

유방암 방사선치료 기법에 따른 선량 비교 : 3차원 입체조형치료, 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치료

- Dosimetric Comparison of Radiation Treatment Techniques for Breast Cancer : 3D-CRT, IMRT and VMAT -

고려대학교 보건과학대학 바이오융합공학과¹⁾ · 유성선병원²⁾

이보람^{1,2)} · 이선영²⁾ · 윤명근¹⁾

— 국문초록 —

본 연구의 목적은 유방암 치료에 사용되는 다양한 첨단방사선치료법을 선량비교인자들을 이용하여 비교분석하고 이 결과를 이용하여 환자에 가장 적합한 치료방법을 찾기 위함이다. 인체밀도와 유사하게 제작된 모형 팬텀을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였고 Eclipse v10 소프트웨어를 이용하여 3차원 입체조형치료, 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치료 세 가지 치료계획을 수립하였다. 각 치료계획을 평가하기 위하여 균일지수, 순응도, 장기등가선량(OED), 초과절대위험률(EAR) 등을 이용하였다. 균일지수 값은 3차원 입체조형치료, 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치료에서 16.89, 11.21, 9.55, 순응도는 0.59, 0.61, 0.83 으로 계산되었다. 사용된 3가지 치료법의 평균선량은 왼쪽 폐 0.01 ~ 2.02 Gy, 오른쪽 폐 0.36 ~ 5.01 Gy, 간 0.25 ~ 2.49 Gy, 심장 0.14 ~ 6.92 Gy, 식도 0.03 ~ 2.02 Gy, 척수 0.01 ~ 1.06 Gy, 왼쪽 가슴 0.25 ~ 6.08 Gy, 기관 0.08 ~ 0.59 Gy, 위 0.01 ~ 1.34 Gy 의 범위로 나타났다. 장기등가선량(OED) 와 초과절대위험률(EAR)은 모든 장기에서 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료방법이 3차원 입체조형치료 보다 높게 나타났다. 이 연구의 결과로서, 우리는 선량분포지수(균일지수, 순응도)는 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치료가 3차원 입체조형치료 보다 좋을 수 있지만 주변 정상장기에 들어가는 선량은 3차원 입체조형치료보다 높다는 것을 확인할 수 있었다.

중심 단어: 유방암, 시뮬레이션, 장기등가선량, 초과절대위험률

I. 서론

다양한 현대 기술의 발전은 방사선치료에서 여러 가지 이점을 가져다 주었다¹⁾. 그 이점 중의 하나인 세기 변조 방사선치료(Intensity-Modulated Radiation Therapy,

IMRT)는 다엽콜리메이터(Multileaf Collimator, MLC)의 개발과 함께 이용되기 시작한 치료방법이다. 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료(Volumetric modulated Arc Therapy, VMAT)는 암에 방사선을 집중시키는 반면에 정상조직을 보호하는 효과를 가지고 있다. 그러나 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료는 장점뿐만이 아니라 단점들도 가지고 있는 데 첫째는 기존의 치료법보다 많은 방향의 필드를 사용하는 것이고 둘째는 높은 MU (Monitor unit)의 사용이다. 결국 이러한 두 가지 특징은 높은 출력으로 산란선과 누설선의 증가를 야기시키며 많은 2차선량을 가져온다. 그로 인해

* 접수일(2013년 7월 31일), 1차 심사일(2013년 8월 9일), 2차 심사일(2013년 8월 29일), 확정일(2013년 9월 9일)

교신저자: 윤명근, (136-703) 서울시 성북구 정릉동
고려대학교 바이오융합공학과
Tel : 02-940-2823, Fax : 02-940-2829
E-mail : radiyoon@korea.ac.kr

