

原体照射法における機械的誤差源

超高圧照射法の研究 第2報

愛知県がんセンター放射線科第2部（部長：北島 隆）

北 島 隆 植田 俊男

（昭和41年1月24日受付）

Sources of Mechanical Errors in ^{60}Co Conformation Radiotherapy

by

Takashi Kitabatake and Toshio Ueda

From the Department of Radiotherapy, Aichi Cancer Center

Hospital, Nagoya. Director: Dr. T. Kitabatake

Mechanical errors in telecobalt conformation radiotherapy may be produced by a shift of the rotation center, irregularity of rotation speed, cam making process, a shift of the light pointers, uncertainty of skin markings, etc.. However, the former three were considered to be essential. The rotation center shifted within a circle of the diameter of 2.2 mm. No irregularity was detected in rotation speed except for initial 5 seconds when about 20 % of speed was increased. The cam profiling machine acted faithfully after the treatment planning. However, up to 5% of error was recorded in personal error in making cams, which however was negligible practically.

緒 言

原体照射法とは、廻転撮影法の原理から出発し廻転照射法を土台に、これに可変絞り、分割絞り、不透明体による打抜き照射などを組合せ、病巣部のみに均等かつ濃密に放射線を与え、健常組織にはできるだけ線量を与えまいとする照射術式である。愛知県がんセンターにおいては、前報にて報告したとき ^{60}Co 原体照射装置を設置し実用に供しているが¹⁾、この装置を利用して原体照射の照射計画を立案し照準する場合、それ程大きくないにしても、若干の誤差は避けられない。そこで本報告では、原体照射の誤差源としてどんな原因があるか、それらの大きさはどの程度であるかについて述べようと思う。

方法および結果

1. 廻転中心の誤差

原体照射または運動照射は、本来廻転中心に狂いがないことを前提として照射計画がたてられる。しかし実際に製作された装置では多かれ少なかれ機械的な誤差があつて、中心線束が常に1点に相交わるという訳にゆかない。いま色々な角度から細隙中心線束を投射した場合、その線束は最大誤差範囲以上にバラツクことはなく、あらかじめ設計の段階で定められている真の中心の近くに集つてくる。そこで実験的に廻転中心のズレの最大誤差を求めるために次のとき方法をとつた。

まずフィルムに感じる最少巾の中心線束に絞つた。ついで廻転面内に、X線フィルムを黒紙に包み、正確に鉛直となして寝台上に固定する。すなわち放射線はフィルム面に平行に入射する。曝射は 120° おきに3回行なう。多くの場合この3本の細線束は1点で交又せずに3角形を造る。も

し装置に誤差がなければ、線束は真の回転中心において1点に会する筈である。しかしその点がどこであるかは実験的に知る方法がない。そこでこの3角形を形作る3本の線束はすべて同じ程度の誤差を有すると仮定し（この仮定は必ずしも正しくはないが）、3角形の内接円を求め、その半径をこの場合の誤差の大きさと仮定した。かかる実験を10回繰返したところ、誤差半径は、1.41, 1.98, 1.55, 1.50, 1.50, 1.48, 1.73, 1.09, 1.46, 2.20（単位：mm）となつた。これら10個の平均値は $\bar{x} = 1.59\text{mm}$ 、標準偏差は $\sigma = 0.18\text{mm}$ 、最大誤差は、 $\bar{x} \pm 3\sigma$ の範囲内にあると考えると、 $E_{\max} \approx 2.20$ 、すなわち最大誤差は半径 2.2mm の円周上にありと考えてよいので、回転中心バラツキの誤差限界は $\pm 2.2\text{mm}$ ということになる。

2. 線源回転速度のむら

線源の回転速度にむらがあるかどうかを調べた。私どもの装置では線源が回転するとその運動がタコジェネレーターの電圧が変化して速度計に伝えられる。回転速度は 0.1 rpm から 0.7 rpm まで連続的に可変であるが、0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, および 0.7 rpm に設定した場合に、始動時からタコジェネレーターの電圧がいかに変動するかを、横河電気製ラポラトリレコーダー TER-11 に記録させた結果は図1のごとくである。すなわち日常臨床的に最もよく用いられている 0.6 rpm でみると、あらかじめ回転

