



Title	4MV X線による歳差集光照射法の研究
Author(s)	安野, 泰史; 古賀, 佑彦; 竹内, 昭
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1988, 48(5), p. 608-614
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/15147">https://hdl.handle.net/11094/15147</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 4MV X線による歳差集光照射法の研究

藤田学園保健衛生大学医学部放射線医学教室

安野 泰史 古賀 佑彦 竹内 昭

（昭和62年9月16日受付）

（昭和62年10月21日最終原稿受付）

### Studies on a Technique of Precessional Convergent Radiotherapy with 4 MV X-Rays

Hirofumi Anno, Sukehiko Koga and Akira Takeuchi

Department of Radiology, Fujita Gakuen Health University School of Medicine

Research Code No. : 601

Key Words : Convergent radiotherapy, Three dimensional irradiation, Narrow beam, Linear accelerator

In order to get higher concentration of the beam within the target volume and steep reduction of the dose outside of it, new technique of convergent radiotherapy by using 4 MeV linear accelerator was presented. The technique was consisted of patient rotation sitting on the specially designed chair under various angles of the gantry head of the unit. The film method and TLD measurements with MixDp phantom showed excellent dose distribution. The surface dose was sufficiently low as 1 percent of the maximum. The technique might be applicable to irradiate small circumscribed intracranial lesions such as small AVM and pituitary tumors.

### I. 緒 言

標的容積の線量集中度を高め、周囲健常組織の線量を軽減するために、運動照射法や多門照射法が用いられている。しかし、従来の二次元的な照射法では限界があり、周囲の線量を減らすことができない。そこで頭蓋内動脈奇形のような小さい限局性病巣へ線量の集中を得るために、Leksellらは179個のCo60線源を半球面を成すように配置し、collimator helmetでnarrow beam（通常使用される小照射野より極めて細い線束）とし三次元的に集中照射するGamma Unit<sup>1)</sup>を開発した。またBragg-Peakを用いた重粒子線治療装置<sup>2,3)</sup>も臨床応用されてきた。我々は4MeVリニアックを用いたXYZ軸三次元運動照射法<sup>4,5)</sup>を考案し臨床応用を行なってきたが、今回さらに集中度の高い線量分布を得るために4MeVリニアックのnarrow beam X線を用いる歳差集光照射法を考案し

た。そこで、この照射法の原理とファントム実験の結果を報告する。

### II. 原 理

従来の回転照射法では、通常、放射線は患者の軸位断面上にあるisocenterを中心に360度方向から回転照射される。頭蓋内の限局性小病巣を照射しようとするとき、Gamma Unitのように放射状方向から照射できれば、線束の集中度は高まる。narrow beamを使用し坐位患者回転とガントリー回転を組み合わせた運動照射法を行なうと、患者頭蓋内のisocenterに半球の放射状方向からbeamが集中する。すなわち、患者が一回転するとガントリー傾斜角を頭皮入射部位にて照射野が重ならないように変えると（Fig. 1）、beamは患者の回転軸上にあるisocenterに集中する（Fig. 2）。このnarrow beamの軌跡はあたかも歳差運動の如きものであり、我々はこれを歳差集光照射

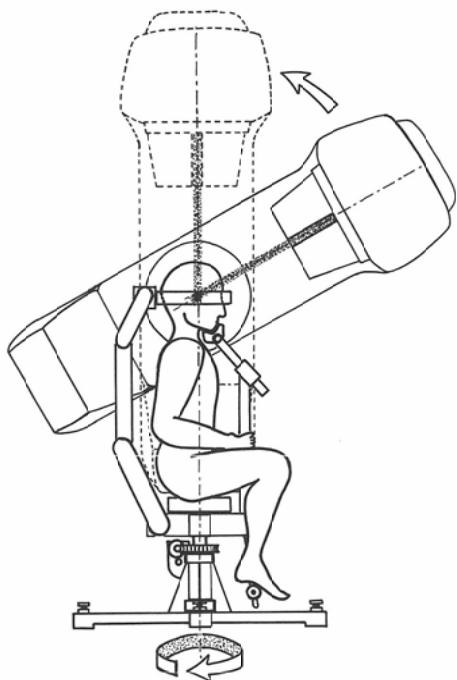


Fig. 1 The precessional convergent radiotherapy with linear accelerator in clinical application.

