

폐암 방사선 치료 시 Hybrid-Volumetric Modulated Arc Therapy의 유용성 평가

울산대학교병원 방사선종양학과

이건호, 강효석, 최병준, 박상준, 정다이, 이두상, 안민우, 전명수

목 적: 폐에서 VMAT치료는 연속적으로 회전을 하면서 방사선을 조사하므로 정상적인 폐에 저 선량을 증가시킨다. 이로 인해 방사선 부작용 중 방사선 폐렴의 발생률이 증가 할 수 있다. 본 연구에서는 방사선 폐렴의 발생 확률 증가 원인이 되는 폐의 저 선량 영역의 방사선을 줄일 수 있는 H-VMAT 방법을 적용하여 치료를 받은 환자를 대상으로 치료계획별 폐의 저 선량 영역과 주변 정상장기들에 전달되는 방사선량을 비교 분석하여 H-VMAT의 유용성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 폐암방사선 치료 환자 중 H-VMAT 방법을 적용한 환자 25명을 대상으로 하였으며, 치료 계획용 용적의 처방선량은 총 선량 44 Gy를 22회 분할 조사로 적용하였다. 각 환자마다 Conventional RT, VMAT, H-VMAT 방법으로 계획을 진행하였다. Conventional RT는 치료계획용적의 크기, 위치, 모양 및 주변장기들의 위치를 고려하여 4~5개 조사야로 치료계획을 진행하였고, VMAT 치료계획의 경우는 360°를 2번 회전하는 방법과 180°를 2~3회 회전하는 방법으로 계획하였다. H-VMAT은 폐의 선량 및 주변 장기의 허용선량을 고려하여 VMAT 치료계획에서 2개의 고정조사야를 추가 하여 계획하였다.

결 과: 폐선량은 비소세포성폐암에서 치료계획용적을 제외한 폐의 V_5 , V_{10} 은 H-VMAT이 55.40 ± 13.39 %, 32.05 ± 11.37 %로 가장 낮았고, 소세포성폐암에서도 V_5 , V_{10} 의 값은 64.32 ± 16.15 %, 35.50 ± 9.91 %로 가장 낮았다. 비소세포성폐암에서 VMAT의 척수 선량은 21.15 ± 4.02 Gy로 다른 치료방법과 비교하여 최대 7.94 Gy 차이만큼 낮은 선량이 전달되었고, 소세포성폐암에서는 19.72 ± 1.82 Gy로 가장 낮은 선량을 보였다. 심장의 V_{20} 은 H-VMAT와 VMAT의 비교 결과 VMAT이 최대 16.2 % 더 낮은 값을 보이기도 하였다. 식도에 전달되는 평균선량 역시 소세포성폐암과 비소세포성폐암에서 17.44 ± 2.04 Gy, 17.84 ± 9.20 Gy로 VMAT이 가장 낮았다.

결 론: 주변 정상 장기 선량의 값을 비교해 보았을 때, VMAT에서는 심장, 식도, 척수 등에서 나머지 치료계획보다 더 적은 선량이 전달되는 것을 알 수 있었다. 하지만 척수를 제외한 나머지 장기에서는 H-VMAT과 큰 차이를 보이지 않았다. H-VMAT은 일부 정상 장기의 선량이 증가하였지만 허용선량을 초과하지 않았다. 그리고 폐의 V_5 , V_{10} 에서 낮은 값을 보였다. Conventional RT, VMAT, H-VMAT을 비교하였을 때 심장, 식도, 척수 등에 전달되는 선량이 부작용을 발생시킬 수 있는 선량보다 적다면 폐의 저 선량 영역의 장점을 보이는 H-VMAT 방법을 적용함으로써 방사선폐렴의 발생률을 낮출 수 있을 것이라고 사료된다.

