

다이오드 어레이를 이용한 Siemens사의 Primus 선형가속기의 저 MU 특성 분석

이화여자대학교 의학전문대학원 방사선종양학교실

김주리 · 이레나 · 이경자

세기조절방사선치료를 임상에 도입하는데 있어서 가장 중요한 관건 중 하나는 총 부여선량(monitor unit, MU)이 작을 경우에 조사량을 측정하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 다이오드 어레이를 사용하여 방사선량의 선형도, 선량 평탄도와 대칭도, 다엽조리개 위치 정확도 등을 점검할수 있는 방법에 대해 연구하였다. 6 MV와 10 MV, 2가지의 방사선이 조사되는 Siemens Primus 선형가속기에서 멀티 다이오드 어레이를 사용하여 측정하였다. 총 부여선량의 안정도는 2가지 에너지에서 모두 측정되었다. 6 MV 에너지에서 선량의 선형도 오차는 20 MU, 10 MU, 5 MU, 4 MU, 2 MU 조사 시 각각 2.1, 3.4, 6.9, 8.6, 15.4%이었다. 10 MV 에너지 경우는 선량의 선형적 오차가 더 커서 2 MU 조사 시 최대 오차는 22%였다. 이러한 오차들은 D1_C0 값을 조절하여 교정하였을 경우는 모든 측정 값에서 2% 이내로 감소하였다. 선량 편평도와 대칭도는 교정 없이도 허용오차 범위에 포함되었다. 다이오드 배열장치를 사용하거나, 필름 측정을 이용하여 측정한 경우 picket fence test 값은 비슷한 결과를 나타내었다. 다이오드 어레이는 세기조절 방사선 치료시 방사선 안정도, 대칭도, 편평도, 및 다엽조리개의 위치정확도를 검사할 때 편한 방법이다. 또한 Siemens 선형가속기는 일반적인 D1-C0값이 0으로 되어 있는데, 강도조절 방사선치료를 사용할 때는 D1-C0값을 총 부여선량이 20이하일 때 방사선의 안정도가 큰 오차를 보이므로 반드시 D1_C0값을 조절하여 교정해야 한다.

중심단어: 강도변조 방사선치료, 저 총부여선량, 대칭도, 편평도

서 론

강도조절 방사선치료(Intensity modulated radiation therapy)는 방사선 치료방법에서 획기적인 발전을 보여주고 있다. 과거 선형가속기를 이용한 고에너지 방사선치료는 암에 대한 중요한 치료방법 중 하나를 차지하고 있었지만, 불가피하게 포함되는 주변 정상조직에 대한 부작용 때문에 암에 대한 전체 방사선량을 제한해야 했고, 이로서 치료 성적을 향상시키는 데 제한점이 되었다. 특히 수술 후 목적이 아닌, 종양이 있는 상태에서 치료하는 경우, 방사선량을 높이는 시도를 하기 위해, 일회 치료선량의 변화나, 일일 치료

횟수의 변화 등을 시도하고, 같은 방사선량에서 치료효과를 높이기 위한 방사선 감수성 제재 등을 사용하거나, 정상조직을 보호할 수 있는 약을 투약하는 시도나, 환자의 고정장치 중 정상조직을 보호하기 위한 보조기구 등을 사용하여, 가능한 한 방사선량을 높이는 시도를 해 왔다. 또한 치료계획용 컴퓨터의 발달로 인하여 3차원 입체 방사선치료도 실시했으나, 치료범위 내에 종양과 접치는 부위에 있는 정상조직을 피할 수 없다는 한계 때문에 총방사선량을 충분히 높이기에는 제한이 있었다.

강도조절 방사선치료는 치료계획용 컴퓨터의 발달 뿐 아니라, 다엽콜리메이터와의 연계 작용으로 인해 한 방향의 조사야 내에서 다엽콜리메이터를 치료 계획에 따라 자동으로 움직이게 하여, 부위에 따라 다른 선량이 조사되도록 치료하는 방법으로, 인접해 있는 중요한 정상장기를 보호할 수 있게 되고 이로서 전체 치료선량을 증가시킬 수 있는 방법이 되어 방사선치료의 분기점이 되고 있다. 이러한 강도조절 방사선치료기는 2000년 이전에는 10% 이내였으나, 이후 급격한 증가세를 보여서 70~80% 이상을 차지하고 있으며, 앞으로는 대부분의 선형가속기를 차지할 것으로 보인다.

이 논문은 과학기술부 원자력연구기관확충사업과 원자력연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

이 논문은 이화여자대학교 의학전문대학원 박사논문으로 발표하였음.

이 논문은 2008년 8월 11일 접수하여 2008년 9월 18일 채택되었음.

