

전유방절제술 환자에서 IMRT와 VMAT을 이용한 방사선치료시 선량 분포의 비교

The Comparison of Dose Distribution on Radiation Therapy between IMRT and VMAT in Modified Radical Mastectomy Patients

고혜진*, 김영재**, 장성주***

조선대학교병원 방사선종양학과*, 대구보건대학교 방사선과**, 동신대학교 방사선학과***

Hye-Jin Ko(witch0505@hanmail.net)*, Young-Jae Kim(crying373@hamail.net)**,
Seong-Joo Jang(sjjang@dso.ac.kr)***

요약

전유방절제술을 시행하고 방사선치료시 조사야에 흉벽과 IMNs이 포함되어 심장과 동측 폐에 고선량의 방사선이 흡수되어 만성이환율에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전유방절제술을 시행한 유방암 환자의 방사선 치료시 IMRT와 VMAT 기법을 이용하여 선량분포양상을 비교하고자 한다. 유방암 진단을 받고 전유방절제술과 방사선 치료를 시행 받은 환자 중 PTV내에 IMNs가 포함되는 10명의 환자를 선택하여 환자의 흉벽조직, SCL, IMNs를 포함하여 각각 IMRT와 VMAT를 이용하여 치료계획을 실시한 후 PTV의 일치성과 심장 및 폐에 입사되는 선량을 서로 비교하고자 하였다. 그 결과 IMRT와 VMAT에서 모두 PTV의 일치성은 동일 양상($p<0.05$)을 보였으며, 좌측유방암 환자인 경우 심장의 고선량 영역은 VMAT이 더 적은 체적으로 관찰($p<0.05$)되었다. 폐선량의 경우 IMRT 보다 VMAT시 선량이 더 적게 관찰($p<0.05$)되었다. IMNs를 포함하여 치료하는 경우 VMAT가 IMRT보다 방사선 치료 효율이 높을 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 유방암 | 세기조절방사선치료 | 입체적세기조절방사선치료 |

Abstract

Underwent on modified radical mastectomy(MRM) and radiation therapy, it affects increasing rates of chronic morbidity, because of including chest wall and internal mammary nodes(IMNs). It causes the high absorbed dose on heart and ipsilateral lung. Thus in this study, we compared dose distributions through utilizing the intensity modulated radiation therapy(IMRT) and the volumetric modulated arc therapy(VMAT). We selected 10 breast cancer patients at random who took MRM and radiation therapy. Treatment plannings were done by using IMRT and VMAT from each patient ranging supraclavicular lymphnodes(SCL) and IMNs. After that we analysed the planning target volume(PTV)'s conformity and absorbed doses on heart and lungs. As a results, PTV conformities were indicated the same patten($p<0.05$) in both plans. In case of Lt breast cancer patients, the dose maximum regions of the heart were more lesser in VMAT technique rather than the IMRT($p<0.05$). Also, the maximum dose areas of lungs were lesser in VMAT technique rather than the IMRT($p<0.05$). Therefore, it would be safe to say that it is more effective way to adapt the VMAT technique than IMRT in such cases like involve IMNs in breast cancer patients.

■ keyword : | Breast Cancer | Intensity Modulated Radiation Therapy | Volumetric Modulated Arc Therapy |

I. 서론

방사선 치료의 목적은 종양조직에는 적합한 방사선을 부여하며 동시에 정상조직에는 최소의 방사선 흡수량을 유지하여 치료가능비(TR, treatment ratio)를 최대한 높이는 것을 목적으로 한다.

