

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2報 Telecobaltの斜入射照射の線量分布
Author(s)	尾内, 能夫; 入船, 寅二; 都丸, 禎三
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1968, 27(10), p. 1339-1346
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18203">https://hdl.handle.net/11094/18203</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# 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2報 Telecobalt の斜入射照射の線量分布

癌研究会癌研究所第6研究室(物理)

尾内能夫 入船寅二 都丸禎三

(昭和42年3月30日受付)

Considerations on Methods of Constructing Isodose Curves from Minimum Experimental Data  
Report II. Dose Distribution for Oblique Incidence in Cobalt Teletherapy

by

Yoshio Onai, Toraji Irifune and Teizo Tomaru  
Department of Physics, Cancer Institute, Tokyo

Methods of deriving an isodose curve for oblique incidence from normal isodose curve have been reported by several workers. These are:

1. the effective SSD method
2. the effective attenuation method
  - (i)  $\text{Exp}(\pm\bar{\mu}h)$  method
  - (ii) the method by correction factor per unit length
  - (iii) the approximate formula by Murison and Hughes
  - (iv) the tissue air ratio method
3. the isodose curve shift method

In these methods, the isodose curve shift method may be the simplest one. According to the formula by Murison and Hughes, the oblique isodose angle  $\varphi$  shown in Fig. 1 (b) depends on SSD, the effective attenuation coefficient and depth, besides the angle of incidence. It will be necessary, therefore, to vary the distance of shifting the normal isodose curve with these conditions.

In this report considerations on this problem were made experimentally and theoretically.

From the results of comparing the values obtained by three methods, which are the effective SSD method, the Murison and Hughes' formula and the tissue air ratio method, with measured values, it was found that the values by Murison and Hughes' formula, in which the effective attenuation coefficient calculated for each SSD, field size and depth was used as shown in Fig. 2, gave the best agreement with measured values (Figs. 3—6). Consequently, by analysing the oblique isodose angle calculated by this formula it will be possible to obtain the reasonable shift method.

The results of this analysis are shown in Figs. 7—13, comparing with the shift methods of  $1/3h$ ,  $1/2h$  and  $2/3h$ .

In clinical practice it may be recommended to use "the shift" indicated in Table 1 to correct for the oblique incidence.

## I. 緒 言

遠隔照射治療においては、線束が患者の表面に斜めに入射する、いわゆる斜入射照射となる場合がしばしば起る。この斜入射照射の線量分布を実測により求めることは容易でない。 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線および高エネルギーX線では中心軸線量が斜入射角45度ないしは60度まで変らない<sup>1)2)3)</sup>ので標準(即ち、斜入射角0度)の線量分布を基にして計算により斜入射照射の線量分布を求める方法が発表されている。

即ち、

(1) 実効SSD法<sup>1)2)4)</sup>

(2) 実効吸収係数法

(i) Exp ( $\pm\mu_a h$ ) 法<sup>1)2)</sup>

(ii) cm当りの補正係数による方法<sup>5)</sup>

$^{137}\text{Cs}$  6.0%

$^{60}\text{Co}$  4.5%

4 MV X線 4.0%

25 MV X線 2.0%

(iii) Murison-Hughes の近似式<sup>2)</sup>

$$\cot\theta = \left[ \frac{2}{\mu_a(f+d)} + 1 \right] \cot\theta$$

但し、

$\theta$ : 斜入射角

$\varphi$ : 等線量曲線の傾斜角

$\mu_a$ : 実効吸収係数 f: SSD

d: 深さ

(iv) Tissue-Air Ratio による方法<sup>3)</sup>

(3) 等線量曲線移動法<sup>5)6)7)8)</sup>

その他数式による解析もいくつか発表されている<sup>9)10)</sup>。

(3)の方法は線束が通過する組織の厚さの差  $h$  に対して、経験的に標準の等線量曲線を中心軸に平行に移動させる方法で、その移動距離は $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線については浅い所で  $1/2 h$ 、深い所で  $2/3 h$ <sup>6)</sup>、4 MV X線については  $1/2 h$ <sup>5)</sup>、8 MV X線については  $1/2 h$ <sup>7)</sup>、又  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線と 250KV X線 (HVL 2.7 mm Cu) については  $2/3 h$ <sup>8)</sup> という報告もある。

