

A Dosimetric Comparison of IMRT and VMAT in Synchronous Bilateral Breast Cancer

Sung-Jin Kim^{*†}, Seon-Min Youn^{*}, Sung Kyu Kim[†]

^{*}Department of Radiation Oncology, Eulji University Hospital, Daejeon, [†]Department of Physics, Yeungnam University, [‡]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea

A study was performed comparing dosimetric characteristics of volumetric modulated arc and intensity modulated radiotherapy on patients with bilateral breast cancer. For 5 patients, 3 plans were made for each patient; IMRT beams 8 and 12 of the beam intensity modulated radiation therapy, volumetric modulated arc therapy plan. The average PTVs volumes and D_{98} for 12-IMRT were 51.04 ± 0.57 Gy (right), 50.80 ± 1.07 Gy (left), 42.94 ± 16.16 Gy (right), 42.56 ± 2.09 Gy (left). HI ($D_5 \sim D_{95}$) and $CI_{90,95}$, even 12-IMRT has shown excellent results. In OAR, 3 plans showed excellent results. But the lowest dose of 12-IMRT. 12-IMRT achieved similar PTV coverage and sparing of organs at risk than 8-IMRT and VMAT

Key Words: Bilateral breast cancer, IMRT, VMAT

서 론

유방암은 보건복지부 중앙암등록본부의 2010년 통계에 따르면 갑상선암, 위암, 대장암에 이어 4번째로 발생 빈도가 높은 암이다. 연령대별로는 40대가 36.2%, 50대가 28.4%, 60대가 13.7%를 보고하고 있다. 대부분의 환자들은 단측성 유방암으로 진단받고 치료받는다. 동시에 양측 유방에서 발생하는 양측성 유방암은 흔히 발병하는 사례는 아니다. 그 원인과 발생 경위는 아직까지 정확하게 알려진 바가 없다. 유방암 치료에 있어 단측성 방사선 조사는 이미 많은 경험과 검증을 통해 확고한 치료 방법으로 알려져 왔다.¹⁾

일반적으로 단측성 유방암의 방사선 치료는 쇠기필터를 이용한 접선치료로 가장 많이 이루어지지만 그 외에도 Multi Static Fields를 이용한 순방향 세기조절방사선 치료, 역 치료 계획의 세기조절방사선치료, 체적조절회전방사선 치료 방법²⁾으로도 시행된다.

양측성 유방암은 3차원입체조형방사선치료(3-Dimension Conformal Radiotherapy, 3DCRT)를 하는 경우 하나의 치료

계획으로 전체 표적부위를 치료하기에는 불가능하기에 각 부위를 나누어서 치료를 하게 된다. 이러한 경우 각 치료 부위사이의 간격과 치료면의 겹침 정도에 대한 고려가 필요하며, 치료 시 환자 setup 등의 불안감과 치료시간의 면에서도 비효율적인 면을 보인다. 그 외에도 양측성 유방암은 방사선 치료 시 일반 유방암 환자에 비해 많은 주의점이 따른다. 치료계획표적용적의 체적이 크고, 양쪽 폐와 심장이 표적용적과 가까이 위치하고 강한 선량제한치가 요구되는 등 치료를 하기에는 부담이 크다.³⁾ 하지만 세기조절 방사선치료(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)를 이용하게 되면 앞에서 언급된 부분들을 해결할 수 있다.

IMRT는 치료부위를 크기와 모양, 개수와는 상관없이 표적용적(Target Volume)에는 고선량을 집중하고 정상 조직의 손상은 최소로 할 수 있게 고안이 된 기술이다.⁴⁾ 최근에는 다엽콜리메이터(Multi Leaf Collimator, MLC) 모양, 선량률(dose rate), 갠트리 속도를 동시에 최적화하여 표적용적에 방사선을 조사할 수 있는 부피적조절회전방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)가 개발되어 두경부암 등 일부 치료 부위에서는 더욱 정밀한 방사선치료가 가능하게 되었다.⁵⁾

본 연구에서는 양측성 유방암 환자를 대상으로 부피적 조절회전방사선치료와 세기조절방사선치료의 결과를 바탕으로 효율적인 치료방법을 제시함을 목적으로 한다.

