医用 15MeV Betatron に関する実験的研究

(距離と線量率の関係)

大阪市立大学医学部放射線医学教室

(主任 藤野守次教授)

光田 秀雄・伊藤 敬三

(論文受付 昭和38年2月28日)

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE MEDICAL 15MeV BETATRON (VARIATION OF THE DOSE RATE WITH DISTANCE)

By HIDEO MITSUDA AND KEIZO ITO

Department of Radiology, Osaka City
University Medical School

(Article received : February, 28, 1963)

(DIRECTOR : Prof. M. Fujino)

Summary

Variations dose rates of X-rays and electron beams of the medical 15 MeV betatron with focus-ionization chamber distance are studied. As for X-rays, the low energy component is found to be fairly large, especially near the donut. Therefore the dose rate is not inversely proportional to the square of the distance as is simply expected. But using 2.5cm thick acrylite or 3mm lead cap on the ionization chamber, the inversely proportional relation can be obtained. The effect of the scattering rays from the filter is also examined by this method. In the case of the electron beams, the dose rate is not inversely proportional to the square of distance at all, but to the m -th power of the distance ($2 < m < 3$). The value of m differs for various energies or methods of measurement. The location of the electron beam source, so called the equivalent focus, is estimated from the variation of the dose rate with distance. The equivalent focus almost coincides with the center of the donut. But the ones decided by photographic method are not same point on the orbital plane and on the vertical plane. And moreover they vary with energy.

I. 緒 言

Betatron より発生する X 線には軟成分が混在するために距離と線量率の関係が逆 2 乗則に従わなくなる範囲が存在する。逆に、この逆 2 乗則不軌から混在軟成分の推定をすることも可能である。また電子線はその発生機構上 X 線の場合のように焦点を機械的に示すことができないが、X 線と同様に距離と線量率の関係を求め、これから仮想焦点を求めた。そしてこれを写真法による線束の拡がりから求めた仮想焦点と比較した。

II. 測定器, その他

測定器は Victoreen 社製 Radocon (Model No. 575), probe は No. 601, 602, 606, 607, 612 を用いた。これらの構造, energy 適用範囲などは Tab. 1. に示した。電子線の測定については種々論議されているが、ここでは一応上に示した ionization chamber を用いた。以下本論文において線量計はこの probe No. だけを記す。

その他 chamber にかぶせるための 3mm 厚の鉛 cap, アクリル樹脂ブロック (三菱レーヨン製 Acrylite) などを用いた。アクリルブロックは 10cm 角で、3cm の深さに chamber 601 が挿入するように穴をあけてある (従って chamber 壁上のアクリルの厚さは 2.5cm となる)。なお本論文で、以下線量率という言葉で表現するもの

Tab. 1. Probes used with Model 575 Radocon.

Probe Model	% Rated Accuracy	Wall Material	Volume (cm ³)	Nominal Wall Thickness (mg/cm ²)	Uses Intended (keV. eff)
612	±10%	Kodapak	0.190-0.210	7	6- 35
601	± 5%	Nylon	1.75 -1.90	67	30- 400
602	± 5%	Nylon	0.175-0.190	89	30- 400
605	± 5%	Nylon	9.7	450	400-1,300
606	± 5%	Nylon	1.75 -1.90	450	400-1,300
607	± 5%	Nylon	1.75 -1.90	450	400-1,300

はこの測定器の読みを示す。

III. 実験および結果

1. 15MeV X線

a) 601 をそのまま、および 601 に 3mm 鉛キャップをかぶせたもの、また前記アクリルブロック中に挿入（アクリルにおける build up maximum の深さ）したもので距離と線量率の関係を求めた。beam は約 $7^\circ \times 10^\circ 40'$ の方錐。付加 filter は用いていない。Fig. 1. はその測定結果である。これにみられるように、601 をそのままで用いた測定値は target-chamber 間 60cm 以下に著しい curve の歪みがみられるが、鉛またはアクリルを覆った場合は全く認められない。また鉛およびアクリルを用いたものは逆 2 乗則を満足しているが、601 単独の

Fig. 1. The relationship of target-chamber distance to dose rate. (15MeV X-ray without filter).

ものは直線部 (Fig. 1. 両対数目盛において) でも逆 2 乗則よりはずれ、約 -2.13 乗に比例する。またこの部分におけるこれらの関係から逆に焦点位置を計算で求めてみると、実際の target より約 8cm 前方（測定器側）にずれる。

b) 混在軟成分を cut off する目的で filter を入れると、filter からの散乱の影響がみられる。Fig. 2. は Al 6mm の filter を target から 43cm の位置に入れた場合の測定値である。

Fig. 2. The relationship of target-chamber distance to dose rate. (15MeV X-ray with Al 6mm filter.)