세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료는 잠재적으로 2차암의 발생위험을 가지고 있다²⁻⁵⁾. 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료의 회수가 증가함으로 따라 산란선과 누설선에 의해 전체 몸이 받는 방사선량은 증가한다. 이에 따라 완치목적으로 방사선 치료를 받는 환자들이 가질 수 있는 치료 후 발생할 수 있는 2차암의 증가에 대한 영향은 관심을 가져야 할 부분이다^{1,4,6)}. 그 중에서도 초기 유방암은 높은 수명과 생존율을 가지고 있어서 방사선치료의 주된 적응증 중의 하나이다⁷⁾. 한국에서 유방암 치료의 대부분은 점선조사를 통한 방법이 이용되고 있다. 그 이유는 폐에 들어가는 방사선량을 줄이기 위해서 인데 방사선조사로 발생하는 방사선 폐렴이 가장 심각한 부작용중의 하나이기 때문이다. 우리 기관에서는 전체유방암 치료에 있어서 새로운 치료방법의 적용을 위하여 기존의 점선방향치료법과 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료에 대하여 방사선 치료계획 시스템을 이용하여 치료계획의 장단점을 비교하려고 한다. 그 동안 치료방법 및 계획의 비교는 여러 연구자들에 의해서 진행되었다. 하지만 일반적으로 물리적인 비교를 하는 경우가 많은 편이고 단순한 선량의 비교만으로는 치료방법에 대한 장단점을 구분하기가 어려웠다. 그 이유는 생물학적인 비교평가와 저 선량영역에서의 선량반응차이의 어려움 때문이다. 1~2 Gy 부근 저 선량에서의 선량반응 관계는 그 동안 많은 연구자들을 통하여 분석되어왔다⁸⁻¹³⁾. 그리고 최근에는 새로운 개념인 장기등가선량이 사용되고 있다. 장기등가선량은 생물학적인 인자를 고려하여 선량반응의 가중치를 적용시켜 장기의 방사선량 평가에 이용하는 개념이다¹⁴⁻¹⁶⁾. 우리의 목적은 유방암 치료에 있어서 새로운 치료방법을 적용하기 위해 치료계획 소프트웨어와 장기등가선량 그리고 초과절대위험률 등의 생물학적인 인자들을 이용하여 치료계획을 비교하고 분석하는 것이다.

II. 대상 및 방법

1. 전체유방암의 방사선치료 계획

치료계획의 차이를 비교하기 위하여 Eclipse v.10 (Varian Medical Systems, Palo Alto, US) 시스템을 이용하였다. 치료계획을 위하여 인체조직과 같은 밀도로 제작이 된 여성용 인체모형팬텀을 방사선 치료용 시뮬레이션 전산화단층촬영(Somatom, Munich, Germany)장비로 스캔하였고, 전산화단층촬영(Computed Tomography, CT)

영상의 슬라이스 두께는 세기 변조 방사선치료를 고려하여 3 mm 로 설정되었다. 기존에 사용하던 3 차원 입체조형치료방법으로 field in field 점선조사방식이 이용되었고 오른쪽 유방을 기준으로 전체유방에 대해 180 cGy의 분할선량으로 5040 cGy의 선량을 계획하였다. 우리 사이트에서는 환자에 따라 4~6개의 필드를 이용하는 field in field 방식을 적용하고 있다. 비교를 위한 치료 방법으로는 고정된 각도에서 방사선이 조사되는 세기 변조 방사선치료와 겐트리가 회전하면서 방사선이 조사되는 입체세기조절회전 방사선치료의 방식이 이용되었다. 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료는 각각 다섯 개의 조사야 치료방식과 한 개의 치료중심점에서 두 번 회전하는 치료방법이 이용되었다. 치료는 처방선량의 90%가 계획체적대상(Planning Target Volume, PTV)에 포함되는 것을 기준으로 계획하였다.

3차원 입체조형치료와 세기 변조 방사선치료 그리고 입체세기조절회전 방사선치료방법을 이용한 치료계획의 비교를 위해 사용된 균일지수(homogeneity index, HI)는 식. (1) 에서 보여진다.

$$HI = \left[\frac{D_2 - D_{98}}{D_p} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

D(Dose)98는 선량체적 히스토그램(dose volume histogram: DVH)에서 치료 용적의 98%가 받는 선량, D2는 치료 용적의 2%가 받는 선량, DP는 치료 용적에 대한 처방선량을 의미한다. 낮은 균일지수 값을 가질수록 선량균일성이 더 뛰어나다는 것을 의미한다¹⁷⁾. 순응도 (Conformity index, CI)는 식. (2) 에서 보여진다.

$$CI = \left(\frac{TV_{95}}{TV} \right) \times \left(\frac{TV_{95}}{V_{95}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

TV(Target Volume)95는 95%의 등선량 곡선 안에 들어오는 치료부위의 용적, TV는 전체 치료 용적, V95는 95%의 등선량 곡선 안에 들어오는 조직의 용적이다. 순응도의 값은 0과 1사이의 값을 가지고 1에 가까울수록 치료 용적에 대한 순응도가 좋다는 것을 의미한다¹⁸⁾.