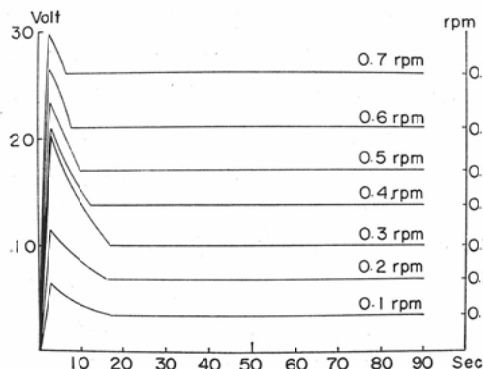


図1 回転速度の均一性

縦軸にタコジェネレーターの電圧、横軸に時間をとった。始動後数秒間は速度が早い、以後安定して均速を保つ。記録用紙からそのままトレースした。

速度計の上で 0.6 rpm 設定して線源回転を始動すると、タコジェネレーターの電圧は急激に上昇し、約 2.5 秒後（これは線源が全開になるに要する時間にほぼ必敵する）には最高値 26.5 V に達し、始動後 7.5 秒後に 21 V となり、以後変動なく同電圧を維持する。これを速度の側からみると、始動後 2.5 秒には 0.7 rpm を僅かに上回る速度となり、以後減速して 7.5 秒後に至つて 0.6 rpm に安定する。これは線源が開いてから 5 秒間だけ規定の速より速いことになるが、現在本装置によつて運動照射によつて体中心附近の病巣に 200 R 与えるには約 6 分（360 秒）を要するので、速度変動によつて影響される照射線量は約 1.4% である。

3. カム製作の誤差

原体照射を行なうには照射野に適合する、あるいは造ろうとする線巢に対応するカムを作らねばならない。カムの材料は厚さ 2 mm の塩化ビニールプラスチック板であつて、これを専用のカム製作機のドリルで設定された大きさに切断するのである。したがつて習熟した X 線技師が従事したとしても、寸分の誤差がなく毎回同じ大きさに切断しうるとは考えられない。そこで照射すべき線巢の大きさを直径 4, 6, 8, 10, 12, および 15 cm の円とし、それぞれに対応するカムを、当放射線部の治療に従事する 5 名の X 線技師に各 2 枚あて作成させた。その結果、直径 6 cm の線巢の場合のカム直径のバラツキが最も大きかつた。すなわち 5 名が作った 10 枚のカムの直径の平均は $\bar{x} = 5.355\text{cm}$ で、標準偏差は $\sigma = 0.026\text{cm}$ であつた。この実測値から考えられるカム直径のバラツキの範囲を $\bar{x} \pm 3\sigma$ とすると、5.277 cm ~ 5.433 cm となる。一方本装置のカムと照射野の関係はカム直径を D_{mm} 、絞りの開口度を A_{mm} （線源から 52 cm の点）、（図 2）とすれば、設計的に、

$$D = 240 \sin \left\{ \frac{16.94}{2} \sin^{-1} \left(\frac{A/2 - 23.5}{90} \right) \right\} - 9 \quad (1)$$

の関係がある²⁾。そこでこの D にそれぞれ 52.77, 54.33 cm を入れて、回転中心の面における線巢の直径 B（本影とする）を計算すると、それぞれ 48.6, 52.6 mm となる。ただし