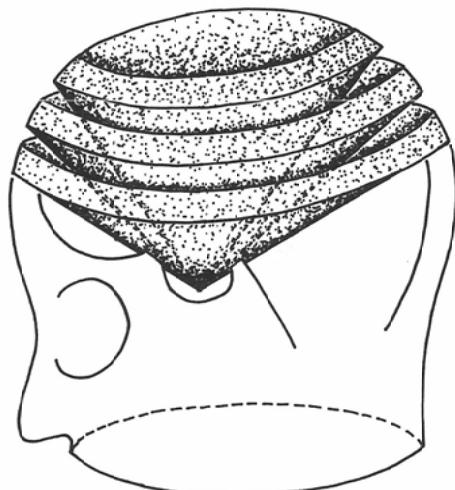


Fig. 2 The locus of precessional convergent radiation beam.

法と名付けた。

### III. 方 法

この歳差集光照射法の線量集中を確認するため、4MeV リニアック(NEC 製 NELAC-1004)を用い、4.0MV X 線にてファントム実験を行なった。

た。

#### 1. narrow beam における吸収線量の測定法

narrow beam の吸収線量測定にはフィルム法を用いて準標準線量計(CAPINTEC 製192A 0.6 cc チェンバー)にて校正した。フィルムにはグラビアノーマルフィルム(フジフィルム製)を用いて、 $100 \times 100\text{mm}^2$  Field Size (F.S.) に4MV X 線の校正深5cm にて測定し、濃度線量曲線を求めた。これより線量補正を行なった。

#### 2. narrow beam の照射野補正

$100 \times 100\text{mm}^2$  F.S. に対し照射野が小さくなると同じ吸収線量を与えるためには多くの線量が必要であることが知られている<sup>6)</sup>。しかし極めて小さい照射野における照射野係数はあまり検討されていないため、フィルム法により $5 \times 5\text{mm}^2$  F.S. から $20 \times 20\text{mm}^2$  F.S. の各 narrow beam X 線の本装置における照射野係数を求めた。

#### 3. ファントム実験による線量分布

ファントム実験は MixDP による頭部ファントムを試作し、isocenter を通過する矢状断面と軸位断面にグラビアノーマルフィルムを用いて、濃度分布から線量分布を求めた。

ファントムがターンテーブル上の isocenter を中心に一回転するごとに、ガントリー傾斜角をファントム表面(頭皮)の入射部位にて照射野が重ならないように回転移動させ、表面(頭皮)の平均単位面積当たりの通過線量が一定となるよう照射した。

#### 3.1. 歳差集光照射法と従来の照射法の線量分布

従来の360°回転照射法、XYZ 軸三次元運動照射法、歳差集光照射法にて比較検討した。照射野は $10 \times 10\text{mm}^2$  F.S. とし、中心線量が一定となるように照射した。このフィルムから等線量曲線記録計(小西六製 PDI-10)を用いて等線量曲線を求めた。さらに照射法の比較のために、軸位断面にて isocenter を通過する直線上の濃度曲線を濃度曲線記録計(小西六製 PDM-5)を用いて求めた。

#### 3.2. 各照射野による歳差集光照射法の線量分布

歳差集光照射法にて照射野を $5 \times 5\text{mm}^2$  F.S. (ガ

ントリー角4°刻み) 22門,  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  F.S. (8°刻み) 11門,  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  F.S. (16°刻み) 6門と変えて比較検討した。前記と同様に等線量曲線を求めた。

### 3.3. 照射容積 (irradiated volume)

回転照射法と歳差集光照射法の線量分布から50%と90%照射容積を円柱および球体として近似

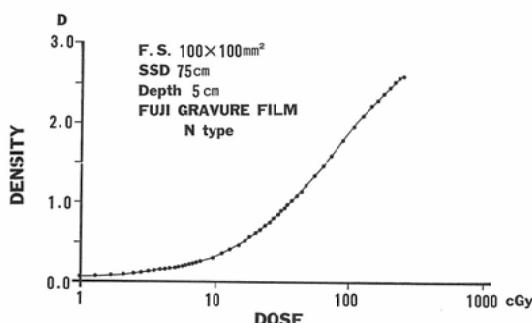


Fig. 3 Dose-density curve by photographic method.