2. 이차암 발생률의 평가

BEIR(Biological Effect of Ionizing Radiation) VII model의 초과절대위험률(Excess Absolute Risk, EAR)

은 암발생에 대한 수치로 성별, 나이, 선량 등에 의존해 결정되고 식. (3) 에 의해 계산된다.

$$EAR(D,s,e,a)= \beta \cdot OED \cdot \mu \cdot (e,a,s) \dots\dots\dots (3)$$

초과절대위험률(EAR)은 2차암 발생을 나타낸다. 여기서 s, e 그리고 a 는 성별, 피폭 받을 때의 나이와 평가 받을 때의 나이이다. β 는 초기 기울기 값, μ 는 식. (4) 에서 보여진다.

$$\mu (e,a,s)= \exp\{\gamma e (e-37)+\gamma a \ln(a/46)\}(1\pm s) \dots\dots (4)$$

(+ 여성, - 남성). 여기서 사용된 여러 가지 인자들은 일본 원폭사고와 호지킨병의 역학 조사를 토대로 얻어낸 자료이다¹⁹⁾. 장기등가선량(Organ equivalent dose, OED)는 같은 성별과 나이를 기준으로 인구의 암발병에 비례하는 선량 반응이다. 장기등가선량(OED)는 식. (5)에 의하여 선형 선량반응(linear dose-response) 모델⁶⁾로 계산된다.

$$OED= \frac{1}{V} \sum_i V_i D_i \dots\dots\dots (5)$$

또는 식(6)에 의하여 선형 지수(linear-exponential {bell-shaped}) 모델⁶⁾로 계산된다.

$$OED= \frac{1}{V} \sum_i V_i D_i \exp(-\alpha D_i) \dots\dots\dots (6)$$

또는 식(7)에 의하여 안정(plateau) 모델⁶⁾로 계산되어진다.

$$OED= \frac{1}{V} \sum_i V_i \left(\frac{1-\exp(-\delta D_i)}{\delta} \right) \dots\dots\dots (7)$$

V는 전체 몸의 용적, V_i 와 D_i 는 용적과 그에 해당하는 선량이다. 이 선량 모델에서, α 와 δ 의 인자들은 특정장기의 선량반응을 결정하기 위하여 사용되었다. Table 1, 2 은 호지킨병에 맞춰진 특정장기에 대한 값들을 나타낸다^{14,15)}.

Table 1. parameter values of EAR

Model parameters	
Gender, s	0.1704
Age at exposure, γe	-0.0277
Attained, γa	2.409
Initial slope : β	0.139

Table 2. parameter values of OED

Organs	α	δ
Solid tumor	0.08	0.12
Lung	0.129	0.15
Stomach	0.149	1.2
Liver	0.487	1.14

III. 결과

세 가지 치료방법에 대한 균일지수와 순응도의 결과는 Table 3. 과 같다.

Table 3. Homogeneity index and conformity index for 3D-CRT, IMRT, VMAT

Index	3D-CRT	IMRT	VMAT
Homogeneity index	16.89	11.21	9.55
Conformity index	0.59	0.61	0.83

균일지수와 순응도 값은 입체세기조절회전 방사선치료에서 9.55, 0.83으로 3차원 입체조형치료(16.89, 0.59), 세기 변조 방사선치료(11.21, 0.61) 보다 더 좋은 수치를 나타내었다. 이는 타겟의 모양에 따라 달라질 수 있지만 보편적으로 선량의 균일성과 분포는 입체세기조절회전 방사선치료가 다른 치료방법보다 뛰어나다는 것을 보여준다. Fig 1, 2 는 각각의 치료방법에 대한 영상과 계획체적대상과 전체 몸에 대한 선량 체적 히스토그램 곡선으로 세 가지 방법의 치료계획의 차이를 보여준다. Table 4, 5 는 계획체적대상과 전체 몸 그리고 주변장기에 대한 차이를 V30, V60, V90, D30, D60, D90으로 비교한 표이다. 이 두 가지의 결과를 통하여 타겟에 대한 선량의 전달측면에서는 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치

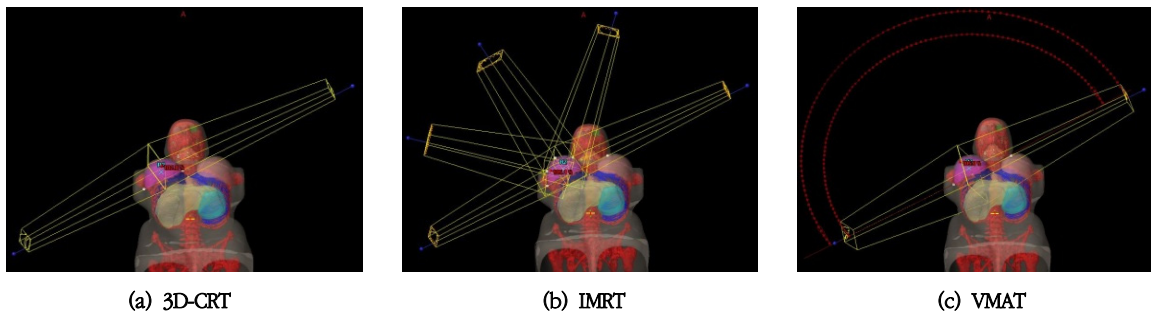


Figure 1. Axial field image for setup of (a) 3D-CRT, (b) IMRT, and (c) VMAT.

