



Title	診断用X線装置のX線出力と半価層の推定図表に関する考察
Author(s)	尾内, 能夫; 都丸, 禎三; 入船, 寅二 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1979, 39(6), p. 637-644
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/19566">https://hdl.handle.net/11094/19566</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 診断用 X 線装置の X 線出力と半価層 の推定図表に関する考察

癌研究会癌研究所物理部

尾内 能夫 都丸 禎三 入船 寅二 内田 勲

(昭和53年11月24日受付)

(昭和54年1月19日最終原稿受付)

### Consideration on Diagrams for Estimating X-Ray Output and Half-Value Layer of Diagnostic X-Ray Machines

Yoshio Onai, Teizo Tomaru, Toraji Irifune and Isao Uchida

Department of Physics, Cancer Institute, Tokyo

---

Research Cord No.: 203

---

Key Words: X-ray output, Half-value layer, Total filtration,  
Diagnostic x-ray machine

---

Analysing data on various factors such as peak kilovoltage, total filtration, half-value layer, and output, diagrams for estimating output and half-value layer of constant potential and full-wave rectified diagnostic x-ray machines were obtained, and were compared with the diagrams published by the Hospital Physicists' Association (H.P.A.) in England. The values estimated from these diagrams were also compared with measured values in the literature. Data obtained here are in better agreement with the measured values than the data by H.P.A. These diagrams can be also used to estimate peak kilovoltage from the measured half-value layer and the measured output or the estimated total filtration.

#### 緒 言

X線診断時の患者の被曝線量の推定あるいはX線使用室の設計には、そのX線装置の出力と線質を何らかの方法で知る必要がある。これらはターゲット物質の種類、電圧、電流、電圧および電流波形、ケーブルの長さおよび総濾過によって変化することが判っている。これらによる出力と半価層の変化に関する文献を調査、検討し、出力と半価層を推定するための図表を作成したところ、同様の図表を英国の Hospital Physicists' Association<sup>1)</sup> (HPA) が発表していることを知ったので、

それとの比較を行い、この図表の適用性を検討した。

#### 推定図表の作成

##### 1. 総濾過とX線出力の関係

1.1. 定電圧X線. X線ビームの中心軸上における出力の典型的な値が、ICRP Publication 21<sup>2)</sup> および ICRP シリーズ3<sup>3)</sup>に示されているが、40~100kV X線についてのデータは、両者とも Taylor のデータからとったものであるにも拘らず、Al 濾過については、100kV から200kV まで外挿しているために、両者の外挿値に相違が見

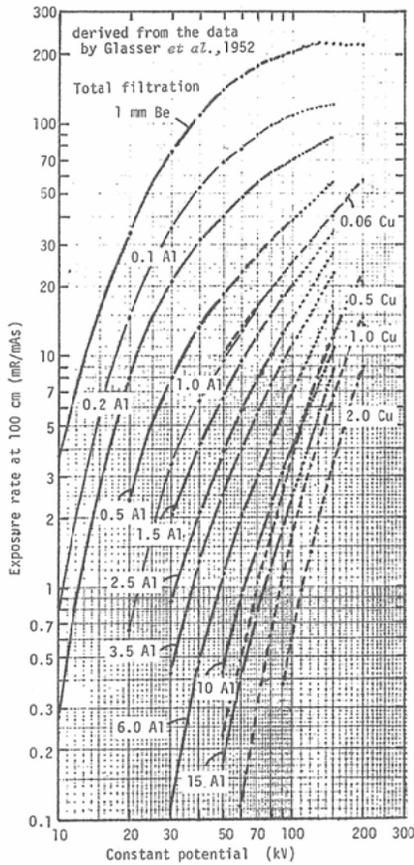


Fig. 1 Output values as a function of kV and total filtration for constant potential generators. Derived from the data published by Glasser *et al.*<sup>4)</sup>

