



| | |
|--------------|---|
| Title | 最小の実測値を用いて等線量曲線を作成する方法に関する考察 第4報 phantom の中心を回転中心とする ⁶⁰ Co 回転照射の線量分布 |
| Author(s) | 尾内, 能夫; 都丸, 禎三; 入船, 寅二 |
| Citation | 日本医学放射線学会雑誌. 1968, 28(2), p. 178-202 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/15691 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

最小の実測値を用いて等線量曲線を 作成する方法に関する考察

第4報 phantom の中心を回転中心とする
 ^{60}Co 回転照射の線量分布

癌研究会癌研究所第6研究室(物理)

尾内 能夫 都丸 禎三 入船 寅二

(昭和42年9月12日受付)

Considerations on Methods for Constructing Isodose Curves from Minimum Experimental Data
IV. Dose Distributions in Cobalt-60 Planar Rotation with Center of Rotation at Center of Phantom

By

Yoshio Onai, Teizo Tomaru, and Toraji Irifune

Department of Physics, Cancer Institute, Tokyo

The effects of different parameters on dose distributions in cobalt-60 planar rotation with the center of rotation at the center of phantom were studied with the use of a digital computer. The parameters considered were length and width of the field, angle of rotation, shape and size of the phantom, and the penumbra of the beam. In addition, the method for calculating isodose distributions for full and partial rotation, especially the number of fields which needs to be summed in order to approximate to the true integrated dose was considered.

On the basis of the results obtained, a method for constructing isodose curves within an acceptable degree of accuracy is discussed.

The main results obtained are as follows:

1. It is desirable to adopt summations at intervals less than 5 degrees in order to calculate dose distributions within the accuracy of 10 per cent for the dose level region larger than 10 per cent of the rotation center of the partial rotations larger than 60 degrees. For full rotation, however, the maximum error introduced by summations at 15-degree intervals is about 10 per cent (Table 1).
2. For a 30 cm diameter circular phantom, the differences between doses calculated with and without correction for oblique incidence are less than 5 per cent in the dose level region larger than 50 per cent of the center for all field sizes and rotation angles studied, though the differences between doses to all points in this phantom are somewhat larger as shown in Fig. 4.
3. The size of phantom has little effect on the dose distributions provided that the shape of phantom is the same, as shown in Figs. 25, 26, and 27.
4. The length of the field perpendicular to the plane of rotation does not appreciably affect the dose distributions in the plane of rotation, as shown in Figs. 28 and 29.
5. By using the graphs as shown in Figs. 8 and 9, which can be provided for any particular rotation

angle and field size from Table 2, the isodose curves for a 30 cm diameter circular phantom with any rotation angle and any field width can readily be drawn, which would be applicable to different sizes of both circular and oval phantoms within the accuracy of about 10 per cent provided that the rotation angles are larger than 180 degrees, as shown in Table 4.

6. The dose distributions for an oval phantom according to Haynes and Froese's equation can easily be obtained within the accuracy of 5 per cent by correcting the isodose curves for a 30 cm diameter circular phantom using the displacement rule shown in Table 5.

7. The dose distributions at the SAD 75 cm are relatively insensitive to penumbra between 0.38 and 3.15 cm provided that the degree of rotation is larger than 180 degrees, as shown in Fig. 50 (a), (b), and (c).

From this finding, it appears that isodose charts, tables of dose distributions, and the displacement rule for beams with penumbra 1.38 cm at SAD 75 cm, which are published in this paper, would be applicable to any cobalt-60 rotating unit for practical purposes.

緒 言

前3報¹⁷⁾において固定照射の標準等線量曲線、斜入射および胸部照射の等線量曲線を解析し、最小の実測値を用いて標準の等線量曲線を作成する方法およびこの等線量曲線に簡単な補正を行って斜入射および胸部照射の等線量曲線を求める方法について報告した。この報告では⁶⁰Co回転照射の等線量曲線を固定照射の標準の等線量曲線から比較的簡単に求める方法について考察する。

回転照射の線量分布の求め方¹⁾⁻⁵⁾⁹⁾¹¹⁾¹²⁾²¹⁾²²⁾あるいはその線量分布の解析等⁷⁾⁸⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²³⁾に関する報告はあるが、それらを総合した日常簡単に使用できる線量分布の作成法に関する論文は殆んど見当らない。我々はGregory⁵⁾の変法を用いて手計算で回転照射の線量分布を計算し、その結果を解析して比較的簡単に線量分布を作成できる方法について発表した¹⁵⁾、最近Tsien他¹⁹⁾は電子計算機を用いて同様の解析を行い発表している。我々も電子計算機を用いて一部計算をし直し、以前の結果を整理したので報告する。

計算方法とその誤差

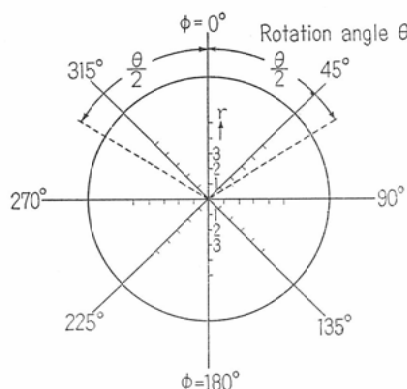
回転照射の線量分布は多門固定照射の加算によつて求めるのが普通であるが、その門数の取り方によつて計算結果が異なる。門数を多くして計算する程、精度はあがるが計算はそれだけ厄介になる。Gregory⁵⁾は80%以上の高線量域を問題とするなら20度間隔の多門照射として計算すればよ

いとしているが、低線量域では誤差が大きい。Wheatley²²⁾は照射野が表面で重なるような間隔で計算することを提案しているが、その数量的根拠を明らかにしていない。Craig⁴⁾はある点の線量をその計算に用いた多門照射の照射方向の角度を横軸にとつて表わし、それらの値を滑らかな曲線で結び、その曲線の下面積からその点の線量を計算している。この曲線を10度間隔の多門照射として求め、^{1/24} Ruleを用いて積分すれば、線量の誤差は1%以下となると述べている。この方法は電子計算機で計算するにはよいが、手計算では面倒である。そこで最初に、何度間隔の多門照射として計算すればよいかについて検討した。

1. 計算方法

計算の基礎となる標準の等線量曲線は大きさが1.5cm直径の⁶⁰Co線源、線源一絞り前面間距離39cm、SSD 60cmに対するもので、15cm深部を100として表わした。線源一回転中心間距離を75cm、phantomは直径30cmの均質円柱形、回転中心は円柱の中心軸とし、入射面は平面として斜入射の補正を行わないで1度、5度、10度、15度および20度間隔の多門照射として計算し、1度間隔に対する誤差を求めた。斜入射の影響については後で述べる。計算した振り角は60度、90度、120度、180度、240度、300度および360度で、計算した点は振り角を2等分する軸を0度軸としたFig. 1に示す0度軸、90度軸および180度軸上の

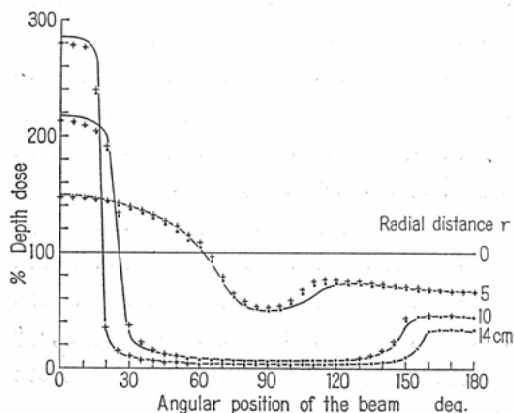
Fig. 1. Diagram showing notation in dosage calculation for moving field



中心から1 cm毎に15 cmまで、照射野(幾何学的照射野)は6×6および10×10 cmである。

Fig. 2は照射野10×10 cmの場合の0度軸上の中心から5 cm, 10 cmおよび14 cmの点について一門照射で回転中心に100与えたときの各照射方向から受ける線量を上記の標準の等線量曲線から読み取り、照射方向(角度)を横軸にとつて表わしたものである。実線がその読み値、丸印および十字はそれぞれ斜入射の補正をしない場合とした場合の

Fig. 2. Variation of dose with angular position of the beam. The curves apply to points situated at 0, 5, 10, and 14 cm from the center of rotation, along the radius $\phi = 0^\circ$ of a 30 cm diameter circular phantom with a 10×10 cm field. Solid lines are read off the isodose chart directly. The dot and cross + are values calculated by a computer, without and with correction for oblique incidence, respectively.



電子計算機による計算値で、その計算式は前報¹⁶⁾に報告した。この曲線を各照射野について作成し、それを用いて種々の角度間隔について加算した。

2. 角度間隔による誤差

Table 1に6×6 cmの結果を示す。表における displacement error は1度間隔と他の角度間隔の計算によつて得られる等線量点の距離である。計算結果は用いた角度間隔によつて異なり、その程度は振り角の大きさおよび各軸によつて、又同一軸上でも中心からの距離によつて相違する。

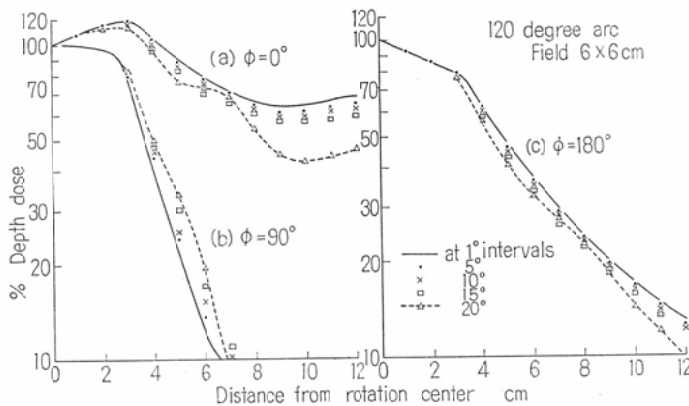
Fig. 3 (a), (b) および (c) に振り角 120

Table 1. Comparison of doses calculated by the summations at 5, 10, 15, and 20 deg. intervals and those at 1 deg. intervals, on the radii $\phi = 0^\circ$, 90° , and 180° of a 30-cm diameter circular phantom with a field 6×6 cm.