これらの中で最も簡単な方法は (3)の等線量曲

線移動法であるが、(2) (iii) の Murison-Hughes の近似式によると、斜入射照射の等線量曲線の傾斜角 ( $\varphi$ ) は SSD ( $f$ )、実効吸収係数 ( $\mu_a$ 、線質、照射野および深さに関係する)、および深さ ( $d$ ) によつて変るから、それらによつて等線量曲線の移動距離を変えないと精度が悪くなると考えられる。 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線についてこの点を検討し、臨床的に十分な精度をもつ等線量曲線移動法を確立する。

## II. 方 法

計算値と実測値を比較する。

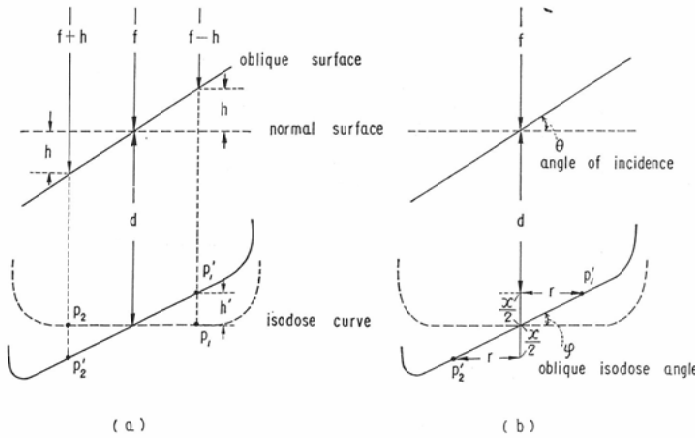
### 1. 測定方法

線量計は東芝製 thimble chamber (内径 4 mm, 長さ 18 mm) を用い、Acryl 製水 phantom (40 × 40 × 60 cm) 内にて、同社製 isodose plotter により標準および斜入射の線量分布を描画させた。測定は SSD 25 cm について幾何学的照射野 5.6 × 7.0 cm, 斜入射角 45 度, SSD 35 cm について 6.2 × 7.4 cm および 10.2 × 10.2 cm, 斜入射角 30 度, SSD 60 cm について 6 × 6 cm, 10 × 10 cm および 15 × 15 cm, 斜入射角各 30 度, 45 度について行つた。照射装置は SSD 25 cm および 35 cm については東芝 RI-148 型 (線源 0.8 cm $\phi$ , SSD 20.4 cm), SSD 60 cm については東芝 RI-140 型 (線源 2 cm $\phi$ , SSD 35 cm) を使用した。

### 2. 計算方法

実効 SSD 法, Murison-Hughes の近似式, 線 Tissue-Air Ratio 法, および等線量曲線移動法の 4 方法を SSD 25, 35, 50, 60, 80 および 100 cm について計算した。SSD 25 cm および 35 cm については幾何学的照射野 4 × 4, 6 × 6, 8 × 8 および 10 × 10 cm, 深さ 10 cm まで, SSD 50 cm 以上は更に照射野 12 × 12, 15 × 15 cm, 深さ 20 cm まで行つた。又計算の基礎となる深部量百分率は SSD 50 cm 以上のものについては Brit. J. Radiol. Suppl. 10<sup>11)</sup> の値を使用し, SSD 25 および 35 cm については第 1 報<sup>12)</sup>で報告した SSD 50 cm を標準として

Fig. 1 Diagram showing symbols used in dosage calculation for oblique incidence.



$F^{1-m(d)}$  法<sup>13)</sup>により計算した値を使用した。

(1) 実効SSD法

Fig. 1 (a) において点  $P_1$  の深部量百分率  $D'_{d+h}$  は深さ  $d+h$  の深部量百分率  $D_{d+h}$  がSSD  $f$  から  $f-h$  に変わったものと考え、距離の逆自乗則を適用して

$$D'_{d+h} = D_{d+h} \left( \frac{f}{f-h} \right)^2$$

により求められる。(点  $P_2$  については  $h$  の符号が逆になる。) 等線量曲線の移動距離  $P_1P_1' = h'$  はSSD  $f$  についての深部量百分率が  $D_d$  から  $D'_{d+h}$  となるまでの距離となる。

(2) Murison-Hughes の近似式

Fig. 1 (b) において線束が中心軸に平行に入射したと仮定すると中心軸から等距離 ( $r$ ) にある点  $P_1', P_2'$  の線量の比  $R$  は、 $\mu_a$  を実効吸収係数とすると

$$R = \left( \frac{f+d}{f+d+x} \right)^2 \frac{e^{-\mu_a(d-r \tan \theta + x)}}{e^{-\mu_a(d+r \tan \theta)}}$$

