

불규칙한 조사면에서의 심부선량 균등도

고려대학교부속안암병원 방사선종양학과

정 덕 양, 이 병 구, 황 응 구

I. 서론

X-ray 발견 1세기가 지난 지금, 방사선 치료 분야 역시 무한한 발전과 변화를 거듭하고 있다. 그러나 암 치료에 있어서 정상조직에는 최소의 선량이 조사되게 하고, 동시에 종양조직에는 처방된 만큼의 선량만 주하고자 하는 방사선 치료의 기본적인 개념은 변하지 않았다. 임상에서의 치료는 정방형이나 장방형 등의 기본적인, 단순한 모양의 조사면 만으로는 만족할 만한 치료 결과를 얻을 수 없으므로, 종양의 모양과 위치에 따라서 불규칙 조사면으로 치료를 행하게 된다. 이러한 여러 모양의 치료 조사면은 치료계획을 세우는데 중요한 요소로서, 선량분포를 변화시키는 많은 인자 중에서 큰 비중을 차지하고 있다. 그러므로 치료 조사면은 단순히 종양의 모양과 위치에 따른, 기하학적인 모양으로서의 의미보다는 선량분포적인 측면에 의미를 두는 것이 바람직하겠

다. 이에 본 연구는 조사면의 모양에 따른 선량 균일도를 알아보고, 두경부 환자의 치료시 그려지는 길고 좁은 각도의 치료 조사면과, 흉부 치료 환자에게서 접하게 되는 불룩한 주머니 모양 등과 같은 불규칙 조사면의 심부선량 균일도를 측정하여 같은 크기의 정방형 조사면의 그것과 비교하여 보았다.

임상에서 접하게 되는 모든 경우를 비교하기는 불가능하므로, 임의로 block의 한 면을 30° , 45° , 60° , 90° , 120° 의 5개 각도로 만들어서 경사진 굽 주변부와 중심부와의 선량 균일도를 비교하였다. 또한, 실

제 측정값과 computer planning system의 불규칙 조사면의 계산값과 비교하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

실험 장비로는 varian사의 선형가속기를 이용하여 10MV X-ray(clinac 1800)와 4MV X-ray(clinac 600c)가 사용되었으며, 선량측정 장비는 PTW-freiburg 0.3cc cylindrical ion chamber, Multidata Dosimetry system 그리고 water phantom이 사용되었다.

그림1은 본 실험에 사용된 block으로 조사면의 크기를 $20 \times 15\text{cm}$ 로 하여 한면의 각도를 30° , 45° , 60° , 90° , 120° 가 되도록 제작하였다. 측정점은 block의 중심부와 중심부에서 경사각 방향으로 7cm과 8cm 되는 지점이다.

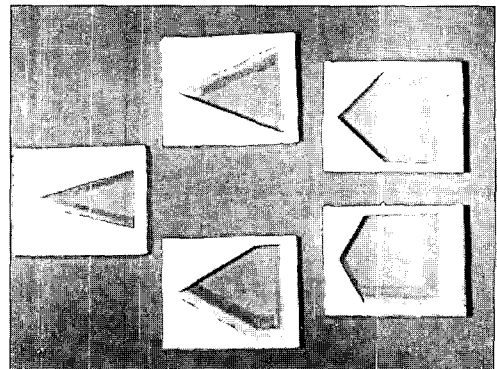


그림 1

2. 방법

4MV와 10MV X-ray를 사용하여 각 energy별로 block을 사용치 않은 장방향 조사면과 block을 사용한 불규칙 조사면을 각 경사각마다, Dmax와 5cm, 10cm 깊이에서의 심부선량 균일도(uniformity)를 측정하였으며, block을 사용치 않은 조사면과 경사각 별로 제작한 block을 사용한 불규칙 조사면의 중심부와 중심부에서 경사각 방향으로 7cm, 8cm 이동하여(조사면 경계에서 안쪽으로 3cm와 2cm 되는 지점) 5, 10, 15cm 깊이에서의 DDR을 측정하여 서로 비교하였다. 그리고 이러한 측정값과 computer planning system의 계산값을 비교하였다.

