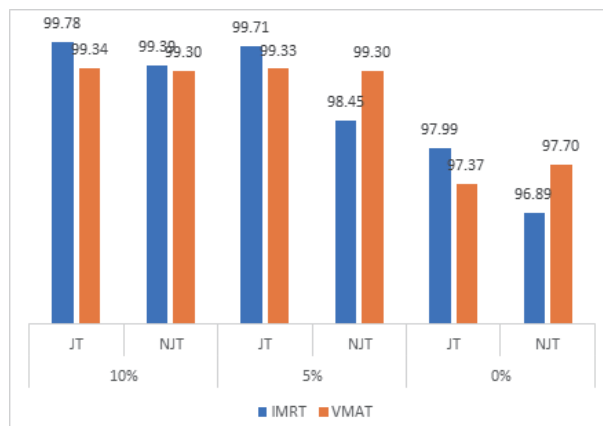


Fig. 3. Gamma index comparison between Jaw-Tracking and Non Jaw-Tracking

감마통과율 95 % 이상으로 통과하였다(Table 2, Fig. 3).

2. 손상위험장기

IMRT, VMAT을 복강(Celiac) 포함 여부 및 JT의 적용에 따라 비교군을 나누어 손상위험장기에 대해 분석하였고, 양측 폐, 심장, 척수에 대한 손상위험장기 체적 및  $D_{max}$ ,  $D_{mean}$ 의 평균, 표준편차, 최대, 최소값을 산출하였다(Fig. 4). IMRT에서 양측 폐는  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ 에서 JT를 사용하였을 시 모두 감소하였으며,  $D_{mean}$ 은 Celiac 포함 시 평균 104 cGy, Celiac 미포함 시 평균 70 cGy 감소하였다.  $V_5$ 는 최대 14.7 %, 평균 8.7 % 감소하였으며, Celiac 포함 시 평균 9 % 감소하였다.  $V_{10}$ 은 Celiac 포함 시 1.5 % 더 감소하였으며, 평균 5.3 % 감소하였다.  $V_{20}$ 에서는 평균 2 % 감소하였다.  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ 은 조사범위가 클수록 더 큰 차이를 보였다.  $V_{30}$ 은 0.46 %로 큰 차이를 보이지 않았다. 심장은  $V_{10}$ 은 JT를 사용했을 때 평균  $1.3 \pm 0.9$  %만큼 감소하였으며, Celiac 포함 시 조사범위에서  $V_{20}$  평균  $3.7 \pm 1.5$  %,  $V_{30}$  평균  $1.71 \pm 1.1$  %로  $V_{10}$ 에 비해 차이가 커졌다.  $D_{mean}$ 은 평균  $68.87 \pm 38.5$  cGy 감소하였다. VMAT은 JT를 사용



