

---

# Linear Accelerator를 이용한 Stereotactic Radiosurgery 방법

김천전문대학 방사선과 · 연세의료원 치료방사선과\*

나수경 · 박재일\*

---

## A Method of Stereotactic Radiosurgery Using A Linear Accelerator

Soo Kyung Na · Jai Ill Park\*

*Dept. of Radiotechnology, Kim Chun Junior College*

*Dept. of Radiationoncology, Yon Sei University Hospital\**

A modified irradiation technique utilizing a linear accelerator for radiation surgery within the brain was performed in 41 cases of patients with arteriovenous malformation(AVM), astrocytoma, meningioma, etc.

The treatment planning and dosimetry of small field for stereotactic radiosurgery with 10 MV X-ray isocentrically mounted linear accelerator will be presented dose with field size, the central axis percent depth dose and the combined moving beam dose distribution.

The three dimensional dose planning of stereotactic focusing irradiation on small size tumor region was performed with dose planning computer system(Therac 2300) and was verified with film dosimetry.

The more the number of strip and the wider the angle of arc rotation, the larger were the dose delivered on tumor and the less the dose to surrounding the normal tissues.

In this study, the using machine and method was as following.

1) Apparatus : NELAC - 1018 10 MV X-ray.

2) Strip No. : Select the 5-7 strips.

3) Cone and field size are from  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  to  $3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$ , and special circular cone designed for the purpose of minimized the risk to normal tissue and those size are 0.7~3.6 cm  $\phi$ .

**Key words** : Radiosurgery. Linear Accelerator. AVM

### I. 서 론

Radiosurgery(방사선수술)라는 개념과 방법

은 1951년 Leksell에 의해 시작되었으나 본격적으로 임상에 도입된 것은 고해상력의 뇌전산화 단층촬영과 정위수술 방법이 발달된 최근의

일이다. 이 방법은 두개강내 병소에 대하여 방사선을 일시에 집중조사 하므로써 실제 수술로써 병소를 절제하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있는 치료방법이다.

Stereotactic radiosurgery(정위수술)의 가장 큰 장점은 두부에 외과적 손상과 주변 뇌조직에 방사선에 대한 장애를 주지않고 병소에만 다량의 방사선을 조사하여 기존의 방사선치료에서 볼 수 없었던 부작용을 극소화 시키고 일회 조사로 모든 치료를 끝낼 수 있다는 것이다.

본 연재는 1989~1991년 10월까지 연세의료원 치료방사선과에서 병소의 크기가  $1 \times 1 \sim 3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$  사이인 뇌종양 및 뇌동·정맥기형 환자를 대상으로 10 MV linear accelerator를 이용한 뇌정위수술을 시행한 것 중에서 예를 들어 그의 시행 과정과 결과를 기술하였으며, 총 41명의 대상환자 중 뇌동·정맥기형 환자가 21명으로 가장 많았으며 나머지는 뇌종양 (Table 1)으로 각 종양 및 동·정맥기형의 크기는  $3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$  이하였다.

Table 1. Cases of patient

Diagnosis	No	Total
AVM	21	
Astrocytoma	5	
Craniopharyngioma	3	
Meningioma	3	
Metastatic brain tumor	3	
Oligodendroglioma	3	
Pineal gland germinoma	2	
Choroid plexus papilloma	1	41

## II. 방 법

Fig. 1은 radiosurgery의 치료과정을 그림으로 나타낸 것으로 Hitchcock stereotatic frame을 병실에서 환자의 두부에 고정한뒤 뇌종양인 경우에는 CT, 그리고 뇌동정맥기형인 경우에는 acryl로 만든 angiographic localizer를 frame에 고정한 후 DSA를 하고 재차 CT를 시행한다. 그

