

쇄골 상부 림프절을 포함하는 왼쪽 유방암의 VMAT 치료계획시 X-Jaw split을 이용한 선량비교에 관한 연구

서울특별시 보라매병원 방사선종양학과

김학준 · 이양훈 · 민제순

목 적 : VMAT을 이용한 쇄골 상부 림프절을 포함하는 왼쪽 유방암 치료 시 X-Jaw를 나눈 치료계획과 기존 Full field VMAT 치료계획과의 선량분포를 비교 분석하여 X-Jaw split VMAT의 유용성을 평가하였다.

대상 및 방법 : 쇄골 상부 림프절을 포함하는 왼쪽 유방암 환자 10명을 대상으로 Vacuum cushion을 이용하여 CT simulation 하고 2 Arc Full field VMAT과 4 Arc X-Jaw split VMAT을 각각 치료계획 하였다. 각 치료계획은 처방 선량(Prescription dose)이 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV)의 95% 이상 포함이 되고 주변 정상장기(Organ at risk, OAR)에 최소한으로 조사되도록 설계하였다. 이후 선량체적용적(Dose volume histogram, DVH)을 통해 PTV와 OAR의 대한 선량분석을 하였다.

결 과 : 10명의 환자의 Full field VMAT치료계획과 X-Jaw split VMAT치료계획의 데이터를 평균값으로 나타내어 비교하였다. 처방선량지수(conformity index, CI) 1.05±0.04, 1.04±0.03, 선량균질지수(homogeneity index, HI) 1.07±0.008, 1.07±0.009 로 두 치료계획 간 차이는 크지 않았다. OAR의 경우 왼쪽 폐의 V5 56.1±6.50%, 50.4±6.30%, V20 20.0±4.15%, 13.52±3.61% 로 Full field VMAT대비 X-Jaw split VMAT에서 V5 이 10.0% V20은 32.6% 감소하였다. 심장의 V30은 3.68±1.85%, 2.23±1.52%, 평균 선량은 8.93±1.65 Gy, 7.67±1.52 Gy로 X-Jaw split VMAT에서 V30은 39.3%, 선량은 14.1% 감소하였다. 정상조직인 왼쪽 폐와 심장은 통계적 유의 수치인 p-value 0.05미만으로 나타났다.

결 론 : PTV의 체적이 크고 X Jaw의 길이가 15 cm 이상이 되는 쇄골 상부 림프절을 포함하는 왼쪽 유방암치료의 경우 X-Jaw split VMAT 치료계획은 기존의 치료계획과 동등한 HI와 CI로 유사한 PTV coverage를 유지 하면서 개선된 선량분포를 나타내 OAR인 폐와 심장 등의 방사선량을 줄일 수 있어 부작용을 줄이는데 효과적이라고 생각된다.

▶ **핵심용어:** 유방암 방사선치료, 치료계획, VMAT, X Jaw split

서 론

방사선 치료기술의 발전으로 치료기기가 세대교체 되고 있다. IMRT의 보편화 및 치료기술의 발전으로 IMRT의 한 방법인 VMAT의 치료비중도 과반수를 넘어서고 있으며 더

욱 정밀화 되고 부작용을 줄이려는 다양한 방법들이 적용 되고 시도되고 있다. 이러한 치료방법의 변화는 유방암의 방사선 치료에서도 이루어 지고 있으며 점차적으로 많은 방법들을 시행될 것을 쉽게 유추해 볼 수 있다.

유방암에서 많은 치료건수를 담당하고 있는 대다수의 치료는 Tangential beam을 이용한 접선조사이다.⁽¹⁾ 이는 유방암의 특성상 돌출되어 있는 물리적인 이점으로 중추적 역할을 해왔던 효과적인 치료법이다. 또한 왼쪽 유방암 또는 쇄골 상부 림프절을 포함하는 유방암 치료의 경

책임저자: 김학준, 서울특별시 보라매병원 방사선종양학과
서울특별시 동작구 보라매로 5길 20
Tel: 02) 870-1698
E-Mail: jun8391@naver.com