책임저자 : 이레나, (158-710) 서울시 양천구 목동 911-1

이화여자대학교 의학전문대학원 방사선종양학교실

Tel: 02)2650-5337, Fax: 02-2654-0363

E-mail: renalee@ewha.ac.kr

일반적인 고에너지 선형가속기의 치료계획방법은 먼저 치료 조사 각도와 조사야별 선량의 비율 등을 결정하고, 방사선의 강도를 조절하는 방법이었었는데, 이런 순방향의 치료계획 방법으로 강도조절방사선치료를 하기에는 어려움이 있었다. 따라서 강도조절 방사선치료를 종양과 주변 정상장기에 원하는 방사선량과 치료방향을 선택하여 컴퓨터 프로그램에 기준이 되는 목표(objective)를 설정해 주면, 차폐 정도 또는 방사선의 분포 등을 계획하는 역방향의 치료계획이 가능해져서 더욱 발전할 수 있었다.

치료 장비 및 치료계획용 컴퓨터의 획기적인 방법의 발전에도 불구하고, 실제 임상에서 가장 문제가 되었던 것은 컴퓨터치료계획에서 정하였던 선량이 실제 선형가속기에서 정확하게 조사되었는지를 확인하는 방법에 대한 논란이었다. 이는 일반적인 선형가속기에서 오랫동안 연구되었던 조사야 크기나 1회 조사량과는 달리 상대적으로 매우 작은 조사야와 작은 치료선량에 대한 불확실성 때문이다. 따라서 강도조절 방사선치료 시 이에 대한 확인이 필요하며 주기적인 질 관리 작업에서도 5 cm보다 작은 치료 조사야와 10 MU (monitor unit)보다 작은 선량에 대한 질 관리도 함께 이루어져야 하겠다.^{1,2)}

본 연구에서는 일상적으로 사용되는 조사선량 값과 비교하여 소단위선량으로 조사될 경우 선형가속의 default 값으로 주어지는 장비의 출력조절 값을 이용을 할 경우 측정 오차를 계산하고 이러한 오차를 줄이는 방법을 제시 하였다.

재료 및 방법

이화여자대학교병원의 방사선종양학과에 설치되어 있는 선형가속기인 지멘스 프리머스(Simens Medical System in Germany)를 사용하였다. 지멘스 프리머스는 29쌍의 다엽콜리메이터가 장착되어 있고 두께는 1 cm이다. 6과 10 MV의 두 종류의 고에너지가 사용되었으며, 강도조절방사선치료 시 사용되는 방법은 step and shoot 방법이다.

1. 조사선량의 선형도 측정(Table 1)

6 MV 에너지의 경우 선량률은 200 MU/min이고 10 MV의 경우는 300 MU/min이다. 두 에너지 모두 출력은 SSD=100 cm, 10×10 조사야에서 최대 선량 깊이인 1.8 cm (6 MV)와 2.8 cm (10 MV)에서 100 MU를 조사할 경우 100 cGy가 조사되도록 장비의 D1_G값과 D2_G값을 조정 하였다. 출력교정은 PTW사의 Cylindrical 모양인 M30001 이온함(0.6 cc)을 이용하였다. 작은 조사야의 경우 출력계수를 측정하기위해 PTW사의 Pinpoint chamber인 31006을 사용하

였으며, 방사선치료 질 관리 시 측정하는 10×10 cm²의 조사야 크기를 기준으로, 작은 조사야인 1×1, 2×2, 3×3, 5×5 cm²에서 6과 10 MV 두 에너지 모두에서 출력계수를 측정 하였다. 조사야가 5×5 cm² 이상인 경우는 0.6 cc PTW M30006 이온화 측정기와 PTW electrometer를 사용하였다. 모든 측정은 SSD 100 cm에서 워터팬텀을 이용하였고 10 cm 깊이에 고정하여 측정하였다.

2. 소단위선량 안정도

선형가속기가 조사야 10×10 cm²에서 100 MU 조사할 때 SSD 100 cm에 최대 선량 깊이(d_{max})에서 100 cGy를 조사하도록 고정되어 있기 때문에 모든 측정도 조사야 10×10 cm²로 하였다. 먼저 6과 10 MV 에너지에 대해 장비에 setting된 default 값인 D1_C0값이 0에서 측정하였다. 챔버는 0.6 cc 파머챔버를 사용하였고, 솔리드팬텀 10 cm 깊이에 고정 하였으며 방사선원에서 팬텀까지의 거리는 100 cm로 고정 하였다. 조사 방법은 강도조절방사선치료시와 같은 방법인 연속적인 측정(IM mode)방법을 사용하였다. 기존 조사야에 100, 70, 40 MU값을 조사하고, 시간을 줄이기 위해 40 MU값을 기준으로 하여 소단위선량으로 나누어 반복 조사하여 총 40 MU을 조사한 양들의 합과 비교하였다. 위와 같은 방법을 각각 6과 10 MV 에너지에서 실시하였다.

