

## Rando phantom을 이용한 Radiosurgery에 관한 Dosimetry

영남대학교 의과대학 치료방사선과학교실  
김성규 · 신세원 · 김명세

### 서 론

두개골 내부의 종양으로 수술이 불가능하거나 부적합할 경우, 종래에는 일반적인 치료방법으로 외부다문조사나 회전조사를 이용한 방사선 치료를 시행해 왔다. 이 경우 많은 부분의 정상조직이 조사야에 포함되므로 정상뇌세포의 변성 및 괴사등의 부작용을 피할 수 없었으나, 최근 종양의 크기가 매우 적은 환자에서 BRW 등의 stereotactic기구를 사용하여 환자의 위치를 고정한 후 3×3cm이하의 조사면을 입체회전조사함으로써 주위 조직에는 최소한의 선량이 조사되도록하며 종양부위에만 집중적으로 방사선을 조사함으로써 기존의 방사선치료에서 나타날 수 있는 부작용을 극소화시키는 방사선절제술(radiosurgery)이 연구되고 있다<sup>1,4)</sup>.

방사선절제술에는 고에너지 X-선 선형가속기, 고에너지 양성자 사이크로트론등이 이용된다.

특히 3×3cm이하의 조사면에 대한 입체회전조사시의 선량분포가 방사성물질을 조직내에 삽입하여 치료하는 근접치료의 선량분포와 매우 유사함을 발표하고 있어<sup>3)</sup>방사선절제술의 개발에 매우 고무적이다.

이에 저자들은 3×3cm까지의 조사야에 대한

보고는 많으나 그보다 작은 조사야에 대한 장, 단점의 보고는 거의 없으므로 2×2cm의 조사면을 가지는 방사선절제술용 cone를 제작하여 본 교실에 설치되어 있는 18MeV 선형가속기(NE-RAC-1018, NEC)를 사용하여 인체모형펜텀에 대한 심부백분율, 등선량곡선등을 측정하였으며, 실제 입체회전조사를 시행한 선량분포를 분석하여 임상에의 적용 타당성을 논하고자 한다.

### 재료 및 방법

입체회전조사를 시행하기 위해서 먼저 10MV X-ray에 대한 소형조사면에서의 심부백분율(percentage depth dose, PDD)과 조직/최대 선량비(tissue maximum ratio, TMR)를 측정해야 하는데, 조사면이 적으면 방사선량의 정확한 측정을 위해서 측정기의 선택이 매우 중요하다.

전리함측정기를 이용할 경우에는 전리된 이온의 2차 전자평형이 이루어지는 비정보다 작은 조사면에서는 측정이 불가능하므로, film densitometer와 TLD, 반도체측정기 등이 소형조사면의 측정에 많이 이용된다.

저자들은 조사면이 2×2cm인 cone를 부착하여 필름(X-Omat V, Kodak)과의 거리가 SSD (source skin distance) 100cm이 되도록 설치하여

\* 이 논문은 1989년도 교비연구비로 이루어졌음.

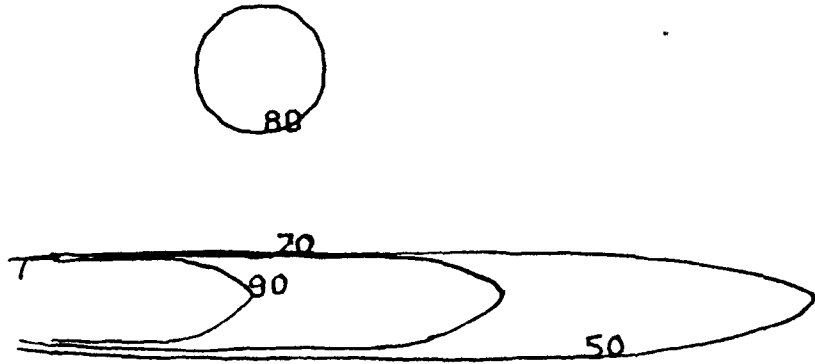


Fig. 1. Isodose curve of small field size  $2 \times 2$ cm.

