The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Telecobalt および Linac X線装置による表面線量と表面近傍の線量計算式 |
| Author(s) | 尾内, 能夫; 入船, 寅二; 都丸, 禎三 他 |
| Citation | 日本医学放射線学会雑誌. 1972, 32(9), p. 735-743 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/18159 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# Telecobalt および Linac X 線装置による表面線量と表面近傍の線量計算式

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　内田　勲

（昭和47年10月23日受付）

# Surface doses and mathematical expressions for dose calculation in build-up regions for various telecobalt units and linear accelerators

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

*Research Code No.: 203*
*Key Words: Surface dose, Build-up region, Telecobalt, High-energy x rays*

Dose distributions in the build-up regions under various conditions of irradiation for several telecobalt units and linear accelerators (4.3, 6, and 10 MV x rays) were measured with a shallow chamber. Its active volume was 1 cm in diameter by 2 mm deep. The results obtained are as follows:

1) If a filter is used, surface peak dose ratios for any telecobalt units agree within ±10% under the same conditions of field size, filter-surface distance, and filter materials. Without a filter, however, difference was observed between the Theratron 60 telecobalt unit and other units because of the difference in design of the diaphragm. For filter-or diaphragm-surface distance greater than 10 cm, no significant difference was observed between no-filter and plastic filter except the Theratron 60, although there was a difference between filters of intermediate and low atomic number materials.

2) For the plastic filter with the same field size and filter-surface distance, there was little difference in surface peak dose ratio between telecobalt and 4.3 MV x rays over the range of field size of 5 × 5 to 25 × 25 cm², and also between telecobalt and 10 MV x rays for large field sizes. For small field sizes, however, surface peak dose ratios for 10 MV x rays were lower than those for other radiation qualities.

3) Tissue peak dose ratios or tissue air ratios in the build-up regions (in the range of $0 \leq d \leq d_0$) may be expressed in the form of

$$TPR(d,A) = 1 - (1 - K'(0)A^{m'(0)})\, e^{-\lambda d} \qquad (1)$$

or

$$TAR(d,A) = K(d_0)A^{m(d_0)} \{1 - (1 - K'(0)A^{m'(0)})\, e^{-\lambda d}\} \qquad (2)$$

where A is the field size at the depth d, $d_0$ is the depth of the peak dose, and K, m, K′, m′, and $\lambda$ are constants for a given radiation quality as shown in Table 3.

When a plastic filter is used, $K'(0)A^{m'(0)}$ in equation (1) or (2) may be expressed as

$$TPR(0,A) = K'(0)A^{m'(0)} = \alpha(FSD)^{-\beta}A^{m'(0)} \quad (3)$$

Where FSD is the filter—surface distance. The values of $\alpha$, $\beta$, and $m'$ are tabulated in Table 4.

The error of these expressions is less than 0.5 mm of the displacement in isodose curves and 10% of the dose.

## I. 緒　言

高エネルギーX線およびγ線による放射線治療時の表面線量については，すでに多くの報告がある[1)10)12)-16)18)-23)]．表面線量に影響する因子には，線質，照射野の大きさ，絞り物質の材質と構造，絞り表面間距離，二次電子フイルタの有無とその材質およびフイルタ表面間距離などがある．これらの因子については，telecobalt では Richardson ら[18)]および尾内ら[15)16)22)]，2MVX線では Howarth ら[7)]の報告が詳しい．しかし，種々の照射装置について同一の測定器を用いて測定し，比較検討した論文は見当らない．我々は同一測定器により，Linac X線（4.3MV，6MV，10MV）および種々の telecobalt 装置について，それらの治療条件下で表面線量を測定し，検討を加えた．また，測定結果を用いて，電子計算機のための表面近傍の線量計算式を開発したので報告する．なお，斜入射における表面線量については別に報告する．

## II. 実験方法

1．照射装置．測定した照射装置は，（a）telecobaltについては，癌研所有の東芝RI—140型およびRI—107型，国立がんセンター所有の東芝RI—107—2型および島津ST—10000型，および東京歯科大学市川病院所有のカナダ原子力公社 Theratron 60，（b）Linac X線については，癌研所有の Mullard 社 4.3MV，東芝LMR—13型10MVおよび国立がんセンター所有の Varian 社6MVである．

