

# 폐암 환자의 정위적방사선 치료 시 이중 에너지를 이용한 치료 방법의 유용성 평가

가톨릭대학교 서울성모병원, 가톨릭대학교 의정부성모병원, 대구보건대학교 방사선과

장형준 · 이영규 · 김영재 · 박영규

**목 적** : 종양의 위치에 따라 단일에너지를 이용한 치료계획과 이중에너지를 사용하는 치료계획을 정위적방사선 치료에 적용하여 실제 종양에 부여되는 선량의 변화와 종양과 인접한 부분에 위치하는 정상조직의 선량을 비교하여 임상적 유용성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법** : 총 10명의 환자 CT 영상을 획득한 후 각각 단일에너지, 이중 에너지에 대한 체적변조회전치료 기법에 대한 치료 계획을 수립하였다. 종양 축 변화 요인을 분석하기 위하여 조형계수(CI)와 균질성 지수(HI), 최대 선량을 각각 계산했으며, 정상 조직에 대한 선량 분포를 비교하기 위하여 V10과 V5, 종양에 가장 근접한 첫 번째 ~ 네 번째 갈비뼈(1<sup>st</sup> ~ 4<sup>th</sup> Rib), 척수(Spinal Cord), 식도(Esophagus)와 기관(Trachea)를 선정하였다. 또한 계획한 선량 분포가 실제 전달되는 정확성을 확인하기 위하여 2차원 이온전리함 배열을 이용하여 선량 측정을 시행하였다.

**결 과** : 종양 축 인자의 경우 조형계수와 균질성 지수는 두 에너지를 사용했을 경우가 1에 가까운 값을 나타냈다. 최대 선량의 경우 앞쪽 흉벽은 약 2% , 등쪽 종양의 경우는 동등한 값을 나타냈다. 정상 조직의 경우 앞쪽 흉벽 종양은 인접한 갈비뼈에서 두 에너지를 동시에 사용한 경우 각각 4%, 5% 감소하였고, 기관지의 경우 11%, 17% 감소하였다. 폐의 선량 분포의 경우 V10의 경우 1.5%, V5의 경우 1%로 감소함을 나타냈다. 뒤쪽 흉벽의 경우 종양에 인접한 갈비뼈는 두 에너지를 이용한 경우에서 각각 6%, 1%, 4%, 12% 감소하였고, 폐의 선량 분포에서는 V10 3%, V5 3.1% 감소됨을 나타내었다. 선량 측정의 경우 모든 에너지에서 감마지표 3mm/3%의 결과에 부합하였다.

**결 론** : 단일 에너지를 이용한 치료 계획 보다 두 에너지를 동시에 사용하는 경우가 표재성 종양에 대해 보다 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 정위적 방사선치료, 폐암, 이중에너지, 체적변조회전치료기법

## 서 론

초기 폐암의 치료에 있어서 현재 가장 많이 사용하는 방법들은 수술, 방사선치료, 항암화학요법이다. 일반적으로 가장 많이 적용되는 방법은 수술 요법이나 이 방법은 환자의 고통과 후유증이 심하다는 단점이 있어서 환자들이 거부하는 경향이 높다. 이에 비해 방사선 치료의 경우는 수술과 달리 환자에게 고통을 주지 않고 치료가 종료된 후에도 큰 후유증 없이 수술과 유사한 결과를 얻을 수 있어서 현재 가장 선호하는 방법 중 하나로 꼽힌다. 이 중 정위적방사선 치료(Stereotactic Body Radiotherapy, SBRT)는 짧은 기간에 환자에게 많은 선량을 부여하여 치료하는 방법으로 수술을 거부하거나 또는 수술이 필요하지 않는 초기 폐암 환자

의 치료에 많이 이용되고 있다. 정위적방사선 치료 방법을 이용한 폐암의 치료 결과는 많은 연구에서 유용성을 입증하고 있다. 초기 폐암의 환자에게 정위적방사선치료 방법을 적용하였을 시 치료 성적은 약 90% 이상의 국소 제어율을 보이고 있으며, 5년 생존율도 60% 이상의 높은 생존율을 보이고 있다<sup>(1-7)</sup>. 이러한 수치는 수술을 시행한 방법과 비교했을 때 거의 비슷한 수준으로 나타나고 있다.<sup>(8-10)</sup> 또한 방사선 치료로 인해 발생할 수 있는 부작용에 대해서도 대부분의 환자에게서 독성 0 또는 1의 약한 부작용이 나타났으며, 입원 및 기타 추가적인 치료를 요하는 독성 3의 단계에 있는 환자들은 5% 미만으로 나타남을 확인하였다.<sup>(11-13)</sup> 가슴의 통증과 주변 갈비뼈의 골절을 발생할 수 있는 부작용에 대해서도 전체 환자 중 20% 미만의 환자에게서 발생하는 것을 확인하였다.<sup>(14,15)</sup> 정위적방사선치료는 1회 조사에서 환자에게 높은 선량을 부여하기 때문에 정확한 위치 확인을 위하여 영상유도 위치검증으로 치료 전 환자의 위치를 확인한다. 또한 환자의 치료 계획을 정립하기 위하여 4차원 전산

본 논문은 2016년 10월 12일 접수하여 2016년 12월 10일 채택되었음.  
책임저자 : 장형준, 가톨릭대학교 서울성모병원 방사선종양학과  
서울시 서초구 반초동 505번지, 10  
Tel : 02) 2258-1533  
E-mail : chjasyd@naver.com

화 모의치료 기법을 적용하여 정확한 종양의 위치 및 움직임을 파악한다. 이러한 치료 기술은 현재 다양한 치료 방법에 적용하여 환자의 치료에 이용한다. 현재 임상에서 가장 많이 사용하는 치료 방법으로는 세기변조방사선치료(Intensity-modulated radiation therapy, IMRT), 체적변조회전치료(Volumetric-modulated arc therapy, VMAT), 토모테라피(Tomotherapy), 사이버나이프(Cyberknife) 등이 있다. 다양한 치료 방법 중 정위적방사선 치료 방법에 가장 적합한 치료 방법을 구현하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>(16,17)</sup> 그러나 이런 치료 방법을 적용하는데 있어 대부분의 치료 계획은 현재 하나의 에너지를 이용하고 있다. 폐암에 발생하는 종양의 위치는 한 부분에만 발생되지 않고 다양한 부분에 발생하는 특징을 지니고 있다. 종격동과 같은 인체의 중간부분에 발생하는 종양과 가슴이나 등쪽과 같은 부분에 발생하는 경우도 있다. 특히 인체의 가슴이나 등쪽과 같은 부분은 인체의 구조상 한쪽으로 치우친 부분에 발생되기 때문에 체표면에서 종양의 위치에 도달하는 거리는 두꺼운 부분과 얇은 부분이 같이 나타나게 된다. 따라서 이런 얇은 부분에 대해 단일에너지를 이용한 치료 계획을 적용하게 된다면 주변의 정상조직에 과도한 선량을 부여할 수 있는 위험이 발생하게 된다. 이에 본 연구에서는 앞쪽 흉벽이나 등쪽에 가깝게 위치한 종양에 대해 현재 임상에서 정위적방사선치료 방법에 사용하는 단일에너지를 이용한 치료계획과 고에너지와 중에너지를 병행하여 사용하는 치료 계획을 체적변조회전치료에 적용하여 실제 종양에 부여되는 선량의 변화와 종양과 인접한 부분에 위치하는 정상조직의 선량을 비교하여 실제 환자의 치료에 적합한 치료계획을

