

Title	ラジウム容器および固定金属板から出る二次電子の遮蔽について
Author(s)	塚本, 憲甫; 尾内, 能夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1954, 14(2), p. 142-146
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20113">https://hdl.handle.net/11094/20113</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# ラジウム容器および固定金屬板から出る 二次電子の遮蔽について

癌研究会附屬病院 放射線科

塚 本 憲 甫・尾 内 能 夫

(昭和28年10月19日受付)

## I. 研究目標

ラジウムの組織内埋没照射<sup>1-3</sup> (特に喉頭癌の Harmer 氏變法, 食道入口部癌の頸椎前面ラジウム挿入法等) の場合に, 我々は腫瘍反対側に 0.5 mm から 1.0 mm ぐらいの厚さの鉛板を置いてラジウムを固定すると同時に, それによつて健康側組織を照射源から適當に離し, かつ放射線の吸収を行つてきた。しかしこの方法ではラジウム容器および固定鉛板から出る二次電子によつて健康組織に障害を及ぼす可能性が大きいと考えられるので, それらの二次電子についてしらべると同時に, その遮蔽に最も良い方法を實驗的に決定したいと思う。

## II. 研究方法

### 1. 二次電子の測定

一次β線を遮蔽したラジウム容器から出る全放射線は一次γ線と, そのγ線によつて容器から放出される二次電子(光電効果, Compton 効果, 電子對創生による電子) および一次γ線と波長の變つた散亂γ線等であるが, これらの放射線が二次電子を遮蔽するために置いた吸収體(以下單に吸収體と呼ぶ)によつて吸収され, 又あらたに放射線を生じていく模様を考えてみる。

(i) γ線の吸収<sup>4</sup>. γ線に對するその吸収體の吸収係数を  $\mu_{\gamma i}$  とすると, x なる深さの點では,

$$I_{\gamma i 0} = I_{\gamma i 0} e^{-\mu_{\gamma i} x}$$

$I_{\gamma i 0}$ : 吸収體の表面でのγ線強度

となる。ラジウムのγ線は種々のエネルギー<sup>5-7</sup>のものがあるから全γ線については

$$I_{\gamma} = \sum_i I_{\gamma i} = \sum_i I_{\gamma i 0} e^{-\mu_{\gamma i} x} \quad (1)$$

となる。

(ii) 二次電子の吸収<sup>4</sup>. 二次電子が一次β線のように, あるエネルギー分布を持つているとすると, 二次電子に對する, その吸収體の吸収係数を  $\mu_{\beta i}$  とすれば, x なる深さの點では

$$I_{\beta i} = I_{\beta i 0} e^{-\mu_{\beta i} x}$$

$I_{\beta i 0}$ : 吸収體の表面での二次電子の強度

で表わされ, 二次電子も吸収係数  $\mu_{\beta i}$  で表わされる幾つかの群からなつているとすると全二次電子については

$$I_{\beta} = \sum_i I_{\beta i} = \sum_i I_{\beta i 0} e^{-\mu_{\beta i} x} \quad (2)$$

となる。

(iii) 二次電子の發生<sup>4)(7)(8)(9)</sup>. γ線がその吸収體で吸収されるとその吸収體自身からあらたに二次電子を放出する。この二次電子の強度  $I'_{\beta}$  は深さ x なる點では

$$I'_{\beta} = \sum_i I'_{\beta i} = \sum_i K_i I_{\gamma i 0} \frac{\mu_{\gamma i}}{\mu'_{\beta i} - \mu_{\gamma i}} (e^{-\mu_{\gamma i} x} - e^{-\mu'_{\beta i} x}) \quad (3)$$

$K_i$ : γ線特有の常數

$\mu'_{\beta i}$ : あらたに生じた二次電子の吸収係數

となる。この式は吸収體の厚さを増していくとそこから出る二次電子が次第に増加し, その電子の行程に相當する厚さの邊で最大となり, その後γ線の吸収と共に減少していくという過渡現象を表わしている。