2．測定装置．東芝製の shallow chamber を用いた．これは実効電離容積 10mmφ×2mmで，入射窓はマイラにアルミニウムを蒸着した厚さ3 mg/cm² の薄膜，下面はポリエチレン（5cmφ×2cm）である．これを30cmφ×5cmの MixDP に埋めこみ，厚さ15cmの MixDP 上にのせて，全体の厚さを20cmとした．この shallow chamber の上側（線源側）にポリスチレンの板をのせて build-up 領域の線量を測定した．測定は電極を正負切替えて行ない，その平均値を電離電流として採用した[11)]．電圧は 500V である．

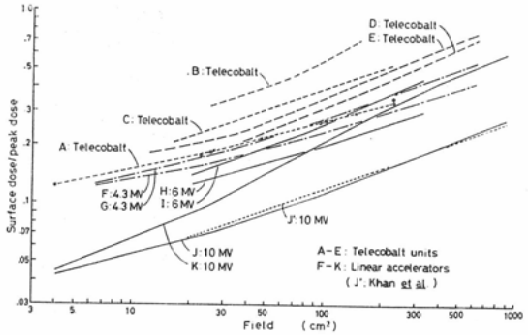
測定の幾何学的条件は各実験結果の項で述べる．

## III. 実験結果および考察

表面線量は，ピーク深における電離電流に対する表面（実際には電離箱の入射窓の厚さである3 mg/cm² 深部）の電離電流の比で表わし，これを表面/ピーク線量比（surface peak dose ratio）とした．本論文で表面線量といっているのはこの表面/ピーク線量比である．照射野は shallow chamber の表面位置における幾何学的照射野で表わした．

1．電離箱の電極間隔の表面線量測定値への影響．使用した shallow chamber の電極間隔（2mm）の表面線量測定値への影響を，東芝製（設計型）の外挿型電離箱（入射窓 3.6mg/cm², 実効電離容積20mmφ×電極間隔）を用いて検討した．4.3MVX線（SSD 100cm，照射野10×10cm²）および telecobalt（SSD50cm，照射野 10×10 cm²）について，電極間隔を変えて表面線量を測定し，0mmへの外挿値を求めた．その結果，電極間隔2mmの場合の表面線量測定値に対し，0mmへの外挿値は両線質とも9%程度低かつた．したがつて，実際の表面線量は使用したshallow chamber の測定値よりこの程度低い値になることが期待されるが，ここでは shallow chamber による測定値をそのまま記載する．

2．種々の装置の治療条件時の表面線量の比較．図1に種々の装置の治療条件時の表面線量を




A. ○ Shimadzu ST-10000, SSD 60 cm, DSD 20 cm, FSD (Cd filter) 19.3 cm. × Toshiba RI-107, SSD 65 cm, DSD (cone) 26 cm, FSD (Cu filter) 41 cm. ◇ Toshiba RI-107-2, SSD 65 cm, DSD 29 cm. B. ST-10000, SSD 60 cm, DSD 20 cm, FSD (shadow table) 6 cm. C. Toshiba RI-140, SSD 50 cm, DSD 15 cm, FSD (plastic marker) 14.3 cm. D. AECL Theratron 60, SSD 60 cm, DSD 32.4 cm, no-filter. E. Theratron 60, SSD 60 cm, DSD (extention bars) 15 cm. F. Mullard 4.3 MV xrays, SSD 100 cm, DSD 36 cm, FSD (plastic marker) 32.4 cm. G. 4.3 MV xrays, SSD 100 cm, DSD 36 cm, FSD (shadow tray) 20 cm. H. Varian 6 MV xrays, SSD 90 cm, DSD 30 cm. I. 6 MV xrays, SSD 90 cm, DSD 30 cm, FSD (shadow tray) 20 cm. J and J′. Toshiba 10 MV xrays, SSD 100 cm, DSD 50 cm. K. 10 MV xrays, SSD 100 cm, DSD 50 cm, FSD (shadow tray) 20 cm.

Fig. 1. Surface peak dose ratios for various telecobalt units (curves A–E) and linear accelerators (curves F–K)

示す．測定条件は図に示した．表面線量と幾何学的照射野とを両対数で目盛ると，両者はほぼ直線関係にある．同じ照射野でも装置や治療条件により表面線量は著しく異なる．4.3MVおよび6MVX線では shadow tray をおいても，小照射野を除いて telecobalt の tray をおかない場合とあまり差がない．10MVX線では shadow tray を用いても大照射野を除いて他の装置より表面線量は小さい，図1に我々と同型の Linac 10MVX線について熱ルミネッセンス線量計 (LiF) を用いて測定した Khan ら[14]の結果も示してあるが，我々の結果とよく一致している．

