



Title	ラドンシードから放出される $\beta$ 線および $\gamma$ 線の全エネルギー
Author(s)	塚本, 憲甫; 尾内, 能夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1954, 14(9), p. 567-571
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/16342">https://hdl.handle.net/11094/16342</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# ラドンシードから放出される $\beta$ 線 および $\gamma$ 線の全エネルギー

癌研究会附属病院 放射線科

塚本憲甫・尾内能夫

(昭和29年8月22日受付)

## I. 緒言

現在癌研で作られているラドンシードは直徑0.8 mm, 壁の厚さ0.3 mmの金管にラドンを封入したもので、このラドンシードからは二次電子は勿論、一次の $\beta$ 線も放出されているものと考えられる。山川氏の著書<sup>1)</sup>によると0.3 mmの厚さの金管では一次 $\beta$ 線の内、軟 $\beta$ 線は0%，硬 $\beta$ 線は0.72%透過されるのみであるとしている。又 Glasser等の著書<sup>2)</sup>には $\gamma$ 線91%， $\beta$ 線9%と記されているがこれでは $\gamma$ 線と $\beta$ 線が治療にどの程度寄與しているか全く不明である。そこで我々は磁場分析の方法によつてラドンシードから放出される全電子のスペクトルを調べ、それによつて電子の數および全エネルギーを決定し、 $\beta$ 線がどの程度治療に寄與しているかを検討した。

## II. ラドンシードから放出される全電子

### 1) 測定装置

$\beta$ 線のスペクトルを調べる磁場分析の方法<sup>3)</sup>は Bayer-Hahn-Meitner<sup>3)</sup>, Chadwick<sup>3)</sup>, Gurney<sup>4)</sup>, Rutherford<sup>5)</sup>等により古くから行われているが、我々も第1圖に示すような方法で磁場分析を行つた。圖に於て、Sは線源、C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>は計數管、Pbは鉛である。細隙A方向約3°内に放射された電子は紙面と垂直な磁場Hにより半徑 $\rho$ (約10cm)なる圓弧を畫いて細隙Bにおいて收斂する。計數管C<sub>1</sub>およびC<sub>2</sub>を通る電子のみが同時放電計數回路によつて記録される。SからA, Bに到るまでは真空中にし、Bには薄い雲母(1.96 mg/cm<sup>2</sup>)を張つてできるだけ電子の散乱、吸收を少くしてある。磁場Hと半径 $\rho$ の積H $\rho$ と電子のエネルギーEとの關係はよく知られているように

$$H\rho = \frac{m_0 c}{e} \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$E = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

から求められる。こゝに $m_0$ , e, c および v はそれぞれ電子の静止質量、電子の荷電、光速度および電子の速度である。

### 2) 測定結果

#### (i) ラドンシードから放出される全電子のスペクトルと平均エネルギー

長さ10mmの金管に5mcから30mcのラドンを封入したシードを用いて、電子のエネルギースペクトルをとつた。その結果を第2圖に示す。横軸は電子のエネルギー(MeV), 縦軸は曲線(1)が電子の數、曲線(2)は電子のエネルギーとそのエネルギーの電子の數の積、即ち電子の全エネルギーがとつてある。曲線上に記されている數字、例えば606といふは606KeVのエネルギーの $\gamma$ 線によつて金より放出された二次電子を示している。影スペクトルの形から低エネルギーの240, 294, 350は大部分が光電子、766以上は殆んどが Compton 電子、606は光電子と Compton 電子が同程度に重疊されているものと推定される。Ellis-Aston<sup>6)</sup>の實驗では2420 KeVの $\gamma$ 線は認められないが影山氏<sup>7)</sup>、Latyshev-Kompaneetz-Borisov-Gusak<sup>8)</sup>はこれを認めている。我々の實驗でもそれらしきものが現れており、最大エネルギーが2.5 MeVの邊にでついている。こゝに得られたスペクトルには一次 $\beta$ 線が重疊していることは勿論である。醫學的には一次、二次の電子の區別はないから全電子に

ついてのスペクトルを考える。そこで曲線(1)と(2)の面積の比をとつて平均エネルギーEを求めると  $E = \frac{\int ENdE}{\int NdE} = 0.91 \text{ MeV}$  となる。

#### (ii) Ra(B+C)のβ線スペクトル

次にラドンシードから放出される電子の絶対量を求めるために薄いガラス管(約3mg/cm<sup>2</sup>)に封じたラドンにより Ra(B+C) のスペクトルをとる(第3圖)。曲線に現れている線スペクトルはラドンシードの場合の二次電子とは別のもので、所謂内部轉換の電子(Internal Conversion Electron)である。