방사선 치료를 함에 있어서 종양조직과 정상조직이 인접한 경우, 정상조직을 최대한 제외시키며 종양의 움직임, 환자의 위치잡이(Set up), 환자의 호흡에 대한 움직임을 고려하여 PTV(치료계획용적, planing target volume)을 정하게 된다[1]. 이러한 종양 및 정상조직의 용적을 설정 하였음에도 불구하고 정상조직과 종양조직이 인접한 경우에 부작용이 발생할 확률이 증가하게 된다. 특히, 좌측 유방암 환자의 경우 수술 후 방사선 치료를 실시 할 때 치료계획용적 내에 내유방림프절(internal mammary nodes)이 포함 될 경우, 우측 유방암 환자나 호지킨스 질병(Hodgkin's disease)환자와 비교하여 추적관찰 해본 결과 15년 후에 심장병으로 사망하는 확률이 더 높다는 연구결과가 보고되고 있다[2]. 이러한 부작용을 방지하기 위하여 2DRT(고식적 방사선치료, two dimensional radiation therapy)에서 3D-CRT(3차원 입체조형치료, three dimensional radiation therapy) 및 IMRT(세기조절 방사선치료, intensity modulated radiation therapy)로 적용을 확대하고 있다. 이는 기존의 고식적 치료방식보다 선량의 조형성(conformity), 동질성(homogeneity) 및 정상조직의 보호 측면에서 유리하다는 보고가 있다[3]. 따라서 다문조사법(multi-portal method), 세기조절방사선치료 기법을 사용하게 되었으며 최근에는 190도의 sector angle을 동일하게 나누어 9~11개의 빔으로 치료하는 세기조절 방사선치료기법을 적용하게 되었다[4].

이에 본 연구에서는 유방암으로 진단을 받은 뒤 전체 유방을 절제하고 치료계획용적에 흉벽 그리고 내유방림프절이 포함되는 경우 일반적인 IMRT와 VMAT(부분체적 점선치료, partial volumetric modulated arc therapy)기법을 각각 적용하여 치료계획을 수립, 선량 분포를 비교하여 최적의 치료기법을 구하고자 하였다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험 기기 및 대상

유방암으로 전체 유방절제술을 시행하고 방사선치료를 받은 환자 중 사전에 연구의 목적과 방법을 충분히 설명 받았으며 모두 연구에 동의한 10명을 선택하여 각 환자들에게 두 가지의 치료방법을 계획하고 평가하였다. 연구대상은 [Table 1]에서 확인 할 수 있듯이 유방암 환자가 5명, 오른쪽 유방암 환자가 5명이었고 연령 분포는 30대에서 60대로 60대가 3명(30%), 50대 5명(50%), 40대가 1명(10%), 그리고 30대가 1명(10%)이었으며 중앙연령은 51.5세였다. 폐경 전 환자가 5명 폐경 후 환자가 5명 이었으며 암의 병리학적 종류는 모든 환자가 침윤성유관암(IDC, invasive ductal carcinoma) 이었고, 병기는 II가 9명, IV가 1명이었다. 암의 크기는 2.6~14 cm 으로 평균 약 5 cm 정도였다.

환자는 Eclipse software (varian medical system-ver 8.6)를 사용하여 치료계획을 하였다. Eclipse software는 Varian 사의 선형가속장치와 연결한 방사선 치료계획용 소프트웨어로서 의료용 선형가속기의 출력 및 beam profile을 입력하고 모의치료용 영상자료를 입력하면 가상으로 방사선 치료시 장기의 영역에 흡수되는 선량을 나타내주며 각 장기의 체적 당 흡수선량을 계산하여 시각적으로 제공해 주는 소프트웨어이다.

Table 1. Patients characteristics

Lesion location	Lt	5 (50%)
	Rt	5 (50%)
Age (Middle age 51.5)	30-39	1 (10%)
	40-49	1 (10%)
	50-59	5 (50%)
	60-69	3 (30%)
menopausal	pre	5 (50%)
	post	5 (50%)
Cancer's pathological types	IDC	
Size (Median 4.75 cm)	2.6~14 cm	
Stage	II	9 (90%)
	IV	1 (10%)

2. 실험 방법

2.1 주요장기의 윤곽설정

환자는 5 mm 간격으로 CT-simulator을 이용하여 모의치료를 하였다. PTV는 수술한 유방의 흉벽과 동측 내유방림프절을 포함된다. 흉벽은 안쪽으로는 흉골(sternum)의 바깥 가장자리에서 시작하고 아래로는 아래유방주름, 위로는 쇄골의 안쪽머리부분의 아래 가장자리로 구분하였다. 위, 아래, 측면 유방을 나타내주는 표시장치를 이용하여 모의치료시 육안상으로 보이는 유방조직의 주위에 표시한다.

