

# 비소세포 폐암의 제한된 각도를 이용한 세기변조와 용적변조회전 방사선치료계획의 폐 선량에 관한 연구

서울아산병원 방사선종양학과

염미숙, 이우석, 김대섭, 백금문

**목 적 :** 비소세포 폐암의 치료용적의 크기가 크거나 폐 용적이 작고, 몸의 정중선(Mid line)에 위치한 경우 척수의 허용선량을 고려한 방사선치료계획에서 폐 선량이 많아지게 되는데, 본 연구는 비소세포 폐암 환자의 3차원입체조형치료(Three dimensional conformal radiotherapy, 3D CRT), 제한된 각도를 이용한 세기변조방사선치료(Intensity modulated radiotherapy, IMRT)와 용적변조회전치료(Volumetric Modulated Arc therapy, VMAT) 치료계획을 각각 적용하여 전체 폐 선량을 비교 및 평가하고자 한다.

**대상 및 방법 :** TrueBeam STx(Varian™, USA) 10 MV 에너지를 이용하여 4명의 환자에 대하여 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획을 세우고, 총 선량 66 Gy/30 Fx 처방하였을 때, 선량용적히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 이용하여 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV), 전체 폐 그리고 척수에 들어가는 선량을 평가하였다. PTV에 대한 처방선량지수(Conformity Index, CI), 선량균질지수(Homogeneity index, HI), 처방선량포함지수(Paddick's Conformity Index, PCI)를 구하고, 폐의 30 Gy 용적(V<sub>30</sub>), V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>5</sub>, 평균선량(Mean dose)을 평가하고, 척수의 최대선량 값을 평가하였다.

**결 과 :** PTV에 대한 CI, HI, PCI의 평균값은 각각 0.944±0.009, 1.106±0.027, 1.084±0.016으로 평가되었다. 전체 폐에 대한 첫 번째 환자의 V<sub>20</sub>은 3D CRT, IMRT, VMAT 각각 30.7%, 20.2%, 21.2%, 두 번째 환자의 V<sub>20</sub>은 33.0%, 29.2%, 31.5%, 세 번째 환자의 V<sub>20</sub>은 51.3%, 34.3%, 36.9%, 네 번째 환자의 V<sub>20</sub>은 56.9%, 33.7%, 40%로 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획에서 가장 낮게 평가되었다. 척수에 대한 최대선량 값은 모두 허용선량 미만으로 평가되었다.

**결 론 :** 비소세포 폐암의 방사선치료계획에서 3D CRT와 비교했을 때, 제한된 각도를 이용한 IMRT나 VAMT을 이용하면 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐 선량을 줄여줄 수 있는 치료계획을 세울 수 있었다. IMRT와 VAMT을 비교해보면 PTV의 선량포함률 척수선량을 고려했을 때 IMRT 치료계획에서 보다 좁은 각도를 이용한 치료계획이 가능하였고, 이는 폐 선량을 좀 더 줄여줄 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

**핵심용어 :** 용적변조회전치료(Volumetric modulated arc therapy, VMAT), 제한된 각도, 선량용적히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH), 처방선량포함지수(Paddick's Conformity Index, PCI)

## 서 론

비소세포 폐암(Non-small cell lung cancer, NSCLC)에서 진단된 병기이거나, 수술을 할 수 없는 경우에 항암요법과 방사선치료를 병행하는 치료 방법이 널리 이용되어지고 있다.<sup>1)</sup> 방사선치료의 목적은 종양을 국소제어(Local control) 할 수 있는 충분한 선량을 전달하면서 정상조직에 들어가는 방사선량을 최소화 시켜 방사선치료의 부작용을 줄이고 치료가능 비(Therapeutic Ratio, TR)를 높이는 것이다.<sup>2)</sup> 일반적으로 폐암의 방사선치료는 편평상피암(Squamous cell

carcinoma), 소세포암(Small cell carcinoma), 대세포암(Large cell carcinoma), 선암(Adenocarcinoma)이 적용된다. 그중 소세포 폐암에 비하여 비소세포 폐암의 경우 종양의 국소제어를 위해 필요한 총 방사선량이 더 높다. 이는 정상조직에 들어가는 선량도 더 많아짐을 의미할 수 있다. 비소세포 폐암의 방사선치료는 일반적으로 총 선량 60 ~ 70 Gy를 주어야 국소제어가 가능하다.<sup>2)</sup> 폐암의 방사선치료 계획의 가장 큰 목적은 치료용적의 방사선량을 높여 주면서 주변 정상 장기의 보호뿐만 아니라 저 선량부의 폐 용적을 줄여주는 것이다.<sup>3-5)</sup> 또한 비소세포 폐암의 방사선치료에서 보호해야할 주요장기(Organ at risk)로 폐, 척수, 식도, 심장 등이 있는데, 특히 처방선량 60 Gy ~ 70 Gy를 전달하면서 척수에 들어가는 선량이 허용선량(Tolerance dose)을 넘지 않도록 해야 한다.<sup>6)</sup> 본 연구에서 비소세포 폐

본 논문은 2014년 3월 21일 접수하여 2014년 4월 30일 채택되었음.  
책임저자 : 염미숙, 서울아산병원 방사선종양학과  
서울시 송파구 올림픽로 43길 88  
Tel : 02) 3010-2785  
E-mail : duaaltnr1025@gmail.com

암의 방사선치료에서 고려해야 할 주요장기 중에서 폐와 척수에 들어가는 선량을 고려한 방사선치료계획을 할 때 유용한 방사선치료계획 방법에 대해 비교하였다.

