

선형가속기의 다엽콜리메이터 형태에 따른 치료계획 비교 평가

분당서울대학교병원 방사선종양학과

임지혜·장남준·석진용·정윤주·원희수·정해운·최병돈

목 적 : 임상적으로 많이 시행하는 치료부위에 고차원 치료기법 적용 시 선형가속기에 장착된 다엽콜리메이터(Multi leaf collimator, MLC)의 형태가 치료계획에 미치는 영향을 연구해 보고자 한다.

대상 및 방법 : 본원에서 척추암, 폐암 정위적체부방사선치료(Stereotactic body radiation therapy, SBRT)를 받은 환자와 전립선암, 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암의 용적변조회전치료(Volumetric modulated arc therapy, VMAT)를 시행한 환자들을 부위별로 10명씩 총 70명 선정하였다. Truebeam STx(Varian Medical system, Palo Alto, CA)의 high definition MLC(HD MLC)와 Vitalbeam(Varian Medical system, Palo Alto, CA)에 장착된 millenium MLC(M MLC)를 사용하였고, 치료계획은 Eclipse(Version 13.7, Varian Palo Alto USA, CA)를 이용하여 동일한 조건으로 환자마다 각각 2개씩 수립하였다. MLC의 형태에 따른 치료계획을 평가하기 위해 PTV coverage, conformity index(CI), homogeneity index(HI)를 비교하였고, 정상조직은 각 부위별로 임상에서 사용하는 평가 지표를 분석하였으며, 정상조직에서 저 선량 영역을 비교하기 위하여 $V_{30\%}$ 를 평가하였다. 추가적으로 각 부위별로 치료표적의 길이 및 체적을 조사하였다.

결 과 : PTV coverage는 HD MLC를 적용한 폐암 SBRT에서 평균선량이 0.52 %, 척추암 SBRT에서 평균선량과 최대선량이 각각 0.68 %, 1.13 %로 M MLC에 비해 감소하였다. CI와 HI는 척추암 SBRT 치료계획에서 HD MLC가 1.144, 1.079로 M MLC의 1.160, 1.092 보다 낮은 수치를 나타냈다($p < 0.05$). 결정장기의 선량 평가는 폐암 SBRT 치료계획에서 치료받는 쪽 폐의 평균선량이 HD MLC에서 1.48 %로 낮아졌다. 전립선암 VMAT은 HD MLC를 적용한 치료계획에서 방광의 V_{30} 과 평균선량이 0.53 %, 1.42 %, 직장의 V_{25} 와 평균선량이 0.97 %, 0.69 %로 감소하였다($p < 0.05$). 유방암 VMAT은 오히려 HD MLC를 사용한 치료계획에서 심장의 평균선량이 0.83 %로 높아졌다. 다른 치료부위 평가지표들은 두 MLC를 적용한 치료계획 사이에 큰 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

결 론 : 본 연구 결과 SBRT나 전립선암 VMAT과 같이 치료표적의 길이가 짧고 크기가 작은 경우 HD MLC를 사용하는 것이 PTV coverage 및 정상조직 보호 효과 면에서 다소 이점이 있는 것으로 나타났으나, 그 외 상대적으로 길고, 큰 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암 VMAT에서는 MLC의 형태가 치료계획에 미치는 영향은 크지 않았다.

▶ **핵심용어** : High definition MLC, Millenium MLC, 정위적체부방사선치료, 용적변조회전치료

서 론

세기변조방사선치료(Intensity modulated radiation

therapy, IMRT)는 다엽콜리메이터(multi leaf collimator, MLC)의 움직임을 이용하여, 기존의 삼차원입체조형 방사선치료보다 정교한 선량 분포를 만들어 낼 수 있는 치료기법이다.⁽¹⁾ 그러나 IMRT는 각 조사야에 증가한 segmentation으로 인해 Monitor Units이 늘어나고 치료시간이 증가하여 치료 중 환자의 움직임에 의한 오차가 발생할 확률이 높아지며, 환자의 불편함을 초래할 수 있는 단점

책임저자: 장남준, 분당서울대학교병원
경기도 성남시 분당구 구미로 173번길 82
Tel: 031)787-2906
E-mail: changnj@naver.com

이 있다.⁽²⁾ 용적변조회전치료(Volumetric modulated arc therapy, VMAT)는 최적의 선량분포를 얻기 위하여 갠트리의 회전과 동시에, 회전 속도, MLC 이동 및 속도, 선량률을 다양하게 변화시키며 방사선을 조사하여 IMRT에 비해 효율적인 시간으로 선량을 전달할 수 있는 치료기법이다.⁽³⁾ VMAT에서 최적화된 선량분포를 얻기 위하여 MLC의 움직임으로 방사선의 강도를 변조시키며, 이러한 변조는 치료계획 시 생성되는 fluence에 의해 만들어지게 된다. 이 fluence의 세분화 되는 정도는 MLC 폭에 의해 결정되며, 치료계획의 질에 영향을 미치기 때문에 MLC는 치료계획 및 실제치료에 있어서 매우 중요한 요소이다.⁽⁴⁾

