



Title	硝子細桿線量計による線量測定
Author(s)	荒井, 竜雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1963, 23(6), p. 753-772
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/19520">https://hdl.handle.net/11094/19520</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 硝子細桿線量計による線量測定

千葉大学医学部放射線医学教室 (主任 寛弘毅教授)

荒居 竜 雄

(昭和38年6月18日受付)

## “Clinical Application of Fluorod Dosimetry”

By

Tatsuo Arai, M.D.

Department of Radiology, School of Medicine Chiba University, Chiba, Japan

(Director: Prof. Hirotake Kakehi)

## I) Physical Characteristics

There are few simple and reliable methods of dosimetry for the measurement of absorbed radiation in a small portion of living body. The limitation of the size of ionization chamber makes the dosimetry of dose distribution in a small area and vivo dosimetry very difficult, and some times even impossible. While, the dosimetry with silver activated phosphate glass fluorod, originated by J.H. Schulman, is considered to be suitable for that purpose, because the fluorods are so small (1 mm $\phi$ ×6 mm) that a number of these rods can be implanted, irradiated, and measured simultaneously after a single operation and radiation exposure.

The components of the fluorod used in this study are a little different from Schulman's original one, and are composed of 50% LiPO<sub>3</sub> 50% Al (PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> with an addition to this base of 7% AgPO<sub>3</sub> and 3% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. In this composition, some ingredients of rather higher atomic number composed in the original rod, such as Ba, K are substituted with Li, which is of lower atomic number. Therefore, the energy dependence of the rods is fairly improved, and the sensitivity of the rods to cobalt-60 radiation become approximately one sixth of their sensitivity to 65 Kev X-rays. Furthermore, the linearity, the dose rate, the directional independence and depth dose rate in phantom are examined, and all results indicate the clinical applicability of the rods. As far as 200 Kvp X-ray is concerned, the depth dose rate measured with this rods shows several per cent higher than that measured with Siemens' Universal Dosimeter.

## II) Clinical Application

Several clinical investigations were done for practical application as follows,

1). The tissue correction factor in chest cavity.

X-ray treatments on 200 Kvp with 330° pendulum technique or complete rotation irradiations on cobalt-60 unit were given to the cases with carcinoma of the esophagus of 49 cases in total. The fluorods were left in the esophageal cavity for each cases during the treatment measuring the actual tumor dose. The tissue correction factor of the chest

were calculated with the dose measured by fluorods. The average value were 1.4 and 1.2 at the middle and lower part of the chest for X-ray, 1.08 for cobalt-60 radiation at middle part respectively.

2). Tumor dose of carcinoma of the stomach on telecobalt fixed field treatment.

24 cases with carcinoma of the stomach underwent radiation treatment on cobalt-60 unit at SSD 25 cm through one field fixed anteriorly. The fluorods covered by thin polyethylen tube were left in gastric cavity at the point fit the center of tumor during the irradiation. The depth dose appeared to be 50% at the cardia, 70% at the pylorus region.

3) Dose measurement combined with operation.

A case of the gastric cancer first underwent exploratory laparotomy sewing fluorods into several point of the stomach wall. Secondly telecobalt pre-operative irradiation was given which was followed by total gastric resection one week after irradiation. Tissue of the stomach wall were shown in Fig. 19.

4) Bone marrow dose

The value of fluorod dosimetry using half value layer method in ordinal phantom for bone marrow dose on 200 Kvp X-ray appeared to be several per cent lower than one measured in femur equivalent "bone phantom".

5) Intracavitary dosimetry of the urinary bladder.

A rubber balloon in which fluorods fixed inneraspect of the wall was first inserted intracavitary and ordinal volume of the bladder cavity was kept with air pressure during the irradiation. Thereby, dosimetry in front, back or any part of the bladder wall which we wanted to measure were done separately well practically.

6) Dosimetry for interstitial implantation.

Measurement of the actual dose including many factors on interstitial implantation of small sources is very important practically.

One, however, have to recognize having still so many problems. Fluorod technique was tried to find out its usefulness for this purpose. 0.2 mm platinum sheathed fluorods were punctured in situ of the case with carcinoma of the tongue irradiating with radium needles interstitially. It was found to be very difficult deterring the given dose, because the values were significantly different at point by point. In other hand, in the case which fluorod was put on the surface of the tumor, measured dose closed enough practically the value calculated with Paterson-Parker's table.