이 논문은 2013년 12월 12일 접수하여 2013년 12월 14일 채택되었음.

책임저자 : 김성규, (705-717) 대구시 남구 대명동 317-1

영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

Tel: 053)620-3373, Fax: 053)624-3599

E-mail: skkim3@ynu.ac.kr

재료 및 방법

1. 환자의 선택과 치료계획방법

본 연구는 양측성 유방암 환자 5명을 대상으로 하였다. 모든 환자는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography, CT)을 통해 확보한 영상자료를 토대로 치료계획을 수립하였다.

치료계획용 장치는 Monaco 3.0 (Elekta, Crawley, UK)을 사용하였다. 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV) 및 손상위험장기(Organ at Risk, OAR)는 Fig. 1과 같다. PTV의 평균 체적은 오른쪽과 왼쪽 각각 $1,144.8 \pm 522.2 \text{ cm}^3$, $1,069.1 \pm 505.6 \text{ cm}^3$ 이다. PTV의 처방선량은 2 Gy를 25회 분할 조사하여 총 선량이 50 Gy가 되도록 하였다. 손상위험장기로 심장(heart)과 양쪽 폐(lung)를 고려하였다. 양쪽 폐의 평균 체적은 $1,150 \pm 293.3 \text{ cm}^3$ (오른쪽), $896.8 \pm 238.0 \text{ cm}^3$



Fig. 1. The image shows Target definition on axis slice of the CT data set in the study. Blue: Light-blue contour, Planning Target Volume (PTV), Red: Light-red contour, Clinical Target Volume (CTV).

(왼쪽)이다. 심장의 평균 체적은 $417.6 \pm 62.7 \text{ cm}^3$ 이다. Monaco 치료계획시스템은 물리적, 생물학적인 배경으로 중요 장기의 선량을 제한한다.⁶⁾ 그것을 기준으로 폐에는 Parallel complication model로 Reference dose; 20 Gy, Mean organ damage; 20%, Power law exponent; 3으로 제한했다. 심장은 Serial complication model로 Equivalent uniform dose; 24 Gy, Power law exponent; 6로 제한하였다. 모든 치료계획에서 선량 최적화를 위한 표적 및 중요 장기의 선량 제한치는 동일하게 적용하였다.

동일한 위의 조건으로 3개의 치료계획을 수립하여 비교하였다. 8개의 조사면으로 이루어진 IMRT (8-IMRT)와 12개의 조사면의 IMRT (12-IMRT), 1회전으로 이루어진 VMAT이다. IMRT는 static MLC 방법으로 계획되었다. 모든 치료계획의 등선량중심점(isocenter)은 종격(mediastinum) 중심 아래에 위치하도록 하였다.

8-IMRT는 갱트리 각도 $30^\circ, 70^\circ, 100^\circ, 120^\circ, 240^\circ, 260^\circ, 290^\circ, 330^\circ$ 로 구성하였고, 12-IMRT의 갱트리 각도는 $20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 100^\circ, 120^\circ, 240^\circ, 260^\circ, 280^\circ, 300^\circ, 320^\circ, 340^\circ$ 로 환자 체표면을 감싸는 형태로 구성하였다. 1회전 VMAT은 동일한 등선량중심점에서 20° 의 간격으로 360° 회전하도록 하였다.

2. 치료계획평가

수립된 치료계획의 평가는 DVH (Dose-Volume Histogram) 분석을 통해 이루어졌다. PTV는 PTV 체적의 98%에 도달하는 선량($D_{98\%}$)과 2%에 도달하는 선량($D_{2\%}$)의 값을 통해 최소, 최대 선량을 측정하였다. 또한 처방선량의 90%, 95%, 107%, 110%를 받는 체적을 측정하였다($V_{90\%}, V_{95\%}, V_{107\%}, V_{110\%}$). 그리고 5% 체적이 받는 선량과 95% 체적이 받는

Table 1. Analysis of the DVH for PTV ($D_{98}, D_2, D_5 \sim D_{95}$ (HI), CI_{90}, CI_{95}).