정위적체부방사선치료(Stereotactic body radiation therapy, SBRT)는 외과적 절제술처럼 초기의 암 환자에게 높은 중앙 제어율을 기대할 수 있는 고 선량, 소 분할 치료법(hypofractionated radiotherapy)으로 폐암과 척추암 방사선치료에 많이 적용한다.⁽⁵⁾ SBRT는 모양이 불규칙하고 손상장기가 인접하여 있는 치료 표적에 고 선량을 조사해야 하므로, 정교한 선량분포를 얻을 수 있고 효율적으로 선량을 전달할 수 있는 VMAT을 많이 채택하고 있다.⁽⁶⁾ 이에 실질적인 체내 선량분포 형성에 영향을 미치는 MLC의 중요성이 부각되고 있으며, 이러한 이유로 기존의 보편화된 밀레니엄 MLC(Millennium MLC, M MLC, Varian Medical system, Palo Alto, CA)보다 분해능이 향상된 고선명도 MLC(High definition MLC, HD MLC, Varian Medical system, Palo Alto, CA)가 개발되어 일부 의료용 선형가속기(Linear accelerator, LINAC)에 적용되었다.⁽⁷⁾ HD MLC는 구성 물질과 두께 및 엽의 굴곡진 끝(leaf end)의 모양에 변화를 주어 투과선량(leaf transmission)과 엽 간 누설선량(interleaf leakage), 반음영(leaf end penumbra)의 크기가 M MLC에 비해 개선되었고, leaf의 폭 또한 얇아져 치료계획 시 fluence를 더욱 세밀하게 분해할 수 있어 선량적인 이점이 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ MLC가 치료계획에 미치는 영향에 관한 연구는 주로 SBRT에서 선행되어 졌었고 HD MLC가 planning target volume(PTV)의 coverage와 conformity index(CI), homogeneity index(HI) 및 결정 장기 보호에서 이점이 있다고 확인 되었다.^(11,12) 일반적인 VMAT 연구에서는 주로 팬텀연구나 물리적 특성에 관한 선량측정에만 국한 되어

있어 실제 임상에서 적용되는 치료계획에서도 HD MLC가 기존의 SBRT 결과와 같은 이점을 갖고 있는지에 대한 연구가 부족하였다.⁽¹³⁻¹⁶⁾ 이에 우리는 상대적으로 높은 분해능을 갖고 있는 HD MLC가 일반적인 VMAT 치료에서도 이점이 있는지 확인하기 위해 임상 데이터를 가지고 2가지 형태의 MLC를 적용하였을 때 차이를 비교해 볼 필요가 있다고 생각하였다.

본 연구에서는 SBRT 및 VMAT에서 HD MLC와 M MLC를 적용한 치료계획을 수립하고 MLC 형태가 치료계획에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

대상 및 방법

1. 환자 선택

본원에서 치료받은 환자들 중 임상적으로 많이 적용되는 치료부위를 7개의 그룹으로 선별하였다. 척추암 또는 폐암 SBRT를 받은 환자와 전립선암, 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암의 VMAT을 시행한 환자들을 부위별로 10명씩 총 70명 선정하였다.

Table 1. Average length and volume of targets

Treatment sites		Length (cm)	Volume (cm ³)
SBRT	Lung	3.8~7.4	9.6~75.5
		Avg 4.7	Avg 37.2
	Spine	2.6~7.6	13.3~417.7
		Avg 4.9	Avg 130.8
VMAT	Prostate	5.1~7.5	75.5~143
		Avg 6.2	Avg 95.7
	Lung	5.7~16.8	69.7~366
		Avg 10.6	Avg 198.0
	H & N	14.1~19.2	258.3~695.1
		Avg 16.5	Avg 456.2
	W. Pelvis	12.6~15.3	681.9~999.8
		Avg 14.1	Avg 828.0
Breast	15~18	446.2~1096	
	Avg 16.3	Avg 771.8	

SBRT: stereotactic body radiation therapy, VMAT: volumetric modulated arc therapy, H & N: head and neck, W: whole, Avg: average.

전산화단층촬영 영상(brilliance big bore 16-slice, Philips, Netherlands)은 환자에게 조영제를 주입한 후 SBRT는 2 mm, VMAT은 3 mm 두께로 영상을 획득하였다. Radiation Therapy Oncology Group 가이드라인을 준수하여 Gross Tumor Volume과 Clinical Target Volume(CTV) 또는 Internal Target Volume(ITV)을 설정하였다. CTV 또는 ITV에 환자의 움직임과 set up 오차를 고려한 margin을 주어 PTV를 만들고 치료표적에 인접한 주요 장기의 선량 평가를 위하여 각 치료부위별로 Organ at risks(OARs)의 윤곽을 그렸다. SBRT와 VMAT의 치료부위별 PTV의 길이 및 체적에 관한 정보는 Table 1에 정리되어 있다.

