原 著

ライナック X 線の集光照射における小照射野の線量測定

河原田 泰 尋・小 山 一 郎・山 田 昌 巳

群馬大学附属病院中央放射線部

(論文受理 1992年12月11日)

(最終論文受理 1993年11月12日)

(Code No. 850)

Key words: Narrow beam, Field factor, Sensitive volume.

SMALL FIELD DOSIMETRY OF CONVERGENT BEAMS RADIOTHERAPY BY
LINEAR ACCELERATOR

YASUHIRO KAWAHARADA, ICHIROU KOYAMA, MASAMI YAMADA

Department of radiological technology, Gunma university hospital.

Summary

We evaluated and reported the characteristics of flatness, dose distribution, and dose measurements in small radiation fields. The diameter of the small radiation fields were from 0.7 cm to 2.9 cm at the isocenter and the collimator built in the accelerator head was set for $4 \times 4 \text{ cm}^2$ with supplemental collimator placed 56 cm from the target. The flatness and the characteristics of dose distribution were measured in these small radiation fields in the narrow beam methods with 6 MV and 10 MV X-ray beams from the linear accelerator, applying a three dimensional fixed multi-irradiation technique. The sensitive volume effects upon the measurements of field factor and tissue peak dose ratio (TPR) in the small radiation fields were measured by JARP ionization chamber, shallow ionization chamber, and Si-semiconductor detector, because of each own sensitive volume. We concluded that the Si-semiconductor detector with the smallest sensitive volume was the most suitable for the small field dosimeter.

1. はじめに

ガンマユニットを用いたラジオサージェリー (radiosurgery)¹⁾²⁾³⁾が行われ注目されている。この方法は微小で鮮鋭なビームを用いて正常組織への影響を最少
英文誌 (Jpn. J. Radiol. Technol., 12(1), 1994) の和訳

限とし、一回の照射で病巣に壊死線量を与え¹⁾終了するところが従来の分割照射方法と異なる。これに相当する方法として、直線加速器 X 線による小照射野多軌道多門集光照射の試みが行われている。

目的部位に充分かつ正確な線量を与えるには、線量測

定, 照射野係数, 治療装置架台, 治療寝台ならびに患者固定具等を考慮しなければならない. 治療装置架台, 治療寝台の改良や患者固定具については, いくつかの報告がなされている²⁾³⁾. 今回我々は, 直線加速器の 6 MV・10 MV X線の $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 以下の小照射野に対し, Japanese Association of Radiological Physicists (JARP)⁴⁾ の示す TPR 値と $0 \times 0 \text{ cm}^2$ の線吸収係数を外挿の基準に小照射野における TPR 測定値との比較を行った.

直線加速器 X線による多軌道固定多門照射法を行うにあたり, 3 cm 以下の小照射野を使用するため, 集光照射⁵⁾用延長コーンを使用した. 集光照射用延長コーンの材質は, 鉛とアンチモン (5%含有) の合金からなり, その形状と大きさを Fig. 1 に示す. 直線加速器に据え付けられている可変絞リ (以後可変絞リ) は $4 \times 4 \text{ cm}^2$ に固定にして, 集光照射用延長コーンをターゲットから 56 cm の位置に装着し円形小照射野を形成した. 装着位置を Fig. 2 に示す. この小照射野における JARP 形電離箱, シャロー形電離箱, Si 半導体検出器の検出器有効容積の相違による, 線量測定, 照射野係数, TPR⁶⁾ への影響および平坦度, 線量分布について検討した.

2. 使用機器

直線加速器 TOSHIBA MEVATORON 74DX40 6/10 MV

集光照射用延長コーン 直径 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm

電離箱 2620DOSE/DOSE RATE METER (NE TECHNOLOGY)

JARP 形 (直径 6 mm × 長さ 20 mm)

Fig. 1 A shape of the extension cone.

シャロー形 (直径 5.4 mm × 厚さ 2 mm)

Si 半導体検出器: DPD-510 (SCANDITRONIX) (直径 1.5 mm × シリコンチップ厚 0.45 mm)

Build-up cap: Polystyrene (ABS), 0.5 mm, epoxy plastic and silicon.