内容目次

緒言

第1章 装置及び測定法

第1節 測定装置

第2節 測定方法

第3節 測定精度及び感度

小括並びに考按

第2章 硝子細桿線量計の基礎的性質の検討

第1節 線質特性

第2節 直線性

第3節 螢光と時間との関係

第4節 線量率との関係

第5節 深部線量曲線

第6節 方向性

第7節 積算線量

小括並びに考按

第3章 臨床の応用

- 第1節 食道の線量測定
- 第2節 胃の線量測定
- 第3節 骨及び骨髄の線量測定
- 第4節 膀胱の線量測定
- 第5節 ラジウム針刺入による舌の線量測定
- 第6節 <sup>60</sup>Co 16mc チューブの空間的線量分布の測定

小括並びに考按

総括並びに考按

結語

文献

緒言

最近の放射線治療の進歩は著しく、大線量を体内の局所に投入することは容易になった。しかしよい治療をするためには、病巣部に限極して大線量を照射し、その周囲の健康部は出来るだけ照射されないようにすることが理想である。そのためには病巣部及びその周辺の照射線量を正確に知る必要がある。計算よりの推定は何かと不都合で、精度の低いことも多く出来れば実測が望ましい。

実測に適した線量計は容積が小さい固体で、精度と感度がよく、水や薬品に安定であり、温度、湿度、気圧等の外的条件に影響されず線質や線量率に依存しないものがよい。現在最も信頼され、使用されている電離槽型線量計は電離槽部の大きさに限度があり、余り小さく出来ないの、生体内実測は限られた部位を除き不可能である。

Schulman 等により見出された銀活性化磷酸硝子線量計は、放射線蛍光 (Radiophotoluminescence) を応用したもので次の利点を持っている。

- ① 線量計の容積を非常に小さくすることが出来る (1mmφ×6mm程度) ので、生体内の細部に挿入することが容易である。
- ② 多数の硝子細桿線量計を被照射体内に挿入し、1回の照射で各部分の線量分布を同時に知ることが出来る。
- ③ 集積線量を示すので、数回の照射の合計値を知ることが可能である。

硝子細桿線量計は各種の性能が優れており、臨

床的に十分使用可能のことが判つたので、その基礎的性質と臨床的応用を茲に報告する。

第1章 装置及び測定法

第1節 測定装置

(a) 硝子細桿

Schulman 等の用いた銀活性化磷酸硝子は、50% Al(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, 25% Ba(PO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 25% KPO<sub>3</sub> の組成の硝子に蛍光物質として8%の重量比で AgPO<sub>3</sub> が加えられている。しかしこの硝子には原子番号の大きな Ba, K が入っていて、放射線の吸収が問題となる。最近はこちらが含まれない50% Al(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, 50% LiPO<sub>3</sub> の組成の硝子に、添加物質として重量比で7%の AgPO<sub>3</sub> と3%の B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が入っている蛍光硝子が、東芝株式会社より販売されている。測定にはこの2種の硝子を用いた。以後 Schulman により開発された硝子を Ba-硝子、東芝で開発されたものを Li-硝子と呼ぶことにする。

この細桿硝子は直径1mm、長さ6mmの円柱であり、容積は4.7cmmで非常に小さく、円柱の両端は光学的測定が可能であるように磨かれている。

(b) 蛍光メーター

測定は東芝製蛍光硝子線量計1型、2型、3型を使用した。第1図は2型線量計である。その光学系の構成図は第2図の如くで、2つの光電子増倍管が用いられている。従つて標準細桿 (Standard rod) と測定細桿 (Sample rod) を同時に比較測定できる利点がある。

