



Title	ラドンシードから放出される β 線および γ 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	https://hdl.handle.net/11094/16342
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 β 線および γ 線の全エネルギー

癌研究會附屬病院 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径0.8mm, 壁の厚さ0.3mm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 β 線も放出されているものと考えられる. 山川氏の著書¹⁾によると0.3mmの厚さの金管では一次 β 線の内, 軟 β 線は0%, 硬 β 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²⁾には γ 線91%, β 線9%と記されているがこれでは γ 線と β 線が治療にどの程度寄与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数および全エネルギーを決定し, β 線がどの程度治療に寄与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

β 線のスペクトルを調べる磁場分析の方法³⁾は Bayer-Hahn-Meitner³⁾, Chadwick³⁾, Gurney⁴⁾, Rutherford⁵⁾ 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_1 , C_2 は計数管, 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により半径 ρ (約10cm) なる圓弧を畫いて細隙Bにおいて収斂する. 計数管 C_1 , および C_2 を通る電子のみが同時放電計数回路によつて記録される. SからA, Bに到るまでは真空にし, Bには薄い雲母(1.96 mg/cm²) を張つてできるだけ電子の散亂, 吸収を少くしてある. 磁場Hと半径 ρ 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)が電子の数, 曲線(2)は電子のエネルギーとそのエネルギーの電子の数の積, 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数字, 例えば606というのは606KeVののエネルギーの γ 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-Aston⁶⁾の實驗では2420 KeVの γ 線は認められないが影山氏⁷⁾, Latyshev-Kompaneetz-Borisov-Gusak⁸⁾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の邊にでている. こゝに得られたスペクトルには一次 β 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

ついでに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

$$\text{ると } E = \frac{\int ENdE}{\int NdE} = 0.91 \text{ MeV} \text{ となる。}$$

(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/cm²)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C₁の窓の厚さが總計で約4mg/cm²あるため吸収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Gurney⁴⁾の結果と異なるがこれも吸収によるものである。放出される電子の絶対数を出すためには吸収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収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 Plot⁹⁾を取り、吸収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の連続スペクトルを示す。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収の補正が困難なので4mg/cm²の厚さの吸収體を通過した後の全エネルギーを求めることにして吸収の補正を行わない。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1cmを透過した硬 γ 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 γ 線の吸収はガラス管0%, シードは2.7%¹⁾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Ns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Ncとの比を求めると

$$Ns/Nc=0.046$$

となる。

(iii) ラドンシード1mcから放出される電子の全エネルギー

1mcのRaCから放出される核電子數は3.7×10⁷/秒であるから1mcのラドンシードから放出される電子の總數は毎秒

$$3.7 \times 10^7 \times (Ns/Nc) = 1.70 \times 10^6$$

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、1mcのラドンシードから放出される全エネルギーは毎秒1.70×10⁶×0.91=1.55×10⁶ MeVとなる。

III. ラドンシードより放射される γ 線

次にラドンシードから放出される γ 線の全エネルギーを理論的に計算する。Ra(B+C) γ 線のスペクトルはEllis-Aston⁵⁾の結果を基としてEvans¹⁰⁾の求めたものを用いる。金0.3mmによる吸収を吸収係數 $\mu=T+\sigma+K$ としてCompton散亂線は全部透過してくるものとして計算すると第1表ようになる。これによりラドンシード1mcから放射されている γ 線の全エネルギーは毎秒3.7×10⁷×1.712=6.33×10⁷ MeVとなる。

IV. ラドンシードから放出される

β 線および γ 線

1) β 線および γ 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_β と γ 線をの全エネルギー E_γ が求められたから、ラドンシード1mcから放射される放射線の全エネルギー E は毎秒

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

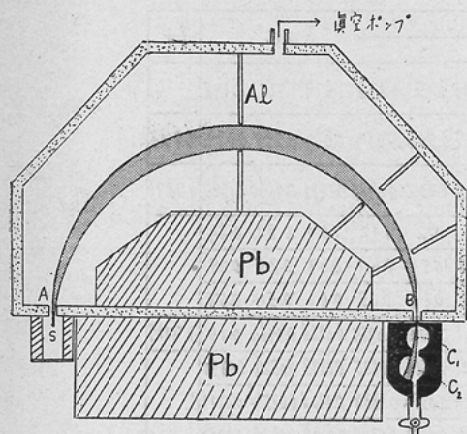
となり、 β 線と γ 線のエネルギーの割合を求めることができる。即ち、

$$E_\beta/E = 0.024$$

なることより β 線は2.4%, γ 線は97.6%となる。

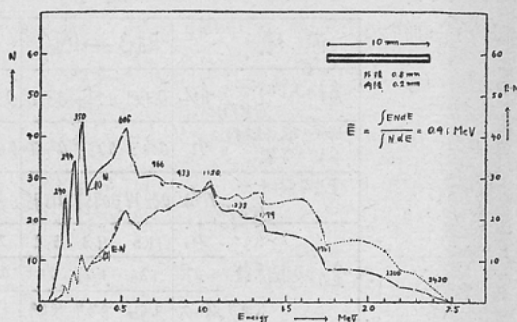
しかしこれは放射される放射線の全エネルギーに對する割合であつて治療の際組織で吸収されるエネルギーの割合ではないから、治療の效果を示すものではない。生物學的作用は β 線は γ 線の100倍と考えられているから β 線の全エネルギーが