알아보고 치료계획에서 나타난 선량 분포가 실제 치료에서와 동일하게 나타나는지를 측정하여 비교해 보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. PATIENT SELECTION

2009년 5월부터 2014년 12월까지 본 원에서 치료 받은 폐암 환자 중 정위적방사선치료를 받은 환자를 대상으로 종양의 위치가 흉벽이나 등쪽에 위치한 환자를 선정하였다. 총 환자 수는 10명이었고 이 중 남성의 경우는 9명, 여성의 경우는 1명이였다. 환자들의 평균 연령은 77.3세였다. 환자들의 병기는 대부분 I 기 또는 II기 비교적 초기의 환자들이 대다수였으며, 폐 쪽에 전이되어 치료 받은 환자도 1명 있었다. 환자들은 모두 항암 치료는 진행하지 않고 오직 방사선 치료만 받았으며, 종양의 위치는 흉벽에 위치한 경우가 5명, 등쪽에 위치한 경우가 5명이였다. 적용 질환은 10명의 환자가 모두 비소세포암(NSCLCa)이였으며, 이 중 선암(Adenocarcinoma)는 4명이였고, 편평상피암(Squamous Cell Carcinoma)의 환자는 6명이였다. 환자들에게 처방된 치료 선량은 1회 12Gy씩 5회에 걸쳐 총 60Gy를 처방받은 환자는 6명이였고, 1회 선량이 10Gy씩 6회에 걸쳐 60Gy를 처방받은 환자는 1명, 15Gy씩 4회에 걸쳐 60Gy를 처방받은 환자가 1명, 1회 8Gy씩 7회에 걸쳐 56Gy를 처방받은 환자가 2명이였다. [Table. 1]

Table 1. Characteric of patient

순번	S / A	병기(TNM)	CHEMO	질환	위치	선량(Fx)
1	M / 87	T1N0M0	RT Alone	NSCLCa(Adenoca)	ANT	60(12X5)
2	M / 78	T1N0M0	RT Alone	NSCLCa(Adenoca)	ANT	60(15X4)
3	M / 81	T2N0M0	RT Alone	NSCLCa(Adenoca)	ANT	60(12X5)
4	M / 60	T1N0M0	RT Alone	NSCLCa(Adenoca)	ANT	60(12X5)
5	M / 67	T1bN0M0	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	POST	60(10X6)
6	F / 85	T1N0M0	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	ANT	60(12X5)
7	M / 65	T2N0M1a	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	POST	56(8X7)
8	M / 86	T2aN0M0	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	POST	56(8X7)
9	M / 90	T1aN0M0	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	POST	60(12X5)
10	M / 74	T1N0M0	RT Alone	NSCLCa(Sqcc)	POST	60(12X5)

**Table 2.** The turning angle used in therapeutic planning which is used for anterior chest wall,

(Unit : °)

	VMAT <sub>6</sub>	VMAT <sub>10</sub>	VMAT <sub>Dual</sub>		
			Section 1	Section 2	Section 3
			(6MV)		
Pt 1	180~170	180~170	180~250	255~40	45~165
Pt 2	180~170	180~170	180~318	324~86	92~170
Pt 3	180~170	180~170	180~230	236~20	26~170
Pt 4	180~170	180~170	186~310	315~90	98~170
Pt 5	180~170	180~170	180~315	325~90	96~170

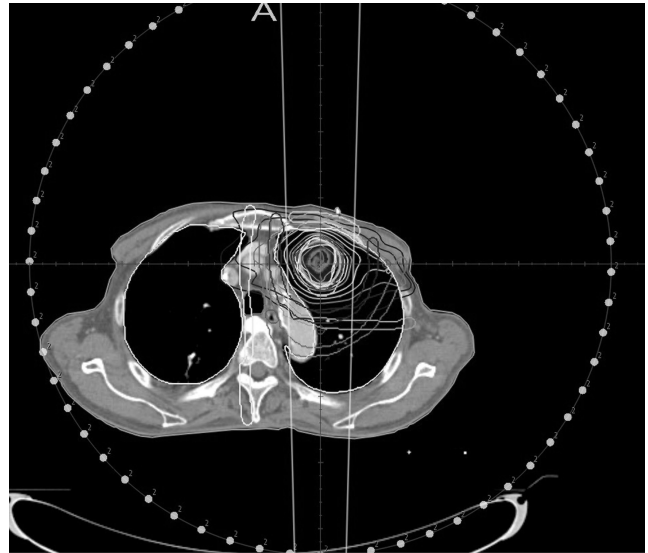
**Table 3.** The turning angle used in therapeutic planning which is used for posterior chest wall,

(Unit : °)

	VMAT <sub>6</sub>	VMAT <sub>10</sub>	VMAT <sub>Dual</sub>		
			Section 1	Section 2	Section 3
			(10MV)		
Pt 1	180~170	180~170	180~280	287~140	146~170
Pt 2	180~170	180~170	180~250	256~50	56~170
Pt 3	180~170	180~170	180~270	274~120	126~170
Pt 4	180~170	180~170	180~290	296~140	150~170
Pt 5	180~170	180~170	180~250	256~140	146~170

## 2. VMAT Planning

체적변조회전치료기법 (Volumetric-Modulated Arc Therapy, VMAT)을 이용한 치료계획에는 PROWESS (Version 5.2, U.S.A)를 이용하였다. 체적변조회전치료기법은 기존 치료와 달리 회전각도를 360° 전체를 이용하여 치료할 수 있으며 1회전을 통해서 시계방향에서 회전하는 치료 각도를 이용하고, 다음 회전에서는 반시계방향으로 회전하면서 치료하는 방법을 이용한다. 주로 환자에게 적용할 때는 2개의 ARC를 이용하여 치료계획을 수립하나 환자에 따라서 필요하면 추가적인 회전 각도를 이용하여 부족한 부분에 대한 선량을 보충할 수 있다. 본 연구에서는 2개의 회전 각도를 사용하여 치료계획을 설계하였다. 단일 에너지를 이용한 환자들의 경우 시계방향으로 180°~170°의 회전 각도를 시계방향으로 회전시킨 1 ARC와 170°~180°의 회전 각도를 반시계방향으로 회전한 2 ARC를 이용하였다. 두 개의 에너지



**Fig 1.** 1 Planning of anterior chest wall tumor

를 조합한 치료계획에서는 환자가 치료 받는 부분을 총 3부위로 나누어 회전 각도를 지정하였다. 앞쪽 흉벽에 종양이 위치한 환자들의 경우 회전 각도는 첫 번째 부위에서는 10MV를 이용한 2영역과 6MV를 이용한 영역 1부위를 조합하여 각 부위에 맞는 회전 각도를 설계하였다. 반시계방향으로 회전하는 경우에도 앞서 정한 부분과 역순의 회전 각도를 이용하여 치료 계획을 설계하였다.[Table. 2, Fig. 1]

뒤쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우도 2개의 회전 각도를 이용하였고, 앞서 설계한 앞쪽 흉벽에 위치한 종양과 마찬가지로 3부위로 나누어 회전 각도를 설계하였다. 앞 쪽 흉벽에 위치한 종양과 달리 6MV를 이용한 부위는 2영역에서 사용하였으며, 10MV를 이용한 영역은 1부위였다. 반 시계방향으로 회전하는 치료에서도 앞서 회전 각도의 역순으로 회전하며 치료하도록 하였다.[Table. 3, Fig. 2]



**Fig 2.** Plannig of Posterior chest wall tumor

**Table 4.** The alternation of dose index of tumor depending on the energy of tumor that has been grown on anterior chest wall,