計算にて求めた。

### 4. ファントム実験による表面線量の測定

同ファントムにて頭皮の表層線量を測定するため、低線量領域に信頼性のある TLD (極光製 MBO-S) を用いた。 $10 \times 10 \text{ mm}^2$  F.S. と  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  F.S. にて中心線量に対する表層線量の割合として求めた。

Table 1 Field factors of narrow beam with 4 MV x rays.

Field size (mm <sup>2</sup> )	Field factor
100×100	1.000
50×50	0.957
30×30	0.878
20×20	0.802
10×10	0.736
5×5	0.409

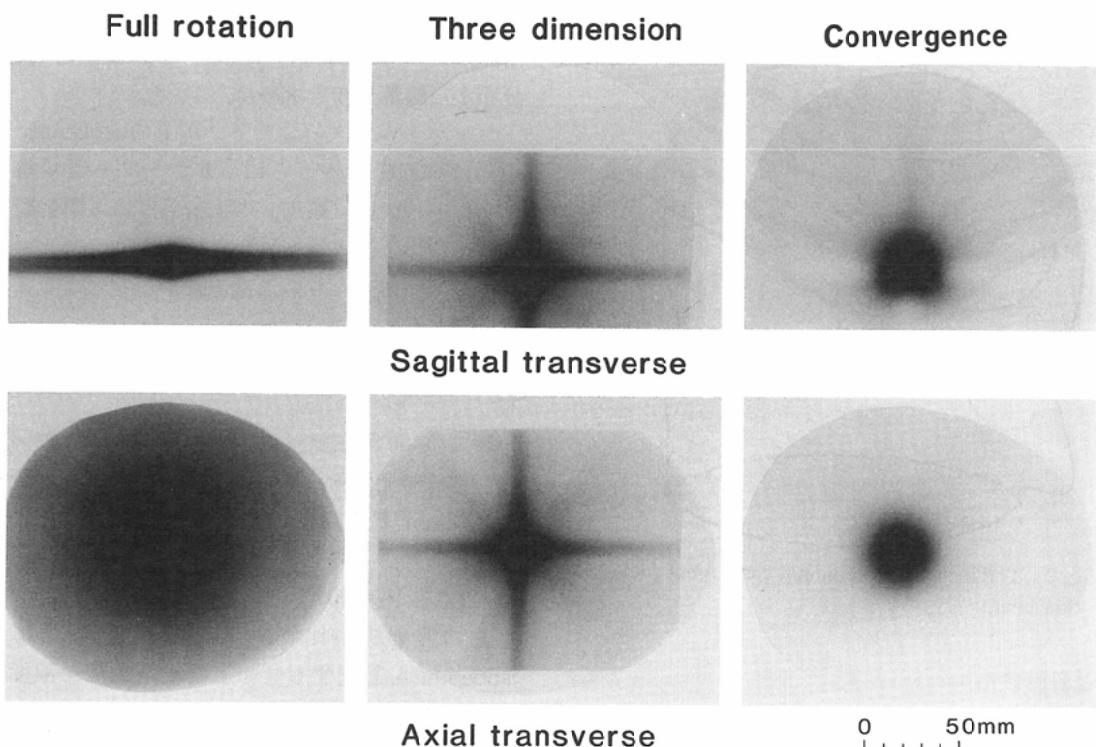


Fig. 4 The axial and sagittal transverse radiograms of the head phantom by full rotational, three dimensional, and precessional convergent irradiation with 4 MV X rays.