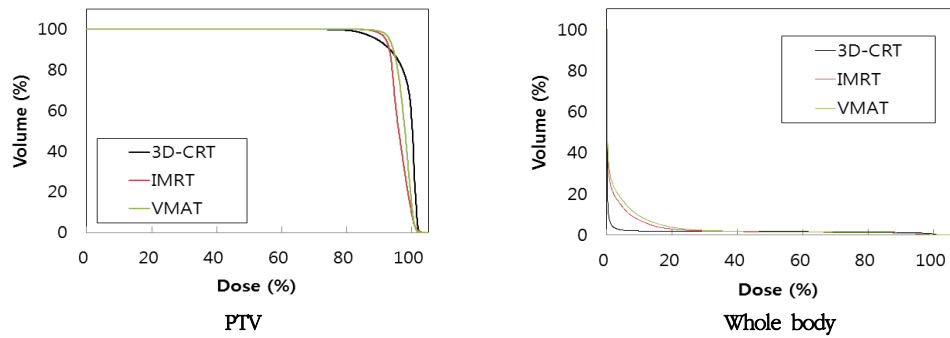


Figure 2. Dose volume histograms of PTV and Whole body for 3D-CRT, IMRT, and VMAT.

Table 4. Dosimetric comparison of DVH parameters for PTV and Whole body

	3D-CRT	IMRT PTV	VMAT	3D-CRT	IMRT Body	VMAT
V30(%)	100	100	100	1.9	2.0	2.3
V60(%)	100	100	100	1.7	1.5	1.5
V90(%)	94.5	98.2	99.1	1.3	1.0	1.0
D30(Gy)	50.8	49.3	49.9	0.025	0.205	0.449
D60(Gy)	50.3	48.0	49.0	0.015	0.022	0.024
D90(Gy)	47.1	47.0	47.6	0.004	0.006	0.006
Dmean(Gy)	49.7	48.5	49.2	0.952	1.596	1.876

Table 5. Dosimetric comparison of DVH parameters for OAR

	3D-CRT	IMRT Liver	VMAT	3D-CRT Lt Lung	IMRT Lt Lung	VMAT	3D-CRT Rt Lung	IMRT Rt Lung	VMAT
D30(Gy)	0.28	2.26	2.61	0.01	1.39	2.79	0.39	5.58	6.63
D60(Gy)	0.14	0.56	1.03	0.02	0.72	1.36	0.19	2.73	3.11
D90(Gy)	0.03	0.29	0.40	0.03	0.24	0.33	0.05	0.35	0.56
Dmean(Gy)	0.25	2.49	2.49	0.01	1.26	2.02	0.36	4.06	5.01
		Esophagus		Cord			Lt Breast		
D30(Gy)	0.06	3.49	2.59	0.02	1.41	0.95	0.32	5.46	6.91
D60(Gy)	0.02	0.25	0.31	0.01	0.09	0.12	0.12	1.49	5.09
D90(Gy)	0.01	0.07	0.08	0.00	0.02	0.02	0.03	0.96	3.71
Dmean(Gy)	0.03	1.62	2.02	0.01	0.73	1.06	0.25	3.95	6.08
		Trachea		Heart			Stomach		
D30(Gy)	0.11	0.46	0.66	0.19	5.84	7.90	0.02	1.00	1.57
D60(Gy)	0.07	0.22	0.25	0.07	4.66	5.62	0.01	0.51	0.73
D90(Gy)	0.04	0.12	0.13	0.01	1.63	3.51	0.00	0.26	0.43
Dmean(Gy)	0.08	0.59	0.59	0.14	4.76	6.92	0.01	0.98	1.34