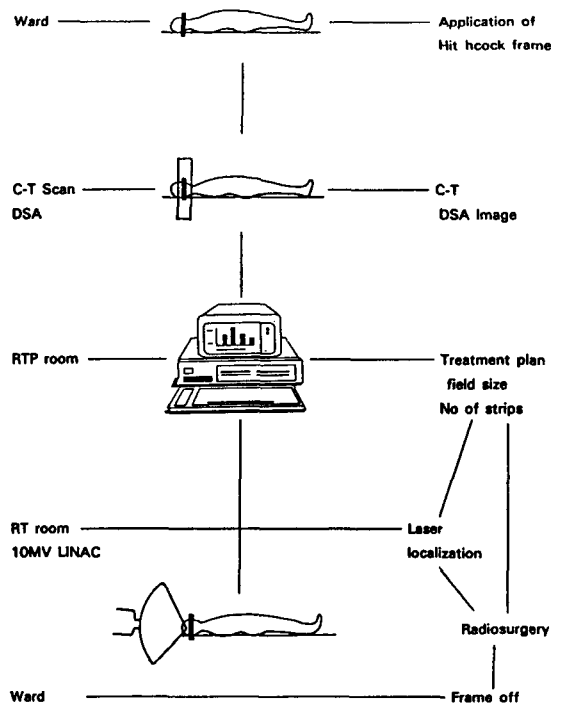


Fig. 1. Procedure of radiosurgery

다음에 치료방사선과 planning room에서 조사야, strips수, 조사량, 조사시간 등을 결정하고 laser localization한 후 radiosurgery를 시행한다. 그리고 병실에서 frame을 제거하므로써 치료가 끝나게 되는 것이다.

### 1. Phantom을 이용한 선량측정

팬텀의 두부(Fig. 2)내에 radioopaque dye와 radiation dose senser를 정해진 한 부위에 삽입하여 가상의 병소를 만든 후 CT를 시행하여 이 병소에 대한 공간 좌표를 결정하였다. 그리고 가상의 병소에 방사선을 조사한 후 계측기에 측정되는 양과 비교하여 제대로 조사되었는지를 확인한다. 뇌정위 수술은 방사선 조사면이  $3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$  이하이기 때문에 small field photon beam이 필요하며, 여러 방향에서 arc rotation 하였을 때 입체적 선량분포를 알아보기 위하여 film dosimetry와 ion chamber, TLD 등을 이용하여 측정한다.

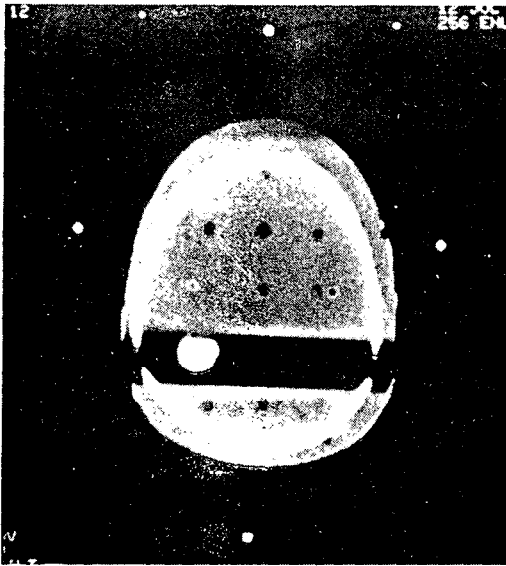


Fig. 2. The photograph show finding of phantom model.

## 2. 종양의 위치선정

Hitchcock stereotatic frame을 환자의 두부에 고정한 후 뇌종양인 경우에는 뇌전산화 단층촬영을, 동·정맥기형의 경우에는 acryl로 만든 angiographic localizer를 frame에 고정한 후 뇌동정맥 촬영술을 시행하고, 1.5~3 mm의 thin slice thickness cut로 재차 CT 촬영을 시행하였다(Fig. 3). 또한 전산화촬영 table 및 방사선치