以上をまとめると,  $\sum_i I_{\gamma i 0} + \sum_i I_{\beta i 0}$  なる強度の

放射線が吸収体の厚さ  $x$  を通過すると

$$\sum_1 I_{\gamma_{10}} e^{-\mu_{\gamma_1} X} + \sum_1 I_{\beta_{10}} e^{-\mu_{\beta_1} X} + \sum_1 K_i I_{\gamma_{0i}} \frac{\mu_{\gamma_i}}{\mu_{\beta_1} - \mu_i} (e^{-\mu_{\gamma_i} X} - e^{-\mu_{\beta_1} X}) \dots \dots \dots (4)$$

なる強度の放射線となる。然しながらこれらの放射線を実際に測定するときには、測定器自身の影響(その種類、大きさ、感度等)の他に放射線源と吸収体および、測定器の幾何學的條件等によつて(4)式の如く簡単には表わせなくなる。そこで、(4)式以外に入ってくる放射線の量を  $Q$  とすると測定にかゝる量は

$$\sum_1 A_i I_{\gamma_{10}} e^{-\mu_{\gamma_1} X} + \sum_1 B_i I_{\beta_{10}} e^{-\mu_{\beta_1} X} + \sum_1 C_i K_i I_{\gamma_{10}} \frac{\mu_{\gamma_i}}{\mu_{\beta_1} - \mu_{\gamma_i}} (e^{-\mu_{\gamma_i} X} - e^{-\mu_{\beta_1} X}) + D \cdot Q \dots \dots \dots (5)$$

となる。 $A_i, B_i, C_i, D$  はそれぞれ  $r$  線、容器よりの二次電子、吸収体より生じた二次電子、その他の散乱  $r$  線、 $\beta$  線等の感度および幾何學的條件を含んだ因子を表わす。

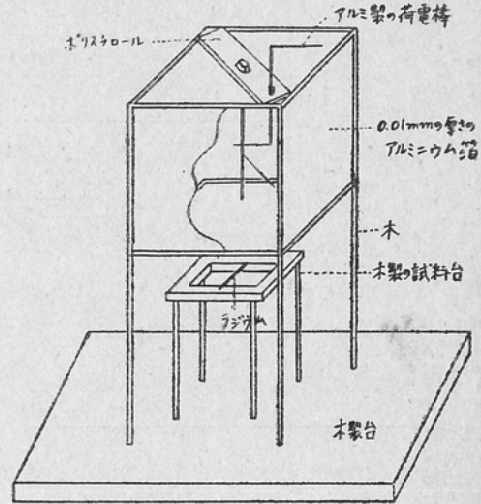
我々は二次電子の吸収をしらべるのが目的であるから、同時計数法<sup>10)</sup>あるいは磁場<sup>11)</sup>等により二次電子だけ((5)式の第2項のみ)についてしらべるのがよいし、また正確でもあるわけであるがそうしないで(2)式の全放射線を測定しても第3項以下の量を小さく( $C_i, D$ を小さく)なし得れば  $\mu_{\beta} > \mu_{\gamma}$  であることから第1項と第2項を區別することができる。即ちよく知られた一次  $\beta$  線の最大飛程を吸収の方法で求めるのと同じ方法で二次電子の飛程を求めることができる。これは勿論  $r$  線の同時に存する場合には極く大體の値になるがそれでも醫學的にはこの程度で十分であろう。

2. 測定装置

そこで上記の目的にかなう測定器としては窓を十分薄くして大部分の電子が入るようにし((5)式の  $B_i$  を大きくする。)しかも  $r$  線によつて測定器自身から出る二次電子を減らして  $r$  線の感度( $A_i$ )を落し、第1項と第2項の差を大きくする必要があるのである。このために我々は木の枠に 0.01 mm 位の厚

さのアルミニウム箔を張つて電離函とした金箔検電器を作りこれを用いた(第1圖)。

第1圖  $\beta$  線金箔検電器



3. 豫備實驗

この装置は、電子の感度をよくしてあるために(5)式の第3項も大きく効いてくる。そこで二次電子を多く出す鉛を吸収体として、それを種々の配置(第2圖)にして測定し、第3項以下の最も小さいと思われる配置( $C_i, D$ の小さい配置)を決定した。第3圖に示す如くI型が最もこの目的に適している。なおアルミニウム、合成樹脂をV型の配置にして測定すると(5)式の第3項の過渡現象がはつきり見られる(第3圖)。

