



Title	高エネルギーX線, 電子線の線量測定 : レントゲン値からラドの算定について
Author(s)	松沢, 秀夫; 川島, 勝弘; 平岡, 武 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(5), p. 468-472
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/17761">https://hdl.handle.net/11094/17761</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# 高エネルギー X 線, 電子線の線量測定 (レントゲン値からラドの算定について)

放射線医学総合研究所物理部

松 沢 秀 夫 川 島 勝 弘 平 岡 武  
稻 田 哲 雄 星 野 一 雄 佐 方 周 防

(昭和39年6月23日受付)

Dosimetry of High-energy X-Rays and Electrons (Estimation of Absorbed Dose in Water from "r"-readings of Practical Dosimeter)

By

H. Matsuzawa, K. Kawashima, T. Hiraoka, T. Inada,  
K. Hoshino and S. Sakata  
Physics Division National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan

Numerical values of conversion factor available to estimate rad from "r" were determined for several dosimeters when they were put in Lucite or water exposed to 6-30 MV X-rays or 10-30 MeV electrons. Six dosimeters which indicate "r" were employed for experiment. For radiation of a definite energy, each dosimeter measured R "r" in Lucite at the depth where occurs the maximum of the depth dose distribution. Under the same condition, the ionization density Q esu/cc was also measured by a parallel-plate ionization chamber. In this way, the conversion factor from "r" to rad in Lucite was determined through the ratio of R to Q. Then, the conversion factor in water was deduced. As shown in Fig. 4, it may be concluded that the conversion factor from "r" to rad depends on not only the construction of dosimeter but also the type and the energy of radiation.

## I 緒言

kV 域のX線,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co} \gamma$  線など, レントゲン単位が適用できるエネルギー域の X-,  $\gamma$ -線に照射された組織の吸収線量については, 理論的・実験的に多くの研究がなされ, その結果はレントゲンからラドへの換算係数として ICRU Report 1959<sup>1)</sup> に集成されている。然し, MV 域のX線, 電子線については, 組織の吸収線量をラドで表示すると云う原則は決っているにかゝわらず, 実際に有用な方法は未だ確立されていない。

我々は, 実用線量計の読み(レントゲン値)からラドを算定できれば好都合であろうと考え, その換算係数をルサイトについて半実験的に求めさらに水の換算係数を推定した。使用した放射線は,  $^{60}\text{Co} \gamma$  線; 線型電子加速器の 6 MV X 線, ベータトロンの 10~30 MV X 線, 電子線などである。

## II ラド換算係数の算定

### (1) 前提条件

高エネルギーX線または電子線に照射された均

一媒質中の任意の部位における吸収線量  $D$  rad は、そこに作つた小さな空洞 (air cavity) 中の電離密度  $Q$  esu/cc が判れば次式で求めることができる (空洞原理)<sup>1)</sup>.

$$D = 0.87 \cdot s \cdot Q = F \cdot Q \quad (1)$$

但し、 $s$  は媒質の電子阻止能と空気のそれとの比であり、また  $F = 0.87 \cdot s$  とおく。

今、air cavity の代りに実用の線量計を前者と同じ位置に置き R レントゲンと読みとられたとすれば、媒質の吸収線量  $D$  rad は次式で与えられるであろう。

$$D = R \cdot k \cdot f \quad (1')$$

但し、 $k$  は線量計の読みから眞の照射線量 (レントゲン) を知るための較正係数であり、こゝでは  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線に対する値を用いることにする。また  $f$  はラドへの換算係数とする。

さて、照射条件が同一ならば、(1) または (1') 式で与えられる rad 値は等しい筈であるから、

$$F \cdot Q = R \cdot k \cdot f \therefore f = F \div (Rk/Q) \quad (2)$$

従つて、媒質中の同じ位置におけるレントゲン値と電離密度の比  $Q \cdot k / Q$  および  $F$  が判れば、 $f$  は (2) 式から求められる。また (1') 式により線量計の読みから rad が算定できるであろう。X線、電子線の各エネルギーについて、 $F$  は理論計算によりまた  $R \cdot k / Q$  は実験により求めることができるので、以下にこれについて述べる。但し、媒質はルサイトである—軟組織または水を媒質にするのが望ましいが、その中に壁のない air cavity を作りそこに生じた電離を測定することは实际上困難である。故に、軟組織の代用として固体のルサイトを選び、その中につくられた air cavity 中の電離を測定することにした (外挿電離箱)。

## (2) 線量計

実験に使用した実用の線量計は次の 6 種類であり、それぞれの  $k$  は表 1 に示す如くである。

A : Victoreen condenser chamber, No. 553

B : 同 上 No. 621

C : Radocon 575型 (Probe No. 606, 607)

D : 東芝深部線量計

E : Philips 線量計

F : 蛍光ガラス針 (東芝 FD-PS-1)

Table 1 Sensitivities of r-dosimeters exposed to the same  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray beam.