Ⅲ. 결 과

표1은 4MV X-선의 중심부와 주변부의 선량 균일도를 측정된 결과이다.

block을 사용치 않은 조사면과 block의 경사각이 있는 불규칙 조사면의 Dmax와 5, 10cm 깊이에서 심부선량을 측정하여 중심부와 주변부의 선량 균일도

표1. 4 MV X-ray의 중심부와 주변부의 선량 균일도(%)

	depth	-8cm	-7cm	7cm	8cm	symmetry	flatness
OPEN	Dmax	2.5	2.8	2.8	2.5	0.18	1.8
	5cm	0.7	1.5	1.8	1.0	0.27	1.35
	10cm	-1.8	-0.4	-0.1	-1.7	0.36	2.98
30°	Dmax	-12.8	-2.0	4.8	4.3	5.01	3.31
	5cm	-13.2	-6.3	4.7	4.0	7.29	6.18
	10cm	-14.6	-10.3	5.1	4.0	9.65	9.33
45°	Dmax	-5.1	-0.5	3.8	3.5	3.90	2.38
	5cm	-8.7	-4.5	4.1	3.1	5.79	5.29
	10cm	-12.9	-9.3	3.5	2.1	8.06	8.33
60°	Dmax	-1.1	0.5	3.4	3.0	2.71	2.01
	5cm	-5.6	-3.1	2.9	1.6	4.61	4.78
	10cm	-9.8	-7.5	1.9	0.5	6.36	7.12
90°	Dmax	1.0	1.5	3.5	2.7	1.22	1.86
	5cm	-2.9	-2.1	1.7	0.7	2.34	3.24
	10cm	-8.3	-5.4	-0.4	-1.9	3.55	6.03
120°	Dmax	1.5	1.9	3.0	2.4	0.79	1.84
	5cm	-1.9	0	1.3	0.4	1.35	2.30
	10cm	-4.0	-2.2	0.3	-0.8	1.94	4.61

를 비교한 것으로서 -를 붙인 것이 경사각 방향을 의미하는 것이다.

open에서는 각 깊이에 관계없이 거의 균일한 값을 보여주고 있으며, symmetry와 flatness역시 허용오차 (symmetry 2%, flatness는 maximum limits set 10cm깊이에서 3%)안에 들어오고 있다.

30° 경사각에서는 중심부에서 경사각 방향으로 멀어 질수록 -12.8로 차이가 나며, 깊이가 깊어짐에 따라 -12.8, -13.2, -14.6으로 선량의 불균일도는 더욱 심해지는 것을 볼 수 있다. 또한, 10cm 깊이에서 flatness는 9.33으로 장방향일 때와 큰 차이를 나타낸다.

전체적으로 볼 때 경사각이 커짐에 따라 불균일도의 차이는 점점 작아지는 양상을 보이고 있다.

표2는 10MV 에서의 중심부와 주변부의 선량 균일도를 나타낸 표로서 energy를 감안하여 15cm 깊이 까지 측정하였다.

open 에서는 같은 깊이에서의 4MV보다 차이가 적어지는 것을 볼수 있으며 symmetry나 flatness 모두

표2. 10 MV X-ray의 중심부와 주변부의 선량 균일도(%)