3．フイルタの有無とフイルタ表面間距離による表面線量の変化．telecobaltの場合に，Richardson ら[18]は，(1) 絞りなどの二次電子源から表面までの距離が20cm以上ではフイルタは不要である．(2) この距離が4cmと20cmの間では，フイルタを用いると表面線量は著しく減少し，フイルタとして中位および高原子番号の物質を用いると低原子番号の物質の場合より効果的である．中位と高原子番号とではあまり差はない．(3) この距離が0から4cmでは，原子番号中位の物質をフイルタとすると表面線量が最小となると結論している．(3)についてはすでに確認しているし，実際の治療装置ではフイルタからの距離は普通4cm以上あるので，(1)と(2)について追試を行なった．特に，Richarkson らの結果では照射野との関係が明らかでないので，その点を明確にする．

なお，4MVおよび10MVX線についても，前方に放出される二次電子の量は原子番号中位の物質において最低となることをフイルム法で確認した．

a．フイルタのない場合．図2に種々の telecobalt 装置についてのフイルタのない場合の表面線量と絞り表面間距離（DSD）との関係を示した．DSDの増加と共に表面線量は減少するが，絞りの材質や構造などの相違により表面線量の値は異なる．多重絞りを用いている Theratron 60では，DSDの大きいところで他の装置より大きな値を示している．

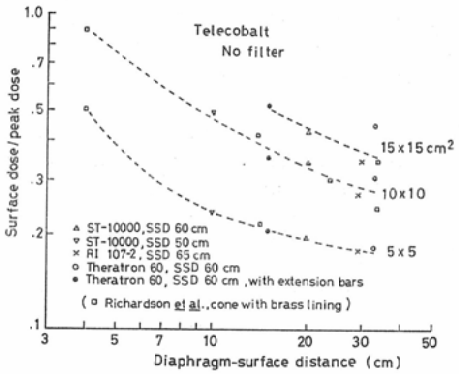



Fig. 2. Surface peak dose ratios for various telecobalt units without any filters plotted against diaphragm-surface distance (DSD)

b．Cu または Cd のフイルタをつけた場合．種々の telecobalt 装置について，原子番号中位の物質（Cu, Cd）をフイルタとした場合の結果を図3に示す．フイルタ表面間距離（FSD）と照射野が等しければ，どの装置でも表面線量は殆んど相違しない．Richardson のデータから，該当する照射野に内挿して得た値をプロットしてあるが，これも我々の結果に近い．表1に，SSDが変化しても，FSDが一定で，表面での照射野が同じならば，表面線量は殆んど変らないことを示した．白貝ら[21]はSSDを変化して，FSDを変えても同一照射野であれば，表面線量は殆んど変らないと述べているが，これはFSDが19cmから49cmの範囲であるから，FSDによる差が小さいことによるものであろう．

図4に telecobalt 装置について，実用のFSDまたはDSDにおける Cu または Cd のフイルタのある場合とない場合の表面線量を照射野を横軸にとつて示した．フイルタをつけることにより小照射野で10%，大照射野で40%程度表面線量は減少する．Richardson の結果でも大照射野ではフイルタの効果が認められている．

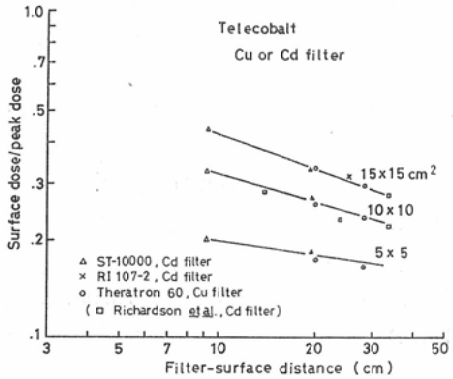



Fig. 3. Surface peak dose ratios for various telecobalt units with electron filter plotted against filter-surface distance (FSD). Solid lines are calculated from equation (3).