	CI			HI			Maximum Dose (Gy)		
	6MV	10MV	Dual	6MV	10MV	Dual	6MV	10MV	Dual
Pt 1	1.43	1.35	1.33	1.27	1.24	1.21	69.23	71.78	69.42
Pt 2	1.54	1.47	1.49	1.16	1.18	1.18	67.94	66.73	66.04
Pt 3	1.34	1.46	1.16	1.18	1.23	1.17	66.34	66.35	64.57
Pt 4	1.35	1.30	1.33	1.17	1.14	1.14	66.52	66.31	65.68
Pt 5	1.32	1.33	1.34	1.15	1.18	1.14	66.10	66.07	65.24

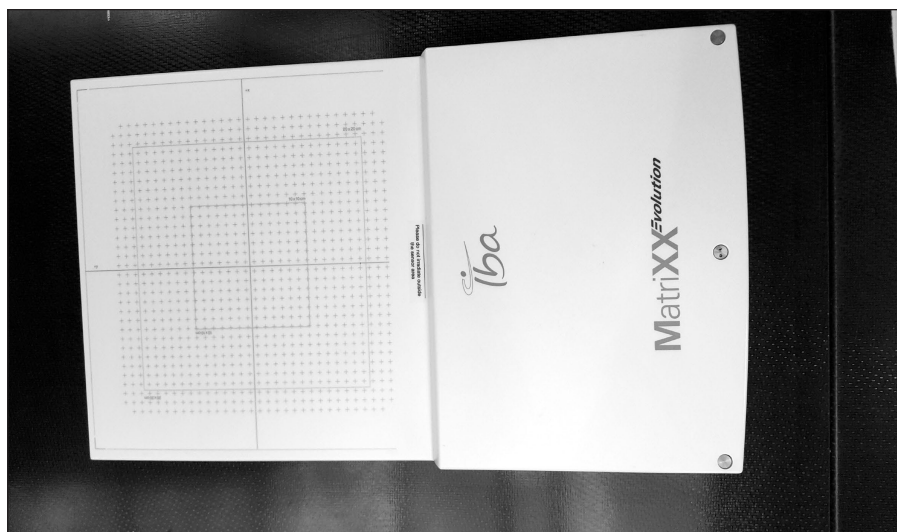
체적변조회전치료기법을 이용한 치료계획에서 선량 제약(Dose constraint)은 미국 방사선치료 암연구단체(RTOG)에서 권고하고 있는 RTOG-0813, RTOG-0915의 방안을 채택하였다.

### 3. Dose Measurement

치료계획상에서 나타난 선량의 분포와 실제 환자에게 전달되는 선량의 일치성을 확인하기 위해서 각 조사면에 대한 실제 측정을 시행하였다. 각 Arc에서 전달되는 선량의 측정을 위하여 2차원 이온전리함 배열(I<sup>1</sup>mRT MatriXX, IBA Dosimetry, Germany)를 사용하였다. 2차원 이온전리함 배열은 2차원 선량분포를 측정하는 장비로 내부에 모서리 부분의 4개를 제외한 총1020개의 이온전리함이 배열되어 있다. 유효면적(Active area)은 24.4×24.4 cm<sup>2</sup>이고, 유효층(Active-layer)은 2차원 이온전리함배열의 표면으로부터 0.3

cm아래에 위치하고 있다. 치료용 테이블에서 발생하는 후방 산란에 대해서 보정하기 위하여 2차원 이온전리함과 치료용 테이블 사이에는 고체형 팬텀을 위치시켰다. 또한, 계산된 선량의 조건과 동일한 기하학적 조건을 구현하기 위하여 고체 팬텀을 2차원 이온전리함 위에 위치시켰고, 선원-표면간거리(Source-to-Surface Distance, SSD)를 100cm로 설치하여 최대선량깊이(Dmax)에 위치한 표적의 이차원적 선량분포를 측정할 수 있도록 하였다.<sup>(18)</sup> [Fig 3,4]

측정에 사용된 선형가속기(Artiste CT Vision, SIEMENSE, GERMANY)는 치료계획에서 생성된 체적변조회전치료기법 정보를 동일하게 사용하였다. 각 환자에서 생성된 치료계획 정보를 2차원 이온전리함 배열에 동일한 조건으로 값을 측정하였다. 2차원 이온전리함배열로 획득한 각각의 Arc의 조사면에 대한 선량 분포는 치료 계획에서 계산된 값과 비교하기 위해 Omni-Pro IMRT(IBA Dosimetry, Germany) 프로그램의 감마지표(Gamma index)분석을 사용하여 실제 측



**Fig 3.** Dose measurement system (I<sup>1</sup>mRT MatriXX, IBA Dosimetry, Germany)

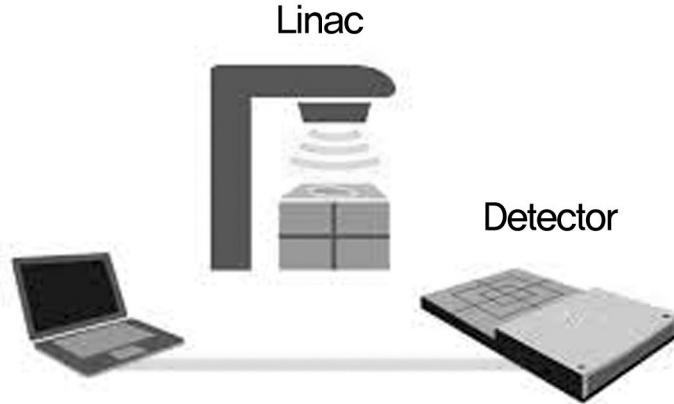
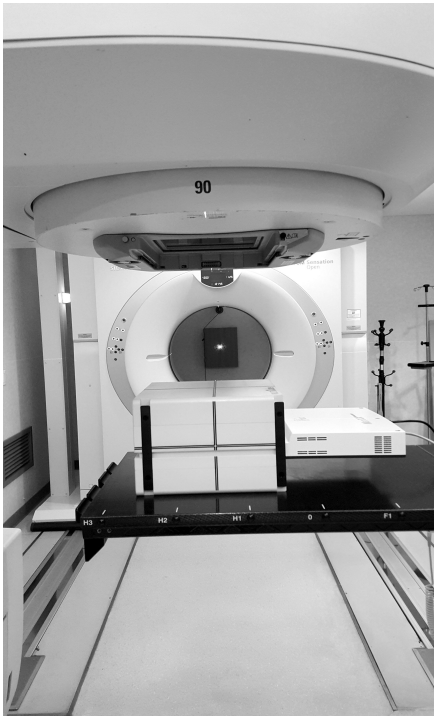


Fig 4. Set up of Dose measurement system

정된 값과 비교 분석하였다. 각 치료 방법의 합격률은 감마 지표3mm/3% 수준으로 설정하여 합격률 및 선량 분포에서 벗어난 값들을 통하여 계산하였다.

쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우 조형 계수(CI)는 6MV, 10MV, 두 에너지를 동시에 사용한 경우 평균 값이 각각 1.4, 1.38, 1.33의 값을 나타내어 6MV와 10MV 보다 1에 가까운 결과가 나타났다. 균질성 지수(HI)의 경우 6MV, 10MV, 두 에너지를 동시에 사용한 경우 평균 값이 각각 1.19, 1.19, 1.17의 값을 나타내어 균질성 지수는 거의 균등한 값이 나타났다. 종양에 분포한 최대선량의 경우 6MV를 사용한 경우 67.23Gy, 10MV를 사용한 경우 67.45Gy, 두 에너지를 동시에 사용한 경우에는 66.19Gy로 약 2% 감소한 값을 나타냈다. [Table. 4, Fig. 5]

## 결 과

### 1. 에너지 종류에 따른 종양 선량의 변화

에너지 종류에 따른 종양 선량의 변화를 평가한 결과 앞

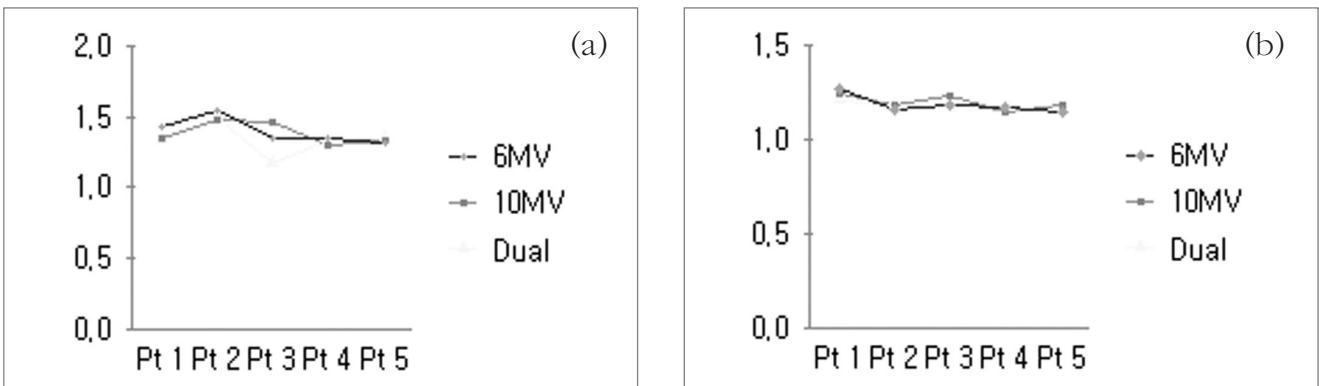


Fig 5. The alternation of dose distribution of tumor depending on energy of tumor that has been grown on anterior chest wall. ((a) is Conformity Index, (b) is Homogeneity Index)

**Table 5.** The alternation of dose index of tumor depending on the energy

	CI			HI			Maximum Dose (Gy)		
	6MV	10MV	Dual	6MV	10MV	Dual	6MV	10MV	Dual
Pt 1	1.26	1.29	1.24	1.15	1.14	1.13	60.95	61.73	60.62
Pt 2	1.63	1.45	1.23	1.21	1.30	1.19	70.19	70.44	68.80
Pt 3	1.33	1.29	1.24	1.17	1.18	1.17	66.31	66.29	66.49
Pt 4	1.21	1.22	1.14	1.16	1.19	1.13	65.62	66.37	65.06
Pt 5	1.25	1.32	1.25	1.17	1.14	1.14	61.63	61.25	61.35

**Table 6.** The average dose distribution of normal organ depending on the energy of tumor that has been grown on anterior chest wall.

	VMAT6	VMAT10	VMATDual
V10(%)	9.5	10.54	11.14
V5(%)	17.14	17.46	18.12
Trachea(cGy)	532.92	571.94	478.92
Heart(cGy)	15.23	10.2	13.57
Spinal Cord(cGy)	212.73	189.43	224.43
Esophagus(cGy)	579.28	577.95	521.63
1 <sup>st</sup> Rib(cGy)	3460.37	3449.37	3342.27
2 <sup>nd</sup> Rib(cGy)	3574.7	3456.6	3405.55
Lung(cGy)	313.05	328.25	324.78

**Table 7.** The average dose distribution of normal organ depending on the energy of tumor that has been grown on posterior chest wall.

	VMAT6	VMAT10	VMATDual
V10(%)	16.03	17.17	14.63
V5(%)	32.37	32.43	30.43
Lung(cGy)	560.77	579.6	548.2
1 <sup>st</sup> Rib(cGy)	3033.07	2964.8	2860.23
2 <sup>nd</sup> Rib(cGy)	3304.1	3351.43	3189.07
3 <sup>rd</sup> Rib(cGy)	3258.3	3211.95	3032.15
4 <sup>th</sup> Rib(cGy)	763.8	870.8	773.4
Spinal Cord(cGy)	757.8	916.8	753.67
Esophagus(cGy)	549.07	505.43	582.63
Heart(cGy)	546.65	533.65	470.45
Trachea(cGy)	31.9	23.95	26.75

뒤쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우 조형 계수에서 6MV, 10MV, 두 에너지를 동시에 사용한 경우 평균 값이 각각 1.34, 1.31, 1.22의 값을 나타내어 6MV와 10MV 보다 1에 가까운 결과가 나타났다. 균질성 지수의 경우 6MV, 10MV, 두 에너지를 동시에 사용한 경우 평균 값이 각각 1.17, 1.19, 1.15의 값을 나타내어 균질성 지수는 균등한 값을 나타냈다. 종양에 분포한 최대선량의 경우 6MV를 사용한 경우 64.94Gy, 10MV를 사용한 경우 65.22Gy, 두 에너지를 동시에 사용한 경우에는 64.46Gy를 나타내어 최대 선량의 세 경우에서 모두 오차 범위 내의 동일한 결과 값을 나타내었다. [Table. 5, Fig. 6]

**2. 에너지에 종류에 따른 정상 조직 선량 비교**

에너지 종류에 따른 정상 조직의 선량 비교 결과 앞 쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우 선량의 분포가 기관지(Trachea), 식도(Esophagus), V10, V5, 인접 갈비뼈(Ribs), 등에서 유의한 결과를 나타냈다. 기관지의 경우 단일 에너지를 이용한 경우보다 두 에너지를 동시에 사용했을 경우 그 값을 약 11%, 17% 정도 감소시킬 수 있었으며, 식도의 경우는 단일 에너지를 사용할 경우 보다 두 에너지를 동시에 사용할 경우 그 값을 10% 정도 감소시킬 수 있었다. V10의 경우 단일 에너지를 이용한 경우보다 두 에너지를 동시에 사용할 경우가 약 1.5%정도 높게 나타났고, V5의 경우는 두 에너지를 동시에 사용할 경우가 약 1%로 거의 비슷한 값을 나타냈다. 인접 갈비뼈의 경우 첫 번째 갈비뼈의 경우는 두 에너지를 동시에 사용할 경우 약 4%정도 선량을 감소시켰으며, 두 번째 갈비뼈의 경우는 6MV를 사용한 경우와 비교했을 때 5% 정도 감소하였으나, 10MV를 사용한 경우는 비슷한 결과를

