

선형가속기를 기반으로 한 뇌정위 방사선 수술 시 전용 콘과 정방형 소조사면의 선량 특성에 관한 고찰

— Evaluation of Dosimetric Characteristics of Small Field in Cone Versus Square Fields Based on Linear Accelerators(LINAC) for Stereotactic Radiosurgery(SRS) —

동남보건대학 방사선과 · 건국대학교병원 방사선종양학과¹⁾

윤 준 · 이귀원 · 박병문¹⁾

— 국문초록 —

선형가속기를 기반으로 하는 뇌정위적 방사선 수술에 있어 전용 콘과 동일한 정방형 조사면에서의 소조사면 선량특성에 대해 알아보도록 6 MV 광자선과 소조사면 전용 검출기를 이용해 측정하였다. 선원 표면간 거리는 100 cm로 하고, 전용 cone $\Phi 1$ cm, $\Phi 2$ cm, $\Phi 3$ cm과 정방형 조사면 1×1 cm², 2×2 cm², 3×3 cm² 조사면으로 1.5 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm 지점에서 심부선량을 측정하였고, 최대 선량점에서 각 조사면에서 출력선량을 측정하여 비교하였다. 반응영역의 측정을 위한 선량측면도 측정은 $\Phi 1$ cm, $\Phi 3$ cm 및 동일한 정방형 조사면에서 선원 표면간 거리 95 cm, 깊이 5 cm에서 SFD를 이용하여 측정하였다. 물리학적 조사면(90%) 내에서는 1 mm 간격으로, 반응영역(20~80%)에서는 0.5 mm 간격으로 측정하였다. 전용 콘과 정방형 조사면의 PDD 변화는 기준조사면을 기준으로 5 cm 깊이에서 4.3~7.9% 낮게 나타났으며, 콘의 크기와 조사면 크기가 커질수록 PDD 변화는 적게 나타났다. 선질 비교를 위해 PDD_{20,10}를 비교한 결과 $\Phi 1$ cm 콘과 1×1 cm²을 제외한 다른 조사면에서는 1% 이내의 변화를 보였다. 출력선량은 콘을 이용한 방법에서 정방형 조사면에서 보다 3.1~4.6% 출력선량이 증가하였다. 반응영역은 $\Phi 1$ cm, $\Phi 3$ cm 동일한 정방형 조사면에서 콘을 이용한 방법이 반응영역이 20% 감소하였다.

뇌정위적 방사선 수술은 소조사면을 이용해 1회 대선량을 조사하는 방법으로 소조사면의 선량특성을 고려한 처방이 중요하게 된다. 본 실험을 통해 뇌정위적 방사선 수술에 있어 정방형 소조사면 보다 전용 콘을 이용한 방법이 유효하다고 사료되며, 향후 다양한 측정기를 이용한 소조사면의 선량특성에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

중심 단어: 뇌정위적 방사선 수술, Stereotactic Field Detector(SFD), 뇌정위적 방사선 수술용 콘, 소조사면

*접수일(2010년 1월 27일), 심사일(2010년 2월 5일), 확정일(2010년 3월 3일)

- 본 연구는 2009년도 동남보건대학 연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

교신저자: 박병문, (143-729) 서울특별시 광진구 화양동 4-12번지
 건국대학교병원 방사선종양학과
 H.P. 010-8441-2525, FAX: 02-2030-5383
 E-mail: munio@naver.com

I. 서 론

뇌정위적 방사선수술은 뇌동정맥 기형, 청각 내 신경종, 작은 크기의 전이된 뇌암 등에 적용되는 수술로서 Leksell에 의해 1951년 처음 시작되었다.

일반적 보고 된 뇌정위적 방사선 수술에 적용 있는 병소의 크기는 $0.5\sim 3.5\text{ cm}^3$ 로 작은 병소에 1회 대 선량이 전달되기 때문에 정밀한 기하학적 조건의 일치와 소조사면 내에 정확한 처방선량 전달이 매우 중요하다¹⁾.

현재 널리 이용되고 있는 뇌정위적 방사선 수술에는 크게 두 가지가 있다.

