

## 대향2문조사시 Target Volume의 위치에 따른 Beam Weight의 최적화

경북대학교병원 치료방사선과

이진국 김지한 임익수 최영현

### Abstracts

If the same weight is used in parallel opposed 6 and 10 MV x-ray beams, the lowest dose is achieved at SAD. Therefore, dose homogeneity in the target volume is decreased when SAD is taken at center of target volume than center of phantom or patient. With Standard deviation of  $\pm 6\%$  that represented the dose homogeneity in target volume, we studied the optimized beam weights at which hot spot dose was least in parallel opposed beams. The optimized beam weights that maximally decrease the hot spot dose, were 1.29, 1.19, 2.71, 3.50, and 4.70 in 6 MV x-ray and 1.25, 1.53, 1.90, 2.36, 3.01, and 3.7 in 10 MV x-ray, respectively, when center of target volume was changed to 2,4,6,8,10, and 12cm from center plan of phantom along the central axis of beams.

### 1. 서론

방사선 치료를 위한 치료계획은 방사선선량의 최적분포를 제공하는 Beam들의 선택을 의미한다. 각 Beam은 Beam의 에너지 및 중심, 조사야 크기, 조사 방향 그리고 상대적 가중치(Relative weight)에 의해서 정의되며 아울러 개방 조사야 혹은 Filter의 사용 여부에 따라서도 결정

될 수 있다.

비록 최적의 방사선 선량 분포를 주는 일반적인 법칙은 없지만 방사선 치료 계획의 실용적인 목적은 서로 다른 정상 조직이 규정된 분할 조사로 받을 수 있는 선량 한계치 이하로 하면서 종양이 받는 선량은 최대로 하는 것이다. Beam의 위치나 조사야 크기의 최적화에 대한 수식은 Beam중심축 상의 선량이 조사야 및 깊이에 의존하게 되므로 실용적인 방법이 아니다.<sup>1)</sup>

각 방사선 치료 기관마다 이용할 수 있는 치료장비의 한계가 있기 때문에 Beam에너지의 선택을 자동화하는 것도 바람직 하지않다. 그러므로 최적화된 방사선 조사방향이나 가중치에 의한 최적화는 방사선 치료 계획에 있어서 근본적인 문제점으로 남아 있다.

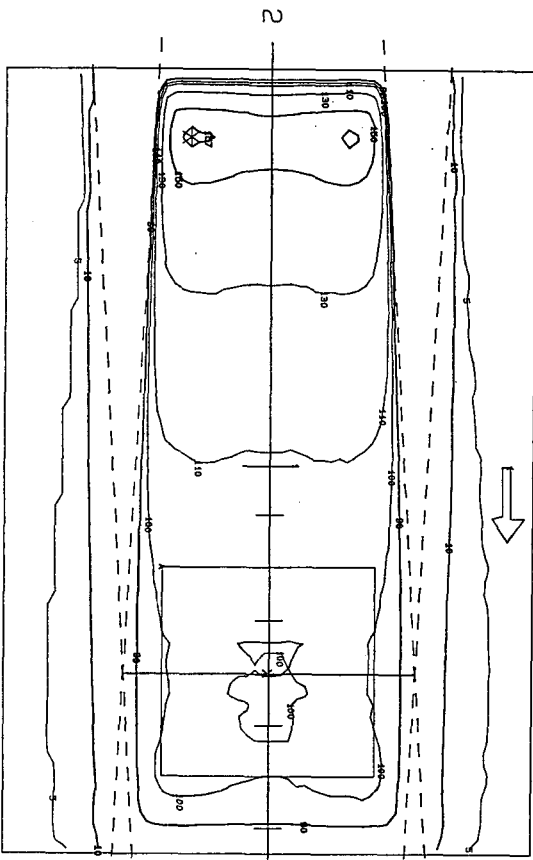
본 연구에서는 2종류의 방사선 에너지(6MV x-ray, 10MV x-ray)에 대해서 Phantoms size (종양이 위치하는 환자의 외각 크기)와 종양의 위치에 따라서 대향 2문 조사시 최적화된 Beam의 가중치를 구하여 Hot spot dose(HSD), Target volume내의 최대선량, 최소 선량, 평균 선량 및 표준편차 등을 구하여 1:1가중치를 사용하였을 경우와 비교하여 보았다.