| Rotation angle deg. | Interval deg. | max.-80% D | | | 50%-50% D | | | 20%-10% D | | |
|---|------------------|-------------------------|-----|------|--------------|------|------|--------------|---|---|
| | | F | D | % | F | D | % | F | D | % |
| | | Radius $\phi = 0^\circ$ | | | | | | | | |
| 60 | 5 | -8 | | | | | | | | |
| | 10 | -14 | | | | | | | | |
| | 15 | -21 | | | | | | | | |
| | 20 | -24 | | | | | | | | |
| | 25 | -8 | | | | | | | | |
| 90 | 5 | -8 | | | | | | | | |
| | 10 | -14 | | | | | | | | |
| | 15 | -16 | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | |
| 120 | 5 | -4 -0.2 | -5 | | | | | | | |
| | 10 | -8 -0.5 | -8 | | | | | | | |
| | 15 | -11 -0.7 | -14 | | | | | | | |
| | 20 | -14 -1.1 | -14 | | | | | | | |
| | 25 | -2 | 0 | -2 | -0.1 | -3 | | | | |
| 180 | 5 | -4 -0.2 | -5 | | | | | | | |
| | 10 | -7 -0.3 | -8 | -0.9 | -9 | | | | | |
| | 15 | -7 -0.3 | -8 | -0.9 | -9 | | | | | |
| | 20 | -9 -0.5 | -11 | -1.2 | -11 | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | |
| 240 | 5 | -1 | 0 | -4 | -0.2 | -4 | | | | |
| | 10 | -1 | 0 | -4 | -0.3 | -7 | | | | |
| | 15 | -2 -0.1 | -4 | -0.3 | -7 | | | | | |
| | 20 | -2 -0.1 | -4 | -0.3 | -7 | | | | | |
| | 25 | 0 | 0 | 1 | 0 | -2.7 | | | | |
| 300 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | -2 | | | | |
| | 10 | 0 | 0 | 3 | 0.1 | -5 | | | | |
| | 15 | 0 | 0 | 3 | 0.2 | -11 | | | | |
| | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | | | | |
| | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | | | | |
| 360 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 1 |
| | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 2 |
| | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 1 |
| | 25 | 0 | 0 | -4 | -0.2 | -20 | | | | 0 |
| Radius $\phi = 90^\circ$ | | | | | | | | | | |
| 60 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0.1 | | | |
| | 10 | 2 | 0 | 5 | 0.1 | 8 | 0.1 | | | |
| | 15 | 2 | 0 | 8 | 0.1 | 12 | 0.2 | | | |
| | 20 | 2 | 0 | 11 | 0.1 | 17 | 0.2 | | | |
| | 25 | 2 | 0 | 14 | 0.1 | 21 | 0.2 | | | |
| 90 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0.1 | | | |
| | 10 | 2 | 0 | 5 | 0.1 | 8 | 0.1 | | | |
| | 15 | 2 | 0 | 8 | 0.1 | 12 | 0.2 | | | |
| | 20 | 2 | 0 | 11 | 0.1 | 17 | 0.2 | | | |
| | 25 | 2 | 0 | 14 | 0.1 | 21 | 0.2 | | | |
| 120 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0.1 | | | |
| | 10 | 2 | 0 | 5 | 0.1 | 8 | 0.1 | | | |
| | 15 | 2 | 0 | 8 | 0.1 | 12 | 0.2 | | | |
| | 20 | 2 | 0 | 11 | 0.1 | 17 | 0.2 | | | |
| | 25 | 2 | 0 | 14 | 0.1 | 21 | 0.2 | | | |
| 180 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0.1 | | | |
| | 10 | 2 | 0 | 5 | 0.1 | 8 | 0.1 | | | |
| | 15 | 2 | 0 | 8 | 0.1 | 12 | 0.2 | | | |
| | 20 | 2 | 0 | 11 | 0.1 | 17 | 0.2 | | | |
| | 25 | 2 | 0 | 14 | 0.1 | 21 | 0.2 | | | |
| 240 | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | | | |
| | 10 | 0 | 0 | 5 | 0.1 | 8 | 0.1 | | | |
| | 15 | 1 | 0 | -5 | -0.3 | -6 | | | | |
| | 20 | 1 | 0 | -5 | -0.6 | -13 | | | | |
| | 25 | 2 | 0 | -9 | -0.6 | -13 | | | | |
| 300 | 5 | -1 | 0 | -3 | -0.2 | -4 | | | | |
| | 10 | -1 | 0 | -3 | -0.2 | -4 | | | | |
| | 15 | -2 -0.1 | -9 | -0.4 | -23 | | | | | |
| | 20 | -2 -0.1 | -9 | -0.4 | -23 | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | | |
| Radius $\phi = 180^\circ$ | | | | | | | | | | |
| 60 | 5 | 0 | 0 | -6 | -0.2 | -6 | -0.4 | | | |
| | 10 | 0 | 0 | -8 | -0.4 | -11 | -0.7 | | | |
| | 15 | 0 | 0 | -10 | -0.6 | -16 | -1.0 | | | |
| | 20 | 0 | 0 | -12 | -0.8 | -23 | -1.5 | | | |
| | 25 | 0 | 0 | -14 | -0.8 | -23 | -1.5 | | | |
| 90 | 5 | 0 | 0 | -4 | -0.1 | -4 | -0.3 | | | |
| | 10 | 0 | 0 | -6 | -0.2 | -6 | -0.5 | | | |
| | 15 | 0 | 0 | -8 | -0.4 | -8 | -0.5 | | | |
| | 20 | 0 | 0 | -10 | -0.4 | -13 | -0.8 | | | |
| | 25 | 0 | 0 | -12 | -0.8 | -13 | -0.8 | | | |
| 120 | 5 | -1 | 0 | -4 | -0.1 | -4 | -0.2 | | | |
| | 10 | -1 | 0 | -7 | -0.2 | -7 | -0.4 | | | |
| | 15 | -2 -0.1 | -10 | -0.3 | -16 | -0.7 | -10 | | | |
| | 20 | -3 -0.1 | -14 | -0.5 | -24 | -1.4 | -14 | | | |
| | 25 | -3 -0.1 | -14 | -0.5 | -24 | -1.4 | -14 | | | |
| 180 | 5 | 0 | 0 | -1 | -0.1 | -1 | -0.3 | | | |
| | 10 | 0 | 0 | -2 | -0.2 | -2 | -0.3 | | | |
| | 15 | 0 | 0 | -3 | -0.3 | -3 | -0.3 | | | |
| | 20 | 0 | 0 | -4 | -0.4 | -4 | -0.3 | | | |
| | 25 | 0 | 0 | -5 | -0.5 | -5 | -0.3 | | | |
| 240 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3 | | | |
| | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -4 | | | |
| | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -8 | | | |
| | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -11 | | | |
| | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -14 | | | |
| 300 | 5 | 2 | 0 | 6 | 0.1 | 4 | 0.1 | | | |
| | 10 | 3 | 0 | 8 | 0.2 | 8 | 0.2 | | | |
| | 15 | 3 | 0.1 | 8 | 0.2 | 16 | 0.4 | | | |
| | 20 | 4 | 0.1 | 11 | 0.3 | 24 | 0.5 | | | |
| | 25 | | | | | | | | | |
| P...Percent error D...Displacement error | | | | | | | | | | |

P...Percent error
D...Displacement error

Fig. 3. Comparison of dose distributions calculated by the summations at different intervals along the three radii $\phi = 0^\circ$, 90° , and 180° of a 30 cm diameter circular phantom with a 6×6 cm field of 120 degree arc



度，照射野 6×6 cm の場合のそれぞれ 0 度，90 度および 180 度軸上の線量分布を示した。傾向としては角度間隔を大きくとつた場合に誤差が大きくなり，しかも大きい角度間隔の場合には線量が下降する途中で階段ができる。そのために，深部量百分率の小さいところで誤差が大きくなるとは限らなくなる。

一般に，0 度軸上では振り角が大きいほど誤差は小さく，角度間隔を大きくすると計算値は小さくでる。この軸上では線量が緩やかに変化するので，線量誤差は僅かでも等線量曲線の偏移距離は大きい。

90 度軸上では振り角が 120 度近辺で誤差が最大となり，振り角が 180 度までは角度間隔が大きいほど計算値が大きくなる。この軸上では線量が急激に減少するので線量誤差としては大きいにも拘らず等線量曲線の偏移距離は小さい。

180 度軸上では振り角が大きいほど誤差は小さくなり，振り角が 180 度までは角度間隔が大きいほど計算値は小さくでる。この軸上での線量誤差は比較的小さく，等線量曲線の偏移距離も線量が比較的急激に減少するので小さい。

ここに計算した照射野については 20 度以下の角度間隔では表面において照射野が重なるので照射野によつて誤差の程度は殆んど変わらない。

Table 1 より次の結果が得られる。

(1) すべての振り角について，すべての点の線量を 10% 以下の誤差で計算するためには 5 度間隔以下の多門照射として計算する必要がある。

(2) 回転中心の 50% 以上の線量を問題とするならば，振り角が 120 度以上であれば 10 度間隔の多門照射として計算しても誤差は 10% 以下である。

(3) 等線量曲線の距離の誤差を 5 mm まで，線量の誤差を 10% まで許容すれば，120 度以上の振り角に対しては 10 度間隔以下の多門照射として計算すればよい。

(4) 回転中心の 80% 以上の線量を問題としても，振り角が小さい場合には 20 度間隔の多門照射として計算すると誤差は 10% 以上となるが，180 度以上の振り角では 10% 以下である。

(5) 360 度回転では他の振り角より誤差が小さく，15 度間隔で計算してもすべての点で 10% 以下の誤差である。

3. 斜入射の影響

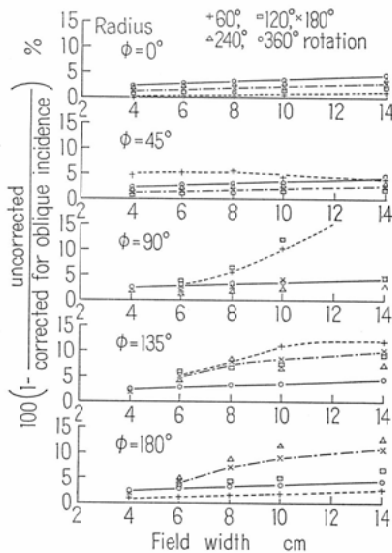
以上は斜入射を考慮しない結果であるが，実際には円柱形の表面は平面ではないから，斜入射の補正を行う必要がある。電子計算機を用いて斜入射の補正をした場合としない場合について計算し，両者を比較した。

前述の結果から 5 度間隔の多門照射として振り角 60, 90, 120, 180, 240, 300, および 360

度, 計算軸 0, 45, 90, 135 および 180 度軸, 照射野 4×4 , 6×6 , 8×8 , 10×10 および 14×14 cm について計算した. phantom は 30 cm 直径の円柱形である.

両者の相違を, 斜入射を考慮した計算値から補正してない計算値を減じた値の斜入射を考慮した値に対する百分率で表わした. Fig. 4 に各計算軸について回転中心の 10% 以上の線量における相違の最大値を照射野の幅を横軸にとつて示した.

Fig. 4. Maximum percentage differences between doses with and without correction for oblique incidence, along the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, and 180° of a 30 cm diameter circular phantom plotted against the field width



照射野が大きくなるほどその相違が大きくなるが, 9×9 cm 以下の照射野ではすべての振り角について 10% 以下, 360 度回転ではすべての照射野について 5% 以下の線量誤差である. Fig. 5 に 360 度回転の線量分布を各照射野について示した.

全回転でない場合には照射野が大きくなると 0 度および 45 度軸以外では 10% 以上の線量誤差を生ずる振り角が存在する. Fig. 6 (a), (b) および (c) に照射野 14×14 cm の場合の各種振り角についてそれぞれ 90 度, 135 度および 180 度軸上の線量分布を示した. 10% 以上の誤差を生ずるのは深部量百分率が 50% 以下の低線量域である.

Fig. 5. Comparison of dose distributions with and without correction for oblique incidence, on a radius of a 30-cm diameter circular phantom with field sizes 4×4 , 6×6 , 8×8 , 10×10 , and 14×14 cm of 360 degree rotation

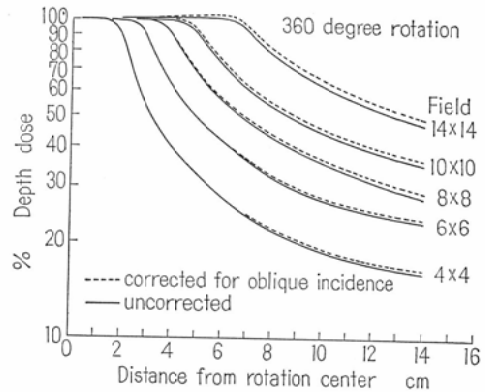
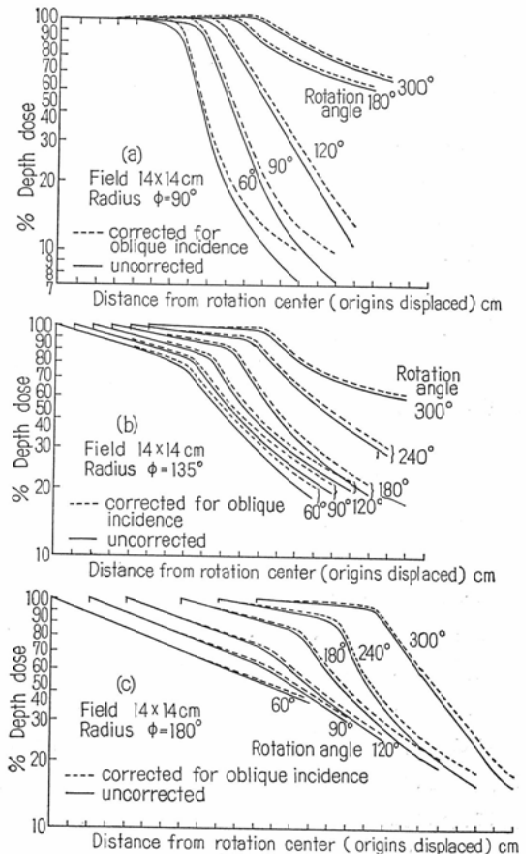