Table 1. Variation of surface peak dose ratios for telecobalt unit with source-surface distance at 20cm Cu filter-surface distance

| SSD (cm) | Field at surface (cm²) | | |
|---|---|---|---|
| | 5 × 5 | 10×10 | 20×20 |
| 55 | $0.17_6$ (1.02) | $0.25_5$ ($0.99_2$) | $0.40_1$ ($0.98_6$) |
| 60 | $0.17_2$ (1.0) | $0.25_7$ (1.0) | $0.40_7$ (1.0) |
| 75 | $0.17_0$ ($0.98_8$) | $0.25_3$ ($0.98_4$) | $0.40_5$ ($0.99_5$) |

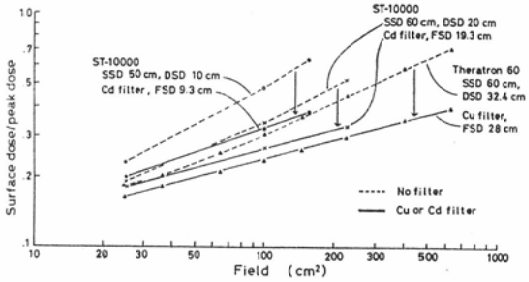



Fig. 4. Comparison of surface peak dose ratios with and without electron filter for telecobalt units. Solid lines are with Cu or Cd filter and broken lines are without any electron filters.

c．プラスチック・フイルタの場合．照準用の marker, 絞りをのせるための shadow tray, 酸素チエンバーなどでは透明のプラスチックを用いるが，この場合の表面線量について測定した．どの線質についても平衡厚以上のアクリル樹脂をフイルタとした．

図5に示すように，FSDと照射野が同一であれば，どの telecobalt 装置でも表面線量は±10%

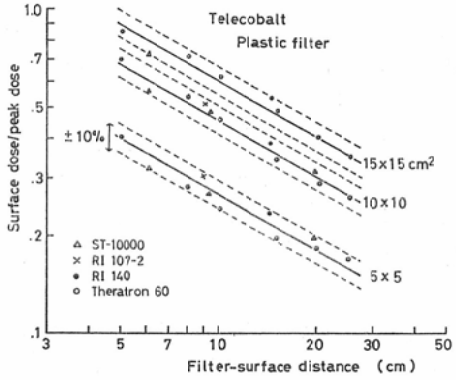



Fig. 5. Surface peak dose ratios for various telecobalt units with plastic filter plotted against filter-surface distance. Solid lines are calculated from equation (5).

の範囲内に入る．フイルタのない場合の図2と比較するとTheratron 60以外では殆んど差がない．Linac X線についての同様の結果を，telecobaltと比較して図6に示した．大照射野ではtelecobaltから10MVX線まで，FSDが同じならばエネルギーによる差はあまりない．4.3MVX線とtelecobaltでは，照射野とFSDが同一ならば，5×5から25×25cm²までの範囲の照射野では同程度の表面線量である．FSDが大きいほど表面線量は減少するが，FSDが大きくなるほど減少の仕方がゆるやかとなり，ある大きさ以上では減少しなくなる．この大きさをFSD（∞）とよぶ．FSD（∞）の大きさは照射野が大きいほど大きくなる．Scrimger[20]はtelecobaltについて照射野4×4cm²でFSD（∞）＝12cmと報告している．我々の結果では5×5cm²でFSD（∞）は25cmであるが，15cmと25cmとで表面線量の相違は10%程度であるから，Scrimgerの結果と大差ない．10MVX線では5×5cm²で約30cmである．

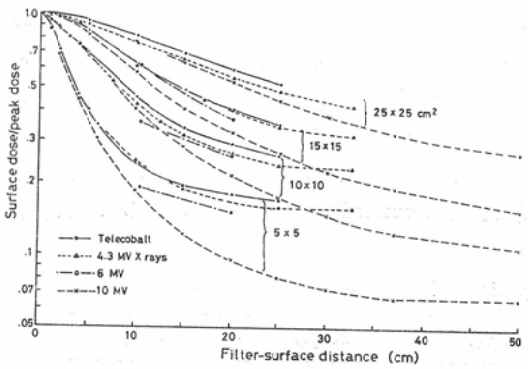



Fig. 6. Surface peak dose ratios for various teletherapy units with plastic filter plotted against filter-surface distance

## IV. 電子計算機のための表面近傍の線量計算式

ピーク深以上の深部（$d \geq d_0$）の中心軸上の線量計算式についてはすでに報告した[17]．今回は表面からピーク深（$0 \leq d \leq d_0$）までの中心軸上の線量計算式について報告する．

表面近傍の線量計算式はJohnsら[9]が理論的に，またBomford[2]は経験的に指数関係で近似しているが，表面線量は求められない．また照射野の大きさによる変化も考慮されていない．得られた実験結果を用いて種々の条件下での表面線量および表面近傍の線量を求める計算式を開発した．