양측 폐를 그리고 심장은 심근이 있는 대혈관의 교점에서 심첨(apex)까지 그린다. 내측, 위쪽, 아래쪽, 앞쪽, 최적화를 하기 위해서 필수적으로 PTV 바깥쪽으로 피해야할 조직(avoidance structures)을 설정한다.

2.2 치료계획방법 - VMAT vs IMRT

PTV에 내유방림프절가 모두 포함되게 한 후 각 치료계획마다 처방선량은 일선량(DD, daly dose) 180 cGy, 28회로 총 50.4 Gy이며 처방지점에 100%가 도달하도록 한다. 세기변조방사선치료기법은 6 MV 광자선으로 역치료계획을 하고, 가능한 정상조직을 보호하면서 PTV 영역을 포함하도록 최적화 한다.

IMRT시 beam의 segment는 11방향에서 조사되도록 하며 VMAT는 2 arc 를 이용한다.

최적화과정은 [Table 3]에서 확인 할 수 있듯이 PTV 최대값 53 Gy, 최소값 47.88 Gy가 되게 한다. 심장의 최대선량은 40 Gy 이하로, 심장의 60%가 받는 선량은 10 Gy 이하가 되게 하고, 동측 폐 최대선량은 40 Gy 이하로, 동측 폐 최대선량 또한 10 Gy 이하가 60%이하가 되도록 하며 반대 측 폐는 최대선량 10 Gy 이하가 되도록 한다.

우선순위는 PTV에 높게 하고, 심장 과 동측 폐의 우선순위는 다른 조직보다 비교적 높게 한다. 우선순위에 따라 총 PTV에 처방선량의 95%가 전달되도록 하며 심장 과 폐에는 최소의 선량을 부여하도록 한다.

Table 3. Planning Optimization

Structure	Vol(%)	Dose(cGy)	Priority
PTV	0	5300	150
	2	5280	150
	95	5040	150
	100	4788	150
Heart	20	2000	100
	30	1500	100
	60	1000	100
	100	4000	100
	20	2000	100
Ipsilateral lung	30	1500	100
	60	1000	100
Opposite lung	0	1000	80

3. 평가 방법

작성된 치료계획은 PTV 내 선량의 균질성을 나타내주는 균일도(homogeneity), 조형성(conformity), 그리고 DVH(선량체적곡선, dose volume histogram)을 토대로 비교한다. PTV 내 선량의 균일도는 처방선량 95%와 105%사이의 선량을 가진 PTV의 비율로 정의하며 치료받은 정상조직 중 심장은 30 Gy 또는 그 이상 받은 체적을 비교하며 동측 폐는 20 Gy 또는 그 이상 받은 체적을 비교한다. 그리고 반대 측 폐는 평균선량(mean dose) 과 10 Gy 또는 그 이상 받은 체적을 비교하며 반대 측 유방은 평균선량과 10 Gy 또는 그 이상 받은 체적을 비교한다. 또한, 식도는 평균선량을 비교한다.

더욱이 일차적인 IMRT 치료계획의 목표는 심장과 폐에 고선량이 전달되는 영역을 줄이는 것이기 때문에 심장과 동측 폐를 비교하기 위하여 심장에는 V_{30} (심장에 30 Gy 를 받은 체적)이, 동측 폐에는 V_{20} 을 선택하는데 이 값들을 평가하는 이유는 이 값들이 선량에 대한 급성 또는 치료 후 임상증후군을 야기할 수 있는 증거가 되기 때문이다. 좀 더 심도 있는 분석을 하기 위해 심장에 V_{10} , 동측 폐에 V_5 뿐 아니라 V_{40} , V_{20} , V_{10} , V_5 를 기록했다[5]. 또한, 반대 측 폐도 함께 비교하기 위하여 평균선량 와 V_{10} 을 선택하여 선량이 발암위험도에 관련이 있을 수도 있는 선량을 대표하도록 선택했다.

4. 통계 분석

본 연구는 치료기법에 따른 변화를 관찰하는 것으로 독립표본 검정법으로 통계분석을 하였으며 수집된 자

료는 SPSS 18.0 for windows (SPSS Inc., USA)를 사용하여 유의수준은 0.05 이하로 하였다.