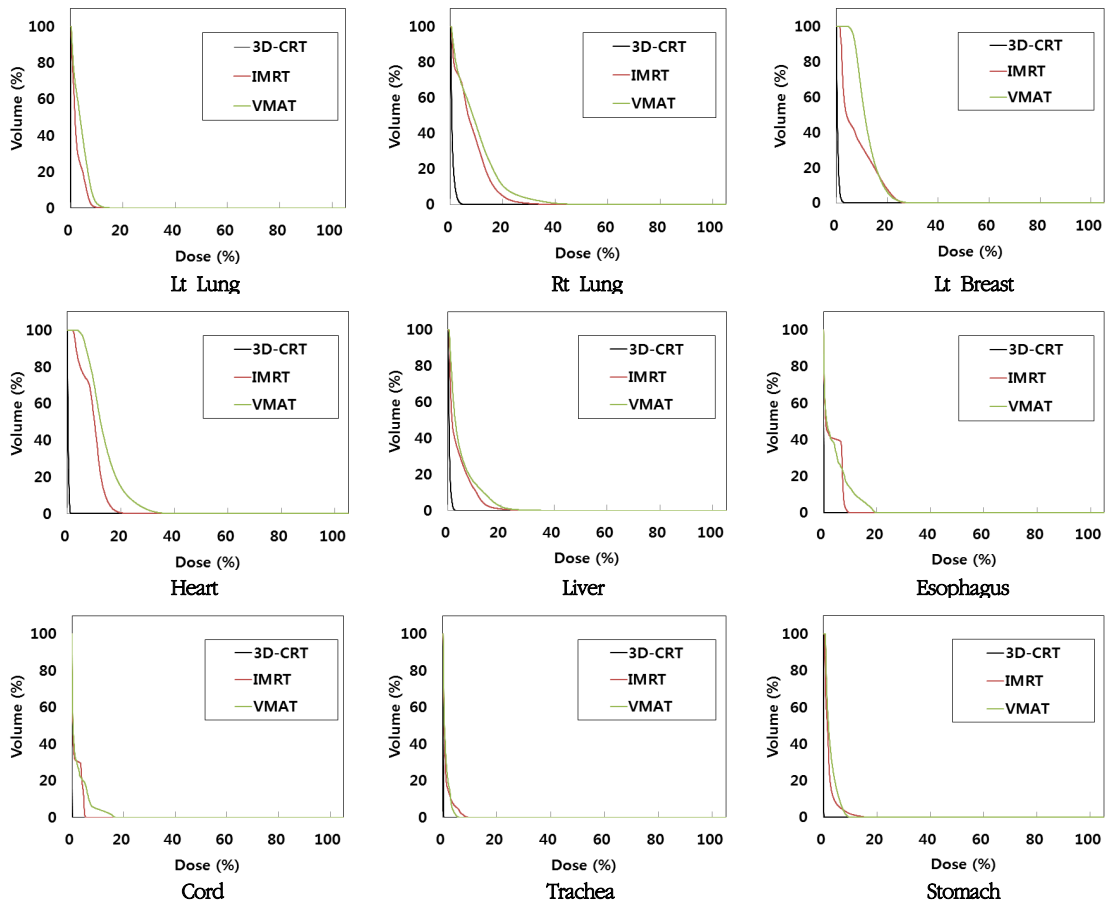


Figure 3. Dose volume histograms of each organs for 3D-CRT, IMRT, and VMAT.

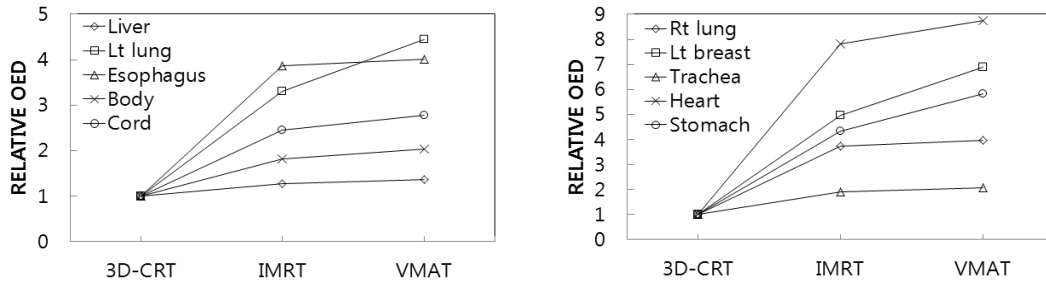


Figure 4. Relative organ equivalent doses of Lt lung, Rt lung, Lt breast, Heart, Liver, Esophagus, Cord, Trachea, Stomach for IMRT and VMAT, normalized to that of 3D-CRT, using a plateau model.