られる。そこで Glasser ら<sup>4)</sup>の著書に示されている Taylor のデータを用いて、電圧と出力の関係を Fig. 1 に示すように 両対数グラフ上にプロットして150kV まで外挿した。この図から総濾過と出力の関係を、電圧をパラメータとして求めた。それを Fig. 2 に示す。

1.2. 全波整流X線. McCullough ら<sup>5)</sup>による計算値があるが、小さい総濾過で実測値との差が大きいため、NCRP Report No. 33<sup>6)</sup>に示されている総濾過と半価層の関係より Al による減弱曲線を作成し、総濾過2.5mmAl のときの出力を McCullough らの計算値にあわせ、他の総濾過のときの出力を、作成した Al による減弱曲線を用

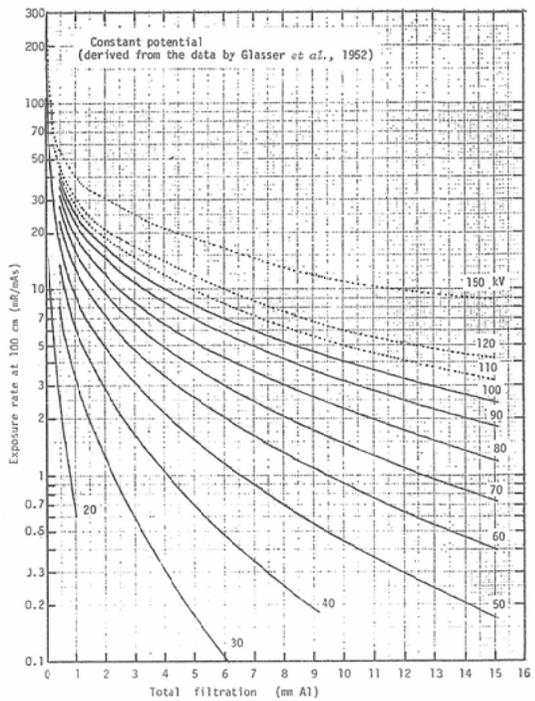


Fig. 2 Output versus total filtration for different kV values of constant potential generators. Derived from the data published by Glasser *et al.*<sup>4)</sup>

いて計算した。その結果を Fig. 3 に示す。

1.3. 半波整流X線. ICRP Publication 21<sup>2)</sup>の図40の半波整流X線装置の出力に対する Fig. 2 に示す定電圧X線の出力の比をとると、50kV (総濾過1mmAl) で3.0, 70kV (総濾過1.5mmAl) で3.0, 100kV (総濾過2mmAl) で3.2, 150kV (総濾過3mmAl) で2.5で、平均すると2.93±0.15である。従って、Fig. 2 の出力を2.9で除した値を半波整流X線の出力とすれば±5%の誤差で推定できる。

## 2. 総濾過と半価層の関係

2.1. 定電圧X線. Taylor<sup>4)</sup>による Al の総濾過と出力の関係から、Al による減弱曲線を作成し、それを用いて各総濾過における半価層を計算し、総濾過と半価層の関係を求めた。Fig. 4 にそれを示す。