III. 실험결과

1. 치료계획비교

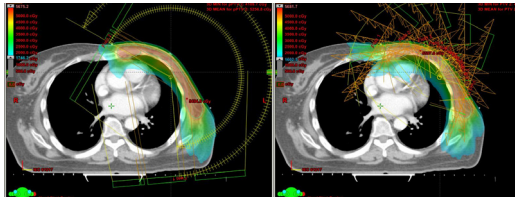


Fig. 1. Dose Coverage-Lt Breast Ca. (Lt: VMAT, Rt: IMRT)

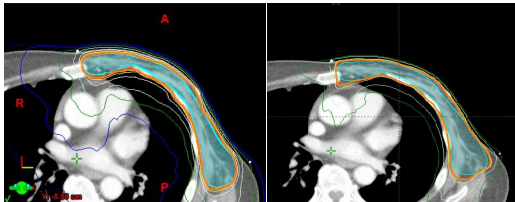


Fig. 2. Isodose curve-Lt Breast Ca. (Lt: VMAT, Rt: IMRT)

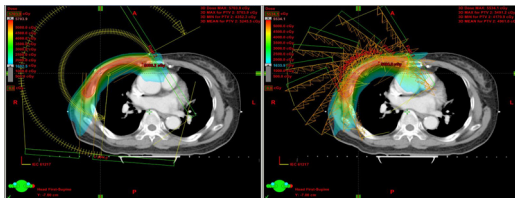


Fig. 3. Dose Coverage-Rt Breast Ca. (Lt: VMAT, Rt: IMRT)

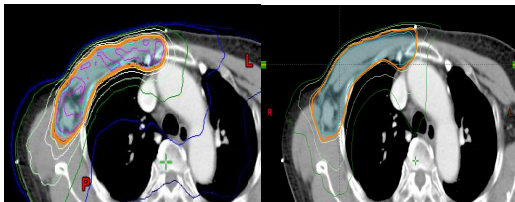


Fig. 4. Isodose curve-Rt Breast Ca. (Lt: VMAT, Rt: IMRT)

Table 4. Comparison parameter - Rt breast

Parameter	IMRT plan	VMAT plan	p value
PTV	HI 1.11(0.943~4348)	1.09(1.07~1.11)	
	CI 0.98(0.95~1.01)	1.07(1.01~1.13)	
Lung, ipsilateral	V ₅ 99%(99)	95.48%(92~99)	<0.05
	V ₁₀ 83%(70~92)	50.43%(42.2~59)	
	V ₂₀ 26%(17~35)	18.73%(18.3~25.8)	
	V ₃₀ 12.75%(10~15)	10.54%(8.5~15)	
Mean dose	18.15Gy (16.7~19.8)	14.07Gy (13.3~16.67)	

Table 5. Comparison parameter - Lt breast

Parameter	IMRT plan	VMAT plan	p value
PTV	HI 1.08(0.94~1.15)	1.09 (1.07~1.11)	
	CI 0.98(0.95~1.01)	1.06 (1.01~1.11)	
Heart	V ₅ 96%(15~55)	92.63%(83.5~99)	<0.05
	V ₁₀ 55.25%(12~23)	38.65%(29.5~45)	
	V ₂₀ 12(8~21)	11%(7.7~13.8)	
	V ₃₀ 4(6~19)	4.75%(3.09~8)	
Mean dose	11.55(5.7~14.3)	11.41Gy (9.47~12.27)	
	Lung, ipsilateral	V ₅ 94.75%(86~99)	87.7%(79.4~92.2)
V ₁₀ 66.5%(50~75)		45.1%(38.3~52)	
V ₂₀ 22.25%(20~25)		18.72%(15.1~21.3)	
V ₃₀ 9.75%(8~12)		10.82%(9.19~13.3)	
Mean dose	15.35Gy(14.8~16)	13.40Gy (11.87~14.29)	
	Esophagus	Mean dose 15.47Gy (13.8~17.9)	4.92Gy (4.15~5.55)

[Fig 1-Fig 4]은 좌·우측 유방암의 방사선 치료시 선량분포도를 나타낸 영상이다. [Fig 1]과 [Fig 3]을 보면 VMAT에 비하여 IMRT가 심장부근에서 선량이 부여됨을 알 수 있다. 한편, [Fig 2][Fig 4]에서는 VMAT와 IMRT 모두 선량 분포영역이 PTV를 적절하게 포함함을 관찰할 수 있다.