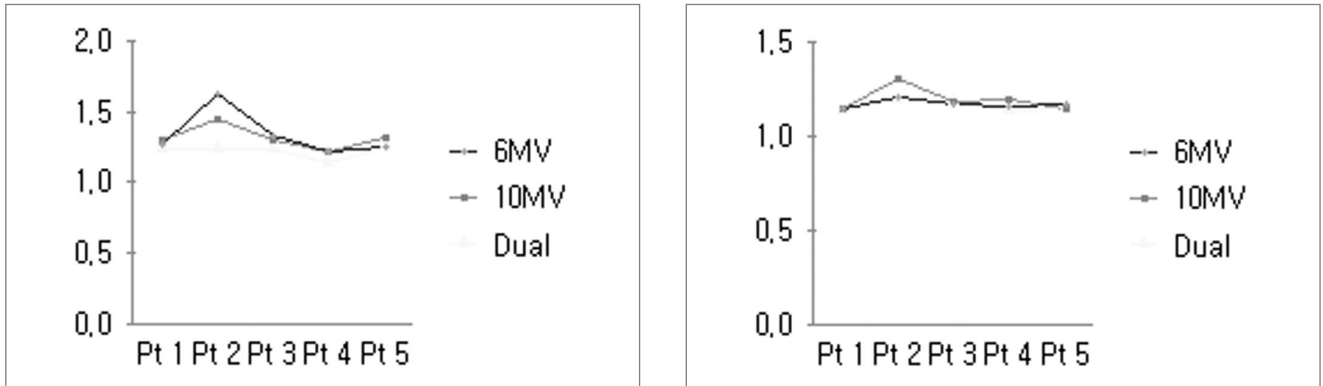


Fig 6. The alternation of dose distribution of tumor depending on energy of tumor that has been grown on posterior chest wall, ((a) is Conformity Index, (b) is Homogeneity Index)



Fig 7. The alternation of average dose of normal organ depending on energy of tumor that has been grown on anterior chest wall,

나타냈다. [Table. 6, Fig. 7,9]

뒤 쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우는 인접한 갈비뼈, 뇌척수, V10, V5에서 변화를 나타냈다. 인접한 갈비뼈 중 첫 번째 갈비뼈의 경우 단일 에너지를 이용한 경우보다 두 에너지를 동시에 사용할 경우가 각각 6%, 4%의 감소를 나타내었다. 두 번째 갈비뼈와 세 번째 갈비뼈는 약 4%의 감소를 나타내었다. 네 번째 갈비뼈의 경우는 10MV를 사용한 경우보다 약 12% 낮게 나타났다. 뇌척수의 경우는 6MV를 사용한 경우와는 비슷한 선량 분포를 나타냈으나 10MV를 사용한 경우보다는 18% 낮은 선량 분포를 나타냈다. V10의 경우는 약 2.5%감소하였고, V5의 경우는 약 2% 감소하였다. [Table. 7, Fig. 8,10]

### 3. 에너지 종류에 따른 선량 평가

Omni-Pro IMRT(IBA Dosimetry, Germany) 프로그램의 감마지표(Gamma index)분석을 이용하여 에너지 종류에 따른 선량의 정확성을 측정된 결과 앞쪽 흉벽에 위치한 종양의 경우 각 환자에 대한 단일에너지와 두 가지 종류의 에너지를 이용한 치료 계획의 선량의 정확성을 측정된 결과 치료계획에서 나타난 지표와 실제 팬텀에 전달된 선량의 지표가 감마지표3mm/3%의 결과에 적합한 값을 나타내었다.[Fig.11]

뒤 쪽 흉벽에 위치한 종양 선량의 정확성을 측정된 결과에서도 치료계획에서 나타난 선량의 분포와 실제 팬텀에 전달된 선량의 지표가 각각 감마지표3mm/3%의 결과에 적합

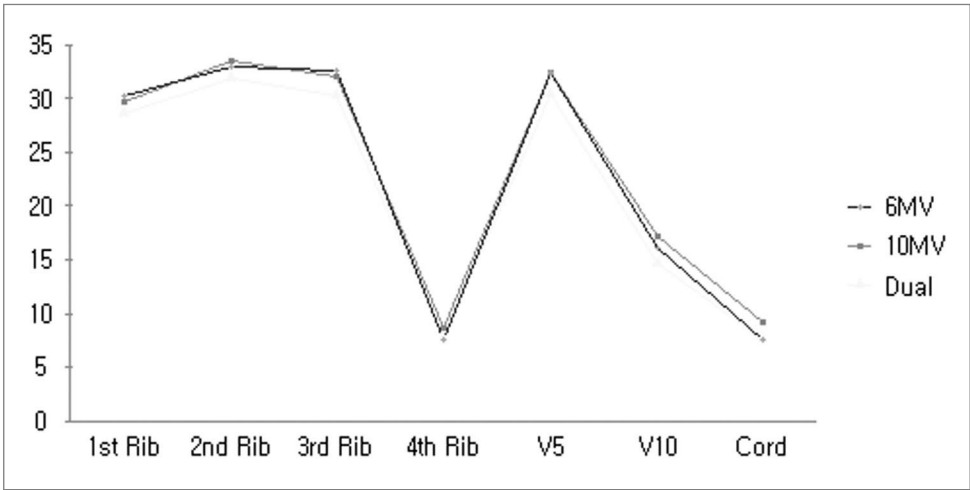


Fig 8. The alternation of average dose of normal organ depending on energy of tumor that has been grown on posterior chest wall.

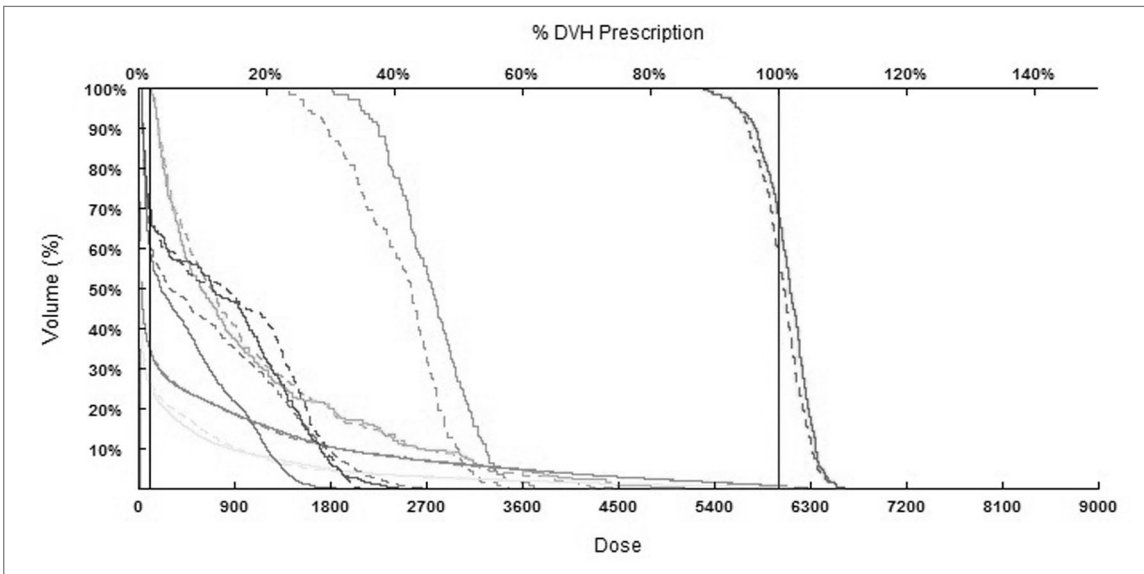


Fig 9. Dose Volume Histogram of anterior chest wall tumor

한 값을 나타내어 치료계획과 실제 팬텀에 전달되는 선량의 정확성이 일치함을 확인할 수 있었다.[Fig. 12]

### 결론

초기 폐암 환자의 방사선 치료에서 정위적 방사선 치료는 상당히 중요한 치료 방법으로 자리매김해왔다. 초기 폐암 환자의 경우 종양의 크기는 3cm 미만으로 다른 임파선에