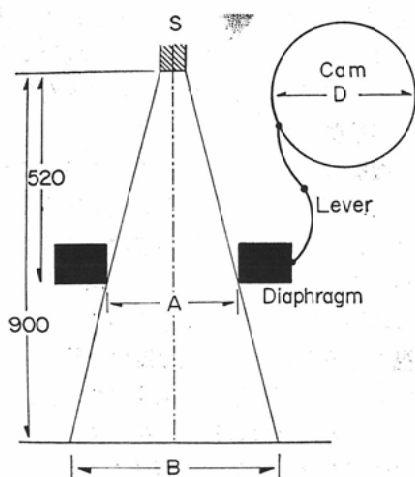


図2 絞りとカムの機械的關係

Dはカム直径、Aは照射口における絞り開度、Bは廻転中心面(90cm)における本影の大きさ、Sは線源でその直径を15mmとして計算した。

$B = (A - 15) \frac{900}{520} 1.5$ (線源の巾を15mmとする) もし製作誤差がなければ、この値は、上述の關係式から50mmとなる筈であるので、その差2.6mmはカム製作にかかる誤差である。すなわちカム製作によって生じうる線巢の大きさの誤差は最大限5%程度と考えねばならない。

一方DとAまたはBの關係が果して設計通り上述の式を満足しているかどうかを調べるために、一定の大きさのカムに対応する絞りの巾を実測して図3の關係を得た。この際、設計式のBの値は幾何学的照射野でなく、本影をとつてあるので、実験値の方は、幾何学的照射野から、計算で求めた半影の大きさの値の2倍を差引いた値を本影と考えて、この値をBとした。この結果、実験的にはDとBは殆んど直線關係にあり、最少二乗法により關係式を求めると

$$B = 2.722D - 9.44 \quad (2)$$

となる。これと設計式を图示したものと比較すると、線巢直径2~18cmの実用範囲では、両者は全く一致し、図の上では差異を見出すことはできない。すなわちカム製作は設計通り行なわれている訳で、カム製作の誤差は専ら製作機を製作する際に起こる習熟差によるもののみと考えてよい(図3参照)。

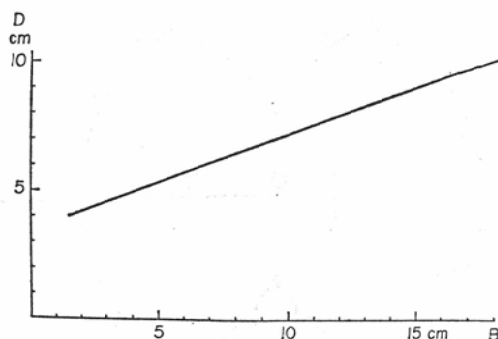


図3 カム直径と照射野の大きさとの關係

本文中の式(1)のDとBの關係である。この範囲では殆んど直線となり、実験式(2)と殆んど一致し、A4版の方眼紙では、そのくい違いは鉛筆の線の太さ以下である。

4 カムの追従度

一定の形と大きさのカムを設定した場合、機械的に忠実に追従するかどうかを調べた。線巢の大きさおよび形と、カムの大きさおよび形は式(2)の-9.44という項のために必ずしも一致しない。そこで図4および図5に示す如き太い破線の図形を線巢とし、それに基づくカムを装置に挿入した場合、元の線巢を忠実に再現するかどうかを調べた。図の目盛の単位はcmである。カムを挿入し、実際に線源廻転と絞りの開閉を連動させた。予め原線巢の横断面(すなわち図4, 5の破線の図形)

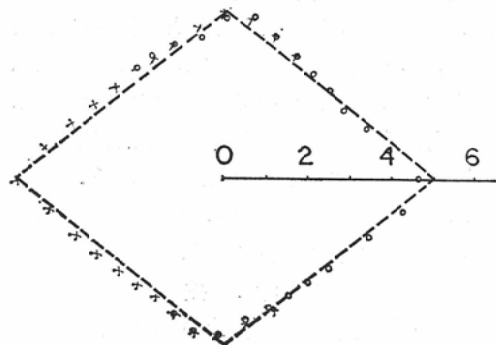


図4 カムの追従度のテスト (A)

線巢横断面をあらかじめ破線の菱形に設定した場合で、 10° ごとに光で照射野の幅を測定したのが○と×印である。追従が完全であれば、破線と○×印は一致する筈であるが、カム製作の誤差や廻転中心の誤差も同時に表現されるので両者は完全には一致しない。数字は線巢の大きさを示す縮尺で単位cmである。