[Table 4][Table 5]에서는 정상조직의 선량을 비교하는 변수들을 제시하고 있는데 오른쪽 유방암의 방사선 치료시 HI와 CI를 관찰해 보면 PTV에서 IMRT와 VMAT에서 각각 1.11, 1.09 그리고 0.98, 1.07로 크게 다르지 않았으며 동측폐의 V₅는 각각 99%, 95.48% 그리고 V₁₀에서는 83%, 50.43%로 VMAT가 동측폐에 전달

하는 선량이 더 적음을 알 수 있었다.

좌측 유방암의 방사선치료시 HI와 CI는 각각 1.08, 1.09 그리고 0.98, 1.06으로 유사하게 나타났으며 심장에서의 흡수선량을 나타내는 V₅는 각각 95%, 92.63%, V₁₀은 55.25%, 38.65%, 동측 폐의 V₅는 94.75%, 87.7%, V₁₀은 66.5%, 45.1%로 나타났다. 또한 식도의 선량흡수량을 관찰해본 결과 IMRT에 있어 15.47 Gy, VMAT의 경우 4.92 Gy의 흡수량을 갖는 것으로 평가되었다.

특히, 왼쪽유방암 환자의 경우VMAT가 IMRT과 비교하여 볼 때 심장의 V₁₀이 급격히 감소하였다. IMRT에서는 V₁₀이 55.25%였으나 VMAT기법에서는 38.65%이다. IMRT에서는 심장 V₄₀과 V₃₀은 VMAT과 비교적 비슷한 양상이었지만 V₁₀과 V₅는 현저하게 높았다. VMAT는 IMRT와 비교하여 볼 때 동측 폐에 대한 V₂₀이 개선되었다.

왼쪽 유방암 환자의 경우 IMRT에서는 V₂₀이 22.25%, VMAT에서는 18.72%이었고, 오른쪽 유방암환자의 경우는 각각 26.7%, 18.73%이었다. 또한, 왼쪽 유방암 환자의 경우 IMRT치료기법에서는 동측 폐에 대한 V₃₀은 9.75%, VMAT치료기법에서는 10.82%로 비슷한 양상을 보였으나, V₁₀은 IMRT에서 66.5%, VMAT에서 45.1%로 큰 차이를 보였다. 오른쪽 유방암환자의 경우는 IMRT에서 V₃₀은 12.75% VMAT에서는 10.54%이었으며 V₁₀은 IMRT에서 83%, VMAT에서 50.43%로 VMAT이 크게 감소하였다.

2. 선량체적곡선

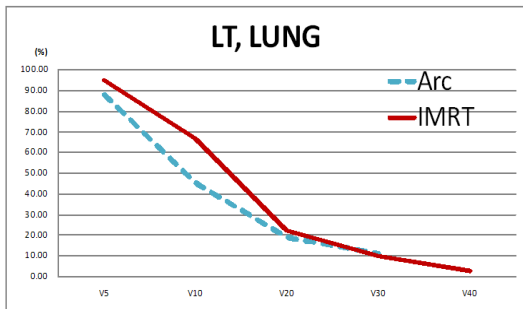


Fig. 6. DVH in ipsilateral lung(Lt breast cancer)

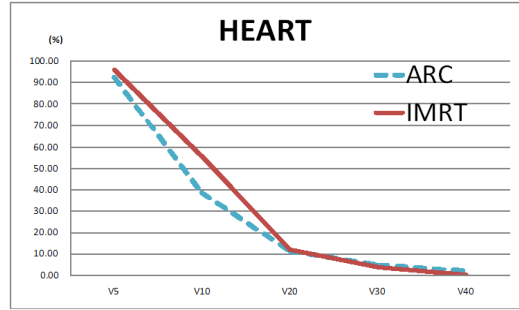


Fig. 7. DVH in heart (Lt breast cancer)