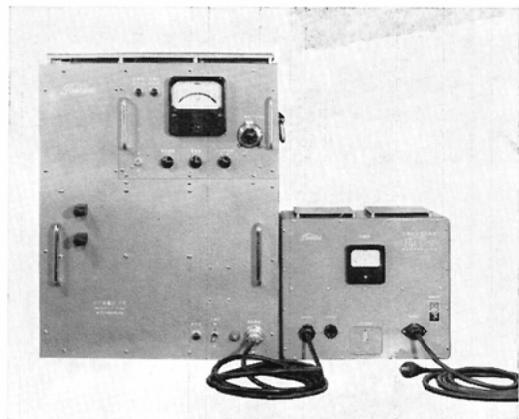


Fig. 1 Toshiba Type II Fluorometer

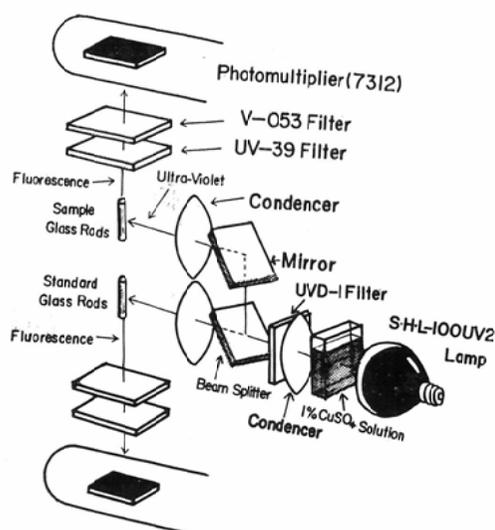


Fig. 2 Schematic diagram of fluorometer (Toshiba Type II)

### (c) 測定原理

放射線未照射の硝子は微量ながら蛍光が存在する (Pre-Dose). これは硝子中にある  $\text{Ag}^+$  イオン及び不純物のためである. 蛍光硝子細棒が照射されると, 光化学作用により全く新しい蛍光中心が出来る. この作用効果は放射線蛍光 (Radiophotoluminescence) と考えられている.

Schulman 等の説明によると, 照射によりイオン化現象が起る結果, 硝子中の電子の幾つかが  $\text{Ag}^+$  イオンの近くで trap され, 所謂“銀原子” ( $\text{Ag}^\circ$ ) が形成される. この  $\text{Ag}^\circ$  の作る蛍光中心は, 普通の硝子出す F 中心と違って非常に安定である. 照射により作られる  $\text{Ag}^\circ$  の量は照射線量に比例し, しかも作られた銀原子は, 特定波長の紫外線照射 ( $4850\text{\AA}$ ) により蛍光を放出する. この蛍光を光電子増倍管で捕えて, 放射線量の測定に利用する.

### 第2節 測定方法

精密な測定であるから, 正しい値を得るために次の注意が大切である.

- ① 硝子細棒は直径, 長さが正確に作られているものを使用する. ( $1\text{mm}\phi \times 6\text{mm}$ )
- ② 細棒の両端は十分に磨かれ, 平滑でなければならない. 硝子に傷があつたり, 空泡があつた

りすると, 測定誤差の原因となるから不良品は使わぬように注意する.

③ 硝子表面の汚染は不正確な測定値を示すので, 手で持つことは避けねばならない. 測定前に中性洗剤, アセトン, エーテル, アルコール, 蒸溜水で十分洗う必要がある.

次に蛍光メーターの安定性を一定にして測定するため, 永久蛍光物質であるマンガン硝子, サマニウム硝子を標準硝子として使用する. 標準硝子の測定値が常に恒数を示すように光電子増倍管の電圧を補正しておいて, 照射された硝子を測定する. その値を予め求めておいた蛍光—線量直線より換算すれば, 照射線量を知ることが出来る.

### 第3節 精度, 感度について

#### (a) 硝子細棒の精度

蛍光の強さは, 紫外線の照射される一定範囲の硝子細棒の容積で表わされるから, その規格 ( $1\text{mm}\phi \times 6\text{mm}$ ) は十分考慮されねばならない. 東芝

Table 1. Diameter of Fluorod

Diameter of Fluorod	Number of Cases
1.03~1.0399mm	1
1.02~1.0299	38
1.01~1.0199	82
1.00~1.0099	108
0.99~0.9999	61
0.98~0.9899	42
0.97~0.9799	20
0.96~0.9699	9
0.95~0.9599	5
0.86~0.8699	1
Total	387

製蛍光メーターの測定法では, 細棒の長さの影響は殆んど無視されるが, 直径は容積変化の大きな因子となる. 硝子細棒 387本の直径をマイクロメーターで測定した結果は第1表の如くである. この値の平均は  $1.0014\text{mm}$  相対標準偏差は  $0.0166$  である.