FCR: FUJI-7000, イメージングプレート (IP) = ST
ファントム: Mix-R, Mix-Dp

Isodensity Recorder: PDI-10 (コニカ)

3. 方 法

正方形照射野は, 可変絞りを $1 \times 1 \text{ cm}^2$ から $4 \times 4 \text{ cm}^2$ まで各辺 1 cm おきの 4 種とした. 円形照射野は可変絞りを $4 \times 4 \text{ cm}^2$ に固定し, 集光照射用延長コーンをターゲットから 56 cm の位置に装着した. なお, 円形および正方形のいずれの照射野も, アイソセンタでの実照射野とした. 円形照射野については直径 (以後 cm) として表し, 標準測定法により等価照射野を求めた⁶⁾.

X線エネルギーは水ファントムを用い, 照射野 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ に対する TPR を測定し $d_{0.7}$ を求め, 標準測定法⁶⁾ より本装置のエネルギーは, 5.4 MV と 10.8 MV (以後 6 MV と 10 MV とする) と確認した.

TPR は Mix-R ($30 \times 30 \times 30 \text{ cm}$) ファントムを用い, 線源検出器間距離 (SCD) を 100 cm と一定にし, 検出器位置における照射野を A, 基準点吸収線量⁶⁾ を $Dr(A)$, 深さ d のときの吸収線量を $D(d, A)$ として次式(1)⁶⁾ で求めた.

$$\text{TPR}(d, A) = D(d, A) / Dr(A) \dots\dots\dots(1)$$

Fig. 2 The diameter of the small radiation fields were from 0.7 cm to 2.9 cm at the isocenter and the collimator built in the accelerator head was set for $4 \times 4 \text{ cm}^2$ with extension cone placed 56 cm from the target.

ライナック X 線の集光照射における小照射野の線量測定 (河原田・他)

Fig. 3 Relation between the radiation field and the sensitive volume of the detector.

照射野係数は実際に使用される病巣深度の多くが 5 cm 以上であることから、次の方法で照射野係数を求めた。

SCD=100 cm とし $10 \times 10 \text{ cm}^2$ のときの校正点吸収線量を $D_c (A=10 \times 10)$ 、基準点吸収線量を $D_r (A=10 \times 10)$ 、照射野が A のときの校正点吸収線量を $D_c(A)$ および校正点組織ピーク線量比を TPR_c とすると、照射野係数 $F_A(A)$ は次式(2)により求められる。

$$\begin{aligned} F_A(A) &= D_r(A)/D_r(A=10 \times 10) \\ &= D_c(A)/\text{TPR}_c(A) \cdot \text{TPR}_c(A=10 \times 10)/D_c(A=10 \times 10) \\ &= C_A \cdot N_c \cdot k_l \cdot M(A)/C_A \cdot N_c \cdot k_l \cdot M(A=10 \times 10) \cdot \text{TPR}_c(A=10 \times 10)/\text{TPR}_c(A) \\ &= M(A)/M(A=10 \times 10) \cdot \text{TPR}_c(A=10 \times 10)/\text{TPR}_c(A) \quad \text{.....(2)} \end{aligned}$$

$M(A)$ および $M(A=10 \times 10)$ は、照射野 A と $10 \times 10 \text{ cm}^2$ のときの線量計の指示値、 C_A : 吸収線量変換係数、 N_c : コバルト校正定数、 k_l : 大気補正係数
尚、Si 半導体検出器を小照射野測定に使用するに当たり、6 MV X 線 (200 R/min) と 10 MV X 線 (300 R/min) の $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の照射野における線量直線性を調べ、TPR を $10 \times 10 \text{ cm}^2$ と $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の照射野でフィールド線量計として使用している、JARP 形電離箱⁶⁾と比較測定した。

