



Title	等時間曲線による原体照射機構の検討
Author(s)	植田, 俊男; 木村, 千明
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1974, 34(12), p. 889-897
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15058
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

等時間曲線による原体照射機構の検討

愛知県がんセンター放射線治療部（部長：森田皓三）

植田俊男 木村千明

（昭和49年7月15日受付）

Comparison of two kinds of the regulating mechanism in
conformation technique using isotime-curve method

By

T. Ueda and C. Kimura

Department of Radiation Therapy, Aichi Cancer Center

(Director: K. Morita)

Research Code No.: 601

Key Words: Conformation radiotherapy, Dose distribution, Isotime-curve

Conformation radiotherapy is a improved technique approaching to the homogeneous irradiation fo irregular tumor volume with the specially designed moving diaphragms. Its history and principle have already described in detail. In this technique, it requires to move each side. There are two methods to generate the signal for diaphragm movement. The one is called the point contact method and the other the flat contact method.

In this paper, both methods were compared in terms of the isotime curve and the actual isodose curve fitness to the expected target area.

At a high dose region, measured isodose curves agreed well with isotime curves, delineation of dose distribution were easily obtained with isotime curves for clinical purpose.

In the point contact method, the larger the ratio of the maximum diameter to the minimum one of the irregular tumor shape, the larger the difference between the expected target area and the high dose region. The 90% dose region was always smaller than the expected target area. Meanwhile in the flat contact method, the 90% region was always slightly larger than the expected target region.

It can be concluded that the flat contact method is superior to the point contact method, because the 90% dose region always coincides with the expected target area.

I 緒 言

原体照射法は運動照射に可変絞り機構を組合せる事により、照射目的とする病巣の形に近い線巢を作る放射線治療技術であり、臨床的にも応用されて来ている。3)4)11)12)14)

この照射法に於て、形成させようとする線巢の形は、患者の廻転横断写真等から得られた照射しようとする病巣の横断面の形を基にして決定される。この予定した線巢の形が原体照射の可変絞り機構に与える情報の源となる。線巢の形はベーク

ライト等のカム、或はダイヤル目盛などを設定する事により、その大きさが電氣的或は機械的手段を通じて可変絞機構に伝わり、線源の廻転中心面に於てその形が照射野の大きさとして再現され、線源の廻転によつて予定の線巢を形成する。

このあらかじめ定められた線巢の形を照射野の大きさに再現させる過程に於て、装置によつて機構上の差があり、この差によつて得られる線量分布の差について詳細に検討された報告は未だ無い。本論文に於ては原体照射の機構上の差を、幾何学的解析と線量分布によつて検討した結果について述べようと思う。

II 方 法

(1) 装置：装置は東芝製医療用直線加速器 LMR-13を使用した。装置の焦点からコリメーターの端までの距離は52cm、廻転中心までは100cmである。本装置には多分割絞りを使用した原体照射機構が取り付けられている。原体照射の機構についてはすでに詳細な報告がなされて居り³⁾⁴⁾⁶⁾、その一例をあげれば、図1に示す様な病巢の横断面の形に切抜いたカムを信号発生盤にとりつける事によつて、絞りはそのカムからの信号に応じて動作する様になつている⁴⁾⁶⁾。このカムの形から信号を取り出すために図2に示す様なA、B、二種の方法がある。本装置はレバーの簡単な取替えによつて、何れの方法によつても絞りの動作を行う事が可能な機構となつている。

Aの方法はカムの外周を追従するレバーが点状に接して居り、Bは接線となつている。以後Aの方法を接点方式、Bを接線方式と呼ぶ事にする。

同じ型のカムを信号発生盤にとりつけた時、接点方式によつて絞機構へ伝達される信号の大きさは距離的に図示の $r_1 + r_2 = R_p$ である。従つて廻転中心に於ける照射野の幅は R_p であり、図の計画した線巢の斜線で示した部分はこの場合照射野より外れる。即ち接点方式では予定した形より高線量域が狭くなる事が予想される。