비소세포 폐암의 방사선치료계획에서 종양의 국소제어를 위한 총 방사선량 66 Gy / 30 Fx을 처방하였을 때 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐 선량을 줄여주는 것이 가장 중요하다. 하지만 치료용적의 크기가 크거나 총 폐 용적이 작고 치료용적의 위치가 몸의 정중선(Mid line)에 있는 경우 척수에 들어가는 선량이 허용선량을 넘지 않게 치료계획을 세우려면 3D CRT(Three dimensional conformal radiotherapy)의 경우 척수를 보호할 수 있는 각도의 빔(Beam)을 적용해야 하는데 대부분 척수를 보호할 수 있는 각도는 폐를 많이 포함하는 사(Oblique) 방향이거나 측(Lateral) 방향 빔이 되어 총 폐 선량을 증가시키게 된다.<sup>4)</sup> 폐에 들어가는 저 선량 부의 큰 용적은 방사선 폐렴의 원인이 될 수 있는데, 많은 연구에 따르면 방사선 폐렴과 관련 있는 인자로 폐의 V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>5</sub>, Mean dose 등 있다.<sup>7)</sup> 방사선치료의 합병증으로 방사선 폐렴을 고려할 때 폐 선량의 증가는 치료를 위한 총 방사선량을 주는데 제한점이 될 수 있다.<sup>4)</sup> 방사선치료로 인한 방사선 폐렴이 발생할 확률에 대한 보고가 여러 연구에 의해 보고되어 있다. Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic(QUANTEC)에서 제시하는 방사선치료로 인한 방사선 부작용으로 폐렴이 발생할 수 있는 인자로 V<sub>20</sub>를 제시하는데 V<sub>20</sub>이 30% 이상이 될 때 방사선 폐렴이 발생할 확률이 20% 이상이 된다고 보고했다.<sup>10)</sup> 기타 다른 문헌에서도 V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>5</sub>, Mean dose와 방사선 폐렴이 관련이 있다는 보고가 있다.<sup>2-8)</sup> 또한 QUANTEC에서 제시하는 척수에 대한 선량은 최대선량이 50 Gy 일 때 방사선 척수염이 생길 확률이 0.2%이고 60 Gy 일 때 6%가 된다고 보고되어 있다.<sup>10)</sup> 따라서 척수에는 최대선량 50 Gy 이하의 선량이 들어가게 하면서, 20 Gy 이상 받는 폐 용적을 줄여주는 것이 가장 큰 목적이 될 수 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 방법으로 세기변조방사선치료(Intensity modulated radiotherapy, IMRT)나 용적변조회전치료(Volumetric modulated arc therapy, VMAT)계획이 이용되고 있는데 IMRT의 경우에는 0° ~ 360°까지 등 각도로 다양한 각도를 사용한 여러 개의 빔을 적용하거나, VMAT의 경우에는 0° ~ 360° 전체 회전 각도를 적용하는 경우 폐의 V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, Mean dose는 줄여줄 수 있지만, V<sub>5</sub>와 같은 저 선량 부의 폐 용적은 많은 각도를 이용함으로써 더 커질 수 있다.<sup>11,4)</sup> 전통적으로 폐의 방사선치료에는 폐 선량을 줄여주기 위하여 측 방향 빔 보다는 전후방향(Anterior-posterior) 빔을 많이 사용한다.<sup>2)</sup> 하지만 척수선량을 고려한다면 치료용적의 위치나 크기에 따라서 사 방향 빔 또는 측

방향 빔을 적용해야 하는데 이는 폐를 포함하고 지나는 빔이 될 수 있기 때문에 폐 선량을 증가시키는 요인이 될 수 있다. 3D CRT의 경우 척수 선량을 고려한다면 사 방향 빔 또는 측 방향 빔이 폐 선량을 증가시키면서도 불구하고 꼭 적용되어야 하지만 IMRT나 VMAT의 경우에는 사 방향 빔 또는 측 방향 빔을 사용하지 않고 전후방향 빔을 위주로 사용하면서 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐 선량을 줄여 줄 수 있는 치료계획이 가능하다. 또한 치료용적의 위치가 척수와 아주 가깝거나 치료용적의 범위가 쇄골 상 림프절(Supra clavicular lymph node, SCL) 까지 위치한 경우에도 IMRT와 VMAT 치료계획이 효과적으로 이용될 수 있다.