▶ **핵심용어:** Conventional RT, H-VMAT, VMAT, Lung

서 론

책임저자: 이견호, 울산광역시 동구 방어진순환도로 877, 44033
울산대학교병원 방사선종양학과
Tel. 052) 250-8716
E-mail: lgh33331@naver.com

방사선치료의 목적은 종양 조직에 처방선량이 조사되고 정상 조직에는 최소한의 선량이 조사되어 방사선치료 효과비가 최대한이 되도록 하는데 있다. 이러한 방사선치

료 목적에 맞도록 방사선치료 계획은 발전되어 왔다.⁽¹⁾ 방사선치료 계획 방법으로는 Conventional RT(Radiation Therapy), 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT), 체적변조회전치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 등이 있으며 세기변조 방사선치료, VMAT은 Conventional RT보다 방사선 치료 효과비가 높다고 연구되었다.⁽²⁾ 하지만 IMRT, VMAT에서도 종양 조직이 아닌 정상 조직에 방사선 조사야가 포함되어 방사선이 조사되면 방사선부작용이 발생 될 수 있다. 예를 들어, 흉부 방사선 치료 시 방사선폐렴, 방사선식도염, 방사선피부염, 방사선심장독성, 방사선신경염 및 골수 억제 등의 부작용이 발생할 수 있으며,⁽³⁾ 이 중 가장 특징적인 방사선 부작용은 방사선폐렴으로 연구되었다.⁽⁴⁾ 방사선폐렴의 경우 치료 후 1~8주 후에 발생하며 발생률은 0~58 %로 다양하다.^(5,6,7,8,9,10) 방사선폐렴의 발생률을 증가시키는 요인은 폐의V₅, V₁₀이 65 %, 45 %를 초과할 시 발생률이 증가된다.^(11,12,13) 그 밖에도 V₂₀이 31 % 초과되면 발생률이 10 % 증가하고 V₂₀이 40 % 초과되면 발생확률이 20 %가 증가한다고 보고되었으며, V₂₀이 25 % 이하가 되도록 권고하고 있다.⁽¹⁴⁾

흉부에서 VMAT은 연속적으로 회전을 하면서 방사선을 조사하므로 정상적인 폐에 저 선량을 증가시킨다. 특히 비소세포성폐암(Non Small Cell Lung Cancer, NSCLC)에서 정상적인 폐에 저 선량 부분을 줄이기 위한 연구들이 제시되었다.^(15,16) 하지만 비소세포성폐암, 소세포성폐암(Small Cell Lung Cancer)에서 정상적인 폐에 조사되는 V₅, V₁₀, V₂₀ 등에 대해 구체적인 분석이 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 본원에서 방사선치료가 이루어진 폐암 환자를 대상으로 하여 Conventional RT, VMAT 그리고 VMAT에 Conventional RT를 접목한 H-VMAT (Hybrid-Volumetric Modulated Arc therapy) 방법에 따른 주변 정상 조직의 선량 분포를 비교, 분석하여 H-VMAT의 유용성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구에서는 2014년 3월부터 2017년 2월까지 본원 흉부방사선 치료 환자 중 H-VMAT 방법을 적용한 환자 26명을 대상으로 하였다.

흉부방사선 치료 환자 중 폐암 환자는 25명이었으며, 그 중 비소세포성폐암 환자는 20명이었으며, 소세포성폐암 환자는 5명이었다.

2. 전산화 치료계획

전산화 치료계획 장치로는 Eclipse Treatment Planning System(Varian Medical Systems, version 13.6, USA)을 사용하였고, 치료장비로는 Clinac IX(Varian Medical System, USA)과 TrueBeam(Varian medical System, USA)을 사용하였다. 치료 치료계획용적(Planning Target Volume, PTV)의 처방선량은 총 선량 44 Gy를 22회 분할 조사로 적용하였다. 처방선량이 치료계획용적의 95 %를 포함할 수 있도록 하였고, 최대선량(D_{max}) < 110 %이 되도록 진행하였으며, 110 % 이상의 과다선량 영역의 발생을 최소화 하도록 하였다. 각 환자마다 Conventional RT, VMAT, H-VMAT 방법으로 계획을 진행하였다.