接線方式では図示の如く、照射野幅は $r_3 + r_4 = R_t$ であり、接点方式の照射野幅より広い。しかも予定した病巢形を常に含むように照射野幅が変

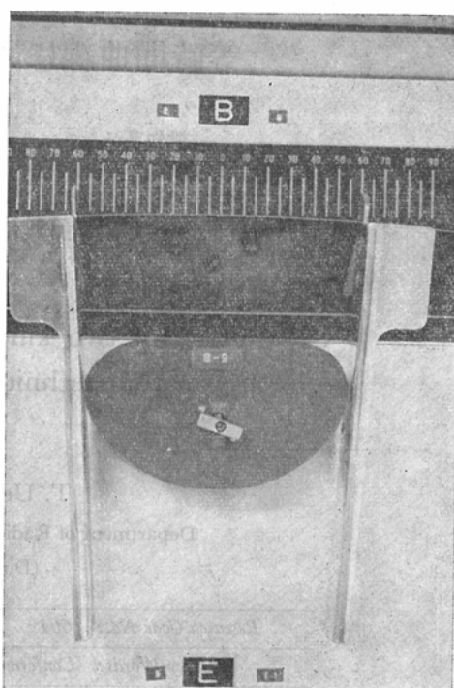


Fig. 1 A cam which is set in the signal generator of the conformation mechanism system.

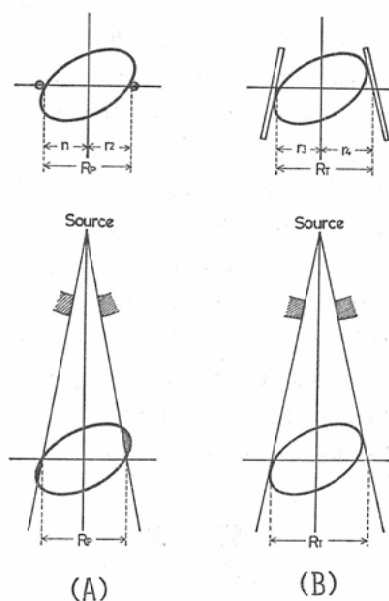


Fig. 2 Beam shaping in conformation system by two kinds of touching methods of levers to the cam.

化するため、予定した形より高線量域は広くなる事が予想される。

この予想される両方式の差を更に明らかにするため以下に述べる実験と解析を行つた。

(2) 等線量曲線の測定

線量分布の測定はフィルム法により、富士グラフィックノーマルを使用した。ファントームはポリスチレン板を積層したものを使用し、その断面はHynessの使用したoval形²⁾の長径30cm、短径20cmのものである。その厚みは6cmとした⁹⁾。実測をフィルム法で行つたのは、線巢の形が比較的複雑であり、これらの細かい部分の分布を容易に知る事が出来る事、又50%領域までを問題にするのであれば高線量域での誤差は大きくない事が報告されているからである⁹⁾。

予定の線巢即ちカムの形はその長径 a を8cm、短径 b は5.3cm、4.0cm、の二種の楕円形とした。この場合長径と短径の比 a/b は1.5、2.0となる。

この二種のカムを使用し、8 MeV X線により、接点方式と接線方式による原体照射を行い線量分布を測定した。ファントームの位置はその中心が線源の廻転中心と一致する様に設定し、カムの中心も線源の廻転中心と一致させた。

(3) 等時間曲線の計算

等時間曲線は被照射体中に於て、放射線によって照射される時間が同一な割合になる点を結んだ曲線、即ち照射の時間的分布曲線であり、線量分布の評価に一部用いられた報告がある¹³⁾。原体照射についてもこの方法をあてはめて見た。図3は接線方式の原体照射法における等時間曲線の考え方である。

図に於て、点Oが線源の廻転中心で、実線で示した任意の形の横断面を持つ病巣を照射する場合、病巣の外にある任意の点Pが照射される時間的割合を求めてみる。

線源が S_1, S_2, S_3, S_4 の各々の位置にあるとき、線束の広がりとは夫々図示の如くなる。線源が一廻転する間にP点が照射されるのは線源が S_1 から S_2 、及び S_3 から S_4 に廻転する期間である。

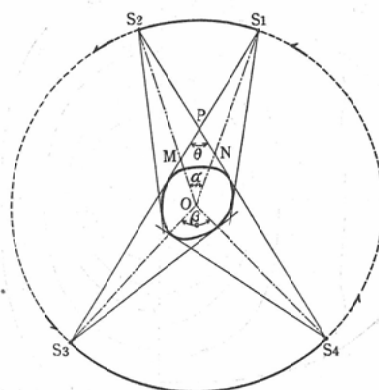


Fig. 3 The diagram of the geometrical analysis of the irradiation time in flat contact method.