치료용적의 크기가 작은 경우에는 3D CRT와 비교했을 때 IMRT와 VMAT 치료계획에서 동일한 제한된 각도를 이용한 치료계획으로 치료계획용적(Planning target volume, PTV) 선량포함(Dose coverage)과 척수의 허용선량 두 조건을 만족시킬 수 있는 치료계획이 가능하다.<sup>4),5)</sup> 하지만 치료용적의 크기가 크거나 치료용적의 위치가 몸의 정중선에 있는 경우에는 IMRT와 VMAT 치료계획에서 PTV 선량포함과 척수의 허용선량 두 조건을 만족시킬 수 있는 제한된 각도는 같지 않을 수도 있다. 치료계획을 세울 때 각도를 어떻게 설정하느냐는 결국 폐의 저 선량부의 용적을 변화시킬 수 있기 때문에 PTV 선량포함과 척수의 허용선량 두 조건을 만족시키면서 최대한 전후방향을 위주로 한 제한된 각도(ex. 330° ~ 20°, 240° ~ 140°)를 IMRT와 VMAT 각각의 치료계획에 적용하여 각 치료계획의 폐 선량을 비교하고자 한다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 치료용적의 크기가 크거나 총 폐 용적이 작고 치료용적이 몸의 정중선에 위치한 비소세포 폐암환자를 대상으로 3D CRT 치료계획을 적용함에 있어서 폐 선량이 많이 들어감으로 인하여 치료의 제한점이 될 수 있는 3D CRT 치료계획에 대한 다른 방안으로 PTV 선량포함과 척수의 허용선량 두 조건을 만족시키면서 폐 선량을 줄여 줄 수 있는 최대한 전후방향 위주로 한 제한된 각도를 적용한 IMRT, VMAT 방사선치료계획을 각각 세워 폐에 들어가는 선량을 비교, 평가하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험 재료

- Eclipse treatment planning system (Version 10.0, Varian™, USA)
- TrueBeam STx(Varian™, USA) 10 MV

- 4 cases of Non-small cell lung cancer
- DVH(Dose Volume Histogram)

## 2. 실험 방법

본원에서 시행한 비소세포 폐암 환자 4명을 대상으로 치료계획을 세웠다. Eclipse 치료계획 시스템[Eclipse treatment planning system, (Version 10.0, Varian™, USA)]을 사용하여 전산화치료계획을 시행하였다. 선량계산 알고리즘은 Anisotropic Analytic Algorithm(AAA)으로 계산 하였다. TrueBeam STx(Varian™, USA) 10 MV 에너지를 이용하여 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획을 세우고, 총 선량 66 Gy / 30 Fx 처방하여 치료계획을 시행하였다. 4명의 환자는 항암요법과 방사선치료를 병행하는 환자로 치료용적이 크거나 총 폐 용적이 작고 몸의 정중선에 위치한 비소세포 방사선치료를 위하여 분할선량(Fraction size) 2.2 Gy, 총 선량(Total dose) 66 Gy 처방하였을 때 V<sub>20</sub>이 30%이상 되는 환자를 대상으로 하였다. 동일 환자를 대상으로 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐 선량을 최대한 줄여줄 수 있는 각도의 빔을 이용하여 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VMAT 치료계획을 각각 세웠다. IMRT와 VAMT 치료계획에서 적용된 선량 최적화(Optimization) 조건은 각각 다르게 설정하였다.<sup>4)</sup> 처방은 D<sub>95%</sub>(PTV의 95% 받는 선량)로 하였다.<sup>3)</sup> 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획은 치료용적의 크기나 위치를 고려하여 폐 선량을 줄여줄 수 있는 각도로 전후 방향을 위주로 한 제한된 각도의 빔을 적용하였다. IMRT와 VAMT 치료계획은 각도를 전후방향위주로 좁은 각도에서부터 5° 간격으로 각도를 넓혀가면서 PTV 선량포함과 척수 허용선량 두 가지를 만족시킬 수 있는 각도를 치료계획에 적용하여 비교하였다. 환자의 치료용적의 위치나 크기에 따라서 적용되는 각도가 다르기 때문에 4명의 환자에 대한 3D CRT, IMRT, VMAT 치료계획의 각도는 각각 다르게 설정하였다.

첫 번째 환자의 3D CRT 치료계획의 각도는 0°, 250°, 180°의 3개의 빔을 이용하였고, 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획의 각도는 전 방향(Anterior)에서 340° ~ 20°, 후 방향(Posterior)에서 210° ~ 150°로 제한하여 340°, 0°, 20°, 150°, 170°, 290°, 210°의 7개의 빔을 이용하였으며, 제한된 각도를 이용한 VMAT 치료계획의 각도는 전 방향에서 300° ~ 60°, 후 방향에서 230° ~ 130°의 제한된 2 회전(Arc) 빔을 이용하여 PTV 선량포함과 척수 허용선량 두 가지를 만족시킬 수 있는 치료계획을 세웠다..