1．表面からピーク深までの線量を組織/ピーク線量比（TPR）または組織/空中線量比（TAR）で表わすと，ピーク深以上の深部と同じく，ある深部について照射野のべき関数で近似できる．すなわち

$$TPR(d,\ A) = K'(d)^{m'(d)} \qquad (1)$$

または

$$TAR(d,\ A) = K(d)A^{m(d)} \qquad (2)$$

ここに，dは深さ，Aはその位置での照射野の大きさ，K′(d)およびm′(d)またはK(d)およびm(d)は深さにより決まる定数でK′(d)＝K(d)/K($d_0$)およびm′(d)＝m(d)—m($d_0$)の関係にある．各装置毎にKとmとを決めれば，(1)または(2)式により表面近傍の線量を計算できる．図7に10MV X線について(1)式の成立することを示した．表2に各線質について，与えられている条件下でのKとmまたはK′とm′の値を示した．

2．しかし，Kとmとを深さdについての関数で近似すると複雑な式となる．そこで，表面近傍のTPRまたはTARを次式で近似した．

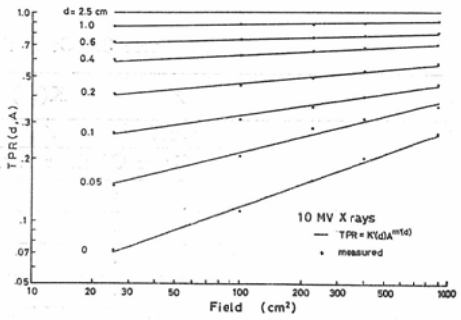



Fig. 7. Comparison of calculated and measured values of tissue peak dose ratios (TPR) in build-up regions for 10 MV xrays. Solid lines are calculated from equation (1) using the values in Table 2. Experimental points are shown as dots.

Table 2. Values of K′ and m′ or K and m in build-up regions for equation (1) or (2)

| Depth (cm) | Telecobalt Cu filter S.D. 28cm | | 4.3 MV x rays DSD 36cm | | 6 MV x rays DSD 40cm | | 10 MV x rays DSD 50cm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K | m | K | m | K | m | K′ | m′ |
| 0 | 0.0638 | 0.2934 | 0.0615 | 0.3029 | 0.0482 | 0.2998 | 0.0216 | 0.3696 |
| 0.05 | 0.2332 | 0.1590 | 0.2301 | 0.1462 | 0.2061 | 0.1145 | 0.0670 | 0.2536 |
| 0.1 | 0.4540 | 0.0917 | 0.3836 | 0.0995 | 0.3349 | 0.0686 | 0.1617 | 0.1508 |
| 0.2 | 0.7288 | 0.0487 | 0.5841 | 0.0591 | 0.4877 | 0.0520 | 0.3014 | 0.0934 |
| 0.3 | 0.9040 | 0.0247 | 0.7036 | 0.0417 | 0.6065 | 0.0412 | 0.4120 | 0.0672 |
| 0.4 | 0.9625 | 0.0164 | 0.7943 | 0.0293 | 0.6882 | 0.0342 | 0.5069 | 0.0494 |
| 0.5 | 0.9625 | 0.0164 | 0.8675 | 0.0213 | 0.7520 | 0.0298 | 0.5885 | 0.0361 |
| 0.6 | | | 0.9146 | 0.0167 | 0.8013 | 0.0259 | 0.6555 | 0.0297 |
| 0.8 | | | 0.9563 | 0.0124 | 0.8879 | 0.0157 | 0.7393 | 0.0240 |
| 1.0 | | | 0.9787 | 0.0098 | 0.9424 | 0.0098 | 0.8210 | 0.0162 |
| 1.5 | | | | | 0.9857 | 0.0083 | 0.9394 | 0.0055 |
| 2.0 | | | | | | | 0.9869 | 0.0004 |
| 2.5 | | | | | | | 1.0 | 0 |

$$TPR(d,\ A) = 1 - (1 - K'(0)A^{m'(o)})e^{-\lambda d} \qquad (3)$$

または

$$TAR(d,\ A) = K(d_0)A^{m(d_0)} \times \{1 - (1 - K'(0)A^{m'(o)})e^{-d\lambda}\} \qquad (4)$$

(4)式の右辺の $K(d_0)A^{m(d_0)}$ はピーク深のTARすなわち散乱係数を，$K'(0)A^{m'(o)}$ は表面/ピーク線量比を表わしている．$K'(0)$, $m'(0)$, $K(d_0)$, $m(d_0)$ および $\lambda$ は装置により決定される定数である．各装置についてのこれらの定数を表3に示す．telecobalt については，Cd または Cu のフィルタのついた装置ならば，FSDがわかれば表3の定数はどの装置にも適用できる．4.3，6および10MV X線については，FSD (∞) の表面線量を表わしている．