첫째, 1949년 스웨덴의 Leksell에 의해 개발 된 감마나이프 201개의 작은 코발트 밀봉소선원이 반구형으로 일정하게 배열된 장치로서 4, 8, 14, 18 mm의 구멍이 있는 콜리메이터가 장착된 헬멧을 통하여 뇌 속에 있는 병소에 집중적으로 방사선을 조사하여 수술하는 방법이다²⁾.

둘째, 선형가속기의 급속적인 발달과 더불어 선형가속기에 방사선수술 전용 콘을 부착하여 동일한 면(Coplanar) 및 동일한 평면이 아닌 면(Non-Coplanar)에서 진자조사나 회전조사를 시행하는 방법이 있다.

선형가속기를 기반으로 한 뇌정위적 방사선 수술에 이용되는 조사면의 크기는 $0.5\sim 3\text{ cm}$ 로서 통상적인 방사선 치료에 사용되는 조사면의 크기보다 현저히 작게 되며, 이에 따른 소조사면의 선량특성에 관한 정확한 측정이 필요하게 된다.

Shell 등³⁾은 소조사면의 선량 측정에 있어 급격한 선량 변화 지점, 이온 챔버를 사용함에 있어 측방입자 평형결여로 정확한 선량평가가 어렵다고 했으며, 따라서 조사면 크기보다 작은 크기를 갖는 측정기와, 적절한 분해능을 갖는 측정기가 요구된다고 보고하고 있다.

또한, Al-Najjar 등⁴⁾은 뇌정위방사선 수술 전용 콘이 정방형 조사면 보다 정확한 선량을 전달할 수 있고, 3차원적 선량분포 계산에 있어 보다 빠르고 신뢰할 만 하다고 보고하고 있다.

본 실험에서는 높은 감도와 작은 유효체적을 가지고 있으며, 공간분해능이 우수한 뇌정위적 방사선 수술 전용 측정기(Stereotactic Field Detector : 이하 SFD)를 사용하여 뇌정위적 방사선수술에 사용되는 전용 콘과 동일한 크기에서의 정방형 조사면에서의 선량특성을 심부선량 백분율(Percentage Depth Dose : 이하 PDD) 및 IAEA TRS-398에 근거한 선질변화 평가, 선량측면도를 통한 반음영 크기, 출력선량 등으로 비교함으로써 전용 콘을 기반으로 한 원형 소조사면과, 정방형 소조사면에서의 선량특성

에 관해 정량적인 비교를 하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

- 선형가속기 : Varian 21 EX, USA
- 물 팬텀 : IBA Dosimetrie system, Germany
- Electrometer : Dose1, IBA Dosimetrie system, Germany
- Stereotatic Field Detector : IBA Dosimetrie system, Germany
- Omipro-Accept Program : IBA Dosimetrie system, Germany
- Stereotactic Surgery Cone($\Phi 1\text{ cm}$, $\Phi 2\text{ cm}$, $\Phi 3\text{ cm}$) : Brainlab, Germany

2. 실험방법

- 1) 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면에서의 PDD 변화 및 선질 변화

PDD는 [(임의의 깊이에서의 선량 / 최대선량 지점에서의 선량)] $\times 100(\%)$ 로 정의하게 된다. PDD를 측정하기 위하여 물 팬텀과 SFD 측정기를 연결하였다. 이때 SFD는 p형 실리콘 검출기 칩을 사용하였고, 유효 측정점은 $0.5\pm 0.15\text{ mm}$ 를 가지고 있으며, 칩 크기는 $0.95/0.5\text{ mm}$ (side, thickness), active area는 원형, active area의 지름은 0.6 mm , active volume 두께는 0.06 mm 이다. 방사선원은 6 MV 광자선을 사용하였고, 선원-물 팬텀의 표면과의 거리는 100 cm 으로 하였고, 측정기 홀더에 SFD 측정기를 부착시켰다. 선량은 최대선량지점(D_{\max} : 1.5 cm)에 100 cGy 를 처방하였다. 기준 조사면과 비교를 위하여 $10\times 10\text{ cm}^2$ 조사면에서 1.5, 5, 10, 20, 30 cm 각 지점에서 선량을 측정하였고, 뇌정위적 방사선 수술 용 전용 콘 $\Phi 1\text{ cm}$, $\Phi 2\text{ cm}$, $\Phi 3\text{ cm}$ 과 정방형 조사면 $1\times 1\text{ cm}^2$, $2\times 2\text{ cm}^2$, $3\times 3\text{ cm}^2$ 에서 동일한 측정 깊이에서 측정을 하였다.