두 번째 환자의 3D CRT 치료계획의 각도는 0°, 290°,

180°의 3개의 빔을 이용하였고, 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획의 각도는 210° ~ 150°의 340°, 0°, 20°, 150° 170°, 290°, 210°의 7개의 빔을 이용하였으며, 제한된 각도를 이용한 VMAT 치료계획의 각도는 전 방향에서 290° ~ 70°, 후 방향에서 240° ~ 120°의 2 Arc 빔을 이용하여 치료계획을 세웠다.

세 번째 환자의 3D CRT 치료계획의 각도는 295°, 0°, 40°, 120°, 180°의 5개의 빔을 이용하였고, 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획의 각도는 전 방향에서 335° ~ 25°, 후 방향에서 210° ~ 150°의 335°, 0°, 25°, 150°, 170°, 290°, 210°의 7개의 빔을 이용하였으며, 제한된 각도를 이용한 VMAT 치료계획의 각도는 전 방향에서 300° ~ 60°, 후 방향에서 230° ~ 130°의 2 Arc 빔을 이용하여 치료계획을 세웠다.

마지막으로 네 번째 환자의 3D CRT 치료계획의 각도는 0°, 80°, 120°, 180°, 270°의 5개의 빔을 이용하였고, 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획의 각도는 전 방향에서 335° ~ 25°, 후 방향에서 210° ~ 150°의 335°, 0°, 25°, 150°, 170°, 290°, 210°의 7개의 빔을 이용하였으며, 제한된 각도를 이용한 VMAT 치료계획의 각도는 전 방향에서 300° ~ 60°, 후 방향에서 230° ~ 130°의 2 Arc 빔을 이용하여 치료계획을 세웠다[Table. 1], [Fig. 1].

**Table 1.** The restricted angle using 3D CRT, IMRT, VAMT plans

Patient	Plan	Angle
First	3D CRT	0°, 250°, 180°
	IMRT	340° ~ 20° / 210° ~ 150°
	VMAT	300° ~ 60° / 230° ~ 130°
Second	3D CRT	0°, 290°, 180°
	IMRT	340° ~ 20° / 210° ~ 150°
	VMAT	290° ~ 70° / 240° ~ 120°
Third	3D CRT	295°, 0°, 40°, 120°, 180°
	IMRT	335° ~ 25° / 210° ~ 150°
	VMAT	300° ~ 60° / 230° ~ 130°
Forth	3D CRT	0°, 80°, 120°, 180°, 270°
	IMRT	335° ~ 25° / 210° ~ 150°
	VMAT	300° ~ 60° / 230° ~ 130°

3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획을 비교 위하여 PTV D<sub>95%</sub>에 총 선량 66 Gy 처방하여 선량용적히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 이용하여 치료계획을 평가하였다. PTV에 대한 선량포함과 균질성을 평가하기 위하여 처방선량지수(Conformity index,

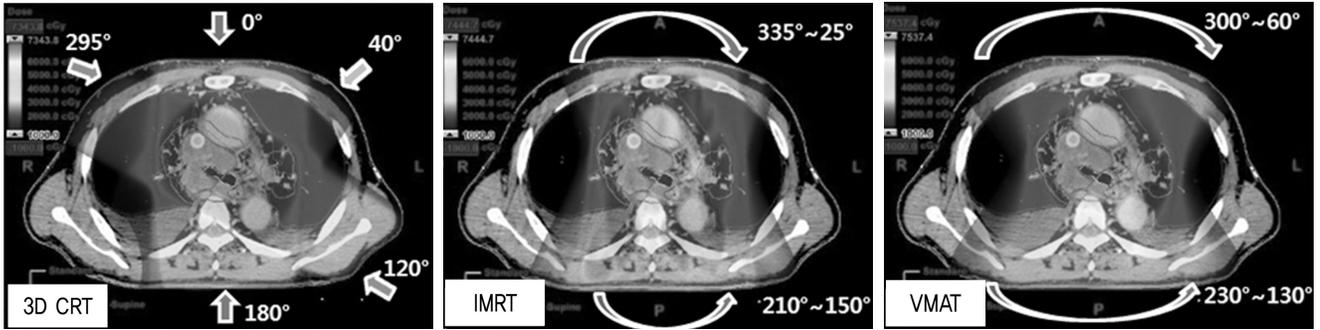


Fig 1. 3D CRT, IMRT and VMAT Plans using restricted angle.

CI)<sup>8)</sup>, 선량균질지수(Homogeneity index, HI)<sup>5)</sup>, 처방선량 포함지수(Paddick's conformity index, PCI)<sup>9)</sup>를, 구하였다.[식. 1, 2, 3]

$$CI_{ICRU62} = \frac{V_{TV}}{V_{PTV}} \text{ ----- 식 1}$$

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- 식 2}$$

$$PCI = \frac{V_{Prescription} * V_{PTV}}{V_{PTV} * V_{Prescription}} \text{ ----- 식 3}$$

전체 폐 선량을 평가하기 위하여 폐의 30% 용적(V<sub>30</sub>), 20% 용적(V<sub>20</sub>), 10% 용적(V<sub>10</sub>), 5% 용적(V<sub>5</sub>), 평균선량(Mean dose)를 평가하였다. 또한 모든 치료계획에서 척수의 허용선량이 넘지 않는지 평가하기 위하여 척수의 최대선량 값을 평가하였다.