容積計算より誤差を求めると, 直径  $\pm 0.01\text{mm}$  の差は  $\pm 1.6\%$ ,  $\pm 0.02\text{mm}$  は  $\pm 4\%$ ,  $\pm 0.03\text{mm}$  は  $6.1\%$  となる. 従つてこの硝子では  $1.6\%$  以下のものは  $189/387$ 本 ( $48.9\%$ )  $4\%$  以下は  $313/$

387本 (81%) 6%以下では 371/387本 (96%) となる。

Ba-硝子細桿とLi-硝子細桿との間には精度の差は認められなかった。

(b) 測定値の精度

Li-硝子40本, Ba-硝子15本を出来るだけ同じ条件で<sup>60</sup>Co-γ線の同時照射を行った。その測定結果を第2表に示す。測定値は3回の平均値である。

Table 2. Fluorometer readings of fluorescence from the rods 300 r exposed on <sup>60</sup>Co-γ radiation.

Ba-Fluorod		Li-Fluorod	
Fluorometer Readings	Number of Cases	Fluorometer Readings	Number of Cases
28~28.99	1	31~31.99	1
29~29.99	1	32~32.99	0
30~30.99	1	33~33.99	4
31~31.99	5	34~34.99	8
32~32.99	6	35~35.99	15
33~33.99	1	36~36.99	9
		37~37.99	2
		38~38.99	1
Total	15	Total	40

Li-硝子の測定平均値 ( $\bar{x}$ ) は36.1で、その標準偏差 ( $\sigma$ ) は1.25である。それ故に相対標準偏差は  $\sigma/\bar{x} = 1.25/36.1 = 0.0347$  である。従つて測定誤差は±3.5%となる。同じようにBa-硝子を計算すると  $\bar{x} = 31.85$   $\sigma = 1.29$   $\sigma/\bar{x} = 0.0407$  測定誤差は±4.1%となる。測定結果よりLi-硝の方が精度が優れている。

(c) 硝子細桿の感度

蛍光硝子線量計の感度は  $(Dose) \times (Pre\ Dose)$

$(Post\ Dose) - (Pre\ Dose)$  で表わされる。

<sup>60</sup>Co-γ線の測定結果は第3表に示す通りである。

この表よりBa-硝子の方がLi-硝子より感度がよいことが判るが、これはPre-Doseの差が影響していると考えられる。Li-硝子の最小測定可能線量は1rである。

小括及び考按

著者の使用した蛍光メーターの中、2型測定器はDegelman型<sup>3)</sup>を改良したものである。Schulman<sup>4)5)</sup>が最初に使用した測定器は、光源より1

Table 3. Dose response-Sensitivity on various types of fluorod exposed to <sup>60</sup>Co Gamma-ray.

Dose (r)	Li-Fluorod		Ba-Fluorod	
	Fluorometer Readings	Sensitivity	Fluorometer Reading	Sensitivity
0	0.5		2	
100	12.5	4.2	11	22.2
300	37	4.1	33	19.4
500	64	3.9	57	18.1
1000	124	4.0	115	17.7
3000	365	4.1	330	18.2
5500	730	3.8	610	18.1
8600	1100	3.9	850	20.2

方向に紫外線が出され、その焦点位置に標準硝子と試料硝子を交互に挿入して測るもので、これとくらべて同時比較測定が出来る利点がある。又Bausch & Lomb製<sup>6)</sup>は紫外線を硝子の軸方向より入れ、反対側より出てくる蛍光を測定するように作られている。この方法は微小線量計の容積を最高に活用出来るので、光学的に見て理想であるが、硝子両端の僅かな傷も測定に影響を与える。又測定支持装置は硝子を傷つけ易く、何回も測定出来ず、しかも直径の違う細桿や板状の蛍光線量計を簡単に測れぬ欠点がある。これらと比較して2型測定器は操作が容易で、1端の硝子面の微小な傷は無視され、何回でも硝子を傷つけることなく測定出来る。その上ホルダーを変えるだけで、異つた大きさの硝子も簡単に測れるので測定器具として優れていると思われる。

硝子細桿の容積精度は、蛍光量が硝子の容積に比例するので、容積が正しくないことと誤差の原因となることをBarr<sup>7)</sup>は強調している。彼の測定した硝子細桿の直径より、その相対標準偏差を求めると0.016となり、著者の使用している東芝製硝子と略々同程度のものであつた。正確な実験には予め直径を計測して誤差の大きいものは除く必要がある。

測定精度、感度について、著者の測定ではBa-硝子よりLi-硝子の方が優れていた。Li-硝子の精度は±3.5%であるが、Bauch & Lomb<sup>6)</sup>は5%、Barr<sup>23)</sup>は4%、Hine<sup>21)</sup>は5%、大沢<sup>19)</sup>は

