

세기조절방사선치료 시 치료 부위에 따른 치료계획 시스템 간 선량평가

삼성서울병원 방사선종양학과

김진만 · 김종식 · 홍채선 · 박주영 · 박수연 · 주상규

목적: 본 연구는 치료계획 시스템인 Pinnacle³ (version 9.2, Philips Medical Systems, USA)과 Eclipse (version 10.0, Varian Medical Systems, USA)을 이용하여 전립선암과 폐암의 세기조절방사선 치료계획시 불균질 부위의 선량 계산 차이를 알고리즘별로 알아보려고 한다.

대상 및 방법: 각 5명의 전립선암 및 폐암 환자를 대상으로, 본원 Protocol에 따른 동일한 조건으로 최적화 계산을 진행하였다. 전립선암 환자의 치료계획은 10 MV, 7Beam을 사용하였으며 2.5 Gy씩 28 fx, 총 70 Gy를 동일 처방하였고, 폐암 환자의 치료계획은 6 MV, 6Beam을 사용하였으며 2 Gy씩 33 fx, 총 66 Gy를 동일 처방하였다. 두 치료계획시스템을 통해 CTV, PTV 및 종양주위의 OAR의 최대선량, 평균선량, 최소선량을 비교하였다.

결과: 전립선암에서 두 치료계획시스템 모두 CTV와 PTV의 선량변화가 2%이내였으며 종양주변 정상 장기(방광, 대퇴골, 직장)도 선량제약조건을 충족하였다. 폐암에서도 CTV와 PTV는 2%이내의 선량변화를 보였고, 정상 장기(식도, 척수, 양측 폐)도 선량제약 조건을 충족하였다. 하지만, Eclipse 치료계획의 최소선량은 CTV에서 1.9%, PTV에서 3.5% 높았고 양측 폐의 경우 V5 Gy에서 3.0% 높은 차이를 보였다.

결론: 치료부위에 따른 각각의 치료계획시스템은 본원의 선량제한 조건을 모두 만족하여 임상적 정확성을 확인할 수 있었다. 향후 다양한 부위의 치료계획 연구와 치료계획시스템의 적용은 보다 정확한 치료계획을 위한 방법을 제시할 것이라 사료된다.

핵심용어: 치료계획 시스템, 세기조절방사선치료, 알고리즘, 불균질도

서 론

방사선치료에 있어서 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT) 기술의 발달은 종양조직에 고 선량을 집중하고 주위 정상조직의 선량을 최소화 할 수 있게 한다.^{1,2)} 특히, 두경부암이나 전립선암은 종양과 주변 정상조직의 기하학적 관계로 인한 선량 전달의 어려움이 있어 세기조절방사선치료의 적용은 필수적이다.

이러한 세기조절방사선치료를 위해 가장 중요한 측면은 치료부위에 따른 정확한 치료선량계산이며 최근의 치료계획 시스템은 병변의 위치에 따른 불균질에 대한 정확한 치료선량을 계산할 수 있도록 다양한 선량계산 알고리즘이 탑재되어 있다.

하지만 폐와 뼈와 같은 불균질한 조직으로 이루어진 부분에서는 전자전달의 부족 때문에 부정확한 선량계산을 보이

기도 하며³⁾ 사용하는 알고리즘에 따라 선량분포의 불확실성도 존재한다. Scholz 등은 알고리즘에 따른 선량계산을 통해 폐 부위와 두경부 부위에 있어서 8%와 1.5% 선량차이가 나타난다고 보고하기도 하였다.⁴⁾

이에 본 저자는 치료부위에 따라 달라지는 밀도가 치료계획시스템에서 치료선량에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 본원에서 사용하고 있는 치료계획시스템을 통해 알아보려고 한다. 본원에서 사용하고 있는 치료계획시스템은 Pinnacle³ (version 9.2, Philips Medical System, USA)이며 Adaptive Convolve알고리즘을 이용하여 3차원 scatter integration을 반영할 수 있으며 최근에 도입된 Eclipse (version 10.0, Varian Medical Systems, USA)은 AAA (Analytical anisotropic algorithm)모델을 이용하여 광자선 및 산란에 의한 2차선 그리고 불균질 매질에 대한 영향을 고려함으로써 PBC (Pencil Beam Convolution) 알고리즘 보다 정확한 선량계산을 제공한다고 알려져 있다.