전이 없이 최초 발생 지역에만 국한된 특징을 지니고 있다. 이러한 종양을 수술적 요법으로 제거하게 된다면 환자에게 나타날 수 있는 부작용이 상당히 높기에 수술적 요법을 거부하는 환자들이 과거에 비해 늘어나게 되었다. 방사선 치료의 경우 정위적 방사선치료를 적용하게 된다면 수술적 요법과 달리 넓은 부분에 대한 회복이 필요하지 않으며 전신마취에 대한 부작용도 줄일 수 있다. 또한 치료의 결과적인 부분에 대해서도 수술적 요법과 비교하였을 때 동등한 수준을 보이고 있으며, 타 장기에 대한 부작용 역시 상당



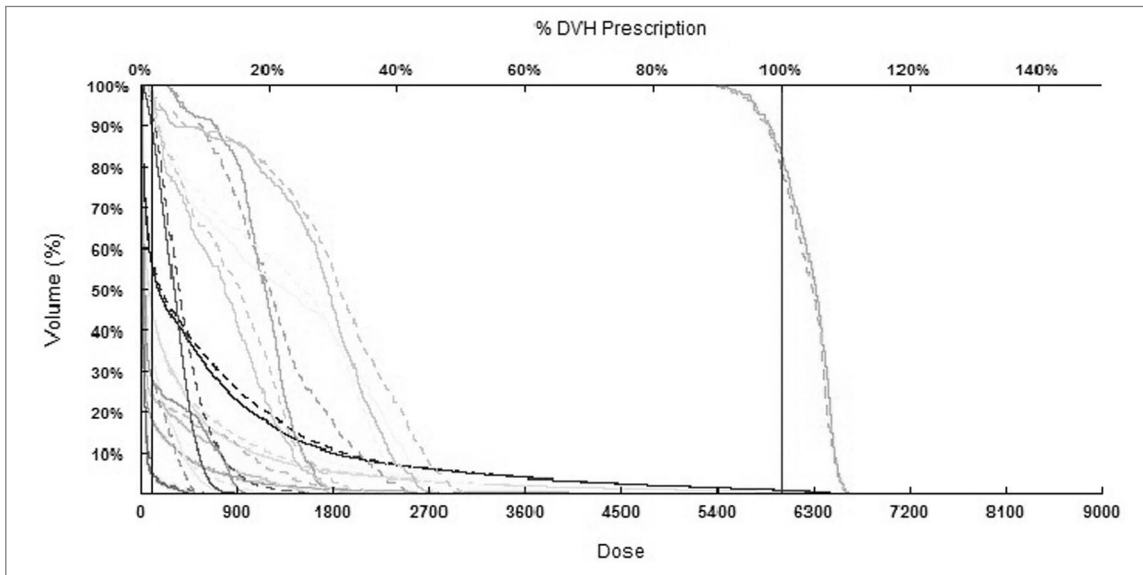


Fig 10. Dose Volume Histogram of posterior chest wall tumor

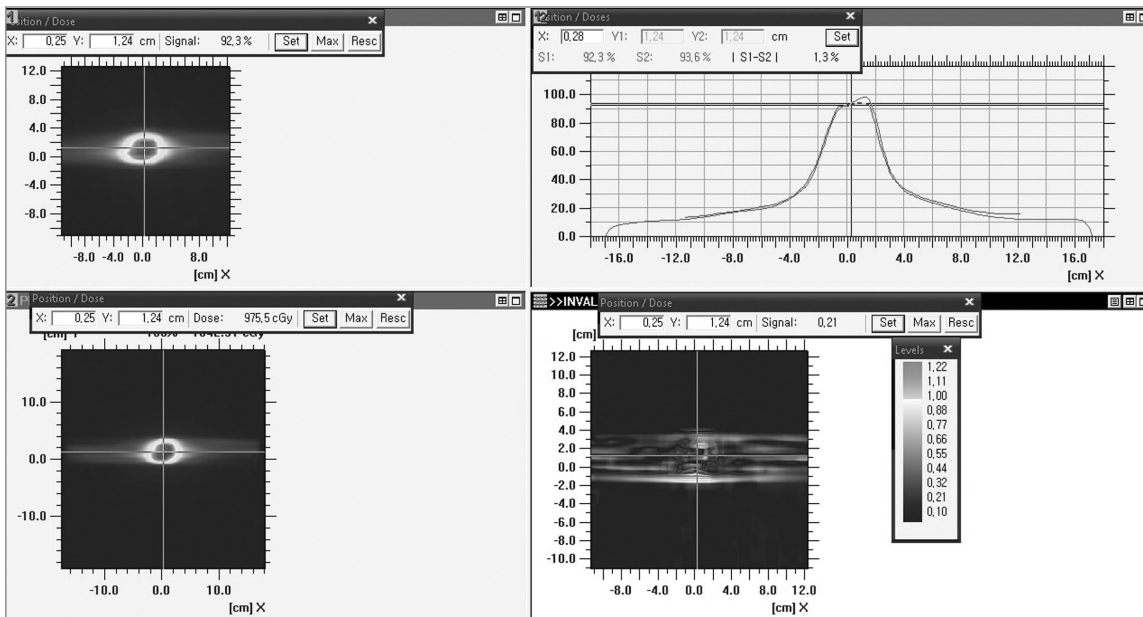


Fig 11. The result of Gamma index depending on energy of tumor that has been grown on anterior chest wall.

히 줄어드는 결과를 보이고 있다. 현재에는 이러한 결과 값을 바탕으로 초기 폐암 환자의 경우 수술적 요법 보다는 정위적 방사선치료 방법을 권고하는 경우가 늘어나고 있다.

폐암의 경우는 종양의 발생위치에 따라서 상당한 선량 분포의 변화를 나타낼 수 있다. 이는 폐가 지니고 있는 조직적인 특성에 기인한다. 타 장기의 경우 연부조직으로 이루어진 반면에 폐암의 경우는 공기를 함유한 조직으로 구성되어 있어 타 장기와 다른 선량 분포의 형상을 나타내고 있다. 이

는 타 장기에서 발생하는 선량의 감약이 폐 조직에서는 공기의 함유로 인하여 발생되지 않는다는 특징을 나타낸다. 이에 따라 다양한 치료계획 장치에서는 공기를 함유한 경우에 나타날 수 있는 선량분포의 정확성을 나타내기 위해서 다양한 알고리즘을 개발하고 적용하고 있다.

본 연구에서는 동일한 알고리즘을 적용한 치료계획 장치에서 종양의 위치에 따른 선량 분포의 변화를 연구하고자 하였다. 폐 조직에서 발생하는 종양의 경우는 흉벽의 앞쪽

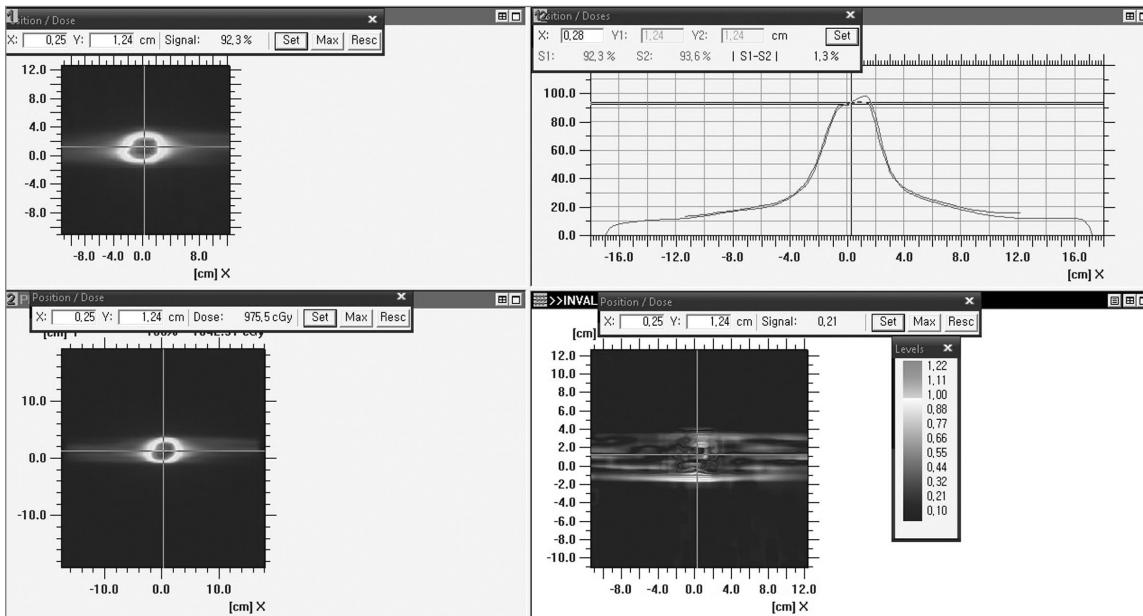


Fig 12. The result of Gamma index depending on energy of tumor that has been grown on posterior chest wall.