ラドンシードの場合も、このガラス管の場合も 50KeV 以下の電子が認められないが、これは細隙 B および計數管 C<sub>1</sub> の窓の厚さが總計で約 4mg/cm<sup>2</sup> あるため吸收されてしまつてゐるのである。又 Ra(B+C) の低エネルギーの部分のスペクトルの形が Gurney<sup>4)</sup> の結果と異なるがこれも吸收によるものである。放出される電子の絶対数を出すためには吸收のないスペクトルを求める必要がある。そこで高エネルギーの部分は殆んど吸收はないと考えられるから、これを基準にして第3圖のスペクトルについて Fermi Plot<sup>9)</sup> を取り、吸收のないとしたスペクトルを求める。第4圖の(1)にこの方法で得られた RaC の連續スペクトルを示す。この形は Gurney の得た結果と殆んど同じである。ラドンシードのスペクトルについては吸收の補正が困難なので 4mg/cm<sup>2</sup> の厚さの吸收體を通過した後の全エネルギーを求ることにして吸收の補正を行わない。第4圖の(2)にラドンシードの量をガラス管の場合の量の 20 倍に換算したスペクトルを示す。尙ガラス管とラドンシードの量は鉛 1 cm を透過した硬  $\gamma$  線についてローリツツエン型検電器により本會所有のラジウムと比較測定し硬  $\gamma$  線の吸收はガラス管 0%, シードは 2.7%<sup>11)</sup> として求めた。

第4圖(1), (2)のスペクトルの面積は全電子の數に比例しているから(1), (2)の曲線の面積の比からラドンシードより放出される全電子の數 N<sub>s</sub> と RaC より放出される電子(内部轉換による

電子を除く)の數 N<sub>c</sub> との比を求める

$$N_s/N_c = 0.046$$

となる。

#### (iii) ラドンシード 1 mc から放出される電子の全エネルギー

1 mc の RaC から放出される核電子數は  $3.7 \times 10^7$ /秒であるから 1 mc のラドンシードから放出される電子の總數は毎秒

$$3.7 \times 10^7 \times (N_s/N_c) = 1.70 \times 10^6$$

である。そしてその平均エネルギーは前に求めたように 0.91 MeV であるから、1 mc のラドンシードから放出される全エネルギーは毎秒  $1.70 \times 10^6 \times 0.91 = 1.55 \times 10^6 \text{ MeV}$  となる。

### III. ラドンシードより放射される $\gamma$ 線

次にラドンシードから放出される  $\gamma$  線の全エネルギーを理論的に計算する。Ra(B+C)  $\gamma$  線のスペクトルは Ellis-Aston<sup>5)</sup> の結果を基に Evans<sup>10)</sup> の求めたものを用いる。金 0.3mm による吸收を吸收係数  $\mu = T + \sigma + K$  として Compton 散乱線は全部透過してくるものとして計算すると第1表のようになる。これによりラドンシード 1 mc から放射されている  $\gamma$  線の全エネルギーは毎秒  $3.7 \times 10^7 \times 1.712 = 6.33 \times 10^7 \text{ MeV}$  となる。

### IV. ラドンシードから放出される

#### $\beta$ 線および $\gamma$ 線

##### 1) $\beta$ 線および $\gamma$ 線の割合

ラドンシードから放出される電子の全エネルギー E <sub>$\beta$</sub>  と  $\gamma$  線をの全エネルギー E <sub>$\gamma$</sub>  が求められたから、ラドンシード 1 mc から放射される放射線の全エネルギー E は毎秒

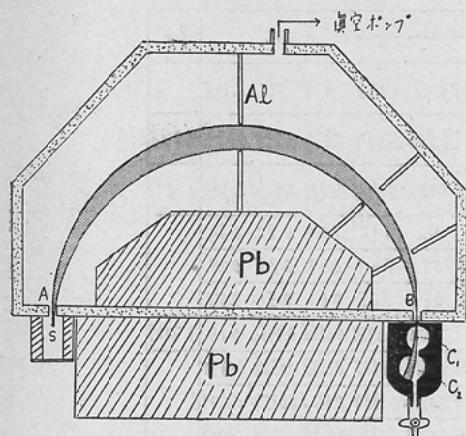
$$E = E_{\beta} + E_{\gamma} = 6.49 \times 10^7 \text{ MeV}$$