본 연구를 통해 세기조절방사선치료계획에서 밀도에 따른 두 치료계획시스템 간의 선량계산 차이를 알아보려고 균질한 밀도영역으로 이루어진 전립선암부위 환자와 상대적으로

이 논문은 2012년 6월 19일 접수하여 2013년 2월 15일 채택되었음.
책임저자 : 김종식, 삼성서울병원 방사선종양학과
Tel: 02)3410-2657, Fax: 02)3410-2619
E-mail: js0704.kim@samsung.com

불균질한 밀도영역으로 이루어진 폐암환자를 대상으로 동일한 선량제한조건으로 선량최적화를 실시하여 종양부위와 종양주위의 손상위험장기에 대하여 전체적인 선량의 차이를 정량적으로 평가 및 분석하고자 한다.

대상 및 방법

1. 환자 선정 및 치료계획 수립

세기조절방사선치료계획에 있어 치료계획시스템에 따른 선량학적 결과 비교를 위해서 Pinnacle³ (version 9.2, Philips Medical System)과 Eclipse (version 10.0 Varian Medical System, USA)을 이용하였다. 연구 대상의 설정은 종양의 위치에 따른 선량학적 비교를 위해서 상대적으로 균등한 밀도 영역에 종양이 있는 전립선암 환자 5명과 폐와 같이 저밀도 영역에 종양부위가 있는 환자 5명으로 나누어 선정하였다. 이러한 부위의 설정은 상이한 밀도에서 선량계산의 차이를 비교하기 위함이다.

본 연구의 대상인 전립선암 환자의 치료계획표적용적(Planning Target Volume), 임상표적체적(Clinical Target Volume) 및 중요 장기의 설정과 치료계획에 사용된 선량 제한치는 본원에서 사용 중인 Definitive Radiotherapy 치료기준을 따랐다(Table 1). 5명 환자의 PTV와 CTV의 평균 부피는 77.22 cc, 36.15 cc이며 선량계획으로 2.5 Gy씩 28회, 총 70 Gy으로 하였으며 OAR은 좌우 대퇴골두와 직장의 외막을 고려하였다. 치료계획은 10 MV, 7Beam (260°, 290°, 320°, 0°, 35°, 65°, 100°)으로 하였다. 전립선암 환자의 경우 전립선 고정을 위해 자체제작한 prostate용 rectal balloon을 적용하였으

며 치료계획에 직장용 풍선이 선량계산에는 영향을 주지 않도록 하기위해 치료계획에서 빔 각도를 조정하였다.

폐암 환자의 PTV와 CTV 및 중요 장기의 설정과 치료계획에 사용된 선량 제한치는 본원에서 사용 중인 Definitive CCRT. 치료기준을 따랐다(Table 2). 5명 환자의 PTV와 CTV의 평균 부피는 390.3 cc, 182.2 cc이며 선량계획인 2.0 Gy씩 33F회, 총 66 Gy으로 하였다. 치료계획은 6 MV, 6Beam (330°, 0°, 30°, 60°, 145°, 180°)으로 하였다. 각 연구대상 별로 표적 및 중요장기의 선량 제한치를 동일하게 적용하여 Pinnacle과 Eclipse에서 각각 선량을 최적화하였다.

2. 치료계획 분석

두 치료계획시스템의 정량적 비교는 Dose-Volume Histogram을 통해서 얻어진 종양부위인 PTV, CTV의 최대선량, 최소선량, 평균선량과 종양부위의 주위의 중요장기인 OAR의 최대선량, 최소선량, 평균선량을 구하여 각 치료계획시스템의 최적화 결과를 비교하였다.

결 과

전립선암의 세기조절방사선치료계획 결과를 보면 Pinnacle과 Eclipse의 선량계산 결과에서 전립선 주위의 주요 장기인 방광, 대퇴골두, 직장벽 모두 선량제약조건을 충족하였다. 그 중 직장벽의 V₂₅는 Pinnacle 29.1%, Eclipse 37.5%로 나타나 Eclipse에서 8.4% 높게 나타났다. 또한, PTV와 CTV의 최대선량과 평균선량은 2% 내외의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, CTV 최소선량은 Pinnacle에서 1.8% 이상 나타났으며, PTV 최소선량은 Eclipse에서 1.6% 이상 높게 계산되었다(Table 3).