2.2. 全波整流X線. NCRP Report No. 33<sup>6)</sup>の

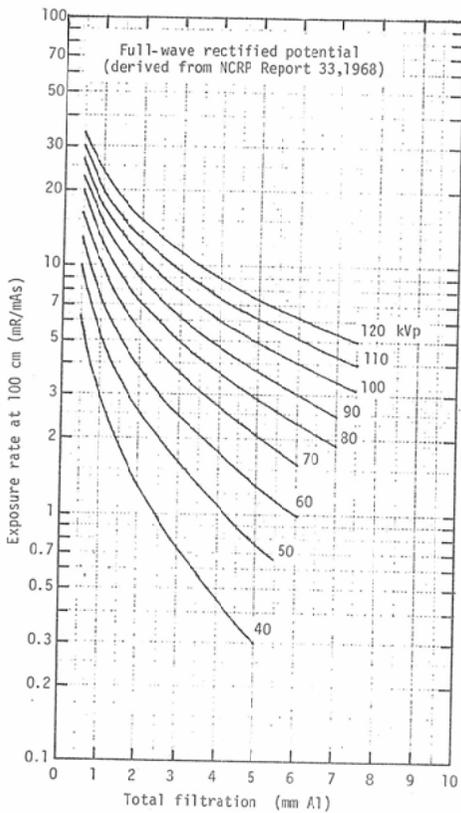


Fig. 3 Output versus total filtration for different kVp values of full-wave rectified potential generators. Derived from NCRP Report 33.<sup>6)</sup>

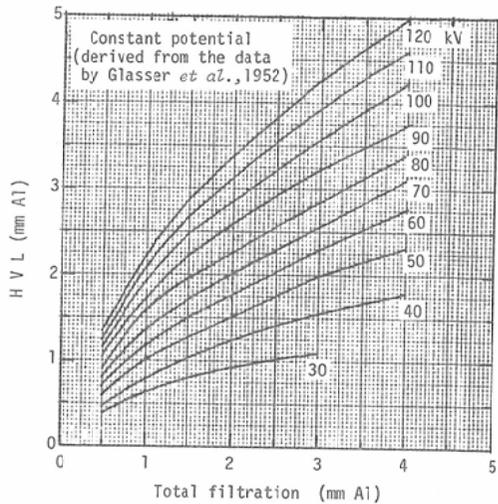


Fig. 4 HVL versus total filtration for different kV values of constant potential generators. Derived from the data published by Glasser *et al.*<sup>4)</sup>

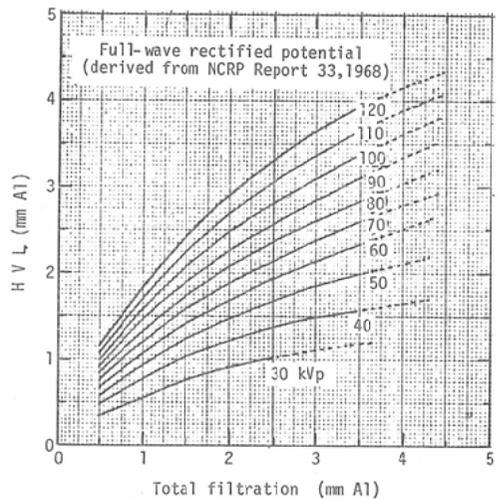


Fig. 5 HVL versus total filtration for different kVp values of full-wave rectified potential generators. Derived from NCRP Report 33.<sup>6)</sup>

Table 3 を Fig. 5 に図示した。

半波整流 X 線については、データが見当らなかったため作成しなかった。

### 3. X線出力と半価層の関係

Fig. 2~5 を用いて、X線出力と半価層の関係を求めた。Fig. 6 および 7 にそれぞれ定電圧 X 線および全波整流 X 線についての結果を示す。

#### HPA および他のデータとの比較

HPA の各種関係図に、癌研作成の関係および管電圧のチェックと電離箱の校正が正しく行われていると判断される論文のデータをプロットして比較した。

#### 1. 定電圧 X 線の出力と半価層

HPA では定電圧 X 線については、附加フィルタと出力および半価層の関係図を示していて、総

濾過との関係図を示していないので、総濾過と出力の関係については、Schulz ら<sup>7)</sup>の総濾過 2.5 mmAl と 3.5 mmAl についてのデータと比較した。Fig. 8 にそれを示す。McCullough ら<sup>5)</sup>は、彼らの計算した全波整流 X 線の出力を 1.8 倍した値が定電圧 X 線の出力の実測値とよく一致すると述べ