Fig. 6. Comparison of dose distributions with and without correction for oblique incidence, on the radii $\phi = 90^\circ, 135^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom with a field size 14×14 cm



以上のことから、円柱形 phantom の場合には斜入射の補正をしなくても臨床的には殆んど問題はないであろう。

線量分布の一般則

上記の結果によつて目的に適うような角度間隔の多門照射として回転照射の線量分布を計算すればよいが、これを患者毎に行うことは決して簡単ではないからこれを簡単化するための方法を考える必要がある。

高エネルギーX線では吸収および散乱が小さいことから、phantom の形と大きさ、回転中心の位置等によつて高線量域の線量分布はあまり変化しないことが報告されている⁵⁾⁷⁾¹⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾²³⁾。従つて計算が簡単である円柱形 phantom の中心を回転中心とする回転照射の線量分布の一般則を求め、他の条件についてはこれに補正を加える方法をとれば計算が簡単となる。この点について検討を加えた。

1. 円柱形 phantom の中心を回転中心とする場合の線量分布

固定照射の標準の等線量曲線および phantom の大きさは前述のものと同じである。計算は振子角60, 90, 120, 180, 240, 300, および 360度、照射野4×4, 6×6, 8×8, 10×10および14×14cmについて、斜入射を考慮して電子計算機により5度間隔で行つた。計算した軸は0, 45, 90, 135, および 180度軸で、計算結果は回転中心の線量を100とした深部量百分率で表わした。

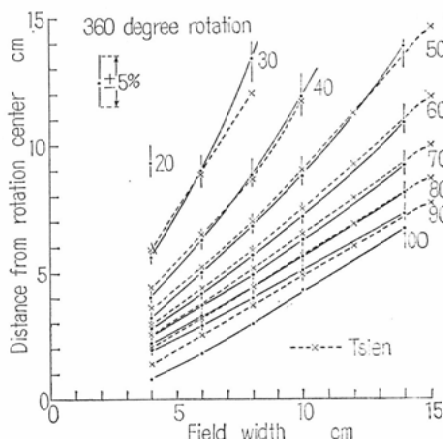
尚、phantom の大きさと照射野の長さの影響をしらべるために、10cmおよび20cm直径の phantom と照射野6×12および6×18cmについても計算した。

又、線量分布の形の解析のために、照射野6×6cmについて0度軸から10度毎の軸上の線量を計算した。

(i) 360度回転

360度回転の場合には等線量曲線は回転中心を中心とする円となる。中心軸から種々の深部量百分率の点までの距離を縦軸に、照射野の幅を横軸にとつて示すと、Fig. 7のように照射野の幅が大

Fig. 7. Variation of distance from center of 360 degree rotation to various percentage isodose curves in a 30-cm diameter circular phantom with field width



きくなると直線からずれるが、±10%の誤差を許容すると90%から30%まですべて原点を通る直線上にのる。

100%の曲線が画いてあるが、これは中心からこの距離までが近似的に100%の範囲であることを示している。照射野が大きいときには、この範囲の線量は100%より僅か大きくなる。

90%の等線量曲線は照射野の幅を直径とする円となり、照射野の幅を半径とする円は40%と50%の間の線量となつている。

Tsien 他は回転中心において幾何学的半影が2.54cmの装置について計算しているが、我々の結果(幾何学的半影1.38cm)と10%以上の相違はない。Fig. 7の点線がTsien 他の結果である。半影の影響については後で述べる。

(ii) 部分回転

振子照射の場合には360度回転の場合と異なり各軸によつて深部量百分率が異なる。Table 2に各照射野について種々の振子角および軸上の種々の深部量百分率の点を中心軸からの距離で示した。1列目が振子角、2列目が計算した軸、3列目は最大となる線量、4列目がその位置、5列目以降は回転中心から各深部量百分率までの距離である。この結果を360度回転の場合と同様に、各軸について照射野の幅を横軸にとつて示すとどの

Fig. 8. Variation of distance from center of rotation to various percentage isodose curves for 240 degree rotation on the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom with field width

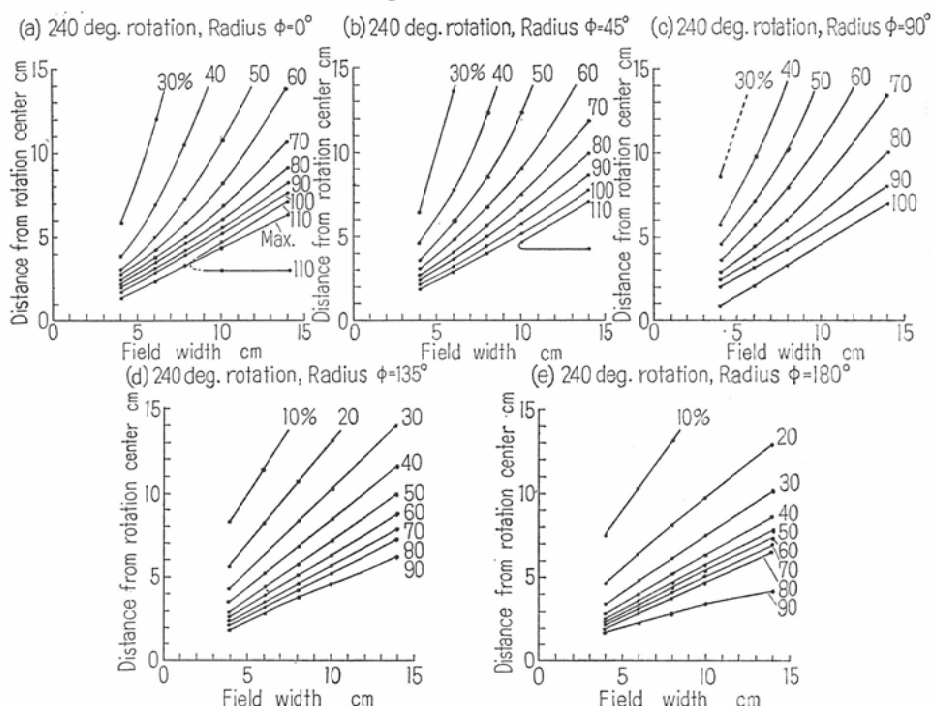


Fig. 12に最大値の90%領域の中心の中心軸からの偏移を示す。照射野の幅が大きいほど又振り角が小さいほど偏移の距離は大きくなる。

Fig. 13は最大値の90%領域の0—180度軸方向の長さ、Fig. 14は90%領域の中心位置における0—180度軸と直角方向の長さである。0—180度軸方向の長さは180度振りまでは振り角の増大と共に短くなり、それを越すと逆に長くなる。300度振りを除くと照射野の幅が大きいほど長さが大きい。0—180度軸と直角方向の長さは振り角が大きいほど、又照射野の幅が大きいほど大きくなる。尚、各振り角における最大線量の90%領域の形はFig. 19—24に実線で示してある。

(c) 最大線量の50%領域の大きさ

最大値の50%領域の大きさを、90%領域の中心から回転中心方向の長さと同線源方向の長さおよび0—180度軸に直角方向の長さで、それぞれ Fig. 15および16に示した。180度以上の振り角では360度回転とその大きさに著しい差はない。特に

小照射野では殆んど同程度の大きさである。しかしその形は Fig. 19—24の実線で示したように振り角によつて異なる。

(d) 等線量曲線の形

180度以下の振り照射とそれ以上とで線量分布の形が異なる。

ある点の線量は照射野内の線束によつて受ける線量に最も大きく影響される。Fig. 17は180度以下の振り照射を示す図で、AおよびBの部分は照射野を全部横切る点であるから、この範囲内の線量は回転中心からの距離が等しければ殆んど等しくなる。即ち、等線量曲線は回転中心を中心とする円となる。従つて0度および180度軸上の点の線量が計算してあればAおよびB部分の等線量曲線を画ける。AおよびB部以外については45度、90度および135度軸の線量が計算してあれば、Fig. 19, 20, 21および22に示す線量分布の例を参考にして容易に画けるであろう。

180度以上の振り照射では Fig. 18に示すA、

Fig. 9. Variation of distance from center of rotation to various percentage isodose curves for a field size 6×6 cm on the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom with angle of rotation

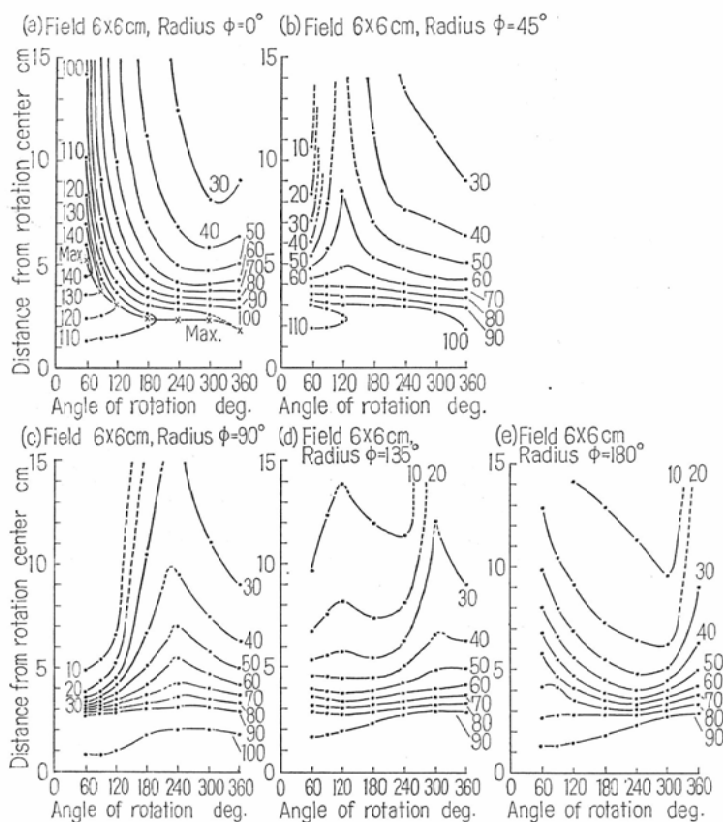


Fig. 10. Variation of distance from center of rotation to the positions of maximum doses in a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles with field width

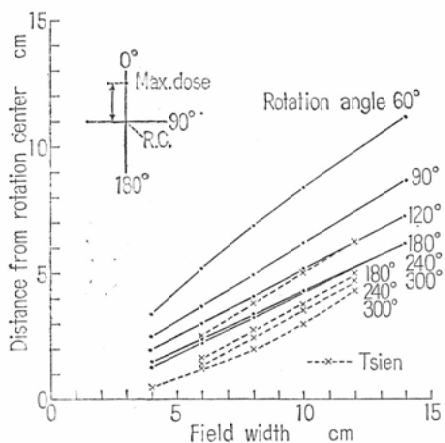
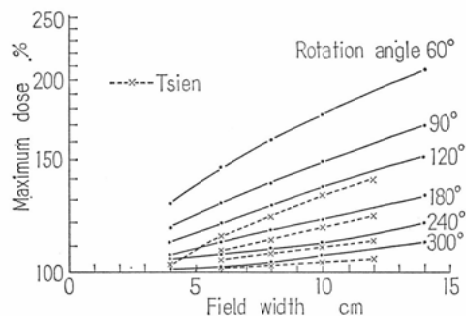


Fig. 11. Variation of maximum dose in a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles with field width



BおよびC部の等線量曲線が回転中心を中心とする円となる。他の部分については0度、45度、90度、135度および180度軸上の線量から Fig. 23 および Fig. 24 に示す線量分布の例を参考にして