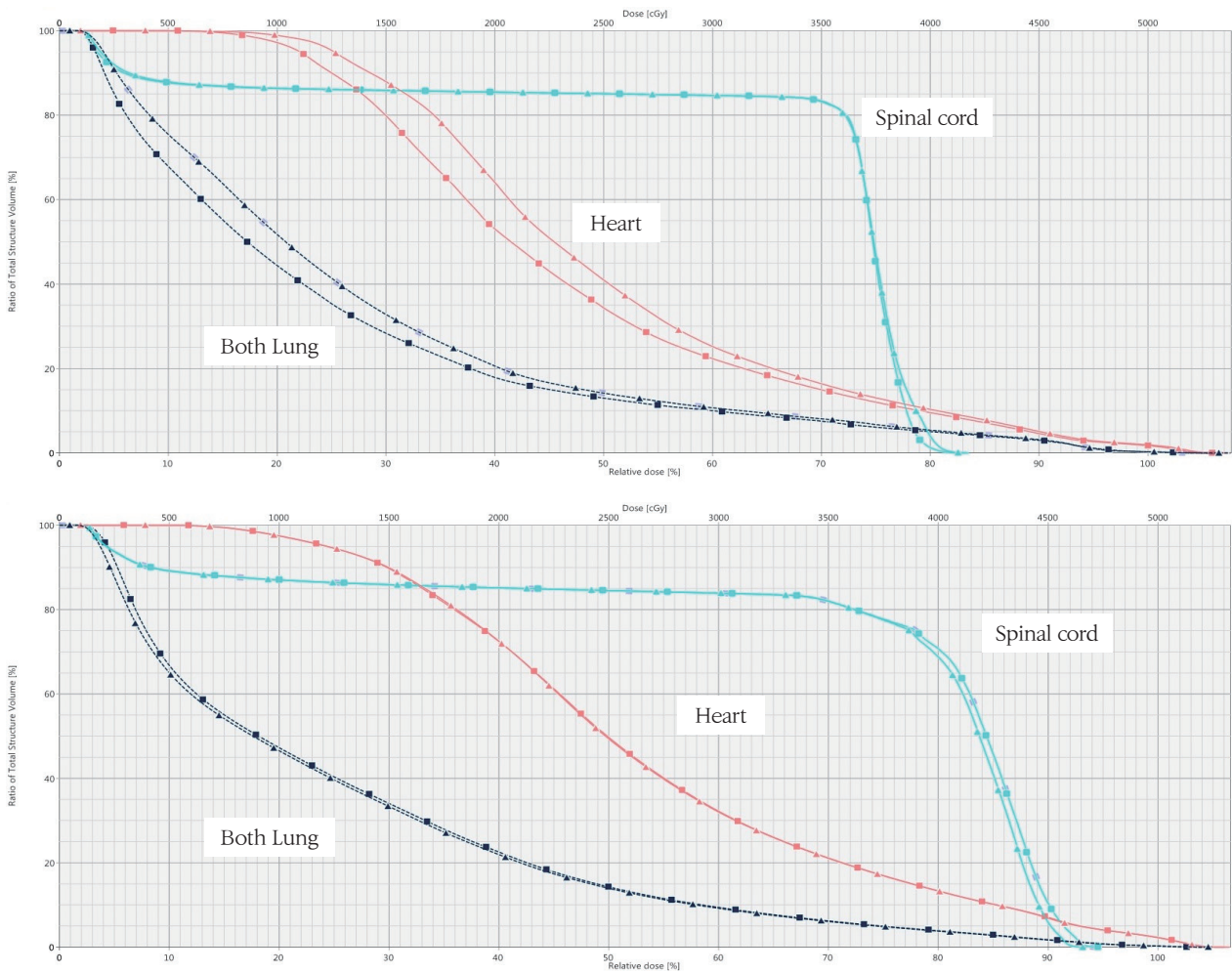


Fig. 4. Organ At Risk comparison between VMAT and IMRT

했을 때 양측 폐에서  $V_5$ 는 평균  $1.9 \pm 0.43$  %로 가장 차이가 컸고, 조사범위가 클수록 차이가 증가하였으며, 심장을 포함한 나머지 비교항목에서는 1 % 미만의 차이를 보였다. 양측 폐는 JT 사용 시 평균  $D_{mean}$   $22.79 \pm 8.4$  cGy만큼 NJT보다 감소하였다. 심장은 JT 사용시 평균  $D_{mean}$   $9.3 \pm 6.4$  cGy만큼 감소하였다. IMRT에서 척수는 JT에서  $D_{max}$  평균  $4230.64$  cGy이며, NJT에 비해  $19.1$  cGy 감소하였지만 큰 차이를 보이진 않았다. VMAT에서 척수는 JT에서  $D_{max}$   $4396.85$  cGy로 NJT와 차이가 없었다. 두 치료계획의 선량평가 차이유의를 위해 t-검정을 실시하여 p-value를 구하였으며, VMAT에서 심장의  $V_{20}$ 을 제외하고 모두 유의수준  $0.05$  이하였다(Table 3).