となり、 $\beta$  線と  $\gamma$  線のエネルギーの割合を求めることができる。即ち、

$$E_{\beta}/E = 0.024$$

なることより  $\beta$  線は 2.4%,  $\gamma$  線は 97.6% となる。

しかしこれは放射される放射線の全エネルギーに對する割合であつて治療の際組織で吸收されるエネルギーの割合ではないから、治療の効果を示すものではない。生物學的作用は  $\beta$  線は  $\gamma$  線の 100倍と考えられているから  $\beta$  線の全エネルギーが

第1圖  $\beta$ 線スペクトル分析器

- S:  $\beta$ 線源  
 A: 細隙 ( $2 \times 10 \text{ mm}^2$ )  
 B: 細隙 ( $2 \times 10 \text{ mm}^2$ , 雲母箔  $1.96 \text{ mg/cm}^2$ )  
 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: G-M 計数管 (入射窓  $1 \times 16 \text{ mm}^2$ , 雲母箔  $2 \text{ mg/cm}^2$ )

全體の 2.4 %といつてもその治療効果はかなり大きいものと推定される。そこで組織に吸収されるエネルギーを考えてみる必要がある。

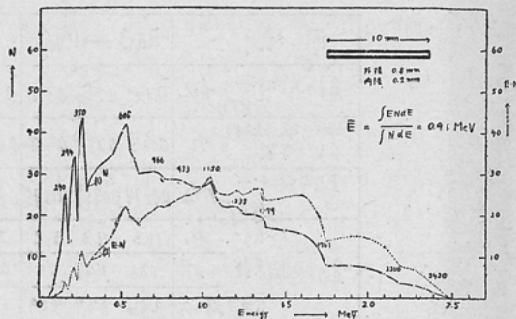
## 2) $\beta$ 線および $\gamma$ 線の組織中の吸収

組織を水と同等と考えてラドンシードから放出される $\gamma$ 線の水中での吸収を理論的に計算すると第1表9段に示すように、組織 1 cm で約 3 %吸収される。(1.7117 MeV が 0.0501 MeV 吸收されて 1.6616 MeV となる。) 従つて 1 mc ラドンシードから放出される $\gamma$ 線は組織 1 cm で毎秒

$$6.33 \times 10^7 \times (0.0501 / 1.7117) = 1.85 \times 10^6 \text{ MeV}$$

だけのエネルギーが吸収される。

次に電子について考える。電子の最大エネルギーは 2.5 MeV で、その最大飛程はアルミニウム中で  $1.2 \text{ gr/cm}^2$ <sup>9)11)</sup>、組織で約 1 cm である。従つてラドンシード 1 mc から放出される電子は組織 1 cm で全部吸収されるとして毎秒  $1.55 \times 10^6 \text{ MeV}$  のエネルギーが吸収される。以上のことから 1 mc のラドンシードから放出される放射線を組織 1 cm で毎秒  $(1.85 + 1.55) \times 10^6 = 3.40 \times 10^6 \text{ MeV}$  吸收し、その内 $\beta$ 線により 46%、 $\gamma$ 線より 54% 吸收している

第2圖 Rn-Seed の  $\beta$ -Ray Spectrum

第1表 ラドンシードより放射される $\gamma$ 線

崩壊	$RaB \rightarrow RaC$	$RaC \longrightarrow RaC'$	計
光子エネルギー (MeV) $\hbar\nu$	0.241 0.294 0.350	0.607 0.766 0.933 1.12 1.238 1.379 1.761 2.198	
$Ra$ の崩壊率 平均光子数 $n$	0.115 0.258 0.450	0.658 0.065 0.067 0.206 0.063 0.064 0.258 0.074	2.278
全光子エネルギー (MeV) $n\hbar\nu$	0.0277 0.0758 0.1575	0.400 0.0498 0.0625 0.2310 0.0780 0.0882 0.4540 0.1626	1.7871
$M_0$	11.3 7.3 5.2	2.2 1.7 1.4 1.2 1.12 1.04 0.89 0.84	
金 $\gamma$ 吸收係数 $\sigma_3$	1.36 1.23 1.11	0.78 0.68 0.58 0.51 0.47 0.43 0.35 0.29	
$n\hbar\nu e^{-\mu_3 - \sigma_3 x}$ $x = 0.03 \text{ cm (MeV)}$	9.94 6.07 4.09	1.42 1.02 0.82 0.69 0.65 0.61 0.54 0.55	
$I_0 e^{-(\mu'_3 - \sigma'_3)x}$ $x = 1 \text{ cm (MeV)}$	0.0205 0.0629 0.1395	0.384 0.0483 0.061 0.226 0.0765 0.0866 0.4464 0.16	1.7117
$M'_0$	0.128 0.119 0.111	0.0890 0.0800 0.0728 0.0666 0.0635 0.0598 0.0527 0.0470	
水 $\gamma$ 吸收係数 $\sigma_3$	0.097 0.087 0.0785	0.0562 0.0478 0.0414 0.0364 0.0338 0.0308 0.0254 0.0211	
$I_0 e^{-(\mu'_3 - \sigma'_3)x}$ $x = 1 \text{ cm (MeV)}$	0.031 0.032 0.0325	0.0328 0.0322 0.0314 0.0302 0.0299 0.0290 0.0273 0.0259	
$I$	0.0199 0.061 0.135	0.0372 0.0468 0.0592 0.2192 0.0743 0.0841 0.4341 0.156	1.6616