Table 1. Target and normal organ constraints for prostate IMRT planning

Structure	Constraints types	Constraints goal (Gy)
CTV	Max dose	<74.9
	Min dose	>66.5
PTV	Max dose	<74.2
	Min dose	>63
Bladder	Max DVH	V60 Gy<25 (%)
	Max DVH	V35 Gy<50 (%)
RT femur	Max dose	<50
	Max DVH	V45 Gy<10%
LT femur	Max dose	<50
	Max DVH	V45 Gy<10%
Rectum out	Dmax (Gy)	<74
	Max DVH	V70 Gy<7 (%)
	Max DVH	V50 Gy<20 (%)
	Max DVH	V25 Gy<50%

Table 2. Target and normal organ constraints for lung IMRT planning

Structure	Constraints types	Constraints goal (Gy)
CTV	Max dose	<70.6
	Min dose	>62.7
PTV	Max dose	<69.9
	Min dose	>59.4
Esophagus	Max dose	<68
Spinal cord	Max DVH	V60 Gy<10%
Both lung	Max DVH	V30 Gy<50%
	Max dose	<50
	Max DVH	V30 Gy<20 (%)
	Max DVH	V20 Gy<30 (%)
	Max DVH	V5 Gy<50 (%)

Table 3. Quantitative analysis of the dose difference analysis to the difference in the RTPs for the planning target volume and clinical organs, such as femur and rectum out in the 5 patient with prostate cancer

Structure	Parameter	Pinnacle		Eclipse		Pinnacle - Eclipse	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
CTV	Dmax (%)	107.1	0.7	106.2	0.8	0.9	-0.1
	Dmin (%)	97.3	2.2	95.5	2.4	1.8	-0.2
	Dmean (%)	102.1	0.1	102.2	0.1	-0.1	0
PTV	Dmax (%)	107.5	1.1	106.4	1.3	1.1	-0.2
	Dmin (%)	91.5	2.5	93.1	2.7	-1.6	-0.2
	Dmean (%)	102.1	0.5	102.3	0.3	-0.2	0.2
Bladder	V60 Gy (%)	19.2	3.1	20.0	3.5	-0.8	-0.4
	V35 Gy (%)	41.6	5.7	43.0	5.5	-1.4	0.2
RT femur	Dmax (Gy)	40.0	4.3	41.2	4.7	-1.2	0.4
LT femur	Dmax (Gy)	38.4	5.0	41.4	4.0	-3.0	1.0
Rectum out	Dmax (Gy)	73.2	1.1	71.9	1.5	1.3	-0.4
	V70 Gy (%)	4.1	0.5	2.4	1.2	1.7	-0.7
	V50 Gy (%)	15.0	3.2	16.3	4.1	-1.3	-0.9
	V25 Gy (%)	29.1	4.0	37.5	5.5	-8.4	-1.5

Table 4. Quantitative analysis of the dose difference analysis to the difference in the RTPs for the planning target volume and clinical organs, such as both lung, esophagus and spinal cord in the 5 patient with lung cancer

Structure	Parameter	Pinnacle		Eclipse		Pinnacle - Eclipse	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
CTV	Dmax (%)	108.2	1.3	107.6	1.5	0.6	-0.2
	Dmin (%)	88.0	3.5	89.9	2.7	-1.9	0.8
	Dmean (%)	101.9	1.0	101.2	1.2	0.7	-0.2
PTV	Dmax (%)	109	2.5	107.8	2.7	1.2	-0.2
	Dmin (%)	55.8	4.7	59.3	4.3	-3.5	0.4
	Dmean (%)	98.0	2.0	98.5	1.8	-0.5	0.2
Esophagus	Dmean (Gy)	30.3	4.9	32.2	4.8	-1.9	0.1
Spinal cord	Dmax (Gy)	47.1	0.9	46.1	0.7	1.0	0.2
Both lung	Dmean (Gy)	15.0	2.7	15.8	3.0	-0.8	-0.3
	V30 Gy (%)	18.8	12.8	19.9	13.2	-1.1	-0.4
	V20 Gy (%)	28.6	10.1	29.7	10.5	-1.1	-0.4
	V5 Gy (%)	54.2	4.5	57.2	4.7	-3.0	-0.2