### 3. 선량균질지수, 처방선량지수

VMAT과 IMRT 전산화치료계획에서 선량균질지수(HI)와 처방선량지수(CI)를 계산하였다. VMAT에서의 JT에서 선량균질지수는 평균  $0.9011$ 이고, NJT는 평균  $0.9032$ 로  $0.0072$ 의 평균적인 차이가 있었으며, 처방선량지수는 JT에서 평균  $1.1532$ , NJT에서 평균  $1.1548$ 로  $0.0025$  차이가 있었다. IMRT에서의 선량균질지수는 JT 평균  $0.9162$ , NJT  $0.9161$ 로  $0.012$ 의 차이가 있고, 처방선량지수는 JT 평균  $1.1121$ , NJT  $1.1123$ 으로 평균  $0.002$ 로 두 치료계획 모두 큰 차이가 없었다(Table 4).

**Table 3.** Relative rate of OARs between JT<sup>†</sup> Dose Average(SD<sup>\*</sup>) and NJT<sup>‡</sup> Dose Average(SD)

		IMRT				P-value	
		Celiac(-)		Celiac(+)		JT	NJT
		JT	NJT	JT	NJT		
Lung	V <sub>5</sub> (%)	45,1±9,7	53,8±10,9	68,7±5,8	77±5	< 0,05	
	V <sub>10</sub> (%)	29,3±6,3	33,2±7,3	43,7±5,4	49,1±5,5		
	V <sub>20</sub> (%)	14,9±2,6	16,2±2,9	19,4±4,8	21,5±5,1		
	V <sub>30</sub> (%)	9,3±1,8	9,8±1,9	10,4±3,2	11±3,4		
	D <sub>mean</sub> (cGy)	939±160	1011±215	1262±158	1366±158		
Heart	V <sub>10</sub> (%)	49,7±33	51,1±33,4	95,7±4,1	96,7±3,9	< 0,05	
	V <sub>20</sub> (%)	36±27,8	38,1±28,8	73,2±14,3	75,9±15		
	V <sub>30</sub> (%)	22±19,3	23,3±20,4	36±11,3	37,7±11,9		
	D <sub>mean</sub> (cGy)	1515±990	1580±1024	2734±272	2808±277		
Spinal Cord	D <sub>max</sub> (cGy)	4218±178	4242±171	4251±239	4262±223	< 0,05	

\*Standard Deviation, †Jaw-Tracking, ‡ Non Jaw-Tracking

		VMAT				P-value	
		Celiac(-)		Celiac(+)		JT	NJT
		JT	NJT	JT	NJT		
Lung	V <sub>5</sub> (%)	49,6±10,4	52,1±10,7	69,7±5,5	72,6±5,3	< 0,05	
	V <sub>10</sub> (%)	34,7±7,4	36,3±7,5	51,1±6,1	53,1±6,2		
	V <sub>20</sub> (%)	17,5±2,9	17,8±3	25,7±6,3	26,1±6,3		
	V <sub>30</sub> (%)	8,6±1,6	8,7±1,6	11±3,4	11,2±3,4		
	D <sub>mean</sub> (cGy)	1017±172	1036±177	1391±182	1414±180		
Heart	V <sub>10</sub> (%)	50±35,1	51,3±35	92,2±3,4	94,4±3,4	< 0,05	
	V <sub>20</sub> (%)	35,3±27,8	36±28,2	75,9±10,5	77±10,3	0,36	0,25
	V <sub>30</sub> (%)	17,3±14,4	17,8±14,4	37,2±8,7	37,8±8,7	<0,05	0,05
	D <sub>mean</sub> (cGy)	1463±983	1484±982	2763±244	2784±239	< 0,05	
Spinal Cord	D <sub>max</sub> (cGy)	4430±221	4448±226	4342±180	4374±199	< 0,05	