Rt.PTV	D_{98} (Gy)	D_2 (Gy)	$D_5 \sim D_{95}$ (Gy)	CI_{90}	CI_{95}
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
8-IMRT	38.37 \pm 1.89	54.91 \pm 4.20	14.96 \pm 1.93	1.28 \pm 0.21	1.43 \pm 0.11
12-IMRT	42.94 \pm 1.62	54.48 \pm 4.11	10.69 \pm 1.62	1.07 \pm 0.06	1.17 \pm 0.07
VMAT	36.35 \pm 2.22	57.68 \pm 1.13	17.10 \pm 2.44	1.30 \pm 0.13	1.57 \pm 0.21
Lt.PTV	D_{98} (Gy)	D_2 (Gy)	$D_5 \sim D_{95}$ (Gy)	CI_{90}	CI_{95}
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
8-IMRT	38.21 \pm 4.17	56.93 \pm 0.75	15.10 \pm 3.76	1.25 \pm 0.25	1.56 \pm 0.42
12-IMRT	42.56 \pm 2.09	56.37 \pm 0.71	10.96 \pm 1.96	1.10 \pm 0.08	1.22 \pm 0.15
VMAT	36.86 \pm 5.12	58.04 \pm 0.70	16.78 \pm 4.59	1.34 \pm 0.23	1.72 \pm 0.41

선량의 차($D_{5\%} \sim D_{95\%}$)를 통해 선량의 균질성(homogeneity, HI)을 분석하였다. 이 값은 작은 값을 가질수록 균질성 부분에서 우수함을 알 수 있다. 표적용적에 대한 선량조형지수(conformity index, CI)를 알기위해 표적용적의 체적에 대한 처방선량의 90%, 95%의 선량이 조사되는 체적의 비를 확인하였다.

중요장기에 대한 분석은 평균 선량과 2% 체적에 가해지는 선량을 공통적으로 적용해 최대선량의 값을 알고자 했다. 뿐만 아니라 양쪽 폐는 5 Gy, 20 Gy, 45 Gy의 선량이 조사되는 체적에 대해서도 비교하였다. 심장은 공통적으로 적용이 되는 항목 외에 10 Gy, 45 Gy가 조사되는 체적에 대해 조사하였다.

조사 효율에 대한 측정으로는 소조사면의 수와 전체 선량률을 비교하였다.

결 과

1. PTV

PTV의 평균선량과 D98을 살펴보면 12-IMRT가 51.04 ± 0.57 Gy (오른쪽), 50.80 ± 1.07 Gy (왼쪽), 42.94 ± 16.16 Gy (오른쪽), 42.56 ± 2.09 Gy (왼쪽)로 가장 우수한 경향을 보인다(Table 1). PTV 내 선량 균질성을 알 수 있는 D5-D95 항목에서도 12-IMRT가 가장 적은 값인 10.69 ± 1.62 Gy, VMAT이 가장 큰 값인 17.10 ± 2.44 Gy를 보인다(Fig. 2a). CI도 전체 PTV에서 12-IMRT가 가장 좋은 결과를 보여주고 VMAT이 가장 큰 값을 보여 12-IMRT와 8-IMRT에 비해 좋지 못한 결과를 보여주고 있다(Fig. 2b).