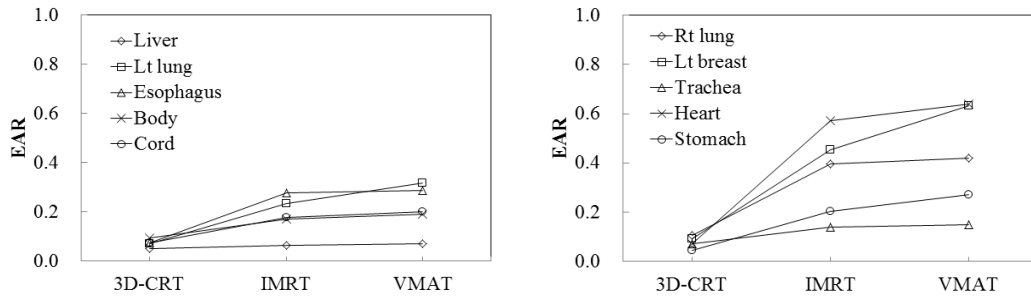


Figure 5. Excess absolute risk(per 100,000 persons) of Liver, Rt lung, Esophagus, Body, Cord, Lt lung, Lt breast, Trachea, Stomach for 3D-CRT, IMRT and VMAT.

료가 뛰어나지만 몸에 대한 전체적인 비교를 하였을 때 3차원 입체조형치료보다 높은 선량이 전달되는 것을 확인할 수 있었다. Fig 3. 은 폐, 가슴, 심장, 간, 식도, 척수, 기관, 위 등의 주변장기에 대한 선량 체적 히스토그램 곡선의 비교를 보여준다. 각 장기의 Dmean 으로 비교하면 왼쪽 폐 0.01 ~ 2.02 Gy, 오른쪽 폐 0.36 ~ 5.01 Gy, 간 0.25 ~ 2.49 Gy, 심장 0.14 ~ 6.92 Gy, 식도 0.03 ~ 2.02 Gy, 척수 0.01 ~ 1.06 Gy, 왼쪽 가슴 0.25 ~ 6.08 Gy, 기관 0.08 ~ 0.59 Gy, 위 0.01 ~ 1.34 Gy 의 범위로 나타났으며 입체세기조절회전 방사선치료가 세기 변조 방사선치료보다 조금 높지만 많

은 차이를 보이진 않았고 두 가지 모두 3차원 입체조형 치료보다 높은 선량을 나타냈다. Fig 4. 는 각 장기에 대한 pleatous model 을 기반으로 한 Relative 장기등가선량(OED) 값으로 3차원 입체조형치료를 위한 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료를 비교한 그래프로 나타낸다. 심부에 위치한 타겟의 경우 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료 방법은 일반 조직에 대한 보호효과를 나타낼 수 있다. 하지만 유방암에 대한 방사선치료의 경우 점선조사를 사용하여 치료하기 때문에 오히려 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료에서 주변장기에 높은 선량이 축적되는 것을 확인하였다. 초과절대위험률(EAR) (Fig 5.)의 결과를 살펴보면 간 0.05 ~ 0.07, 왼쪽 폐 0.07 ~ 0.32, 식도 0.07 ~ 0.29, 척수 0.07 ~ 0.20, 오른쪽 폐 0.11 ~ 0.42, 왼쪽 유방 0.09 ~ 0.63, 기관 0.07 ~ 0.15, 심장 0.07 ~ 0.64, 위 0.05 ~ 0.27 으로 장기에 따라 1.3배에서 최대 8.7 배에 해당하는 차이를 확인할 수 있었다.

IV. 고찰

초기 암환자의 경우 방사선 치료 후 2차암의 발생확률은 치료 후 10년이 지났을 때 전체환자의 1.5% 라고 하는 연구가 있다¹⁾. 그만큼 방사선 치료 시 발생할 수 있는 추가적인 부작용은 숙지하여야 할 중요한 사항중의 하나이다. 우리는 유방암에서 새로운 치료방법의 적용을 위하여 세 가지 치료방법에 대한 치료계획 소프트웨어에서의 차이를 비교하였다. 균일지수, 순응도, 장기등가선량, 초과절대위험률등의 여러 가지 지표들을 이용하여 비교 분석하였다. 장기등가선량은 균등하지 않은 선량분포에 대한 장기의 평가를 위하여 개발된 개념이다. 그리고 초과

절대위험률의 경우 2차암의 발생위험에 대한 지표로 십만 명 당 암환자의 발생 수를 의미한다.