3%と略々同程度であつた。蛍光硝子の測定精度は、硝子の容積及び組成中の銀イオンの均一混合性等の避け得られぬ誤差因子が含まれており、更に蛍光メーターに於ても不安定な紫外線光源と光電子増倍管を内蔵している。これらのことを考慮すると、測定精度の限界は3%位と思われる。

最後に、感度について Barr<sup>7)</sup> が Photovolt と Eausch & Lomb 測定器を比較しているが、測定条件が違うので、著者の値と比較出来ない。唯最小測定線量は Bausch & Lomb<sup>6)</sup>, Roswit<sup>16)</sup> が Cobalt-60 で50rと言っているが、3型測定器では数rが測定可能であるから、優れているといえよう。

## 第2章 硝子細桿線量計の基礎的性質の検討

本研究に使用した照射装置はX線：島津製信愛号（250KVP 20mA）東芝製EX-300（300kvp. 10mA）<sup>60</sup>Co：島津製 R-T 2000（2000キュリー）<sup>137</sup>Cs：日立製 TS-2000 CA（2000キュリー）等である。比較線量計としてシーメンス製ユニバーサル型線量計、東芝製深部線量計を用いた。硝子細桿は原則として1カ所に3本以上使用し、その平均を測定値とした。

### 第1節 線質特性

空气中で硝子細桿線量計に線質の異なる同一放射線量を照射して、蛍光の強さを測定した。焦点（線源）表面距離、線量率等の照射条件は出来る

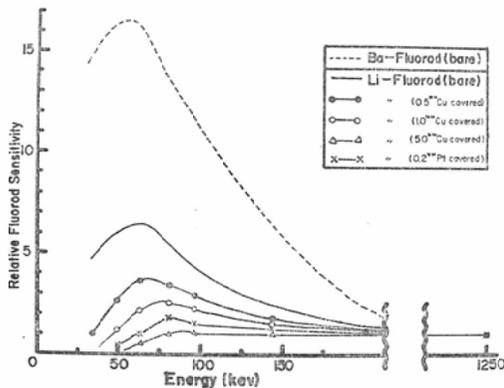


Fig. 3 Comparison of energy dependence of fluoro-rods and their variation energy dependence caused by different metal sheathes of different thickness.

だけ類似のものを用いるよう心掛けた。X線は半価層測定より実効電圧を導出した。Ba-硝子は60 keV Li-硝子は65keV 附近が最高値を示し、その値は <sup>60</sup>Co- $\gamma$  線の値と比較して、Ba-硝子で約16倍、Li-硝子で約6.5倍であつた。<sup>60</sup>Co は直径10 mm <sup>137</sup>Cs は直径5 mmのプラスチック、カプセルで bild up させて測定を行った。

次に線質特性の影響を少なくするために、0.5 mm, 1 mm, 5 mmの銅製及び0.4mmの三元合金製（0.2mm白金相当）カプセルに硝子細桿を入れ、同じ実験を行った。カプセルを厚くするに従つて、線質特性は良好となる。（第3図参照）

### 第2節 直線性

X線の照射条件は管電圧 200kvp 濾過板 0.5 mm Cu + 0.5mmAl. 焦点表面距離40cm, 照射野10×10cmである。電離槽型線量計を同時に使用して、比較し、線量を決定した。（第4図）

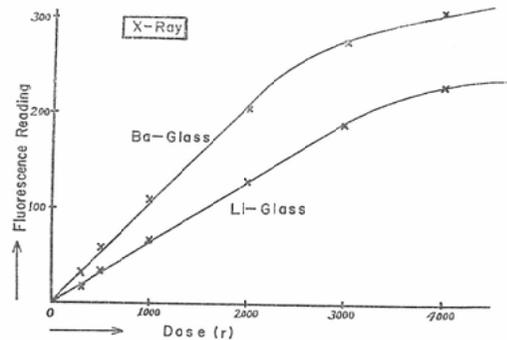


Fig. 4 Dose response curves of fluoro-rods on X-ray. The Ba-glass linearity is observed between 5 to 1500 r and 1 to 2500 r in Li-glass.