**Table 4.** Comparison of Homogeneity Index(HI) and Conformity Index(CI) between JT and NJT

		JT	NJT	Difference
IMRT	CI <sup>†</sup>	0,9162±0,039	0,9161±0,036	0,012±0,012
	HI <sup>*</sup>	1,1121±0,02	1,1123±0,018	0,002±0,002
VMAT	CI	0,9031±0,033	0,9032±0,031	0,007±0,009
	HI	1,1542±0,019	1,1548±0,019	0,002±0,003

\*Homogeneity Index(HI), †Conformity Index(CI)

## 결론 및 고찰

3D-CRT에서 IMRT, IGRT로 치료기술이 발전하였고, 현재는 MU가 적고 치료시간이 짧은 장점이 있는 VMAT을 여러 치료 부위에 적용하여 사용하고 있다. 치료계획 용적이 큰 식도암의 경우 기존에 사용되던 3D-CRT 및 NJT IMRT는 SCL을 포함한 T자형 식도암의 경우 MLC로부터의 누설 및 투과선량으로 인하여 폐의 저 선량 영역에 대한 용적선량이 높았으나, JT기법을 적용한 IMRT 및 VMAT은 MLC로부터의 누설 및 투과선량으로 인한 정

상장기의 부작용 발생 위험도를 줄일 수 있을 것이다.<sup>(15)</sup> Normal Tissue Effects에 관한 QUANTEC 보고서 및 RTOG에  $V_{20} < 30\%$ , Mean Dose 20 Gy에 대해 방사선 폐렴의 발병률이 증가하는 중요 지표라고 보고되었다. 또한  $V_5$ ,  $V_{10}$ 이 방사선폐렴에 미치는 영향에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.<sup>(16-18)</sup> 본 연구에서는 양측 폐와 심장, 척수에 대해 치료계획 및 조사범위를 기준으로 비교군을 나누어 선량평가를 실시하였다. IMRT는 양측 폐에서  $V_5$ 가 JT 기법을 사용했을 때 Celiac이 포함된 조사범위에서 평균 8.7%로 감소하였지만, VMAT의 경우에는 평균 2% 감소하는 것으로 나타났다. 양측 폐와 심장의  $D_{mean}$ , 척수의  $D_{max}$ 는 JT 사용 시 IMRT와 VMAT 모두 감소하였다. JT과 NJT의 Threshold를 통한 비교에서도 IMRT에서 JT 사용 시 NJT보다 10%, 5%, 0% Threshold에서 감마통과율이 높았으며 저 선량영역을 포함한 Threshold 0%의 경우 1% 이상의 차이가 나타났다. VMAT는 본 연구의 전반적인 평가에서 IMRT에 비해 JT 기법으로 인한 영향이 낮게 나타났는데 이는 IMRT에 비해 MU가 평균 3배 이하로 적게 조사되어 방사선 조사시간이 짧고, IMRT는 미달이창 조사기법(Sliding window)으로 MLC가 구동되어 Jaw가 치료영역 처음부터 끝까지 닫히면서 치료되지만, VMAT은 T자형 PTV로 인해 SCL에 치료영역이 남아있는 경우 JT 기법을 사용했음에도 Jaw가 열려있는 상태에서 치료되기 때문에 Jaw의 움직임이 IMRT에 비해 크지 않았다. 또한 Portal Dosimetry에서 IMRT에 비해 JT 기법의 적용 유·무에 따른 에너지 분포 차이가 크지 않았다.