深さをピーク深に対する比 $p = d/d_0$ で表わし，$\lambda d_0 = \lambda_0$ とすると (3)および (4)式の指数部は $\lambda d = \lambda_0 p$ と表わせる．$\lambda$ の代りに $\lambda_0$ を用いると，$\lambda_0$ は telecobalt で4.33 ($d_0$= 0.5cm)，4.3MV X線で4.59 ($d_0$= 1 cm)，6MV X線で4.60 ($d_0$= 1.5cm) および10MV X線で5.32 ($d_0$= 2.5cm) となる．Bomford[2] は $^{60}Co$ から31MV X線ま

Table 3. Coefficients for equations (3) and (4)

| | $\lambda$ | $K(d_0)$ | $m(d_0)$ | $K'(0)$ | $m'(0)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Telecobalt | 8.665 | 0.9625 | 0.01641 | | |
| | Cu or Cd filter S.D. | | 10cm | 0.06771 | 0.3382 |
| | 〃 | | 15 | 0.07009 | 0.3051 |
| | 〃 | | 20 | 0.07183 | 0.2817 |
| | 〃 | | 25 | 0.07320 | 0.2635 |
| | 〃 | | 30 | 0.07435 | 0.2486 |
| 4.3 MV x rays[1] | 4.590 | 0.9787 | 0.00983 | 0.06287 | 0.2931 |
| 6 MV x rays[2] | 3.066 | 0.9857 | 0.00834 | 0.04887 | 0.2915 |
| 10 MV x rays[3] | 2.128 | —— | —— | 0.02156 | 0.3696 |

(1) Mullard, SSD 100cm, DSD 36cm
(2) Varian, SSD 100cm, DSD 40cm
(3) Toshiba, SSD 100cm, DSD 50cm

で，彼の式の中の指数部を５ｐとしているが，我々の値もそれに近い．

3．プラスチック製の shadow tray などを用いる場合には，ＦＳＤが小さくなるので，図６に示すようにＦＳＤによる表面線量の変化が大きい．したがつて，ＦＳＤの関数で表面線量を表わす必要がある．

ＦＳＤ（∞）の近くまでは，$K'(0)$ はＦＳＤのべき関数 $K'(0)=\alpha(FSD)^{-\beta}$ で近似できるので，表面/ピーク線量比は次式で表わせる．

$$TPR(0,\ A)=K'(0)A^{m'(0)}=\alpha(FSD)^{-\beta}A^{m'(0)} \tag{5}$$

ここに，$\alpha$ および $\beta$ は線質により決定される定数である．表４にこれらの定数を示した．Saylor ら[19]は鉛ガラスのフイルタについて同様の関係が成立つと述べている．

4．実測値との比較．（a）10MV X線について，表２の値を用いて（1)式により計算した表面近傍のＴＰＲを図７および図11の実線で示した．telecobalt, 4.3MVおよび６MV X線についての(2)式による表面近傍のＴＡＲの計算値を図10の実線で示した．K，mは表２の値を用いた．（b）(3)式または(4)式と表３の値を用いて計

Table 4. Coefficients for equation (5)

| | m′(0) | α | β |
|---|---|---|---|
| Telecobalt | 0.3658 | 0.2885 | 0.5477 |
| 4.3 MV x rays | 0.3904 | 0.3166 | 0.6488 |
| 10 MV x rays | 0.4934 | 0.2480 | 0.8153 |

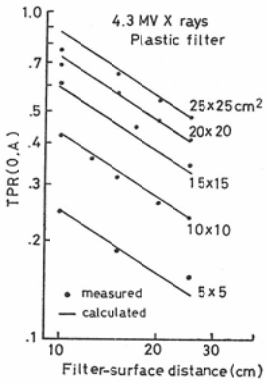



Fig. 8. Comparison of calculated and measured values of surface peak dose ratios (TPR (0, A)) for 4.3 MV xrays with plastic filter. Solid lines are calculated from equation (5). Dots represent experimental points.

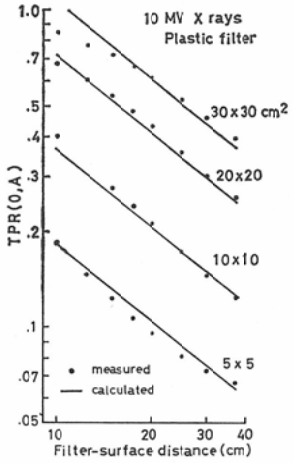



Fig. 9. Comparison of calculated and measured values of surface peak dose ratios (TPR (0, A)) for 10 MV xrays with plastic filter. Solid lines are calculated from equation (5). Dots represent experimental points.