또한, 조사면 크기에 따른 선질 변화를 측정하기 위해 IAEA TRS-398이 권고하는 PDD_{20,10}비를 통해 각 조사면에 따라 비교하였다. 정확한 측정값을 얻기 위해 3회 반복 측정하였다(그림 1).

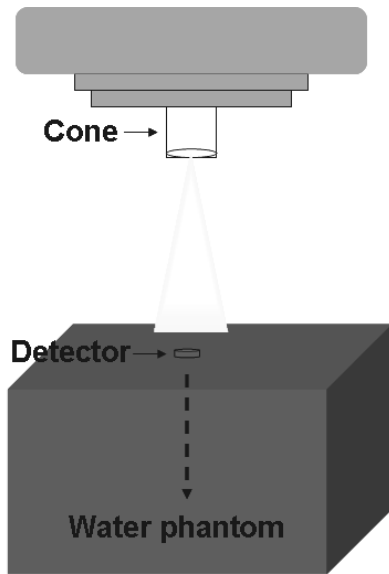


Fig. 1. The diagram is appeared measurement of PDD, beam quality and out factors using by the water-phantom system and SFD.

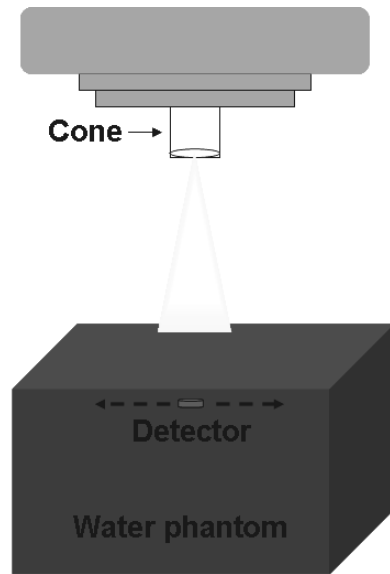


Fig. 2. The diagram is represented to method for dose profile through moving by SFD.

2) 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면의 출력선량

뇌정위적 방사선 수술용 콘과 정방형 조사면 크기에 따른 출력선량의 변화를 측정하기 위하여 물 팬텀과 측정기를 연결하였고, Omipro-Accept 프로그램과 전류계를 이용하여 측정하였다. 선원-표면간거리를 100 cm로 하고 콘을 $\Phi 1$ cm, $\Phi 2$ cm, $\Phi 3$ cm을 삽입하여 최대선량지점에서 각각 측정하였다. 동일한 기하학적인 조건에서 정방형 조사면 1×1 cm², 2×2 cm², 3×3 cm²에서 출력선량을 측정하였다(그림 1).

3) 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면의 선량측면도를 통한 반음영 측정

선량의 측면도를 측정하기 위하여 물 팬텀과 SFD 측정기를 연결하였고, Omipro-Accept 프로그램과 전류계를 연결하였다. 물 팬텀의 표면에서 측정이 이루어지는 경우 측정기의 움직임이나 물의 출렁거림으로 인한 선량의 측면도에 오차 요인이 발생할 수 있으므로 선원 표면간 거리를 95 cm로 하고 측정 깊이는 5 cm로 하였다(Source to Detector Distance : 100 cm).

뇌정위적 방사선 수술 용 전용 콘 $\Phi 1$ cm, $\Phi 3$ cm을 각각 삽입하고 물리학적 조사면(90%) 내에서는 1 mm 간격으로 이동하면서 측정하였고, 반음영영역(20~80%)에서는 0.5 mm 간격으로 이동하며 측정하였다.

동일한 기하학적 조건으로 정방형 조사면 1×1 cm², 3×3 cm²에서 각각 3회 반복하여 측정하였다(그림 2).

III. 실험결과

1. 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면에서의 PDD 변화 및 선질 변화

각각의 콘 크기와 정방형 조사면에서 측정 된 값은 최대선량지점으로 정규화(Normalization) 한 후 PDD를 비교하였으며, 그 결과 기준조사면 10×10 cm²에 대해 5 cm 깊이에서 $\Phi 1$ cm 콘은 약 10% 낮은 PDD 값을 보였고, 1×1 cm² 정방형 조사면은 약 9% 낮게 측정되어 나타났다. $\Phi 2$ cm 콘의 경우도 기준 조사면에 대해 10 cm 깊이에서 약 14% 낮게 측정되었고, 2×2 cm² 정방형 조사면도 약 13% 낮게 측정되었다.