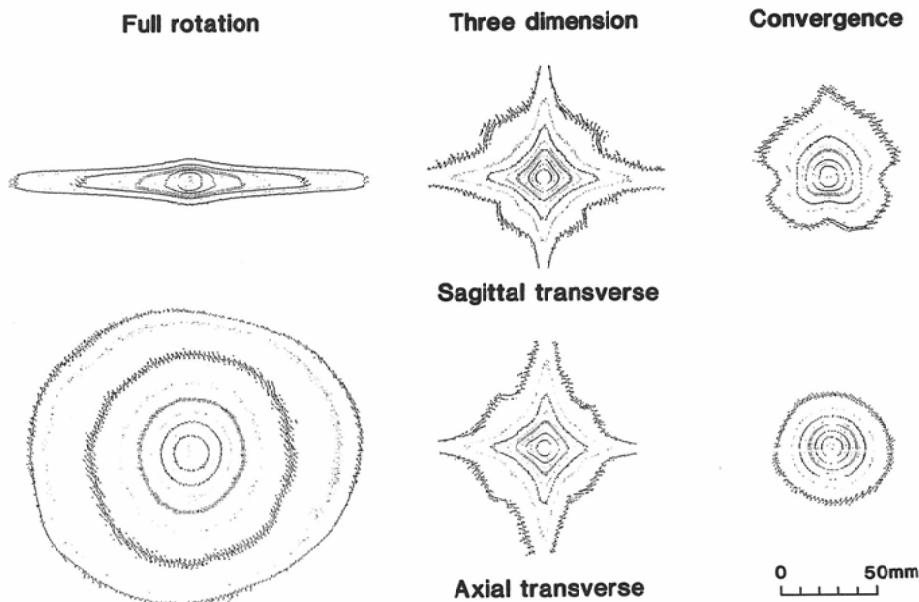


Fig. 5 The axial and sagittal transverse dose distributions of the head phantom by full rotational, three dimensional, and precessional convergent irradiation with 4MV X rays.

#### IV. 結 果

##### 1. narrow beam における吸収線量の測定法

Fig. 3 は、濃度(D)を縦軸(log)とし線量(cGy)を横軸とした濃度線量曲線で特に低線量域の詳細な検討を行なった。10~200cGy範囲ではほぼ直線関係があるが、10cGy以下の低線量域では直線関係を示さなかった。

##### 2. narrow beam の照射野補正

結果は Table 1 に示した。 $5 \times 5\text{mm}^2$  F.S. では照射野係数が 0.409 と非常に小さい値となった。

##### 3. ファントム実験による線量分布

###### 3.1. 歳差集光照射法と従来の照射法の線量分布

各照射法によるフィルム法の濃度分布は Fig. 4 である。等線量曲線は Fig. 5 で、従来の回転照射法では周囲の線量が高く、三次元運動照射法では集中程度はかなり良くなるが各軸位断面との交線方向への線量分布の広がりを認めた。歳差集光照射法では三次元的に周囲の線量が低く最も線量勾配の急な均一の集中を認めた。

Fig. 6 は  $10 \times 10\text{mm}^2$  F.S. の時の線量曲線で、黒

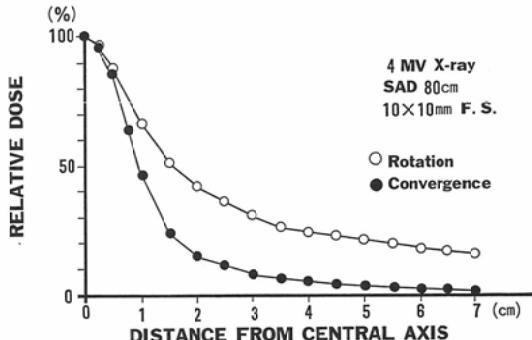


Fig. 6 The transverse dose distributions for conventional rotation and convergent radiotherapy.

丸が歳差集光照射法、白丸が従来の360°回転照射法である。歳差集光照射法では回転照射法と比較して線量勾配が急で、周囲の線量軽減を認めた。

###### 3.2. 各照射野による歳差集光照射法の線量分布

照射野を変えた結果は Fig. 7, 8 のごとくで、 $20 \times 20\text{mm}^2$  F.S. から  $5 \times 5\text{mm}^2$  F.S. と照射野が小さくなるにつれて 90% 領域も小さくなり、さらに周囲の線量軽減を明らかに認めた。