우 PTV의 선량과 정확성을 높이고 폐와 심장, 식도 등의 OAR의 선량을 줄이기 위해 Static IMRT 또는 VMAT을 이용한 IMRT를 실시하고 있다. VMAT은 3D 또는 Static IMRT보다 높은 치료계획의 질과 효율성 등 많은 장점으로 많은 기관에서 사용되고 있다.⁽²⁾⁽³⁾

하지만 VMAT은 PTV의 크기가 클 경우 현재 치료기술에서 제한점이 발생할 수 있다. Varian사의 Vital beam의 경우 MLC가 Jaw끝에서 최대 15 cm까지 움직일 수 있다.⁽⁴⁾ Jaw의 길이가 15 cm 이상일 경우 MLC의 한쪽에서만 Modulation을 하는 경우가 생기며, MLC의 움직임이 크면 클수록 IMRT Modulation의 효율성은 떨어져서 PTV와 OAR의 선량분포가 안 좋아질 수 있다.⁽⁵⁾ 왼쪽 유방암치료 중 쇄골 상부 림프절을 포함하는 경우가 이에 해당하는데 큰 PTV의 크기로 인해 X Jaw의 길이가 15 cm 이상이 되는 경우가 많다. 이러한 경우 위처럼 MLC가 한쪽에서만 Modulation하고 MLC의 움직임이 커져 최적의 선량분포를 만들기 어렵다.⁽⁶⁾

이에 본 논문에서는 왼쪽 유방암치료 중 쇄골 상부 림프절을 포함하는 경우의 환자 10명을 대상으로 기존의 2개의 Arc Full field VMAT과 필드를 나누어 X Jaw를 제한하여 MLC의 Modulation 효율성을 높이는 X-Jaw split VMAT을 연구하여 장, 단점을 비교해 보고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상 환자

2020년 1월에서 2021년 5월까지 왼쪽 유방과 쇄골 상부 림프절을 VMAT으로 치료하는 10명의 환자를 대상으로 하였다.

2. CT simulation

CT simulation은 본원의 SOMATOM Definition (Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 이용하여 실시하였으며 치료 자세는 Supine 자세로 Vacuum cushion을 이용하여 환자의 팔을 머리위로 올리고, 쇄골 상부 림프절 치료를 위해 치료받는 반대쪽으로 고개를 돌려 자세를 잡았다. 영상의 단면을 3 mm간격으로 설정하여 촬영하였다.

3. Treatment Planning

치료계획은 Eclipse treatment system 15.6(Varian Medical System, Palo Alto, CA)을 사용하였다. PTV 처방 선량은 Daily dose 2.7 Gy씩 17번, 총 45.9 Gy으로 진행하였다. Total dose의 PTV체적의 95%이상이 포함되고, PTV에는 균일한 선량이 조사되면서 주변 OAR에는 최소한의 선량이 들어가도록 역방향치료계획(Inverse treatment planning system)을 하였다.

치료장비는 Varian사의 Vital beam(Varian Medical System, Palo Alto, CA)을 이용하였고 에너지는 6 MV을 사용하였다. 환자 당 2 Arc Full field VMAT과 4 Arc X-Jaw split VMAT을 계획하여 총 20개의 치료계획을 하였다.

Full field VMAT 치료계획은 Isocenter를 PTV의 위치에 따라 알맞은 위치로 설정을 하고 2개의 Arc field를 사용하였다. Arc설정은 시작각도를 300, 종료 각도를 140~179로 PTV에 따라 설정을 한 시계방향 Arc를 만들고, 동일한 시계반대방향 Arc를 설정하였다. Collimator angle은 X Jaw길이를 최소화하는 각도로 설정하였다. [Fig. 1.]