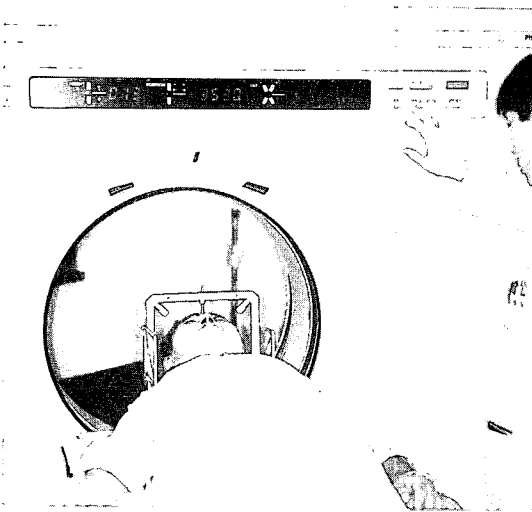


Fig. 3. The photograph show CT scanning.

료 침대에 적합한 stereotatic fixation device (Fig. 4)를 제작하여 위치기준에 정확성을 기하였다. Fig. 5는 CT 및 DSA에서 얻은 film에서 병소의 중심을 결정하고 이에 대한 공간좌표를 결정하는 사진이다.

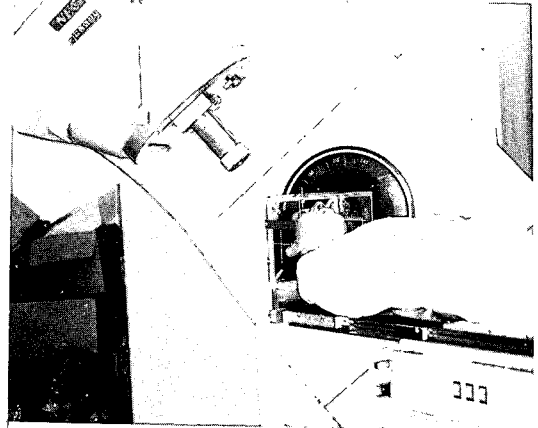


Fig. 4. The photograph show angiographic localizer and stereotactic fixation device.

## 3. 선량계획

방사선절제술을 위한 선량계획은 일시적으로 대량선량을 작은 종양에 집중 조사하고 주위조직의 피폭을 줄일 수 있도록 선량 계획이 이루어져야 한다. 작은 조사면에 대한 산란 교정인자와 심부백분율, 평탄도 및 뇌전산화 단층촬영 자료를 방사선치료용 컴퓨터(Therac-2300)에 입력시키고 strip(조사구획)의 수와 회전각도에 따른 선량분포도(Fig. 6) 및 선량계획(Fig. 7)을 결정한다. 이때 눈의 렌즈 등 방사선 감수성이 큰 부위를 제외시켜야 하고 치료침대의 위치와 조사 cone의 회전가능 범위를 결정해야 하며 strip의 폭이 피부표면에서 서로 겹치지 않도록 조사선량을 계획한다. 특히 입체적 회전조사에 의한 유효 치료용적의 모양이 공과 같은 구형에 가깝도록 직경이 0.7~3.6 cm  $\phi$ 인 circular Pb cone(Fig. 8)을 제작하여 선택적으로 사용하였으며 cone을 고정할 수 있는 tray는 tungsten으로 만들었다. 이때 cone의 center를 정확하게 맞추기 위하여 1회전 거리가 1 mm인 micrometer를