폐암의 치료계획 결과를 보면 Pinnacle과 Eclipse의 선량계산 결과에서 폐암 주위의 주요 장기인 식도, 척수, 양측 폐 모두 선량제약조건을 충족하였다. 양측 폐의 V_{5Gy}는 Pinnacle 54.2%, Eclipse 57.2%로 Eclipse에서 3% 높게 나타났다. 또한, PTV와 CTV는 최대선량과 평균선량에서 1% 내외의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, CTV 최소선량이 Eclipse에서 1.9% 높게 나타났으며, PTV 최소선량 부분에서도 Eclipse에서 3.5% 높게 나타났다(Table 4). 치료계획의 평균 총 MU와 빔 조합수를 보면 전립선암의 경우, Pinnacle은 596 MU, 51 segments이며, Eclipse은 441 MU, 69 segments로 계

산되었고, 폐암의 경우 Pinnacle은 562 MU, 88.2 segments이며 Eclipse은 713 MU, 87.2 segments으로 계산되었다(Table 5).

고안 및 결론

본 논문은 치료계획시스템에서 밀도에 따른 선량계산 차이를 알아보고자 동일 선량제한조건으로 Pinnacle과 Eclipse에서 각각 세기조절방사선치료계획 최적화를 실시하였다. 동일조건하에 PBC알고리즘과 Superposition알고리즘, 그리고

Table 5. Comparison of MU and segments for treatment planning

	Prostate plan				Lung plan			
	Pinnacle		Eclipse		Pinnacle		Eclipse	
	MU	Segment	MU	Segment	MU	Segment	MU	Segment
1	602	49	442	70	582	88	681	87
2	732	50	470	69	644	84	708	103
3	569	50	424	67	562	90	819	104
4	582	45	429	68	481	89	706	103
5	496	61	441	71	541	90	651	89
Average	596.2	51	441.2	69	562	88.2	713	87.2

Monte Carlo알고리즘 비교 실험을 한 보고에 의하면, 실측에 비해 PBC알고리즘의 경우 12% 높게 측정되었다고 하며, 또, 다른 실험인 부위별 최적화에 따른 PBC알고리즘과 Superposition알고리즘 비교 실험에서는, 폐부위에서 두 알고리즘이 8%의 차이가 측정되었고, 두경부 부위에서는 1.5%의 차이가 난다고 보고하고 있다.⁵⁻⁸⁾

세기조절방사선치료계획에 대하여 Eclipse에서 사용하는 PBC알고리즘과 AAA알고리즘을 이용하여 비교했을 때, 전립선 및 두경부 부위에 대해서는 큰 차이를 보이지 않았으나 폐 부위에서는 불균질 밀도때문에 AAA알고리즘을 권장을 하며⁹⁾ 또 최근의 연구 결과에서는 폐의 경우 밀도가 낮은 불균질의 병변에 대하여 측면 전자평형 조건의 고려 여부에 따른 선량계산값의 차이로 가장 적합한 치료계획 알고리즘으로 convolution/superposition이라고 보고하고 있다.¹⁰⁾

본 논문에서 진행한 선량계산 결과를 보면 상대적으로 균등한 밀도영역으로 이루어진 전립선암의 치료계획에는 OAR과 Target 모두 2% 내외의 유사한 선량결과를 나타냈지만, Eclipse에서는 직장 벽의 V₂₅ 부분에서 8.4%, PTV 최소선량이 1.6% 높게 계산되었다. 저밀도 부근의 중앙부위가 있는 폐암의 치료계획에서도 OAR과 Target 모두 2% 내외의 유사한 선량결과를 나타냈지만, Eclipse에서는 양측 폐의 V₅가 3.0%와 PTV 최소선량이 3.5% 높게 나타났다. 이러한 차이를 보이는 부분은 모두 공기와 접해 있는 저밀도영역으로, Pinnacle에 비해 Eclipse에서 다소 높게 계산되었으나 이러한 결과값 모두 선량제한을 충족하였으므로 임상적으로 적용 가능한 범위라 판단된다.

Pinnacle의 최적화종류는 DMPO (Direct Machine Parameter Optimization)방식으로 별도의 MLC 변환과정이 필요없었다, Eclipse에서는 DVO (Dose Volume Optimizer 10.0.28)방식으로 MLC 변환과정이 필요하며, 변환 후에 선량 용적 곡선이 다소 변하는 점이 있었다.