2. 電子線

a) 15, 10, 7MeV それぞれについて 602, 607 を用いて測定した。beam は 15MeV X 線と同じ程度の比較的 broad beam. その結果を Fig. 3. に示す。これらの関係

Fig. 3. The relationship of focus-chamber distance to dose rate. (Values are obtained with 602 and 607.)

もよるが、大体 donut の X 線についての target に相当する深さか、それよりもやや前方 (測定器側) によっている。

Tab. 2. The power " m " in the relationship of donut-chamber distance to dose rate; $I_2/I_1 = (D_2/D_1)^{-m}$.

Energy (MeV)	Chamber	Power " m "
15	602	2.23
	607	2.22
10	602	2.66
	607	2.65
7	602	2.86
	607	2.83

b) 距離—線量率の関係が測定器によって異なることはさきの実験でも明らかであるが、head on type である 612 の window を線源の方に向けた場合と、側面から beam が入射するようにした場合、および 606 の測定値は Fig. 4. のようになる。Fig. 3. の場合と数値が著しく異なる理由は考察の項に記す。また、Fig. 3, 4 とともに横軸の距離を一応 X 線 target に相当する深さからの値をとり、注には focus-chamber distance とした。

c) 鉛板に一定間隔に並べて孔をあけ、これを放射口近くにおいて種々の距離に film をおき、その孔の像から beam の広がりを調べ、作図的に仮想焦点 (equivalent

Fig. 4. The relationship of focus-chamber distance to dose rate. (Values are obtained with 606 and 612 of which axes are vertical of parallel to electron beam.)

Fig. 5. The photometrical estimation of the source of electron beam.

Upper : Values are obtained on the plane vertical to orbit plane.

Lower : Values are obtained on the orbit plane.

focus) を求めた (Fig. 5.). 図において×印は鉛板の孔の位置、●印は film 上における孔の像である。この図は縦横の縮尺が異なるため、図にみられる donut の電子線射出窓との関係は正しくない。ボケが大きく非常に判定が難しいので誤差は大きいと思われるが、図にみられ

るように軌道平面上では15MeVの場合約8cm, 10MeVの場合約14cm, 7MeVの場合約20cm donutのX線targetに相当する深さより前方(測定器側)に寄るが, これと垂直の平面についてはほぼ偏向マグネットの位置と考えられる点となり, energyによっても変わらない。

IV. 考 察

1. 15MeV X線について

Fig. 1. における601単独の測定値のcurveの歪みは混在するmain beamとは異なる性質のradiation(以下stray radiationという)によるもので, この実験だけではその成分は明らかではないが, アクリル樹脂3cm中(アクリルの厚さとしては2.5cm)または3mm鉛でその影響が認められなくなることから, main beamよりはかなり低いenergyのもの(または透過力の小さいもの)と考えられる。そしてその影響はtargetより60cmまでの距離内に著明にみられる。また60cm以上の距離でもそのcurveが距離の逆2乗でなく -2.13 乗に比例するが, アクリルまたは鉛を用いた場合には明らかに逆2乗則が成立する。Betatron X線に軟成分が混在することは文献¹⁾にもみられるが, 著者らは別の研究²⁾でこのstray radiationはアクリル樹脂中で約2.5cmのmaximum rangeを示す電子線と考えられ, これを除去するにはアルミニウム約10mmを必要とするが実用には約6mmでも有効であることを認めている。そこで, 6mmをfilterとして用いるとFig. 2. にみられるようにこれからの散乱が大きく測定される。しかしこの散乱はfilterなしのときのstray radiationよりさらにかなりenergyの低いものであることを上述の研究で認めている。chamberをアクリルまたは鉛で覆うと, もちろんその影響は認められなくなる。このことから, filterの材質, 挿入位置について十分検討の必要のあることがわかる。

空気のbuild upが, この測定におよぼす影響は, 測定困難のために実測はしていない。この実験範囲40~140cm(空気層0.05~0.18g/cm²)では影響がかなりあると考えられるが, その場合距離—線量率の関係は逆2乗則よりゆるやかな傾斜を示すはずであるのに, 上述のごとく逆の関係を得たことはstray radiationの影響が大きくて, 空気のbuild upの影響をcancelしてしまったものであろう。