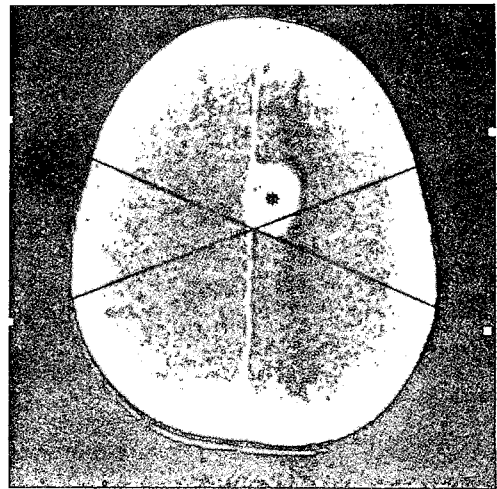
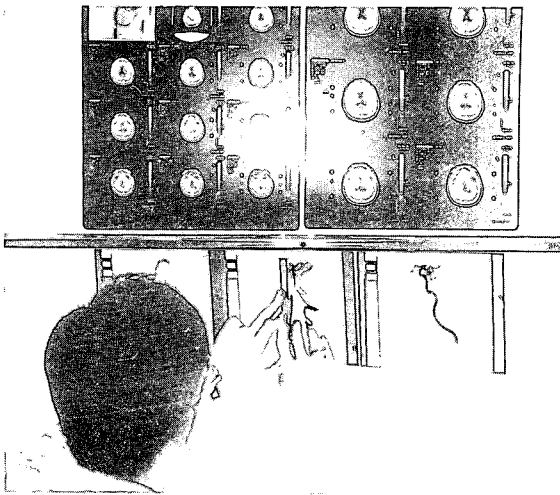
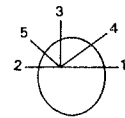


Fig. 5. The photographs show lesion center determine of CT with DSA, and calculating coordinates on CT scan.



Total tumor dose : 2250 cGy  
 Total monitor dose : 3021 cGy  
 Total angle : 540

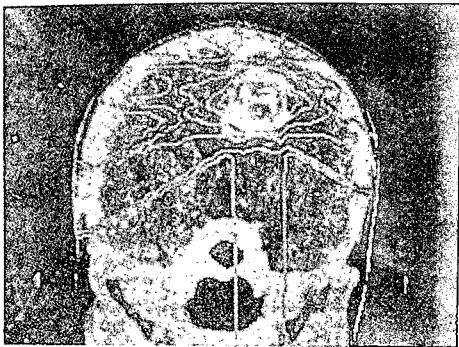


Fig. 6. Isodose curve on CT scan.

Strip	F.S	Couch	Gantry	Calculation
1	2.8cm ↓			Mean TMR 83.5 Tumor dose 500 Monitor dose 695 Dose per degree 5.79
2	2.8cm ↓			Mean TMR 86.2 Tumor dose 500 Monitor dose 659 Dose per degree 5.49
3	2.8cm ↓			Mean TMR 87.5 Tumor dose 416 Monitor dose 541 Dose per degree 5.41
4	2.8cm ↓			Mean TMR 81.4 Tumor dose 416 Monitor dose 582 Dose per degree 5.82
5	2.8cm ↓			Mean TMR 87.0 Tumor dose 416 Monitor dose 544 Dose per degree 5.44

Fig. 7. Radiosurgery treatment dose plan.

부착하였으며, 병소 선량(TD)과 monitor dose (MD) 및 회전선량비는 다음과 같이 계산하였다.

$$\overline{\text{TMR}} = \frac{\sum_{i=0}^n (\text{TMR})_i}{n}, \quad \text{MD} = \frac{\text{TD}}{\text{TMR} \cdot \text{FS}}$$

여기서 TMR 평균치는 회전각 10°씩 구분하여 계산되었고 FS는 조사면 산란인자이다.

#### 4. 10 MV X-ray를 이용한 radiosurgery

환자를 치료 테이블에 고정하고 linear accelerator의 isocenter에 target point를 laser beam으로 STD 100 cm로 일치시키고 strip수와 lesion의 center를 중심으로 각 angle에 따른 이동거리를 보여주고 있으며 couch angle에 따라 실제로 치료하는 장면이다(Fig. 9). 이때 각 strip의 수

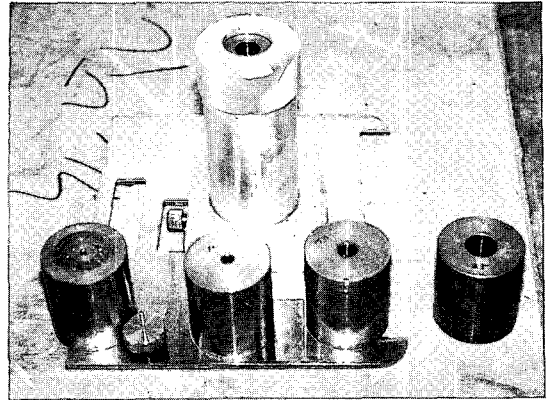


Fig. 8. Small field circular cone. The aperture of the cone can be adjusted from 0.7~3.6 cm  $\phi$  by changing the cerrobend inserts and the center of cone can be adjusted at the isocenter with X-Y micrometer.