X-Jaw split VMAT 치료계획은 Full field Arc VMAT

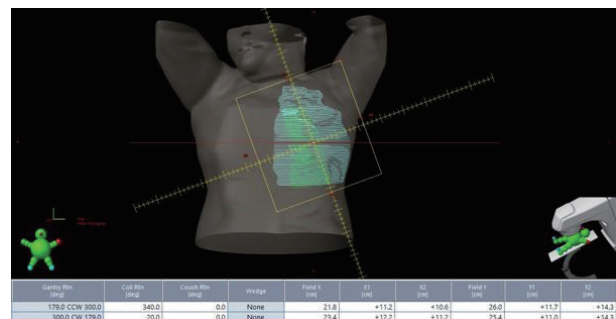


Fig. 1. Example of Full field Arc VMAT field

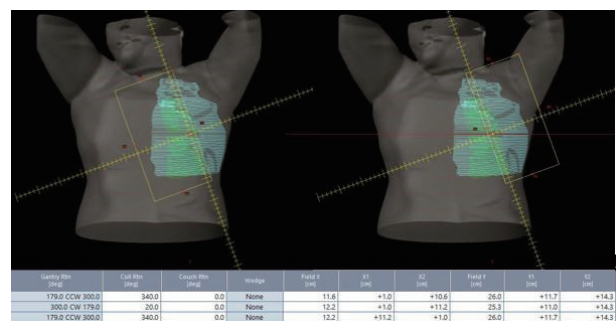


Fig. 2. Example of X-Jaw split VMAT field

치료계획과 동일한 Isocenter와 Gantry, Collimator angle을 사용한 Arc를 2개씩 총 4개의 Arc field를 만들고 2개의 Arc의 X1, X2를 1로 제한을 하였다. [Fig. 2.]

모든 치료계획은 PTV와 주변장기의 위치 및 크기를 고려하여 치료계획을 진행하였다.

4. 치료계획평가 방법

각 치료계획의 PTV coverage는 Conformity index를 계산하여 평가하였으며 Homogeneity index를 통해 각 치료계획의 선량분포를 평가하였다. Conformity index와 Homogeneity index는 아래의 식을 이용하여 분석하였다. [Eq 1]. [Eq 2]

$$C.I = \frac{TV}{V_{PTV}} \text{ ----- [Eq. 1]}$$

TV : 처방 선량의 체적

V_{PTV} : PTV의 체적

$$H.I = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [Eq. 2]}$$

D_{5%}: Target 용적 5%의 선량

D_{95%}: Target 용적 95%의 선량

이 값들은 1에 가까울수록 높은 PTV체적과 처방 선량 체적의 적합성과 선량 균질성을 나타낸다. 또한 DVH를 통

해 정상장기인 폐, 식도, 심장, 척수, 반대쪽 유방의 선량분포를 분석하였다.

통계분석을 위해 IBM SPSS Statistics 28버전을 사용하여 모든 데이터 값을 Shapiro-Wilk test로 정규성 검증과 Two-tailed paired-sample T-test를 통해 통계적 유의성을 확보하였다.

결 과

1. Conformity index, Homogeneity index

PTV에 처방 선량이 95%포함 되도록 Normalization을 했을 때 모든 치료계획의 CI와 HI값은 Table 1에 나타났다. Full field Arc VMAT치료계획의 경우 CI와 HI의 평균이 각각 1.05±0.04, 1.07±0.008, X Jaw split VMAT치료계획의 경우는 1.04±0.03, 1.07±0.009 였다. [Table 1], [Fig. 4.]

2. OAR에 대한 선량분석

DVH를 통해 분석된 OAR의 선량을 Table 2, Table 3로 나타났다. [Table 2], [Fig. 5.]

10명의 환자의 Full field VMAT 치료계획과 X-Jaw split VMAT 치료계획의 데이터를 평균값으로 나타냈을 때 폐의 V5은 56.1±6.50%, 50.4±6.30%, V20은 20.0±

Table 1. Conformity index and Homogeneity index of each plans

	Conformity index			Homogeneity index		
	Full field	X-Jaw split	Difference(%)	Full field	X-Jaw split	Difference(%)
P1	1.031	1.011	-1.947	1.083	1.087	0.382
P2	1.066	1.028	-3.517	1.070	1.080	0.916
P3	1.103	1.074	-2.587	1.080	1.090	0.928
P4	1.043	1.064	2.014	1.081	1.089	0.746
P5	1.142	1.094	-4.215	1.075	1.077	0.122
P6	1.051	1.070	1.848	1.057	1.070	1.237
P7	1.022	1.004	-1.733	1.069	1.061	-0.795
P8	1.029	1.056	2.631	1.078	1.085	0.667
P9	1.021	1.004	-1.675	1.082	1.074	-0.725
P10	1.022	1.023	0.141	1.071	1.073	0.122
Average	1.053	1.043	-0.950	1.075	1.079	0.359
SD	0.040	0.033		0.008	0.009	

Table 2. OAR results of Full field VMAT and X-Jaw split VMAT. The data are averaged over 10 patients.