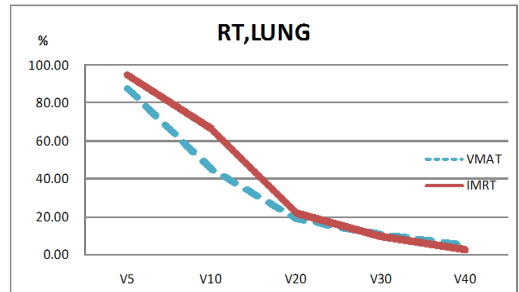


Fig. 8. DVH in ipsilateral lung (Rt breast cancer)

[Fig 6-Fig 8]은 선량체적곡선으로 각각 좌측 폐(좌측유방암환자), 심장(좌측유방암환자), 우측 폐(우측유방암환자)에 흡수되는 선량을 체적을 기준으로 표시한 그래프이다. 모두 VMAT가 IMRT보다 V₅에서 V₂₀까지 정상조직흡수량이 줄어들음을 확인할 수 있었으며 V₂₀에서 V₄₀까지 에서는 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

IV. 고찰

IMRT는 기존의 3D-CRT에서 한 단계 발전된 방사선치료 방식으로 불균칙적이고 불균일한 종양체적에 효과적으로 방사선량을 부여하는 최적의 방사선 치료 방식이다. 특히, 말발굽형태의 종양(두경부종양)의 방사선치료시 정상조직의 보호가 우수하며, 남성의 전립샘암 치료에 유효한 선량분포를 나타내는 치료기법이다[5]. Arc therapy의 종류 중에 하나인 VMAT는 기존

의 IMRT에 선량전달 시스템이 업그레이드 된 방식이다. 이는 컴퓨터 공학과 장비의 발전으로 인하여 MLC(다엽콜리메이터, multi-leaf collimator)의 움직임을 step and shoot에서 step and shoot과 sliding window 방식 모두 사용이 가능하도록 되었고 선량률(dose rate)의 변화를 조사시간 중에 적합하게 조절 할 뿐만 아니라 겐트리(gantry)의 방향도 효율적인 속도로 제거가 가능하게 되어 발전된 방식이다[6].

기존의 유방치료방법으로는 과도한 열점(hot spot)과 선량 불균일성을 보여 불량한 미용적 결과를 초래하였고 이미 여러 연구에서 췌기접선 조사기법은 유방의 상부 및 하부영역에 15~20% 정도의 선량 불균일성을 나타냄을 보고 하였다[7][8].

이러한 췌기접선조사기법의 단점을 보완하기 위하여 IMRT(3빔), IMRT(5빔), 다중 빔조사 치료기법 등을 선택하여 세가지의 치료기법의 비교를 통해 선량분포도와 선량균일성, 폐와 심장의 피폭선량을 관찰해본 결과 선량분포는 다중빔 조사영역에서 가장 높았으며 3빔을 사용한 IMRT에서 가장 저조한 결과를 보인 연구도 있어[9] 방사선의 조사방향의 다양성은 정상 및 중앙조직에 방사선 치료 효과비를 향상시킬 수 있었다.

방사선 치료효과비를 상승시키기 위하여 연구한 기존의 노력을 살펴보면 YJ Kim 등이 연구한 논문에서는 정상조직은 호흡 및 장기의 움직임을 갖는 부위일수록 방사선 흡수선량에 변화를 일으켜 방사선 조사방향은 물론이고 환자의 고정장치의 중요성을 피력하였다[10].

유방암의 방사선치료는 고식적인 췌기접선조사 부터 IMRT까지 치료기법의 진화를 거듭해왔으며 본 연구에서 적용한 VMAT기법과 IMRT의 치료양상을 비교해보면 좌측 유방암의 방사선치료시 심장에서의 흡수선량을 나타내는 V_5 와 V_{10} 은 모두 VMAT기법이 더 적은 선량흡수율을 보였으며 동측 폐의 경우에서도 같은 양상을 보였다. 또한, 식도의 선량흡수율을 관찰해본 결과 IMRT의 경우는 15.47 Gy의 흡수량을 보여 VMAT보다 약 3배정도 많은 선량 흡수율을 나타냈다.