3.1 検出有効容積の影響および照射野係数

線量測定の場合は Fig. 3 の様に、測定点において検出器有効容積が、散乱二次電子平衡内に包含されることが必要である。JARP 形電離箱、シャロー形電離箱、Si 半導体検出器の三種の検出器について、小照射野の検出有効容積の影響について、標準測定法⁶⁾の校正深の TPR

値を $0 \times 0 \text{ cm}^2$ に外挿した値を基準に、円形照射野の 0.7 cm, 1.4 cm, 1.8 cm, 2.9 cm の校正深について比較した。

照射野係数については 6 MV, 10 MV とともに $10 \times 10 \text{ cm}^2$ を基準に、校正深⁶⁾における円形照射野(カッコ内数字は等価照射野を示す)の 3.6 cm ($3.3 \times 3.3 \text{ cm}^2$), 3.2 cm ($2.9 \times 2.9 \text{ cm}^2$), 2.9 cm ($2.7 \times 2.7 \text{ cm}^2$), 2.1 cm ($1.9 \times 1.9 \text{ cm}^2$), 1.4 cm ($1.3 \times 1.3 \text{ cm}^2$), 1.1 cm ($1.0 \times 1.0 \text{ cm}^2$), 0.7 cm ($0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$) について測定した。正方形照射野は $4 \times 4 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $1 \times 1 \text{ cm}^2$ について測定した。

3.2 TPR 測定

小照射野の TPR については、可変絞りによる $1 \times 1 \text{ cm}^2$, $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$ の正方形照射野と集光照射用延長コーンを装着した、円形照射野の 0.7 cm, 1.8 cm, 2.9 cm について、シャロー形電離箱と Si 半導体検出器を用いて測定した。円形照射野は正方形等価照射野に変換した。また求めた TPR の深さ 5 cm および 9 cm (成人頭部最大側面厚 18 cm の 1/2 とした) と、標準測定法⁶⁾の 6 MV, 10 MV X 線の各 TPR 値を $0 \times 0 \text{ cm}^2$ に外挿した値 (以後 TPR 標準値) と比較した。

3.3 平坦度測定および線量分布

照射野の校正深における平坦度を FCR を使用して測定した。イメージングプレート (IP)⁷⁾の発光レスポンスの直線性をコバルト-60装置を用い、SCD80 cm で照射野 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ とし、IP の上に Mix-R 5 mm を置き二次電子平衡の下で、照射線量 5 ~ 100 cGy を照射し直線性を確認した。

線量分布はフィルム (コダック, XV-2) を Mix-R に はさみ、正方形、円形の両小照射野における、線量分布の形状を isodensity recorder を用いて求めた。尚、今回は分布の平坦性のみを見たため、深さによる補正はしていない。

4. 結 果

4.1 Si 半導体検出器線量直線性

6 MV, 10 MV X 線についてフィールド線量計として使用している JARP 形電離箱を基準に、Si 半導体検出器の線量直線性を Fig. 4 に示す。

4.2 検出有効容積の影響および照射野係数

JARP 形電離箱、シャロー形電離箱、Si 半導体検出器の三種の測定器による、検出有効容積の影響を Fig. 5 に示した。

10 MV では Si 半導体検出器とシャロー形電離箱、お

Fig. 4 Dose dependence of the Si-semiconductor detector (DPD-510)

Fig. 5 Influence of sensitive volume for narrow field. (①-6MV, ②-10MV)

よび JARP 形電離箱とも 2.9 cm までは、標準値と差異はほとんど認めない。1.8 cm になると Si 半導体検出器で 5%，シャロー形電離箱では 7%，JARP 形電離箱では 30% ほど低い値を示した。1.4 cm では Si 半導体検出器で 8%，シャロー形電離箱で 13%，JARP 形電離箱では 48% も低い値を示す。0.7 cm になると Si 半導体検出器で 30% シャロー形電離箱では 65% も標準値に比べ低い値を示した。

6 MV では Si 半導体検出器とシャロー形電離箱、および JARP 形電離箱とも 2.9 cm では、標準値と差異はほとんど認めない。1.8 cm になると Si 半導体検出器とシャロー形電離箱は、標準値より 4～5% 低く JARP 形電離箱では 28% も低い値を示す。1.4 cm になると Si 半導体検出器が 6%，シャロー形電離箱が 11% 低く、0.7 cm

Table 1 Field factor at calibration depth for narrow beam of 6MV, 10MV X-rays.