본 연구를 통해 세기조절방사선치료계획에 있어 치료부위에 따른 치료계획시스템의 차이를 알아보았다. 앞으로 다양한 부위의 선량계획 연구와 치료계획시스템을 시행한다면, 각 부위별 밀도별 선량계산 오차를 계산하여, 치료계획시스템 결과를 바탕으로 Dosimetric Quality Assurance를 진행한다면, 선량계획시스템의 정확성을 측정할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity modulated radiotherapy; Current status and issue of interest. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2001;51:880-917
2. Ling CC, Burman C, Chui CS, et al.: Conformal radiation treatment of prostate cancer using inversely-planned intensity modulated photon beams produced with dynamic multileaf collimation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1996;35:721-730
3. Hedin E, Bäck A: Influence of different dose calculation algorithms on the estimate of NTCP for lung complications. *Med Phys* 2013;6:14:127-139
4. Scholz C, Nill S, Oelfke U: Comparison of IMRT optimization based on a pencil beam and a superposition algorithm. *Med Phys* 2003;30:1909-1913
5. Vanderstraeten B, Reynaert N, Paelinck L, et al.: Accuracy of patient dose calculation for lung IMRT: a comparison of Monte Carlo, convolution/superposition, and pencil beam computations. *Med Phys* 2006;33:3149-3158
6. Al-Hallaq HA, Reft CS, Roeske JC: The dosimetric effects of tissue heterogeneities in intensity-modulated radiation therapy (IMRT) of the head and neck. *Phys Med Biol* 2006; 51:1145-1156
7. Knoos T, Wieslander E, Cozzi L, et al.: Comparison of dose calculation algorithms for treatment planning in external photon beam therapy for clinical situations. *Phys Med Biol* 2006;51:5785-5807
8. Bragg CM, Conway J: Dosimetric verification of the aniso-

- tropic analytical algorithm for radiotherapy treatment planning. *Radiother Oncol* 2006;81:315-323
9. Christoper MB, Wingate K, Conway J: Clinical implications of the anisotropic analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification. *Radiother Oncol* 2008;86:276-284
 10. Carrasco P, Jomet N, Duch MA, et al.: Comparision of dose calculation algorithm in phantom with lung equivalent heterogeneities under conditions of lateral disequilibrium. *Med Phys* 2004;31:2899-2911

Abstract

Dose Evaluation of TPS according to Treatment Sites in IMRT

Jin Man Kim, Jong Sik Kim, Chae Seon Hong, Ju Young Park, Su Yeon Park, Sang Gyu Ju

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: This study executed therapy plans on prostate cancer (homogeneous density area) and lung cancer (non-homogeneous density area) using radiation treatment planning systems such as Pinnacle³ (version 9.2, Philips Medical Systems, USA) and Eclipse (version 10.0, Varian Medical Systems, USA) in order to quantify the difference between dose calculation according to density in IMRT.

Materials and Methods: The subjects were prostate cancer patients (n=5) and lung cancer patients (n=5) who had therapies in our hospital. Identical constraints and optimization process according to the Protocol were administered on the subjects. For the therapy plan of prostate cancer patients, 10 MV and 7Beam were used and 2.5 Gy was prescribed in 28 fx to make 70 Gy in total. For lung cancer patients, 6 MV and 6Beam were used and 2 Gy was prescribed in 33 fx to make 66 Gy in total. Through two therapy planning systems, maximum dose, average dose, and minimum dose of OAR (Organ at Risk) of CTV, PTV and around tumor were investigated.

Results: In prostate cancer, both therapy planning systems showed within 2% change of dose of CTV and PTV and normal organs (Bladder, Both femur and Rectum out) near the tumor satisfied the dose constraints. In lung cancer, CTV and PTV showed less than 2% changes in dose and normal organs (Esophagus, Spinal cord and Both lungs) satisfied dose restrictions. However, the minimum dose of Eclipse therapy plan was 1.9% higher in CTV and 3.5% higher in PTV, and in case of both lungs there was 3.0% difference at V5 Gy.

Conclusion: Each TPS according to the density satisfied dose limits of our hospital proving the clinical accuracy. It is considered more accurate and precise therapy plan can be made if studies on treatment planning for diverse parts and the application of such TPS are made.

Key words: radiation treatment planning systems, intensity modulation radiation therapy, algorithms, inhomogeneity