で表わされる。

$$2r = x \cot \phi$$

より

$$R = \left( 1 + \frac{x}{f+d} \right)^{-2} e^{\mu_a x (\cot \phi \tan \theta - 1)}$$

$x \ll f+d$  であるから  $R$  を巾級数に展開して2次以下の項を無視すると

$$R = 1 + \mu_a x (\cot \phi \tan \theta - 1) - \frac{2x}{f+d}$$

となる。 $R = 1$  とおくと、斜入射角  $\theta$  における等線量曲線の傾斜角  $\phi$  は

$$\cot \phi = \left[ \frac{2}{\mu_a(f+d)} + 1 \right] \cot \theta$$

により与えられる。

実効吸収係数  $\mu_a$  は各SSD, 照射野および深部について深部量百分率

$$D_d = 100 \left( \frac{f+0.5}{f+d} \right)^2 e^{-\mu_a(d-0.5)}$$

より計算した値を使用した。Fig. 2 にこれにより計算したSSD 25cmと50cmの実効吸収係数を示す。

(3) Tissue-Air Ratio 法

深さ  $d$ , その位置での照射野  $A$  の Tissue-air ratio を  $T(A, d)$  とすると、点  $P_1$  の標準と斜入射との場合の線量の比  $D'/D$  は

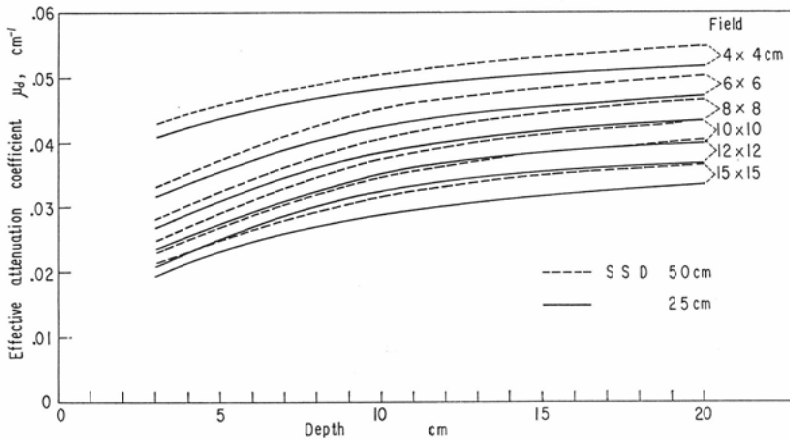
$$\frac{D'}{D} = \frac{T(A, d+h)}{T(A, d)}$$

となり、これより移動距離  $P_1P_1'$  を求めることができる。Tissue-air ratio は Brit. J. Radiol. Suppl. 10の値を使用した。

(4) 等線量曲線移動法は  $h' = 1/3h, 1/2h$  および  $2/3h$  について行つた。

計算結果はすべて等線量曲線の傾斜角 ( $\phi$ ) で表わした。又許容される線量の誤差を幾何学的照射野の端で  $\pm 5\%$  としたが、同じ  $\pm 5\%$  の線量誤差でも移動距離はSSD, 照射野および深部によって4.5mmから9mm変化する。ここでは照射野の

Fig. 2 Variation of  $\mu_d$  with field size and depth at SSD 25cm and 50cm.

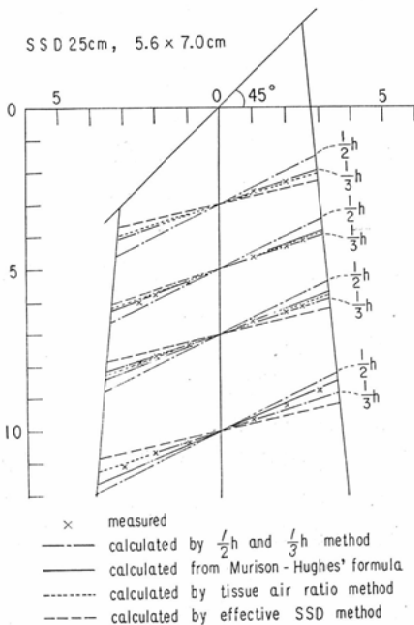


端で5mmを±5%の許容誤差とした。

III. 結果

各計算法の結果と実測値の比較の例をFig. 3, 4, 5および6に示す。これらは比較しやすいように標準の等線量曲線を中心軸と垂直な直線として表わしている。

Fig. 3. Comparison of calculated and measured values of oblique incidence isodose curve. SSD 25 cm, field 5.6×7.0 cm, angle of incidence 45°.