선량체적곡선에서도 좌측 폐와 심장, 우측폐 모두 VMAT기법시 정상조직 선량 흡수가 낮게 관찰되었다.

심장에 방사선으로 인한 선량이 흡수되면 심근 손상

과 관상동맥질환을 유발할 가능성이 나타나는 연구가 시도되고 있고 이에 따른 결과는 보다 장기적인 추적 관찰이 필요하지만 방사선 치료의 조기 심근손상은 이미 핵의학적 검사로 진단되어져 왔을 만큼 심장에 대한 방사선의 장애는 무시할 수 없다.

Paszat 등[11]은 좌측 유방암에 대해 수술 후 방사선 치료를 받은 60 세 이하의 젊은 여성들은 우측 유방을 치료받은 환자들에 비해 10~15년 후 치명적인 심근경색을 보일 위험이 더 높다고 보고한 바 있다. 더욱이 이미 여러 보고들에서 유방의 방사선 치료기법의 변화로 인한 선량균일성이 개선되면 폐와 심장에 대한 피폭선량이 감소되며, 반대측 유방에 대한 산란선량의 감소 등의 장점이 나타하며 이러한 선량학적 측면의 개선점들이 더 나은 미용적 결과, 심장 및 폐합병증 위험도 감소, 반대측 유방암 위험도 감소 등을 가져올 수 있다고 발표하였다[12][13].

폐에 선량이 과도하게 흡수되는 경우 방사성 폐렴에 노출될 수 있으며 폐경색, 섬유화를 일으킬 수 있기 때문[15]에 본 연구결과 정상조직 방호측면에서 우수한 결과를 보인 VMAT기법이 IMRT기법보다 치료계획적 측면에서 우수하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 단순한 방사선 치료의 선량분포만의 특징을 제시 하였지만 앞으로 합리적인 방사선 치료를 위해서 고정밀의 방사선치료와 함께 환자에게 적용시킬 수 있는 수술요법이나 항암·유전자요법[16], 온열요법 등도 함께 연구하여 환자에게 맞춤형 치료행위가 암 치료율과 부작용 억제율에 어떠한 효과를 나타내는지 복합적으로 연구해야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

좌측과 우측 유방암에 대한 방사선치료를 IMRT 및 VMAT의 치료기법을 변화함에 따라서 관찰한 결과 계획적 치료체적의 포함정도(HI, CI)는 두 가지 치료법 모두 양호한 것으로 나타났으며, 정상조직 보호측면(좌·우 폐, 심장, 식도)에서는 VMAT가 IMRT보다 정상조직 흡수량이 감소된 것으로 나타났다. 따라서 유방암의