Conventional RT는 치료계획용적의 크기, 위치, 모양 및 주변장기들의 위치를 고려하여 4~5개 조사야로 치료계획을 진행하였으며 VMAT 치료계획의 경우는 360°를 2번 회전하는 방법과 180°를 2~3회 회전하는 방법으로 계획하였다. H-VMAT는 폐의 선량 및 주변 장기의 허용선량을 고려하여 VMAT에서 2개의 고정조사야(Static Field)를 추가하여 계획하였다.

3. 치료계획 평가 및 분석 방법

각 치료계획의 선량 평가를 하기 위해서 선량균질지수(Homogeneity index, H.I) [식 1]와 처방선량지수(Conformity index, C.I) [식 2]를 분석하였다.⁽¹⁷⁾

$$H \cdot I = \frac{D_{3\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [식 1]}$$

D_{5%} : Target 용적 5%의 선량

$D_{95\%}$: Target 용적 95%의 선량

$$C \cdot I = \frac{TV}{V_{PTV}} \text{ ----- [식 2]}$$

TV : 처방 선량의 체적

V_{PTV} : PTV의 체적

선량체적용적(Dose volume histogram, DVH)을 참고하여 흉부에 있는 정상 장기의 선량을 분석하였다. 폐는 양쪽, 왼쪽, 오른쪽, 그리고 치료용적을 제외한 폐로 구분하였으며 각각의 V_5 , V_{10} , V_{20} , V_{40} 평균선량을 분석하였고, 심장은 평균선량, 최대선량, V_{10} , V_{20} , V_{40} 을 측정하였고, 식도는 평균선량, 척수는 최대선량을 측정하였다.

Table 1. Values of C.I and H.I for each treatment plan

Parameter	H-VMAT	CRT	VMAT	P Value (H-VMAT Compared to CRT)	P Value (H-VMAT Compared to VMAT)
NSCLC					
H.I	1.06±0.00	1.10±0.02	1.05±0.01	< 0.01	< 0.01
C.I	1.03±0.02	1.37±0.05	1.01±0.02	< 0.01	< 0.01
SCLC					
H.I	1.06±0.00	1.09±0.01	1.05±0.01	< 0.01	< 0.01
C.I	1.03±0.02	1.36±0.05	1.01±0.02	0.01	< 0.01

Table 2. Doses of Lungs by treatment plan (NSCLC)

Parameter	H-VMAT	CRT	VMAT	P Value (H-VMAT Compared to CRT)	P Value (H-VMAT Compared to VMAT)
Total lung					
$V_5(\%)$	55.40±12.82	61.77±13.08	59.88±14.03	< 0.01	0.03
$V_{10}(\%)$	31.79±9.11	42.03±10.73	45.48±11.63	0.03	0.73
$V_{20}(\%)$	13.50±4.83	21.13±6.67	14.30±5.60	< 0.01	< 0.01
$V_{30}(\%)$	6.68±2.97	7.99±3.52	5.80±3.74	< 0.01	0.93
RT lung					
$V_5(\%)$	59.26±17.35	62.46±15.36	61.22±17.00	< 0.01	< 0.01
$V_{10}(\%)$	39.80±19.32	48.45±21.49	50.05±17.03	< 0.01	0.9
$V_{20}(\%)$	18.27±12.21	26.54±16.39	19.60±11.94	0.46	< 0.01
$V_{30}(\%)$	9.59±6.98	11.76±9.00	8.37±7.08	< 0.01	0.25
LT lung					
$V_5(\%)$	52.41±13.85	62.17±13.08	59.54±12.53	0.01	< 0.01
$V_{10}(\%)$	24.09±17.87	37.41±18.53	41.69±14.04	< 0.01	< 0.01
$V_{20}(\%)$	9.58±13.18	17.26±14.72	9.88±13.04	< 0.01	0.04
$V_{30}(\%)$	4.54±7.61	5.07±7.99	3.54±5.69	0.45	0.29
Lung-PTV					
$V_5(\%)$	55.40±13.39	61.62±14.21	59.21±14.32	0.05	0.06
$V_{10}(\%)$	32.05±11.37	41.09±11.01	44.63±11.89	0.43	0.11
$V_{20}(\%)$	13.26±7.17	19.87±6.59	12.95±5.28	0.05	0.88
$V_{30}(\%)$	5.85±4.02	6.54±2.98	4.31±3.32	0.05	0.05
Mean(Gy)	9.08±2.56	10.84±2.44	9.64±2.14	0.05	0.05