$$\angle S_1OS_2 = \alpha, \angle S_3OS_4 = \beta, \angle S_1PS_2 = \theta$$

とすると、線源が一定速度で一廻転したとき点Pが照射される時間 T_P は T を線源の一廻転する時間とすれば、

$$T_P = T \times \frac{\alpha + \beta}{360} = T \times \frac{2\theta}{360} = T \times \frac{\theta}{180}$$

である。

病巣形は常に線束内に含まれているため、この部分が照射されている時間的割合を100とすれば、90%の等時間曲線は $\theta = 180^\circ \times 0.9$ なる点を連続的に求めて結ぶ事により画く事が出来る。以下同様にして θ を変化させる事により任意の割合の等時間曲線が得られる。

接点方式についても同様な考え方によつて等時間曲線を描く事が出来、この方法についてはすでに報告したので省略する¹⁷⁾。ただし既報では線束を平行と仮定してあるのでこの解析における装置の使用条件に合つた $SAD = 100\text{cm}$ の広がりをもつ線束として計算を行つた。

等時間曲線の計算は小型電算機PDP-12を使用して行つた。

III 結 果

(1) 接線方式による等時間曲線と等線量曲線

図4は予定の線巢即ちカムの形が楕円形で、その長径 a と短径 b の比 a/b が1.5のものによつて得た接線方式による等時間曲線と等線量曲線を比較したものである。図のAは予定の線巢を破線で

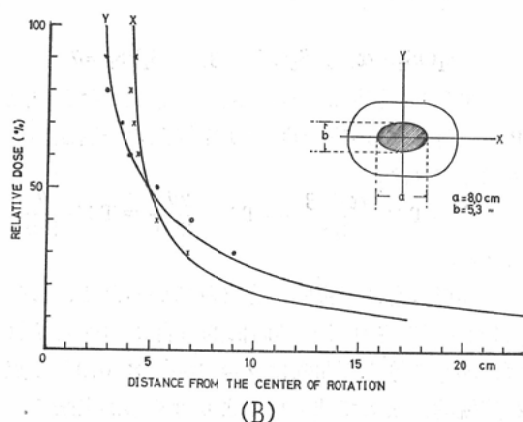
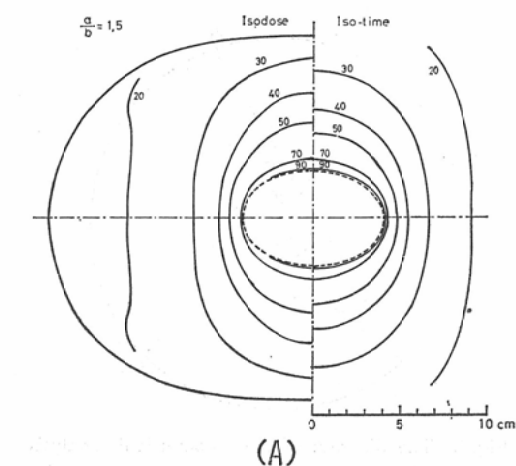


Fig. 4 Comparison of two distributions applied with flat contact method. The shape of cam is ellipse. ($a=8\text{cm}$, $b=5.3\text{cm}$)

(A) Isodose curves and isotime curves

(B) Dose gradients on axes X and Y obtained from isodose curves (o, x) and isotime curves (solid curves)

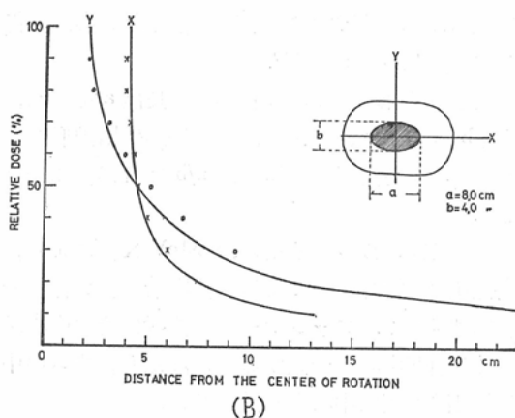
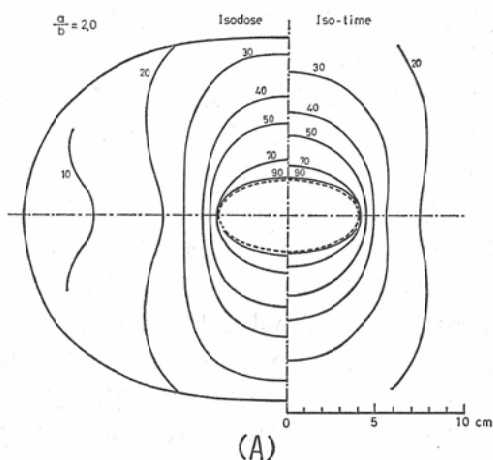