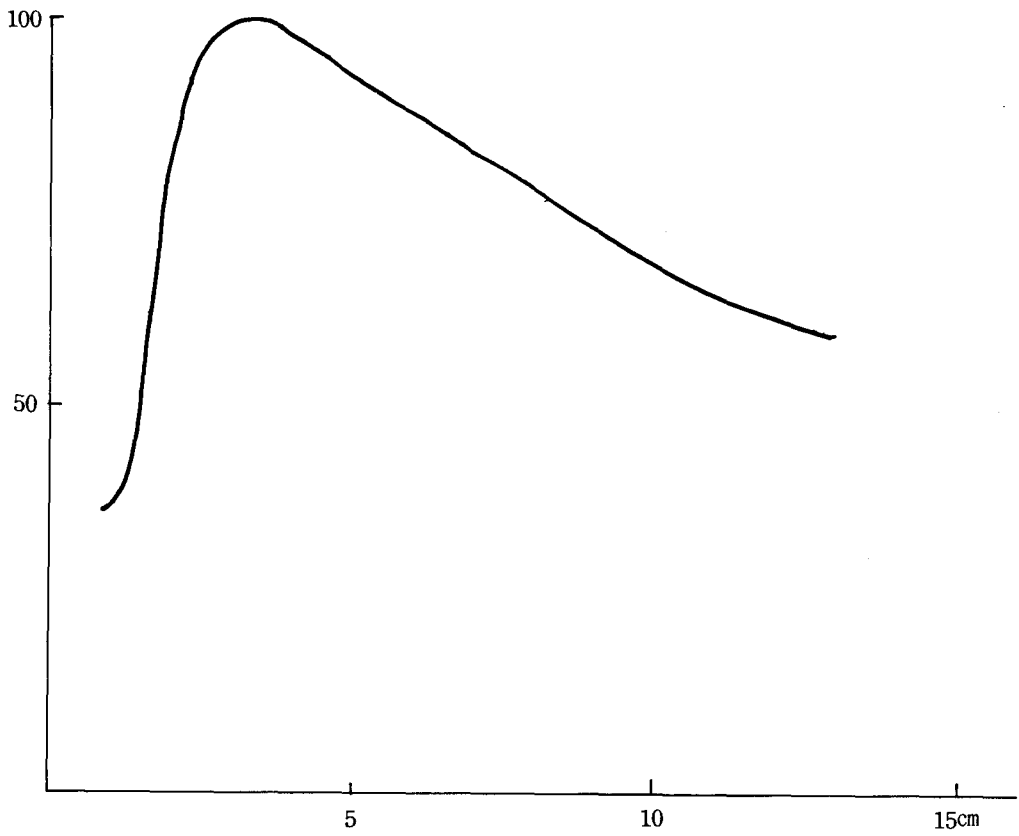


Fig. 2. PDD of field size  $2 \times 2$ cm in the 10 MV X-ray.

등선량곡선과 심부백분율을 측정하여 Densitometer(PDM 5, Sakura)로 분석하였다(Fig. 1, 2).

인체모형팬텀을 선형가속기의 couch위에 올려놓고 laser alignment를 이용하여 수직, 수평을 정확하게 맞추어 couch을 회전시켜도 중심점이 움직이지 않도록 고정하였고(Fig. 3), 소형조사면에 사용할 수 있도록 스킷로포오머(SF-2, Hustis)를 이용하여 직경 2cm과 3cm의 cone를 제작하였다(Fig. 4).

또한 gantry회전과 couch의 회전시 축의 정

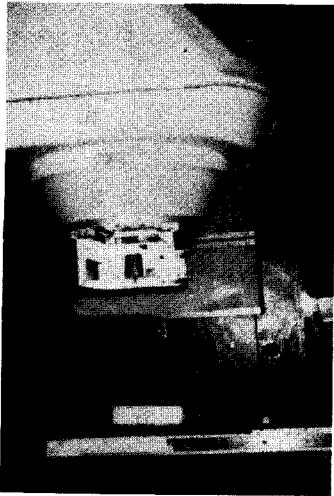


Fig. 3. Laser alignment of Rando Phantom.