$\Phi 3$ cm 콘의 경우도 기준 조사면에 대해 20 cm 깊이에서 19%, 3×3 cm²에서는 17% PDD 값이 낮게 측정되었다.

기준 조사면에 따른 PDD값은 각각의 콘 크기와 정방형 조사면에 따라 깊이에 따라 최대 28% 차이를 보였다. 또한, $\Phi 1$ cm 콘 대 1×1 cm², $\Phi 2$ cm 콘 대 2×2 cm², $\Phi 3$ cm 콘 대 3×3 cm²의 PDD의 변화는 $\Phi 1$ cm 콘 대 1×1 cm²의 깊이에서 7% 최대 차이를 보였고, 다른 조사면,

Table 1. This table are measured PDD using water phantom system according to the depths and individual fields size

	10×10 cm ²	∅1 cm cone	1×1 cm ²	∅2 cm cone	2×2 cm ²	∅3 cm cone	3×3 cm ²
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5 cm	0.872	0.793	0.797	0.812	0.813	0.823	0.829
10 cm	0.678	0.614	0.573	0.584	0.588	0.596	0.604
20 cm	0.392	0.297	0.303	0.310	0.313	0.317	0.324
30 cm	0.226	0.163	0.166	0.169	0.172	0.175	0.180

Table 2. Comparison of beam quality under the PDD_{20,10} in the individual field size

	∅1 cm cone	1×1 cm ²	∅2 cm cone	2×2 cm ²	∅3 cm cone	3×3 cm ²
PDD _{20,10}	0.485	0.530	0.530	0.533	0.532	0.536

깊이에서는 2% 내외의 차이를 보였다(표 1).

조사면에 따른 선질 변화를 측정하기 위해 PDD_{20,10}의 비를 비교한 결과 ∅1 cm 콘 대 1×1 cm²에서 9%의 선질의 변화를 보였고, ∅2 cm 콘 대 2×2 cm², ∅3 cm 콘 대 3×3 cm² 조사면 에서는 1% 내의 선질의 변화를 보였다(표 2).

2. 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면의 출력선량

출력선량의 변화는 산란선의 영향으로 기준조사면(10×10 cm²)을 기준으로 조사면의 크기가 클 때는 1보다 크게 나타나게 되고 작을 때는 1보다 작은 값을 보이게 된다.

본 실험을 통해 SFD 측정기를 이용하여 최대선량 지점에서 출력선량을 측정한 결과 ∅1 cm, ∅2 cm, ∅3 cm 에서는 각각 0.813, 0.906, 0.929로 나타났으며, 1×1 cm², 2×2 cm², 3×3 cm²에서의 출력선량은 각각 0.788, 0.865, 0.892를 보여 수술 전용 콘에서 정방형 조사면

보다 약 3% 출력선량이 증가한 값을 나타냈다(표 3).

3. 조사면 크기에 따른 콘과 정방형 조사면의 선량측면도를 통한 반응영 측정

목적부위에 처방선량을 전달 시 선량 오차를 증가 시키는 요인이 되는 반응영 영역은 조사면의 크기, 초점의 크기, 선원-표면간거리, cone의 사용 유, 무, 측정 깊이 등에 따라 영향을 받게 된다. 본 실험에서는 반응영 영역은 20~80% 지점으로 정의하였고, 각각의 조사면에 대해 SFD 측정기를 이용하여 ∅1 cm, ∅3 cm 콘에서의 선량측면도를 측정한 결과 반응영 영역 크기는 각각 3 mm, 4 mm를 나타냈다. 정방형 조사면의 경우 1×1 cm², 3×3 cm²에서 반응영 영역은 3.75 mm, 5 mm로 뇌정위적 방사선 수술용 콘을 사용 한 것이 정방형 조사면을 사용한 것에 비해 반응영 영역이 20% 감소하였다(그림 3).