결 과

1. PTV의 C.I, H.I값 비교

Table 1과 같이 비소세포성폐암과 소세포성폐암으로 구분하였다. 처방선량지수와 선량균질지수는 1.0에 가까울수록 유의성이 있다. 비소세포성폐암의 경우 선량균질지수는 VMAT에서 1.05±0.01로 1.0에 가장 가깝게 나타났으며, Conventional RT에서는 1.10±0.02로 가장 높은 수치를 보였다. 비소세포성폐암의 처방선량지수 또한 VMAT에서 1.01±0.02로 1.0에 가장 가까웠으며, Conventional RT 치료에서 1.37±0.05로 가장 높은 수치를 보였다. 소세포성폐암의 경우 선량균질지수와 처방선량지수는 1.05±0.01, 1.01±0.02로 VMAT에서 1.0에 가장 가깝게 나타났다.

2. 폐의 선량 평가

Table 2와 같이 비소세포성폐암의 경우 치료계획용적을 제외한 폐의 V₅, V₁₀의 평균값은 각각 55.40±13.39 %, 32.05±11.37 % 로 H-VMAT이 가장 낮은 값을 보였다. 그리고 치료계획용적을 제외한 폐의 평균선량도 9.08±2.56 Gy로 H-VMAT에서 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 1). 그 외 폐 전체에서도 V₅, V₁₀, V₂₀에서 55.40±12.82 %, 31.79±9.11 %, 13.50±4.83 %로 가장 낮은 값을 보였다. 오른쪽 폐, 왼쪽 폐에서의 V₅, V₁₀, V₂₀ 값 역시 H-VMAT에서 가장 낮은 값을 나타내었다.

소세포성폐암의 경우 Table 3과 같이 비소세포성폐암과 유사한 결과를 보였으며, 치료계획용적을 제외한 폐의 V₅, V₁₀의 평균값은 각각 64.32±16.15 %, 35.50±9.91 %로 H-VMAT이 낮았고, 치료계획용적을 제외한 폐의 평균선량은 10.70±1.62 Gy로 H-VMAT에서 가장 낮은 값

Table 3. Doses of Lungs by treatment plan (SCLC)

Parameter	H-VMAT	CRT	VMAT	P Value (H-VMAT Compared to CRT)	P Value (H-VMAT Compared to VMAT)
Total lung					
V ₅ (%)	65.38±15.36	77.24±12.16	72.85±13.78	0.04	0.01
V ₁₀ (%)	37.34±9.04	54.82±9.23	52.12±16.21	0.01	0.06
V ₂₀ (%)	19.46±2.02	28.82±4.77	19.38±1.92	< 0.01	0.05
V ₃₀ (%)	10.92±1.77	12.09±1.12	8.74±2.38	< 0.01	< 0.01
RT lung					
V ₅ (%)	68.48±24.02	78.79±13.25	75.00±16.96	0.08	0.08
V ₁₀ (%)	44.90±30.08	64.00±23.88	56.19±29.26	0.04	0.53
V ₂₀ (%)	22.42±16.78	36.12±23.83	23.40±17.81	0.02	0.03
V ₃₀ (%)	12.21±9.43	13.64±10.48	9.01±7.08	0.15	0.16
LT lung					
V ₅ (%)	63.85±10.90	75.51±11.68	71.15±11.12	< 0.01	< 0.01
V ₁₀ (%)	32.41±22.66	46.73±18.06	50.39±15.33	< 0.01	< 0.01
V ₂₀ (%)	18.98±20.81	23.55±21.98	18.83±21.20	0.03	0.31
V ₃₀ (%)	11.43±14.94	10.86±13.30	10.23±13.66	0.08	0.15
Lung-PTV					
V ₅ (%)	64.32±16.15	76.19±12.53	72.01±14.45	< 0.01	< 0.01
V ₁₀ (%)	35.50±9.91	53.44±9.95	50.69±16.99	0.02	< 0.01
V ₂₀ (%)	17.18±2.65	26.77±5.64	17.52±1.94	0.02	0.03
V ₃₀ (%)	8.44±1.05	9.65±0.66	6.21±1.51	< 0.01	0.05
Mean(Gy)	10.70±1.62	13.82±2.04	11.87±1.96	0.04	0.12