Dosimeter	A	B	C	D	E	F
Readings, R (roentgen)	29.2	29.5	26.0	24.6	31.2	26.0
Calibration factor, k	0.89*	0.88	1.00	1.06	0.82	1.00
True exposure, R $\cdot$ k (roentgen)	← → 26.0 → →					

A : Victoreen condenser chamber, No. 553. B : Victoreen condenser chamber, No. 621. C : Radocon dosimeter, probe No. 606, 607. D : Toshiba dosimeter. E : Philips dosimeter. F : Fluoroglass rod (Toshiba, FD-PS-1.)

\*): Dosimeter A was calibrated for standard  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays at National Electro-Technical Laboratory of Japan, and k was estimated at 0.89 for dosimeter A. Calibration factors of other dosimeters were determined as compared with that of A for  $\gamma$ -rays emitted from  $^{60}\text{Co}$  teletherapy unit.

また電離密度  $Q$  esu/cc の測定には、ルサイト壁から成る平板型外挿電離箱を用いた。

## (3) Fについて

さきの (1) 式に示す通り  $F = 0.87 \cdot s$  であるから、電子の各エネルギーについてルサイトと空気の質量阻止能比  $s_{\text{air}}^{\text{Lucite}}$  が判ればルサイトに対する

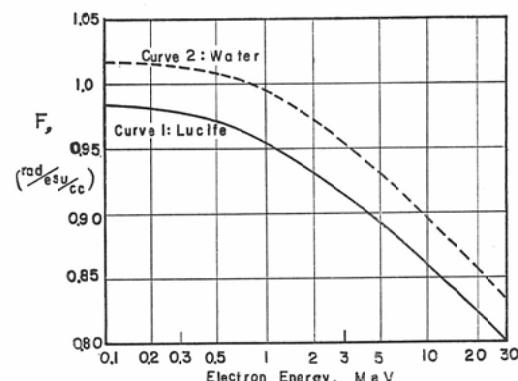


Fig. 1. Variation of  $F$  with electron energy for Lucite and water. Curve 1: calculated from  $s_{\text{air}}^{\text{Lucite}}$  of Nelms<sup>2)</sup>. Curve 2: calculated from  $s_{\text{air}}^{\text{water}}$  of ICRU Report<sup>1)</sup>.

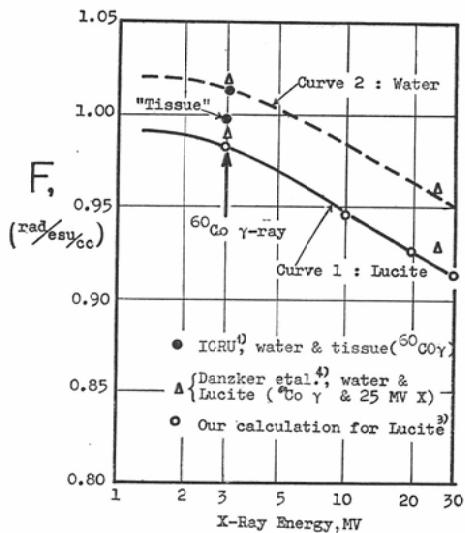


Fig. 2. Variation of  $F$  with photon energy for Lucite and water. Effective energy of 3 MV x-rays were assumed to be equal to  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray energy.

る  $F$  を求めることができる。質量阻止能の値として Nelms<sup>2)</sup> の計算値を用いて得られたものが図 1 の Curve 1 である。ただし 10 MeV 以上は外挿値である。他方、X 線照射の場合は、X 線によりルサイト中に発生する 2 次電子のエネルギースペクトル  $N(E)$  を求めた後、次式によつて平均の

質量阻止能比を計算した<sup>3)</sup> (図 2 の Curve 1)。

$$\bar{s}_{\text{air}}^{\text{Lucite}} = \int N(E) \cdot 1/s \cdot dE / \int N(E) dE$$

但し、 $s$  は電子の各エネルギーに対するルサイトと空気の質量阻止能比である。

なお図 1、2 の Curve 2 は水の  $F$  である。電子線については I C R U 1959 年 Report<sup>1)</sup> の  $s_{\text{air}}^{\text{water}}$  を用い、X 線については Danzker ら<sup>4)</sup> の計算値によつた。図から判る様に、水の  $F$  はルサイトよりも約 3 % 大きい。

#### (4) $R \cdot k/Q$ の測定

ルサイトブロック中に線量計を置き、図 3 の配置で R レントゲンを測定した。また、これと同じ位置にルサイト製平板電離箱の air cavity を置

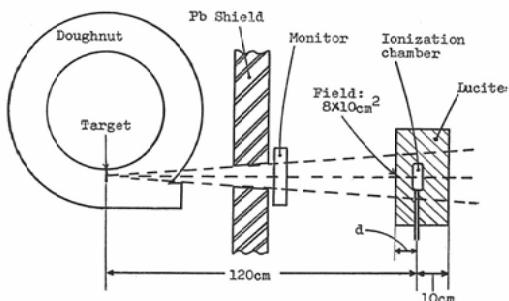


Fig. 3. Schematic diagram of the experimental arrangement.