### 2. 재료 및 방법

선량 분포에 영향을 주는 인자들 중 치료 장비에 의한 것은 방사선의 에너지, 입사 방사선

의 수 및 방향, 조사야의 크기, Filter등이 있으며 환자에 의한 것으로는 Tumor volume, Tumor의 위치, 치료하고자 하는 부위의 외각크기 및 모양 등이 있다.

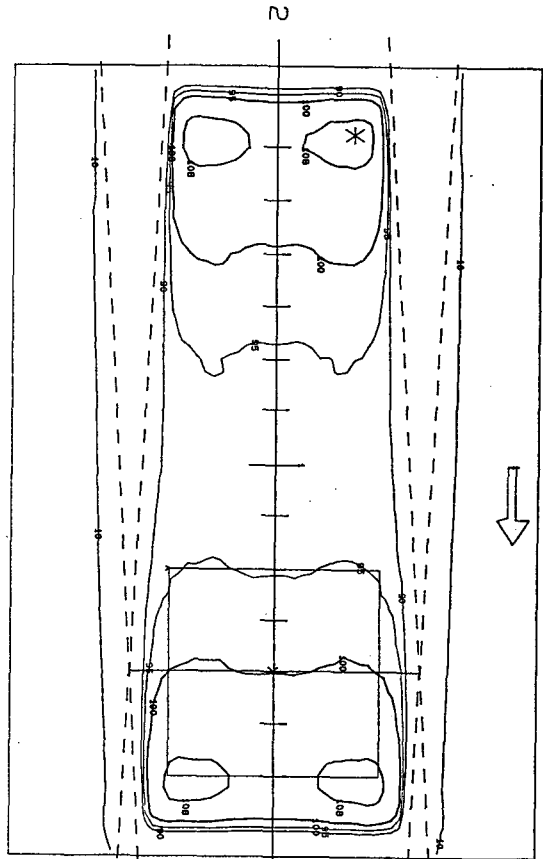
치료 방법으로서 가장 보편적으로 사용하는 방법은 SSD(Source to surface Distance)법과 SAD(Source to Axis Distance)법이 있으며, SAD법에는 환자의 중심선이 지나는 평면에 Isocenter를 두는 방법(Fig.1)과 Target volume center를 Isocenter로 하는 방법이 있다<sup>2)</sup>.



〈Fig.1〉 Typical normalized isodose curves. Normalized isocenter dose is 100cGy. Phantom size:  $30 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ ; Target volume:  $10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$ ; \* : Hot spot; x : isocenter.

본 연구에서는 치료시 환자의 Set-up이 용이하고, 모의치료(Simulation)시 대향2분조사 Beam이 Oblique하게 입사할 경우 조사야 내에

Tumor volume을 정확히 볼 수 있으며, Tumor volume내의 선량 균질성이 비교적 우수한 SAD법 중 후자의 방법을 택하였다(Fig.2).



〈Fig.2〉 Optimized isodose curves using 1 : 2.33 weighted beam. Normalized isocenter dose is 100 cGy. Phantom size:  $30 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ ; Target volume:  $10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$ ; \* : Hot spot; x : isocenter.

SAD법으로 대향2분 조사시 Beam가중치의 최적화를 위하여 Phantom size는  $30 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ 에서 폭을 5cm씩 변화시켜  $15 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ 까지 변화시켰다. Target volume의 변화는 각 Phantom size에 대하여  $10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$ 에서 각 변을 2cm씩 변화시켜  $4 \times 4 \times 4 \text{cm}^3$ 까지 조사하였고, Target volume의 위치는 중심선으로 부터 2cm 간격으로 12cm까지 Beam중심선을 따라 이동시켰다. 이때의 조사야 크기는 각 Target volume

+3cm으로 하였다. 가중치를 구하는 방법은 각 Beam이 Phantom에 입사하여 Target volume 중심에 도달하는 거리가 먼 쪽 Beam의 선량을 1로 하고 반대편 Beam에 대해서 가중치를 변화시켰다.