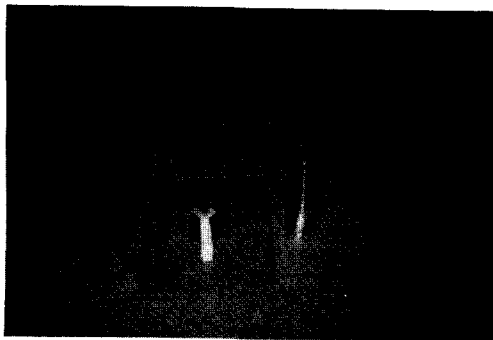


Fig. 4. The circular cone of diameter 2cm and 3cm.

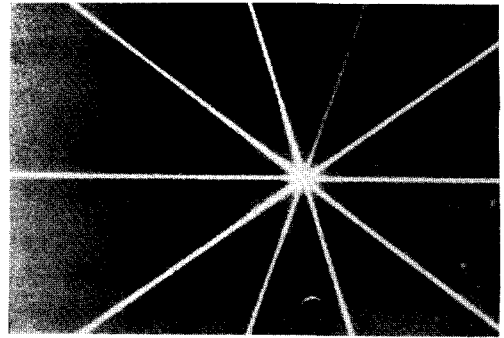


Fig. 5. The gantry rotation for central axis.

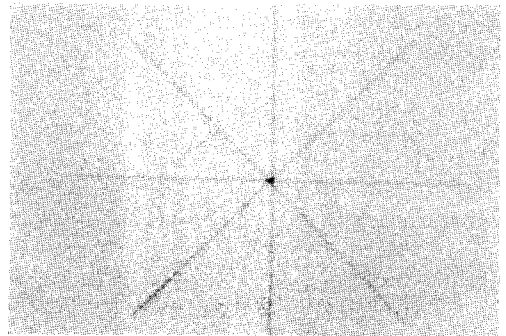


Fig. 6. The couch rotation for central axis.

확도를 측정하여 직경 1.5mm의 좋은 성적을 얻었다(Fig. 5, 6).

회전조사에 대한 선량율은 다음과 같이 구할 수 있다<sup>5)</sup>.

$$D_{iso} = D_0 \times S_c \times S_p \times \overline{TMR} \quad (1)$$

여기서  $D_0$ 는 조사면  $10 \times 10$ cm에서의 최대선량율이며,  $S_c$ 는 콜리메타 산란 교정 인자이며,  $S_p$ 는 팬텀 산란 교정 인자이다.

(1)식에서 TMR값은 심부선량백분율로 부터 구할 수 있다.

$$TMR(d, r_d) = \left( \frac{P(d, r, SSD)}{100} \right) \times \left( \frac{SSD + d}{SSD + d_0} \right) \times \left( \frac{S_p(r_{d_0})}{S_p(r_d)} \right) \quad (2)$$

여기서  $r$ 은 조사면이며,  $d$ 와  $d_0$ 는 각각 임의의 깊이와 최대선량깊이를 나타낸다. 그러므로 중심병소에  $D_r$ 를 조사하기 위한 Total Monit Unit (M.U.)는 다음식으로 구해진다.

$$M.U. = \frac{D_r \times \text{output/min}}{\text{Diso}} \quad (3)$$

### 성 적

먼저 AP-LAT면을 따라 230°Arc조사를 시행하였고, 둘째로 AP-VERT면을 따라 100°Arc조사하였으며, 끝으로 AP-LAT 45°면을 따라 100°Arc조사를 시행하여 target에 최대선량이 조사되도록 유도하였다(Fig. 7).

인체모형팬텀에 대한 CT(computer tomography)를 실시하여 AP-LAT 230°Arc조사와 AP-VERT 100°Arc조사에 대한 선량분포를 얻어 원하는 작은 부위에 방사선조사가 집중됨을 확인하였다(Fig. 8, 9, 10).