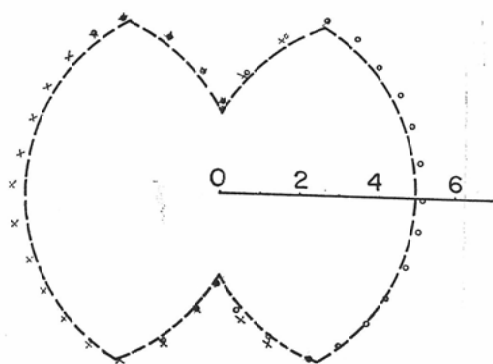


図5 カムの追従度のテスト (B)

を寝台に固定し、廻転中心を一致させておく。線源の廻転角度 10° ごとに照射野の巾を線巢横断面図上に投影し、記録してゆく。右の絞りによるものを×印、左の絞りによるものを○印として 360° に亘つて記録したものが図4と5である。この場合、放射線の実照射野と光学系は完全に一致していることを予め確めてあるので、もしカムが完全に追従すれば×や○印は破線と一致する筈である。しかし実際には図にみる如く最大3mm程度の誤差のある部分がある。しかし、このテストにはカム製作上の誤差や廻転中心の誤差も含まれ、原体照射に関する諸誤差が総合された形で表現されているのである。○と×を結んで得られる図形が破線と一定の角度を持つようなズレ方をすれば、それはカム追従のおくれと見做すことが出来るが、本実験ではそのようなズレはなかつた。尚○も×も 360° に亘つて記されていないのは、この部分が寝台にさえぎられて光学的に照射野を確認することが出来なかつたためである。

5. 線量分布および Tumor-air ratio の誤差
この問題は別に報告する⁴⁾。

考 按

運動機構を持つ照射装置では製作上多少なりとも運動の誤差を避けることはできない。とすれば、その誤差は最大限どのくらいあるかをあらか

じめ知っておくことは重要である。特に原体照射の場合は、線巢と病巣がズレると危険であるので³⁾、照射装置の機械的な誤差の限界を確めておくことが重要であろう。

運動機構の機械的精度として要求されるものの中で今回は廻転中心の精度と、廻転速度の2つを取上げた。廻転中心の精度が悪ければその分だけあらかじめ照射野を大きくとらねばならないが、私どもの場合は $\pm 2.2\text{mm}$ であるので、これは実用上無視できると思う。廻転速度は、 ^{60}Co の場合、線量率の変動と同じ結果を来すので重要であるが、私どもの場合はこれも無視して差支えない。カム製作誤差は最大限約5%あることが判つた。これは巾15cmの照射野では $15.7\text{cm} \sim 14.3\text{cm}$ の範囲まで変動しうること示しているが、これはカム製作に習熟すれば縮めうる誤差で、決して致命的なものとは思われない。それよりむしろ線量分布および Tumor-air ratioの方が重要であるが、これは別に報告することにする⁴⁾。

要 約

^{60}Co 遠隔照射によって原体照射を行なう場合の機械的な誤差源について述べた。原体照射の機械的な誤差源は、廻転中心の誤差、廻転速度のムラ、カム製作過程の誤差、カム追従度の程度、照準用投光器の誤差、皮膚示標などであるが、この中の後二者は細心な注意によつて誤差を避けるが、前四者は装置に固有なものと考えられる。愛知がんセンターに設置された ^{60}Co 原体照射装置では、これらの誤差は実用上すべて無視しうるものばかりであつた。

(御指導を賜つた名大高橋信次教授に感謝の意を表す。)

文 献

- 1) 北畠隆他；原体照射装置の試作，日医放会誌，26：192—200，昭41。
- 2) 牧野純夫他；東芝レビュー印刷中。
- 3) Takahashi, S.: Conformation Radiotherapy. Acta radiol. Suppl. 242, 1965.
- 4) 北畠隆他；日医放会誌掲載予定。