Table 3. This table is to variate of output factor following to individual field size

	10×10 cm ²	∅1 cm cone	1×1 cm ²	∅2 cm cone	2×2 cm ²	∅3 cm cone	3×3 cm ²
Out factors	1,000	0.813	0.788	0.906	0.865	0.929	0.892

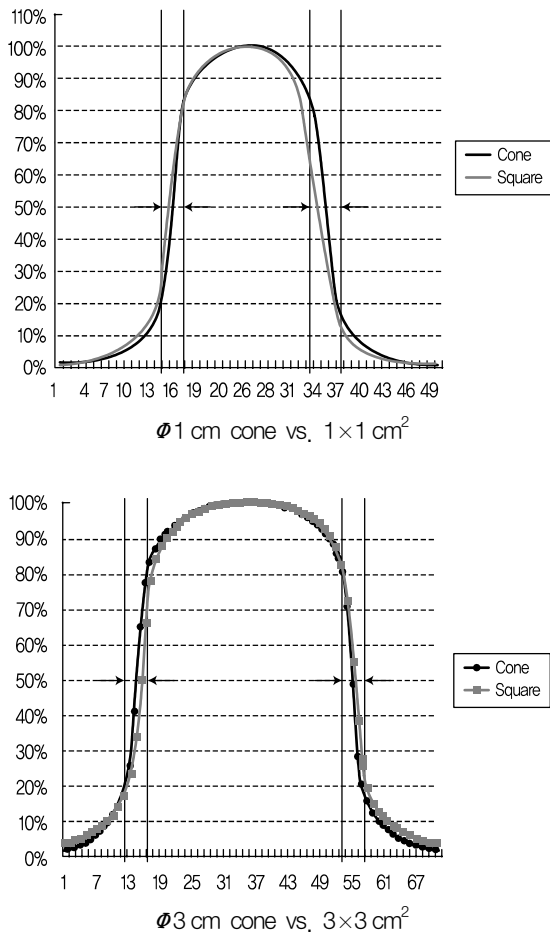


Fig. 3. Comparison of penumbra width at the $\varnothing 1$ cm cone vs. $1 \times 1 \text{ cm}^2$ square field and $\varnothing 3$ cm cone vs. $3 \times 3 \text{ cm}^2$ field in the measured dose profile using water-phantom system

IV. 고찰 및 결론

뇌정위적 방사선 수술은 환자의 상태나 외과적인 수술이 용이하지 않은 부위에 있는 뇌동정맥 기형 등의 질환을 대상으로 신경외과와 방사선종양학과와의 협진을 통해 이루어지는 수술로서 감마나이프와 선형가속기를 이용하는 방법이 있다.

일반적으로 방사선을 이용해서 수술하게 되는 부위는 작게 되고 방사선이 조사되는 부위 역시 소조사면이게 된다. 이전의 연구를 통해 원형조사면의 경우가 일반적으로 정방형 조사면에 비해 정확한 선량을 투여할 수 있고, 3차원적인 선량분포를 구현하기 용이하다는 보고가 있으며, 통상적인 방사선 치료에 이용되는 조사면의 크기와 다르게 뇌정위적 방사선 수술용 콘 및 정방형 소조사면의 경

우 선량특성이 다르게 나타난다고 보고하고 있다^{1,3-5)}. 그러나 각각의 변위에 따른 정량적인 분석은 이루어지지 않았으나, 본 실험에서는 뇌정위적 방사선수술시 선량치방에 있어 중요한자인 PDD, 선질, 출력선량, 반응영역의 크기 등을 측정하여 정량적인 분석을 하였다.

실험을 통해 뇌정위적 방사선 수술용 전용 콘과 정방형 조사면을 비교한 결과 PDD는 콘 및 정방형 조사면에서는 크게 변화를 나타내지 않았다. 또한 PDD_{20,10}의 비를 통한 선질의 특성변화도 모든 조사면에서 1% 이내로 변화를 보이지 않았다.

그러나 방사선 수술을 위한 치료계획 시 부정확한 선량의 반영을 일으킬 수 있는 반응영역 크기는 $\varnothing 1$ cm 콘 대 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 와 $\varnothing 3$ cm 콘 대 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 를 측정할 결과 뇌정위적 방사선 수술용 콘을 이용한 것이 20% 정도 반응영역 크기가 작게 나타나 Guru Parasad 등⁴⁾이 보고대로 치료계획 시 보다 정확한 선량을 전달할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 출력선량은 선량을 처방하고 전달하는데 있어 중요한 값으로서 조사면의 크기가 작을수록 콜리메터에 의한 산란선의 기여가 작게 되어 기준조사면 보다 작게 된다. 본 실험에서도 기준 조사면에 대해 콘 조사면, 정방형 조사면 모두에서 출력선량이 감소했으며, 정방형 조사면이 뇌정위적 방사선 수술 전용 콘 조사면보다 출력선량의 감소가 더 컸다.