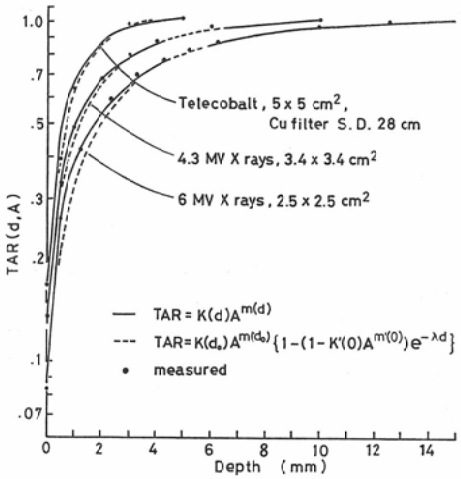



Fig. 10. Comparison of calculated and measured values of tissue air ratios in build-up regions for telecobalt, 4.3 MV, and 6 MV xrays. Dots are measured. Broken lines are calculated from equations (4) and (5), and solid lines are calculated from equation (2).

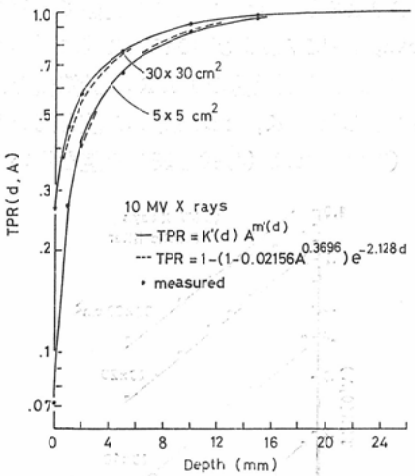



Fig. 11. Comparison of calculated and measured values of tissue peak dose ratios for 10 MV x rays. Dots are measured. Broken lines are calculated from equation (3) and solid lines are from equation (1).

算した同様の結果を図10および11の破線で示した．また，telecobaltについて(3)式と表3を用いて計算した表面/ピーク線量比を図3の実線で示した．(c) (5)式と表4の値を用いて計算した表面/ピーク線量比を図5，8および9の実線で示した．

いずれの場合も，計算値と実測値の相違は，等線量点の位置で0.5mm以下，線量で10%以下である．

## V. 総　括

1. 現在治療に用いているLinac X線(4.3MV，6MVおよび10MV X線)および種々のtelecobalt装置について，その治療条件下で表面線量(表面/ピーク線量比)を同一のshallow chamberを用いて測定し，比較検討して次の結論を得た．

(1) 同一照射野でも装置，治療条件により表面線量は著しく異なる．

(2) 5種類のtelecobalt装置について測定した結果，(a)絞りと表面との間にフイルタのない場合は，DSDが等しく，同じ照射野でも表面線量は絞りの構造により異なる．(b) Cuまたは Cdのフイルタをつけると，実用のFSDでフイルタなしにくらべて表面線量は小照射野で10%，大照射野で40%程度減少する．(c) Cuまたは Cdのフイルタのある場合の表面線量は，表面で同一照射野ならば，SSDに依らず，FSDのみによる．(d) shadow trayなどを使用する場合，すなわち絞りと表面との間にプラスチックのフイルタが存在する場合にも，表面での照射野とFSDが同じならば，どの装置でも±10%の範囲にはいる．(e) Theratron 60以外では，DSDが10cm以上ならばプラスチックのフイルタがあつてもフイルタなしと表面線量に殆んど差はない．

(3) プラスチックのフイルタがある場合に，表面での照射野およびFSDが同じならば，(a) 4.3MV X線はtelecobaltと表面線量はあまり差がない．(b) 大照射野ではtelecobaltから10MV X線まで表面線量にあまり差がないが，小照射野では10MV X線が著しく低い．

2. 電子計算機のための表面近傍(build. up領域)の線量計算式を開発した．この式は上記線質のどの装置にも適用できる．計算値と実測値の相違は，等線量点の位置で0.5mm以内，線量で10%以下である．