Structure	Dosimetric Parameter	Full Field VMAT	X-Jaw split VMAT
Lt Lung	V5(%)	56.1±6.50	50.4±6.30
	V20(%)	20.0±4.15	13.5±3.61
Heart	V30(%)	3.68±1.85	2.23±1.53
	Mean Dose(Gy)	8.93±1.65	7.67±1.52
Esophagus	Mean Dose(Gy)	6.27±1.77	5.69±1.51
Rt Lung	Mean Dose(Gy)	4.32±1.21	3.94±1.11
Rt Breast	Mean Dose(Gy)	5.50±1.09	4.83±1.14
Spinal cord	Max Dose(Gy)	11.40±3.82	10.7±4.70
Monitor Units	MUs	986.8±185.4	1604.5±196.8

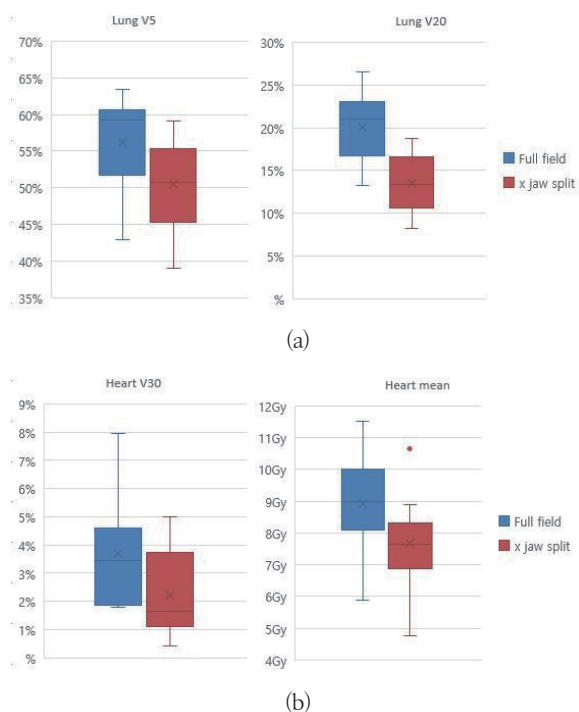


Fig. 3. Dose of Lt Lung and Heart by treatment plan (a) Lt Lung, (b) Heart

4.15%, 13.52±3.61% 로 나타났다. Full field VMAT 대비 X-Jaw split VMAT의 선량당 용적 감소는 V5에서 최소 4.47%에서 최대 18.18%까지 나타났고 V20은 최소 9.19%에서 최대 50.6%까지 나타났다. [Table 3]

심장의 경우 V30은 3.68±1.85%, 2.23±1.52% 이고 평균 선량은 8.93±1.65 Gy, 7.67±1.52 Gy 로 나타났다. Full field VMAT 대비 X-Jaw split VMAT의 선량당 용적감소는 V30에서 최소 9.09%에서 최대 77.09%까지 나타났고 선량당 용적이 3.42% 증가하는 경우도 나타났다. 평균 선량은 최소 6.09%에서 최대 22.81%까지 나타났다. [Table 4], [Fig. 3.]

식도 평균 선량은 6.27±1.77 Gy, 5.67±1.51 Gy, 오른쪽 폐 평균 선량은 4.32±1.21 Gy, 3.94±1.11 Gy, 오른쪽 유방 평균 선량은 5.50±1.09 Gy, 4.83±1.14 Gy, 척수 최대 선량은 11.4±3.82 Gy, 10.7±4.70 Gy였다.

M,U 평균은 각각 986.8±185.42, 1604.5±196.8였다.