2. 치료계획

치료계획 시스템은 Eclipse(Version 13.7, Varian Palo Alto USA, CA)를 사용하였고, MLC의 형태에 따른 영향을 알아보기 위해 HD MLC를 장착한 True-Beam STx(Varian Medical system, Palo Alto, CA)와 M MLC를 장착한 VitalBeam(Varian Medical system, Palo Alto, CA)을 사용하였으며, 두 MLC의 자세한 재원과 물리적 특성은 Table 2, Fig. 1에 정리되어 있다.⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ 척추암과 폐암 SBRT의 치료계획을 위해서 6 MV-FFF(Flattening filter free, FFF)에너지 광자선을 적용하였고, 전립선암과 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암 VMAT에는 6 MV 또는 10 MV 광자선을 사용하였다. MLC의 엽 간 누설선량이 중복되는 영역을 최소화하기 위해 collimator의 각도를 30°, 330°로 하였으며, 치료표적의 모양과 크기, 위치를 고려하여 2 partial arc 또는 1 full arc, 2 full arc의 VMAT 기법을 사용하였다. 선량체적최적화(dose volume optimization) 과정은 photon optimizer(version 13.7)를 이용하여 PTV에 균일하게 처

방선량이 분포하면서 동시에 주변정상조직의 선량을 줄이고 결정 장기에는 허용선량을 만족하도록 선량체적제한(dose volume constraint)과 우선권(priority)을 설정해 시행하였고, 각 환자별로 같은 치료 목적을 달성하기 위해 두 치료계획에 동일하게 적용하였다. 선량 계산을 위한 알고리즘은 치료부위의 물리적 특성에 따라 Anisotropic Analytical Algorithm(version 13.7) 또는 Acuros External Beam(version 13.7)을 적용하였다.

3. 평가 지표

치료계획의 평가는 PTV의 최대선량과 평균선량을 산출하여 coverage, PTV 체적과 처방선량의 95 %가 조사되는 체적의 비인 CI($V_{95\%}/V_{PTV}$)와 PTV의 95 % 체적에 조사되는 선량과 5 %의 체적에 조사되는 선량의 비인 HI($D_{5\%}/D_{95\%}$)를 비교하였다.

OARs 평가를 위해서 폐암 SBRT는 치료받는 쪽 폐의 평균선량과, 20 Gy가 조사되는 용적(V_{20})을 비교하였고, 척

Table 2. Construction and physical difference between millennium MLC and high definition MLC

	Millenium MLC	HD MLC
Leaf width	5 mm inner (20 cm)	2.5 mm inner (8 cm)
	10 mm outer (20 cm)	5 mm outer (14 cm)
Leaf thickness	6.7 cm	6.9 cm
Composition	92.5 % W	95 % W
Radius of curvature	8 cm	16 cm
Average leaf transmission	< 2.5 %	< 2.0 %
Maximum interleaf leakage	< 3.0 %	< 2.5 %
Leaf end penumbra at D_{max}	< 4.5 mm	≤ 3.5 mm

HD: high definition, MLC: multileaf collimator, W: tungsten,



Fig. 1. Illustration comparing the construction difference of Millennium MLC and HD MLC

추암 SBRT는 Cord의 최대선량과 체적의 1 %에 조사되는 선량(D₁ %)을 비교하였다. 전립선암은 방광의 평균선량과 방광의 30 Gy가 조사되는 용적(V₃₀), 직장암의 평균선량과 직장에 25 Gy가 조사되는 용적(V₂₅)를 비교하였다. 폐암 VMAT은 심장에 20 Gy가 조사되는 용적(V₂₀), 양쪽 폐의 평균선량과 20 Gy가 조사되는 용적(V₂₀), 식도의 평균선량을 비교하였다. 두경부암은 양쪽 Parotid의 평균선량과 체적의 50 %에 조사되는 선량(D₅₀ %), Cord 체적의 1 %에 조사되는 선량(D₁ %)을 비교하였다. 전골반암은 방광의 평균선량과 방광의 30 Gy가 조사되는 용적(V₃₀), 직장암의 평균선량과 직장에 25 Gy가 조사되는 용적(V₂₅)를 비교하였다. 유방암은 심장의 평균선량과 심장에 20 Gy가 조사되는 용적(V₂₀), 치료받는 쪽 폐의 평균선량과 20 Gy가 조사되는 용적(V₂₀)을 비교하였다. 저 선량 영역을 비교하기 위해 처방선량의 30 %가 조사되는 체적인 V₃₀ %을 이용하였다. 데이터의 통계분석은 Statistical package for the social sciences(Version 20.0, SPSS Inc, Chicago, IL)을 사용하였다. 대응 2표본(Wilcoxon signed rank test)을 사용하여 HD MLC와 M MLC 그룹 간의 차이를 분석하였고, 통계적인 유의수준은 0.05로 설정하였다.