	depth	-8cm	-7cm	7cm	8cm	symmetry	flatness
OPEN	Dmax	2.3	2.7	2.5	2.7	0.39	1.92
	5cm	1.9	2.7	1.3	0.8	0.52	1.44
	10cm	0	1.2	0	-1.0	0.54	2.10
	15cm	-2.1	-0.7	-1.7	-3.1	0.33	3.10
30°	Dmax	-9.8	-1.7	4.9	4.6	7.61	6.65
	5cm	-10.4	-4.6	3.9	3.1	6.87	6.52
	10cm	-12.7	-8.2	3.2	2.6	8.21	8.75
	15cm	-14.3	-11.9	2.0	1.3	8.66	9.84
45°	Dmax	-4.7	-0.5	1.7	0.3	3.35	2.56
	5cm	-6.4	-3.2	1.7	0	4.74	4.56
	10cm	-7.6	-4.4	1.6	-1.4	5.0	5.38
	15cm	-10.8	-6.4	0.2	-1.6	6.27	7.57
60°	Dmax	-0.6	1.5	1.3	0.2	2.06	1.70
	5cm	-2.9	-1.1	1.4	-1.0	3.19	3.21
	10cm	-4.9	-2.2	0	-2.5	3.64	4.57
	15cm	-7.3	-4.7	-1.0	-3.4	4.35	6.59
90°	Dmax	-0.2	1.2	4.1	3.6	2.56	2.33
	5cm	-0.5	0.7	1.9	0.9	0.89	1.41
	10cm	-3.8	-1.4	0.6	0.5	2.25	3.59
	15cm	-6.3	-4.4	-1.6	-2.4	2.47	5.37
120°	Dmax	0.1	1.1	3.3	3.1	1.54	2.01
	5cm	0.7	1.8	1.0	0.4	0.03	1.46
	10cm	-1.3	-0.8	0.4	-0.3	0.8	2.65
	15cm	-4.6	-2.0	-0.8	-1.9	0.92	3.87

허용오차 범위 안에 들어감을 알 수 있다. 30° -120°까지의 block 조사면에서는 4MV보다 선량 균일도, flatness, symmetry모두 작은 차이를 보였으며, 깊이가 깊어질수록 차이가 더 커짐을 알 수 있다.

표 3은 4MV X-선에서 open 조사면과 각 경사각의 block 조사면의 중심부와 중심부에서 경사각 방향으로 7cm, 8cm 떨어진 곳의 5cm, 10cm, 15cm깊이에서의 DDR을 측정된 표이다. open에서는 주변부의 측정값은 83%와 82.3%로 거의 같으나, 각 경사각별

표3. 4 MV X-ray DDR

	depth	center	-7cm	-8cm
OPEN	5cm	84.0	83.0	82.3
	10cm	62.9	60.6	60.1
	15cm	45.8	43.2	42.9
30°	5cm	81.7	78.7	75.4
	10cm	57.7	53.7	48.1
	15cm	39.8	35.9	30.1
45°	5cm	38.5	79.2	78.1
	10cm	60.2	55.8	53.8
	15cm	42.3	38.3	36.6
60°	5cm	83.5	80.6	79.8
	10cm	61.6	56.6	55.7
	15cm	43.8	39.1	38.2
90°	5cm	83.6	81.5	80.6
	10cm	62.2	58.5	57.0
	15cm	44.5	40.7	39.8
120°	5cm	83.6	82.4	81.5
	10cm	62.4	60.6	58.6
	15cm	44.8	41.9	41.4

block 조사면에서는 깊이가 깊어질수록 차이가 더 커져, 특히 30° 경사각 15cm에서는 39.8%, 35.9%, 30.1%로 다소 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 전체적으로 block의 경사각이 커질수록 그 차이가 줄어드는 양상이다.

표 4는 10MV에서의 DDR을 측정된 표로서 4MV와 같은 양상을 보이며 오히려 그 차이는 4MV보다 적어짐을 알 수 있다.