## 결 과

3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VMAT 치료계획의 PTV에 대한 CI값의 평균은 4명의 환자 각각 0.94±0.0093, 0.94±0.0097, 0.95±0.0152, 0.95±0.0026으로 평가되었고, HI값의 평균은 각각 1.12±0.0071, 1.13±0.0210, 1.11±0.0029, 1.14±0.0407, PCI값의 평균은 각각 1.08±0.0234, 1.08±0.0221, 1.08±0.0069, 1.09±0.0177

으로 평가되었다. 4명의 환자 모두 PTV D<sub>95%</sub>에 처방하였을 때 3가지 치료계획의 CI, HI, PCI값의 평균 표준편차는 0.0149로 평가되었다. [Table. 2]

첫 번째 환자의 전체 폐에 대한 V<sub>30</sub>은 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VAMT 각각 22.7%, 14.7%, 14.6%, V<sub>20</sub>은 30.7%, 20.2%, 21.2%, V<sub>10</sub>은 43.%, 26.9%, 32.4%, V<sub>5</sub>는 51.5%, 37.2%, 44.7%, Mean dose는 16.25 Gy, 12.03 Gy, 12.40 Gy로 평가되었다. 두 번째 환자의 전체 폐에 대한 V<sub>30</sub>은 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VAMT 각각 23.3%, 24.4%, 22.4%, V<sub>20</sub>은 33.0%, 29.2%, 31.5%, V<sub>10</sub>은 48.1%, 36.7%, 43.7%, V<sub>5</sub>는 58.5%, 46.3%, 55.2%, Mean dose는 18.23 Gy, 17.55 Gy, 16.82 Gy로 평가되었다. 세 번째 환자의 전체 폐에 대한 V<sub>30</sub>은 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VAMT 각각 31.7%, 25.2%, 27.1%, V<sub>20</sub>은 51.3%, 34.3%, 36.9%, V<sub>10</sub>은 64.9%, 46.4%, 51.3%, V<sub>5</sub>는 72.9%, 60.7%, 64.7%, Mean dose는 23.22 Gy, 19.17 Gy, 19.40 Gy로 평가되었다. 네 번째 환자의 전체 폐에 대한 V<sub>30</sub>은 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT, VAMT 각각 45.7%, 24.2%, 27.5%, V<sub>20</sub>은 56.9%, 33.7%, 40.0%, V<sub>10</sub>은 71.1%, 46.9%, 55.6%, V<sub>5</sub>는 80.2%, 61.8%, 69.0%, Mean dose는 26.27 Gy, 18.58 Gy, 19.89 Gy로 평가되었다. [Table. 3], [Fig. 2]

## 결 론

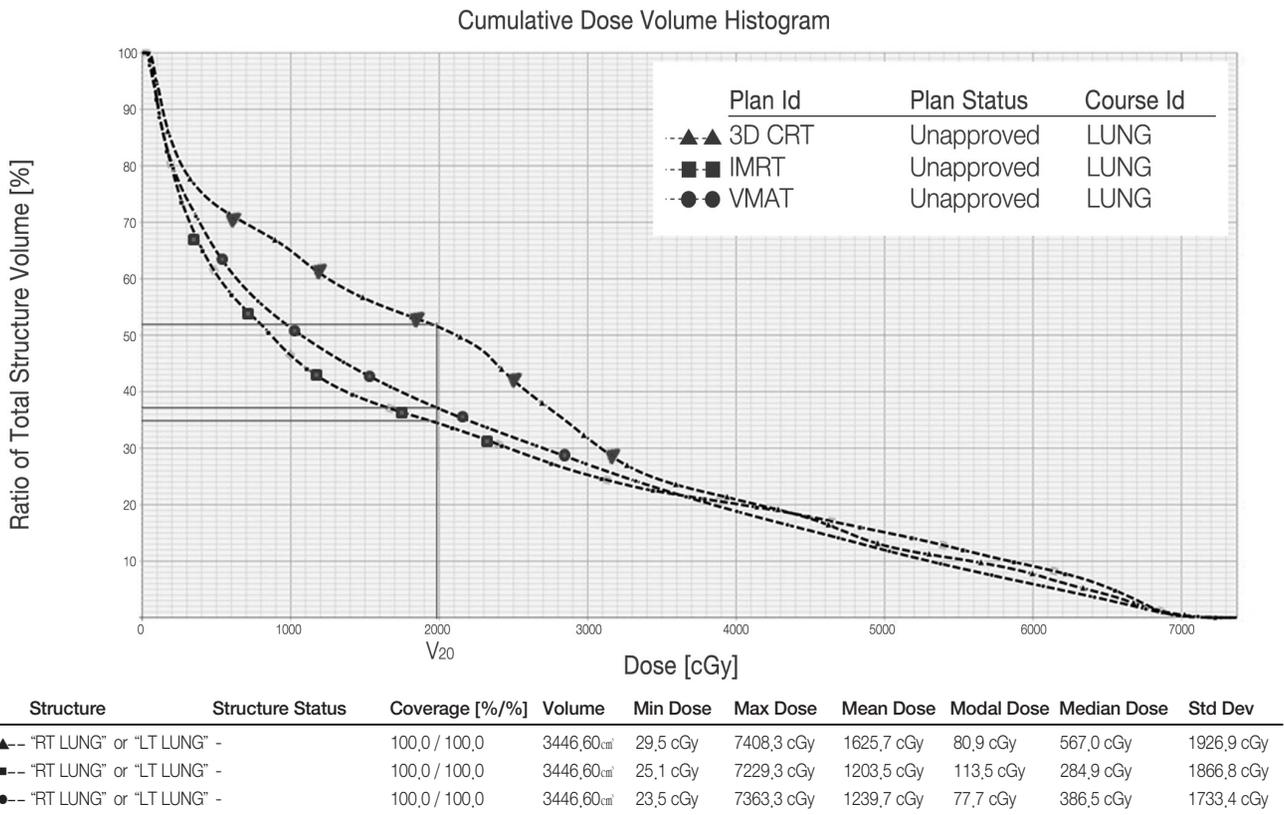
비소세포 폐암의 방사선치료에서 치료용적의 크기가 작거나 총 폐 용적이 크고 척수와 멀리 떨어져있는 경우에는 PTV 선량포함과 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐 선량이 높지 않은 3D CRT 치료계획이 가능하다. 하지만 치료용적의 크기가 크거나 총 폐 용적이 작고 몸의 정중선에 위치한 경우에는 척수의 허용선량을 넘지 않게 치료계획을 세우기 위해서는 3D CRT 치료계획의 경우 척수를 제외시킬