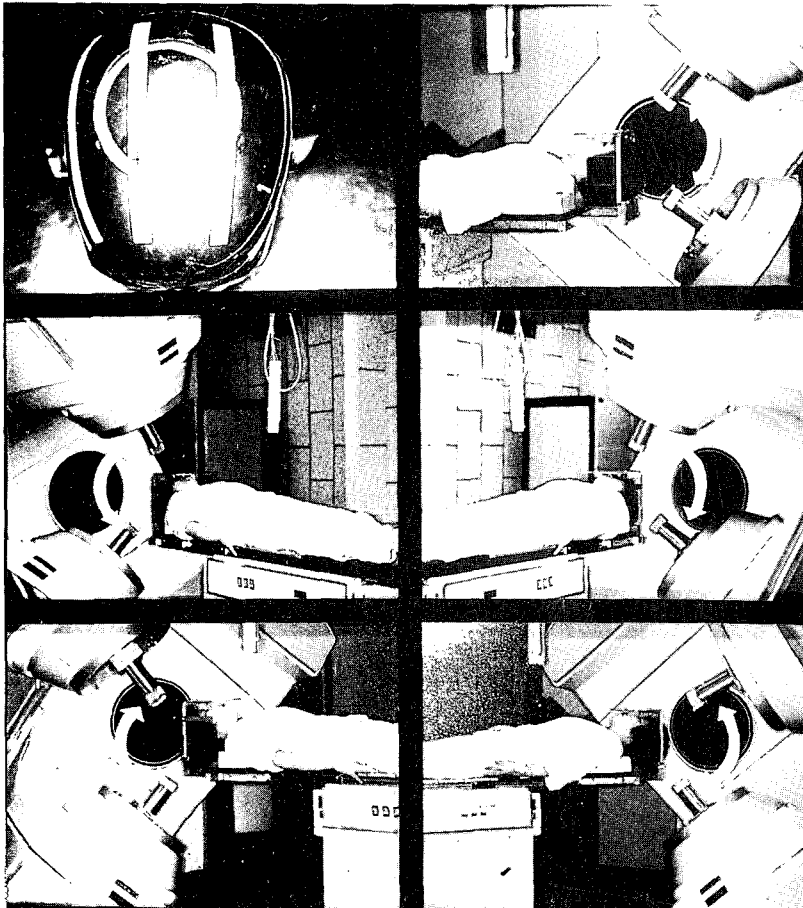


Fig. 9. The photograph show stereotactic radio-surgery.

는 5~7개 방향으로 treatment couch를 돌림으로써 바꿀 수 있고 arc rotation은 gantry를 돌려서 조사할 수 있다. 총 방사선 조사량은 1500~2500 cGy가 조사되며, 사용한 10 MV X-선의 선량률은 분당 약 500 cGy로서 실제 방사선 조사시간은 3~6분이 소요되며 전체 치료 과정은 30분~1시간이 소요되었다.

### III. 결 과

일반적으로 radiosurgery의 시행후에 뇌전산화 단층촬영에서 나타나기까지는 수개월에서 1년 이상의 기간이 필요하다. 대부분의 환자에 있어서는 radiosurgery후 1~2주 사이와 1개월, 2개월 간격으로 CT 촬영을 실시하였으며, radiosurgery 시행후 일부에 있어서 탈모증상이 나타났지만 대부분의 환자에 있어서는 특별한 합병증없이 증세의 호전을 보였다.

Fig. 10은 Rt. lateral ventricle choroid plexus papilloma 환자의 뇌정위수술 시행전과 시행 4

개월후의 CT film으로 4개월 follow up 필름에서는 완전 치유의 소견을 보여주고 있다.