等線量曲線移動法以外の計算法は各SSD, 照射野および深部について実測値と±5%の誤差範囲で一致している。特に Murison-Hughes の近似式は実効吸収係数  $\mu_d$  を各SSD, 照射野および深部について変えて使用しているので近似がよい。Tissue-air ratio 法もそれと殆んど差がない。

Fig. 4 Comparison of calculated and measured values of oblique incidence isodose curve. SSD 35 cm, field 10.2×10.2 cm, angle of incidence 30°.

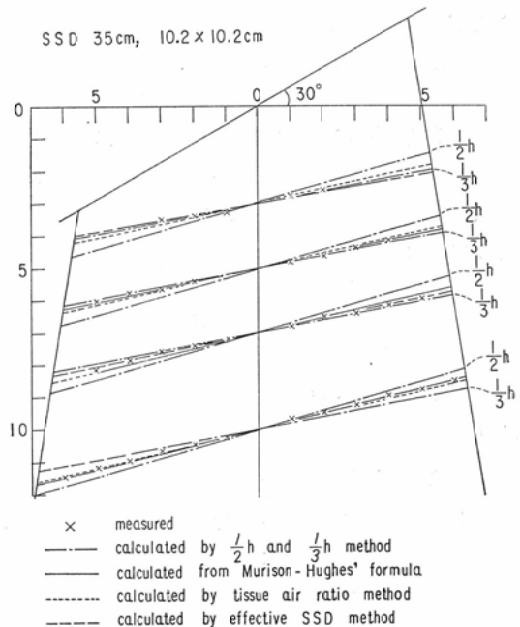


Fig. 5 Comparison of calculated and measured values of oblique incidence isodose curve. SSD 60 cm, field 10×10 cm, angle of incidence 30°

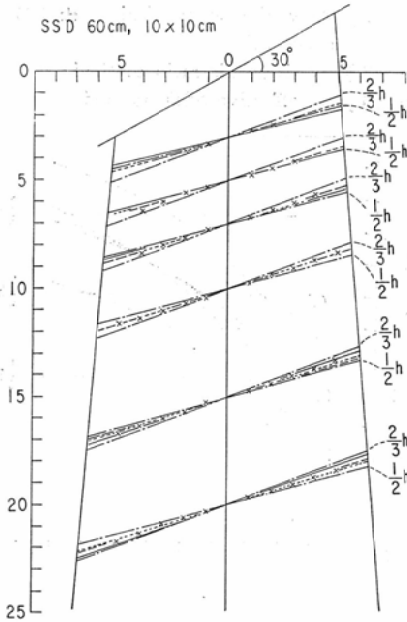
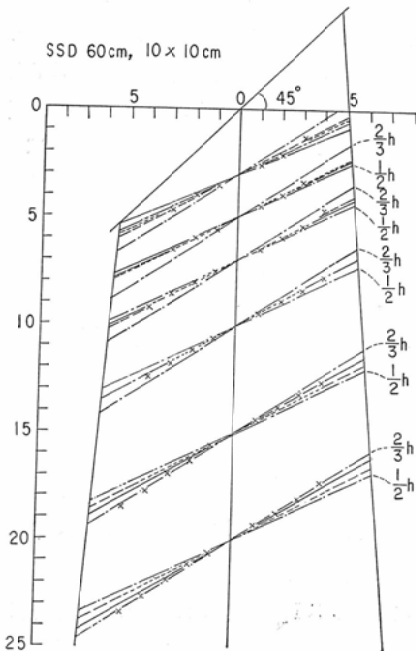


Fig. 6 Comparison of calculated and measured values of oblique incidence isodose curve. SSD 60cm, field 10×10cm, angle of incidence 45°



実効SSD法は小SSDの深い所で近似が悪くなるが、これはFarr<sup>14)</sup>, Garrett等<sup>6)</sup>が指摘しているように深さによる逆自乗の補正がなされていないため、これに $\{(f+d+h)/(f+d)\}^2$ の補正をすれば、実効吸収係数法と殆んど同じ結果となる。

等線量曲線移動法は各SSD, 照射野および深部について移動距離を変えないと近似が悪くなる。

この点について Murison-Hughes の近似式を用いて検討を加える。

IV. 等線量曲線移動法の考察

1. 補正を必要としない斜入射角

5%の線量誤差を許容すれば補正を必要としない斜入射角を Murison-Hughes の近似式により計算した。

Fig. 7 The angle of incidence for which no correction is required to normal isodose curve, provided that the error of 5% is allowed.