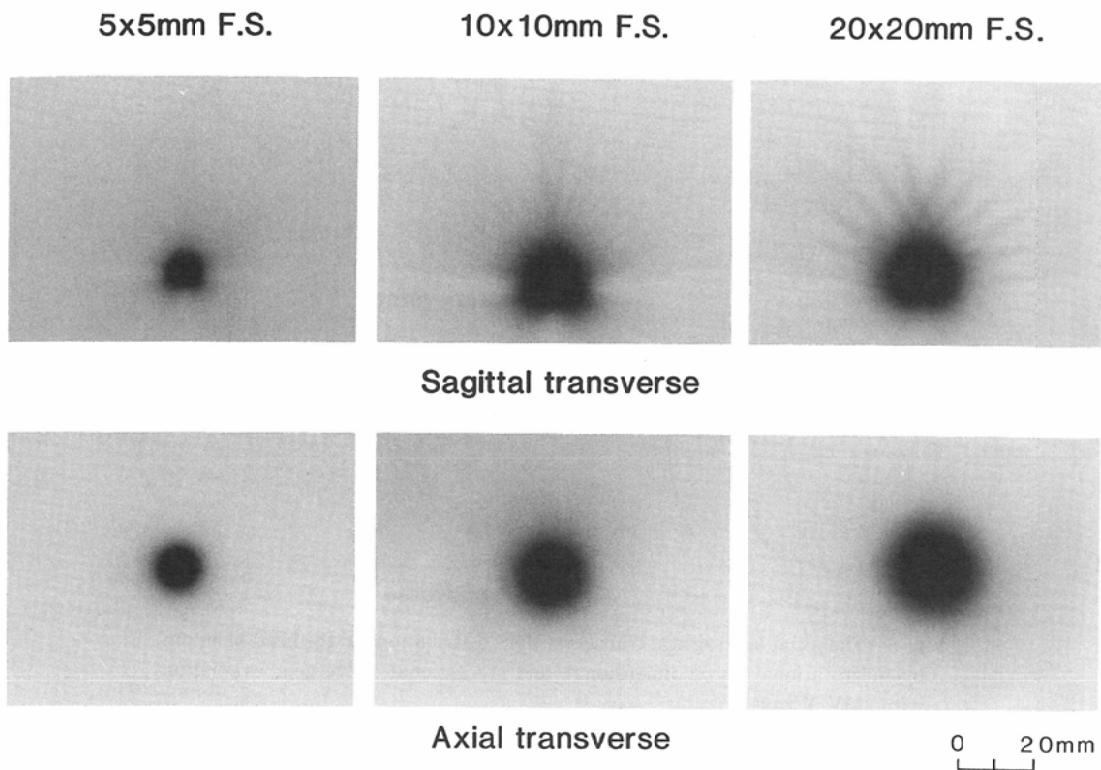


Fig. 7 The axial and sagittal transverse radiograms of the head phantom by precessional convergent radiotherapy with 4MV X rays.

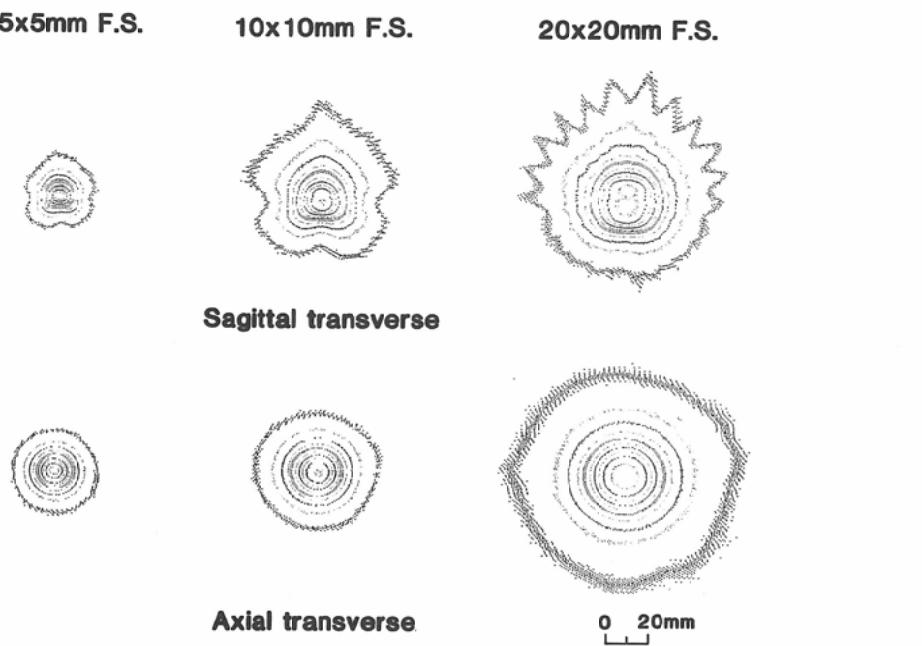


Fig. 8 The axial and sagittal transverse dose distributions of the head phantom by precessional convergent radiotherapy with 4MV X rays.