결 과

1. PTV coverage와 선량지표

PTV coverage의 평가를 위한 평균선량과 최대선량 비교 값은 Table 3에 나와 있다. 평균선량은 폐암 SBRT에서 평균 M MLC 5366.39±570.71 cGy, HD MLC 5337.70±573.60 cGy이었으며, 척추암 SBRT는 M MLC 2234.42±576.04 cGy, HD MLC 2219.57±579.61 cGy으로 M MLC의 평균선량이 높게 나타났다. 전골반암 VMAT에서는 M MLC 4567.53±112.39 cGy, HD MLC는 4570.14±112.49 cGy로 M MLC의 평균선량이 HD MLC보다 낮게 나타났다(p<0.05). 최대선량은 척추암 SBRT에서 평균 M MLC 2425.48±613.23 cGy, HD MLC는 2398.46±628.87 cGy이었으며, 두경부암 VMAT에서는 M MLC 7217.60±257.61 cGy, HD MLC 7182.41±285.39 cGy로 M MLC의 최대선량이 HD MLC보다 높게 나왔다(p<0.05).

선량지표 CI와 HI 비교 값은 Table 4에 나와 있다. CI는 척추암 SBRT에서 M MLC 1.160±0.06, HD MLC 1.144±0.05로 HD MLC의 CI가 1에 가까운 수치를 나타냈다. 전골반암 VMAT에서는 M MLC 1.034±0.01, HD MLC는 1.038±0.01로 M MLC의 값이 HD MLC보다 1에 가까운

Table 3. Maximum and mean dose in the target for seven sets of treatment sites

		Millenium MLC (cGy)	HD MLC (cGy)	p-value ¹⁾
Lung SBRT	Max	5824.79±682.72	5770.71±719.48	0,074
	Mean	5366.39±570.71	5337.70±573.60	0,005
Spine SBRT	Max	2425.48±613.23	2398.46±628.87	0,005
	Mean	2234.42±576.04	2219.57±579.61	0,005
Prostate	Max	7682.94±81.44	7639.15±54.96	0,093
	Mean	7111.02±22.98	7100.80±15.33	0,093
Lung	Max	6282.32±1138.60	6276.36±1152.05	0,959
	Mean	5335.00±1969.69	5327.71±1968.68	0,241
H & N	Max	7217.60±257.61	7182.41±285.39	0,022
	Mean	6810.57±258.75	6804.35±265.27	0,114
W, Pelvis	Max	4873.32±120.54	4864.12±118.28	0,086
	Mean	4567.53±112.39	4570.14±112.49	0,047
Breast	Max	4687.69±76.27	4693.97±79.01	0,203
	Mean	4313.35±75.48	4312.24±75.09	0,515

¹⁾ Statistical significance test was done by using the Wilcoxon signed rank test.

HD: high definition, SBRT: stereotactic body radiation therapy, Max: maximum, H & N: head and neck, W: whole, MLC: multileaf collimator.

Table 4. Conformity indices and homogeneity indices of the Millennium MLC plans and high definition MLC plans

		Millenium	HD	p-value ¹⁾
Lung SBRT	CI	1,255±0,34	1,230±0,34	0,866
	HI	1,075±0,03	1,069±0,03	0,008
Spine SBRT	CI	1,160±0,06	1,144±0,05	0,008
	HI	1,092±0,02	1,079±0,01	0,005
Prostate	CI	1,038±0,02	1,041±0,01	0,374
	HI	1,080±0,01	1,074±0,01	0,008
Lung	CI	1,687±0,81	1,694±0,79	0,54
	HI	1,060±0,02	1,057±0,02	0,024
Head and Neck	CI	1,415±0,27	1,411±0,27	0,332
	HI	1,060±0,02	1,054±0,01	0,021
Whole Pelvis	CI	1,034±0,01	1,038±0,01	0,015
	HI	1,070±0,00	1,065±0,00	0,008
Breast	CI	0,956±0,02	0,957±0,02	0,798
	HI	1,122±0,01	1,123±0,01	0,512

¹⁾ Statistical significance test was done by using the Wilcoxon signed rank test.

HD: high definition, SBRT: stereotactic body radiation therapy, CI: conformity index, HI: homogeneity index,

수치를 보였다($p < 0.05$). HI는 폐암 SBRT에서 HD MLC 1,069±0,03, 척추암 SBRT에서 HD MLC 1,079±0,01, 전립선암 VMAT에서 HD MLC 1,074±0,01, 폐암 VMAT에서 HD MLC 1,057±0,02, 두경부암 VMAT에서 HD MLC 1,054±0,01이었고, 전골반암VMAT은 HD MLC 1,065±0,00로 HD MLC에서 HI값이 수치상 약간 개선되었다($p < 0.05$).