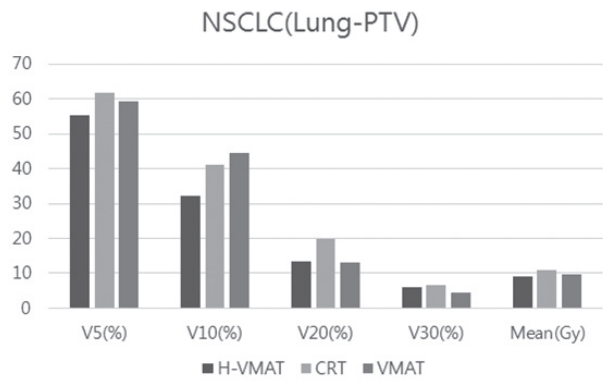


Fig. 1. Doses of Lung-PTV by treatment plan (NSCLC)

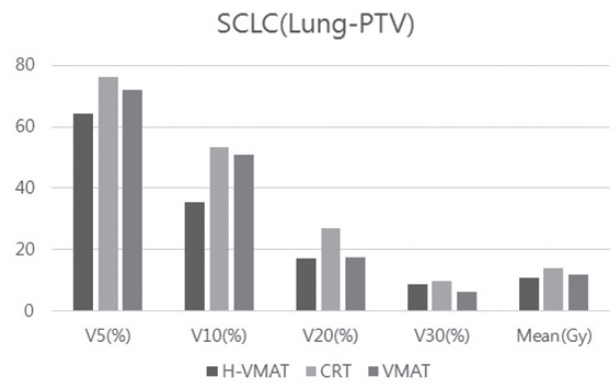


Fig. 2. Doses of Lung-PTV by treatment plan (SCLC)

Table 4. Doses of organs by treatment plan (NSCLC)

Parameter	H-VMAT	CRT	VMAT	P Value (H-VMAT Compared to 3D-CRT)	P Value (H-VMAT Compared to VMAT)
Heart					
V ₁₀ (%)	14.36±15.03	20.52±20.59	12.99±15.53	0.20	0.06
V ₂₀ (%)	7.96±10.69	9.72±11.33	3.71±4.58	0.11	0.02
V ₄₀ (%)	0.69±0.92	1.23±1.49	0.75±1.40	< 0.01	< 0.01
Maximum(Gy)	36.98±17.62	39.50±12.19	36.15±18.74	0.14	0.01
Mean(Gy)	4.54±4.05	6.01±4.94	3.94±3.30	0.14	< 0.01
Esophagus					
Mean(Gy)	19.14±10.10	20.98±7.32	17.84±9.20	0.04	0.02
Spinalcord					
Maximum(Gy)	29.09±5.41	27.07±4.63	21.15±4.02	0.10	0.48

Table 5. Doses of organs by treatment plan (SCLC)