(Si-semiconductor detector)			
Circular Field		Square Field	
Field size cm (cm ²)	Field Factor	Field size (cm ²)	Field Factor
equivalent field	10MV 6MV		10MV 6MV
3.6 (3.3x3.3)	0.96 0.93	4.0 x 4.0	0.92 0.91
3.2 (2.9x2.9)	0.95 0.92	3.0 x 3.0	0.88 0.86
2.9 (2.7x2.7)	0.94 0.91	2.0 x 2.0	0.80 0.67
2.1 (1.9x1.9)	0.92 0.90	1.0 x 1.0	0.49 0.36
1.8 (1.6x1.6)	0.89 0.87		
1.4 (1.3x1.3)	0.82 0.78		
1.1 (1.0x1.0)	0.74 0.72		
0.7 (0.6x0.6)	0.65 0.56		

(10 x 10 cm² = 1.000)

Table 2 TPR data measured with JARP dosimeter and Si-semiconductor (DPD-510) for 6MV, 10MV X-rays.

Depth cm	6MV-X-Rays			
	JARP		DPD-510	
	5 x 5 cm ²	10 x 10 cm ²	5 x 5 cm ²	10 x 10 cm ²
1.5	1.000	1.000	1.000	1.000
2.0	0.987	0.991	0.988	0.992
3.0	0.973	0.976	0.958	0.971
4.0	0.945	0.952	0.925	0.946
5.0	0.913	0.923	0.890	0.919
7.0	0.840	0.866	0.821	0.862
9.0	0.769	0.808	0.755	0.805
11.0	0.708	0.751	0.686	0.744
13.0	0.651	0.694	0.624	0.683
15.0	0.595	0.638	0.570	0.628
Depth cm	10MV-X-Rays			
	JARP		DPD-510	
	5 x 5 cm ²	10 x 10 cm ²	5 x 5 cm ²	10 x 10 cm ²
2.5	1.000	1.000	1.000	1.000
3.0	1.000	1.000	0.995	0.996
4.0	0.984	0.985	0.973	0.979
5.0	0.968	0.972	0.947	0.958
7.0	0.911	0.928	0.894	0.916
9.0	0.856	0.883	0.837	0.863
11.0	0.804	0.836	0.783	0.812
13.0	0.750	0.791	0.734	0.788
15.0	0.704	0.745	0.682	0.735

になると Si 半導体検出器で 27% も低い値を示し、シャロー形電離箱は 56% 低く、JARP 形電離箱では 70% も標準値より低い値を示した。

検出有効容積の最も小さい、Si 半導体検出器により小照射野における、照射野係数を測定した結果を Table 1 に示した。円形照射野の 1.1 cm において、6 MV は 0.715、10 MV では 0.740 となる。0.7 cm では 6 MV は 0.559、10 MV は 0.654 と低い値を示す。また正方形照射野の 1 x 1 cm² で 6 MV は 0.357、10 MV は 0.492 と低い値を示した。

ライナック X 線の集光照射における小照射野の線量測定 (河原田・他)

Table 3 TPR data measured with Shallow chamber for 6MV, 10MV X-rays.