CT를 이용한 치료계획과 필름을 팬텀면에 삽입한 실제 측정치와는 AP-LAT면에서 0.4

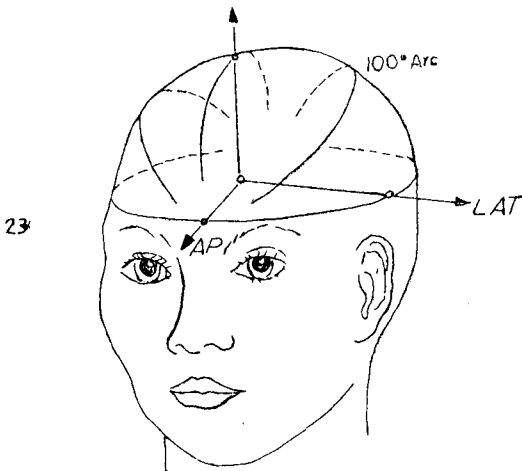


Fig. 7. The four arcs of the typical treatment.

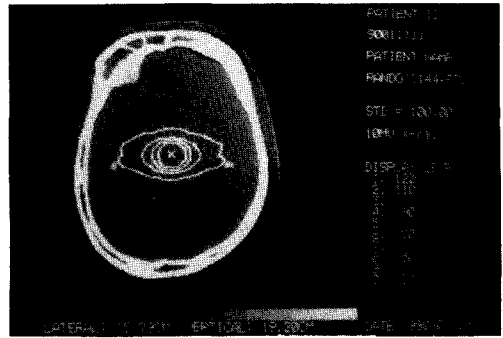


Fig. 8. The dose distribution of the axial section.

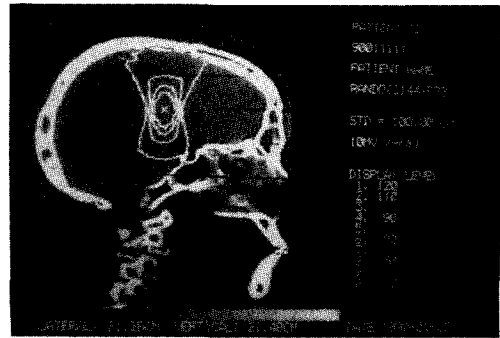


Fig. 9. The dose distribution of the sagittal section.

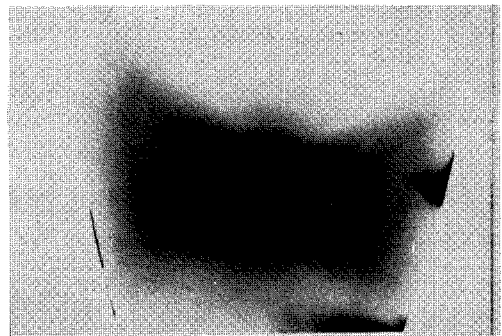


Fig. 10. The dose distribution of four arcs therapy.

mm, AP-VERT면에서 0.4mm, AP-VERT 45°면에서 1.0mm의 오차를 보이고 있어서 본 실험의 경우는

만족할만하다고 하겠으나 실제 임상에서 경사면을 회전조사 할때 더욱 세심한 환자의 위치와 couch의 이동이 요구됨을 시사하였다.

## 고 찰

외부입체회전조사는 1950년에 Orthovoltage X-선에 의한 방사선치료에서 병소중심선량을 높이고자 고안된 치료법이었으나 고에너지 X-선이 개발되어 1문조사나 2문조사로서도 충분한 선량을 병소중심 부위에 조사할 수 있게 되었다. 그러나 외부조사의 경우 많은 양의 정상뇌조직이 방사선에 노출되므로 뇌실질의 변성 및 괴사와 같은 부작용이 많지는 않으나 보고되어 왔다. 이를 개선하기 위하여 회전조사가 시도되었으나 환자의 위치 고정, beam alignment, dosimetry와 치료계획등의 어려움으로 사용빈도가 매우 국한되어 있는 실정이다<sup>6)</sup>.