Fig. 12. Distance from center of rotation to the center of the 90 % dose region of maximum dose in a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles plotted against the field width

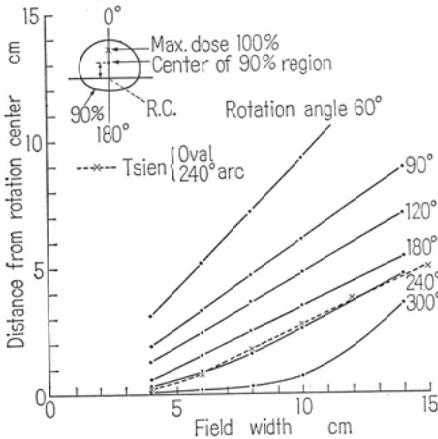


Fig. 13. Length of the 90% dose region of maximum dose on the arc bisecting line of a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles plotted against the field width

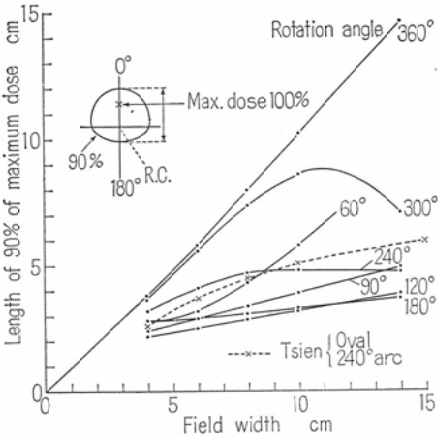


Fig. 14. Length of the 90% dose region of maximum dose at the center of that region in a direction perpendicular to the arc bisector of a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles plotted against the field width

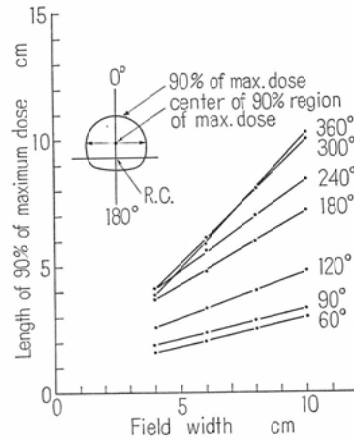
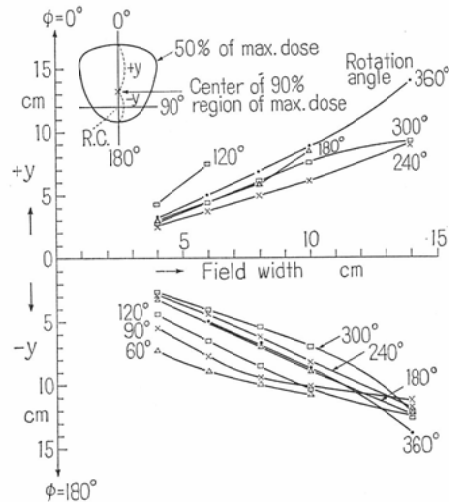


Fig. 15. Distance from center of the 90 % dose region of maximum dose to the 50 % isodose curve of maximum dose on the arc bisecting line of a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles plotted against the field width



容易に画ける。

それぞれの図に示す実線で画いた等線量曲線は最大値の90%および50%を示す曲線である。

(iii) phantom の大きさと照射野の長さの影響

以上は30cm直径の phantom に対する正方形照

Fig. 16. Length of the 50% dose region of maximum dose at the center of the 90% dose region in a direction perpendicular to the arc-bisector of a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles plotted against the field width

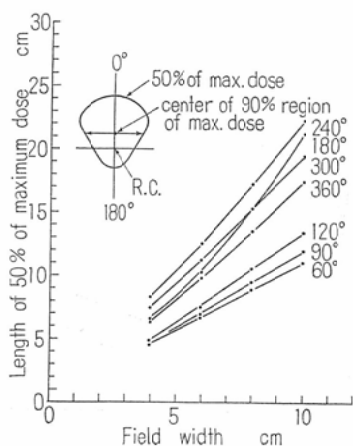
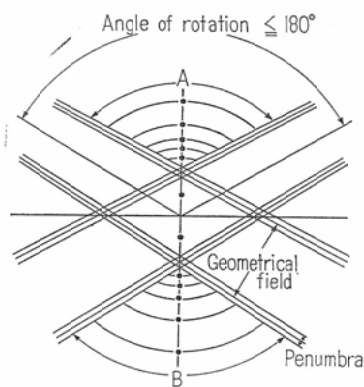


Fig. 17. Diagram showing the method for construction of isodose curves for the degree of rotation less than or equal to 180 degrees



射野の結果であるが、phantomの大きさと照射野の長さが変わった場合の線量分布への影響について検討した。

(a) phantomの大きさ

phantomの大きさによって線量分布は殆んど

Fig. 18. Diagram showing the method for construction of isodose curves for the degree of rotation larger than 180 degrees

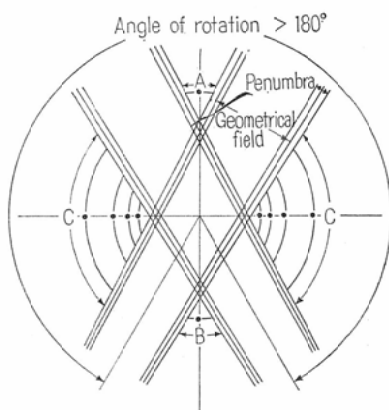
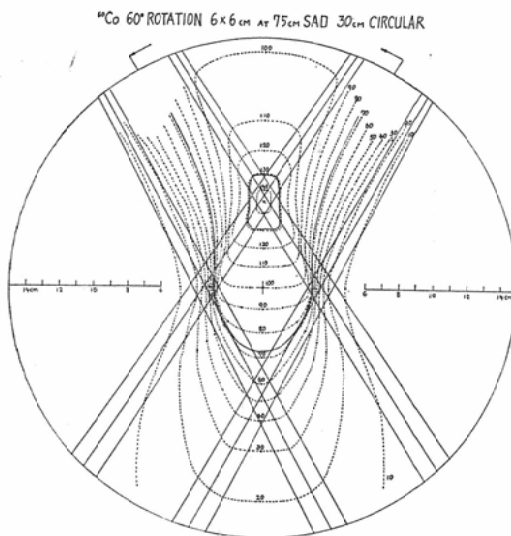


Fig. 19. Isodose curves for 60 degree rotation with a field size 6 x 6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom. The solid lines are 50% and 90% isodose curves of maximum dose.



変らないことが既に発表されているが⁷⁾¹⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾²³⁾, その定量的研究は少ない。

phantomの大きさが変わるとSSDが変化することから一門照射の線量分布が変わり、その合成である回転照射の線量分布も少し変化する筈である。

Fig. 20. Isodose curves for 90 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom

^{60}Co 90° ROTATION 6×6 cm AT 75 cm SAD 30 cm CIRCULAR

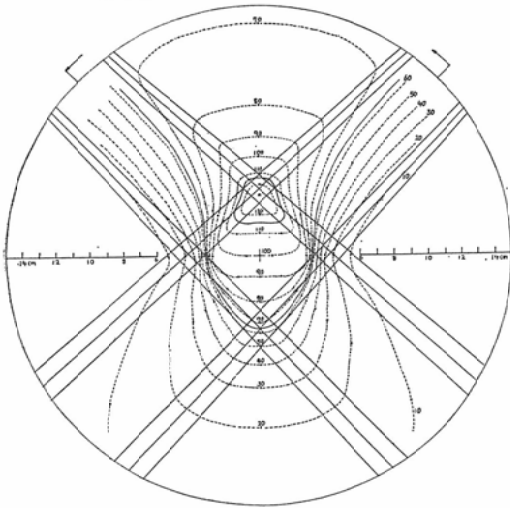


Fig. 21. Isodose curves for 120 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom

^{60}Co 120° ROTATION 6×6 cm AT 75 cm SAD 30 cm CIRCULAR

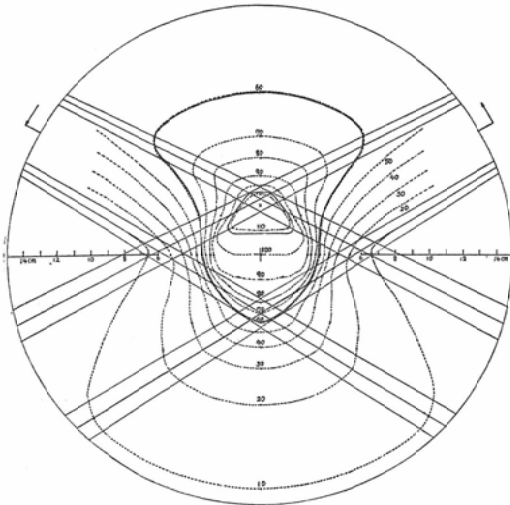


Fig. 22. Isodose curves for 180 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom

^{60}Co 180° ROTATION 6×6 cm AT 75 cm SAD 30 cm CIRCULAR

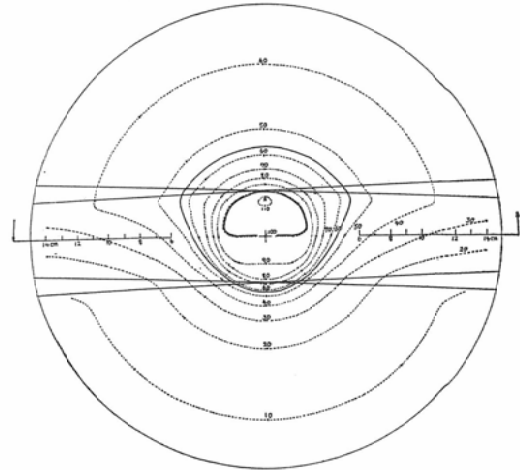
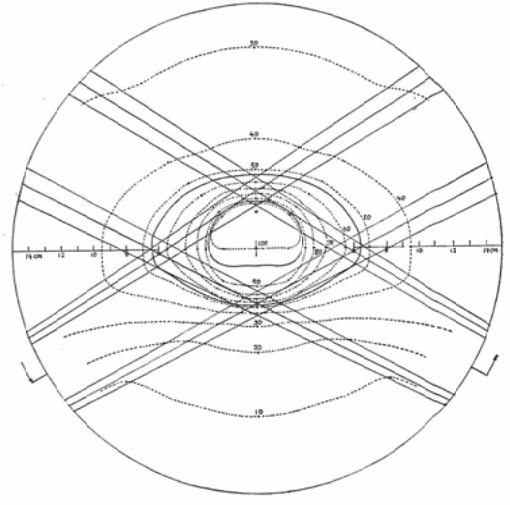


Fig. 23. Isodose curves for 240 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom

^{60}Co 240° ROTATION 6×6 cm AT 75 cm SAD 30 cm CIRCULAR

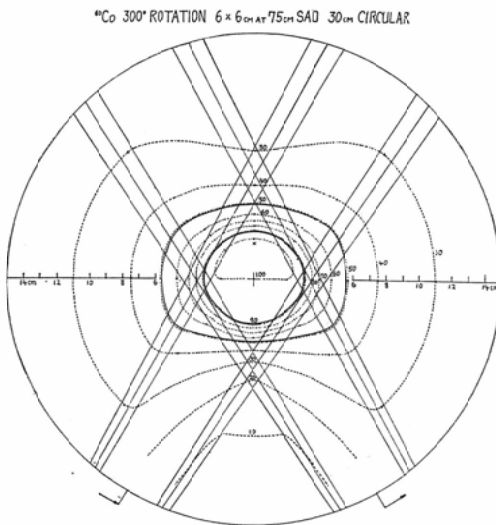


Tsien 他¹⁹⁾は 360度回転について詳細な研究を行い、形が同じであれば大きさの影響は少なく、回転中心の50%以上の線量域では等線量曲線の偏移は1 mm以下であると述べているが、この計算に用いた一門照射の等線量曲線を phantom の大きさ