また, さきに記したようにこれらの関係から計算した焦点が, 実際の焦点よりも約8cm前方にずれたのもstray radiationの存在によると思われる。

2. 電子線について

Fig. 3. 以下にみられるように, 電子線は距離と線量率の関係がenergyや測定のしかたに大きく影響をうける。Fig. 4. における606の測定値と, Fig. 3. における607(同一energy領域のchamber)の値が大きく異なり, またdose rateが大幅に異なるのは実験条件の相異に基づく。すなわち, 両測定時のdonutが異なること, Fig. 4. は電子線偏向装置付設前の測定であるためと考えられる。Fig. 4. において612の測定値がmain beamの方向に対するchamberの向きによって異なるのは, 先述のごとく612がhead on typeで, windowの壁材が薄く(7mg/cm²), 側壁がかなり厚いものであるため, window側からbeamが入射した時には極く低いenergyの成分(これも存在することを他の研究で認めている)まで測定されるためと考えるが, pre-amplifierがmain beam中に入るための影響も考え得る。さきの理由がただしければこの現象を利用してある程度のenergyのdistributionの分析ができないだろうか。

距離と線量率の関係に逆2乗則が適用されないことは, その発生機構上当然のことと思われるが, 距離の $-m$ 乗($2 < m < 3$)に殆んど確実に比例し, その値がenergyおよび測定の方法によって異なる理由については明らかでない。

以上の関係から線源(equivalent focus)を計算で求めると, いずれもさきに示したように, おおよそX線のtargetに相当する深さになる。しかし, Fig. 5. にみられるように, 写真的にbeamのひろがりから推定すると, かなり前方(測定器側)となり, しかもそれが, 軌道平面からみた場合と, それに垂直な面からみた場合とで異なる。また軌道平面ではenergyによってその位置が異なる。軌道平面に垂直な面で認められる線源はbeam偏向magnet (beamの偏りを補正する)のgapの部に相当している。これらの理由は, 偏向magnetのgapでbeamが平板状に一旦絞られるためと思われる。

電子線の医療の目的の測定には現在X線用のchamberが一般に用いられている。以上にみたように, 単に空中における線量率の測定についてもchamberによる測定には問題が生じる。吸収線量についてはさらに問題が大きくなると考えられるので, 電子線が臨床に多く用いられるようになった今日, 電子線の測定法の確立が急がねばならない。

V. 結 論

Betatron X線および電子線の距離と線量率の関係

を求めた。

X線にはかなり低 energy 成分が混在しとくに放射口付近において影響が大きい。そのため電離槽で測定した線量率は距離の逆 2 乗に比例しない。しかし電離槽をアクリル樹脂 2.5cm, 鉛 3mm で覆って測定すると逆 2 乗則は成立する。その低 energy 成分を除去するために, filter を入れるとそれからの散乱の影響が大きくなる。これについては距離と線量率の関係から容易に測定できるのであるから, この関係に基づいて filter 物質, filter 挿入位置を検討せねばならない。

電子線については距離と線量率の関係は逆 2 乗則に従わず, しかも $-m$ 乗 ($2 < m < 3$) に殆んど完全に比例し, その冪数は energy, 測定の方法によっても大きく異なった。またこの関係から仮想焦点ともいふべき線源を求めると, X線 target に相当する深さにほぼ一致したが,

写真的に求めた像のひろがりから推定し得る位置はこれと異なり, しかも軌道平面と, これに垂直な面で違った位置を示し, さらに軌道平面上では energy によっても違う位置を示した。

またこれらの関係から, 電子線の測定に X線用電離槽をそのまま用いることに対する疑問が生じるが, これは他の諸問題とともに根本的な電子線測定法というものの検討がなされねばならないことを示唆する。

稿を終わるに当たりご指導賜った藤野守次教授に感謝いたします。

なお, 本論文の要旨は日本放射線技術学会第18回総会(1962年, 名古屋)で報告した。

参 考 文 献

- 1) 木村, 森川: 日医放学会誌 18, 10, 1441 (1959).
- 2) 藤野, 光田, 伊藤: 未発表.

新製品
超柔軟性手袋

国産の最高級品

Hoshinabest 印
X線防護用品

ホシナベスト印超柔軟性X線防護用手袋は国産品として唯一の防護用手袋で, 適当なる鉛当量とその柔軟さは欧米製品をしのぎ更に価格が低廉であるのが特長であります。

日本工業規格

表示許可工場

- ・ X線防護用新型衝立各種
- ・ 透視台用X線防護装置各種
- ・ リーターX線防護用装置
- ・ X線防護用前掛各種
- ・ 超柔軟性X線防護用手袋及各種手袋
- ・ X線防護用長靴
- ・ X線防護用眼鏡各種
- ・ 頭部放射線防護具各種
- ・ X線撮影用压迫帯各種
- ・ X線防護用 P. B タイル

株式会社
本 社

本郷保科製作所

東京都文京区元町1丁目3番地
電話 (811) 5325・4604