Table 2. Average value of CI, HI and PCI for PTV

Patient	CI	HI	PCI
First	0.94±0.0093	1.11±0.0076	1.08±0.0234
Second	0.94±0.0097	1.11±0.0250	1.08±0.0221
Third	0.95±0.0152	1.09±0.0037	1.08±0.0069
Forth	0.95±0.0026	1.13±0.0442	1.09±0.0177

**Table 3.** Evaluation of lung dose to V<sub>30</sub>, V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>5</sub> and Mean dose for 3D CRT, IMRT and VMAT plans.

Patient	Plan	V <sub>30</sub>	V <sub>20</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>5</sub>	Mean dose
First	3D CRT	22.7%	30.7%	43.3%	51.5%	1625 cGy
	IMRT	14.7%	20.2%	26.9%	37.2%	1203 cGy
	VMAT	14.6%	21.2%	32.4%	44.7%	1240 cGy
Second	3D CRT	23.3%	33.0%	48.1%	58.5%	1823 cGy
	IMRT	24.4%	29.2%	36.7%	46.3%	1755 cGy
	VMAT	22.4%	31.5%	43.7%	55.2%	1682 cGy
Third	3D CRT	31.7%	51.3%	64.9%	72.9%	2322 cGy
	IMRT	25.2%	34.3%	46.4%	60.7%	1917 cGy
	VMAT	27.1%	36.9%	51.3%	64.7%	1940 cGy
Forth	3D CRT	45.7%	56.9%	71.1%	80.2%	2627 cGy
	IMRT	24.2%	33.7%	46.9%	61.8%	1858 cGy
	VMAT	27.5%	40.0%	55.6%	69.0%	1989 cGy



**Fig 2.** DVHs of whole lung dose. Triangle marker means 3D CRT plan, circular marker means IMRT plan and rectangular marker means VMAT plan that using restricted angle.

수 있는 각도의 빔을 적용함으로 인하여 폐 선량이 지나치게 높아져서 종양의 국소제어를 위한 총 방사선량을 처방하는 데에 제한점이 될 수 있다. 하지만 IMRT나 VMAT 치료계획을 이용하면 척수의 허용선량을 넘지 않으면서 폐

선량을 효과적으로 줄여줄 수 있어 폐 선량이 지나치게 많은 환자에게 적용함으로써 종양의 국소제어를 위한 총 선량을 전달하는 것이 가능해진다.<sup>4)</sup> 하지만 IMRT나 VMAT 치료계획에서도 각도를 어떻게 설정하느냐에 따라서 V5의

용적은 더 많아 질 수도 있다. 본 연구에서는 IMRT와 VMAT 치료계획을 적용함에 있어서 가능한 사방향이나 측방향의 빔을 쓰지 않고, 폐를 보호 할 수 있는 전후방향 위주의 제한된 각도의 빔을 사용함으로써 더 효과적으로 폐를 보호할 수 있는 치료계획을 비교하였다. 환자의 치료용적의 크기나 위치가 각각 다르기 때문에 4명의 환자에 대한 치료계획에서 적용되는 각도는 각 환자에 맞게 적용하면서, PTV 선량포함과 척수선량 두 가지 모두를 만족시킬 수 있는 3D CRT, 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획을 세우 가장 효과적으로 폐를 보호할 수 있는 치료계획에 대해 비교하였다. 3D CRT 치료계획에 비해 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획에서  $V_{30}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{10}$ ,  $V_5$ , 평균선량 모두 작은 값을 보였다. 이는 3D CRT 치료계획으로 폐 선량이 많은 환자에 대해 제한된 각도의 IMRT나 VMAT 치료계획이 폐 선량을 줄여주는 데에 유용하게 적용이 된다.