에 위치하는 경우와 중심에 위치하는 경우, 등쪽에 위치하는 경우 등 다양한 부위에서 발생하게 된다. 이 중 앞쪽 흉벽에서 또는 등쪽에서 발생되는 종양의 경우는 폐의 중심부에서 발생하는 종양과 달리 해부학적으로 얇은 부위에 위치하게 된다. 현재 폐암의 정위적 치료 방법의 경우 단일 에너지를 이용한 치료 계획이 보편적으로 이루어진다. 이는 종양의 심부성에 따라서 고에너지를 이용한 치료계획이 정상장기에 대한 선량분포와 종양 조직에 대한 선량분포가 중에너지를 이용한 치료계획보다 유용하다는 판단에서 이루어지고 있다. 그러나 표면에 위치한 종양의 경우는 중에너지를 이용하였을 경우에 종양에 대한 선량 분포의 이점을 이용할 수 있다. 이에 따라 단일 에너지를 이용한 치료 계획과 고에너지와 중에너지를 동시에 이용한 치료계획을 비교하여 임상적으로 치료의 유용성을 비교하고자 하였다.

두 치료계획을 비교 분석한 결과 종양 축 선량 분포의 변화 요인에서는 조형계수의 경우는 앞 쪽 흉벽과 뒤 쪽에 위치한 경우에서 각각 고에너지를 이용한 치료계획과 중에너지를 이용한 경우 보다 1에 근접한 결과를 나타내어 조형계수가 보다 양호하다는 결과를 나타냈다. 균질성 지수의 경우는 앞쪽 흉벽과 등쪽에서 1% 이내의 오차 범위내의 결과 값을 나타내어 모두 균등한 값을 나타내었다. 최대선량의 경우는 앞쪽 흉벽의 경우 중에너지를 이용한 치료 계획보다 약 2% 감소하는 값을 나타냈고, 등쪽 흉벽의 경우에는 1%

이내의 변화를 보여 3가지 경우 모두 최대선량 부분에서는 큰 차이가 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

정상 장기의 선량 분포를 비교하였을 때 앞쪽 흉벽에 위치한 종양에서는 기관지와 식도의 경우는 약 10%의 선량 감소가 나타났으며, 인접한 갈비뼈(Rib)에서는 비슷하거나 3~5%의 선량 감소가 나타났다. 또한, 뒤쪽에 위치한 종양의 경우 뇌척수의 경우 고에너지에서 약 18%의 선량감소가 나타났고, 인접한 갈비뼈의 경우 선량 분포의 변화가 4~12%의 감소를 나타내었다.

선량 측정의 경우 고에너지와 중에너지를 이용한 치료계획과 두 에너지를 동시에 사용한 경우에서 선량의 본포도가 기준치인 감마지표3mm/3%의 경우에 부합되어 모두 치료에 있어서는 유효하다는 결과를 나타내었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 초기 폐암의 정위적 방사선치료 기법에 대한 단일 에너지를 이용한 치료 계획과 두 에너지를 동시에 사용한 치료계획의 분석 결과 종양 조직에서 나타나는 각 지수의 변화는 약간의 변화된 수치를 나타내거나 비슷한 결과를 보였다. 정상 조직의 선량 분포에서는 두 에너지를 이용한 경우가 보다 양호한 결과를 나타내는 것을 보아 두에너지를 동시에 사용한 치료 계획이 환자 치료에 좀 더 유용하다고 판단된다. 이는 모든 초기 폐암의 환자에게 적용할 수는 없지만 종양의 위치가 폐의 중심부에 위치하지 않고 앞쪽 흉벽과 뒤 쪽에 위치한 종양의 위치가 표면

쪽에 위치한 종양의 경우에서 보다 유용하다는 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 전반적인 선량 분포의 분석 결과 단일 에너지를 이용한 치료계획과 두 에너지를 동시에 사용한 치료계획에서는 두 에너지를 이용한 치료계획에서 고에너지와 중에너지를 사용했을 때의 장점을 동시에 구현할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 실제 종양의 주변에 위치한 정상 조직의 선량 분포는 중에너지를 사용했을 경우의 값과 비슷한 선량 분포를 나타내었으며, 심부에서 나타나는 선량 분포의 경우는 고에너지의 선량 분포의 장점을 구현할 수 있는 특징을 볼 수 있었다. 이는 각 에너지에 대한 선량 분포의 장점을 두 에너지를 이용한 치료계획에서 구현할 수 있다는 새로운 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 따라서 표피에 위치한 종양의 경우 기존의 단일 에너지를 이용한 치료계획 보다는 두 에너지를 이용한 치료계획에서 종양 측 인자의 변화보다는 정상 조직에 대한 인자의 우수성을 확인할 수 있었다.

그러나 본 논문의 경우는 하나의 치료계획에서 구현되는 알고리즘을 사용하였기에 다양한 알고리즘에서 나타나는 변화를 관찰하기에는 부족함이 있었다. 또한 실험을 진행하는 중 고에너지와 중에너지, 두 에너지를 동시에 사용하는 경우에 대한 최적화 과정에서 동일한 조사야를 구현할 수 없었기에 고에너지가 중에너지, 두 에너지를 동시에 사용한 경우보다 높은 기계적선량단위(Monitor Unit)를 나타냄을 알 수 있었다. 향후 본 연구에서 재현하지 못했던 동일 환자에 대한 다양한 알고리즘을 통하여 단일 에너지를 이용한 치료계획과 두 에너지를 동시에 사용한 경우의 치료계획을 분석하고, 동일한 조사야를 통한 최적화 과정을 통해서 보여지는 기계적선량단위(Monitor Unit)의 변화 요인을 관찰하여 연구를 진행한다면 표재성에 위치하는 초기 폐암 환자의 정위적 방사선치료 요법에서 보다 다양한 결과 값을 도출하여 임상적으로 유용한 치료계획 및 방법을 적용할 수 있을 것이라 사료된다.