Fig. 3은 처방선량의 90, 95, 105, 110%를 보여주는 값을 나타낸 것이다. 전반적으로 12-IMRT가 높은 값을 보이고,

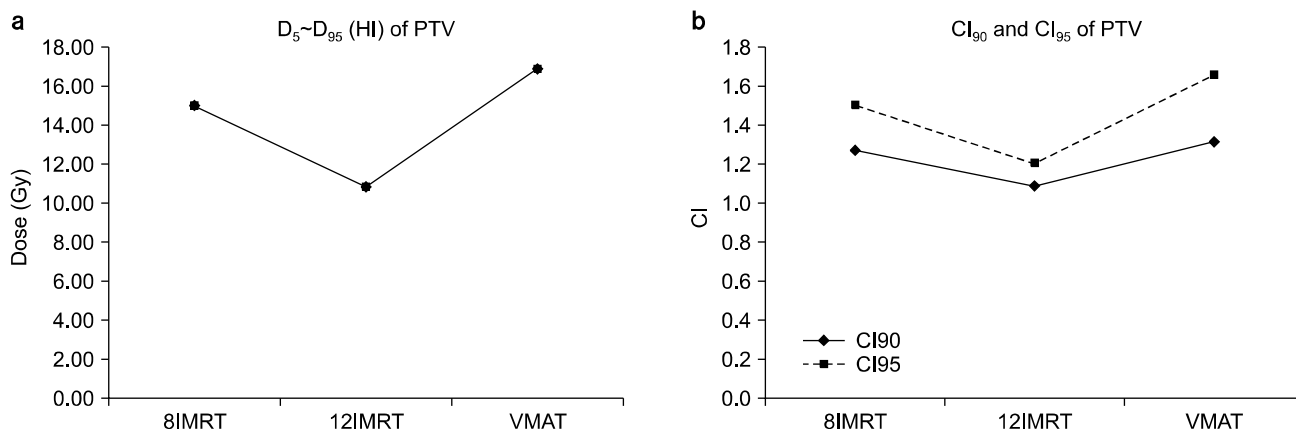


Fig. 2. The graph shows the (a) D₅~D₉₅ (HI) (b) CI₉₀, CI₉₅ of total PTV.

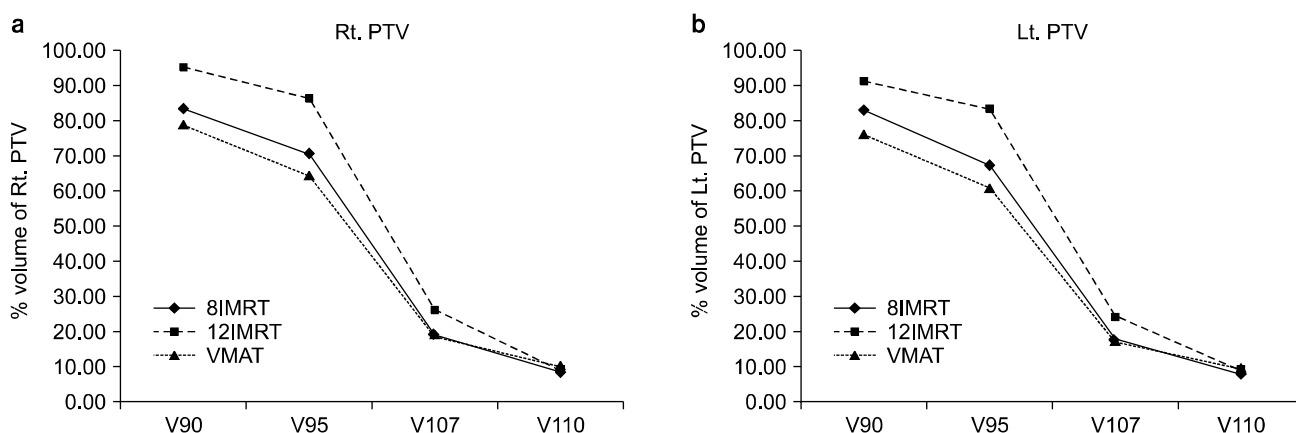


Fig. 3. The graph shows the V₉₀, V₉₅, V₁₀₅, V₁₁₀ for (a) right side and (b) left side % volume of PTV.

처방선량 내의 값인 90~95%의 값에서는 VMAT보다 8-IMRT가 높은 값을 보이지만 처방선량을 벗어난 105~110%의 값에서는 VMAT이 약간 더 높거나 유사한 값을 보였다. 그리고 왼쪽 PTV보다는 오른쪽 PTV의 값이 더 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

2. OAR

세 치료 계획 모두 양쪽 폐에 대해서는 높은 보호성향을 보이고 있다(Table 2). 45 Gy 이상이 포함되는 체적은 모든 치료계획에서 거의 나타나지 않고 있다. 12-IMRT의 경우