표4. 10 MV X-ray DDR

	depth	center	-7cm	-8cm
OPEN	5cm	91.1	90.6	89.9
	10cm	72.2	71.8	69.5
	15cm	52.8	56.2	52.9
30°	5cm	90.6	89.4	88.6
	10cm	69.0	67.5	65.2
	15cm	52.2	49.5	48.0
45°	5cm	90.1	89.3	88.8
	10cm	69.8	68.1	67.7
	15cm	53.0	50.6	50.5
60°	5cm	90.1	89.3	89.2
	10cm	70.4	68.5	67.8
	15cm	54.4	50.9	50.8
90°	5cm	90.8	89.7	89.4
	10cm	71.4	68.8	68.6
	15cm	55.2	52.5	51.3
120°	5cm	90.8	90.2	89.7
	10cm	71.9	69.9	68.8
	15cm	55.7	52.8	52.5

표5. Open field와 block field의 주변부의 선량 균일도

4MV	depth	-8cm	-7cm	10MV	depth	-8cm	-7cm
30°	Dmax	85.05	95.27	30°	Dmax	89.30	95.90
	10cm	80.34	83.16		10cm	84.60	85.30
45°	Dmax	92.49	96.79	45°	Dmax	93.15	96.82
	10cm	84.25	86.36		10cm	87.02	90.03
60°	Dmax	96.48	97.79	60°	Dmax	97.14	98.82
	10cm	89.29	90.19		10cm	91.56	97.44
90°	Dmax	98.54	98.78	90°	Dmax	97.56	98.55
	10cm	92.64	94.23		10cm	94.45	94.89
120°	Dmax	98.72	98.83	120°	Dmax	97.88	98.50
	10cm	95.64	96.15		10cm	96.21	97.46

표 5는 open 조사야와 block 조사야 주변부의 선량 균일도를 비교한 표로서 open을 기준으로 했을 때 block 조사야 주변부의 값을 백분율로 나타낸 것이다. 경사각이 커질수록 energy가 커질수록 open 조사야와 block 조사야 주변부와의 차이는 줄어들음을 알 수 있다.

표 6은 4MV 10cm 깊이에서 실제 측정값과 computer 계산값을 비교한 표이다. 전체적으로 실제 측정값과 computer 계산값의 차이가 없었으며 30° 경사각 8cm 주변부에서 1.15로 가장 큰 차이가 났다. 10MV에서는 4MV보다 작은 차이를 보이며 30° 경사각 8cm 주변부에서 1.05로 차이가 났다.

표6. 4MV The measured & computer calculated

angle	depth	distance from center	Computer % dose(C)	measured % dose(M)	ratio(C/M)
30°	10cm	-7	56.4	53.7	1.05
	10cm	-8	55.2	48.1	1.15
45°	10cm	-7	58.1	55.8	1.04
	10cm	-8	56.8	53.8	1.06
60°	10cm	-7	59.4	56.6	1.05
	10cm	-8	58.7	55.7	1.05
90°	10cm	-7	62.0	58.5	1.06
	10cm	-8	61.2	57.0	1.08
120°	10cm	-7	62.1	60.6	1.02
	10cm	-8	61.1	58.6	1.04

표7. 10MV The measured & computer calculated

angle	depth	distance from center	Computer % dose(C)	measured % dose(M)	ratio(C/M)
30°	10cm	-7	69.6	67.5	1.03
	10cm	-8	68.8	65.2	1.05
45°	10cm	-7	70.2	68.1	1.03
	10cm	-8	69.4	67.7	1.03
60°	10cm	-7	70.3	68.5	1.03
	10cm	-8	70.0	67.8	1.03
90°	10cm	-7	70.5	68.8	1.02
	10cm	-8	70.1	68.6	1.02
120°	10cm	-7	70.5	69.9	1.01
	10cm	-8	70.3	68.8	1.02