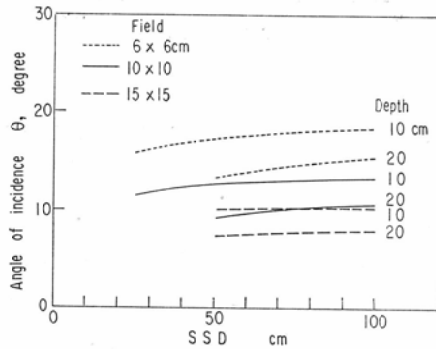


Fig. 7にSSDを横軸にとつて大中小3種の照射野について、10cmと20cmの深部で補正を必要としない斜入射角(縦軸)を示した。

これにより斜入射角が10度以下であれば、照射野10×10cmまではSSDおよび深さによらず又15×15cmは10cm深部まで等線量曲線の補正は必要でないと云える。

2. 斜入射角30度

Fig. 8, 9および10に斜入射角30度, 深部10cmについて、それぞれ照射野6×6cm, 10×10cmおよび15×15cmの場合のSSDと等線量曲線の傾斜角の関係を種々の計算法について示した。

Fig. 8 Variation of oblique isodose angle with SSD for an angle of incidence  $30^\circ$ , field  $6 \times 6$  cm, depth 10cm.

curve (1) from Murison and Hughes' formula.  
 curves (1') show the error limits  $\pm 5\%$  for curve (1)  
 curve (2) by tissue air ratio method.  
 curve (3) by effective SSD method.

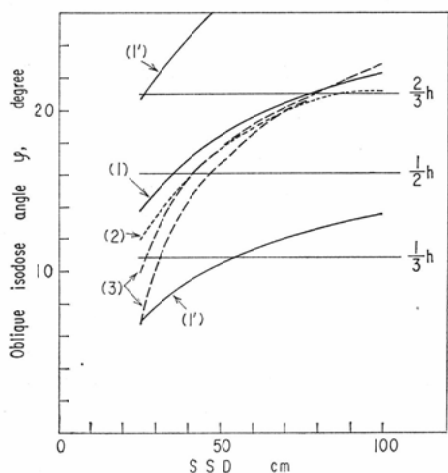


Fig. 9 Variation of oblique isodose angle with SSD for an angle of incidence  $30^\circ$  field  $10 \times 10$  cm, depth 10cm.

curve (1) from Murison and Hughes' formula  
 curves (1') show the error limits  $\pm 5\%$  for curve (1)  
 curve (2) by tissue air ratio method  
 curve (3) by effective SSD method.

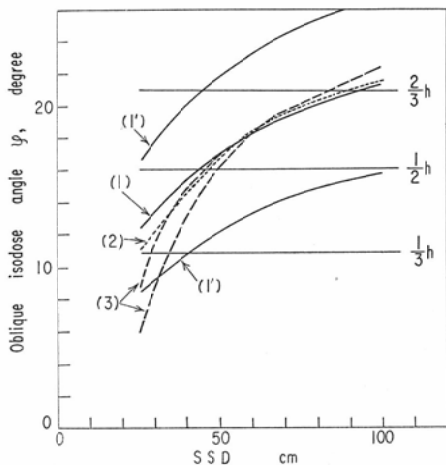
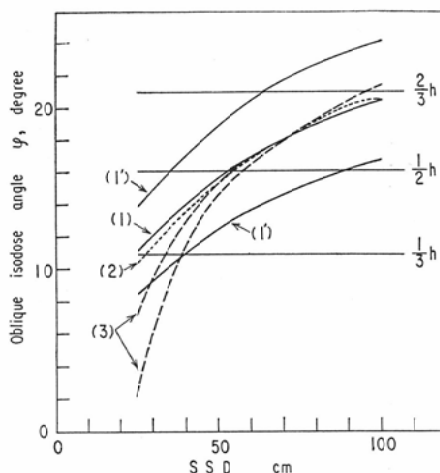