최적화 가중치의 판단은 Target volume이 받는 선량의 표준편차가  $\pm 6\%$ 이내이고 HSD가 최소화 되었을 때를 최적화 된 것으로 판정하였다(Fig.2).

본 연구에 사용한 Beam은 MEVATRON KD 7467(Siemens Germany) Dual Energy(6, 10 MV x-ray) 선형 가속기의 Beam이며, Simulation을 위한 장치로는 치료 계획용 Computer인 MEVAPLAN(PDP11/84, Siemens Germany)이며 Software Version은 9.5이었다.

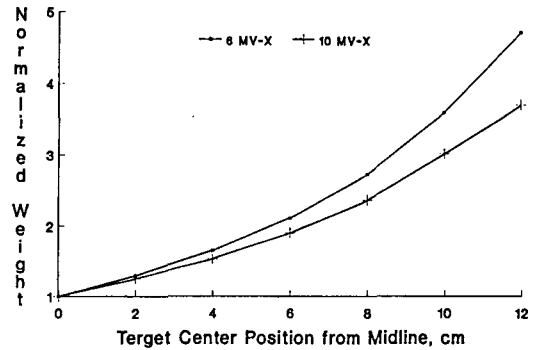
### 3. 결과 및 고찰

대향2문 조사시 Target volume의 위치 및 각 Beam이 가중치에 따라서 Hot spot의 위치와 선량도 달라진다. 왜냐하면 종양이나 정상조직의 어떤 점이 받는 선량은 Beam의 가중치에 따라서 선형이며, 여러개의 Beam을 사용하면 정상조직이나 종양이 받는 선량은 각 Beam에 의한 선량의 합으로 주어지므로 각 Beam의 가중치 변화는 정상조직이나 종양이 받는 선량을 변화시킬 수 있음을 의미하기 때문이다.

대향 2문 조사 Beam들과 전형적인 Hot spot의 위치, 규격화 점인 Isocenter, Target volume 및 등 선량 곡선을 Fig.2에 나타내었다. Fig.2에서 보듯이 최적화 치료계획 시 등선량 곡선은 Phantom의 중심 평면에 대해서 거울 대칭으로 나타났다.

#### 가) 가중치의 선택

Beam에 가중치를 부여하여 선량분포를 최적화하면 Phantom size( $30 \times 20 \times 20\text{cm}^3 - 15 \times 20 \times 20\text{cm}^3$ )에 따른 가중치의 변화는 찾아 볼 수 없었다. 그러나 Fig.3에 나타난 것과 같이 Target volume중심점의 위치가 Phantom 중심 평면으로 부터 Beam의 중심선을 따라 2,4,6,8,10 및

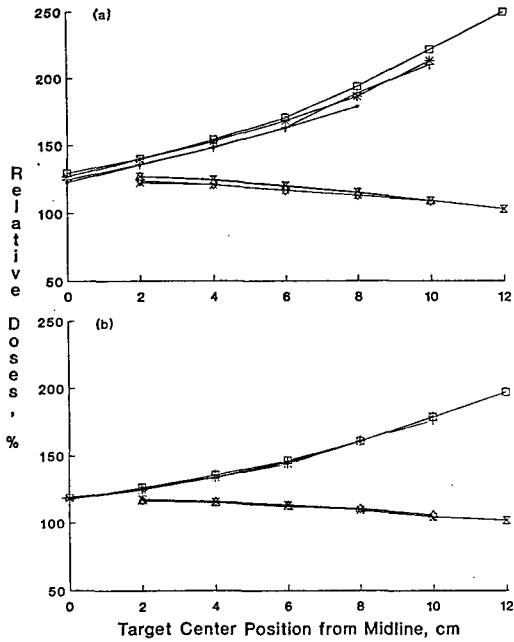


(Fig.3) Normalized weight vs Target center position from midline. Normalized weight is slightly increased in 6MV x-ray compared with 10MV x-ray.