Parameter	H-VMAT	CRT	VMAT	P Value (H-VMAT Compared to CRT)	P Value (H-VMAT Compared to VMAT)
Heart					
V ₁₀ (%)	36.21±27.09	43.92±20.01	37.15±28.92	0.24	0.22
V ₂₀ (%)	24.20±21.44	23.75±13.36	11.56±9.70	0.21	0.05
V ₄₀ (%)	2.05±2.09	4.22±2.60	1.54±1.44	0.01	0.08
Maximum(Gy)	46.33±0.51	46.99±0.82	47.04±0.21	< 0.01	< 0.01
Mean(Gy)	10.64±7.17	12.01±5.13	8.95±5.29	0.04	< 0.01
Esophagus					
Mean(Gy)	17.90±2.18	23.98±3.26	17.44±2.04	0.01	0.02
Spinalcord					
Maximum(Gy)	29.44±1.90	35.86±6.97	19.72±1.82	0.03	0.08

을 나타내었다(Fig. 2). 그 외 폐 전체에서 V₅, V₁₀은 55.40±12.82 %, 31.79±9.11 %로 가장 낮은 값을 보였다. 그리고

오른쪽 폐, 왼쪽 폐에서도 V₅, V₁₀은 H-VMAT가 낮은 값을 나타내었다.

3. 주변 정상 장기 선량 평가

Table 4와 같이 비소세포성폐암의 척수 최대선량 평균값은 21.15 ± 4.02 Gy로 VMAT에서 가장 낮았고, 29.09 ± 5.41 Gy로 H-VMAT에서 가장 높았다. 그 외 심장의 최대선량, 평균선량, V_{10} , V_{20} , V_{40} 식도의 평균선량은 모두 Conventional RT에서 가장 높은 선량을 나타냈고, 심장의 V_{40} 을 제외한 모든 값은 VMAT에서 가장 낮은 값들을 보였다.

소세포성폐암의 경우 Table 5와 같이 척수의 최대선량의 평균값은 19.72 ± 1.82 Gy로 VMAT에서 가장 낮은 값을 보였으며, 35.86 ± 6.97 Gy로 Conventional RT에서 가장 높았다. 그 외 심장의 최대선량, 평균선량, V_{10} , V_{40} 식도의 평균선량은 모두 Conventional RT에서 가장 높은 선량을 나타냈고, 심장의 최대선량, V_{10} 을 제외한 모든 값은 VMAT에서 가장 낮은 값들을 보였다.

장 많은 선량이 전달되었다. 앞의 연구결과를 미루어 보았을 때 VMAT에서는 심장, 식도, 척수 등에서 나머지 두가지 치료계획보다 더 적은 선량이 전달되는 것을 알 수 있었다. 반면 H-VMAT은 일부 정상 장기의 선량이 증가하였지만 폐의 V_5 , V_{10} 에서 낮은 값을 보였다. 그리고 본원에서 H-VMAT을 시행하기 이전인 2013년 3월부터 12월까지의 환자의 방사선 폐렴 발생률은 약 75 %였으며, H-VMAT이 적용된 2014년 3월부터 2017년 2월까지의 방사선폐렴 발생률은 약 32 %였다. 이처럼 H-VMAT적용 전, 후의 방사선 폐렴 발생률 차이가 약 43 %의 차이를 보였다.

Conventional RT, VMAT, H-VMAT 계획을 비교하였을 때 심장, 식도, 척수 등에 전달되는 선량이 부작용을 발생시킬 수 있는 선량보다 적다면 폐의 저 선량 영역의 장점을 보이는 H-VMAT을 적용함으로써 방사선폐렴의 발생률을 낮출 수 있을 것이라고 사료된다.