2. 결정 장기

각 치료부위에 따른 결정 장기의 평가는 Table 5에 나와 있다. 치료 계획에 따른 비교결과 폐암 SBRT에서 치료 받는 쪽 폐의 평균선량, V_{20} 은 M MLC에서 587.54±306.49 cGy, 9.53±4.86 %이었고, HD MLC에서 578.97±133.81 cGy, 9.39±4.82 %로 HD MLC가 낮게 나타났다. 전립선암 VMAT에서는 방광 평균선량 V_{30} , 직장 평균선량 V_{25} 가 순서대로 HD MLC에서 1733.58±663.06 cGy, 24.20±13.18 %, 2657.60±284.92 cGy, 47.48±7.32 %로 HD MLC가 더 낮게 나타났다. 유방암 VMAT에서는 심장 평균선량, 치료 받는 쪽 폐 V_{20} 이 각각 M MLC에서 486.45±64.38 cGy, 17.83±4.74 %이었고 HD MLC에서는 490.52±64.26 cGy, 18.15±4.80 %로 M MLC가 HD MLC보다 낮게 나왔다

($p < 0.05$).

3. 저 선량 영역

V_{30} %은 폐암 SBRT에서 M MLC 2,240±0,87 %, HD MLC 2,181±0,85 %, 척추암 SBRT는 M MLC 5,111±3,60 %, HD MLC 4,971±3,56 %으로 HD MLC에서 작게 나타났다($p < 0.05$)(Table 6).

결론

본 연구에서는 SBRT 및 VMAT 치료계획에서 다엽콜리메이터의 형태가 치료계획에 미치는 영향을 알아 보았다.

폐암 SBRT와 척추암 SBRT 치료계획에서 PTV 평균선량은 HD MLC를 적용하였을 경우 처방선량과 더 근접한 값을 나타냈으며, 척추암 SBRT에서 최대선량은 1.13 %로 감소하여 HD MLC를 적용한 치료계획이 PTV coverage 면에서 이점이 있는 것으로 나타났다. CI는 척추암 SBRT 치료계획에서 HD MLC의 값이 M MLC 값보다 1에 가까운 수치를 나타냈다(1,144 vs 1,160). HI의 값은 척추 SBRT에서 HD MLC를 이용한 치료계획에서 이점을 보였

Table 5. Evaluation of organ at risks for each treatment sites

		Millenium	HD	p-value ¹⁾
Lung	Ipsilateral lung V ₂₀ (%)	9.53±4.86	9.39±4.82	0.017
SBRT	Ipsilateral lung mean (cGy)	587.54±306.49	578.97±133.81	0.005
Spine	Cord Max (cGy)	1788.46±713.98	1764.46±725.85	0.083
SBRT	Cord D _{1%} (cGy)	1681.31±687.79	1672.16±699.37	0.173
Prostate	Bladder V ₃₀ (%)	24.73±13.42	24.20±13.18	0.014
VMAT	Bladder mean (cGy)	1758.25±668.57	1733.58±663.06	0.005
	Rectum V ₂₅ (%)	48.45±7.12	47.48±7.32	0.017
	Rectum mean (cGy)	2676.01±274.29	2657.60±284.92	0.022
Lung	Heart V ₂₀ (%)	10.63±6.24	10.51±6.37	0.285
VMAT	Both lung V ₂₀ (%)	14.68±7.31	14.82±7.50	0.241
	Both lung mean (cGy)	873.41±321.66	869.12±320.05	0.074
	Esophagus mean (cGy)	1037.45±555.45	1033.45±556.29	0.575
H & N	Cord D _{1%} (%)	3324.47±246.21	3321.52±244.65	0.799
VMAT	Both Parotid mean (cGy)	2325.64±493.02	2315.82±488.54	0.059
	Both Parotid D _{50%} (cGy)	1745.7±608.54	1734±606	0.074
W. Pelvis	Bladder V ₃₀ (%)	81.648±15.00	81.445±0.203	0.24
VMAT	Bladder mean (cGy)	4014.21±272.46	4016.43±274.70	0.959
	Rectum V ₂₅ (%)	59.979±10.774	60.402±10.262	0.074
	Rectum mean (cGy)	2935.60±282.619	2940.34±278.314	0.386
Breast	Heart V ₂₀ (%)	1.46±0.98	1.52±0.98	0.152
VMAT	Heart mean (cGy)	486.45±64.38	490.52±64.26	0.028
	Ipsilateral lung V ₂₀ (%)	17.83±4.74	18.15±4.80	0.019
	Ipsilateral lung mean dose (cGy)	1085.16±188.86	1088.17±186.56	0.169

¹⁾ Statistical significance test was done by using the Wilcoxon signed rank test.

HD: high definition, SBRT: stereotactic body radiation therapy, VMAT: volumetric modulated arc therapy, H & N: head and neck, W: whole, Max: maximum.

Table 6. Comparison of Low dose Spillage (V_{30%})

		Millenium MLC (%)	HD MLC (%)	p-value ¹⁾
SBRT	Lung	2.240±0.87	2.181±0.85	0.022
	Spine	5.111±3.60	4.971±3.56	0.005
VMAT	Prostate	3.781±1.29	3.744±1.28	0.155
	Lung	8.576±2.72	8.492±2.59	0.726
	H & N	20.629±6.17	20.587±6.22	0.683
	W. Pelvis	26.66±3.75	26.856±3.62	0.103
	Breast	11.022±1.31	10.945±1.38	0.092

¹⁾ Statistical significance test was done by using the Wilcoxon signed rank test.