によつて変えたか否かが明らかでない。

ここでは各種振り角について、電子計算機により前報¹⁸⁾の計算式を用いSSDの変化により一門照射の線量分布を変えて直径10cm, 20cm, および30cmの円柱形 phantom の線量分布を計算し、

Fig. 24. Isodose curves for 300 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 30-cm diameter circular phantom



phantom の大きさの影響を検討した。直径 30 cm についての線量を標準とし、他の直径についての線量との相違を求めた。

その相違の程度は照射野によつて異なり、線量の相違の最大値は小照射野の方が大きい。しかし等線量点の偏移距離は大照射野ほど大きくなる。Fig. 25 に照射野 4×4 cm についての線量の相違の最大値を示した。360度回転では 8% 以下の相違であるが、振子照射では 135度および 180度軸以外の軸上では 10% を超える振り角が存在する。しかし回転中心の 50% 以上の線量域をとるといずれの条件でも 10% 以下の相違である。

Fig. 26 に 360 度回転の線量分布を示した。Tsien 他が述べているように回転中心の 90% および 80% の線量では等線量点の偏移は 1 mm 以下である。しかし 50% の線量では Tsien の結果より偏移が大きく 3 mm 程度である。それ以下の線量域では偏移距離は更に大きくなり、この傾向は実測の結果と一致する⁷⁾¹⁴⁾。

Fig. 27 (a) - (d) は照射野 4×4 cm の各種振り照射の線量分布である。振り角の小さい場合には 45 度および 90 度軸上で 10% 以上の相違を生ずるが、この軸上では線量が急激に減少するので等

Fig. 25. Maximum percentage differences between doses for 10, 20, and 30 cm diameter circular phantoms, along the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, and 180° for a 4×4 cm field plotted against the angle of rotation

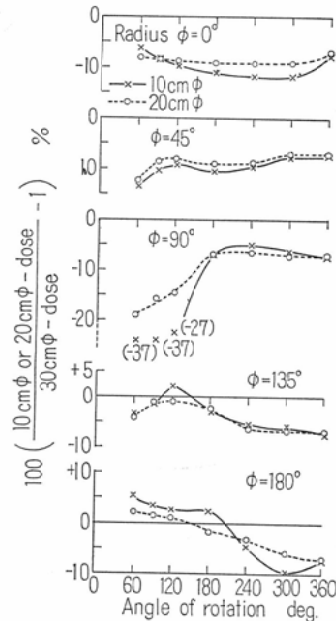
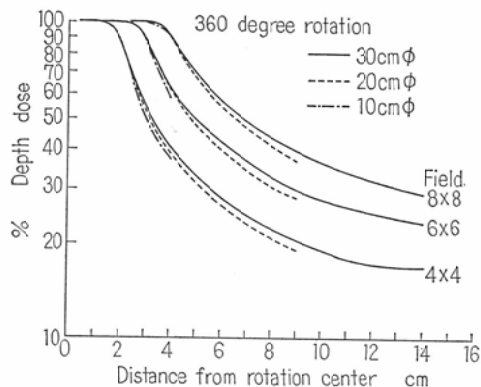


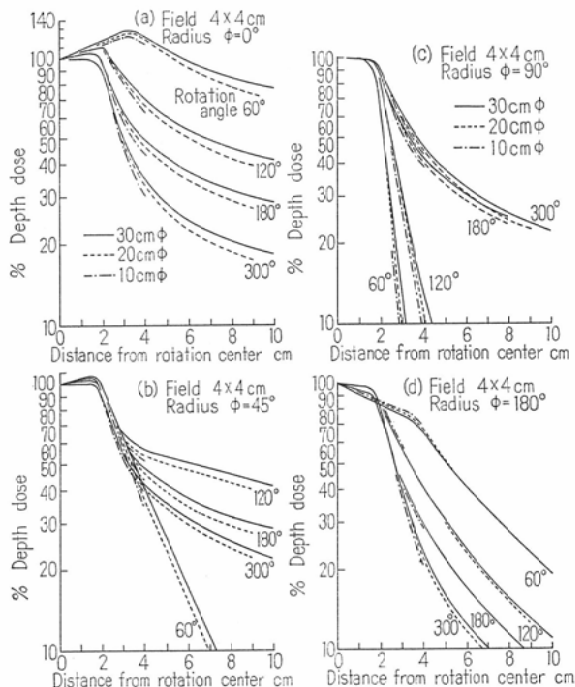
Fig. 26. Dose distributions of 360 degree rotation on a radius of three different sizes of circular phantom with field sizes 4×4 , 6×6 , and 8×8 cm



線量点の偏移距離は小さく、回転中心の 20% の線量域でも 3 mm 以下である。

以上のことから 10% の線量誤差あるいは 3 mm の偏移距離を許容すれば、phantom の大きさの影響は振り照射でも無視してよいであろう。

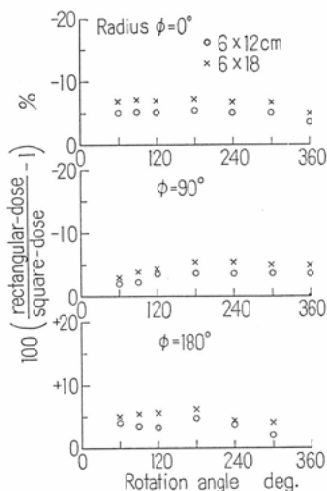
Fig. 27. Comparison of dose distributions in three different sizes of circular phantom with a field size 4×4 cm, on the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, and 180° for various rotation angles



b) 照射野の長さ

回転面に直角方向の照射野の長さは線量分布に影響しないことが発表されているが⁽⁸⁾⁽²³⁾、一門照射

Fig. 28. Maximum percentage differences between doses for rectangular and square fields with the same field width in the plane of rotation, along the radii $\phi = 0^\circ, 90^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom plotted against the angle of rotation



においては照射野の長さの相違は中心軸の深部量百分率と照射野外の散乱線に相違をきたすから矩形の短辺と長辺の比が大きくなると回転照射の線量分布にも差を生ずる筈である。

照射野の幅 6 cm, 長さが 12 cm および 18 cm について種々振り角の線量分布を計算し、長さが 6 cm の正方形照射野の場合との相違を求めた。Fig. 28

Fig. 29. Comparison of dose distributions with two different length of the field perpendicular to the plane of rotation, on the arc bisecting line of a 30-cm diameter circular phantom for various rotation angles

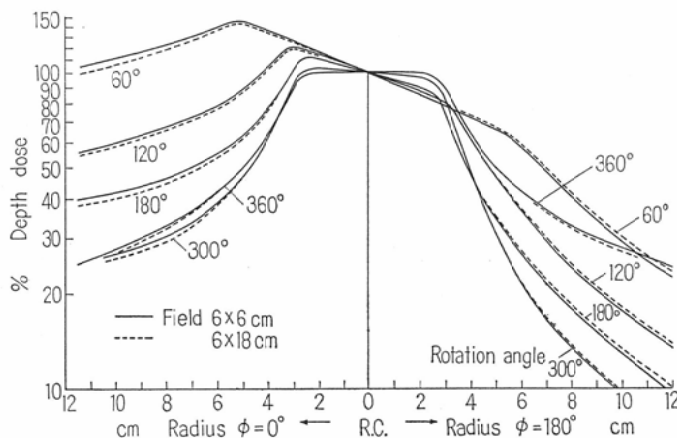


Table 3. Distances from center of rotation to various percentage isodose curves on the radii $\phi = 0, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, and 180° of a 20×30 cm oval phantom with five different field sizes for 60, 90, 120, 180, 240, 300, and 360 degrees of rotation →

に相違の最大値を、振子角を横軸にとつて示した。0度軸上での相違が最も大きい、 6×12 cmの場合で5%, 6×18 cmの場合で8%以下の相違である。

Fig. 29に0度および180度軸上の線量分布を示した。振子角が小さいと等線量曲線の偏移距離は大きくなるが、線量誤差は8%以下であるから照射野の長さの影響も無視できる。

2. phantomの形の影響とその補正(oval phantomの中心を回転中心とする場合の線量分布)

円柱形 phantom についての回転照射の線量分布の計算結果を、Haynes と Froese⁶⁾ により発表された oval phantom に適用した場合の誤差を検討し、その補正法を開発する。

Tsien他が長径と短径の比が1.5の種々の大きさの oval phantom について線量分布を計算し、大きさの影響は殆んどないことを発表しているの、ここでは長径30cm, 短径20cmの oval phantom についての線量分布を、斜入射の補正を入れた計算式¹⁶⁾により5度間隔の多門照射として電子計算機で計算し、前述の直径30cmの円柱形 phantom の計算結果と比較した。

計算は phantom の短軸を0—180度軸とし、これを2等分線とする振子照射について、円柱形 phantom と同じ振子角、照射野および軸について行つた。Table 3に各照射野について種々の深部量百分率の点を中心軸からの距離で示した。

(i) 形の影響

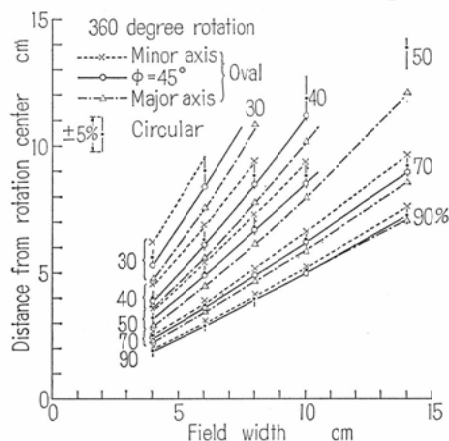
(a) 360度回転

oval phantom の短軸上、長軸上およびこれらの中間である45度軸上について回転中心から各種深部量百分率の点までの距離を、横軸に照射野の幅をとつて Fig. 30に示した。

45度軸上の線量分布は円柱形 phantom の結果と殆んど等しい。それに対して長軸上の等線量点

| Field size | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Depth, cm | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 |
| 0 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 45 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 90 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 120 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 180 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 240 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 300 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 360 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 | 118 3.4 |
| 0 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 45 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 90 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 120 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 180 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 240 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 300 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 360 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 | 140 5.2 |
| 0 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 45 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 90 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 120 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 180 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 240 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 300 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 360 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 | 170 6.9 |
| 0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 45 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 90 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 120 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 180 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 240 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 300 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 360 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 | 240 10.0 |
| 0 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 45 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 90 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 120 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 180 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 240 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 300 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 360 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 | 300 12.5 |
| 0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 45 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 90 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 120 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 180 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 240 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 300 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |
| 360 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 | 360 15.0 |

Fig. 30. Graph showing, as a function of field width, the distances from center of 360 degree rotation to various percentage isodose curves on major, minor, and 45 degree axes of a 20×30 cm oval phantom in comparison with those of a 30-cm diameter circular phantom



は円柱形の場合より中心に近づき、短軸上では遠くなる。

Fig. 34に長軸および短軸上の各種深部量百分率の点の偏移を照射野の幅を横軸にとつて示した。この偏移は深部量百分率が小さいほど、又照射野の幅が大きいほど大きくなる。

しかし円柱形 phantom の場合との線量の相違は照射野によつて殆んど変わらず、50%線量以上では10%以内である (Table 4)。従つて10%の誤差を許容すれば円柱形 phantom の線量分布を oval phantom に適用しても50%以上の線量域に対してはさしつかえない。

(b) 部分回転

振子照射の場合には振子角が oval phantom の長軸を含むか否かで、即ち 180度以上か、120度以下かで円柱形 phantom との相違の程度が異なる。

Table 4 に振子角が 120度以下、180度以上および 360度回転の3種にわけて、深部量百分率が90%以上、90~50%および50~10%の3段階について各軸上の円柱形 phantom との線量の相違を百分率で示した。表には4×4から14×14cmの照射野についての最大の相違をとつてあるが、実際には照射野によつて相違の程度は殆んど変らな