Table II Ratio of "r" to esu/cc ( $Rk/Q$ ) Measured in Lucite.

Radiation	Depth in Lucite, cm	Rk/Q for Dosimeter,					
		A	B	C	D	E	F
$^{60}\text{Co}$ $\gamma$ -ray	0.5			1.04			
6 MV X-ray	1.0	1.06	1.00	1.00	1.10	1.05	—
10 MV "	2.0	0.98	0.92	1.05	—	1.05	—
15 MV "	3.0	0.97	0.92	1.04	—	1.03	—
20 MV "	4.0	0.95	0.91	1.04	—	1.04	—
25 MV "	4.5	0.95	0.92	1.05	—	1.05	—
30 MV "	5.0	0.96	0.91	1.04	—	1.04	—
10 MeV electron	1.0	0.99	—	0.96	0.81	1.12	—
15 MeV "	1.5	0.97	—	0.95	0.80	1.28	0.80
20 MeV "	2.0	1.03	1.00	0.97	0.85	1.26	0.81
25 MeV "	2.5	1.03	1.00	0.96	0.87	1.26	—
30 MeV "	3.0	1.04	1.04	0.99	0.91	1.25	0.87

A: Victoreen condenser chamber, No. 553. B: Victoreencondenser chamber, No. 621. C: Radcon dosimeter, probe No. 606, 607. D: Toshiba dosimeter. E: Philips dosimeter. F: Fluoroglass rod (Toshiba, FD-PS-1).

き Q esu/cc を振動容量電位計 (Applied Physics Co. Model 31) で測定した。ルサイト中の線量計の深さは、その読みが Max. を示す様な深さとした (表 II 参照)。X 線、電子線の各エネルギーに対してそのビーム強度を同一に保つためにジユラルミン製の transmission 型電難箱をモニタとして用い、各エネルギーの放射線錐につきこれが一定の値を示す時の R, Q を測定した。この測定値および表 I の k 値から得られた R•k/Q を表

II に示す。この値は線量計の材質・形・大きさなどに依存して可成り異り、 $^{60}\text{Co} \gamma$  線に対する値からの偏差は最大±25%に及んでいる。

### (5) f の算定

F の理論値および R•k/Q の実験値から、(2) 式によつてレントゲン→ラドの換算係数 f を求めることができる。表 III はルサイトについての結果である。

また、水については R•k/Q がルサイトと同じ

Table III Conversion Factors f and F for Lucite

Radiation	f (rad/"r") for Dosimeter,						F, (rad/esu/cc)
	A	B	C	D	E	F	
$^{60}\text{Co} \gamma$ -ray	← 0.945 →						0.985
6MV X-ray	0.90	0.96	0.96	0.87	0.92	—	0.96
10MV "	0.97	1.03	0.90	—	0.91	—	0.95
15MV "	0.97	1.02	0.90	—	0.91	—	0.94
20MV "	0.98	1.02	0.89	—	0.89	—	0.93
25MV "	0.96	1.01	0.88	—	0.88	—	0.92
30MV "	0.95	1.01	0.88	—	0.88	—	0.92
10MeV electron	0.87	—	0.88	1.05	0.77	—	0.86
15MeV "	0.86	—	0.88	1.04	0.65	1.05	0.84
20MeV "	0.80	0.82	0.86	0.97	0.65	1.01	0.82
25MeV "	0.79	0.81	0.84	0.93	0.64	—	0.81
30MeV "	0.77	0.78	0.81	0.88	0.64	0.92	0.80