V_{30%}: volume receiving 30 % of prescription dose, HD: high definition, SBRT: stereotactic body radiation therapy, VMAT: volumetric modulated arc therapy, H & N: head and neck, W: whole, MLC: multileaf collimator.

다(1.079 vs 1.092). 결정 장기의 선량평가는 폐 SBRT 치료계획에서 치료받는 쪽 폐의 V_{20} 과 평균선량이 HD MLC에서 0.14 %, 1.48 % 낮아짐을 보였다, 전립선암 VMAT 치료계획은 방광의 V_{30} 과 평균선량이 0.53 %, 1.42 %가 감소되고, 직장의 V_{25} 와 평균선량이 0.97 %, 0.69 %로 감소를 보이며 HD MLC를 적용한 치료계획이 이점이 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이러한 HD MLC의 선량적인 이점은 치료계획 중 선량-체적 최적화 시 적용되는 MLC의 폭이 영향을 미치며, HD MLC의 중앙부가 기존의 M MLC에 비해 1/2 얇아지면서 2배 높은 분해능을 갖게 되고 fluence는 더 세분화되어 방사선의 강도를 변조시켜 조사함으로써 표적과 정상조직을 세밀하게 구분한 선량분포를 만들어 낼 수 있기 때문이다.^(4,10) 기존의 연구들은 좁은 폭의 MLC가 폐암과 척추암 SBRT와 같이 치료표적의 크기가 작거나, 모양이 불규칙하고 정상조직에 근접해 있는 표적에서 PTV coverage 및 정상조직 보호효과에 이점이 있다고 하였다.^(20,21) 본 연구에서 폐암과 척추암 SBRT, 전립선암 VMAT 치료표적의 평균 길이는 각각 4.7, 4.9, 6.2 cm이고 체적은 37.19, 130.84, 95.75 cm^3 으로 상대적으로 크기가 작아 HD MLC 중앙 8 cm의 공간 분해능이 높고 물리적 이점이 있는 2.5 mm 폭 MLC의 영향을 지배적으로 받아 PTV coverage 및 정상조직 보호효과 면에서 나온 결과를 보인 것으로 생각되며, 기존의 연구들과 동일한 결과를 얻었다.

두경부암 VMAT 계획에서 PTV의 최대선량은 HD MLC를 적용하였을 때 0.49 %로 낮게 나타났다. CI는 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암 VMAT 치료계획에서 모두 통계적으로 유의하지 않은 수치를 보였다. HI는 폐암, 두경부암, 전골반암에서 통계적으로 유의한 차이를 보였지만 0.01 미만의 값으로 임상적으로 치료계획에 영향을 미칠만한 차이는 아니었다. 결정장기는 유방암 VMAT에서 심장의 평균선량이 0.83 %, 치료 받는 쪽 폐의 V_{20} 이 0.32 %로 HD MLC를 적용하였을 경우 오히려 증가하였으며, 폐암과 두경부암, 전골반암 VMAT에서는 통계적으로 유의하지 않은 수치를 보였다. 직접적인 비교는 어렵지만 기존 두경부암 IMRT 및 VMAT에서 MLC 폭(2.5 mm vs 5 mm)이 치료계획에 미치는 영향에 대한 연구 결과 MLC 폭이 PTV의 평가지표 및 결정장기 보호 효과 면에서 영향을 미치지 않

는다고 하였다.^(7,16) 이번 결과도 HD MLC가 두경부암에서 PTV의 최대선량을 약간 감소시킨 것을 제외하곤 CI 나 HI 및 결정 장기 보호 효과 면에서 두 MLC 형태 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 폐암과 전골반암 VMAT의 경우도 마찬가지로 HD MLC와 M MLC를 적용한 치료계획 간에 PTV 및 결정장기에 대한 선량의 차이를 확인할 수 없었으며, 유방암 VMAT 치료계획에서는 심장의 평균선량을 M MLC를 적용하였을 경우 0.83 %로 약간 감소시킨 것을 제외하고는 차이가 없었다. 이러한 결과는 앞서 HD MLC를 사용시 이점을 보였던 부위들과는 달리 치료표적의 길이가 길어지고 체적이 커졌기 때문에 collimator가 돌아간 상태에서 이들을 포함하기 위해 X, Y 조사야의 크기가 커져 HD MLC의 중앙부를 구성하고 있는 2.5 mm 폭 MLC가 미치는 영향이 상대적으로 줄어드는 반면 바깥쪽 5 mm 폭 MLC의 영향이 커짐으로서 5 mm 폭 MLC의 영향을 받는 M MLC를 적용한 치료계획과 차이가 없어진 것이라 사료되며, 추후 치료표적의 길이와 체적의 크기를 체계적으로 구분하여 이에 따른 HD MLC 및 M MLC의 치료계획에서의 선량적인 영향에 대해 연구할 필요가 있다고 생각된다.