비교분석 결과 타겟에 대한 치료목적에 대하여는 입체세기조절회전 방사선치료가 가장 좋은 수치를 나타내었지만 주변정상조직의 보호 측면에서는 일반적인 치료방법인 3차원 입체조형치료방법이 가장 좋은 수치를 나타내었다. 장기에 대한 상대적인 OED가 큰 차이를 가진다는 것도 확인할 수 있다. 그 중에서도 심장의 경우 3차원 입체조형 치료와 입체세기조절회전 방사선치료방법에 따른 장기등가선량(OED)가 8배로 가장 큰 차이가 나타났다. 그리고 이 결과는 오른쪽 유방의 치료를 기준으로 계산되었기 때문에 심장에 근접한 왼쪽 유방의 방사선치료의 경우 심장의 선량은 더 증가할 것으로 예상된다.

V. 결론

세 가지 치료방법의 비교의 결과는 우리에게 새로운 치료법의 적용은 여러 가지 고려할 사항이 많다는 것을 말해준다. 먼저 세기 변조 방사선치료의 경우 일반 치료방법보다 높은 출력을 요구하게 된다. 때문에 치료시에 높은 MU를 이용하게 되는데 이때 누설선과 산란선이 많이 발생하게 된다. 누설선은 Isocenter 에서 다엽콜리메이터에 대한 기준으로 출력의 1% ~ 3%, 다엽콜리메이터와 Jaw 등 함께 투과했을 때 0.1%로 권고하고 있다¹⁾. 우리기관에서의 누설선은 월간 정도관리에서 Isocenter 지점에서 평균적으로 0.1%의 값이 측정되어 일반적인 누설선의 정도를 나타내었다. 0.1%의 누설량은 1회 치료시 많게는 1000 cGy 의 출력을 사용하는 세기 변조 방사선치료의 경우 전체적으로 30 cGy 에 해당하는 선량을 전신에 피폭 받는다고 가정할 수 있다. 3D-CRT에 비해 최소 2배이상의 출력을 사용하는 세기 변조 방사선치료, 입체세기조절회전 방사선치료의 경우 높은 출력을 사용할수록 정상조직의 선량은 높아질 수 밖에 없다. 초과절대위험률(EAR)의 수치를 비교하면 심장과 왼쪽유방의 경우가 3차원 입체조형치료의 경우 0.07, 0.09 명에서 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료의 경우 0.57~0.64, 0.45~0.63 명으로 가장 큰 수치를 드러냈다. 하지만 이 결과는 2010년 기준 한국에서의 연간 여성유방암 발생률 57명 (명/100,000명) 을 기준으로 평가할 때 그다지 큰 영향을 미친다고는 볼 수 없다.

우리는 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료방법이 종양에 선량을 균일하고 정확하게 전달시키

는 데는 3차원 입체조형치료보다 좋은 효과를 가지는 것을 확인하였다. 하지만 종양의 주변조직에 대한 선량보호 효과는 2차암발생의 평가로 볼 때 3차원 입체조형치료가 가장 좋은 효과를 가진다. 다만 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료의 경우 환자나 치료계획에 따라 장기의 선량이 큰 차이를 나타낸다는 것을 유의하여야 한다. 그리고 2차암의 발생에 대한 수치가 전체 암의 발생률로 평가할 때 그 위험도가 높지 않다는 것을 확인할 수 있다. 위의 결과를 통하여 우리는 방사선치료의 목적인 종양에 대한 균등한 선량전달과 주변 정상조직선량의 최소화를 적절히 고려하여 세기 변조 방사선치료와 입체세기조절회전 방사선치료를 유방암 환자의 방사선치료 방법으로 적용할 수 있을 것이라 생각한다.