고안 및 결론

본 연구에서는 Conventional RT, VMAT, H-VMAT 치료계획 방법을 적용하여 주변 장기의 선량을 비교, 분석 하였다. 각각의 치료 계획을 비교하였을 때, 선량균질지수와 처방선량지수는 VMAT와 H-VMAT 두 방법에서는 0.1 미만의 차이였으나, VMAT이 H-VMAT보다 1.0에 가까운 값을 보였다. 그리고 Conventional RT 는 나머지 치료계획과 비교하였을 때 가장 큰 값을 보였다. 정상 장기 비교 시 비소세포성폐암의 VAMT에서 척수의 최대선량이 21.15 ± 4.02 Gy로 가장 낮은 값이었고, 소세포성폐암에서 가장 낮은 값을 보였다. 심장의 선량은 대부분 VMAT에서 가장 낮게 나타났으며, Conventional RT에서는 V_{10} , V_{20} , V_{40} , 최대선량, 평균선량 모두 가장 높은 값을 보였다. 그리고 비소세포성폐암과 소세포성폐암에서 식도에 전달되는 선량도 VMAT에서 가장 낮았다. 반면, 비소세포성폐암, 소세포성폐암의 치료계획용적을 제외한 폐의 평균선량은 9.08 ± 2.56 %, 10.70 ± 1.62 %로 H-VMAT에서 가장 낮은 선량이 전달되었고, 폐의 V_5 , V_{10} 에서도 가장 낮은 값을 보였다. V_{20} 의 경우에는 H-VMAT와 VMAT은 최대 2 % 이하로 비슷한 값이었다. 반면 Conventional RT에서 가

참고문헌

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. Farshad F, Lesley W, Mathias B, Annette H, Colin H, Daniel P, Jim C, Suki G, Keen HT, and Tomas K. A dosimetric comparison of 3D conformal vs intensity modulated vs volumetric arc radiation therapy for muscle invasive bladder cancer. Radiat Oncol Biol Med.2012; 7: 111.
3. Gross NJ, Pulmonary effects of radiation therapy. Ann Intern Med.1977;86:81-92.
4. 안진영, 이연선, 권선중, 박희선, 정성수, 김진환, 김주옥, 조문준, 김선영. 방사선 치료를 시행 받은 폐암 환자에서 방사선 폐렴의 발생에 관한 예측 인자. Vol. 56, No. 1, Jan, 2004.
5. Wang JY, Chen KY, Wang JT, Chen JH, Lin JW, Wang

- HC et al. Outcome and Pro-gnostic factors for patients with Non-small cell lung cancer and severe radiation pneumonitis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2002;54:735-41.
6. 심영수. 폐암의 치료. 한용철, 임상 호흡기학. 서울:일조각; 1990. p.281-2.
 7. Perry MC, Eaton WL, Propert WL, Ware JH, Zimmer B, Chahinian AP et al. Chemo-therapy with or without radiation therapy in limited small-cell carcinoma of the lung. *N Engl J Med* 1987;316:912-8.
 8. Turrisi AT, Glover DJ, Mason B. A preliminary report: concurrent twice-daily radiotherapy plus-platinum-etoposide chemotherapy for limited small cell lung cancer. *Int J radiat Onc Biol Phys* 1988;15:183-7.
 9. Moron RF, Jett JR, McGinnis WL. Thoracic radiation therapy alone compared with combined chemotherapy for locally unresectable non-small cell lung cancer. *Annals Int Med* 1991;115:681-6.
 10. Segawa Y, Takigawa N, Kataoka M, Takata I, Fujimoto N, Ueoka H. Risk factors for development of radiation pneumonitis following radiation therapy with or without chemotherapy for lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;39:91-8.
 11. Soumik G, Rakesh K, Rajesh G, Divya K, Rakesh K, Arun SO, Reena S, Suresh CS. An evaluation of three dimensional conformal radiation therapy versus intensity modulated radiation therapy in radical chemoradiation of esophageal cancer: A dosimetric study. Department of Radiotherapy and Oncology, Institute of Medical Education and Research, Chandigarh, India 2012:65-70.
 12. Pinnix CC, Smith GL, Milgrom S, et al. Predictors of radiation pneumonitis in patients receiving intensity modulated radiation therapy for Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2015;92(1):175-182.
 13. Wang S, Liao Z, Wei X, et al. Analysis of clinical and dosimetric factors associated with treatment-related pneumonitis (TRP) in patients with non-small-cell lung cancer (NSCLC) treated with concurrent chemotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT). *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2006;66(5):1399-1407.
 14. Dr Emami B . Tolerance of Normal Tissue to Therapeutic Radiation Department of Radiation Oncology, Loyola University Medical Center, Maywood, Illinois, USA 2013;39.
 15. Scott R, Silva, MD, PhD, Murat Surucu, PhD, Jennifer Steber, CMD, Matthew M, Harkenrider, MD, and Mehee Choi. Clinical Application of a Hybrid RapidArc Radiotherapy Technique for Locally. *MD Technology in Cancer Research & Treatment*, 2016, 1-7.
 16. Diane C. Ling, Clayton B. Hess, Allen M. Chen, Megan E. Daly. Comparison of Toxicity Between Intensity-Modulated Radiotherapy and 3-Dimensional Conformal Radiotherapy for Locally Advanced Non-small-cell Lung Cancer. *Clinical Lung Cancer*, 2016, 18-23.
 17. Shaw E, Kline R, Gillin M, et al. Radiation Therapy Oncology Group: radiosurgery quality assurance guidelines. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1993;27(5):1231-1239.