평균선량 값이 각각 11.80 ± 0.75 Gy (오른쪽), 11.86 ± 0.63 Gy (왼쪽)이고, 20 Gy가 포함되는 체적이 $0.17 \pm 0.03\%$ (오른쪽), $0.17 \pm 0.02\%$ (왼쪽)으로 가장 낮은 값을 보인다. 반면 VMAT의 경우 평균선량 값이 각각 12.92 ± 1.16 Gy (오른쪽), 12.88 ± 1.29 Gy (왼쪽)이고, 20 Gy가 포함되는 체적이 $0.20 \pm 0.03\%$ (오른쪽), $0.25 \pm 0.13\%$ (왼쪽)으로 가장 높은 값을 보인다.

심장의 경우 평균선량에서는 VMAT이 12.88 ± 2.10 Gy로 가장 높은 값을 보였지만, 10 Gy가 조사되는 체적에서는 8-IMRT가 $0.61 \pm 0.11\%$ 로 가장 높은 값을 보이고 VMAT이 $0.51 \pm 0.15\%$ 로 가장 적은 체적이 포함되는 것을 확인하였다.

Table 2. Analysis of the DVH for OAR (Rt.lung, Lt.lung, Heart).

Rt.lung	Mean (Gy)	D _{2%} (Gy)	V _{5 Gy} (%)	V _{20 Gy} (%)	V _{45 Gy} (%)
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
8IMRT	12.20±0.32	37.85±2.03	0.78±0.14	0.18±0.03	-
12IMRT	11.80±0.75	37.35±3.19	0.80±0.18	0.17±0.03	-
VMAT	12.92±1.16	38.25±4.30	0.85±0.12	0.20±0.03	0.01±0.01
Lt.lung	Mean (Gy)	D _{2%} (Gy)	V _{5 Gy} (%)	V _{20 Gy} (%)	V _{45 Gy} (%)
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
8IMRT	12.25±0.22	38.71±3.55	0.75±0.11	0.20±0.01	0.06±0.00
12IMRT	11.86±0.63	37.97±4.01	0.80±0.18	0.17±0.02	0.04±0.00
VMAT	12.88±1.29	39.62±2.75	0.83±0.15	0.25±0.13	0.05±0.00
Heart	Mean (Gy)	D _{2%} (Gy)	V _{10 Gy} (%)	V _{45 Gy} (%)	
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
8IMRT	10.68±5.11	28.67±0.83	0.61±0.11	-	
12IMRT	11.81±1.18	28.49±2.83	0.52±0.10	-	
VMAT	12.88±2.10	34.60±3.63	0.51±0.15	-	

Table 3. Segments and number of monitor unit (MU) comparison for each plans.

		8-IMRT	12-IMRT	VMAT
Patient 1	Seg.	198	225	191
	MU	1,377.66	1,447.98	1,342.75
Patient 2	Seg.	161	169	198
	MU	1,164.26	1,154.18	1,119.59
Patient 3	Seg.	167	204	193
	MU	1,132.87	1,367.49	1,366.8
Patient 4	Seg.	147	210	192
	MU	1,164.54	1,402.69	1,244.36
Patient 5	Seg.	140	187	141
	MU	922.36	1,198.57	1,046.29
Mean seg.±SD		162.6±22.52	199±21.60	183±23.63
Mean MU±SD		1,152.34±161.50	1,314.18±129.95	1,223.96±139.10

Seg.: segment, MU: monitor unit.

3. 조사 효율

Table 3은 치료계획별 소조사면의 수와 총 선량률을 나타낸 것이다. 전체 평균값을 비교해봤을 때 12-IMRT가 소조사면의 수 199 ± 21.60 개, 총 선량률 $1,314.18 \pm 129.95$ MU로 가장 높은 값을 보였고, 8-IMRT가 162.6 ± 22.52 개, $1,152.34 \pm 161.50$ MU로 가장 작은 소조사면 수와 총 선량률을 보임을 확인하였다.