정상조직에서 저 선량영역의 평가를 위한 V_{30} %은 폐암과 척추암 SBRT에서 HD MLC 사용 시 0.059 %, 0.14 % 작아지는 유의한 값을 보이며, HD MLC에서 저 선량의 퍼짐정도가 더 적음을 알 수 있었다. VMAT 계획에서는 두 MLC 형태 간 V_{30} %의 차이를 확인할 수 없었다.

본 연구에서는 HD MLC와 M MLC의 비교를 위해 HD MLC의 최대 필드사이즈인 22 cm 이내의 치료표적을 갖는 환자들만을 선택하여 평가하였다. 그러나 임상에서 치료하는 부위 중 유방암은 유방 뿐만 아니라 쇄골상부림프절(supraclavicular lymph nodes)과 액와 림프절(axillary lymph nodes)을 포함하여 치료하는 케이스나, 비인두암중(nasopharyngeal carcinoma)과 같이 원발부 종양 및 확산된 잠재 종양의 치료를 위해 주변 임파절(lymph node)을 포함시켜 치료하는 경우 치료표적이 길게 위치하고 있어 22 cm의 조사야는 제약이 될 수밖에 없다. 본 연구 결과 HD MLC가 M MLC에 비해 선량적인 이점이 크지 않다면 상대적으로 필드사이즈의 제약이 적은 M MLC의 활용 범위가 더 넓을 것이라고 사료된다.

결론적으로 우리의 연구에서는 SBRT나 전립선암

VMAT과 같이 치료표적의 길이가 짧고 크기가 작은 경우 HD MLC를 사용하는 것이 PTV coverage 및 정상조직 보호 효과 면에서 다소 이점이 있는 것으로 나타났으나, 그 외 상대적으로 길고 크기가 큰 폐암, 두경부암, 전골반암, 유방암 VMAT에서는 MLC의 형태가 치료계획에 미치는 영향은 크지 않았다.

참고문헌

1. Gupta, T., Agarwal, J., Jain, S., Phurailatpam, R., Kannan, S., Ghosh-Laskar, S., Prabhash, K. (2012). Three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) versus intensity modulated radiation therapy (IMRT) in squamous cell carcinoma of the head and neck: a randomized controlled trial, *Radiotherapy and Oncology*, 104(3), 343-348
2. Park JM, Choi CH, Ha SW, Ye SJ.:(2011). The dosimetric effect of mixed-energy IMRT plans for prostate cancer. *J Appl Clin Med Phys* 12:35-63
3. Otto, K. (2008). Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical physics*, 35(1), 310-317
4. Park, J. M., Park, S.-Y., Kim, J. H., Carlson, J., & Kim, J.-i. (2016). The effect of extremely narrow MLC leaf width on the plan quality of VMAT for prostate cancer. *Radiation Oncology*, 11(1), 85
5. Okunieff, P., Petersen, A. L., Philip, A., Milano, M. T., Katz, A. W., Boros, L., & Schell, M. C. (2006). Stereotactic body radiation therapy (SBRT) for lung metastases. *Acta oncologica*, 45(7), 808-817
6. Benedict SH, Yenice KM, Followill D, et al. Stereotactic body radiation therapy: the report of the AAPM Task Group 101. *Med Phys*. 2010;37(8):4078-101
7. Lafond C, Chajon E, Devillers A, Louvel G, Toublanc S, Olivier M, et al. Impact of MLC leaf width on volumetric-modulated arc therapy planning for head and neck cancers. *J Appl Clin Med Phys*. 2013;14:4074
8. Bergman, A. M., Gete, E., Duzenli, C., & Teke, T. (2014). Monte Carlo modeling of HD120 multileaf collimator on Varian TrueBeam linear accelerator for verification of 6X and 6X FFF VMAT SABR treatment plans. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 15(3), 148-163
9. Ernst-Stecken A, Lambrecht U, Ganslandt O, Mueller R, Fahlbusch R, Sauer R, et al. Radiosurgery of small skull-baselesions, no advantage for intensity-modulated stereotactic radiosurgery versus conformal arc technique. *Strahlenther Onkol* 2005;181:336-44.
10. D. S. Sharma, P. M. Dongre, V. Mhatre, and M. Heigrujam, "Physical and dosimetric characteristic of high-definition multileaf collimator (HDMLC) for SRS and IMRT," *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 12, 142-160(2011)
11. Younge, K. C., Kuchta, J. R., Mikell, J. K., Rosen, B., Bredfeldt, J. S., & Matuszak, M. M. (2017). The impact of a high-definition multileaf collimator for spine SBRT. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 18(6), 97-103
12. Wu, C.-S., Kessel, J., & Xu, Y. (2009). 3-D dosimetric evaluation of 2.5 mm HD120® multileaf system for intensity modulated stereotactic radiosurgery using optical CT based polymer gel dosimetry. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*
13. Van Kesteren, Z., Janssen, T., Damen, E., & van Vliet-Vroegindewij, C. (2012). The dosimetric impact of leaf interdigitation and leaf width on VMAT treatment planning in Pinnacle: comparing Pareto fronts. *Physics in Medicine & Biology*, 57(10), 2943