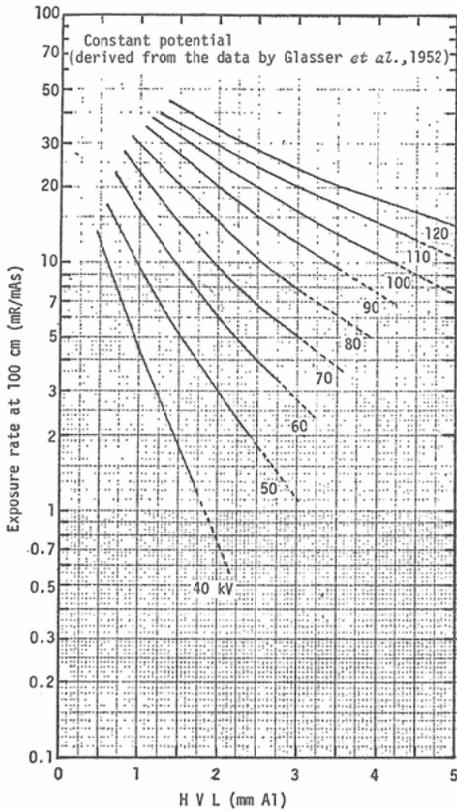


Fig. 6 Output versus HVL for different kV values of constant potential generators. Derived from Figs. 2 and 4.

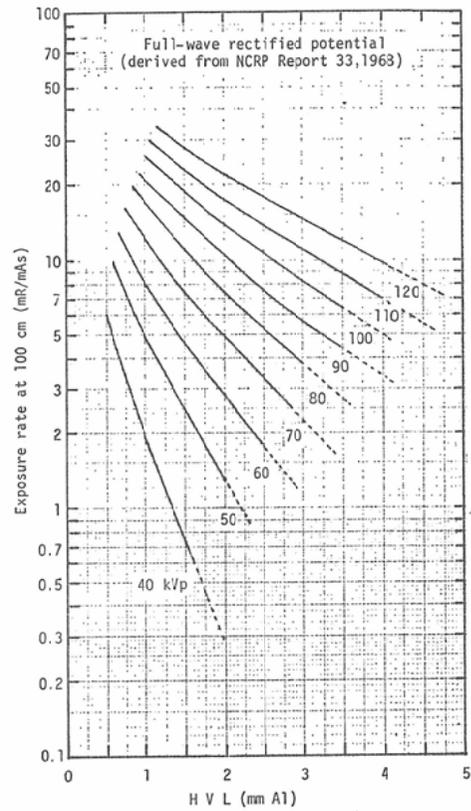


Fig. 7 Output versus HVL for different kVp values of full-wave rectified potential generators. Derived from Figs. 3 and 5.

ているが、その値も図に示してある。50~100kVの範囲ではいずれも10%以内で一致している。

Fig. 9は出力と半価層の関係についての比較で、HPAと癌研作成図では大部分の領域で10%以内の相違である。

2. 全波整流X線の出力と半価層

Fig. 10が総濾過と出力の関係についての比較で、HPAと癌研作成図では総濾過が2mmAl以上ではいずれの電圧でも10%以上の相違はない。

NCRP Report 33の Table 2<sup>9)</sup>の線源—パネル間距離46cmのデータを75cmに換算して Fig. 10に黒丸でプロットした。90kV以上では癌研作成の関係図と10%以内で一致している。Troutら<sup>9)</sup>の総濾過3mmAlについてのデータもプロットしてあるが、それらは癌研作成の関係図とよく一致

している。

Fig. 11は総濾過と半価層の関係についての比較で、HPAと癌研作成図では、HPAの方が大きい値を示している。Troutら<sup>9)10)</sup>のデータは癌研作成図によく一致していて、その相違の最大値は約10%である。

Fig. 12は半価層と出力の関係についての比較で、HPAと癌研作成図では半価層が大きく、電圧が低いときほど相違が大きく、相違の最大値は50%である。Troutら<sup>9)10)</sup>のデータは、半価層が2mmAlの70kV X線以外では、癌研作成図とよく一致している。