모든 데이터 값은 Shapiro-Wilk test의 p value가

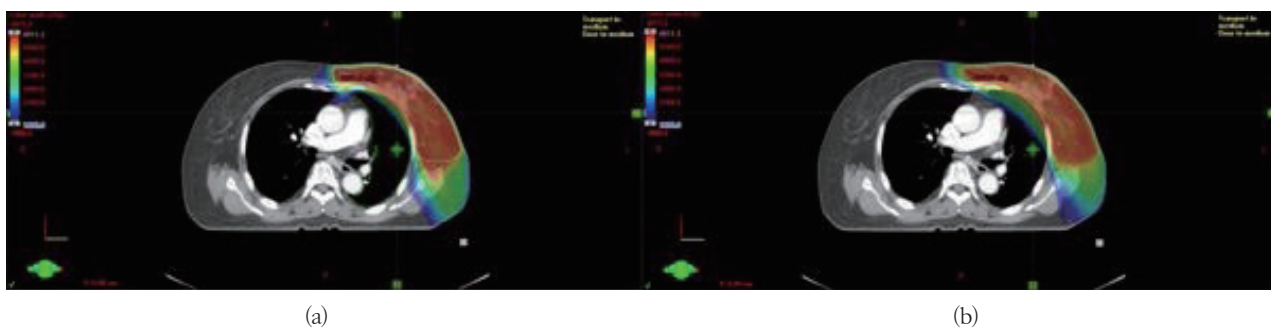


Fig. 4. Dose distribution of (a) X-Jaw split VMAT and (b) Full field VMAT

Table 3. The dosimetric parameter of Lt Lung for Full field VMAT and X-Jaw split VMAT.

	Lt Lung V5(%)			Lt Lung V20(%)		
	Full field	X-Jaw split	Difference(%)	Full field	X-Jaw split	Difference(%)
P1	58.54	53.89	-7.94	14.52	12.79	-11.91
P2	63.5	59.12	-6.89	26.47	16.62	-37.21
P3	42.83	39.02	-8.89	17.38	8.58	-50.63
P4	60.3	57.60	-4.47	21.59	11.23	-47.98
P5	52.2	45.91	-12.04	20.50	13.92	-32.09
P6	61.41	50.24	-18.18	23.09	11.94	-48.28
P7	52.19	49.71	-4.75	18.38	16.69	-9.19
P8	59.93	51.31	-14.38	23.12	16.57	-28.33
P9	60.37	54.64	-9.49	22.56	18.71	-17.06
P10	50.23	43.45	-13.49	13.25	8.15	-38.49
Average	56.15	50.49	-10.08	20.09	13.52	-32.68
SD	6.501	6.300		4.156	3.614	

0.05이상으로 정규분포를 이루어 측정 값을 검증 하였다. Two-tailed paired-sample T-test의 p value는 왼쪽 폐의 V5, V20, 심장의 평균 선량은 0.001미만이었으며 V30은 0.004이고 식도, 오른쪽 폐, 오른쪽 유방, 척수는 0.05 이상이었다.

고찰 및 결론

본 논문에서는 쇠골 상부 림프절을 포함하는 왼쪽 유방암을 VMAT으로 치료 시 X-Jaw를 제한하여 IMRT Modulation을 효과적으로 개선해 폐와 심장 선량 등을 줄이기 위해 X-Jaw split VMAT을 제안하였으며 Full field VMAT 치료계획과 비교하여 PTV와 주변 OAR의 선량과 선량분포를 비교 분석하였다.

두 치료계획 간의 CI와 HI의 평균 차이는 각각 0.01이하로 유의미한 차이는 없었다. 평균적인 선량으로 비교해 보았을 때 오른쪽 유방, 오른쪽 폐, 식도의 평균 선량과 척수의 최대 선량 차이는 0.6 Gy, 0.3 Gy, 0.5 Gy, 0.6 Gy로 모든 경우에서 X-Jaw split VMAT의 결과가 좋았으나 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않았다.