D1-C0 값이 조사선량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 비슷한 방법으로 6 MV에서는 D1_C0값을 2700으로 고정하고, 100 MU로 측정된 값을 기준으로 하고, 50, 20, 10, 5, 2 MU을 반복 조사하여 총 100 MU으로 조사한 값과 비교하였다. 10 MV의 에너지에서는 D1_C0값을 3700으로 고정하고, 같은 방법으로 측정 비교하였다.

Table 1. Output factors of small field dosimetry.

6 MV		10 MV			
Field size	Average	Output factor	Field size	Average	Output factor
10×10	13.49		10×10	15.045	
3×3	10.95	0.812	3×3	12.3	0.818
5×5	12.01	0.890	5×5	13.67	0.909
10×10		1.000	10×10		1.000
15×15	14.35	1.064	15×15	15.81	1.051
20×20	14.88	1.103	20×20	16.27	1.081
5×20	12.99	0.963	5×20	14.61	0.971
20×5	12.99	0.952	20×5	14.41	0.958
30×30	15.51	1.149	30×30	16.75	1.113
40×40	15.75	1.168	40×40	16.965	1.128

소단위선량에서 방사선의 편평도와 대칭도를 측정하기 위하여 MapCheck (Sun Nuclear)를 사용하였다. MapCheck는 445개의 실리콘 다이오드로 구성되어 있고 10×10 cm² 크기 내부에는 7 mm 간격으로 다이오드가 배열되어 있고 바깥쪽은 14 mm 간격으로 구성되어 있다. 편평도 및 대칭도를 측정하기 위하여 조사야크기를 20×20 cm²를 사용하였고 MapCheck 위에 솔리드팬텀을 올려놓고 SSD 100 cm에서 5 cm 깊이에서 측정 하였다. 조사량은 1 MU에서 10 OMU까지 변화시키면서 편평도와 대칭도를 측정하였다.

3. 다엽콜리메이터의 엽간 투과량 측정

엽간 투과량 및 다엽콜리메이터 투과량을 측정하기 위해 조사야의 크기를 0.4×20 cm²로 하였다. 지멘스 선형가속기의 다엽콜리메이터는 X축의 크기를 0으로 만들 수가 없고, 최소한 0.4 cm는 되어야 한다. 따라서 X1을 8 cm로 하고

X2를 -7.6 cm으로 비대칭으로 하였고 Y1과 Y2는 10 으로 정하였다. 중앙점에서는 다엽콜리메이터가 닫혀 있으므로 약간의 산란 선량이 포함되나 다엽콜리메이터 투과 선량으로 간주해도 무리가 없었다. 따라서 thimble 챔버를 SSD 100 cm에서 중앙지점에 위치하여 조사량을 측정하고, 다엽콜리메이터 사용 없이 실시한 20×20 cm² 크기의 조사야에서 측정된 값을 기준으로 하여 비교하였다. 측정하는 깊이는 6 MV 에너지에서는 1.5 cm 지점, 10 MV 에너지에서는 2.5 cm에서 실시하였다.

결 과

1. 조사선량의 선형도 측정

Fig. 1은 6 MV와 10 MV 에너지에서 조사야의 크기를 10×10 cm²에서 40×40 cm²까지 변화시키면서 측정된 출력

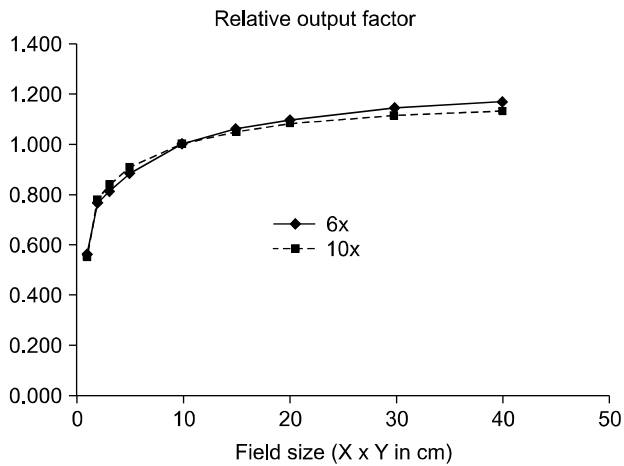


Fig. 1. Relative output factors of 6, 10 MV LINAC.