3. 全波整流X線のケーブルの長さおよび電流が変化したときの出力と半価層

高圧ケーブルが長いときには、それがコンデン

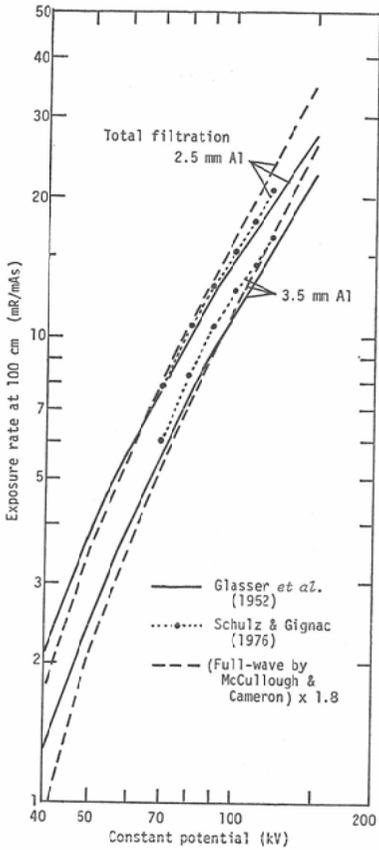


Fig. 8 Comparison of data showing relationship between output and kV for constant potential units with 2.5 and 3.5 mmAl total filtrations

サの働きをするので、小電流、高電圧のときほど定電圧X線の出力および半価層に近づくことが Trout ら<sup>10)</sup>によって示されている。Fig. 13および14に Trout らによるデータを示す。それぞれ出力および半価層の変化である。図中に矢印で、Fig. 2および3から求めた出力と Fig. 4および5から求めた半価層を示した。破線の矢印(f.w.)が全波整流X線、実線の矢印(c.p.)が定電圧X線についての値である。電流が少ない場合には、定電圧X線として推定した出力および半価層に、電流が大きい場合には、全波整流X線として推定した出力および半価層に15%以内で一致している。

Fig. 9の定電圧X線についての半価層と出力の

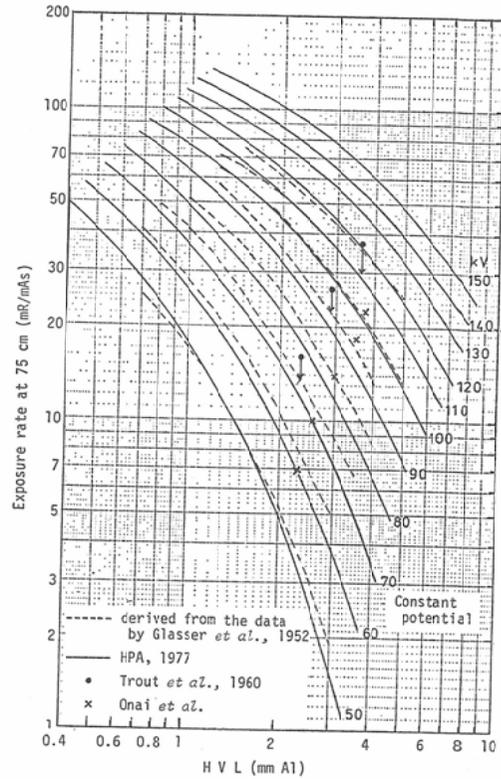


Fig. 9 Comparison of data showing relationship between output and HVL for different kV of constant potential generators

関係図に、Trout らの12.2mのケーブルを用いた1mAでの出力と半価層の関係を黒丸でプロットした。癌研作成の関係図とは15~20%の相違であるが、HPAの関係図とは25%の相違がみられる。