12cm이동하여 한 쪽 Beam의 가중치를 1로 표현하였을 경우 다른 쪽 Beam의 가중치는 6 MV x-ray인 경우 1.29, 1.65, 2.19, 2.71, 3.59 및 3.70으로 각각 변화하고, 10 MV x-ray인 경우 1.25, 1.53, 1.90, 2.36, 3.01 및 3.70으로 각각 변화하여 최적화된 등 선량 곡선을 주었다. Beam의 가중치가 6MV x-ray 보다 10MV x-ray가 모든 Target volume의 중심점의 위치에 따라 약간씩 낮아지면서 중심점의 위치가 Phantom 중심평면에서 멀어질수록 그 변화의 폭은 커졌다. 이는 10MV x-ray가 6MV x-ray 보다 투과력이 더 크기 때문이다.

#### 나) HSD의 변화

HSD는 본연구에서 사용한 Phantom size가 감소함에 따라서 같은 Tumor volume의 중심점의 위치에서는 Beam의 에너지와 무관하게 가중치가 1:1인 경우나 최적화 가중치를 사용한 경우 공히 감소하였다. Fig.4는 Phantom size가  $30 \times 20 \times 20\text{cm}^3$ 이고 Target volume의 중심점의 위치가 변화 할 때 HSD의 변화를 나타낸 것이다. Fig.4의 (a)는 6MV인 경우이고 Fig.4(b)는 10MV인 경우이다. 대향 2문 조사인 경우는 Hot spot의 위치 및 HSD는 SAD방법을 사용하였을 때 SAD의 위치와 Phantom size에 의존하기 때문이다. Phantom size가 일정하면 HSD는 Target volume의 중심점 위치가 Phantom의 중심면에서 멀어질수록 1:1가중치인 경우 10MV

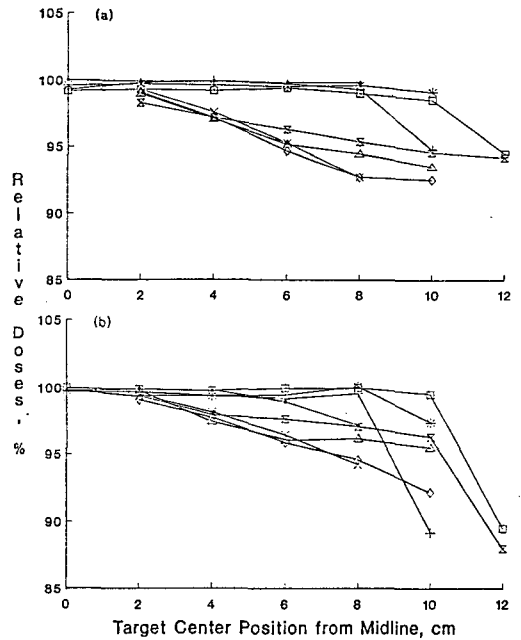


(Fig.4) Relative percent HSD depend on target center position from midline.  
 (a) : 6MV x-ray; (b) : 10MV x-ray; phantom size is  $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ . —●—, —×— : target volume is  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ; —+—, —◇— : target volume is  $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ ; —\*—, —△— : target volume is  $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ ; —□—, —○— : target volume is  $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ . Upper four are unweighted beam and lower four are weighted beam.

x-ray나 6MV x-ray 모두 급격히 증가하였다. 가중치의 변화로 선량분포를 최적화 한 경우 HSD는 두 에너지 모두 1:1가중치에 비하여 현저히 감소하였다.