고찰 및 결론

본 연구의 결과에서는 전반적으로 IMRT가 VMAT에 비해 우수한 결과를 보여주고 있다. 이는 기존의 연구결과와는 다른 경향이다. Nicolini 등³⁾은 IMRT와 2회전 VMAT의 결과를 비교한 결과 PTV의 선량학적 측면에서 VMAT이 우수하게 나타났다. OAR에서는 폐의 경우 360도를 회전하면 방사선을 조사하는 VMAT의 특성상 저선량 영역에서는 IMRT가 적은 체적이 조사되었고, 고선량 영역에서는 VMAT이 조사되는 폐의 체적이 적게 나타났다. 심장의 경우 VMAT이 전 체적에서 저선량으로 좋은 결과를 보여주고 있다. 본 연구와는 상반된 이 결과는 치료계획 조건을 살펴보면 2회전 VMAT을 이용하였고 VMAT과 IMRT의 빔의 정렬에서도 오른쪽과 왼쪽 각각의 PTV를 나누어 적용할 수 있도록 계획하였다. 이는 Monaco 치료계획시스템에서는 지원하지 않는 빔의 정렬이다.

그리고 IMRT와 VMAT은 치료 계획 시 2단계로 나누어 계산과정을 거치게 된다. 처음 1단계 과정은 예비 결과를 도출하는 과정으로 이상적인 플루언스 분포(ideal fluence distribution)를 위한 과정이다. 2단계는 최적화(optimization) 과정으로 빔 내의 소조사면의 모양과 가중치 등을 결정하게 된다. 본 연구 내용에는 포함되지는 않았지만 계산 과정을 살펴본 결과 1단계 계산 후 결과를 보면 DVH상 IMRT에 비해 VMAT이 더 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 하지만 2단계 과정을 거치면서 VMAT의 PTV를 감싸는 선량이 떨어지면서 IMRT가 DVH 상 더욱 우수한 결과를 보임을 알 수 있었다. IMRT와 VMAT 모두 치료계획시, 같은 선량 제한치를 가지고 치료계획을 하게 되지만 2단계 계산 시 적용되는 파라미터는 치료계획의 특성상 달라진다. 이러한 차이에서 오는 결과도 영향이 있을 것이라 사료된다. 이 파라미터는 치료계획장치의 종류에 따라서도 각각 다르게 적용되는데, Lafond 등⁷⁾이 이에 대한 차이를 연구한 결과를 발표하였다.

각 환자의 치료계획 결과를 살펴보면 한 명의 환자에서 IMRT보다 VMAT이 PTV와 OAR의 면에서 유사하거나 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 이 환자는 다른 환자에 비해 PTV의 체적이 작다는 특징을 보였다. 한 명의 환자의 결과로 이를 일반화 할 수는 없지만 체적의 차이가 각 치료계획 상에서 어떤 결과의 차이를 보이는지는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

IMRT의 경우 빔의 정렬이 고정되어 있지만 VMAT의 환자 몸 전체를 둘러서 빔이 통과하는 형태를 보이고 있다. 유방암의 경우 치료부위의 특성상 주요장기인 폐가 차지하는 비중이 커 OAR을 보호하고자 하는 경향이 큰 치료계획의 특성상 PTV의 선량이 감소하는 결과를 보인 것이라고 생각된다.

본 연구를 통해 양측성 유방암 환자의 VMAT과 IMRT의 치료계획 결과를 비교해보았다. 기존의 연구결과와는 다르게 12-IMRT가 더 우수한 결과를 보여주고 있지만 실험 개체의 수와 치료계획시스템의 특성상 일반화하기에는 어려움이 있다.