본 연구에서는 식도암 방사선치료에서 IMRT가 VMAT보다 JT 사용 시 폐의  $V_5$ ,  $V_{10}$ 에서 유의미한 선량감소가 이루어졌고, Y축 방향으로 조사범위가 클수록 저 선량영역에 대한 선량감소가 증가했다. 따라서 식도암은 IMRT가 VMAT보다 JT으로 인한 저 선량영역의 정상장기 보호에 더 유리하다는 것을 알 수 있으며, 식도암 방사선치료 이외에도 저 선량영역의 방사선 부작용에 대한 민감도가 높은 손상위험장기가 포함된 치료 부위나 조사범위가 넓어 MLC와 Jaw의 작동반경이 클 것이라고 예상되는 부위에는 JT 기법이 치료부작용 감소에 유리할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Report of Korea central cancer registration center, 2019.
2. Smith TJ, Ryan LM, Douglass HO, et al. Combined chemoradiotherapy vs. radiotherapy alone for early stage squamous cell carcinoma of the esophagus: a study of the Eastern Cooperative Oncology Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;42:269-276
3. Kumar S, Dimri K, Khurana R, Rastogi N, Das KJM and Lal P. A randomised trial of radiotherapy compared with cisplatin chemo-radiotherapy in patients with unresectable squamous cell cancer of the esophagus. *Radiother Oncol*. 2007; 83(2):139-147. <http://14.139.245.149:8080/jspui/bitstream/1/9080/1/A%20randomised%20trial%20of%20radiotherapy.pdf>
4. Falk Roeder, Nils H Nicolay, Tam Nguyen, Ladan Saleh-Ebrahimi, Intensity modulated radiotherapy (IMRT) with concurrent chemotherapy as definitive treatment of locally advanced esophageal cancer. *Radiation Oncology*20149:191 <https://doi.org/10.1186/1748-717X-9-191>
5. Li Yin, Hao Wu, Jian Gong. Volumetric-modulated arc therapy vs c-IMRT in esophageal cancer : A treatment planning comparison. *World J Gastroenterol*. 2012 Oct 7; 18(37) : 5266-5275. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3468860/>
6. Zhang WZ, Lu JY, Chen JZ, Zhai, TT. A Dosimetric Study of Using Fixed-Jaw Volumetric Modulated Arc Therapy for the Treatment of Nasopharyngeal Carcinoma with Cervical Lymph Node Metastasis. *PLoS One*. 2016 May 27;11(5):e0156675. DOI : 10.1371/journal.pone.0156675
7. Zhongsu Feng, Hao Wu, Yibao Zhang. Dosimetric comparison between jaw tracking and static jaw

- technique in intensity-modulated radiotherapy. Feng et al. Radiation Oncology 10:28 <https://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13014-015-0329-4>
8. LoSasso,T. IMRT delivery performance with a varian multileaf collimator. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008;71(1 Suppl):S85-8. doi:10.1016/j.ijrobp.2007.06.082.
9. Chen J, Fu G, Li M. Evaluation of MLC leaf transmission on IMRT treatment plan quality of patients with advanced lung cancer. Medical Dosimetry 2018 winter;43(4) : 313-318. DOI:10.1016/j.meddos.2017.10.008
10. Zhen Cui, Ye Tian. Associated factors of radiation pneumonitis induced by precise radiotherapy in 186 elderly patients with esophageal cancer. Int J Clin Exp Med. 2015; 8(9): 16646-16651. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4659085/>
11. Florin Rosca, Micheal Kirk, Daniel Soto, et al.: Reducing the low-dose lung radiation for central lung tumors by restricting the IMRT beams and arc arrangement : Medical dosimetry 2012;37:280-286
12. Loic Feuvret, Georges Noel et al.: CONFORMITY INDEX: A REVIEW. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2006;64:333-342
13. Dr Emami B . Tolerance of Normal Tissue to Therapeutic Radiation Department of Radiation Oncology, Loyola University Medical Center, Maywood, Illinois, USA 2013;39
14. 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
15. Joy S, Starkschall G, Kry S. Dosimetric effects of jaw tracking in step-and-shoot intensity-modulated radiation therapy. J Appl Clin Med Phys. 2012 Mar 8;13(2):3707. 10.1120/jacmp.v13i2.3707
16. Harder EM, Park HS, Chen ZJ and Decker RH. Pulmonary dose-volume predictors of radiation pneumonitis following stereotactic body radiation therapy. Practical Radiation Oncology. 2016; 6(6):e353-e359. 10.1016/j.prro.2016.01.015
17. Yao B, Wang YD and Liu QZ. Radiation pneumonitis in non-small-cell lung cancer patients treated with helical tomotherapy. Niger J Clin Pract. 2016; 19(1):25-29. DOI:10.4103/1119-3077.173709
18. Pinnix CC, Huo J, Milgrom SA. Using benchmarked lung radiation dose constraints to predict pneumonitis risk : Developing a nomogram for patients with mediastinal lymphoma. Radiation Oncology. 2018 Apr 24;3(3):372-381. DOI:10.1016/j.adro.2018.03.005