Depth cm	6MV-X-Rays					
	Square Field cm ²			Circular Field cm		
	3×3	2×2	1×1	2.9	1.8	0.7
				(2.7×2.7)	(1.6×1.6)	(0.6×0.6)
1.0	0.968	0.876	0.997	0.972	0.979	1.000
1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993
2.0	0.994	0.988	0.978	0.993	0.985	0.973
3.0	0.956	0.946	0.924	0.953	0.940	0.894
4.0	0.915	0.886	0.873	0.912	0.897	0.851
5.0	0.874	0.859	0.826	0.874	0.854	0.809
7.0	0.794	0.776	0.728	0.794	0.773	0.721
9.0	0.728	0.710	0.655	0.723	0.698	0.651
11.0	0.656	0.641	0.589	0.655	0.628	0.584
13.0	0.606	0.586	0.532	0.593	0.569	0.529
15.0	0.556	0.538	0.481	0.542	0.515	0.477

Depth cm	10MV-X-Rays					
	Square Field cm ²			Circular Field cm		
	3×3	2×2	1×1	2.9	1.8	0.7
				(2.7×2.7)	(1.6×1.6)	(0.6×0.6)
1.0	0.841	0.877	0.939	0.840	0.882	0.961
2.0	0.984	0.996	1.000	0.988	1.000	1.000
2.5	1.000	1.000	0.994	1.000	1.000	0.998
3.0	0.998	0.991	0.978	0.996	0.991	0.953
4.0	0.970	0.960	0.946	0.962	0.959	0.921
5.0	0.938	0.925	0.911	0.939	0.926	0.886
7.0	0.879	0.862	0.840	0.876	0.858	0.813
9.0	0.819	0.800	0.780	0.816	0.795	0.754
11.0	0.761	0.740	0.722	0.762	0.738	0.693
13.0	0.714	0.692	0.674	0.713	0.690	0.642
15.0	0.672	0.647	0.626	0.667	0.645	0.594

Table 4 TPR datas measured with Si-semiconductor detector (DPD-510) for 6MV, 10MV X-rays.

Depth cm	6MV-X-Rays					
	Square Field cm ²			Circular Field cm		
	3×3	2×2	1×1	2.9	1.8	0.7
				(2.7×2.7)	(1.6×1.6)	(0.6×0.6)
1.0	1.000	0.996	0.982	0.992	0.999	1.000
1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.986
2.0	0.985	0.986	0.978	0.987	0.980	0.959
3.0	0.949	0.940	0.927	0.950	0.941	0.912
4.0	0.911	0.901	0.873	0.912	0.900	0.865
5.0	0.872	0.861	0.826	0.874	0.860	0.823
7.0	0.796	0.785	0.728	0.794	0.777	0.735
9.0	0.723	0.710	0.655	0.725	0.708	0.664
11.0	0.656	0.644	0.589	0.655	0.637	0.586
13.0	0.595	0.582	0.532	0.593	0.575	0.525
15.0	0.542	0.527	0.481	0.541	0.523	0.472

Depth cm	10MV-X-Rays					
	Square Field cm ²			Circular Field cm		
	3×3	2×2	1×1	2.9	1.8	0.7
				(2.7×2.7)	(1.6×1.6)	(0.6×0.6)
1.0	0.912	0.918	0.937	0.902	0.930	0.977
2.0	0.997	1.000	1.000	0.996	1.000	1.000
2.5	1.000	1.000	0.987	1.000	0.996	0.979
3.0	0.991	0.989	0.965	0.991	0.983	0.963
4.0	0.964	0.960	0.926	0.965	0.952	0.937
5.0	0.935	0.929	0.887	0.937	0.921	0.893
7.0	0.889	0.868	0.809	0.879	0.861	0.825
9.0	0.817	0.806	0.736	0.817	0.797	0.759
11.0	0.762	0.747	0.673	0.762	0.741	0.695
13.0	0.711	0.694	0.610	0.711	0.691	0.640
15.0	0.659	0.644	0.555	0.659	0.638	0.590

4.3 TPR 測定

Si 半導体検出器とフィールド線量計として使用している, JARP 形電離箱との TPR の比較を **Table 2** に示す。

JARP 形電離箱に比べ Si 半導体検出器は, 6 MV・10 MV と両照射野において, 低い値を示した。

小照射野におけるシャロー形電離箱の TPR 測定値を **Table 3** に示し, Si 半導体検出器の TPR 測定値を **Table 4** に示す。

シャロー形電離箱と Si 半導体検出器の正方形照射野の 3×3 cm², 2×2 cm² と円形照射野の 2.9 cm, 1.8 cm では, 6 MV・10 MV と小さい照射野の方が深さ 3~5 cm で 1~2% 低く, 7~15 cm では 2~5% 低い値を示した。