### IV. 고 찰

기존의 방사선 치료는 주변의 정상조직에 피해를 극소화 시키기 위하여 적은 양을 여러번에 나누어 조사할 수 밖에 없으며, 주변조직의 피사유발 위험성이 있으므로 종양을 충분히 파괴할 수 있는 방사선 조사량에도 제한이 있게 된다. 그러나 1951년 Leksell에 의해 방사선절제술의 개념이 도입된 이후 최근들어 고해상력의 뇌전산화 단층촬영의 등장과 더불어 두개강내 병소의 정확한 위치선정이 가능해짐에 따라 주변 뇌조직에는 방사선량을 극소화 하고 병소에만 원하는 만큼의 방사선량을 충분히 줄 수 있어 기존의 방사선치료에서 볼 수 있는 부작용을 극소화시키며 하루만에 모든 치료를 끝낼 수 있게 되었다. 또한 신경외과 수술의 기술적 수준이 급속한 발전에도 불구하고 일부 뇌종양 및 뇌동정맥기형의 경우에



Fig. 10. Rt. ventricle choroid plexus papilloma : The left is before and after 4 months the treatment on the right the patient show complete response.

수술시 줄 수 있는 주위 신경조직의 손상 가능성이 있는데 비하여 radiosurgery는 그 위험성을 줄일 수 있는 장점이 있다.

그리고 Co-60을 이용한 Gamma unit나 1972년 Kjellberg에 의해 시작된 Bragg-peak를 이용한 양자선 방사선절제술은 엄청난 장비와 비용이 요구되는데 비하여 기존의 선형가속기를 그대로 이용할 수 있는 뇌정위수술방법은 감마 나이프에 비해 수술비용이 저렴하며 치료시간이 짧고 오차한계가 작기 때문에 임상적 실용성이 우수한 것으로 보고되고 있다. 따라서 이와같은 장점과 multiple strip이 가능하고 arc angle이 넓으며 penumbra가 적고, 심부율이 높은 10 MV X-ray가 선택되었다.

360° 회전조사와 5 strips 800° 회전 전자조사와 조사면이 각각 1×1, 2×2, 3×3 cm<sup>2</sup> 일때 중앙중심에서 횡축에 대한 선량분포도(dose profile)

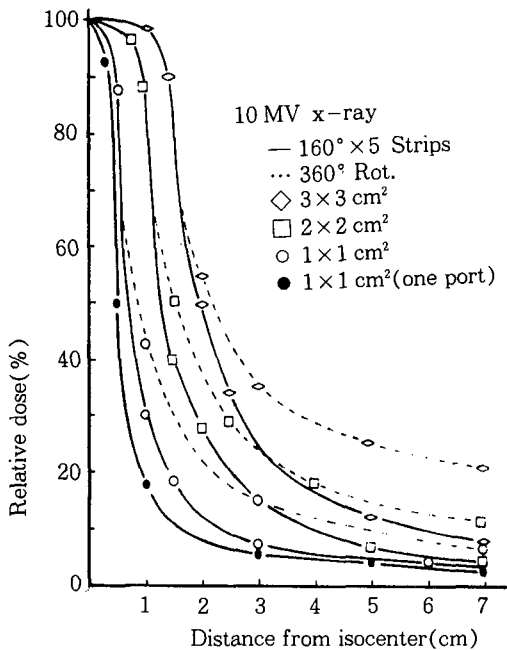


Fig. 11. Dose profiles for three radiation fields, 1×1, 2×2 and 3×3 cm<sup>2</sup>. The solid curves represent in a head phantom in the direction of the incoming beam for the 5 strips×160 arc angles. The dashed curves are calculated profiles in the plane of single full rotation.

files)이며(Fig. 11), 조사면 2×2 cm<sup>2</sup>를 360° single rotation, 800°(5 strips) 및 1050°(7 strips)로 회전조사 하였을때의 선량분포도이며 5 strips와 7 strips는 single rotation보다 중앙선량이 각각 2.2, 2.9배였다(Fig. 12).