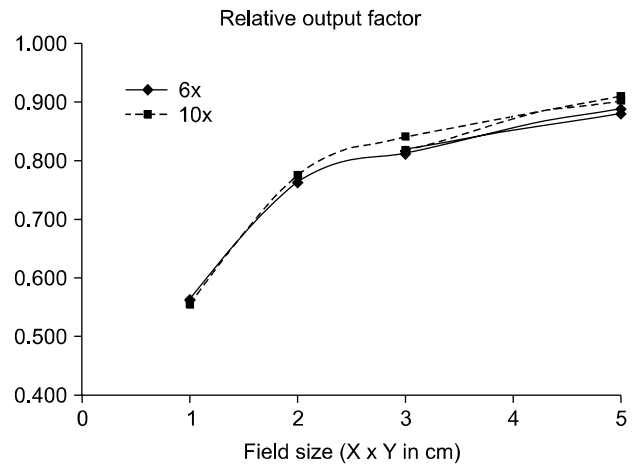


Fig. 2. Relative output factors of 6 and 10 MV in small field sizes.

Table 2. The value of small MUs in 6 MV LINAC.

6X	100 MU	70 MU	40 MU	20 MU×2	10 MU×4	5 MU×8	4 MU×10	2 MU×20
Reading (nC)	12.09	8.472	4.847	4.885	4.983	5.146	5.224	5.564
	12.09	8.477	4.853	4.985	4.987	5.153	5.239	5.558
	12.07	8.477	4.854	4.904	4.981	5.157	5.245	5.564
	12.02							
	12.02							
	12.02							
	12.07							
Average	12.054	8.475	4.851	4.925	4.984	5.152	5.236	5.562
Normalized response per MU	1.000	1.004	1.006	1.021	1.034	1.069	1.086	1.154
		0.4%	0.6%	2.1%	3.4%	6.9%	8.6%	15.4%

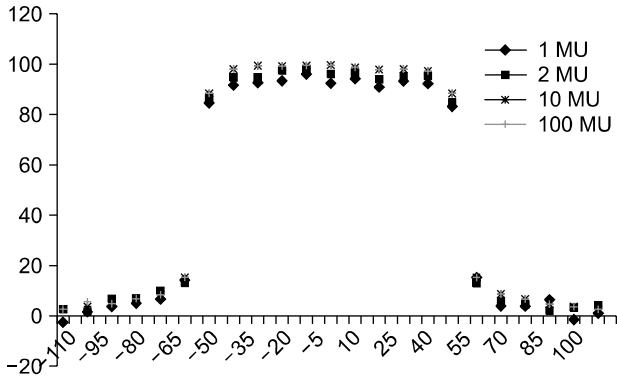


Fig. 3. Flatness and symmetry in 6 MV LINAC.

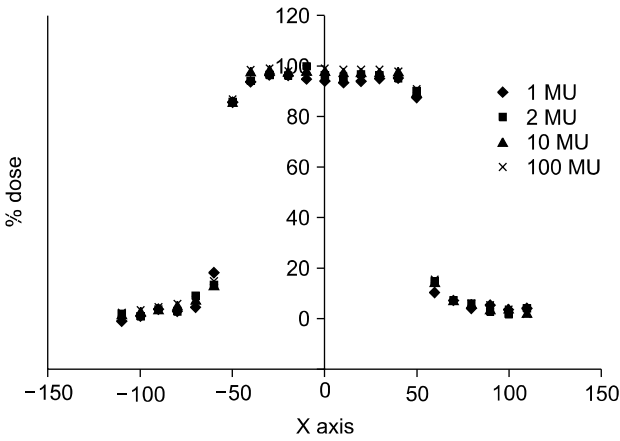


Fig. 4. Flatness and symmetry in 10MV LINAC.

Table 6. Flatness and symmetry values of (a) 6 MV and (b) 10 MV x-rays at various MU settings.

MU set	In-plane (X-axis)		Cross plane (Y-axis)	
	F (%)	S (%)	F (%)	S (%)
100 MU	1.46	1.39	1.45	0.91
50 MU×2	1.47	1.4	1.49	0.93
10 MU×10	1.44	1.22	1.42	1.06
2 MU×50	1.4	1.31	1.52	1.22
100 MU	1.46	1.39	1.45	0.91
50 MU	1.48	1.21	1.46	1.07
10 MU	1.23	1.28	1.62	1.34
4 MU	1.73	2.53	1.66	1.91
3 MU	1.93	2.99	1.73	0.82
2 MU	2.18	3.28	0.95	1.17
1 MU	2.6	2.72	4.89	5.95