Fig. 10. Variation of oblique isodose angle with SSD for an angle of incidence  $30^\circ$ , field  $15 \times 15$  cm, depth 10cm.

curve (1) from Murison and Hughes' formula.  
 curves (1') show the error limits  $\pm 5\%$  for curve (1)  
 curve (2) by tissue air ratio method  
 curve (3) by effective SSD method



SSDが大きくなるにつれて  $1/3h$ ,  $1/2h$ ,  $2/3h$  と移動距離も大きくなるが、曲線 (1), (2) および  $1/2h$  は Murison-Hughes の近似式による値の  $\pm 5\%$  の範囲、即ち 2本の曲線 (1') の間に入っている。従つて  $\pm 5\%$  の誤差を許容すれば SSD および照射野 (実際には深さにも) に関係なく  $1/2h$  法でよい、もつと正確に移動したい場合には次に述べる斜入射角  $45^\circ$  の場合の移動法を採用すればよい。

3. 斜入射角  $45^\circ$

Fig.11, 12 および 13 に Murison-Hughes の近似式により計算した等線量曲線の傾斜角を、種々の深さについて、その深さでの正方形照射野 (矩形の場合には equivalent area) の軸幅を横軸にとつて示した。

一般に等線量曲線の移動距離は照射野が大きいほど小さくなり、SSD が大きいほど、又深さが大きいほど大きくなつていく。

Fig. 11 は SSD 25cm と 35cm について深部 10cm まで示したもので  $1/3h$  の曲線の  $\pm 5\%$  の線量誤差の

Fig. 11 Variation of oblique isodose angle calculated from Murison and Hughes' formula with field size and depth for SSD 25cm and 35cm, showing the respective error limits  $\pm 5\%$  for the shift  $\frac{1}{3}h$  and  $\frac{1}{2}h$ . Angle of incidence  $45^\circ$

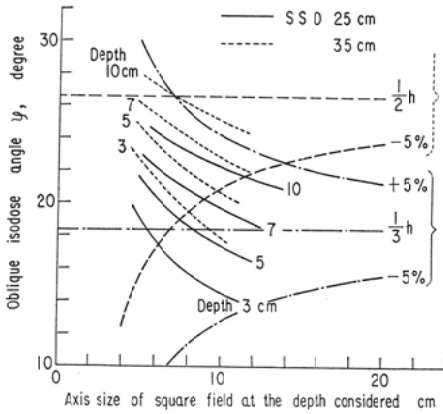
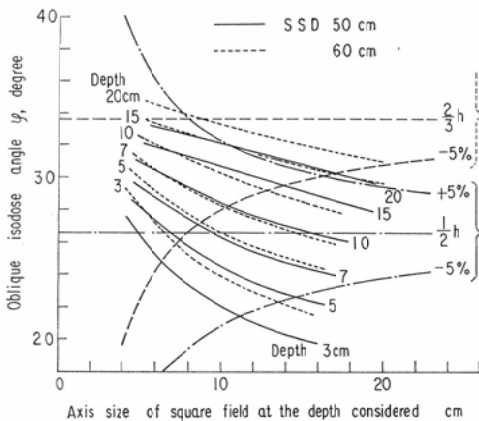


Fig. 12 Variation of oblique isodose angle calculated from Murison and Hughes' formula with field size and depth for SSD 50cm and 60cm, showing the respective error limits  $\pm 5\%$  for the shift  $\frac{1}{2}h$  and  $\frac{2}{3}h$ . Angle of incidence  $45^\circ$



範囲にすべての曲線が入っている。小照射野では  $\frac{1}{2}h$  法でも  $\pm 5\%$  の誤差範囲である。

Fig. 12はSSD50cmと60cmの場合で、15cm深部までは大部分の場合  $\frac{1}{2}h$  法、15cm深部以上および小照射野では、 $\frac{2}{3}h$  法で線量誤差は  $\pm 5\%$  以内である。

Fig. 13はSSD80cmと100cmの場合で、深い所と浅い所の中照射野までは  $\frac{2}{3}h$  法、浅い所の、大

Fig. 13 Variation of oblique isodose angle calculated from Murison and Hughes' formula with field size and depth for SSD 80cm and 100cm, showing the respective error limits  $\pm 5\%$  for the shift  $\frac{1}{3}h$  and  $\frac{2}{3}h$ . Angle of incidence  $45^\circ$ .