癌研で測定した15mケーブルの2mA全波整流X線についてのデータも Fig. 9に示してある。60および70kVではHPAの関係図に、80、90および100kVでは癌研作成の関係図によく一致している。なお、癌研におけるX線発生装置の管電圧は、電総研で校正した計測器により値付けされたアルコ電機社製のX線管電圧波高計により校正してある。出力の測定には、電総研で校正したラドコンのIMA電離箱を用い、焦点—電離箱距離76cm、照射野は電離箱の位置で32.5×24.5cmとした。半価層は、焦点—減弱板距離55cm、焦点—

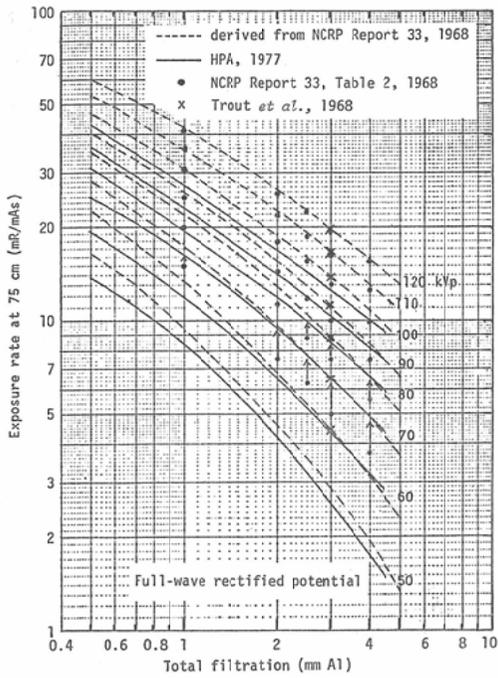


Fig. 10 Comparison of data showing relationship between output and total filtration for different kVp of full-wave rectified potential generators

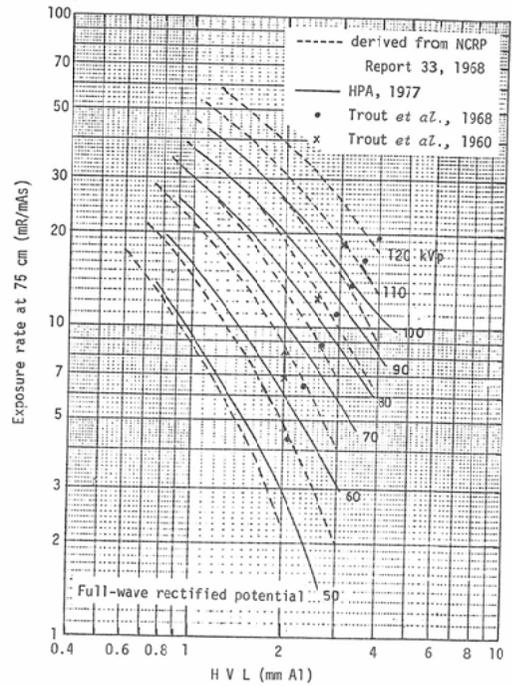


Fig. 12 Comparison of data showing relationship between output and HVL for different kVp of full-wave rectified potential generators

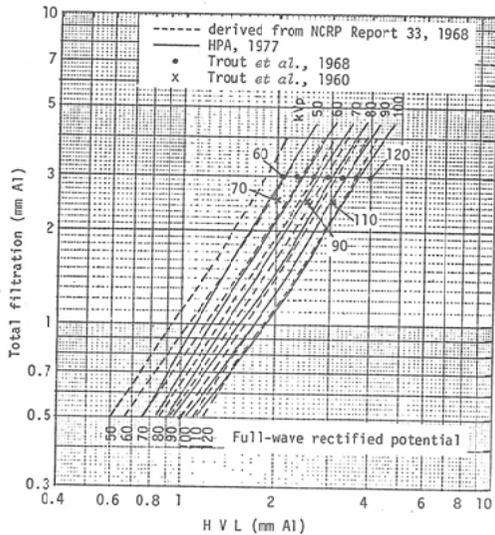


Fig. 11 Comparison of data showing relationship between total filtration and HVL for different kVp of full-wave rectified potential generators