Fig. 5 Comparison of two distributions applied with flat contact method. The shape of cam is ellipse. ($a=8\text{cm}$, $b=4\text{cm}$)

(A) Isodose curves and isotime curves

(B) Dose gradients on axes X and Y obtained from isodose curves (o, x) and isotime curves (solid curves)

示し、等線量曲線は廻転中心の線量を 100%として整理したものである。等線量曲線、等時間曲線共、90%領域の形は予定の線巢よりやや大きめとなつて居る。等線量曲線と等時間曲線の差は中心から同一距離における点で約 5%の差がある。等線量点での位置のずれは高線量域では比較的少なく、90%領域で 1mm以下、低線量域になる程差が大きくなり、50%領域で約 7mmであつた。

図の Bは廻転中心を通り線巢の長径軸と短径軸上の線量及び照射時間の割合の変化について求め

た結果を示す。

図の実線は等時間曲線からの計算値であり、実測した線量分布より得た値を (○, ×) で示した。等線量曲線と等時間曲線は短径軸上の特に低線量域に於て差が大きく長径軸上での差は比較的少ない。

図 5は長径と短径の比 a/b が 2.0の楕円形のカムを使用して得た結果を示すもので、等線量曲線と等時間曲線の差及び予定の線巢の形に対する 90%領域の形は $a/b=1.5$ の場合とほぼ同様な傾向

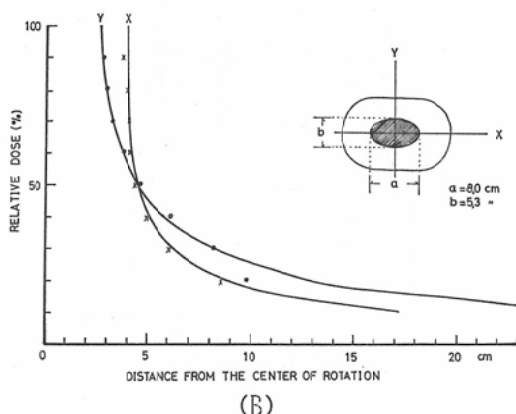
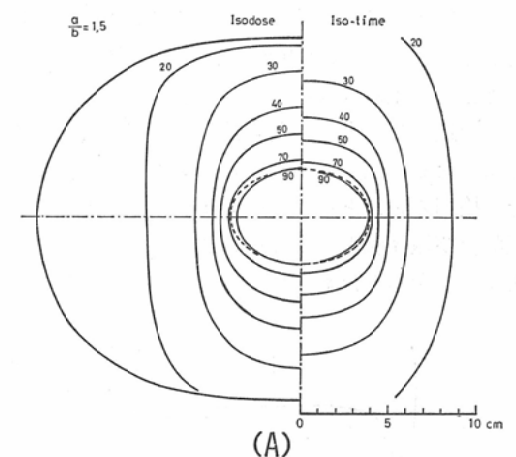


Fig. 6 Comparison of two distributions applied with pointcontact method. The shape of cam is ellipse. ($a=8\text{cm}$, $b=5.3\text{cm}$)

(A) Isodose curves and isotime curves

(B) Dose gradients on axes X and Y obtained from isodose curves (o, x) and isotime curves (solid curves)