이번 연구에서는 빔의 조사시간과 치료계획 시간에 대한 결과를 제시하지는 않았지만, IMRT의 경우 빔의 수가 증가할수록 그리고 VMAT의 경우 회전 수가 증가할수록, 갭트리 간격이 좁아질수록 소조사면의 수와 선량률의 증가로 이어지고 이것은 치료계획시간은 물론 실제 치료를 하는 시간도 증가하게 된다. Table 3에서 확인할 수 있듯 12개의 조사면으로 이루어진 IMRT의 경우 가장 많은 소조사면의 수와 선량률을 보이고 있다. 실제 이는 매일 일정 환자 수 이상을 치료해야하는 임상에 적용하기에는 시간과 효율성의 면에서는 어려움이 있는 것이 사실이다. 반면 Clivio와 Verbakel 등⁸⁻¹⁰⁾은 두경부와 골반부 치료에서 VMAT이 치료시간을 75~80% 줄일 수 있다고 보고하고 있다. 이처럼 선량학적인 면과 치료의 효율을 절충할 수 있는 방안의 필요성이 대두되는 시점에서, 이 결과를 토대로 개체 수를 더 늘리고 치료계획시스템에 대한 추가적인 연구를 진행한다면 양측성 유방암 환자의 효율적인 치료를 위한 기준을 도출할 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

1. Fisher B, Anderson S, Redmond CK, et al: Reanalysis and results after 12 years of follow-up in a randomized clinical trial comparing total mastectomy with lumpectomy with or without irradiation in the treatment of breast cancer. N Engl J Med 333(22):1456-1461 (1995)

2. Fogliata A, Nicolini G, Alberb M, et al: IMRT for breast. A planning study. *Radiother Oncol* 76(3):300-310 (2005)
3. Nicolini G, Clivio A, Fogliata A, et al: Simultaneous integrated boost radiotherapy for bilateral breast: a treatment planning and dosimetric comparison for volumetric modulated arc and fixed field intensity modulated therapy. *Rad Oncol* 4(1): 27 (2009)
4. Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity modulated radiotherapy: current status and issues of interest. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 51(4):880-917 (2001)
5. Otto K: Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med Phys* 35(1):310-317 (2008)
6. Semenenko VA, Reitzel B, et al: Evaluation of a commercial biologically based IMRT treatment planning system. *Med Phys* 35(12):5851-5860 (2008)
7. Lafond C, Gassa F, Odin C, et al: Comparison between two treatment planning systems for volumetric modulated arc therapy optimization for prostate cancer. *Eur J Med Phys* 30(1): 1-8 (2013)
8. Martha MM, Di Y, Inga G, Alvaro M: Clinical applications of volumetric modulated arc therapy. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 77(2):608-616 (2010)
9. Clivio A, Fogliata A, Franzetti-Pellanda A, et al: Volumetric modulated arc radiotherapy for carcinomas of the anal canal: A treatment planning comparison with fixed field IMRT. *Radiother Oncol* 92(1):118-124 (2009)
10. Verbakel WF, Cuijpers JP, Hoffmans D, et al: Volumetric intensity-modulated arc therapy vs. conventional IMRT in head-and-neck cancer: a comparative planning and dosimetric study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74(1):252-259 (2009)

양측성 유방암의 세기조절방사선치료(IMRT)와 부피적조절회전방사선치료(VMAT)의 비교연구

*을지대학교병원 방사선종양학과, †영남대학교 물리학과, ‡영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

김성진*[†] · 윤선민* · 김성규[‡]

양측성 유방암 환자를 대상으로 부피적 조절회전방사선치료와 세기조절방사선치료의 선량학적 결과를 비교하여 효율적인 치료방법을 제시함을 목적으로 한다. 5명의 환자를 대상으로 8개 빔의 세기조절방사선치료와 12개 빔의 세기조절방사선치료, 1회전 부피적 조절회전방사선치료 계획을 수립하였다. 그 결과를 DVH 분석을 통해 선량학적으로 비교분석하였다. PTV의 평균선량과 D₉₅를 보면 12-IMRT가 51.04±0.57 Gy (오른쪽), 50.80±1.07 Gy (왼쪽), 42.94±16.16 Gy (오른쪽), 42.56±2.09 Gy (왼쪽)로 우수한 경향을 보인다. H와 Cl_{90,95}에서도 12-IMRT가 우수한 결과를 보였다. 중요장기에서는 세 치료계획 모두 우수한 결과를 보였지만 12-IMRT에서 가장 낮은 선량을 보였다. 12-IMRT가 PTV와 OAR의 선량학적 측면에서 우수한 결과를 보여주었다.

중심단어: 양측성 유방암, 세기조절방사선치료, 부피적 조절회전방사선치료