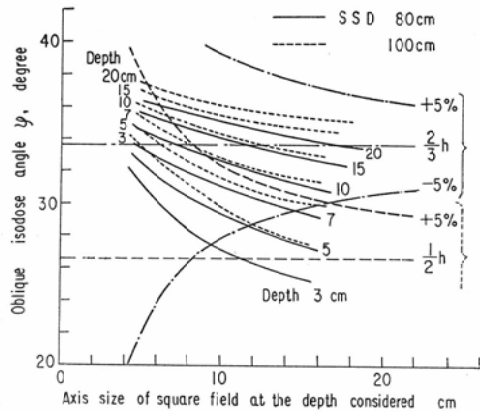


Table 1. "The shift" which should be applied to normal isodose curve to correct for oblique incidence

SSD cm	Depth cm	Angle of incidence		
		0~45°	0~30°	0~10°
"The shift"				
25 35	up to 10	$\frac{1}{3}h$		
50 60	up to 15	$\frac{1}{2}h$	$\frac{1}{2}h$	0
80 100	up to 20	$\frac{2}{3}h$		

h is the difference in thickness between the normal to the axis of the beam and the real surface, measured along the ray passing through the point considered.

照射野では  $\frac{1}{2}h$  法で  $\pm 5\%$  以内の誤差である。

以上を総括すると Table 1 に示す結果となる。即ち、45度以下の斜入射角ではそれぞれのSSDおよび深部に対応して  $\frac{1}{3}h$ ,  $\frac{1}{2}h$  および  $\frac{2}{3}h$  法を適用し、30度以下では  $\frac{1}{2}h$  法をすべてに適用しても、又10度以下では補正を行わなくても  $\pm 5\%$  以上の線量誤差はない。

V. 結 論

斜入射照射の線量補正に関する種々の方法を検



討した結果、等線量曲線移動法が最も簡単であつて、Table 1の方法で標準の等線量曲線を移動すれば、臨床的に十分な精度で斜入射照射の等線量曲線を容易に作成することができる。

本研究は厚生省がん研究助成金（がんの放射線治療技術の開発に関する研究。班長塚本憲甫）によつて行われたものである。

尚、本報の要旨は第24回日本医学放射線学会総会（1965. 4）において発表した。

#### 文 献

- 1) Greene, D. and Tranter, F.W.: Dosage data for 4,000,000 volt x rays. *Brit. J. Radiol.* 29, 193—196, 1956.
- 2) Murison, C.A. and Hughes, H.A.: Physical measurement on a 4-MeV linear accelerator. *Radiology* 68, 367—378, 1957.
- 3) Du Sault, L.A. and Legare, J.M.: Dosage calculations for oblique beams of radiation. *Radiology* 80, 856—862, 1963.
- 4) Day, M.J. and Farmer, F.T.: The 4 MeV linear accelerator at Newcastle Upon Tyne. *Brit. J. Radiol.* 31, 669—682, 1958.
- 5) ICRU Report 10d. *Clinical Dosimetry*. NBS Handbook 87, 1962.
- 6) Garrett, J.H. and Jones, D.E.A.: Obliquity problem in megavoltage therapy. *Brit. J.*

- Radiol.* 35, 739—742, 1962.
- 7) Newbery, G.R. and Bewley, D.K.: The performance of the medical research council 8 MeV linear accelerator. *Brit. J. Radiol.* 28, 241—251, 1955.
- 8) van de Gijn, J.: Compensation for the effect of oblique incidence of cobalt 60 radiation beams in teletherapy. *Brit. J. Radiol.* 36, 56—62, 1963.
- 9) Sundbom, L.: Individually designed filters in cobalt 60 teletherapy. *Acta Radiol.* 2, 189—208, 1964.
- 10) Dutreix, A. and Dutreix, J.: Construction des isodoses pour les surfaces obliques et irrégulières. *J. Radiol. Eléctrol.* 43, 671—673, 1962.
- 11) Depth dose tables for use in radiotherapy. *Brit. J. Radiol. Suppl.* 10, 1961.
- 12) 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 *Telecolt* の標準等線量曲線. *日本医放会誌*, 27, 1968.
- 13) Pfalzner, P.M.: A general formula for axial depth dose derived from an empirical power law for tumor-air ratios. *Radiol.* 75, 438—445, 1960.
- 14) Farr, R.F.: Obliquity correction by isodose chart shift. *Brit. J. Radiol.* 36, 699—700, 1963.