よつて實驗は、厚さ0.5mmの壁を持つた白金製 1 mg ラジウム針(以下單にラ針と呼ぶ。)を検電器の下方1.5cmに置き、その上に吸収体をI型の如く配置して行つた。

III. 實驗結果

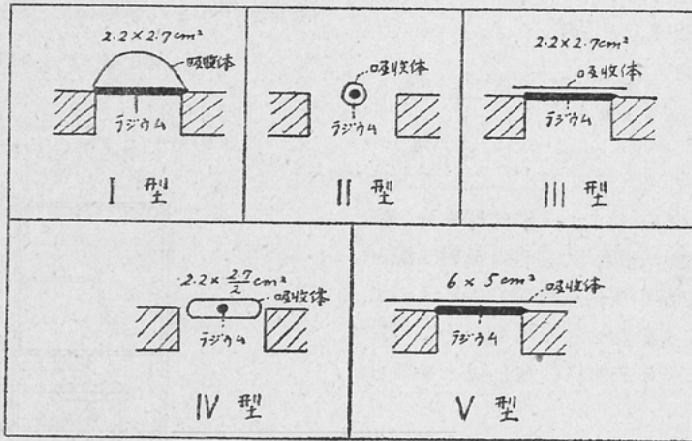
(1) ラ針のみの場合

第4圖に示す如くアルミニウム 0.7 mm (180 mg/cm<sup>2</sup>), 合成樹脂 1 mm (180mg/cm<sup>2</sup>) の邊で二次電子の吸収が終つて

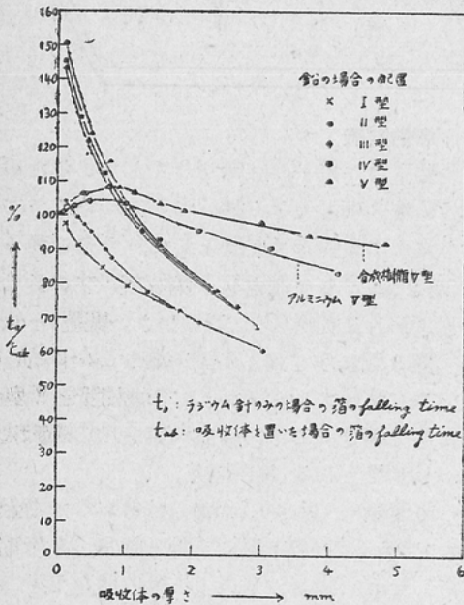
$$(\sum_1 I_{\beta_{10}} e^{-\mu_{\beta_1} X} + \sum_1 I_{\gamma_{10}} e^{-\mu_{\gamma_1} X}),$$

そこから  $r$  線の吸収のみとなり  $(\sum_1 I_{\gamma_{10}} e^{-\mu_{\gamma_{10}} X})$ ,

第2圖 吸収體の配置の型



第3圖 吸収體の配置の相違による二次電子の變化

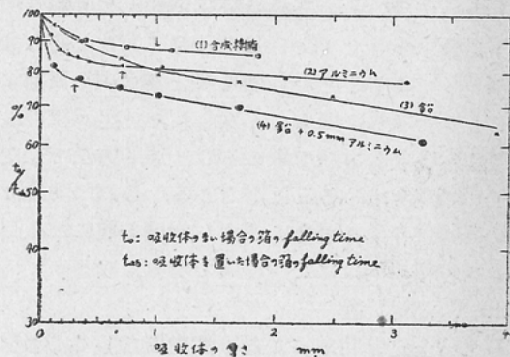


減少の仕方が緩かで ( $\mu_p > \mu_y$ ) しかもはつきりと對數曲線(圖では半對數になつていたので直線)になつてゐる。従つて二次電子の最大飛程はアルミニウムも合成樹脂も  $180\text{mg}/\text{cm}^2$  位の厚さと考えられる。しかし鉛の場合は  $1\text{mm}$  の邊まではアルミニウムより吸収が小さくなつてゐる。これは鉛自身から出る二次電子が相當多いためと思われる。實際にまた厚さ  $0.5\text{mm}$  のアルミニウムで更に鉛