い。正符号は円筒形 phantom より深部量百分率が大きく、負符号は小さいことを示している。

120度以下の振子照射では45度および90度軸上の相違が大きく、それ以外の軸では10%以下の相違である。90度軸上では線量誤差は大きい等線量曲線の偏移距離は小さく、20%線量の点でも5 mm以下の偏移である (Fig. 31)。又45度軸上では回転中心より線量が大きくなる点があるので、最大値の50%以上の線量域を問題とすると照射野8×8 cm以下では10%以上の相違はない。

180度以上の振子照射では45度と135度軸上では6%以下の相違であるが、0度、90度および180度軸上では10%以上の相違がみられる。50%線量以上の高線量域をとると10%以上の相違を示す軸は0度軸のみとなるが、この軸上でも最大値の50%線量域をとると10%以下の相違である。

Fig. 31 に照射野 10×10 cm の場合の円柱形と

Fig. 31. Maximum differences between the distances of the same percentage isodose curve from the center on the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, \text{ and } 180^\circ$ for circular and oval phantoms with a 10×10 cm field plotted against the rotation angle

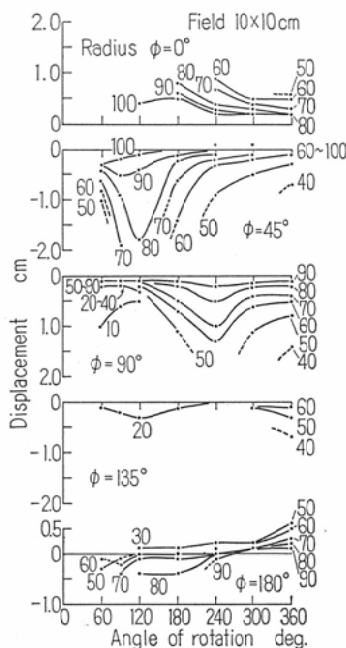


Table 4. Percentage differences between doses for 30-cm diameter circular and 20 × 30 cm oval phantoms

| radius ϕ | max ~ 90% | | | 90% ~ 50% | | | 50% ~ 10% | | |
|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| | $\leq 120^\circ$ arc | $\geq 180^\circ$ arc | 360° rot | $\leq 120^\circ$ arc | $\geq 180^\circ$ arc | 360° rot. | $\leq 120^\circ$ arc | $\geq 180^\circ$ arc | 360° rot. |
| 0° | $\pm 5\%$ | + 8% | + 3% | $\pm 5\%$ | +12% | + 8% | + 4% | +13% | +10% |
| 45° | - 9 | - 3 | - 1 | -15 | - 5 | - 4 | -21 | - 6 | - 6 |
| 90° | - 4 | - 3 | - 3 | - 7 | - 9 | - 9 | -22 | -14 | -14 |
| 135° | - 1 | - 1 | - 1 | - 3 | - 2 | - 4 | - 8 | - 3 | - 6 |
| 180° | - 1 | - 2 | + 3 | - 4 | + 5 | + 8 | + 5 | +13 | +10 |

oval phantom の等線量点の偏移を各種深部量百分率の点について、振子角を横軸にとつて示した。偏移の最も大きい振子角は45度軸上で120度振子、0度および90度軸上で240度振子である。

Fig. 35に振子角240度について0度および90度軸上の偏移を照射野の幅を横軸にとつて示した。

360度回転と同様に照射野の幅が大きいくほど偏移

が大きくなる。

Fig. 32 (a) — (d) に照射野 6 × 6 cm の各種振子角について円柱形と oval phantom の線量分布を示した。0度軸上では振子角の小さい場合には oval phantom の方が小さい深部量百分率を示し、振子角が大きくなると逆転して oval phantom の方が大きくなる。180度軸上も同様の傾向があ

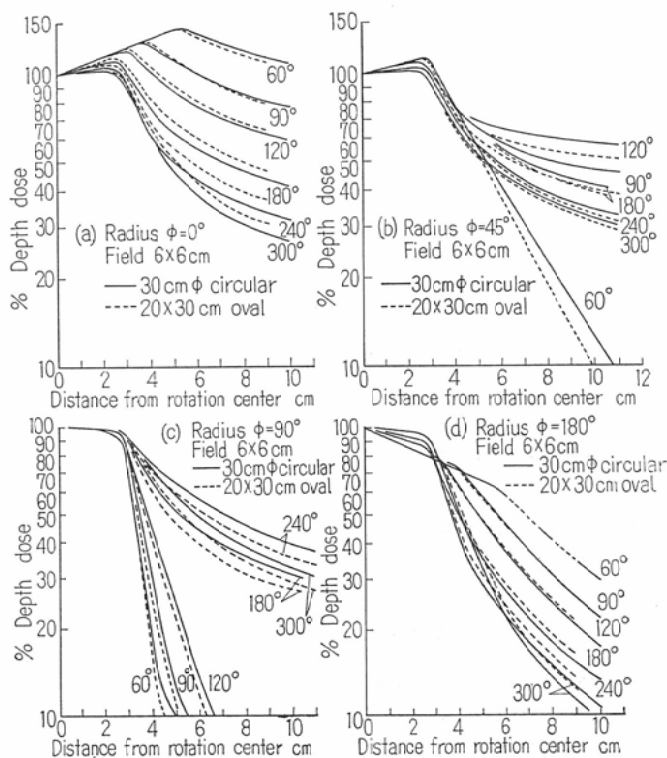
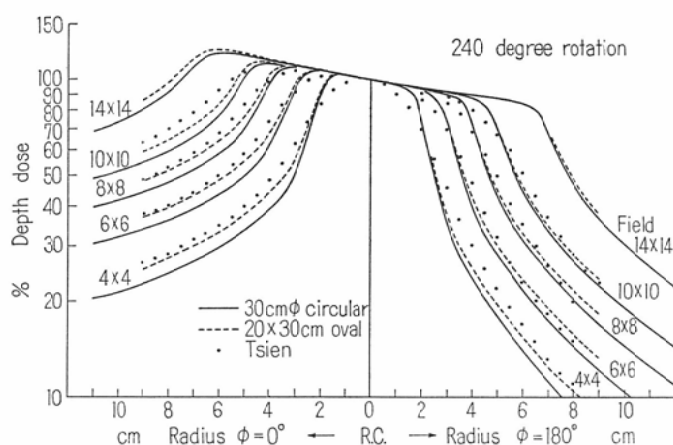
Fig. 32. Comparison of dose distributions for 30-cm diameter circular and 20 × 30 cm oval phantoms with a field size 6 × 6 cm, on the radii $\phi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, and 180° for various rotation angles

Fig. 33. Graph showing dose distributions of 240 degree rotation on the arc bisecting line of 30 cm diameter circular (solid line) and 20×30 cm oval (broken line) phantoms with field sizes 4×4 , 6×6 , 8×8 , 10×10 , and 12×12 cm in comparison with Tsien's data for a 20×30 cm oval phantom (dots)



る。45度および90度軸上では Table 3 にも示したように oval phantom の方が小さい深部量百分率となっている。

Fig. 33は振り角 240度の場合の0—180度軸上の線量分布で、同じ深部量百分率では照射野の幅が大きいほど偏移は大きくなるが、線量の相違は殆んど変わらないことが判る。又丸印は Tsien 他 oval phantom についての結果であるが、 4×4 cm以外の照射野については我々の oval phantom についての結果と5%以下の相違であつて、半影による相違は大きくないことを示している。

尚、回転中心の線量に対する最大線量の百分率の相違はすべての振り角について3%以内である。

(ii) 補正法

以上の結果から最大値の50%以上の線量域について10%の線量誤差を許容すれば大部分の場合、即ち120度以下の振り照射で 10×10 cm以上の照射野の45度軸上を除けば、円柱形 phantom についての計算結果を oval phantom に適用できる。しかし線量誤差を更に小さくするためには等線量曲線を偏移する必要がある。

a) 360度回転

360度回転については Fig. 34を用いて円柱形

phantom の等線量曲線を偏移すれば、長軸/短軸 = 1.5の oval phantom については5%以下の精度で線量分布を作成できる。

(b) 180度以上の振り照射

部分回転については振り角に応じて偏移距離を変える必要があるが、180度以上の振り照射については近似的に Table 5 に示す方法で Fig. 34の(a)および(b)と Fig. 35の(a)および(b)を用いて円柱形 phantom の等線量曲線を移動すれば大部分の場合5%以下の誤差で oval phantom の線量分布を求めることができるであろう。

Fig. 39および40の点線が oval phantom の振り角 180度についてそれぞれ0度および90度軸上の線量を上記の方法で直径30 cmの円柱形 phantom の線量分布から求めたものである。実線がその円柱形 phantom に対する曲線で、丸印が oval phantom について直接計算した値である。円柱形 phantom の線量を補正して得た値と5%以上の相違はない。

Table 5 にない振り角については、近い方の振り角を選んで上記の補正法を適用すれば十分である。

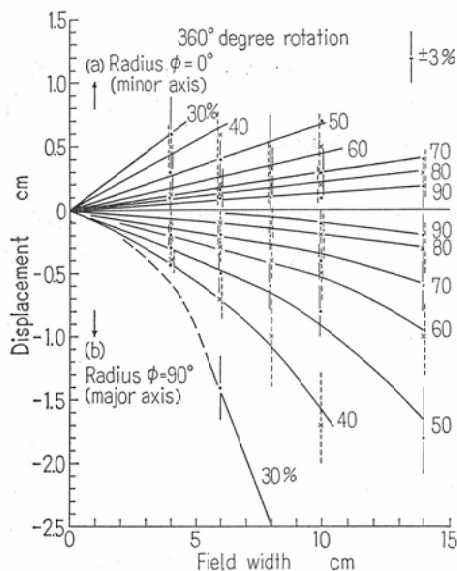
(c) 120度以下の振り照射

この範囲の振り角では45度軸上についてのみ補

Table 5. Displacement rule for correcting the isodose curves of a circular phantom to obtain the isodose curves for an oval phantom

| Radius ϕ | Angle of rotation | | | | | | |
|---------------|-------------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 60° | 90° | 120° | 180° | 240° | 300° | 360° |
| 0° | | | | Fig. 35 (a) | Fig. 35 (a) | Fig. 34 (a) | Fig. 34 (a) |
| 45° | Fig. 38 | Fig. 37 | Fig. 36 | | | | |
| 90° | | | | Fig. 34 (b) | Fig. 35 (b) | Fig. 34 (b) | Fig. 34 (b) |
| 135° | | | | | | | |
| 180° | | | | | | | Fig. 34 (a) |

Fig. 34. Differences between distances from center to the same percentage isodose curve in circular and oval phantoms, on the radii $\phi = 0^\circ$ and 90° for 360 degree rotation. This graph will be applicable to the radius of $\phi = 90^\circ$ for 180 degree rotation and the radii $\phi = 0^\circ$ and 90° for 300 degree rotation in practical dose planning.



正をすれば 5%以下の誤差で円柱形 phantom の線量分布を適用できる。

Fig. 36, 37および38にそれぞれ 120度, 90度および60度振り照射の45度軸上の偏移距離を示した。

以上の等線量曲線移動法により oval phantom の 0度, 45度, 90度, 135度および 180度軸上の線量分布を円柱形 phantom の分布から 5%以下の精度で求めることができる。他の軸については

Fig. 35. Differences between distances from center to the same percentage isodose curve in circular and oval phantoms, on the radii $\phi = 0^\circ$ and 90° for 240 degree rotation. This graph will be applicable to the radius of $\phi = 0^\circ$ for 180 degree rotation in practical dose planning.