Set MU	In-plane (X-axis)		Cross plane (Y-axis)	
	F (%)	S (%)	F (%)	S (%)
100 MU	0.65	0.69	1.08	1.31
50 MU×2	0.52	0.53	1.09	1.4
10 MU×10	0.54	0.73	1.08	1.27
2 MU×50	0.55	0.9	1.1	1.35
100 MU	0.65	0.69	1.08	1.31
50 MU	0.64	0.56	1.05	1.31
10 MU	0.62	0.44	1	1.66
5 MU	0.94	1.22	1.8	2.47
4 MU	0.87	1.07	1.22	1.21
3 MU	1.29	2.41	2.16	2.33
2 MU	2.9	5.17	1.4	2.51
1 MU	1.92	3.24	2.53	2.77

Flatness and symmetry

Field size: 10x10 cm
Field region: 8.0x8.0 cm

	Flatness	Symmetry
Area	3.16%	1.93%
X-Axis	1.20%	1.15%
Y-Axis	1.36%	1.11%
+ve Diagonal	3.16%	0.67%
-ve Diagonal	2.77%	1.01%

Errors / warnings:

Min value outside the 5 cm boundary

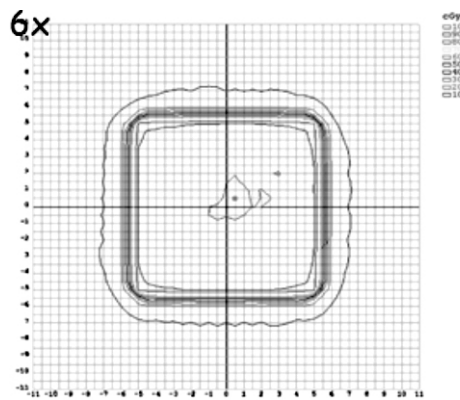


Fig. 5. Flatness and symmetry profile in 6 MV LINAC using MapCheck.

값을 보여준다. 조사야가 증가 함에 따라 출력인자도 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2는 10×10 cm² 이하의 조사야의 경우에 측정된 출력인자 값을 보여 준다. 다른 여러 실험에서도 보여 주듯이 10×10 cm² 이하의 조사야의 경우 출력상수는 더 이상 선형적인 관계가 성립 되지 않는다. 강도조절방사선치료에 많이 사용되는 작은 조사야로서 각각 1, 2, 3, 5 cm 크기에서 측정된 출력인자는 각각 6 MV의 에너지에서는 0.564, 0.785, 0.816, 0.882이었고, 10 MV의 에너지에서는 0.553, 0.776, 0.841, 0.904로 측정되었다.

2. 소단위선량 안정도

소단위로 출력선량값을 쪼개서 여러 번 조사할 경우 1번에 조사한 동일한 출력선량값과 비교하여 선량차이를 알아 보았다. 40 MU, 20 MU씩 2회, 10 MU씩 4회, 5 MU씩 8회,

4 MU씩 10회, 그리고 2 MU씩 20회로 나누어 조사했을 때 측정된 전하량을 Table 2와 Table 3에서 보여준다. 6 MV와 10 MV의 모두 에너지에 대해, 소단위선량이 작아질수록 100 MU를 1번에 조사한 값에 비해 많은 차이가 나고, 2 MU으로 20회를 조사하여 총 40 MU값을 조사하였을 때 6 MV에너지에서는 15.4%, 10 MV에서는 22%까지 오차가 나타났다. 이러한 차이를 줄이기 위하여 선형가속기의 D1_C0값을 default 값인 0에서 변화하면서 측정된 결과 6 MV에서는 2,700으로(Table 4), 10 MV에서는 3,700으로(Table 5) 하였을 때 오차범위가 허용수치 이내에 포함되었다.

Fig. 3과 4는 소단위선량에서 방사선의 편평도와 대칭도를 측정된 값을 보여준다. Table 6에 각각의 소 MU 조사값에 따른 편평도와 대칭도를 보여준다. 1 MU, 2 MU, 10 MU, 100 MU를 조사하였을 때의 측정값에는 큰 차이가 없

Table 3. The value of small MUs in 10 MV LINAC.

	10X	100 MU	70 MU	40 MU	20 MU×2	10 MU×4	5 MU×8	4 MU×10	2 MU×20
Reading (nC)		13.44	9.445	5.414	5.487	5.612	5.929	5.965	6.563
		13.45	9.448	5.421	5.489	5.621	5.911	5.965	6.561
		13.44	9.440	5.415	5.489	5.627	5.927	5.96	6.565
		13.46		5.421					
		13.45							
Average		13.448	9.444	5.418	5.488	5.620	5.922	5.963	6.563
Normalized response per MU		1.000	1.003	1.007	1.020	1.045	1.101	1.109	1.220
			0.3%	0.7%	2.0%	4.5%	10.1%	10.9%	22.0%

Table 4. Dose rate at low MUs with D1_C0=2700 in 6 MV LINAC.