IV. 결론 및 고찰

중심부와 주변부의 선량 균일도를 비교해 보면 4MV open 조사면일 경우 Dmax에서와 깊이 5cm, 10cm에서 모두 균일한 선량 분포를 나타낸다. 가장 심한 각도인 30°에서의 균일도는 중심부에 비해 -12.8%를 보여주고 깊이가 깊어질수록 불균일도는 더욱 증가하여 10cm깊이에서 최고 -14.6%의 불균일도를 나타내고 있다. 한편 주변부에서 3cm 들어온 곳의 균일도는 Dmax에서 -2%로 주변부에 1cm 가까운 곳에 비해 +10.8% 정도의 차이를 나타내고 있다. 그러나 깊이가 깊어짐에 따라 6.7%, 4.3%로 점점 차이가 줄어든다. 각도가 커짐에 따라 불균일도는 점점 줄어드는 양상을 보이거나 120°의 가장 큰 각도에서는 10cm 깊이에서 open 조사면과 비교해 2.2% 정도의 차이를 보이고 있다. ±3%를 한계 허용치로 잡고 있는 beam flatness는 open 조사면일 경우 10cm 깊이에서 거기에 만족한 값을 보이거나 가장 심한 각도인 30°에서 9.33%로 심한 차이를 나타내고 있다. 10MV에서도 비슷한 양상을 보이거나 4MV에 비하여 같은 깊이에서는 균일도의 격차가 작은 값을 보여주고 있다. Flatness 또한 open 조사면에서 허용치에 만족한 값을 보이거나 30°각도, 15cm 깊이에서 약 9.84%로 많은 차이를 보인다. 4MV에 비해 energy가 큰 10MV에서는 전체적으로 근소한 차이를 나타낸다.

Block 조사면과 open 조사면의 균일도를 비교해 보면 각도가 커질수록 주변부에서 2cm 보다는 주변부에서 3cm 떨어진 곳이, 깊이가 깊은 곳보다는 Dmax에서 open 조사면과 격차가 줄어드는 값을 알 수 있다. 가장 큰 격차를 보이는 곳은 4MV 30°각도 block 조사면의 주변부에서 2cm 떨어진 곳, 즉 중심부에서 8cm 떨어진 곳의 10cm 깊이 값이 80.34%로 open 조사면의 그것과 비교하여 -19.6%로 차이가 큼을 알 수 있다.

한편 DDR은 역시 주변부로 갈수록 깊이가 깊어지고 energy가 작을수록 감소되는 양상이다.

Computer계산과 실측과의 오차는 좁고 작은 각

도에서 약간의 차이를 보일뿐 대체로 만족할 만한 값을 나타낸다.

결론적으로 급한 각도의 조사면은 되도록 피하고 block의 margin은 적어도 2cm이상 두는 것이 바람직하다. 그리고 조사면의 선량 계산에 있어서 dosimetrist의 주의와 computer programs의 개선이 요망된다. 궁극적으로 조사면의 계획은 기하학적인 측면보다는 선량 분포적인 측면에서 이루어지는 것이 바람직하다.

※ 참고 문헌

1. Cunningham, J. R, Shrivastava, P. N. and Wilkinson, J. M. Program IRREG - Calculation of Dose from irregularly shaped radiation beams. comp. prog. Biomedicine 192-199, 172
2. John, H. E. and Cunningham, J. R. The physics of radiology, 3rd ed. Springfield, illinois, charles c. thomas, 1969
3. Khan, F. M. computer dosimetry of partially blocked fields in cobalt teletherapy. radiology 97: 405-411, 1970
4. association of clinical physics. procedures in radiation dosimetry with 5 to 10 MeV electrons and roentgen and gamma rays with maximum photon energies between 1 and 50 MeV. Acta radiol. 11:603-622, 1972
5. Orchard, P. G. Decrement lines, a new presentation of data in Co-60 beam density. Brit. J. radiol. 37:756-763, 1964
6. Orr, J. S. Lauric, J. and Wakerly, S. A study of 4MV transverse data and associated methods of constructing isodose curves. Phys. Med. Biol. 9 : 505 - 515, 1964
7. Powers, W. E. Kinzie, J. J. Demidecki, A. J. Bradfield, J. S. and Feldman, A. A new system of field shaping for external beam radiation therapy. Radiology 108 : 407 - 411, 1973
8. Richter, J. Accuracy of dose calculation for irregular fields. int. conf. on the use of comp. in Rad. therapy in toronto, canada, pp. 68-72, 1984.