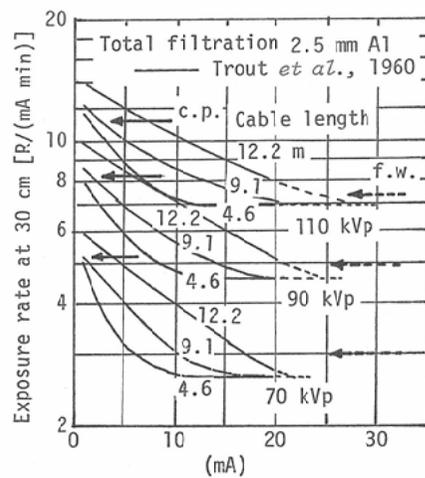


Fig. 13 Effect of tube current, cable length, and kilovoltage on exposure rate

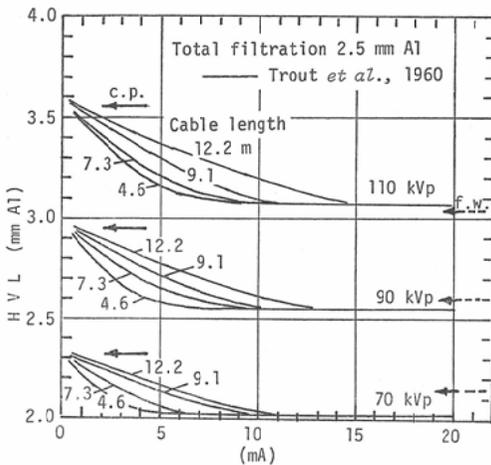


Fig. 14 Effect of tube current, cable length, and kilovoltage on half-value layer

電離箱距離76cm, 照射野は電離箱の位置で4×6 cm として測定した。

考 察

Fig. 4の総濾過と半価層の関係図の半価層は、前述したように広いビームで得た Taylor の総濾過と出力の関係表から計算してある。半価層は細いビームで測定する必要があるのに、広いビームで測定した出力のデータからとっているから、半価層は大き目の値となる可能性がある。Fig. 9の半価層と出力の関係をみると、癌研作成図の方が同じ半価層で出力が大きくなっていて、その傾向を示している。しかし、Trout らおよび著者らの長いケーブルを用いた小電流の全波整流X線を定電圧X線として半価層と出力の関係を求めた結果では、HPAの方が癌研作成図より信頼度が高いとはいえない。

Fig. 3の全波整流X線についての総濾過と出力の関係図は、前述したように、NCRP Report 33の総濾過と半価層の関係表から、Alによる減弱曲線を求め、総濾過2.5mmAlのときの出力をMcCulloughらの計算値にあわせて、他の総濾過のときの出力を求めてある。細いビームで測定した半価層のデータを、広いビームで測定すべき出力の計算に用いると、幅の広いビームの減弱曲線は細いビームのそれより傾斜がゆるやかであるか

ら、総濾過2.5mmAlで規格化すると、それより小さい総濾過では出力は大き目に、それより大きい総濾過では出力は小さ目にする可能性がある。Fig. 10の総濾過と出力の関係図をみると、HPAの関係図との相違はその傾向を示している。しかし、NCRP Report 33のデータは癌研作成図の傾斜に近い、又、出力の絶対値は、総濾過3mmAlについてのTroutらのデータでは、癌研作成図の関係図によく一致しているので、HPAの方が癌研作成図より信頼度が高いとはいえない。

これらのことは、診断用X線では200kV程度のX線にくらべて散乱が少ないので、濾過板と電離箱の距離を大きくとっておけば、ビームの広さによって減弱曲線に大きな相違がないことを意味している。