	6X	100 MU	50 MU×2	20 MU×5	10 MU×10	5 MU×20	2 MU×50
Reading (nC)		12.07	12.07	12.09	12.13	12.15	12.03
		12.07	12.08	12.11	12.13	12.16	12.03
		12.07		12.11	12.15	12.16	12.03
Average		12.070	12.075	12.103	12.137	12.157	12.030
% difference		0.00%	0.04%	0.28%	0.55%	0.72%	-0.33%

Table 5. Dose rate at low MUs with D1_C0=3700 in 10 MV LINAC.

	10X	100 MU	50 MU×2	20 MU×5	10 MU×10	5 MU×20	2 MU×50
Reading (nC)		13.45	13.49	13.47	13.53	13.64	13.43
		13.45	13.49	13.47	13.53	13.64	13.41
		13.45	13.49	13.47	13.53	13.64	13.41
Average		13.450	13.490	13.470	13.530	13.640	13.417
% difference		0.00%	0.22%	0.15%	0.59%	1.41%	-0.25%

었고 모든 경우에 대해 $\pm 3\%$ 이내였다. Fig. 5와 6은 Map-Check를 이용하여 100 MU 조사하였을 때 측정된 대칭도와 편평도 값을 보여준다. Fig. 7은 1 MU, 2 MU, 50 MU, 및 100 MU을 조사 하였을 때 MapCheck에서 측정된 값을 흑백모드에서 보여준다.

3. 다엽콜리메이터의 엽간 투과량 측정

Fig. 8은 측정된 엽간 투과량을 보여준다. 중앙에서 투과

량이 가장 낮았고 ± 0.5 cm을 기준으로 1 cm 간격을 두고 투과량이 높은 것을 볼 수 있다. 이는 다엽콜리메이터의 두께가 1 cm로 되어 있기 때문이다. 따라서 0.1 cm에서 측정된 값은 다엽콜리메이터의 투과계수이며, 이 값이 일반적으로 3차원 치료 시 치료계획 시스템에 입력하여 계산에 포함되는 부분이다. 그러나 치료계획 시스템에 엽간 투과량을 고려할 수 있는 변수가 없으므로 강도변조 방사선 치료 시 엽간 투과량을 알고 있는 것은 중요하다. 측정결과 6

Flatness and symmetry

Field size: 10x10 cm
Field region: 8.0x8.0 cm

	Flatness	Symmetry
Area	2.60%	2.34%
X-Axis	0.67%	1.05%
Y-Axis	0.79%	0.74%
+ve Diagonal	2.58%	1.04%
-ve Diagonal	1.95%	0.68%

Errors / warnings:
Min value outside the 5 cm boundary

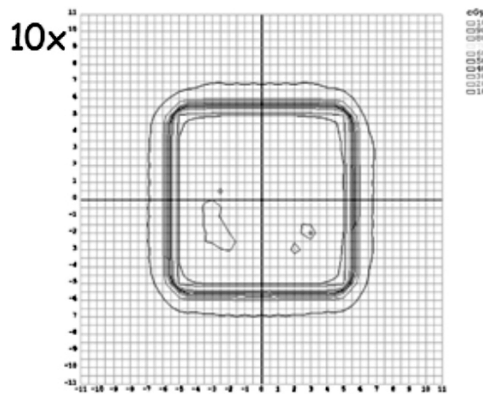


Fig. 6. Flatness and symmetry profile in 10 MV LINAC using MapCheck.