正方形照射野の 1×1 cm² と円形照射野の 0.7 cm では, 2×2 cm² と 1.8 cm に比べ, シャロー形電離箱および Si 半導体検出器とも, 6 MV で深さ 3~5 cm で 2~5% 低く, 7~15 cm では 6~11% 低い値を示した。また 10 MV でも深さ 3~5 cm で 2~4% 低く, 7~15 cm では 2.6~13.8% 低い値を示した。両検出器とも小さい照射野の方が低い値を示し, 深さを増すごとに格差は大き

くなった。

ピーク深が浅くなる現象は, 6 MV で円形照射野の 0.7 cm で現れ, 10 MV では正方形照射野の 1×1 cm² および円形照射野の 1.8 cm, 0.7 cm の各照射野で現れた。

求めた TPR から校正点の 5 cm の深さと, 成人頭部最大厚の 1/2 の 9 cm の深さでの 6 MV, 10 MV の標準値 TPR⁶⁾ とシャロー形電離箱による, TPR 測定値との比較を **Fig. 6** に示す。

6 MV, 10 MV と両正方形照射野の 3×3 cm², 2×2 cm² および円形照射野の 2.9 cm, 1.8 cm において, 5 cm と 9 cm の深さで標準値より 1~3% 低い値を示した。6 MV の正方形照射野の 1×1 cm² で 5 cm の深さで 5%, 円形照射野の 0.7 cm では 7% 標準値より低い値を示した。9 cm の深さでは両照射野とも 4~5% 低い値を示す。同様に 10 MV では正方形照射野の 5 cm の深さで 2% 低く, 円形照射野では 4% 低い値を示した。9 cm の深さでは正方形照射野で 1% 低く, 円形照射野では 4% 低い値を示した。

Si 半導体検出器の TPR 測定値と, 標準値 TPR の 5 cm と 9 cm の深さでの比較を **Fig. 7** に示す。

6 MV, 10 MV とも正方形照射野の $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $2 \times 2 \text{ cm}^2$ および円形照射野の 2.9 cm, 1.8 cm で 5 cm と 9

Fig. 6 Tissur peak ratio at 5 cm and 9 cm depth measured with shallow chamber. (①-6MV, ②-10MV)

Fig. 7 Tissur peak ratio at 5 cm and 9 cm depth measured with Si-semiconductor detector (DPD-510). (①-6MV, ②-10MV)

cm の深さで, 標準値より 1~3%低い値を示した。

6 MV の正方形照射野の $1 \times 1 \text{ cm}^2$ と円形照射野の 0.7 cm では, 5 cm の深さで 4~6%低い値を示し, 9 cm の深さでは 2~3%低い値を示した。同様に 10 MV では両照射野とも 5 cm の深さで 4%低い値を示し, 9 cm の深さで正方形照射野で 5%, 円形照射野では 2%標準値より低い値を示した。

4.4 平坦度測定および線量分布

IP の線量と発光レスポンスとの関係を Fig. 8 に示す。円形照射野と正方形照射野における, Mix-R の 5 cm の深さでの平坦度を Fig. 9 に示す。正方形照射野の $3 \times 3 \text{ cm}$ および円形照射野の 2.9 cm では, 平坦度は比較的明瞭に認められるが, 照射野が小さくなるにしたがって不明瞭となり, $1 \times 1 \text{ cm}^2$ や 0.7 cm になると平坦部は見られなくなる。また小照射野の等線量分布を Fig. 10 に示す。正方形照射野 (a~d), 円形照射野 (e~h) と小照射野になるほど線量分布に平坦性がなくなり尖鋭化

Fig. 8 The dependence for light emission from the IP and the irradiation dose of Co-60 γ -rays.