The Evaluation of Hybrid-Volumetric Modulated Arc Therapy for Lung Cancer Radiation Therapy

Department of Radiation Oncology, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea

Geon Ho Lee, Hyo Seok Kang, Byoung Joon Choi, Sang Jun Park, Da Ee Jung, Du Sang Lee, Min Woo Ahn, Myeong Soo Jeon

Objectives: In the Lung, the VMAT rotates continuously and examines radiation. That increases the low doses to normal lung. Due to that, the incidence of radiation pneumonia among radiation side effects may increase. The cause of radiation pneumonia is the lower dose area of the lungs. The H-VMAT was applied to patients who applied to reduce radiation in the lower doses of the lungs. We wanted to assess the usefulness of the H-VMAT by comparing the radiation doses to the low dose areas of the lungs and the normal organs.

Materials and Methods: A total of 26 patients who applied for a H-VMAT procedure were applied to the patient. The prescription dose applied to total dose 44 Gy from 22 divisions. For each patient, a plan was implemented with Conventional RT, VMAT and H-VMAT. Conventional RT was carried out in four to five fields each, considering the size, location, shape, and location of the PTV. In the case of a VMAT plan, the two Half ARC, three Half ARC method and the two Full ARC were planned. The H-VMAT was planned by adding two Static fields in the VMAT, taking into account the dose of the lung and the tolerance dose of the organs.

Results: In the NSCLC, the lung doses V5 and V10 of the lungs except for the treatment plan volume were the lowest with 55.40±13.39 % and 32.05±11.37 % of H-VMAT. And, in the SCLC, the lung doses of V5 and V10 were the lowest at 64.32±16.15 % and 35.50±9.91 %, respectively. The spinal dose of VMAT in NSCLC was 21.15±4.02 Gy, which was 7.94 Gy lower than other treatment methods. The lowest spinal dose was delivered at 19.72±1.82 Gy for SCLC. The mean dose delivered to the esophagus was also 17.44±2.04 Gy and 17.84±9.20 Gy in SCLC and NSCLC, respectively.

Conclusion: When comparing the value of the surrounding normal organ dose, the VMAT showed that less doses were transmitted from the heart, esophagus and spinal cord than the rest of the treatment plan. However, it was similar to VMAT in normal organs except for the spinal cord. VMAT has increased doses of some normal organs but did not exceed the tolerance dose. It showed a low value in V₅, V₁₀. When comparing Conventional RT, VMAT, and H-VMAT, If the dose to the heart, esophagus and spinal cord is lower than the tolerance dose, it is thought to reduce the incidence of radiation pneumonia by applying H-VMAT that show the benefits of low doses of the lungs.

▶**Key word:** Conventional RT, H-VMAT, VMAT, Lung