Table 2 The irradiated volumes by conventional technique and precessional convergent technique with 4 MV X rays.

Convergent Radiotherapy		
Field Size(mm <sup>2</sup> )	90%(cm <sup>3</sup> )	50%(cm <sup>3</sup> )
20×20	1.6	15.6
10×10	0.3	3.7
5×5	0.1	1.6
Conventional Rotate Radiotherapy		
Field Size(mm <sup>2</sup> )	90%(cm <sup>3</sup> )	50%(cm <sup>3</sup> )
10×10	0.5	12.9

### 3.3. 照射容積 (irradiated volume)

Table 2 は各照射野における90%と50%照射容積である。照射野が10×10mm<sup>2</sup>にて90%照射容積は回転照射法で約0.5cm<sup>3</sup>に対し、歳差集光照射法では約0.3cm<sup>3</sup>ではほぼ同等であった。しかし50%照射容積は回転照射法で約12.9cm<sup>3</sup>に対し、歳差集光照射法では約3.7cm<sup>3</sup>であった。特に照射野5×5mm<sup>2</sup>では50%照射容積が1.6cm<sup>3</sup>であった。

### 4. ファントム実験による表面線量の測定

TLD による頭皮の表層線量は、中心線量100%に対する割合が、照射野10×10mm<sup>2</sup> F.S. にて約1%，照射野20×20mm<sup>2</sup> F.S. にて約4%であった。

### V. 考 案

集光照射法は、1935年中泉ら<sup>7)</sup>により、X線深部治療装置を用いて空間的分布を改善し皮膚線量を軽減する目的で考案された。しかし深部線量率の良いテレコバルト装置やリニアックの出現以来ほとんど用いられていない。今回我々が考案した歳差集光照射法は、中泉らが考案した集光照射法の一つの坐位患者回転式運動照射法<sup>8)</sup>に原理を同じとするところであるが、我々はGamma Unit と同等の線量分布を得るために、4MeV リニアックにて多方向より narrow beam を集中させる本法を独自に考案した。

線量分布を知るためのフィルム法はエネルギー依存性があるため低線量域における低エネルギーの散乱線の影響は残るが<sup>9)</sup>、narrow beam の線量曲線を検討するためには最もよい方法であり、濃

度線量曲線より十分補正が可能であると考える。

歳差集光照射法は病巣周囲の健常組織の線量軽減を可能としており、照射野5×5mm<sup>2</sup> F.S. では50%照射容積が1.6cm<sup>3</sup>で、179個のCo-60線源を用いたGamma Unit と同等以上の集中度の高い線量分布を得ることができた。

この照射法は病巣への高い線量の集中により大量の一回照射を可能とし、様々な小さい限局性病巣に対して臨床応用が考えられる。文献的には、脳動静脈奇形 (AVM) の放射線治療があげられる。1921年 Magnus らに始まり多くの報告がなされているが<sup>10)</sup>、従来の照射法では有効例が少ない<sup>11)12)</sup>。しかし最近では Gamma Unit<sup>13)14)</sup>や重粒子線治療<sup>2)3)</sup>にて良好な成績が報告されている。その他の応用例として、下垂体腫瘍、頭蓋咽頭腫<sup>15)</sup>、そして thalamotomy のペインクリニック<sup>1)</sup>などが報告されている。