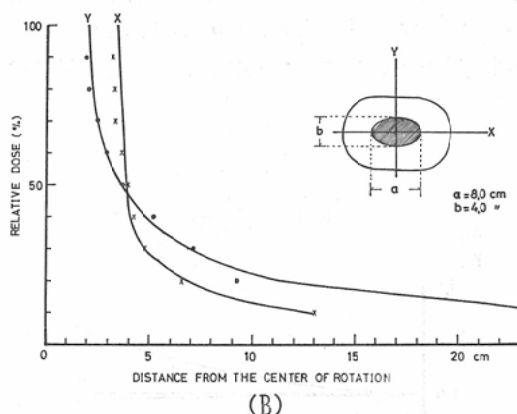
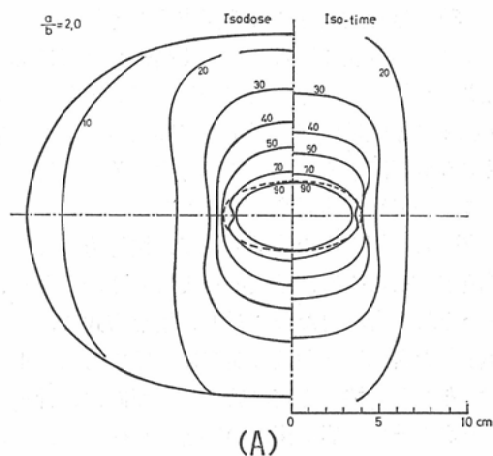


Fig. 7 Comparison of two distributions applied with point contact method. The shape of cam is ellipse. ($a=8\text{cm}$, $b=4\text{cm}$)

(A) Isodose curves and isotime curves

(B) Dose gradients on axes X and Y obtained from isodose curves (o, x) and isotime curves (solid curves)

であつた。

(2) 接点方式による等時間曲線と等線量曲線

図6は長径と短径の比 a/b が 1.5の楕円形のカムを使用し接点方式によつて得た等時間曲線と等線量曲線を比較したものである。整理の方法は(1)と同じである。等線量曲線、等時間曲線共90%領域の形は予定の線巢の形よりやや狭く、予定の線巢を充分に含み得る領域は70%の曲線である。等線量曲線と等時間曲線の差は中心より同一の距離における点で約5%以下であり、等線量

点での位置の差は30%領域まで約3mm以下であつた。両曲線の差の程度は(1)の場合とほぼ同様な結果である。

図7は a/b が 2.0の楕円のカムによる結果を示すもので、等線量曲線と等時間曲線の差は前述の結果と大差はない。

しかし予定の線巢の形に対し、これを含み得る領域は70%に相当する曲線でも尚不充分で、予定の線巢形の一部はこの領域からも外れる事が解る。

(3) 等時間曲線による両方式の比較

これ迄の実験で明らかな如く高線量域では等時間曲線が等線量曲線に殆ど一致しているため、高線量域の等線量曲線の形を等時間曲線によつて推定する事が出来る。従つて両方式の差を等時間曲線によつて比較検討する事とした。

前述した楕円形の線巢に於て、接線方式では90%領域の曲線の形は予定の線巢よりやや大きく、充分それを含み得たのに対し、接点方式では予定の線巢を含み得る領域の曲線は70%でも未だ不充分であつた。接点方式に於てこの傾向は、計画する予定の線巢の形が楕円の場合、長径と短径の比 a/b が大きい程著しくなり、原体照射本来の目的が達せられない事になる。 a/b が 1.5程度で、しかも廻転中心が線巢の中心にあれば、高線量域は

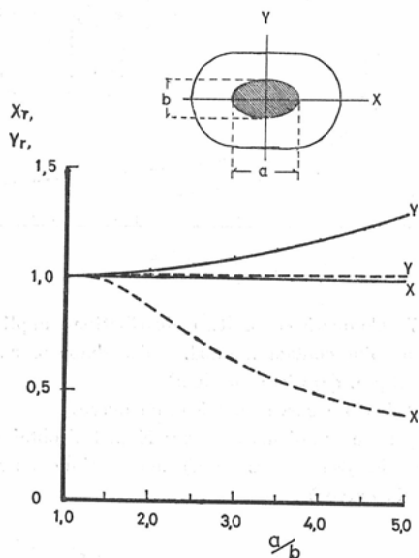


Fig. 8 Ratio of width across the 90% isotime contour line to the diameter of expected target area (elliptical cam diameter) vs shape of ellipse as a ratio of major axis (a) to minor axis (b)

$$X_R = \frac{\text{width of 90\% isotime contour line to the X axis}}{a}$$

$$Y_R = \frac{\text{width of 90\% isotime contour line on the Y axis}}{b}$$

..... point contact method

—— flat contact method

予定の線巢と僅かの差であり、臨床的にも使用可能と考えられるが、 $a/b = 2.0$ では予定の線巢と高線量域の差が大きい。

この比が更に大きくなれば分布の形は著しく歪む事になる。図8は楕円形のカムを使用した時、その楕円の長径と短径の比 a/b が変化すると、長径軸及び短径軸上での高線量域の点がどの様に変化するかを示したものである。