방사선 치료시 IMRT기법보다 VMAT기법을 이용한 방사선치료가 더욱 효과적일 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] ICRU, *International Commission on Radiation Units and Measurements, Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy* (Supplement to ICRU Report 50), 1999.
- [2] G. Gyenes, L. E. Rutqvist, and A. Liedberg, "Long-term cardiac morbidity and mortality in a randomized trial of pre- and post operative radiation therapy versus surgery alone in primary breast cancer," *Radiation Oncology*, Vol.48, No.2, pp.185-190, 1998.
- [3] Tomas Kron, Grigor Grigorov, and Edward Yu et al, "Planning evaluation of radiotherapy for complex lung cancer cases using helical tomotherapy," *Phys Med Biol*, Vol.49, No.16, pp.3675-3690, 2004.
- [4] Carmen C. Popescu, Ivo Olivetto, and Veronica Patenaude, "Inverse-planned, dynamic, multi-beam, intensity-modulated radiation therapy (IMRT): A promising technique when target volume is the left breast and internal mammary lymph nodes," *Medical Dosimetry*, Vol.31, No.4, pp.283-291, 2004.
- [5] Filip Claus, Wim Duthoya, and Tom Boterberg, "Intensity modulated radiation therapy for oropharyngeal and oral cavity tumors: clinical use and experience," *Oral Oncology*, Vol.38, No.6, pp.597-604, 2002.
- [6] D. Palma, K. Otto, W. Verbakel, and S. Senan, "New Developments in Arc Radiation Therapy: A Review," *Cancer Treatment Reviews*, Vol.36, No.5, pp.393-399, 2010.
- [7] L. M. Chin, C. W. Cheng, and R. L. Siddon, "Three-dimensional photon dose distributions with and without lung corrections for tangential breast intact treatments," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.17, No.6, pp.1327-1335, 1989.
- [8] B. A. Fraass, A. S. Lichter, and D. L. McShan DL, "The influence of lung density corrections on treatment planning for primary breast cancer," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.14, No.1, pp.179-190, 1988.
- [9] S. K. Moon and S. M. Youn, "A Comprehensive Dosimetric Analysis of Inverse Planned Intensity Modulated Radiation Therapy and Multistatic Fields Technique for Left Breast Radiotherapy," *J Radiat Oncol*, Vol.28, No.1, pp.39-49, 2010.
- [10] Y. J. Kim, Y. I. Jang, Y. S. Ji, "Evaluation on Usefulness of Applying Body-fix to Four Dimensional Radiation Therapy," *J. of Contents Association*, Vol.13, No.10, pp.419-426, 2013.
- [11] L. F. Paszat, W. J. Mackillop, and P. A. Groome, "Mortality from myocardial infarction after adjuvant radiotherapy for breast cancer in the surveillance, epidemiology, and end-results cancer registries," *J Clin Oncol*, Vol.16, No.8, pp.2625-2631, 1998.
- [12] M. W. McDonald, K. D. Godette, and E. K. Butker, "Long-term outcomes of IMRT for breast cancer: a single-institution cohort analysis," *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.72, No.4, pp.1031-1040, 2008.
- [13] F. Lohr, F. Heggemann, T. and Papavassiliu, "Is cardiotoxicity still an issue after breast-conserving surgery and could it be reduced by multifield IMRT?," *Strahlenther Onkol*, Vol.185, No.4, pp.222-230, 2009.
- [14] A. Harsolia, L. Kestin, and I. Grills, "Intensity-modulated radiotherapy results in

significant decrease in clinical toxicities compared with conventional wedge-based breast radiotherapy," Int J Radiat Oncol Biol Phys, Vol.68, No.5, pp.1375-1380, 2007.

[15] Michael T. Milano, Louis S. Constine, and Paul Okunieff, "Normal Tissue Tolerance Dose Metrics for Radiation Therapy of Major Organs," Semin Radiat Oncol, Vol.17, No.2, pp.131-140, 2007.

[16] M. Y. Jung, Y. S. Ji, and K. R. Dong, "Hematological change in mice injected with radiosensitizer and irradiated with highdose radiation," J. of Contents Association, Vol.7, No.1, pp.1136-1140, 2009.

저 자 소 개

고 혜 진(Hye-Jin Ko)

정회원



- 2009년 2월 : 고려대학교 병설 보건대학교 방사선학과(보건학사)
- 2012년 8월 : 제주대학교 에너지 공학과(공학석사)
- 2007년 ~ 2008년 : 여의도성모

병원 핵의학과

- 2008년 ~ 2012년 : 제주대병원 방사선종양학과
- 2013년 ~ 현재 : 조선대병원 방사선종양학과 의학물리학자

<관심분야> : 의학물리, 방사선치료, 방사선물리

김 영 재(Young-Jae Kim)

정회원



- 2007년 8월 : 광주보건대학교 방사선학과(보건학사)
 - 2011년 2월 : 동신대학교 방사선 물리학과(이학석사)
 - 2014년 2월 : 동신대학교 보건의료학과 방사선학전공(이학박사)
 - 2007년 ~ 2008년 : 연세압센터 방사선종양학과
 - 2008년 ~ 2011년 : 서울성모병원 방사선종양학과
 - 2011년 ~ 2013년 : 광양보건대학교 방사선과 교수
 - 2013년 ~ 현재 : 대구보건대학교 방사선과 교수
- <관심분야> : 방사선생물학, 방사선치료물리학

장 성 주(Seong-Joo Jang)

정회원



- 1981년 2월 : 전남대학교 물리학과(이학사)
- 1988년 2월 : 전남대학교 대학원 물리학과(이학석사, 이학박사)
- 1988년 ~ 현재 : 동신대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선 계측학, 방사선 물리학