Full field VMAT 대비 X-Jaw split VMAT이 왼쪽 폐의 저 선량영역인 V5에서 평균값 기준 이 10.0% 감소하였고,

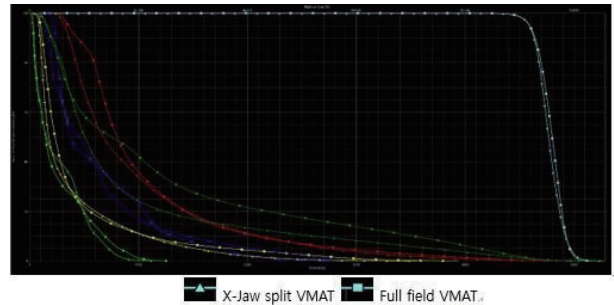


Fig. 5. Dose volume histogram for PTV in cyan, Lt Lung in dark green, Rt Lung in magenta, Lungs in orange, Heart in red, Esophagus in blue, spinal cord in green and Rt Breast in yellow.

고 선량영역인 V20은 32.6% 감소하는 결과를 나타냈다. 두 선량영역에서 선량당 용적이 감소하는 결과를 보였고, 이는 저 선량영역보다 고 선량영역에서 상대적으로 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었으며 X-Jaw split VMAT이 효과적으로 정상조직을 방어하는데 효과적임을 알 수 있었다.

심장의 평균 선량은 14.1%, V30은 39.3% 감소하였다. 이를 통해 평균적으로 심장의 선량당 용적이 낮아지며 고 선량영역인 V30에서 상대적으로 많은 감소결과를 보였다. 위 결과는 통계적으로 유의하였다. MU의 경우는 평균차이 617.7로 62.5% 증가한 결과를 나타냈다.

이러한 OAR의 선량감소는 X-Jaw를 나누어 MLC가 최대한으로 움직일 수 있는 거리를 제한함으로써 MLC Modu-

Table 4. The dosimetric parameter of Heart for Full field VMAT and X-Jaw split VMAT.

	Heart V30(%)			Heart Mean dose(Gy)		
	Full field	X-Jaw split	Difference(%)	Full field	X-Jaw split	Difference(%)
P1	3.39	2.68	-20.94	8.66	7.41	-14.43
P2	4.85	1.71	-64.74	9.75	7.8	-20
P3	4.02	1.17	-70.89	9.32	7.5	-19.52
P4	4.51	4.1	-9.090	10.83	10.65	-1.66
P5	1.79	0.41	-77.09	5.88	4.76	-19.04
P6	3.18	1.29	-59.43	7.06	6.63	-6.09
P7	3.5	3.62	3.42	9.3	8.02	-13.76
P8	1.84	1.56	-15.21	8.58	8.11	-5.47
P9	7.94	4.99	-37.15	11.53	8.9	-22.81
P10	1.87	0.86	-54.01	8.44	6.96	-17.53
Average	3.689	2.239	-39.30	8.935	7.674	-14.11
SD	1.853	1.533		1.652	1.523	

Table 5. Statistical comparison of OAR.

Structure	Dosimetric Parameter	p
Lt Lung	V5	<0,001
	V20	<0,001
Heart	V30	0,004
	Mean Dose	<0,001
Esophagus	Mean Dose	0,070
Rt Lung	Mean Dose	0,278
Rt Breast	Mean Dose	0,017
Spinal cord	Max Dose	0,280

lation 효율성을 높이고 PTV coverage 향상과 함께 OAR에 들어가는 선량을 최소화 시키기 때문이라고 생각된다.

X-Jaw split VMAT 치료계획은 MU 증가로 인하여 치료시간이 증가되는 부분이 있으나 치료의 정밀화와 부작용의 최소화를 지향하는 방사선치료의 흐름에서 우선적으로 고려되어야 할 사항이 아니라 생각된다. 또한 기존의 치료계획과 동등한 HI와 CI으로 유사한 PTV coverage와 개선된 OAR선량분포로 왼쪽 폐와 심장 등의 보호가 가능해 부작용을 줄일 수 있으므로 이에 기존에 연구되고 있는 Gantry angle split VMAT등 여러 연구들과 함께 추가 연구된다면 환자에게 더욱 유용한 치료계획이 될 것이라고 생각된다.⁽⁷⁾