Fig. 9 Density profiles from IP for square fields of 3 cm(a), 2 cm(b), and 1 cm(c), and circular fields of 2.9 cm(d), 1.8 cm(e), and 0.7 cm(f), diameter.

ライナック X 線の集光照射における小照射野の線量測定 (河原田・他)

Fig. 10 Isodose curves of square fields(a~d), and circular fields used extension cone (e~h) for 10MV X-rays.

を示す。

5. 考 察

5.1 検出有効容積の影響および照射野係数

線量測定を行う場合、検出有効容積が同一線量分布内に包含される事⁶⁾が必要である (Fig. 3 参照)。

6 MV, 10 MV の小照射野に対して、Si 半導体検出器 (直径1.5 mm×シリコン厚0.45 mm) およびシャロー形電離箱 (直径5.4 mm×厚さ2 mm) を使用しても、円形照射野の1.8 cm までは、線量測定評価には両者とも差はなく使用できた。1.4 cm 以下の照射野になるとシャロー形電離箱は、検出有効容積が照射野内に包含されないために測定値が落ちてくる。また JARP 形電離箱も 6 mm×20 mm の大きさがあるために1.9 cm 以下の照射野では、照射野内に包含されず小照射野の測定には適さない。

Si 半導体検出器は 6 MV・10 MV X 線において、線量直線性に問題はなく感度補正を行う事により、フィール

ド線量計としての使用が可能である。また検出器の検出有効容積が1.5 mm×0.45 mm と小さく、小照射野の線量測定および TPR や照射野係数を求めるのに適する。

照射野係数は可変絞りを4×4 cm² に固定にし、集光照射用延長コーンにより円形小照射野を形成し、延長コーンを変えることにより照射野を変えた。円形照射野係数は固定にした可変絞りの照射野係数に収束している。これは円形小照射野の照射野係数は、可変絞りにより影響されることがうかがえる。円形小照射野を形成する場合、可変絞りは固定にしておき、幾何学的条件を一定にして補助コリメータにより照射野を形成する必要がある。

5.2 TPR について

シャロー形電離箱と Si 半導体検出器による小照射野の TPR について、正方形照射野の3×3 cm² と円形照射野の2.9 cm 以上の照射野では、標準値 TPR を0×0 cm² に外挿した値との比較において、ほとんど差異は見られず誤差範囲であった。しかしこれ以下の小照射野において、標準値 TPR と差も大きく投与線量の精度を±2%以下とし、全不確定度で±5%以下が要求されている⁶⁾ことから、平坦度や半影および検出器の検出有効容積の影響を受けた状態で TPR 測定評価を行う事に問題がある。

5.3 平坦度および線量分布

平坦度は照射野が小さくなると平坦な部分は少なくなる。この原因としては小照射野に占める半影は照射野の変化によって変わらず、照射野が小さいほど相対的に影響が大きくなる為と考えられている⁸⁾。

6. 結 語

小照射野 (3×3 cm² 以下) で多軌道多門照射を行う場合、正確な線量投与を行うには、照射野係数や TPR が正確に評価されていなければならない。投与線量の精度は±2%以下とし、全不確定度を±5%以下⁶⁾が要求されていることから線量測定の精度をより高める必要がある。

(1) 小照射野の線量測定には、検出有効容積の小さい測定器を使用する必要がある。

(2) 円形小照射野を形成する場合、固定にした可変絞りに照射野係数が収束¹⁴⁾したことから、可変絞りを変えることにより、照射野係数や線量測定値も変化してしまうことから可変絞りは固定にしておき、補助コリメータのみを変える事により照射野を形成し、線量測定や必要な係数を測定し算出する必要がある。また小照射野になると平坦度や線量分布等の悪化も考慮に入れなければならない。