第1圖 β線スペクトル分析器

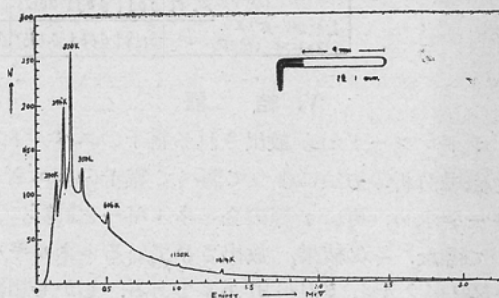


- S: β線源
 A: 細隙 ($2 \times 10 \text{ mm}^2$)
 B: 細隙 ($2 \times 10 \text{ mm}^2$, 雲母箔 1.96 mg/cm^2)
 C₁, C₂: G-M 計数管 (入射窓 $1 \times 16 \text{ mm}^2$, 雲母箔 2 mg/cm^2)

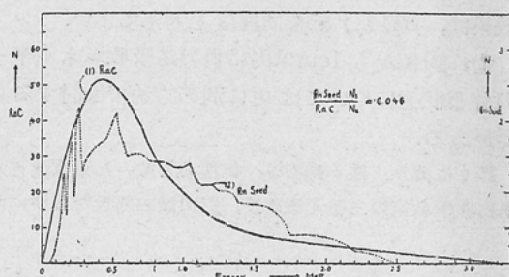
第2圖 Rn-Seed の β-Ray Spectrum



第3圖 Rn(B+C) の β-Ray Spectrum



第4圖 RaC, Rn Seed の β Ray Spectrum



全体の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) β線およびγ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γ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1cmで約3%吸収される。(1.7117 MeV が0.0501 MeV 吸収されて1.6616 MeV となる。) 従つて1mc ラドンシードから放出されるγ線は組織1cm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2.5MeVで、その最大飛程はアルミニウム中で1.2gr/cm² (911), 組織で約1cmである。従つてラドンシード1mcから放出される電子は組織1cm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1mcのラドンシードから放出される放射線を組織1cmで毎秒 $(1.85 + 1.55) \times 10^6 = 3.40 \times 10^6 \text{ MeV}$ 吸収し、その内β線により46%, γ線より54%吸収している

ことになる。しかしγ線の場合、組織1cm以内に失われたエネルギーはγ線が電子に与えたエネルギーであつて、エネルギーを与えられた電子は組織1cm以内に全部吸収されないで、1cmよりも外部に相当出るものと考えられる。依つて實際の治療効果は、線源から1cm以内の組織においてはβ線もγ線も殆んど同等であろうと思われる。

第1表 ラドンシードより放射される γ 線

崩壊	$RaB \rightarrow RaC$	$RaC \longrightarrow RaC'$	計
光子エネルギー (MeV) $h\nu$	0.241 0.294 0.350	0.607 0.766 0.933 1.12 1.238 1.379 1.761 2.198	
Raの線に対する 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) $n h\nu$	0.0277 0.0758 0.1575	0.400 0.0498 0.0625 0.2310 0.0780 0.0882 0.4540 0.1626	1.7871
金の吸収係数 μ_0	11.3 7.3 5.2	2.2 1.7 1.4 1.2 1.12 1.04 0.89 0.84	
σ_0	1.36 1.23 1.11	0.78 0.68 0.58 0.51 0.47 0.43 0.35 0.29	
(m^{-1}) $\mu_0 - \sigma_0$	9.94 6.07 4.09	1.42 1.02 0.82 0.69 0.65 0.61 0.54 0.55	
$n h\nu e - (\mu_0 - \sigma_0) x$ $x = 0.03 \text{ cm (MeV)}$ I_0	0.0205 0.0629 0.1395	0.384 0.0483 0.061 0.226 0.0765 0.0866 0.4464 0.16	1.7117
水の吸収係数 μ_0'	0.128 0.119 0.111	0.0890 0.0800 0.0728 0.0666 0.0635 0.0598 0.0529 0.0470	
σ_0'	0.097 0.087 0.0785	0.0562 0.0478 0.0414 0.0364 0.0338 0.0308 0.0254 0.0211	
(m^{-1}) $\mu_0' - \sigma_0'$	0.031 0.032 0.0325	0.0328 0.0322 0.0314 0.0302 0.0297 0.0290 0.0273 0.0259	
$I_0 e - (\mu_0' - \sigma_0') x$ $x = 1 \text{ cm (MeV)}$ I	0.0199 0.061 0.135	0.372 0.0468 0.0592 0.2192 0.0743 0.0841 0.434 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 γ 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 β 線が2.4%、 γ 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 β 線も γ 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、 β 線も γ 線も同程度と考えてよい。

尙、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発表した。

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巻, 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 β -Rays and γ -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 β -ray as well as secondary electrons emitted from the seed will also contribute to therapy besides γ -ray.

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

focussing type.

By the comparison of the spectrum of β -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 1.55×10^6 MeV/sec, after making necessary corrections.

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

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