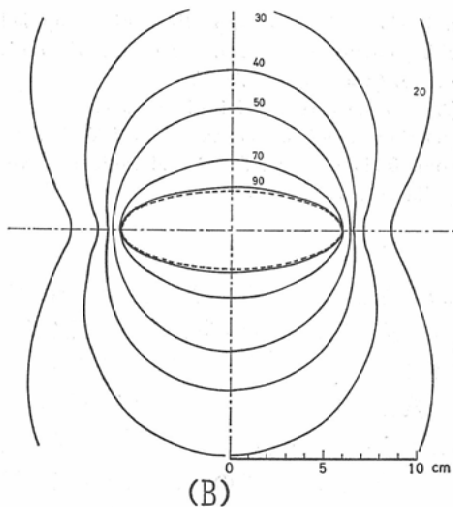
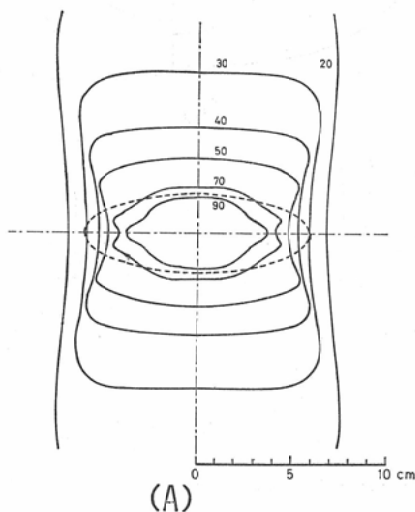


Fig. 9 Comparison of the isotime curves between the point contact method (A) and the flat contact method (B) using the elliptical cam.

図は横軸にカムの長径と短径の比 a/b をとり、縦軸に、その長径と短径の長さに対する夫々の軸に交わる90%領域の幅の割合をとつたものである。図の曲線は破線が接点方式、実線が接線方式である。図より接点方式では短径軸に沿つた高線量域は a/b が変化しても殆ど変化は無いが、長径軸に沿つた高線量域の位置は a/b が大きくなると予定の線巢形よりも内側に移動し急激に狭くなる事が解る。一方、接線方式では長径軸に沿つた高線量域の位置は a/b が変化しても殆ど変わらないが、短径軸に沿つた高線量域の位置が、 a/b が増加すると、予定の線巢形より外側に移動し、予定の線巢形より大きめとなる事が解る。

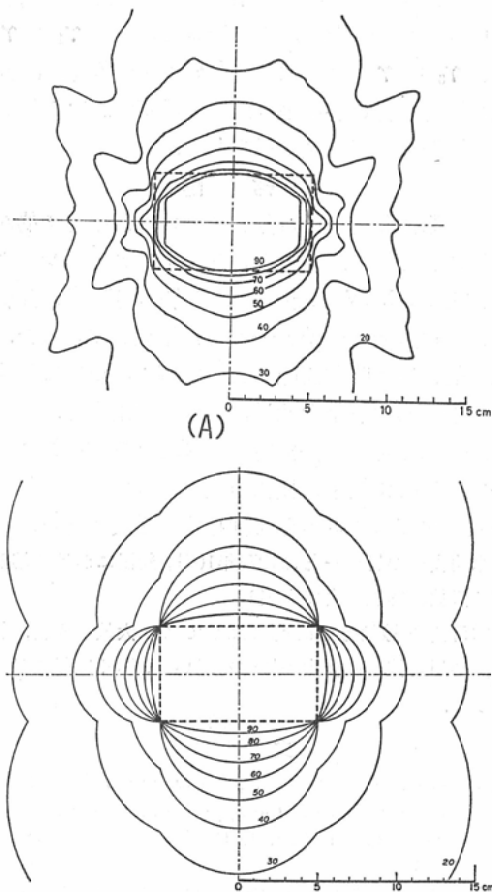


Fig. 10 Comparison of the isotime curves between the pointcontact method (A) and the flatcontact method (B) using the rectangular cam.