歳差集光照射法では標的容積が小さいためにGamma Unit や重粒子線治療と同様の問題点が上げられる。それは、照射装置の精度、コリメータと narrow beam の特性、正確な位置決めと固定法などである。AVM の治療には大量の一回照射法が有効とされているが、そのためには、脳壞死を起こす一回照射線量と標的容積の関係<sup>2)</sup>を検討する必要がある。また AVM に10×10mm<sup>2</sup> F.S. 線量率200cGy/min で50Gy を一回照射すると、治療時間は計算上約34分となり、Gamma Unit とほぼ同程度の長時間を要する。そのため固定法も Gamma Unit と同様に定位脳手術用固定具による十分な固定が必要である。さらに beam が軸位方向から入射するために体内臓器への被曝<sup>16)</sup>が問題となる。反面、下垂体腫瘍に100Gy 照射しようとする場合には頭皮には約1Gy の被曝となり、水晶体には narrow beam が直接通過しないため被曝は1Gy 以下となる利点もある。

これらの問題点を解決することは今後において我々の大きな課題であり、これらを克服すればこの集光照射法は4MeV リニアック本体の改造を必要とせず、病巣に高い線量の集中を可能とし、今後の有望な照射法となることが期待される。

## VI. 結 語

我々は、独自に4MeV リニアックによる narrow beam X線を用いた坐位患者回転式歳差集光照射法を考案し、ファントム実験にて従来の照射法と比較した。この照射法によって Gamma Unit と同等以上の集中度の高い線量分布を得た。

本論文の要旨は、昭和60年2月9日第2回放射線治療システム研究会学術総会、昭和60年4月5日第44回日本医学放射線学会学術発表会、昭和60年11月19日第71回北米放射線学会において報告した。

稿を終わるに際し、御教示を頂きました名古屋大学放射線科牧野直樹先生、また実験に御協力を頂きました藤田学園保健衛生大学放射線部鈴木昇一氏に深謝致します。

## 文 献

- 1) Leksell L: Cerebral radiosurgery. Acta Chir Scand 134: 585-595, 1968
- 2) Kjellberg RN, Hanamura T, Davis KR, et al: Bragg-peak proton-beam therapy for arteriovenous malformations of the brain. N Engl J Med 309: 269-274, 1983
- 3) Fabrikant JI, Lyman JT, Hosobuchi Y: Stereotactic heavy-ion Bragg peak radiosurgery for intra-cranial vascular disorders. Brit J Radiology 57: 479-490, 1984
- 4) 古賀佑彦:三次元運動照射法.日本医学会誌 42: 96, 1982
- 5) 鈴木昇一,二村昌彦,小池周二,他:放射線治療における照射法の研究.三次元運動照射法.日本放技師会誌, 34: 41-45, 1987
- 6) 日本医学放射線学会物理会編:放射線治療における高エネルギーX線および電子線の吸収線量の標準測定法.通商産業研究社, p106-111, 1986
- 7) 中泉正徳:「レントゲン」線の集光照射法.日本レントゲン学会雑誌, 13: 368-374, 1936
- 8) 中泉正徳:「レントゲン」線集光照射法に就て.日本レントゲン学会雑誌, 15: 69-76, 1938
- 9) 尾内能夫:写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討.日本医学会誌, 31: 1224-1236, 1971
- 10) Magnus V: Bidrag til hjernechirurgiens klinik og regulatter, Kristiania, Merkur, 1921, p138 文献 11) より引用
- 11) Steiner L, Leksell L, Forster DMC, et al: Stereotactic radiosurgery in intracranial arterio-venous malformations. Acta Neurochir (Suppl) 21: 195-209, 1974
- 12) 東健一郎:脳動静脈奇形の放射線治療, The Mt. Fuji Workshop on CVD, 2: 161-166, 1984
- 13) Steiner L, Leksell L, Greitz T, et al: Stereotaxic radiosurgery for cerebral arterio-venous malformations. Acta Chir Scand 138: 459-464, 1972
- 14) Backlund EO: Stereotactic Radiosurgery in Intracranial Tumours and Vascular Malformations, Springer-Verlag, Vienna, 6, p27-34, 1982
- 15) Backlund EO: Stereotactic Radiosurgery in Intracranial Tumours and Vascular Malformations, Springer-Verlag, Vienna, 6, p17-27, 1982
- 16) Larsson B, Liden K, Sarby B: Irradiation of small structures through the intact skull. Acta Radiol Ther Phys Biol 14: 209-227, 1975