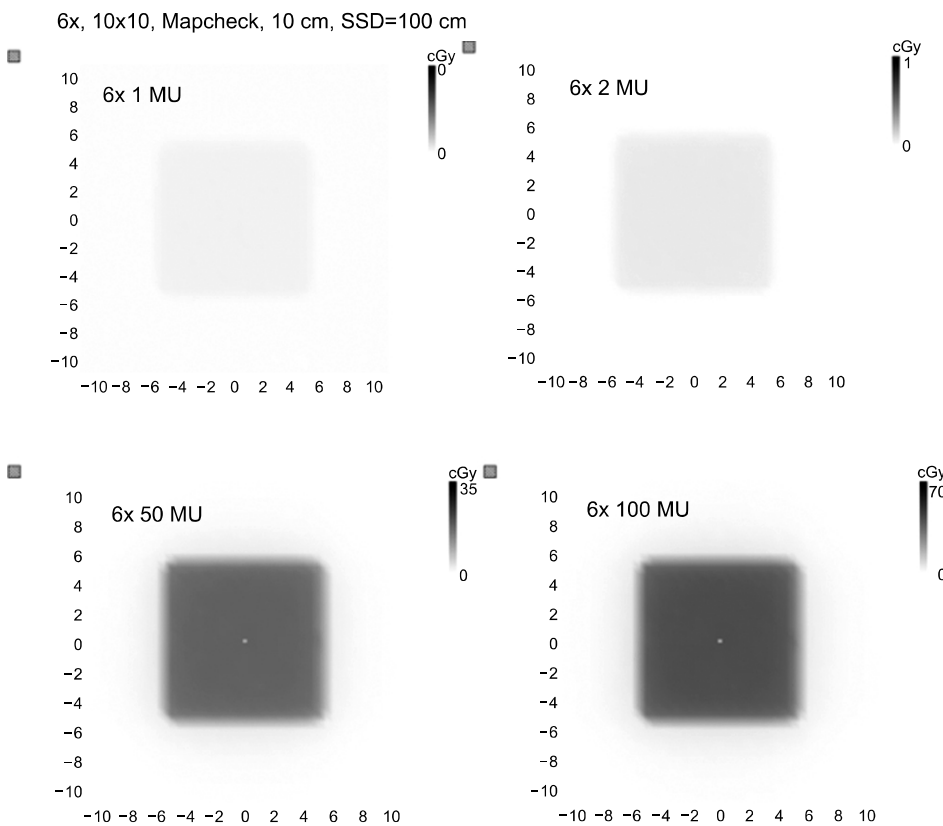


Fig. 7. MapCheck data using 6 MV LINAC with 1, 2, 50, 100 MU irradiation.

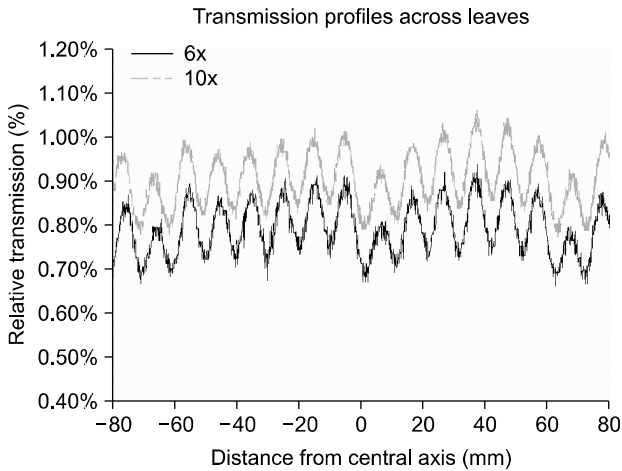


Fig. 8. Transmission profiles across leaves.

MV 선형가속기의 콜리메이터의 엽 아래로 투과되는 양은 0.73%이고, 엽간의 투과량은 0.86%로서 평균 방사선투과량은 0.79%이었다. 10 MV 선형가속기의 경우는 엽 아래로 투과되는 양이 0.83%, 엽간 투과량이 0.97%이며 평균 방사선투과량은 0.90%이었다.

고찰 및 결론

선형가속기를 이용하여 강도조절방사선치료를 실시할 경우 요구되는 정도관리 항목들은 이미 여러 논문에 발표되었다.³⁻⁵⁾ Cheng 등은 지멘스 프리머스 선형가속기 장비에서 일반적인 치료상태와 step-and-shoot 강도조절 방사선치료시의 특징을 비교하였다.⁶⁾ Sharpe 등도 방사선의 선형도, 편평도 및 대칭도가 traveling wave를 사용하는 선형가속기인 step-and-shoot 강도조절 방사선치료에서는 매우 중요함을 강조하였다.⁷⁾ 이러한 실험이 본 연구에서도 진행되었다. 편평도 및 대칭도는 100 MU를 1번에 조사하는 경우와 작은 MU 값으로 나누어 여러 번 조사하는 경우, 그리고 작은 MU 값 1번만 조사하는 경우를 비교하였을 때 모두 허용오차인 3% 이내에 들어왔다. 따라서 강도변조 방사선 치료를 시행할 때 편평도나 대칭도는 3차원 치료를 위해 실행되는 정도관리 수준에서만 시행하여도 된다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 작은 조사야의 경우 출력인자는 기준 조사야인 10×10 값에서 측정된 값을 선형적으로 interpolation 할 경우 큰 오차가 발생하므로 Pinpoint chamber와 같이 체적이 작은 이온함을 이용하여 출력계수를 다시 측정하여 치료계획용 시스템에서 계산 하여야 한다.