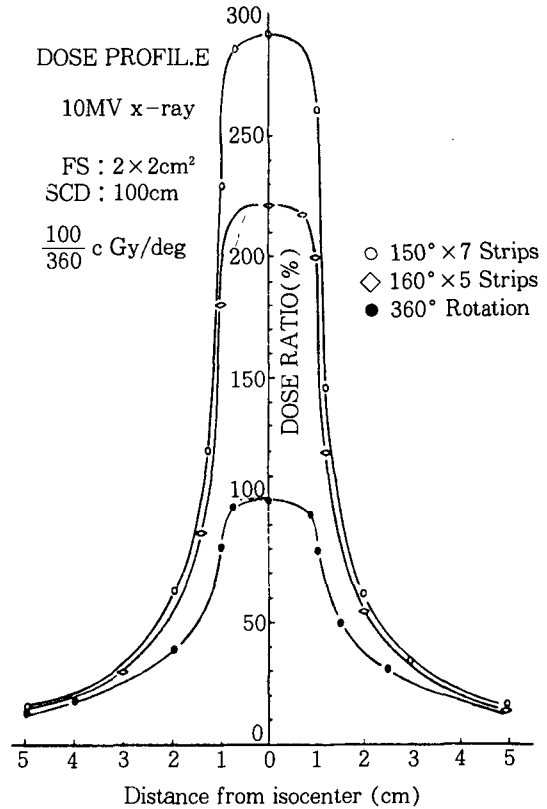


Fig. 12. Dose profiles of 360° 160°×5 strips and 150°×7 strips rotation of 10 MV X-ray with dose rate of 100 cGy per 360° full rotation FS 2×2 cm<sup>2</sup> SCD 100 cm.

## V. 결론

Stereotactic radiosurgery는 수술이 불가능한 뇌의 심부에 있는 작은 병소의 치료에 매우 유용하며, 치료효율을 높이기 위해서는 정확한 stereotactic localization이 가장 중요하고, 각 부위에 대한 정확하고 입체적인 dosimetry가 요구되므로 선량계획용 3-D computer와 CT image link가 될 수 있어야 한다. 그리고 주변

정상조직 피해를 줄이기 위해 오차범위를 2 mm 이내로 유지하는 것이 필수적이며, strip의 수가 많고 회전각도가 클수록 주위조직의 선량을 격감시킬 수 있지만, 병소의 위치, 크기, 종류 등에 따라 선택적으로 결정하여야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 추성실, 서창옥, 노준규, 정상섭(1989) : Stereotatic radiosurgery를 위한 소형조사면의 선량측정. 대한치료방사선과학회지(별책), 제7권 제1호.
2. Leksell L : Stereotactic radiosurgery. J. Neurology Neurosurgery 46 : 797-803, 1983.
3. Noren G, Arndt J, Hindmarsh T : Stereotatic radiosurgery in cases of acoustic neurinoma further experiences. Neurosurgery 13 : 12-22, 1983.
4. Heifetz MD, Wexler M, Thompson R : Single beam radiotherapy knife. J Neurosurgery 60 : 814-818, 1984.
5. Colombo F, Benedetti A, Pozza F, Zanardo A, Avanzo RC, Chierogo G, Marchetti Stereotatic radiosurgery utilizing a linear accelerator. Appl Neurophysiol 48 : 133-145, 1985.
6. Siddon RL, Barth NH : Stereotatic localization of intracranial targets. Int J Radiation Oncology Biol Phys 13 : 1241-1246, 1987.
7. Winston KR, Lutz W : Linear accelerator as a neurosurgical tool for stereotactic radiosurgery. Neurosurgery 22 : 454-462, 1988.
8. Marks MP, Delapaz RL, Fabrikant JI, Frankel KA, Philips MH, Levy RP, Enzmann DR : Intracranial vascular malformations : Imaging of charged-particle radiosurgery. Radiology 168 : 447-462, 1988.