### 참고문헌

1. Uematsu M, Shioda A, Suda A, Fukui T, Ozeki Y, Wong JR, Kusano S. Computed tomography-guided frameless stereotactic radiotherapy for stage I non-small-cell lung cancer: a 5-year experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 51: 666-670.
2. Nagata Y, Negoro Y, Aoki T, Mizowaki T, Takayama K, Kokubo M, Araki N, Mitsumori M, Sasai K, Shibamoto Y, Koga S, Yano S, Hiraoka M. Clinical outcomes of 3D conformal hypofractionated single high-dose radiotherapy for one or two lung tumors using a stereotactic body frame. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002; 52: 1041-1046.
3. Hara R, Itami J, Kondo T, Aruga T, Abe Y, Ito M, Fuse M, Shinohara D, Nagaoka T, Kobiki T. Stereotactic single high dose irradiation of lung tumors under respiratory gating. *Radiother Oncol* 2002; 63: 159-163.
4. Onishi H, Araki T, Shirato H, Nagata Y, Hiraoka M, Gomi K, Yamashita T, Niibe Y, Karasawa K, Hayakawa K, Takai Y, Kimura T, Hirokawa Y, Takeda A, Ouchi A, Hareyama M, Kokubo M, Hara R, Itami J, Yamada K. Stereotactic hypofractionated high-dose irradiation for stage I non-small cell lung carcinoma: clinical outcomes in 245 subjects in a Japanese multiinstitutional study. *Cancer*. 2004; 101: 1623-1631.
5. Lee SW, Choi EK, Park HJ, Ahn SD, Kim JH, Kim KJ, Yoon SM, Kim YS, Yi BY. Stereotactic body frame based fractionated radiosurgery on consecutive days for primary or metastatic tumors in the lung. *Lung Cancer* 2003; 40: 309-315.
6. Hiraoka M, Matsuo Y, Nagata Y. Stereotactic body radiation therapy (SBRT) for early-stage lung cancer. *Cancer/Radiation Therapy* 11 (2007) 32-35
7. Onishi H, Shirato H, Nagata Y, Hiraoka M, Fujino M, Gomi K, Karasawa K, Hayakawa K, Niibe Y, Takai Y, Kimura T, Takeda A, Ouchi A, Hareyama M, Kokubo M, Kozuka T, Arimoto T, Hara R, Itami J, Araki T. Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) for Operable Stage I Non-Small-Cell Lung Cancer: Can SBRT Be Comparable to Surgery? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011; December 1, 2011;81:1352-1358

8. Nesbitt JC, Putnam JB Jr, Walsh GL, Roth JA, Mountain CF. Survival in early stage non-small cell lung cancer. *Ann Thorac Surg* 1995; 60: 466 - 472.
9. Fry WA, Menck HR, Winchester DP. The National cancer data base report on lung cancer. *Cancer* 1996; 77: 1947- 1955.
10. Wingo PA, Tong T, Bolden S. Cancer statistics, 1995. *CA Cancer J Clin* 1995; 45: 8 - 30.
11. Nakagawa K, Aoki Y, Tago M, Terahara A, Ohtomo K. Megavoltage CT-assisted stereotactic radiosurgery for thoracic tumors: original research in the treatment of thoracic neoplasms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000; 48: 449 - 457.
12. Hof H, Herfarth KK, Munter M, Hoess A, Motsch J, Wannemacher M, Debus JJ. Stereotactic single dose radiotherapy of stage I non-small-cell lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003; 56: 335 - 341.
13. Ryan B, Gang H, Siriporn S, MaryLou D, Carolyn T, Craig WS, Thomas JD, Clinical and Dosimetric Predictors of Radiation Pneumonitis in a Large Series of Patients Treated With Stereotactic Body Radiation Therapy to the Lung *Int J Radiation Oncol Biol Phys*, Vol. 85, No. 1, pp. 190e195, 2013
14. Voroney, JPJ. Hope, A, Dahele, MR. Purdy, T Franks, KN. Pearson, S, Cho, JB. C., Sun, A Payne, DG. Bissonnette, JP, Bezjak, A Brade, AM, Chest Wall Pain and Rib Fracture after Stereotactic Radiotherapy for Peripheral Non-small Cell Lung Cancer *Journal of Thoracic Oncology*: August 2009 - Volume 4 - Issue 8 - pp 1035-1037
15. Neal ED, Jing C, Gregory B,B, Wensha Y, Stanley HB, Ke S, Tracy ES, Brain DK, James ML, CHEST WALL VOLUME RECEIVING >30 GY PREDICTS RISK OF SEVERE PAIN AND/ OR RIB FRACTURE AFTER LUNG STEREOTACTIC BODY RADIOTHERAPY *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, Vol. 76, No. 3, pp. 796-801, 2010
16. DAVID A., SENAN S, CORNELIS J. HAASBEEK A, WILKO F., VERBAKEL R, VINCENT A, RADIOLOGICAL AND CLINICAL PNEUMONITIS AFTER STEREOTACTIC LUNG RADIOTHERAPY: A MATCHED ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL CONFORMAL AND VOLUMETRIC-MODULATED ARC THERAPY TECHNIQUES *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, Vol. 80, No. 2, pp. 506-513, 2011
17. Weyh A, Konski A, Nalichowsk A, Maier J, Lack D Lung SBRT: dosimetric and delivery comparison of RapidArc, TomoTherapy, and IMRT *JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS*, VOLUME 14, NUMBER 4, 2013
18. IBA Dosimetry: IMRT MatriXX: The new standard in 2D IMRT pre-treatment verification. <http://www.iba-dosimetry.com>

---

Abstract

## Evaluation of useful treatment which uses dual-energy when curing lung-cancer patient with stereotactic body radiation therapy

Department of Radiation Oncology, Catholic University Seoul St Mary' s hospital, Seoul, Korea  
Department of Radiation Oncology, Catholic University Uijeongbu St Mary' s hospital, Uijeongbu, Korea  
Department of Radiologic Technology, Daegu Health College, Daegu, Korea

Jang Hyeong Jun, Lee Yeong Gyu, Kim Yeong Jae, Park Yeong Gyu

---

**Purpose** : This study will evaluate the clinical utility by applying clinical schematic that uses monoenergy or dual energy as according to the location of tumors to the stereotactic radiotherapy to compare the change in actual dose given to the real tumor and the dose that locates adjacent to the tumor.

**Materials and Methods** : CT images from a total of 10 patients were obtained and the clinical planning were planned based on the volumetric modulated arc therapy on monoenergy and dual energy. To analyze the change factor in the tumor, Conformity Index(CI) and Homogeneity Index(HI) and maximum dose quantity were each calculated and comparing the dose distribution on normal tissues,  $V_{10}$  and  $V_5$ , first ~ fourth ribs closest to the tumor (1<sup>st</sup> ~ 4<sup>th</sup> Rib), Spinal Cord, Esophagus and Trachea were selected. Also, in order to confirm the accuracy on which the planned dose distribution is really measured, the 2-dimensional ion chamber array was used to measure the dose distribution.

**Results** : As of the tumor factor, CI and HI showed a number close to 1 when the two energies were used. As of the maximum dose, the front chest wall showed 2% and the dorsal tumor showed equivalent value. As of normal tissue, the front chest wall tumors were reduced by 4%, 5% when both energies were used in the adjacent rib and as of trachea, reduced by 11%, 17%. As of the dose in the lung, as of  $V_{10}$ , it reduced by 1.5%,  $V_5$  by 1%. As of the rear chest wall, when both energies were used, the ribs adjacent to the tumors showed 6%, 1%, 4%, 12% reduction, and in the lung dose distribution,  $V_{10}$  reduced by 3%, and  $V_5$  reduced by 3.1%. The dose measurement in all energies were in accordance to the results of Gamma Index 3mm/3%.

**Conclusion** : It is considered that rather than using monoenergy, utilizing double energy in the clinical setting can be more effectively applied to the superficial tumors.

---

**Keyword** : Stereotatic radiotherapy(SBRT), volumetric modulated arc therapy(VMAT), Lung cancer, Dual energy