## V. 結 語

ラドンシードから放出される電子のスペクトルを磁場分析の方法によつて調べて電子の全エネルギーを求め、更に $\gamma$ 線の全エネルギーを計算によつて得た。その結果、放出されているエネルギーは $\beta$ 線が2.4%， $\gamma$ 線が97.6%である。しかし組織1cm以内で吸収されるエネルギーは $\beta$ 線も $\gamma$ 線も同程度であつて、ラドンシードを組織内に刺入して使用する場合には線源から1cm以内での治療効果は、 $\beta$ 線も $\gamma$ 線も同程度と考えてよい。

尚、線源から1cm以内に於ける吸収エネルギーの分布状態については更に別の方法で検討する必要がある。

終りに臨み、種々御指導、御援助を戴いた東京教育大學物理學教室の三輪光雄教授、影山誠三郎氏ならびに西

村和明氏に衷心謝意を表す。尙本論文の要旨は第13回日本醫學放射線學會總會に於て發表した。

## 文 獻

- 1) 山川保城: ラジウム療法の實際(昭13) 446頁。—
- 2) Otto Glasser, E.H. Quimby, L.S. Tayler and J. L. Weatherwax: Physical Foundations of Radiology (1950), p. 297.—3) 物理實驗學(河出書房) 10卷, 28頁。—4) Gurney: Proc. Roy. Soc. A 109 (1925), 540, 112 (1926), 380.—5) Rutherford, Robinson: Phil. Mag. 26 (1913). 717.—6) C.D. Ellis and G.H. Aston: Proc. Roy. Soc. A 129(1930) 180.—7) 影山誠三郎: J. Phys. Soc. Japan 7(1952), 93.—8) Latyshev, Kompaneetz, Borisov and Gusak: J. Phys. U.S.S.R. 3 (1940) 251.—9) E. Fermi Nuclear Physics (1950). p. 79, p. 32.—10) R.D. Evans: Nucleonics 1, No.2 (1947), 32.—11) W. E. Siri: Isotopic Tracers and Nuclear Radiations (1947), p. 57.

The Total Energy of  $\beta$ -Rays and  $\gamma$ -Rays emitted from Rn-Seed  
by Kempo Tsukamoto, Chief Radiologist and Yoshio Onai, Physicist  
Radiological Division, Hospital of Cancer Institute, Tokyo, Japan.

Rn-seeds which are used in our hospital are made of gold capillary tube with thickness of the wall 0.3 mm. When the seeds are implanted in tissue, some of primary  $\beta$ -ray as well as secondary electrons emitted from the seed will also contribute to therapy besides  $\gamma$ -ray.

In order to investigate the therapeutic effects of these electrons, the  $\beta$ -ray spectra of Rn-seed and Ra (B+C) were examined with the  $\beta$ -ray spectrometer of semicircular

focussing type.

By the comparison of the spectrum of  $\beta$ -rays emitted from Rn-seed with that of RaC, it was determined that the end point of Rn-seed spectrum was about 2.5 MeV and the total energy of electrons from 1 mc Rn-seed was  $1.55 \times 10^6$  MeV/sec, after making necessary corrections.

The total energy of  $\gamma$ -rays emitted from 1 mc Rn-seed was calculated theoretically as  $6.33 \times 10^7$  MeV/sec.

Considering from the attitude of the absorption of energy of  $\beta$ -rays and  $\gamma$ -rays in tissue, we have presumed that the therapeutic effects of  $\beta$ -and  $\gamma$ -rays will be nearly equal within the range of 1 cm. from the source.