この研究は厚生省がん研究助成金の援助により行なわれた．なお，本論文の要旨は一部を厚生省塚本班「がん放射線治療技術の開発に関する研究」会議(1965, 12 4)および第31回日本医学放射線学会総会(1972. 7. 15)において発表した．測定に際し御協力下さった国立がんセンター放射線診療部前部長梅垣洋一郎博士および現部長北川俊夫博士，ならびに東京歯科大学市川病院放射線科小林秀夫教授に感謝する．

## 文　献

1) Baily, N.A.. and Beyer, N.S.: Surface and entrance dose for a 2-MVP x-ray beam, Radiology 69 (1957), 553—557.
2) Bomford, C.K.: Calculation of percentage depth dose in regions of build-up, Brit. J. Radiol. 42 (1969), 551—552.
3) Chamberlain, E.C., and Baily, N.A.: Entrance and exit absorbed dose characteristics for a 6-MeV x-ray generator, Radiology 82 (1964), 267—271.

4) Drexler, G., und Wachsmann, F.: Messungen uber die Grosse des Aufbaueffektes bei $Co^{60}$ und Rontgenstrahlen von 17 MeV, Strahlentherapie 132 (1967), 1—7.
5) Focht, E.F.: Surface dose, Radiology 63 (1954), 637—644.
6) Hine, G.J.: Scattering of secondary electrons produced by γ-rays in materials of various atomic numbers, Phys. Rev. 83 (1951), 755—756.
7) Howarth, J.L., and Jones, J.C.: Physical measurements on a 2 MeV x-ray generator, Brit. J. Radiol. 24 (1951), 665—675.
8) Ibbott, G.S. and Hendee, W.R.: Beam-shaping platforms and the skin-sparing advantage of $Co^{60}$ radiation, Am. J. Roentgenol. 108 (1970), 193—196.
9) Johns, H.E., Darby, E.K., Haslam, N.H., Katz, L., and Harrington, E.L.: Depth dose data and isodose distributions for radiation from a 22 MeV betatron, Am. J. Roentgenol. 62 (1949), 257—268.
10) Johns, H.E., Cormack, D.V., and Fedoruk, S.O.: 1000 curie cobalt units for radiation therapy II. Depth dose data and diaphragm design for the Saskatchewan 1000 curie cobalt unit, Brit. J. Radiol. 25 (1952), 302—308.
11) Johns, H.E., Aspin, N., and Baker, R.G.: Currents induced in the dielectrics of ionization chambers through the action of high-energy radiation, Rad. Res. 9 (1958), 573—588.
12) Kemp, L.A.W., and Burns, J.E.: Physical measurements on the London Hospital Picker C 3000 cobalt unit, Acta Radiol. 49 (1958), 471—484.
13) Khan, F.M.: Use of electron filter to reduce skin dose in cobalt teletherapy, Am. J. Roentgenol. 111 (1971), 180—181.
14) Khan, F.M., Moore, V.C., and Sato, S.: Depth dose and scatter analysis of 10 MV x-rays, Radiology 102 (1972), 165—169.
15) 尾内能夫：Ra および $^{60}$Co γ線の遮蔽に関する基礎的研究，第4報二次電子に関する実験的研究，日本医放会誌16 (1956), 97～106.
16) 尾内能夫，五味　誠：Telecobalt 治療の際の皮膚障害，臨床放射線 3 (1958), 656—661.
17) Onai, Y., Irifune, T., Tomaru, T., and Konishi, K.: Calculation of dose distributions in radiation therapy by a digital computer. I. The computation of dose distributions in a homogeneous body for cobalt 60 γ-rays and 4.3 MV x-rays, Nipp. Act. Radiol. 27 (1967), 653—666.
18) Richardson, J.E., Kerman, H.D., and Brucer, M.: Skin dose from a cobalt 60 teletherapy unit, Radiology 63 (1954), 25—36.
19) Saylor, W.L., and Quillin, R.M.: Methods for the enhancement of skin sparing in cobalt 60 teletherapy, Am. J. Roentgenol. 111 (1971), 174—179.
20) Scrimger, J.W.: Effect of air gap on absorbed dose in tissue, Radiology 102 (1972), 171—172.
21) 白貝彰宏，野田博治：コバルト60遠隔治療装置からの皮ふ線量，日本医放会誌28 (1968), 68—71.
22) 塚本憲甫，尾内能夫：$^{60}$Co γ 線により放出される2次電子についての写真法による実験的研究. Radioisotopes 5 (1957), 20—24.
23) Wilson, C.W., and Perry, B.J.: Secondary electron emission generated by 1 MeV and 2 MeV x-rays, Brit. J. Radiol. 24 (1951), 293.