다) 선량의 균질성

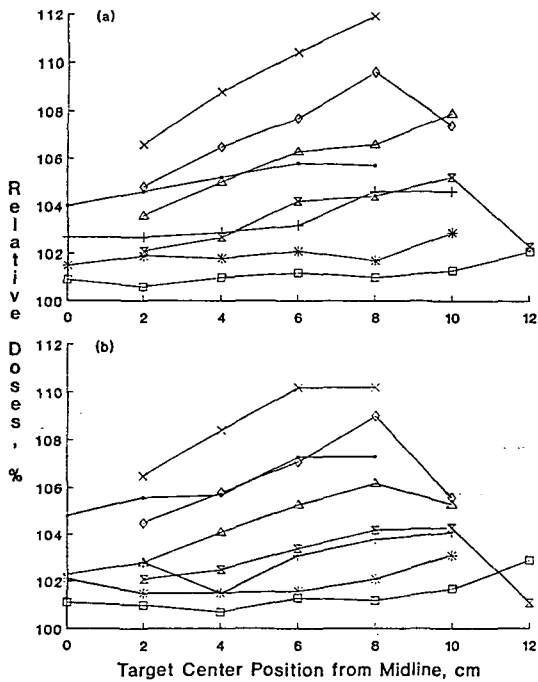
가중치가 1:1인 경우 6MV나 10MV 모두 Target volume의 경계면이 Phantom 경계면에서 각 에너지 Build-up 영역의 2배 보다 크면 Target volume내의 최소선량 및 최대선량의 변화는 Target volume의 중심점의 위치와 무관하게 거의 같았다. 그러나 Target volume의 경계면이 Phantom 경계면에서 각 에너지 Build-up 영역에 가까워지면 최소선량은 급격히 감소한 반면 최대선량의 변화는 적었으며, 표준편차는



(Fig.5) Relative percent minimum dose depend on target center position from midline.  
 (a) : 6MV x-ray; 10MV x-ray; phantom size is  $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ . —●—, —×— : target volume is  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ; —+—, —◇— : target volume is  $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ ; —\*—, —△— : target volume is  $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ ; —□—, —○— : target volume is  $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ . Upper four are unweighted beam and lower four are weighted beam.

고려한 Phantom size 및 Target volume에 대하여  $\pm 4\%$  이내였다. 가중치를 사용하여 선량분포를 최적화 하였을 경우 Target volume내의 최소선량은 Target volume의 중심점이 Phantom 경계면으로 갈수록 감소하였고 최대선량은 증가하였다. 그러나 선량의 균질성을 표시하는 표준편차는  $\pm 6\%$  이내였다. Fig.5.6 및 7은 선량의 가장 큰 변화의 폭을 주는 Phantom size  $30 \times 20 \times 20 \times \text{cm}^3$ 에 대하여 SAD선량을 100%로 하였을 때 (a) 6MV, (b) 10MV에 대하여 각각 최소선량, 최대선량 및 표준편차를 나타낸다.

Phantom size가 일정하면 Target volume의 중심점의 위치에 따라서 최소선량 및 최대선량의 변화 경향은 1:1가중치나 최적화 가중치의 경