の上を蔽つて吸収をしらべると第4圖(4)の如くなつて折れ曲りがはつきりする。この場合は  $0.3\text{mm}$  ( $340\text{mg}/\text{cm}^2$ ) の邊に最大飛程が出てゐる。

(2) ラ針を  $1\text{mm}$  の厚さの鉛で包んだ場合  
第2圖IV型の如く  $1\text{mm}$  の厚さの鉛でラ針を完全に包むとラ針のみの場合より二次電子が増大する(第3圖)。しかしこの場合その二次電子の吸収をしらべてみると第5圖の如く、吸収の程度は(1)の場合より大きい折れ曲り方は(1)と同じである。

第4圖  $1\text{mg}$  Ra 針のみの場合の二次電子の吸収



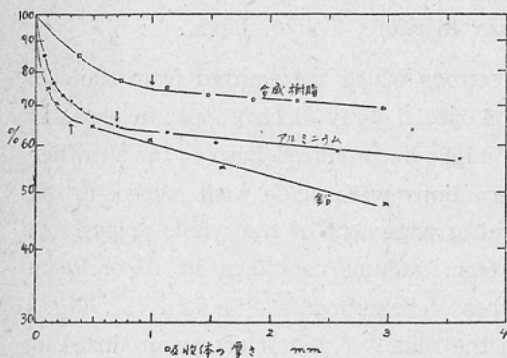
(3) ラ針の背後に鉛を置いた場合  
ラ針の背後に物質(面積  $2.2 \times 2.7\text{cm}^2$ ) を置くと後方散乱のために物質の無い場合より全放射線が増大し、特に鉛の場合には2倍以上にもなる(第



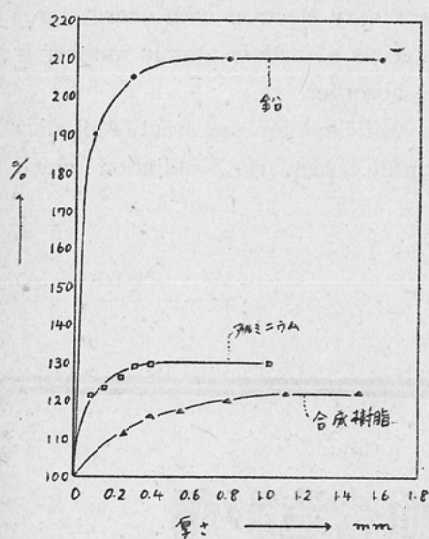
6圖). この場合の吸収は(1), (2), よりも著しく大きく折れ曲り方は(1), (2)と同じである(第

7圖).