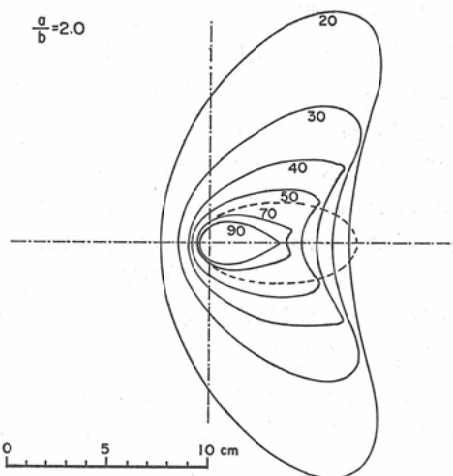


Fig. 11 Isotime curves obtained by the point contact method with the elliptical cam ($a=8\text{cm}$, $b=4\text{cm}$). The center of rotation is placed at the focus of the ellipse.

図9は長径 $a=12\text{cm}$ 、短径 $b=4\text{cm}$ 、即ち $a/b=3.0$ の楕円のカムを使用した時得られる等時間曲線で、(A)が接点方式、Bが接線方式によるものである。このように a/b が大きくなると接点方式では分布の形が極端に変形する事が解る。

図10に $10\text{cm} \times 6\text{cm}$ の矩形のカムを使用した時の等時間曲線を示した。図の(A)は接点方式、(B)は接線方式によるものである。

接点方式では線源の廻転角度の変化に対して、廻転中心から予定した線巢の辺縁までの距離、即ち廻転中心における照射野幅の変化率が大きい程、予定の線巢に対して得られる高線量域の形の歪みが大きくなる。従つて接点方式ではカムの形が同じであつても、廻転の中心が異ると分布の形は変化する事になる。その一例を図11に示す。図11は図7に示した同じカム即ち、 $a/b=2.0$ の楕円を予定の線巢とし、廻転中心を楕円の方の焦点に一致させて計算した等時間曲線である。図中の破線は予定の線巢の形である。接線方式では原理的にこのような歪みは起らず、その等時間曲線は図5と同じになる。

IV 考 按

1) 等時間曲線の意義

等時間曲線は照射される放射線の時間的分布であり、被照射体内に於ける吸収、散乱等は考慮されていない。従つてエネルギーの差によつて実測した線量分布との差が現れ、エネルギーが低い程その差は大きくなる事が考えられる。コバルト60を使用した照射装置では線源が大きいため半影の影響が大きく細かい部分を比較する事は困難であらう。私共は焦点の小さい8 MeV のX線の分布と比較したが、6 MeV のX線についても殆ど同様な結果で70%領域までは殆ど一致した結果が得られた。エネルギーが更に高ければ吸収が少なくなる事から更に広範囲にわたつて実測値に近い結果の得られる事が予想される。

原体照射の線量分布を求めるには、従来行われている単純な矩形照射野による運動照射の線量分布の計算方法を¹¹⁾応用すれば可能と考えられるが、線源の廻転に伴つて照射野の形が複雑に変化し、これらの形について各廻転角度毎に計算を行うのは容易な事ではない。この線量分布については、臨床に使用される種々の代表的な線巢形に対し、すでに実測によつて得られた結果が多く報告されて居り⁸⁾⁴⁰⁾¹¹⁾、廻転軸方向に沿つた線量の均一性、線巢内の廻転中心軸を通る矢状面、前後面等における分布の均一性についても臨床的に満足される結果が得られている。しかし照射の対象となる病巢の形や大きさは、個々の患者について夫々差があり、これらについてその度毎に実測を行うのは時間が掛り実際的ではない。等時間曲線は予定する線巢の形が決定されれば、比較的簡単に画く事が出来、特に直線加速器の様な焦点の小さいものでは、実測した値と高線量域は殆ど一致するので日常業務に於て充分利用価値がある。

2) 接線方式と接点方式の差

何れの方式によつても予定した線巢の形と、それに対して得られる高線量域の形は原理的にも完全に一致しない。接線方式に於ては予定の線巢の形の一部に直線部分を含んでいると、その部分に対応する高線量域はふくらみを持つた形となり、予定の線巢よりやや大きめとなる。