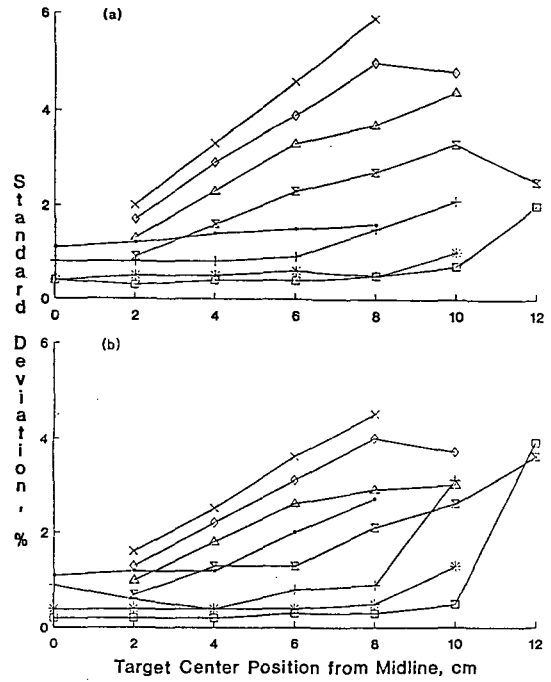


(Fig.6) Relative percent maximum dose depend on target center position from midline. (a):6MV x-ray;10MV x-ray; phantom size is  $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ . —x—, —o— :target volume is  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ; —+—, —◇— :target volume is  $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ ; —\*—, —△— :target volume is  $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ ; —□—, —— :target volume is  $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ . Upper four are unweighted beam and lower four are weighted beam.

우 모두 거의 같았다. 그러나 Phantom size가 적을 수록 Target volume의 중심점의 위치에 따른 최소선량 및 최대선량의 변화의 폭은 줄어들었다. 표준차는 Phantom size가 줄어들면 적어졌다.

#### 4. 결론

6MV나 10MV에너지 대향 조사인 경우 가중치가 같으면 SAD에 최소선량을 제공하므로 Target volume내의 선량의 균질성은 Target volume의 중심점을 SAD로 취한 경우는 Phantom의 중심면에 SAD를 둔 경우보다 선량의 균질



(Fig.7) Relative standard deviation depend on target center position from midline. (a): 6MV x-ray;10MV x-ray;phantom size is  $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ . —x—, —o— :target volume is  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ; —+—, —◇— :target volume is  $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ ; —\*—, —△— :target volume is  $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ ; —□—, —— :target volume is  $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ . Upper four are unweighted beam and lower four are weighted beam.

성은 감소한다. Target volume의 중심점은 SAD로 하면 최적화 가중치의 변화는 Phantom size에 따라 거의 나타나지 않았다. 그러나 동일한 Phantom size에 대하여 Target volume의 위치가 Phantom 중심평면으로부터 Beam의 중심선을 따라 이동하면 최적화 가중치는 6MV나 10MV 모두에서 증가 하였다. 가중치가 1:1이면 Phantom size가 감소함에 따라 HSD 및 최대선량은 줄어들고 최소선량은 증가하여 Target volume내의 표준편차는 증가하였다. 최적화 가중치를 사용한 경우는 최소선량 및 최대선량은 1:1가중치 보다 증가하여 표준편차는 증가하였다. 또한 Fig.4에서 알 수 있듯이 HSD는 1:1가

중치보다 Target volume의 중심점의 위치가 Phantom경계면으로 갈수록 현저히 감소하였다. Hot spot dose를 받는 정상조직을 최대로 보호할 수 있음을 의미한다. Target volume의 중심점의 위치가 같으면 Phantom size가 감소함에 따라 1:1가중치나 최적화 가중치 모두 표준편차는 감소하여 1:1가중치는  $\pm 4\%$ , 최적화가 중치는  $\pm 6\%$ 이내였다.

대향 2문조사인 경우 Target volume내의 선량의 균질성을 표시하는 표준편차를  $\pm 6\%$ 로 유지하면서 Hot spot dose를 최대로 줄일 수 있는 Beam의 가중치는 Phantom size에 관계없이 Target 중심점의 위치가 Phantom 중심평면으로부터 Beam중심선을 따라 2,4,6,8,10 및 12cm로

변화함에 따라 6MV는 각각 1.29, 1.65, 2.19, 2.71, 3.50 및 4.70이었다. 그러나 10MV는 6MV보다 약간 감소하여 1.25, 1.53, 1.90, 2.36, 3.01 및 3.70으로 각각 주어졌다.

## References

1. M.Lanfer and J.Leong, "Optimization of beam weights under dose-volume restrictions", *Int.J.Radiat. Onco. Biol. Phys.*, 13,1255-1260, 1987
2. N.M.Bleehen, E.Glatstein and J.Haybittle, "Radiation Therapy Planning", Marcel Dekker, Inc.