방사선절제술에서 종양조직이 괴사되는 기전은 종양 혈관에 손상을 주면 이것에 의해 중심 괴사가 일어나며 종양 주변 혈관에서도 심한 내막증식과 유리질변성을 유발함으로써 허혈성 괴사를 일으키게 된다.

그후 BRW stereotactic system과 같은 머리 고정 기구가 개발되어 정확한 부위의 localization이 가능해지자 절제 불가능한 작은 종양일 경우 외부방사선으로 원하는 부위에 충분히 많은 양의 방사선을 조사하고 정상부위에는 조직의 변성이나 괴사가 일어나지 않는 적은 양의 방사선을 조사할 수 있는 방법이 개발되어 방사선으로 수술적 치료와 같은 효과를 기대할 수 있는 radiosurgery가 고안되었다.

그러나 소형 조사면에 방사선이 조사될때 경계부위의 등선량곡선의 기울기가 매우 급하여 저선량이 조사될 경우, 경계부위에 충분한 선량을 조사하기 위해서는 중심병소에서 necrosis를 일으킬 수 있음을 유의하여야 하는 등<sup>7)</sup> 매우 까다로운 제한이 있어 사용이 널리 보급되지

못하였다.

일반적으로 medulloblastoma, pinealoblastoma, dysgerminoma 등은 hypoxic core가 없기 때문에 적은 양의 single dose가 사용되며<sup>7)</sup> 크기가 큰 악성종양일수록 조사량이 증가한다. 뇌동맥 기형의 경우에는 보통 20-25GY 정도이면 혈관들의 obliteration을 초래할 수 있다고 보고하고 있어<sup>7)</sup> 이러한 질환의 치료도 가능함을 시사하고 있다.

Poddgorsak 등은<sup>8,9)</sup> 병소중심으로 360° 단일회전 조사를 시행할 경우에는 반대편 각도에서 받는 중복 선량으로 인해 주변의 정상조직에도 많은 방사선이 조사되므로 중복되는 선량을 피할 수 있는 입체회전조사를 주장하였다.

Lutz 등은<sup>10)</sup> 직경 1.25cm에서 3.0cm까지 다양한 크기의 cone를 제작하였으며, 환자의 위치를 고정한 후에는 couch가 움직이지 못하도록 couch off switch를 부착하여 안정성을 기하기도 하였다.

그러나 조사야 내에서의 선량분포의 측정은 매우 까다로운데, Chu 등은<sup>4)</sup> 작은 조사면에 대한 산란인자가 매우 크게 변화됨을 보고하고 있으며, 10cm 깊이에서 80%의 등선량곡선이 전체면적의 75% 정도를 보고하고 있다. 또한 5문 입체회전조사를 시행하면 360°회전조사할때 보다 병소중심에 2.2배의 선량이 조사됨을 보고하고 있어 원하는 부위에만 많은 양의 방사선을 조사할 수 있음을 시사하였다.

Choi 등은<sup>11)</sup> 필름 dosimetry에서 소형조사면의 물리적 반응영이 3-5mm임을 보고하고 있으며, 80% 등선량곡선의 면적이 조사면의 약 78%을 나타내고 있어 소형조사면에 대한 필름 dosimetry의 타당성을 보고하고 있다.

본 연구에서는 2×2cm의 소형 조사면에 대한 80%의 등선량곡선의 면적비가 80%였고, CT에서는 불가능한 sagittal면에 대한 선량분포를 볼 수 있으며(Fig. 9) 또한 CT에 의한 치료계획과 실제 치료시 위치의 오차는 AP-LAT면과 AP-VERT면에서 0.4mm, AP-VERT 45°경사면에서

1.0mm의 좋은 성적을 보이고 있으며, BRW stereotactic기구를 이용한 방사선수술시 치료계획과의 중앙중심에 대한 오차를 verification film study를 통한 0.4mm의 보고와, CT를 시행한 결과 환자 위치의 오차는 AP에서 0.3mm, LAT은 0.4mm, VERT은 0.8mm의 보고와<sup>10)</sup>근접하였다.