X線撮影ならびに透視時の患者の被曝線量あるいはX線室の設計における漏洩線量の推定では、治療線量のような高精度を必要としないから、定電圧X線についても、全波整流X線についても癌研作成の関係図を用いてさしつかえないと考える。

これまで述べたことは、電圧および電流が正しく校正されていることが前提条件である。実際には、それらはかなりくるっている場合があることが知られているから<sup>11)</sup>、電圧を簡単にチェックする方法の普及が今後必要である。

Fig. 2~5を利用して出力あるいは半価層を推定するためには、電圧の他に総濾過を知る必要があるが、これも判っていないX線装置が多い。今後、メーカーはその装置の固有フィルタを電圧ごとAl等価厚で表示することを考慮してほしい。そのための研究も必要であろう。

電圧も総濾過も確かでないときには、半価層と出力を測定することによって、それらを推定できる。すなわち、Fig. 6又は7を用いて電圧を推定し、その電圧と出力又は半価層からFig. 2~5を用いて、総濾過を算定する。この場合に重要なことは、半価層と出力の測定が適正に行われていることである。そのためには今後、診断用X線装置についての正しい半価層の測定法の普及と測定器

の校正が各地方区で容易にできることが必要である。

### 結 論

文献を調査検討して診断用X線の出力と半価層を推定する図表を作成した。この癌研作成の推定図と HPA 作成の推定図を比較し、両者の相違は大部分の範囲で20%以下であるが、50%に及ぶ場合もあることを認めた。他の実測値との比較では癌研作成図の方が HPA より相違が小さいことから、電圧と総濾過が正確である定電圧および全波整流X線装置の出力と半価層の推定に、癌研作成図を用いることができる。この方法は患者の被曝線量の推定ならびにX線診断室の遮蔽計算には十分な精度で役立つと考える。

本研究は昭和51年度厚生科学研究補助金および昭和53年度文部省科学研究費の援助をうけて行われた。

### 文 献

- 1) HPA: The physics of radiodiagnosis. Second edition, pp. 53—59, 1977. The Hospital Physicists' Association, London
- 2) ICRP Publication 21 (1971): 体外線源からの電離放射線に対する防護のためのデータ: ICRP Publication 15 の補遺 (邦訳). p. 110, 1974, 日本アイソトープ協会
- 3) ICRP シリーズ 3 (1960): エネルギー 3 MeV までのX線, ならびに 密封線源からの  $\beta$  線および  $\gamma$  線に対する防護に関する専門委員会Ⅲの報告 (邦訳). p. 42, 1962, 日本放射性同位元素協会
- 4) Glasser, O., Quimby, E.H., Taylor, L.S. and Weatherwax, J.L.: Physical foundations of radiology. Second edition, pp. 245—247, 1952. Paul. B. Hoeber, New York
- 5) McCullough, E.C. and Cameron, J.R.: Exposure rates from diagnostic x-ray units. Br. J. Radiol. 43: 443—451, 1970
- 6) NCRP Report No. 33: Medical x-ray and gamma-ray protection for energies up to 10 MeV, Equipment design and use. p. 43, 1968
- 7) Schulz, R.J. and Gignac, C.: Application of tissue-air ratios for patient dosage in diagnostic radiology. Radiology 120: 687—690, 1976
- 8) 文献 6), p. 42
- 9) Trout, E.D., Kelley, J.P. and Gross, R.E.: Beam quality measurements in diagnostic roentgenology. Am. J. Roent. 103: 681—688, 1968
- 10) Trout, E.D., Kelley, J.P. and Lucas, A.C.: Influence of cable length on dose rate and half-value layer in diagnostic x-ray procedures. Radiology 74: 255—264, 1960
- 11) Holloway, A.F., Campbell, E.M. and Essenburg, A.: Exposure characteristics of diagnostic x-ray machines. Br. J. Radiol. 45: 48—52, 1972