따라서 본 실험을 통해 뇌정위적 방사선 수술 시 전용 콘을 이용한 방법이 반응영역크기 및 MU(Monitor Unit)의 증가에 영향을 주는 출력선량 측면에서는 유효하다고 사료되며, PDD 및 선질의 변화 측면에서는 방사선 수술 전용 콘과 정방형 조사면이 치료계획과 선량 처방하는 데 있어 크게 영향이 없다고 판단된다.

참고 문헌

1. Houdek P.V, Fayos J.V, Van buren J.M, Ginsberg M.S : Stereotaxic radiotherapy technique for small intracranial lesions. Med. Phys. 12; 469-472; 1985
2. 강세식, 고인호, 권영호 외 17명 : 방사선 치료학; 대학서림; 106-108; 2001
3. Shell M,C, Bova F,J, Larson D,D, Leavitt D,D, Lutz W,R, Podgorsak E,B, Wu, A. : Stereotactic radiosurgery, AAPM report 54. Woodbury, NY,

- American Institute of Physics, 1995
4. Al-Najjar W,H, Guru Prasad S, Parthasaradhi K, Bloomer W,D, Nanda R,K : Dosimetric Dosimetric aspects of small circular fields of 10 MV photon beam; Medical dosimetry; 23; 39-42; 1998
5. Kalefezra J, Bazioglou M, Theodorou K, Kappas C : A rhanom for dosimetric characterization of small radiation fields : design and use; Medical dosimetry; 25; 9-15; 2000

• Abstract

Evaluation of Dosimetric Characteristics of Small Field in Cone Versus Square Fields Based on Linear Accelerators(LINAC) for Stereotactic Radiosugery(SRS)

Joon Yoon · Gui-Won Lee · Byung-Moon Park¹⁾

Department of Radiologic Technology Dong Nam Health University

¹⁾*Department of Radiation Oncology, Konkuk University Medical Center*

In this paper we evaluated small field dose characteristics of exclusive cone fields versus square fields for stereotactic radiosugery (SRS) which is based on linear accelerators (LINAC). For this test, we used a small beam detector (stereotactic fields detector : SFD) with a 6 MV photon beam and a water phantom system (IBA, Germany). Percentage depth dose (PDD) was measured for different field sets (cones : $\varnothing 1$ cm, $\varnothing 2$ cm, $\varnothing 3$ cm ; square fields : 1×1 cm², 2×2 cm², 3×3 cm²) at a source skin distance (SSD) of 100 cm. We measured the point depths at 1.5 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, and 30 cm. The output factors were measured under the same geometrical conditions of the PDD and normalized at the maximum dose depth. To analyze the penumbra, we measured the dose profile with 95 cm of SSD, 5 cm of depth for each field sizes ($\varnothing 1$ cm, $\varnothing 3$ cm, 1×1 cm², and 3×3 cm²) using SFD. We obtained the values for every 1 mm interval in the physical field (90%) and 0.5 mm interval in the penumbra region (20 to 80%). The PDD variation of exclusive cones and square fields were 4.3 to 7.9% lesser than the standard field size (10×10 cm²). The variation of PDD was reduced while the field size was increased. To compare the beam quality, we analyzed the PDD_{20,10} and the results showed under the 1% of variations for all experiments except for $\varnothing 1$ cm cone and 1×1 cm² fields. Output factors of exclusive cone were increased 3.1~4.6% than the square fields, and the penumbra region of exclusive cone was reduced 20% as compared to the square fields. As the previous researches report, it is very important for SRS and SFD that precise dosimetry in small beam fields. In this paper, we showed the effectiveness of exclusive cone, compared to square field. And we will study on the various detector characteritstics for small beam fields.

Key Words : Stereotactic Radiosugery (SRS), Stereotactic Field Detector (SFD), SRS cone, Small beam field