이는 선형가속기의 gantry와 couch의 회전축이 정확함에 기인한 것으로 해석되며, 이 측정을 근거하여 본원의 방사선절제술의 임상적 이용에 적절한 것으로 사료된다.

## 요 약

본 교실에서 18MeV 선형가속기를 이용한 방사선절제술에 대한 선량 측정 및 분석결과는 다음과 같았다.

1. 인체모형팬텀을 이용한 실제 치료시 위치의 오차는 AP-LAT면과 AP-VERT면에서 0.4mm였고, AP-VERT 45°경사면에서는 1.0mm였다.
2. 2×2mm조사면에 대한 80% 등선량곡선의 면적비가 80%였다.
3. 선형가속기의 gantry회전과 couch회전에 대한 중심축의 정확도를 실시하여 직경 1.5mm의 성적을 얻었다.
4. 본 연구에서 얻은 측정치는 지금까지 보고된 가장 작은 오차의 보고에 근접함으로 본원의 방사선절제술이 임상이용에 적절함을 시사하였다.

## 참 고 문 헌

1. Leksell, L. : Stereotactic radiosurgery. J. Neurol. Neurosug. Psychiatry. 46 : 797-803, 1983.
2. Rice, R. K., Hansen, J. L., Svensson, G. K., and Siddon, R. L. : Measurements of 6MV X-rays. Phys. Med. Biol., 32 : 1087-1099, 1987.
3. Siddon, R. L., and Barth, N. H. : Stereotactic localization of intracranial targets. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 13 : 1241-1246, 1987.
4. Chu, S. S., Suh, C. O., Loh, J. K., and Chung, S. S. : Treatment planning and dosimetry of small radiation fields for stereotactic radiosurgery. J. Korea Soc. Ther. Radiol., 7(1) : 101-112, 1989.
5. Khan, F. M. : The physics of radiation therapy. Williams & Wilkins, Baltimore 1984, p.227.
6. Hartmann, G. H., Schlegel, W., Sturm, V., Kober, B., Pastyr, O., and Loretz W. J. : Cerebral radiation surgery using moving field irradiation at a linear accelerator facility. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 11 : 1185-1192, 1985.
7. Jellinger, K. : Therapy of malignant brain tumors. Springer-Verlag, New York 1987, p.207. pp.217-259.
8. Pike, B., and Podgorsak, E. B. : Dose distributions in dynamic stereotactic radiosurgery. Med. Phys. 14 : 780-789, 1987.
9. Podgorsak, E. B., Oliver, A., Pla, M., Lefebvre, P. Y., and Hanzel, M. : Dynamic stereotactic radiosurgery. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 14 : 115-126, 1988.
10. Lutz, W., Winston, K. R., and Maleki, N. : A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 14 : 373-381, 1988.
11. Choi, T. J., Kim, O. B., Kim, Y. H., Son, E. I., and Kim, I. H. : Dose characteristics of small radiation fields for 6MV X-ray of linear accelerator. J. Korea Soc. Ther. Radial., 7(2) : 287-291, 1989.

## The Dosimetry of Radiosurgery using of Rando Phantom

Sung Kyu Kim, Sei One Shin, and Myung Se Kim

*Department of therapeutic Radiology  
College of Medicine, Yeungnam University  
Taegu, Korea*

The stereotactic radiosurgery using ionizing radiation of high energy is a technique for exadicating intracranial small tumors, which are inaccessible or unsuitable for open surgical technique.

For such a small field radiosurgery, TLD or film dosimetry is essential.

The three dimensional dose planning of radiosurgery was performed with dose planning computer system(Therac 2300).

The target dose distribution and its error according to patient position were discussed. And were measured of circular cone which specially designed in our Hospital.

The position error of Rando Phantom compared with CT were 0.4mm in the AP-LAT section and in the AP-VERT section, 1.0mm in the AP-VERT 45°section.

The ratio of accuracy of the gantry and couch rotation were 1.5mm diameter for central axis of 18MeV linear accelerator.

Our study suggested that radiosurgery of small field in our department will be appropriate for clinical application.

Key Words : Radiosurgery. Dose distribution.