작은 모니터 값을 여러 번 조사할 때 환자에게 주어지는

선량을 계산한 결과 5 MU 이하의 작은 조사량(MU)을 여러 번 조사하여 100 cGy를 처방할 경우 아무런 보정도 하지 않고 그대로 시행된다면 처방선량에 비해 실제 조사선량이 6 MV 경우는 15%, 10 MV 경우는 22% 높은 것을 알 수 있다. 이러한 선량의 차이는 환자 치료에 있어서 심각한 오차이므로 강도 변조 방사선 치료 시 반드시 확인해야 할 항목이다. 지멘스 프리머스 장비의 경우 D1_CO 값은 장비에서 방사선을 켜거나 끌 때 일정한 선량을 까지 도달하는데 걸리는 시간을 의미 하는데 100 MU씩 조사될 경우는 방사선이 켜지고 꺼지는데 드는 시간이 조금만 달라져도 실제 조사선량인 100 MU에 비해 잔여 선량은 2~3 MU 정도만 되므로 2% 미만으로 중요하지 않으나 작은 MU를 조사할 때는 켜지고 꺼지는 시간에 따라 잔여 선량이 2~3 MU 변화하면 50~100% 까지도 차이가 있을 수 있으므로 D1_CO 값에 상당히 민감하다. 따라서 지멘스 장비를 이용하여 강도변조 방사선 치료를 계획할 경우 반드시 소 선량 안정도를 측정하여 최적의 D1_CO 값을 구해야 한다. 본 연구에서는 사용된 선형가속기의 경우는 6 MV에너지는 D1_CO 값이 2700, 10 MV 에너지의 경우는 3700으로 해주었을 때 오차가 1% 미만임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. IMRT-CWG: Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest by the IMRT Collaborative Working Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51:880-914 (2001)
2. Van Esch A, Bohsung J, Sorvari P, et al: Acceptance tests and quality control (QC) procedures for the clinical implementation of intensity modulated radiotherapy (IMRT) using inverse planning and the sliding window technique: experience from five radiotherapy-departments. *Radiother Oncol* 65:53-70 (2002)
3. Bayouth JE, Morrill SM: MLC dosimetric characteristics for small field and IMRT applications. *Med Phys* 30:2245-52 (2003).
4. Woo MK, Lightstone AW, Shan G, et al: Automatic verification of step-and-shoot IMRT field segments using portal imaging. *Med Phys* 30:348-351 (2003)
5. LoSasso, TJ: Acceptance testing and commissioning of IMRT. Fuks X, Leibel SA, Ling CC: *A Practical Guide to Intensity-Modulated Radiation Therapy*. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing (2003) pp. 123-167
6. Cheng CW, Das IJ, Huq MS. Lateral loss and dose discrepancies of multileaf collimator segments in intensity modulated radiation therapy. *Med Phys* 30:2959-2968 (2003)
7. Sharpe MB, Miller BM, Tan D, et al. Monitor unit settings for intensity modulated beams delivered using a step-and-shoot approach. *Med Phys* 27:2719-2725 (2000)

Analysis of Low MU Characteristics of Siemens Primus Linear Accelerator using Diode Arrays for IMRT QA

Juree Kim, Rena Lee, Kyung-Ja Lee

Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

One of the most important task in commissioning intensity modulated radiotherapy (IMRT) into a clinic is the characterization of dosimetry performance under small monitor unit delivery conditions. In this study, method of evaluating dose monitor linearity, beam flatness and symmetry, and MLC positioning accuracy using a diode array is investigated. Siemens Primus linear accelerator (LA) with 6 and 10 MV x-rays was used to deliver radiation and the characteristics were measured using a multi array diodes. Monitor unit stabilities were measured for both x-ray energies. The dose linearity errors for the 6 MV x-ray were 2.1, 3.4, 6.9, 8.6, and 15.4 % when 20 MU, 10 MU, 5 MU, 4 MU, and 2 MU was delivered, respectively. Greater errors were observed for 10 MV x-rays with a maximum of 22% when 2 MU was delivered. These errors were corrected by adjusting D1_C0 values and reduced to less than 2% in all cases. The beam flatness and symmetry were appropriate without any correction. The picket fence test performed using diode array and film measurement showed similar results. The use of diode array is a convenient method in characterizing beam stability, symmetry and flatness, and positioning accuracy of MLC for IMRT commissioning. In addition, adjustment of D1-C0 value must be performed when a Siemens LA is used for IMRT because factory value usually gives unacceptable beam stability error when the MU/segment is smaller than 20.

Key Words: IMRT, Small MU, Symmetry, Flatness