接点方式では予定の線巢形の一部が鋭角状の形

態をしていると、高線量域はその形に追従せず、予定線巢の最大径と最少径の差が大きい程分布の歪みも大きくなり、しかも予定した形より狭くなる。従つて病巢の形を常に充分含み得る高線量域を形成させる原体照射の機構は接線方式が良い事になる。

装置によつてはカムを使用せず、線源の廻転角度を $5 \sim 10^\circ$ の間隔でコリメーターの開度を設定して置く機構が採用されているものもある。この様な機構では、予定した線巢の中心からその周辺までの長さをそのまま設定すると、接点方式と同様な結果となる。接点方式による原体照射では予定の線巢の形即ちカムの形を補正する必要がある。例えば図2に示した楕円形に近い線巢が得たい場合、カムの中心から周辺までの長さ r_1 を r_2 に、 r_3 を r_4 に補正し、各々の廻転角度毎に同様な補正を行い形を画き直して設定すれば接線方式と同様な高線量域が得られる。

V 結 論

1) 原体照射の線量分布について、幾何学的方法による等時間曲線と、リニアアクセラレーターによる8 MeV X線の線量分布の実測値を比較し、高線量域では殆ど一致した結果が得られた。臨床的には等時間曲線によつて個々の患者に対する線量分布の評価を簡単に行う事が出来る。

2) 原体照射の機構的な問題を等時間曲線によつて比較した結果、接線方式が優れている。接点方式に於てはカムの形を補正する必要がある。

本論文の要旨の一部は1971年10月、新潟における第23回日医放、物理部会で発表した。

本研究の線量分布測定に関しては名大放射線科、杉江、早川両技官に多大の協力を戴いた、厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) Gregory, C.: Dosage distribution in rotational Cobalt 60 therapy; A simple method of computation, Brit. J. Radiol., 30: 538—543, 1957.
- 2) Haynes, R.H. and Froese G.: Idealized body contours in rotation dosimetry, Acta Radiol., 48: 209—226, 1957.
- 3) 北島 隆, 奥村 寛, 植田俊男, 高橋信次, 山

- 本千秋, 仲野伸平, 大谷四郎: 日本電気 6 MeV 医療用直線加速器, 日医放誌, 26: 1267—1276, 1967.
- 4) 北畠 隆, 母里知之, 奥村 寛, 高橋信次, 中野伸平, 大谷四郎: リニアアクセレーターによる原体照射法, 日医放誌, 26: 1448—1454, 1967.
- 5) 北畠 隆, 植田俊男: 原体照射法における機械的誤差源, 日医放誌, 26: 899—902, 1966.
- 6) 北川俊夫, 母里知之, 奥村 寛, 植田俊男, 高橋信次, 中野伸平: 原体照射法に於ける任意の形の線束の作製, 日医放誌, 29: 162—169, 1969.
- 7) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅三: 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, 日医放誌, 27: 1323—1346, 1968.
- 8) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅三: 電子計算機による Co^{60} 軸偏心廻転の線量分布の解析, 日医放誌, 28: 1379—1395, 1969.
- 9) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 内田 勲: 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, 日医放誌, 31: 1224—1236, 1972.
- 10) 岡島俊三: Co^{60} 線量分布の測定, 日医放誌, 24: 174—179, 1964.
- 11) 奥村 寛, 母里知之, 北畠 隆: Co^{60} 子宮癌原体照射の線量評価, 日医放誌, 27: 1059—1063, 1967.
- 12) Proimos, B.S.: Beam-shapers oriented by gravity in rotational therapy, Radiology, 87: 928—932, 1966.
- 13) Proimos, B.S., Tsialas, S.P. and Coutroubas, S.C.: Gravity-oriented filters in arc cobalt therapy, Radiology, 87: 933—937, 1966.
- 14) Takahashi, S.: Conformation radiotherapy, Acta Radiol. Suppl. 242 (1965) Stockholm.
- 15) 高橋信次: 悪性腫瘍に対する放射線治療の技術的問題, 臨床放射線, 9: 736—745, 1964.
- 16) 梅垣洋一郎, 有水 昇, 伊場昭三, 田中 仁, 和田正修, 草谷晴之: 運動照射法の基礎的研究, 日医放誌, 18: 772, 1958.
- 17) 植田俊男, 北畠 隆: Co^{60} 原体照射法における線量分布の歪み, 日医放誌, 28: 58—63, 1963.