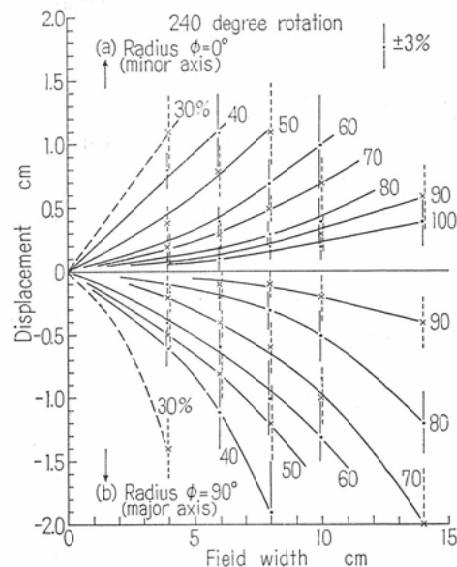


Fig. 41, 42, 43, 44, 45, 46および47に示す oval phantom の等線量曲線の形を参考にして画くことができるであろう。これらの図は0度軸から10度おきの軸上について電子計算機により計算した値を用いて作成したものである。

3. 半影の影響

Johns¹⁰⁾ は回転中心において1.15cmと4.05cmの幾何学的半影をもつ装置による回転照射の線量分布を比較して、大きい半影による線量分布は小さい半影によるものより高線量域で低目に、低線

Fig. 36. Differences between distances from center to the same percentage isodose curve in circular and oval phantoms, on the radius of $\phi = 45^\circ$ for 120 degree rotation

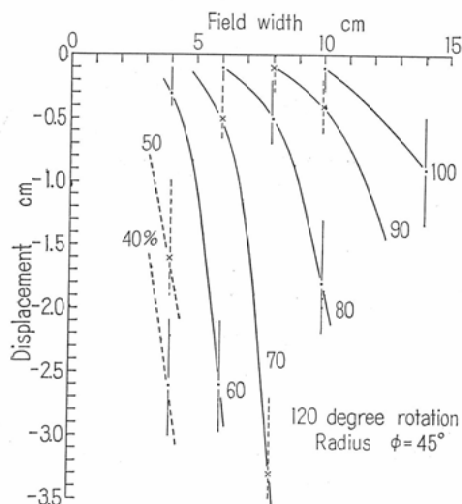
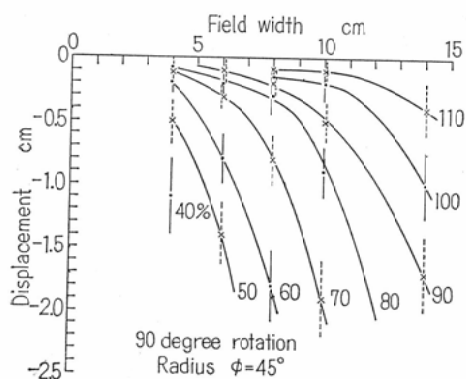


Fig. 37. Differences between distances from center to the same percentage isodose curve in circular and oval phantoms, on the radius of $\phi = 45^\circ$ for 90 degree rotation.



量域で著しく高くなることを指摘している。しかし、彼の計算した両者の照射野は回転中心で等しくないし、SADも異なる。我々¹⁵⁾はSAD75cmについて、回転中心における半影が0.5cmから1.5cmまで半影の影響は殆んどないことを発表し

Fig. 38. Differences between distances from center to the same percentage isodose curve in circular and oval phantoms on the radius of $\phi = 45^\circ$ for 60 degree rotation

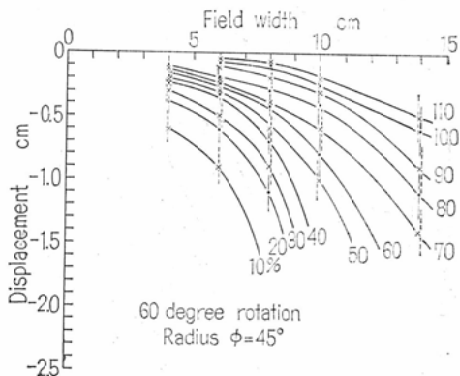
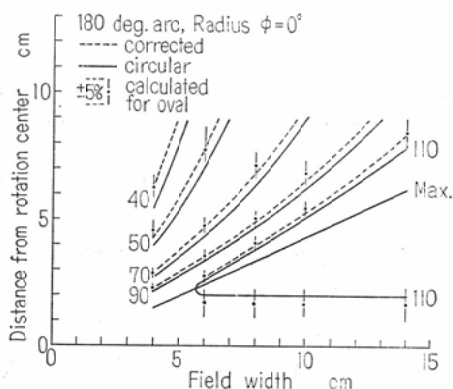


Fig. 39. Comparison of distance from center of 180 degree rotation to various percentage isodose curves along the radius $\phi = 0^\circ$ in a 20×30 cm oval phantom, calculated directly and that to the isodose curves corrected for a 30-cm diameter circular phantom by using the displacement rule shown in Table 5. Broken lines are corrected and dots are calculated values directly. Solid lines are values for a 30-cm diameter circular phantom.



たが、最近 Tsien 他¹⁹⁾も SAD 75cm において 1 cm と 2.5 cm の半影では 360 度回転に対しては半影の影響を無視できることを発表している。しかし SAD が短い 55 cm では半影の影響が表われるとしている。Johns の結果は SAD が異なる装置に

Fig. 40. Comparison of distance from center of 180 degree rotation to various percentage isodose curves along the radius $\phi = 90^\circ$ in a 20×30 cm oval phantom, calculated directly and that to the isodose curves corrected for a 30-cm diameter circular phantom by using the displacement rule shown in Table 5.

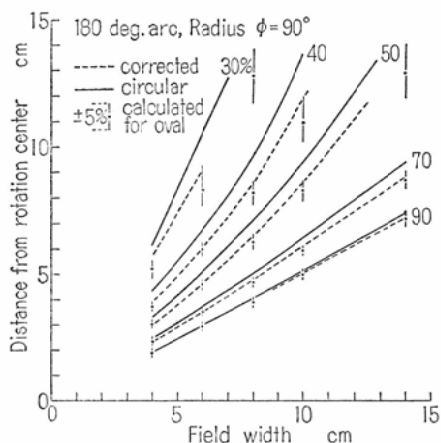


Fig. 41. Isodose curves for 60 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom. The solid lines are 50% and 90% isodose curves of maximum dose.

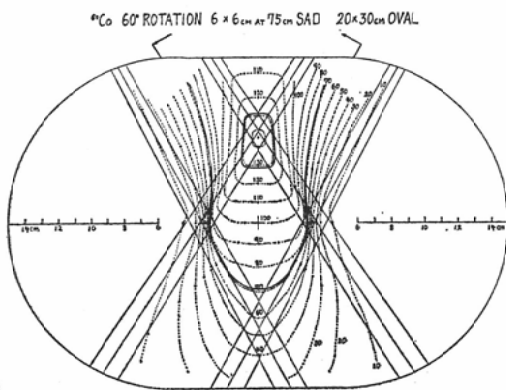


Fig. 42. Isodose curves for 90 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom

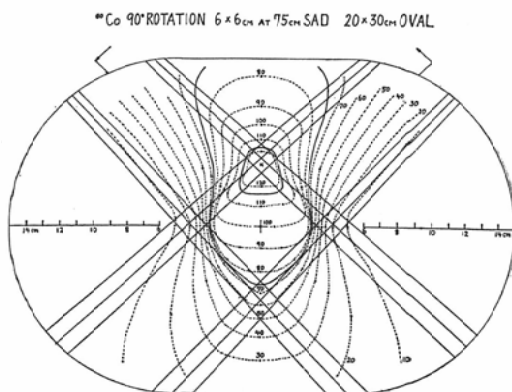


Fig. 43. Isodose curves for 120 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom

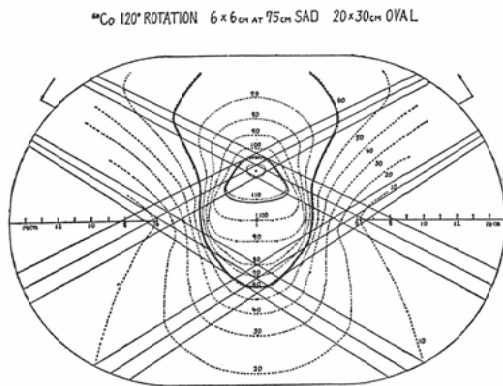


Fig. 44. Isodose curves for 180 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom

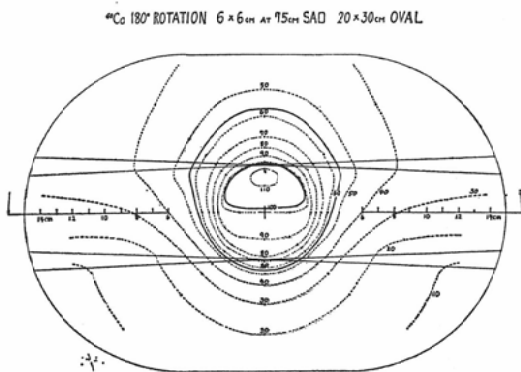


Fig. 45. Isodose curves for 240 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom

^{60}Co 240° ROTATION 6×6 cm at 75 cm SAD 20×30 cm OVAL

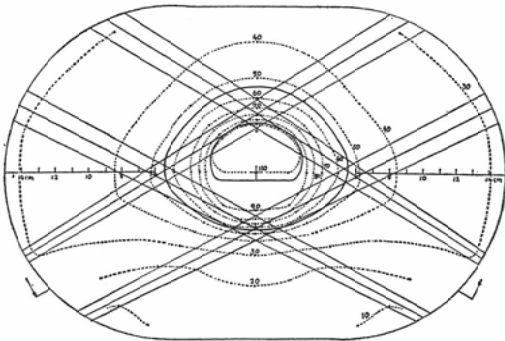
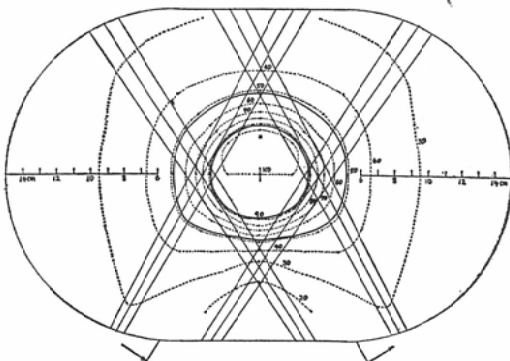


Fig. 46. Isodose curves for 300 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD in a 20×30 cm oval phantom

^{60}Co 300° ROTATION 6×6 cm at 75 cm SAD 20×30 cm OVAL



についての比較である上に、照射野が少し異なる条件で計算しているので、半影の影響が大きくでたものと考えられる。

ここではSAD 75cmにおいて、0.38, 1.38および3.15cmの3種の幾何学的半影をもつ装置による各種振り照射について、その線量分布に及ぼす半影の影響を検討した。

計算は30cm直径の円柱形 phantom について、照射野 10×10 cm により1度間隔の手計算で行った。用いた固定照射の標準の等線量曲線は Fig. 48の (a), (b) および (c) に示す形で、SA

Fig. 47. Isodose curves for 360 degree rotation with a field size 6×6 cm at 75 cm SAD. The left-hand distribution is for a 30-cm diameter circular phantom and the right-hand distribution is for a 20×30 cm oval phantom.