IMRT와 VMAT 치료계획에 제한된 각도를 적용 하는 데에 동일한 각도를 적용했을 때 PTV 선량포함 정도와 척수선량을 고려했을 때 치료계획의 결과는 같지 않았다. PTV 선량포함과 척수선량을 같게 치료계획 했을 때 VMAT 치료계획에서 더 넓은 각도의 빔을 적용해야 했고, 이는 폐의 저 선량부의 용적을 더 많아지게 하는 결과로 나왔다. 결과에서 언급했듯이 동일 환자에 대해 제한된 각도의 IMRT와 VMAT 치료계획에 적용된 각도는 VMAT 치료계획에서 더 넓은 각도의 빔이 적용되어야 했고, 폐 선량도 더 높게 평가되었다. 결론적으로 IMRT 치료계획에서는 보다 좁은 각도의 빔을 사용하면서도 PTV 선량포함과 척수선량을 만족시킬 수 있는 치료계획이 가능하였고 좁은 각도의 사용으로 인한 폐 선량을 줄여 줄 수 있는 이점이 있었다. 본 연구의 대상 환자는 치료용적의 크기가 크거나 몸의 정중선에 위치하고 폐 용적이 작은 환자를 대상으로 하였기 때문에 제한된 각도를 적용함에 있어서 VMAT 치료계획에서 더 넓은 각도의 빔이 적용되었지만 치료용적의 크기가 작은 경우에는 동일한 각도를 사용한 IMRT와 VMAT 치료계획이 가능하다. 이는 치료용적의 크기도 관련이 있지만 치료용적의 위치나 총 폐용적과도 연관이 있기 때문에 본 연구에서는 어느 정도의 크기에서 동일한 각도를 이용한 치료계획이 가능한지는 언급하지 않는다.

폐의 방사선치료에서 IMRT나 VMAT 치료계획을 적용하는 데에는 호흡에 대한 치료용적의 움직임에 대한 고려가 필요하다. 하지만 최근 방사선치료 장비의 발전으로 호흡동조 방사선치료가 IMRT나 VMAT에도 적용 가능해졌고, 매트릭스(Matrix)와 전자포탈영상장치(Electronic portal image device, EPID)를 이용한 IMRT와 VMAT 품질보증

(Quality Assurance, QA)에서도 AAPM TG-119에서 권고하는 허용기준 3%, 3 mm 이내로 전체 감마값(Gamma index)이 1보다 작은 값이 95% 이상으로 허용기준 이내의 결과를 나타냈다.<sup>13),14)</sup> 따라서 3D CRT로 치료하는 데에 폐 선량이 많아 제한이 될 수 있는 환자에게 IMRT와 VMAT 치료계획을 적용함으로써 치료가능 비를 높여 줄 수 있을 것이다.<sup>3),5)</sup> 본 연구에서는 제한된 각도를 이용한 IMRT 치료계획에서 폐 선량을 가장 효과적으로 줄여줄 수 있는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, VMAT의 경우에는 치료시간을 단축시킬 수 있고 Monitor Unit(MU)도 상대적으로 작아지는 장점이 있다.<sup>11),12)</sup> 따라서 치료용적이 크거나 전체 폐 용적이 작고 몸의 정중선(Mid line)에 위치하여 폐 선량이 높은 경우 제한된 각도를 이용한 IMRT와 VMAT 치료계획은 PTV와 척수선량을 만족시키면서 폐 선량을 줄여줄 수 있어 방사선 폐렴을 줄여줄 수 있는 효과적인 방안이 될 수 있고 제한된 각도의 IMRT나 VMAT 치료계획을 적용할 때 폐 선량, 치료시간, 장비 부하 등을 고려하여 적절한 치료계획을 적용함으로써 치료효율을 높일 수 있다고 사료된다.