# Effectiveness Assessment on Jaw-Tracking in Intensity Modulated Radiation Therapy and Volumetric Modulated Arc Therapy for Esophageal Cancer

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

**Oh Hyeon Taek, Yoo Soon Mi, Jeon Soo Dong, Kim Min Su,  
Song Heung Kwon, Yoon In Ha, Back Geum Mun**

**Purpose:** To evaluate the effectiveness of Jaw-tracking(JT) technique in Intensity-modulated radiation therapy(IMRT) and Volumetric-modulated arc therapy(VMAT) for radiation therapy of esophageal cancer by analyzing volume dose of perimetrical normal organs along with the low-dose volume regions.

**Materials and Method:** A total of 27 patients were selected who received radiation therapy for esophageal cancer with using VitalBeam™(Varian Medical System, U.S.A) in our hospital. Using Eclipse system(Ver. 13.6 Varian, U.S.A), radiation treatment planning was set up with Jaw-tracking technique(JT) and Non-Jaw-tracking technique(NJT), and was conducted for the patients with T-shaped Planning target volume(PTV), including Supraclavicular lymph nodes(SCL). PTV was classified into whether celiac area was included or not to identify the influence on the radiation field. To compare the treatment plans, Organ at risk(OAR) was defined to bilateral lung, heart, and spinal cord and evaluated for Conformity index(CI) and Homogeneity index(HI). Portal dosimetry was performed to verify a clinical application using Electronic portal imaging device(EPID) and Gamma analysis was performed with establishing thresholds of radiation field as a parameter, with various range of 0 %, 5 %, and 10 %.

**Results:** All treatment plans were established on gamma pass rates of 95 % with 3 mm/3 % criteria. For a threshold of 10 %, both JT and NJT passed with rate of more than 95 % and both gamma passing rate decreased more than 1 % in IMRT as the low dose threshold decreased to 5 % and 0 %. For the case of JT in IMRT on PTV without celiac area,  $V_5$  and  $V_{10}$  of both lung showed a decrease by respectively 8.5 % and 5.3 % in average and up to 14.7 %. A  $D_{mean}$  decreased by  $72.3 \pm 51$  cGy, while there was an increase in radiation dose reduction in PTV including celiac area. A  $D_{mean}$  of heart decreased by  $68.9 \pm 38.5$  cGy and that of spinal cord decreased by  $39.7 \pm 30$  cGy. For the case of JT in VMAT,  $V_5$  decreased by 2.5 % in average in lungs, and also a little amount in heart and spinal cord. Radiation dose reduction of JT showed an increase when PTV includes celiac area in VMAT.

**Conclusion:** In the radiation treatment planning for esophageal cancer, IMRT showed a significant decrease in  $V_5$ , and  $V_{10}$  of both lungs when applying JT, and dose reduction was greater when the irradiated area in low-dose field is larger. Therefore, IMRT is more advantageous in applying JT than VMAT for radiation therapy of esophageal cancer and can protect the normal organs from MLC leakage and transmitted doses in low-dose field.

► **Key words:** Esophageal cancer, Low dose area, Jaw-Tracking