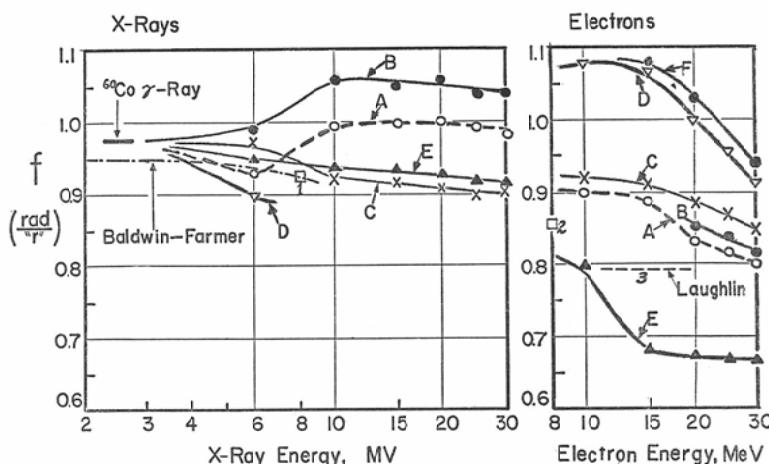


Fig. 4. Variations of f in water with energies and types of radiation for different "r"-dosimeters. A: Victoreen condenser chamber, No. 553. B: ditto, No. 621. C: Radocon dosimeter, probe No. 606, 607. D: Toshiba dosimeter, E: Philips dosimeter. F: Fluoroglass rod (Toshiba, FD-PS-1). 1: Newberry<sup>6</sup>. 2: Batcheler<sup>7</sup>. 3: Laughlin<sup>8</sup>. Baldwin-Farmer: Hospital Physicist's Association, England<sup>9</sup>.

と仮定し、図1、2のF値を用いてfを推定した(図4)。

### III 考按および結論

図1、2にみられる様に、X線、電子線のエネルギーが低い程Fの値は大きい。これは電子線の場合特に注意すべきことである。即ち、或るエネルギーをもつて媒質へ入射した電子線は媒質の原子との衝突を繰返しながら次第にエネルギーを失うので、Fは深さと共に増加することになる。従つて、電離Qの相対比で表される普通の深部率は、吸収線量 F・Q の相対比としての深部率と異なるであろう。これは媒質中の電子スペクトルが判れば実証される筈であり、今後の研究に俟つ問題と考えられる。

レントゲン目盛の線量計でなく電離密度esu/ccが表示される様な実用測定器があれば、その読みにFを乗じて吸収線量が求められるので実際に便利であろう。この点、ドイツにおける Ion dose の概念<sup>5)</sup>は妥当な考へ方と思われる。然し、できるだけ壁の薄い電離箱を作ることは今のところ技術的に困難である。それ故、この難点を克服するか又はできるだけ生体組織に等価な壁材を開発するかゞ当面の問題であろう。

R・k/Q は、たとえ照射条件が同一でも、それぞれの線量計で異った値を示した。これは線量計の構造(材質・形状・大きさなど)の違いによると思われる。特に、電離空洞以外の部分(例えば stem)の leakage については今後検討する予定である。また R・k/Q は放射線の線質にも依存する。従つて、最終的に得られた f 値は各々の線量計で異った値をもち又線質依存性もあると云う結果となつた。これは、放射線治療効果の相互比較、RB正の研究などで吸収線量を評価する場合に充分留意すべき事柄と思われる。図4には、我々のデーターの他 Newberryら<sup>6)</sup>, Batcheler<sup>7)</sup>, Laughlin<sup>8)</sup>, Hospital Physicist Association

(英)<sup>9)</sup>などの値もあげた。Newberry らはペーゲライト製電離箱をラジウムで較正し、8 MV X線に対し 0.93rad/"r", Batcheler は 8 MeV 電子線について 0.865 rad/"r" と仮定している。Laughlin は Victoreen-25 r Condenser chamber を Benzoic acid の酸化と比較し、6~20 MeV 電子線につき平均 0.79rad/"r"を得ていをる。また英國の Hospital Physicist Association では Baldwin-Farmer または Victrometer chamber に対し、0.95 rad/"r" (2 MV X線), 0.94 (<sup>60</sup>Co-γ), 0.94 (4 MV X線), 0.93 (6~8 MV X線) を用いることを推奨している。

放射線医学の分野において実際に望まれるのは生体組織についての吸収線量であり、生体のFまたはf値であろう。然し、その阻止能sの理論計算は複雑であり、またQの測定は技術上の困難を伴うので、生体組織のFまたはfを求めることができなかつた。それ故、一般に軟組織等価と考えられるルサイトについて実験を試み、それより水のf値を推定した。

### 文 献

- Report of International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU) 1959 : NBS Handbook 78, 1961.
- A.T. Nelms: Supplement to NBS Circular 577, 1958, U.S. Government Printing Office, Washington 25, D.C.
- 松沢他：放射線医学総合研究所年報、昭和36年度、p. 26, 1962.
- M. Danzker and J.S. Laughlin: Radiology, 72, 51, 1959.
- Deutsche Normen, DIN 6809.
- G.R. Newberry and D.K. Bewley: Brit. J. Radiol., 28, 241, 1955.
- A. Batcheler et al.: Brit. J. Radiol., 32, 332, 1959.
- J.S. Laughlin: WHO/IAEA/ICRU Meeting on Standardization of Radiological Dosimetry, Review No. 13, Geneva, April 1961.
- Hospital Physicist's Association, England: A Code of Practice for the Dosimetry of 2 to 8 MV X-ray and Caesium-137 and Co-60 γ-ray Beams (Draft).