## 참고문헌

- Ingrid de Bree, M.Sc., Marille G.E. van Hinsberg, et al.: High-dose radiotherapy in inoperable nonsmall cell lung cancer: Comparison of volumetric modulated arc therapy, dynamic IMRT and 3D conformal radiotherapy: Medical Dosimetry 2012
- Viacheslav Soyfer, Yaron Meir, Benjamin W Corn, et al.: AP-PA field orientation followed by IMRT reduces lung exposure in comparison to conventional 3D conformal and sole IMRT in centrally located lung tumors: Radiation Oncology Journal 2007/1/13
- Anna Simeonova, Yasser Abo-Madyan, Mostafa El-Haddad, et al.: Comparison of anisotropic aperture based intensity modulated radiotherapy with 3D-conformal radiotherapy for the treatment of large lung tumors: Radiotherapy and oncology 2012;102:263-273
- Xiaodong Zhang, Yupeng Li., Xiaoning Pan: Intensity-modulated proton therapy reduces the dose to normal tissue compared with intensity-modulated radiation therapy or passive scattering proton therapy and enables individualized radical radiotherapy for extensive stage IIIB non-small-cell lung cancer: A virtual clinical study: Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2010;77:357-366

5. Florin Rosca, Micheal Kirk, Daniel Soto, et al.: Reducing the low-dose lung radiation for central lung tumors by restricting the IMRT beams and arc arrangement: Medical dosimetry 2012;37:280-286
6. Sabin Fromm, Andrea Rotenfusser, Daniel Berger, et al.: 3D-conformal radiotherapy for inoperable non-small-cell lung cancer-A single centre experience: Radiotherapy and Oncology 2007;41:133-143
7. Mary V. Graham, James A. Purdy, Bahman Emami, et al.: Clinical dose-volume histogram analysis for pneumonitis after 3D treatment for non-small cell lung cancer(NSCLA): Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 1999;45:323-329
8. Loic Feuvret, Georges Noel et al.: CONFORMITY INDEX: A REVIEW. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2006;64:333-342
9. Ian Paddick, M. Sc.: A simple scoring ratio index the conformity of radiosurgical treatment plans. technical note: Journal of neurosurgery 2000;93:219-222
10. Lawrence B. Marks, Ellen D. Yorke, Andrew Jackson, et al.: Use of normal tissue complication probability models in the clinic: Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2010;76:510-519
11. Chang Hoon Song, Hong Ryull Pyo, Sung Ho Moon, et al.: Treatment-related pneumonitis and acute s in non-small-cell lung cancer patients treated with chemotherapy and helical tomotherapy: Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 2010;78:651-658
12. Samuel D. McGrath, Martha M. Matuszak, Di Yan, Larry L. Kestin, et al.: Volumetric modulated arc therapy for delivery of hypofractionated stereotactic lung radiotherapy: A dosimetric and treatment efficiency analysis: Radiotherapy and Oncology 2010;95:153-157
13. Gray A. Ezzell, Jay W. Burmeister, Nesrin Dogan et al.: IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119: Medical Physics 2009;36:11.
14. Benjamin E. Nelms, Jeff A. Simon: A survey on planar IMRT QA analysis: Journal of Medical Physics 2007;3:8

---

Abstract

# A Study on lung dose of Intensity modulated and volumetric modulated arc therapy plans using restricted angle of Non-small cell lung cancer

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

Yeom Misuk, Lee Woosuk, Kim Daesup, Back Geummun

---

**Purpose :** For non-small cell lung cancer, if the treatment volume is large or the total lung volume is small, and the tumor is located in midline of patient's body, total lung dose tends to increase due to tolerance dose of spinal cord. The purpose of this study is to compare and evaluate the total lung dose of three dimensional conformal radiotherapy(3D CRT), intensity modulated radiotherapy(IMRT) and volumetric modulated arc therapy(VMAT) using restricted angle for non-small cell lung cancer patients.

**Materials and Methods :** The treatment plans for four patients, being treated on TrueBeam STx(Varian™, USA) with 10 MV and prescribed dose of 60 Gy in 30 fractions, 3D CRT, restricted angle IMRT and VAMT radiotherapy plans were established. Planning target volume(PTV), dose to total lung and spinal cord were evaluated using the dose volume histogram(DVH). Conformity index(CI), homogeneity index(HI), Paddick's index(PCI) for the PTV,  $V_{30}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{10}$ ,  $V_5$ , mean dose for total lung and maximum dose for spinal cord was assessed.

**Results :** Average value of CI, HI and PCI for PTV was  $0.944 \pm 0.009$ ,  $1.106 \pm 0.027$  and  $1.084 \pm 0.016$  respectively.  $V_{20}$  values from 3D CRT, IMRT and VMAT plans were 30.7%, 20.2% and 21.2% for the first patient, 33.0%, 29.2% and 31.5% for second patient, 51.3%, 34.3% and 36.9% for third patient, finally 56.9%, 33.7% and 40.0% for the last patient. It was noticed that the  $V_{20}$  was lowest in the IMRT plan using restricted angle. Maximum dose for spinal cord was evaluated to lower than the tolerance dose.

**Conclusion :** For non-small cell lung cancer, IMRT with restricted angle or VMAT could minimize the lung dose and lower the dose to spinal cord below the tolerance level. Considering PTV coverage and tolerance dose to spinal cord, it was possible to obtain IMRT plan with smaller angle and this could result in lower dose to lung when compared to VMAT.

---

**Keyword :** Volumetric modulated arc therapy(VMAT), restricted angle, dose volume histogram (DVH), Paddick's index(PCI)