14. Yang J, Tang G, Zhang P, Hunt M, Lim SB, LoSasso T, Mageras G. Dose calculation for hypofractionated volumetricmodulated arc therapy: approximating continuous arc delivery and tongue-and-groove modeling. *J Appl Clin Med Phys*. 2016 Mar 8;17(2):4989, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, New York, NY
15. French SB, Bhagroo S, Nazareth DP, Podgorsak MB. Adapting VMAT plans optimized for an HD120 MLC for delivery with a Millennium MLC. *J Appl Clin Med Phys*. 2017 Sep;18(5):143–151, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo, NY
16. Hong, C. S., Ju, S. G., Kim, M., Kim, J. i., Kim, J. M., Suh, T. S, Nam, H. (2014). Dosimetric effects of multileaf collimator leaf width on intensity-modulated radiotherapy for head and neck cancer. *Medical physics*, 41(2)
17. Heath E and Seuntjens J. Development and validation of a BEAMnrc component module for accurate Monte Carlo modelling of the Varian dynamic Millennium multileaf collimator. *Phys Med Biol*. 2003;48(24):4045-63
18. Borges C, Zarza–Moreno M, Heath E, Teixeira N, Vaz P. Monte Carlo modeling and simulations of the high definition (HD120) micro MLC and validation against measurements for a 6 MV beam. *Med Phys*. 2012;39(1):415-23
19. Boyer A, Biggs P, Galvin J, et al. Basic applications of multileaf collimators: report of AAPM Task Group No 50. AAPM Report No. 72. Madison, WI: Medical Physics Publishing; 2001
20. J. A. Tanyi, P. A. Summers, C. L. McCracken, Y. Chen, L. C. Ku, and M. Fuss, “Implications of a high-definition multileaf collimator (HD-MLC) on treatment planning techniques for stereotactic body radiation therapy (SBRT): A planning study,” *Radiat. Oncol.* 4, 22-28 (2009),10.1186/1748-717X-4-22
21. Chae, S.–M., Lee, G. W., & Son, S. H. (2014). The effect of multileaf collimator leaf width on the radio-surgery planning for spine lesion treatment in terms of the modulated techniques and target complexity. *Radiation Oncology*, 9(1), 72

Comparison and Evaluation of radiotherapy plans by multi leaf collimator types of Linear accelerator

Department of Radiation Oncology, Seoul National University Bundang Hospital

**Lim Ji Hye, Chang Nam Joon, Seok Jin Yong, Jung Yun Ju,
Won Hui Su, Jung Hae Youn, Choi Byeong Don**

Purpose : An aim of this study was to compare the effect of multi leaf collimator(MLC) types for high dimension radiotherapy in treatment sites used clinically.

Material and Method : 70 patients with lung cancer, spine cancer, prostate cancer, whole pelvis, head and neck, breast cancer were included in this study. High definition(HD) MLC of TrueBeam STx (Varian Medical system, Palo Alto, CA) and millenium(M) MLC of VitalBeam (Varian Medical system, Palo Alto, CA) were used. Radiotherapy plans were performed for each patient under same treatment goals with Eclipse (Version 13.7, Varian Palo Alto USA, CA). To compare the indicators of the radiotherapy plans, planning target volume(PTV) coverage, conformity index(CI), homogeneity index(HI), and clinical indicators for each treatment sites in normal tissues were evaluated. To evaluate low dose distribution, $V_{30\%}$ values were compared according to MLC types. Additionally, length and volume of targets for each treatment sites were investigated.

Result : In stereotactic body radiotherapy(SBRT) plan for lung, the average value of PTV coverage was reduced by 0.52 % with HD MLC. With SBRT plan using HD MLC for spine, the average value of PTV coverage decreased by 0.63 % and maximum dose decreased by 1.13 %. In the test of CI and HI, the values in SBRT plan with HD MLC for spine were 1.144, 1.079 and the values using M MLC were 1.160, 1.092 in SBRT plan for lung, The dose evaluation of critical organ was reduced by 1.48 % in the ipsilateral lung mean dose with HD MLC. In prostate cancer volumetric modulated arc therapy(VMAT) with HD MLC, the mean dose and the V_{30} of bladder and the mean dose and the V_{25} of rectum were reduced by 0.53 %, 1.42 %, 0.97 %, and 0.69 %, respectively ($p < 0.05$). The average value of heart mean dose was reduced by 0.83 % in breast cancer VMAT with M MLC. Other assessment indices for treatment sites showed no significant difference between treatment plans with two types of MLC.

Conclusion : Using HD MLC had a positive impact on the PTV coverage and normal tissue sparing in usually short or small targets such as lung and spine SBRT and prostate VMAT. But, there was no significant difference in targets with long and large such as lung, head and neck, and whole pelvis for VMAT.

▶ **Keyword :** High definition MLC, Millenium MLC, Stereotactic body radiation therapy, Volumetric modulated arc radiotherapy