참고문헌

1. Sun, T., Lin, X., Zhang, G, et al. Treatment planning comparison of volumetric modulated Arc therapy with the trilogly and the Halcyon for bilateral breast cancer. Radiation Oncology 2021; 16:35
2. Virén, T., Heikkilä, J., Myllyoja, K, et al. Tangential volumetric modulated Arc therapy technique for left-sided breast cancer radiotherapy. Radiation Oncology 2015;10:79
3. Boman E, Rossi M, Haltamo M, et al. A new split Arc VMAT technique for lymph node positive breast can-

- cer. *Phys Med*, 2016 Oct 28;S1120-1797(16)30954-1.
4. Popescu CC, Olivotto IA, Beckham WA, et al. Volumetric modulated Arc therapy improves dosimetry and reduces treatment time compared to conventional intensity-modulated radiotherapy for locoregional radiotherapy of left-sided breast cancer and internal mammary nodes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010 Jan 1;76(1):287-95.
 5. Huang B, Fang Z, Huang Y, et al. A dosimetric analysis of volumetric-modulated Arc radiotherapy with Jaw width restriction vs 7 field intensity-modulated radiotherapy for definitive treatment of cervical cancer. *Br J Radiol* 2014;87:20140183.
 6. Keil J, Carda J, Reihart J, et al. A dosimetric study using split x-Jaw planning technique for the treatment of endometrial carcinoma. *Med Dosim*, 2020 Autumn;45(3):278-283.
 7. Poeta, S., Jourani, Y., De Caluwé, A. et al. Split-VMAT technique to control the deep inspiration breath hold time for breast cancer radiotherapy. *Radiat Oncol*, 2021;16:77.

Study on dose comparison using X-Jaw split in VMAT treatment planning for left breast cancer including supraclavicular lymph nodes.

Department of Radiation Oncology, Seoul Metropolitan Government Seoul National University Boramae Medical Center

Kim Hak Jun, Lee Yang Hoon, Min Jae Soon

Purpose : The usability of X-Jaw split VMAT was evaluated by comparative analysis of the dose distribution between the treatment plan divided by X-Jaw and Full field VMAT treatment plan in left breast cancer treatment including supraclavicular lymph nodes.

Materials and Methods : 10 patients with left breast cancer, including supraclavicular lymph nodes, were simulated using vacuum cushion, and 2 Full field Arc VMAT and 4 X-Jaw split Arc VMAT were planned. The treatment plan was designed to include more than 95% of the Planning Target Volume (PTV) and to be minimally irradiated in the surrounding Organ at risk (OAR). Dose analysis of PTV and OAR was performed through dose volume histogram (DVH).

Results : The Full field VMAT treatment plan and the X-Jaw split VMAT treatment plan of 10 patients were expressed as average values and compared. The difference between the two treatment plans was not large, with a Conformity index (CI) of 1.05 ± 0.04 , 1.04 ± 0.03 , and a Homogeneity index (HI) of 1.07 ± 0.008 , 1.07 ± 0.009 . For OAR, V5 in the left lung is $56.1 \pm 6.50\%$, $50.4 \pm 6.30\%$, and V20 is $20.0 \pm 4.15\%$, $13.52 \pm 3.61\%$. Compared to Full field VMAT, V5 decreased by 10.0% V20 by 32.6% in X-Jaw split VMAT. The V30 of the heart is $3.68 \pm 1.85\%$, $2.23 \pm 1.52\%$, and the Mean dose is 8.93 ± 1.65 Gy, 7.67 ± 1.52 Gy. In the X-Jaw split VMAT, V30 decreased by 39.3% and the Mean dose decreased by 14.1%. The left lung and heart, which are normal tissues, were found to have a statistical significance of that p-value is less than 0.05.

Conclusion : In the case of left breast cancer treatment, which includes Supraclavicular lymph nodes with a large PTV volume and a length of X Jaw of 15 cm or more, the X-Jaw split VMAT shows improved dose distribution, which can reduce radiation dose of OAR such as lungs and heart, while maintaining similar PTV coverage with HI and CI equivalent to Full field VMAT. It is thought to be effective in reducing radiation complications.

▶ **Key words:** Breast radiation therapy, Treatment plan, VMAT, X Jaw split