^{60}Co 360° ROTATION 6×6 cm at 75 cm SAD
30 cm CIRCULAR 20×30 cm OVAL

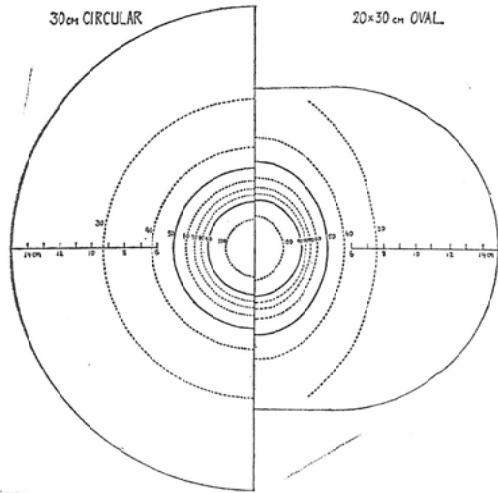
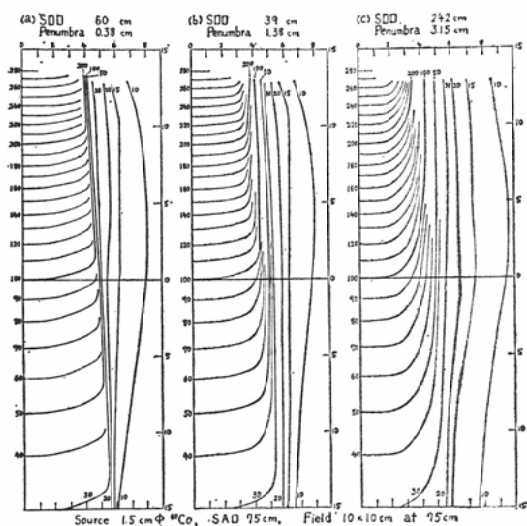


Fig. 48. Isodose curves for cobalt-60 with different penumbra



D 75cmにおける線量分布は Fig. 49に示す通りである。

計算結果の一部を Fig. 50 (a), (b) および (c) に示した。半影1.38cmを標準として他の半影との相違を比較する。

0度軸上ではすべての振り角について、半影0.38cmとで5%以下、半影3.15cmとで10%以下の相違である。

180度軸上でも回転中心から10cm以内の点においては、すべての振り角について半影0.38cmとで5%以下、半影3.15cmとで10%以下の相違である。

90度軸上では振り角が180度以上では、いずれ

Fig. 49. Comparison of transverse data of dose distributions at 15 cm depth for a field size 10×10 cm of cobalt-60 beams with different geometrical sizes of penumbra

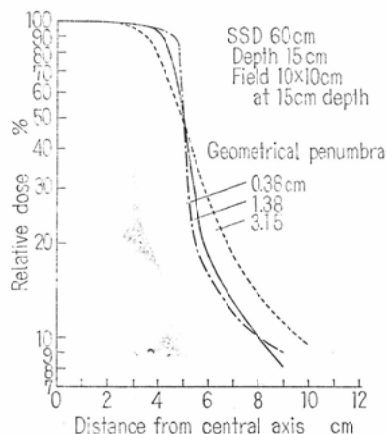
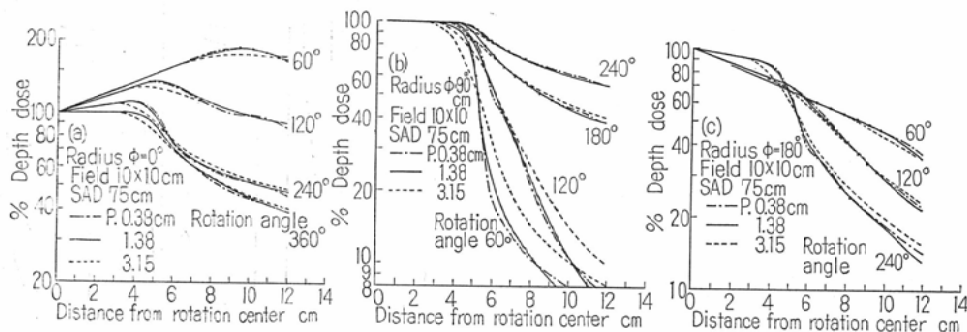
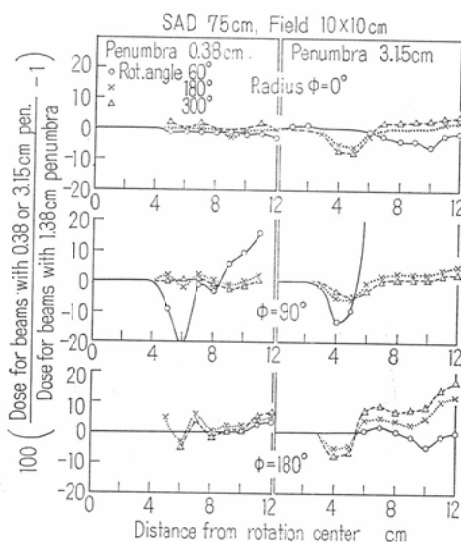


Fig. 50. Comparison of dose distributions of various degrees of rotation on the radii $\phi = 0^\circ, 90^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom for a field size 10×10 cm of cobalt 60 beams with different sizes of penumbra at a source axis distance of 75 cm



の半影でも5%以下の相違であるが、120度以下の振り角ではいずれの半影でも10%を超える。振り角が小さいほど誤差が大きくなり、60度振りでは20%以上の相違をきたす範囲がある。Fig. 51に横軸に回転中心からの距離をとって、半影が1.38 cmと他の2種類の半影との相違を示した。

Fig. 51. Percentage differences between doses for cobalt-60 beams with different sizes of penumbra at SAD 75 cm, on the radii $\phi = 0^\circ, 90^\circ$, and 180° of a 30-cm diameter circular phantom for a field size 10×10 cm with 60, 180, and 300 degrees of rotation plotted against the distance from rotation center



以上の結果より、半影1.38cmの線量分布を半影0.38cmに適用しても60度振子を除いてその誤差は5%以下である。半影3.15cmに適用しても180度以上の振子角に対しては10%以下の誤差である。

尚、注意しなければならないのは、回転中心の幾何学的照射野を等しくした場合に半影の影響を無視できるということである。半影の大きい装置では幾何学的照射野を小さくすることが不可能であるから、実際には半影の小さい装置の方が有利であることは勿論である。

結 論

^{60}Co 回転照射の線量分布を手計算および電子計算機により計算し、その結果を解析して日常簡単に使用できる線量分布の作成法を確立した。その方法は、

1. 使用する装置について固定照射の標準等線量曲線を大中小3種類以上の正方形照射野について測定し、これらを用いて Gregory の方法により30cm直径の円柱形 phantom の中心回転の線量分布を計算する。照射野は回転中心での幾何学的照射野をとる。

この際、すべての点について10%以下の線量誤差で計算するためには、5度間隔以下の多門照射として計算する必要がある。

円柱の表面が、曲面であることによる斜入射の補正は必ずしも必要でない。

計算は0, 45, 90, 135および180度の5軸について行うことが望ましいが、0, 90および180度の3軸でもよい。

振子角は60度毎に計算することが望ましい。

2. 各振子角についての計算結果から Fig. 8 および9に示す図を作成しておけば、これらの図を用いて任意の振子角および照射野について、上記の5軸上の線量分布を内挿法により求めることができる。

他の軸について、Fig. 17および18の方法を適用すれば、容易に等線量曲線を描くことができる。

3. oval phantom (長軸/短軸 = 1.5) については Table 5 の方法により上記の円柱形 phantom の線量分布を補正すれば、5%以下の誤差で線量分布が得られる。

4. 照射野の幅が等しければ長さが異なる矩形でも正方形照射野の線量分布を適用できる。

5. phantom の形が同じであれば、大きさの影響は考慮する必要がない。

6. 線源一回転中心間距離が75cm以上では、振子角が180度以上であれば、回転中心での幾何学的半影が0.4cmから3.0cmまで変わっても線量誤差は10%以下である。

このことからこの報告で計算した半影1.38cmの線量分布を上記の半影内の装置について適用できる。Table 2 が円柱形 phantom, Table 3 が20×30cm の oval phantom についての線量分布である。患者の断面が円に近い場合は Table 2 を、oval に近い場合は Table 3 を使用すれば5%程度の誤差で、中心回転の線量分布を求められるであろう。

尚、実際に照射した線量を求めるには、回転中心の線量を Tissue Air Ratio を用いて患者毎に計算し、上記の等線量曲線から算出すればよい。

ここでは phantom の中心回転について述べたが、回転中心が phantom の中心から偏移した場合あるいは切線振子照射のような偏心回転については続報で述べる。

この研究は厚生省がん研究助成金の援助により行われた。感謝の意を表す。

尚、この論文の一部は第23回日本医学放射線学会総会(昭39.5)において発表した。

文 献

- 1) Braestrup, C.B. and Mooney, R.T.: Physical aspects of rotating telecobalt equipment, Radiology 64 (1955), 17-28.
- 2) Castro, V., Soifer, C., and Quimby, E.H.: Calculation of dosage in vertical rotation therapy using standard isodose charts, Amer. J. Roentgenol. 73 (1955), 815-826.
- 3) Clinical dosimetry. ICRU Report 10 d. Handbook 87. National Bureau of standards, 1963, P. 18.
- 4) Craig, D.: Determination of dose in arc therapy by numerical integration, Brit. J. Radiol. 38 (1965), 285-287.
- 5) Gregory, C.: Dosage distribution in rotational cobalt 60 therapy. A simple method of computation, Brit. J. Radiol. 30 (1957), 538-543.

- 6) Haynes, R.H. and Froese, G.: Idealized body contours in rotation dosimetry, *Acta Radiol.* 48 (1957), 209—226.
- 7) 伊東, 尾内, 古田, 松本: ^{60}Co 遠隔照射装置による固定照射および回転照射の線量分布に関する研究, *通信医学* 13 (1961), 512—530.
- 8) Jacobson, L.E., Koeck, G.P., Hillsinger, W.R., and Schwarz, M.E.: Co-60 isodose curves for 240° rotation, showing displacement of the center of dose from the center of rotation, *Radiology* 77 (1961), 66—76.
- 9) Johns, H.E., Morrison, M.T., and Whitmore, G.F.: Dosage calculations for rotation therapy with special reference to cobalt 60, *Amer. J. Roentgenol.* 75 (1956), 1105—1116.
- 10) Johns, H.E.: Physical aspects of rotation therapy, *Amer. J. Roentgenol.* 79 (1958), 373—381.
- 11) Jones, D.E.A., Gregory, C., and Birchall, I.: Dosage distribution in rotational cobalt 60 therapy, *Brit. J. Radiol.* 29 (1956), 196—201.
- 12) MacDonald, J.C.: Simplified techniques in the employment of a rotational cobalt-60 beam therapy unit, *Amer. J. Roentgenol.* 86 (1961), 730—736.
- 13) 宮川, 森榮, 田中: コバルト60線による遠隔照射に於ける空間的線量分布に就いて(一門照射並びに回転照射に就て) *日本医放会誌* 14 (1954), 516—528.
- 14) 岡島: ^{60}Co 遠隔照射法の研究, ^{60}Co 線量分布の測定, *日本医放会誌* 24 (1964), 174—179.
- 15) 尾内, 都丸, 入船: ^{60}Co 運動照射の線量分布を簡単に作成する方法に関する研究, *日本医放会誌* 24 (1964), 855 (抄).
- 16) Onai, Y., Irifune, T., Tomaru, T., and Konishi, K.: Calculation of dose distributions in radiation therapy by a digital computer. I. The computation of dose distributions in a homogeneous body for cobalt 60 γ -rays and 4.3 MV X-rays, *Nippon. Acta Radiol.* 27 (1967), 653—666.
- 17) 尾内, 都丸, 入船: 最小の実測値を用いて等線量曲線を作成する方法に関する考察, 第1報, 第2報, 第3報. *日本医放会誌* 27 (1967), 1323—1346; 1480—1492.
- 18) Quimby, E.H., and Cohen, B.S.: Effects of radiation quality, target-axis distance, and field size on dose distribution in rotation therapy, *Amer. J. Roentgenol.* 78 (1957), 819—830.
- 19) Tsien, K.C., Cunningham, J.R., and Wright, D.J.: Effects of different parameters on dose distributions in cobalt 60 planar rotation, *Acta Radiol. Ther. Phys. Biol.* 4 (1966), 129—154.
- 20) 梅垣: 運動照射法の線量分布. *日本医放会誌* 20 (1960), 2191—2209.
- 21) Van de Geijn, J.: Dose distribution in moving beam cobalt 60 teletherapy, a generalised calculation method, *Brit. J. Radiol.* 36 (1963), 879—885.
- 22) Wheatley, B.M.: A method of dose calculation with applications to moving field therapy, *Brit. J. Radiol.* 28 (1955), 566—573.
- 23) Witcofski, R. L., and Meschan, I.: An analysis of isodose patterns obtained with 180 degree rotation of a telecobalt unit, 60 cm source to center of rotation distance, *Amer. J. Roentgenol.* 85 (1961), 919—925.