(3) 6, 10 MV X 線ナロービームの線量評価について

は、正方形照射野の $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 、円形照射野の 2.9 cm 以上の測定値を $0 \times 0 \text{ cm}^2$ に外挿した場合、標準値と測定値の差異が 2% 以内でスムージングカーブ⁴⁾を描き外挿できた。しかし $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 、 1.8 cm 以下の照射野の測定値をプロットして $0 \times 0 \text{ cm}^2$ に外挿した場合、標準値より 5% 前後の差があり、スムージングカーブは得られなかった。これは検出器有効容積の大きさ、および線量分布に平坦性がなくなり尖鋭化が影響し測定値の低下がおこるためである。線量評価を行う場合、正方形照射野 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 、円形照射野の 2.9 cm 以上の測定値と標準値との差が $\pm 2\%$ 以内のところから、 $0 \times 0 \text{ cm}^2$ の標準値までの外挿して得られる値を用いるのが良好と思われる。

直線加速器による radiosurgery を行なう場合、小照射野三次元固定多門照射における線量分布は、今回の実験の組み合わせであり、疾患の種類、部位により適した線量分布を求めると共に、評価方法、患者固定と再現性等、今後検討していく予定である。

7. 謝 辞

本実験の測定にあたり御指導いただいた放射線科の片野先生、中央放射線部の平野先生、館野先生並びに測定器の使用に当たりご協力を頂いた東洋メディック社に深謝致します。

8. 参考文献

- 1) Gary Luxton, Gabor Jozef, and Melvin A. Astrahan: Algorithm for dosimetry of multiarc linear accelerator stereotactic radiosurgery, *Med. Phys.* 18(6) Nov/Dec, (1991).
- 2) 堀川よしみ, 石垣武男, 佐久間貞行: ヘルメット固定具を用いたライナックによるステレオタキシク照射の試み, *日本医放会誌*, 51(9), 1053-1058, (1991).
- 3) Wendell Lutz, Kenr. Winston, and Nasser Maleki,: A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator, *I.J. Radiation Oncology • Biology • Physics*, 14(2) 373-381, (1988).
- 4) 川島勝弘, 平岡 武, 星野一雄, 他: 10MV X線の標準的深部線量データ, *日本医放会誌*, 38(1), 54-59, (1978).
- 5) 宮原郷士, 古賀健治, 西川 清, 他: CT guided stereotactic cerebral irradiation by linear accelerator-照射手技と線量分布-, *日本医放会誌*, 46(8), 1063-1065, (1986).
- 6) 日本医学放射線学会物理部会編: 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 p 19-45, p 102-108, 1986, 通商産業研究社, 東京, (1976).
- 7) Y. Tateno, T. Iinuma, M. Takano (Eds), : *Computed Radiography*, Springer-Verlag, Tokyo, (1987).
- 8) 安野泰史, 古賀佑彦, 竹内 昭: 4MV X線による narrow beam の検討, *日本医放会誌*, 48(9), 1167-1171, (1988).
- 9) 安野泰史, 古賀佑彦, 竹内 昭: 4MV X線による歳差集光照射法の研究, *日本医放会誌*, 48(5), 608-614 (1988).
- 10) 加藤秀起, 中村 勝, 立木佐江子: 高エネルギーX線 Narrow beam の物理特性, *日放技学誌*, 48(7), 991-996, (1992).
- 11) Ervin B. Podgorsak, G. Buruce Pike, Andre Olivier et al.: Radiosurgery with high energy photon beams: A comparison among techniques, *I.J. Radiation Oncology • Biology • Physics*, 16(3), 857-865 (1989).
- 12) Andrew Wu, G. Lindner, A.H. Maitz, et al.: Physics of gamma knife approach on convergent beams in stereotactic radiosurgery, *I.J. Radiation Oncology • Biology • Physics*, 18(4), 941-949 (1990).
- 13) B.E. Bjarngard, J.S. Tsai, and R.K. Rice,: Doses on the central axes of narrow 6-MV x-ray beams. *Medical physics*, Vol. 17(5), 794-799, Sep/Oct (1990).
- 14) R.K. Rice, J.L. Hansen, G.K. Svensson, and R.L. Siddon: Measurements of dose distributions in small beams of 6MV x-rays. *Phys. Med. Biol.* 32 (9), 1087-1099, (1987).