참고문헌

- Hall E. J, Intensity modulated radiation therapy, protons and the risk of secondcancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 65(1), 1-7, 2006
- Followill D, Geis P, Boyer A. Estimates of whole-body dose equivalent produced by beam intensity modulated conformal therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 38, 667- 672, 1997
- Verellen D, Vanhavere F. Risk assessment of radiation induced malignancies based on whole-body dose equivalent estimates for IMRT in the head and neck region. *Radiother Oncol.* 53, 199-203, 1999
- Hall EJ, Wu C. Radiation-induced second cancers: The impact of 3D-CRT andIMRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 56, 83-88, 2003
- Kry SF, Salehpour M, Followill DS, et al. The calculated risk of fatal secondarymalignancies from intensity-modulated radiation therapy. *Int J Radiat Oncol BiolPhys.* 62, 1195-1203, 2005
- Kry SF, Salehpour M, Followill DS, et al. Out-of-field photon and neutron doseequivalents from step-and-shoot intensity modulated radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 62, 1195-1203, 2005
- Fontenot J. D, Lee A. K, Newhauser WD. Risk of secondary malignant neoplasms from proton therapy and intensity-modulated x-ray therapy for early-stageprostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 74, 616-622, 2007
- Donovan EM, James H, Bonora M, et al. Second cancer incidence risk estimates using BEIR VII models for standard and complex external beam radiotherapy for early breast cancer. *Med Phys.* 39(10), 5814-5824, 2012
- Schneider U, Walsh L. Cancer risk estimates from the combined JapaneseA-bomb and Hodgkin cohorts for doses relevant to radiotherapy. *Radiat Environ Biophys.* 47(2), 253-263, 2008
- Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res.* 168, 1-64, 2007
- Preston DL, Pierce DA, Shimizu Y, et al. Effects of recent changes in Atomicbomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimated. *Radiat Res.* 162,377-389, 2004
- Walsh L, Ruhm W, Kellerer AM. Cancer risk estimates for X-rays with regard to organ specific doses, part I: all solid cancers combined. *Radiat Environ Biophys.* 43, 145-151, 2004
- Walsh L, Ruhm W, Kellerer AM. Cancer risk estimates for X-rays with regard to organ specific doses, part II: site specific solid cancers. *Radiat Environ Biophys.* 43, 225-231, 2004
- Schneider U, Zwahlen D, Ross D, et al. Estimation of radiation-inducedcancer from three-dimensional dose distributions: Concept of organ equivalent dose. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 61(5), 1510-1515, 2005
- Yoon MG, Shin DH, Kim JW, et al. Craniospinal irradiation techniques: a dosimetric comparison of proton beams with standard and advanced photonradiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 81(3), 637-646, 2011
- Schneider U, Kaser-Hotz. Radiation risk estimates after radiotherapy: Application of the organ equivalent dose concept to plateau dose-responserelationships. *Radiat Environ Biophys.* 44, 235-239, 2005
- Wu Q, Mohan R, Morris M, et al. Simultaneous

- integrated boost intensity-modulated radiotherapy for locally advanced head-and-neck squamous cell carcinomas. I: Dosimetric results, *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 56(2), 573- 585, 2003
18. Murthy K, Shukeili K, Kumar S, et al. Evaluation of dose coverage to target volume and normal tissue sparing in the adjuvant radiotherapy of gastric cancers: 3D-CRT compared with dynamic IMRT. *Biomed Imaging Interv J.* 6(3),e29, 2010
19. Schneider U, Lomax A, Timmermann B. Second cancers in children treated with modern radiotherapy techniques. *Radiother Oncol.* 89(2), 135-140, 2008
- 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었으며 (2013R1A1A2007630) 그리고 미래창조과학부와 한국연구재단의 방사선기술개발사업으로 연구 지원한 (NRF-2012M5A1A2054133 & NRF-2013M2A2A7067089)의 결과물입니다.

• Abstract

Dosimetric Comparison of Radiation Treatment Techniques for Breast Cancer: 3D-CRT, IMRT and VMAT

Bo-Ram Lee^{1,2)} · Sun-Young Lee²⁾ · Myong-Geun Yoon¹⁾

¹⁾*Department of Bio-convergence Engineering, College of Health Science, Korea University*

²⁾*Department of Radiation Oncology, Yuseung Sun Medical Center*

The purpose of this study is to compare method in the treatment of breast cancer using dose index. And, it is to find the optimized treatment technique to the patient. The phantom filled with tissue-equivalent material were used simulation and treatment as techniques of 3D-CRT, IMRT, VMAT was planned using Eclipse v10. By using HI(homogeneity index), CI(Conformity index), OED(Organ equivalent dose), EAR(Excess Absolute Risk), were assessed for each treatment plans. HI and CI of 3D-CRT, IMRT, VMAT were calculated 16.89, 11.21, 9.55 and 0.59, 0.61, 0.83. The organ average doses of Lt lung, Rt lung, liver, heart, esophagus, cord, Lt breast, trachea and stomach were 0.01 ~ 2.02 Gy, 0.36 ~ 5.01 Gy, 0.25 ~ 2.49 Gy, 0.14 ~ 6.92 Gy, 0.03 ~ 2.02 Gy, 0.01 ~ 1.06 Gy, 0.25 ~ 6.08 Gy, 0.08 ~ 0.59 Gy, 0.01 ~ 1.34 Gy, respectively. The OED, EAR of the IMRT and VMAT show higher than 3D-CRT.

As the result of this study, we could confirm being higher dose index(HI, CI) in IMRT and VMAT than 3D-CRT, but doses of around normal organs was higher IMRT, VMAT than 3D-CRT.

Key Words : Breast cancer, Simulation, Organ Equivalent Dose, Excess Absolute Risk