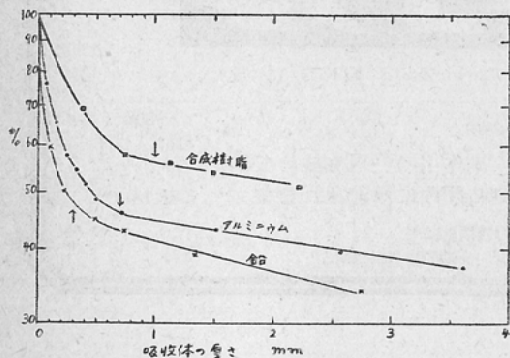
第5圖 1 mg Ra針を1 mmの厚さの鉛で包んだ場合の二次電子の吸収



第6圖 二次電子の後方散乱



第7圖 1 mg Ra針の後に1 mmの厚さの鉛を置いた場合の二次電子の吸収



#### IV. 結論

(1), (2), (3) 何れの場合もアルミニウム 0.7 mm, 合成樹脂 1 mm 即ち,  $180\text{mg/cm}^2$  が二次電子の最大飛程と考えられる. 鉛の場合に  $0.3\text{ mm}$  ( $340\text{mg/cm}^2$ ) が最大飛程の如く出ているが鉛自身の二次電子が相当多いことから, これを最大飛程と決めるのは早計であろう.  $180\text{mg/cm}^2$  位の飛程の電子のエネルギーは  $0.5\text{ MeV}$  位で<sup>4)</sup>, これは  $60^{77}\text{ KeV}$  のラジウムの  $\gamma$  線による光電子のエネルギーに相当し, しかも  $0.607\text{ MeV}$  の  $\gamma$  線が最も多いことから<sup>5)-7)</sup>,  $0.5\text{ MeV}$  より高いエネルギーの電子は少量と思われるのでこの結果は醫學的には満足すべきものと考えられる. また, 第3圖の結果から, あまり吸収体を厚くするとそれから出る二次電子が増加してきて容器等の二次電子の遮蔽に意味がなくなる. 従つて治療の際には二次電子をあまり出さない物質の  $100\text{mg/cm}^2$  から  $150\text{mg/cm}^2$  位の厚さのものを選べば十分と考える. そして  $\gamma$  線の方向に放出される二次電子は原子番号の中位のものが最も少く,  $\gamma$  線の方向と逆方向に放出される二次電子は原子番号の大なる物質程多いことが知られているから<sup>8)12)13)</sup>, 遮蔽物質としては原子番号の中位のものを用いばよい.

終りに種々御教示を賜つた東京教育大學物理學教室の三輪雄光教授ならびに影山誠三郎氏に對し厚く感謝の意を表す.

#### 文 獻

- 1) 塚本憲甫: 日醫放誌4, 437, (昭18). —2) 切替, 塚本, 竹田: 日耳鼻, 52, 345, (昭24). —3) Harmer, D & N. S. Finzi: Strahlentherapie 32, 81, (1932). —4) William E. Siri: "Isotopic Tracers and Nuclear Radiations" London (1949), p. 34, p. 56, p. 42, p. 57, p. 59. —5) C. D. Ellis & G. Aston: Proc. Roy. Soc. (London) 129A, 180 (1930) —6) G. D. Latyshev: Revs. Mod. Phys. 19, 132 (1947). —7) 山川保城: ラヂウム療法の実際, (昭13) 381頁, 448頁. —8) W. H. Bragg & J. P. V. Madsen: Phil. Mag. 16, 918, (1908). —9) J. P. V. Madsen: Phil. Mag. 17, 423, (1909). —10) Allan C. G. Mitchell: Rev. Mod. Phys. 20, 296, (1948). —11) 物理實驗學, 10巻, 28頁, (昭16). —12) Wilson, C.W. & Perry. B.J.: Brit. J. Radiol. 24, 293, (1951). —13) Wyard, S. J.: Brit. J. Radiol. 24, 411, (1951).

On the Problem of Protection Against Secondary Electrons  
which are emitted from Radium Container

by

Kempo Tsukamoto, Chief Radiologist, and Yoshio Onai, Physicist,  
Radiological Division, Hospital of Cancer Institute, Tokyo, Japan.

Measurement of the absorption of secondary electrons which are emitted from the wall of the radium container had been undertaken by the special  $\beta$ -ray electroscop. In order to reduce the error due to secondary radiation which might be produced both in the absorber itself or in the used electroscop, particular precautions were made with respect to the construction of the electroscop and to the geometrical arrangement of the whole apparatus.

Maximum range of the secondary electrons from radium container in Al or Resin which are obtained by this electroscop in three types of experiments, (1), (2), (3), Fig. 4 Fig. 5, Fig. 7, shows a reasonable agreement with the range of photoelectron produced by RaC- $\gamma$ -ray, Energy of 0.607 MeV.

From the above fact, it can be concluded that secondary electron with energy greater than 0.5 MeV is negligible in amount when the materials of middle atomic number with thickness of  $100\text{mg}/\text{cm}^2 \sim 150\text{mg}/\text{cm}^2$  were used as the absorber.

So these materials with adequate thickness should be sufficient for the practice of clinical use for the shielding of surrounding tissue from harmful secondary  $\beta$ -radiation which is inevitably emitted from radium container.