Ba-硝子は5~1500r Li-硝子は1~2500r に直線性が認められた。Ba-硝子の方がLi-硝子よりX線感度はよい。いずれの硝子も線量が多くなると蛍光の読みが飽和する (Saturate) が4000r 位まで大体の値は判る。

次にガンマ線 (<sup>60</sup>Co) の測定結果は、第5図の如くである。Ba-硝子は50~10000r Li-硝子は10~10000r に直線性がある。信頼度をおとせばLi-硝子で1rまで測定可能である。又最高線量は10<sup>4</sup>rで、それ以上の線量では飽和し始める。

1.3×10<sup>4</sup>rでは硝子細桿の約1/3は直線性を示した

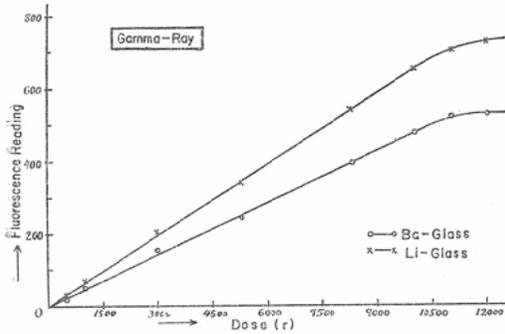


Fig. 5 Dose response curves of fluorod on Gamma-ray. Linearity of the curve of Ba-glass was in the range of 50 to 10,000 r and 10 to 10,000 r on Li-glass curve.

が、測定値は不安定となる。

X線では2000r, γ線では5000r位から硝子は薄黄色の着色を有してくる。大線量を照射した場合、即ち $4 \times 10^5$ rコバルト照射で硝子は濃黄色に変色し、肉眼的には強い蛍光を生ずるが、測定器の読みは8000r相当となる。 $4 \times 10^7$ r照射では硝子は暗褐色となり、蛍光の測定可能範囲を越えると、線量計としての働きがなくなる。

第3節 照射後の時間と蛍光との関係

硝子細桿を照射後直ちに測定し、その硝子を一定時間後逐次測定した結果は、第6図及び第7図の如くである。短期観察はLi-硝子、Ba-硝子各15本、長期観察はBa-硝子10本で、照射線量はX線100r, γ線200rであった。

測定結果についてみると、照射直後は低い値であるが、漸次増加して10時間位で最高値を示し安

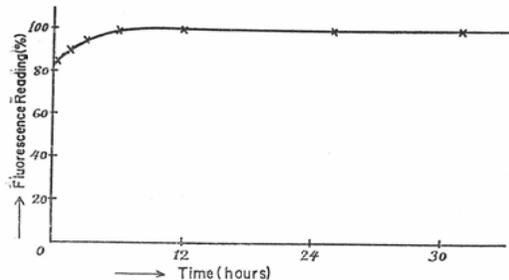


Fig. 6 Build up (Growing up)-time curve of fluorescence. Useful stability was shown at least 10 hrs after irradiation.

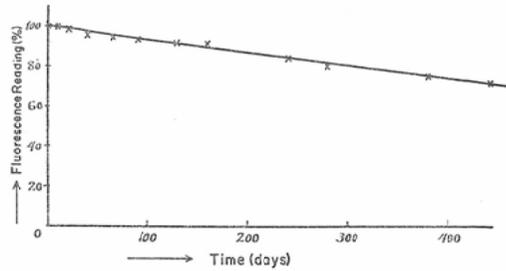


Fig. 7 Fading of fluorescence. Mean reading of the fluorescence of 10 exposed fluorods over a period of 62 weeks. The fading in the first week was non significant.

定した状態となる。この安定状態は約1週間続き、以後減少する。150日後で約90%、300日後で80%の値を示した。

一般に照射後の時間経過が長期になると、測定値の変動は大きく不安定となる。又線量の違いによる蛍光褪色には相違が認められなかった。

以上の結果より、安定な蛍光値を示す10時間より1週間の間が測定に適する。著者は24時間後に測定を行っている。

第4節 線量率との関係

X線の照射条件は200kvp, 0.5mmCu + 0.5mmAlで、焦点表面距離と管電流を変えることにより、275r/min. 105r/min. 13r/min. 2.3r/min. (最高値は最少の120倍)の線量率で200r照射測定した。(第8図)

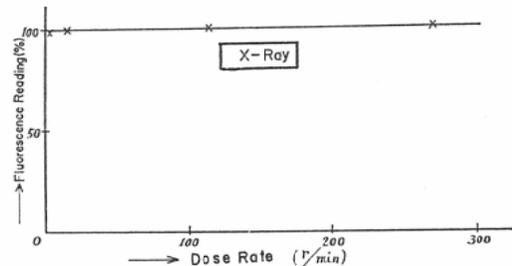


Fig. 8 Dose rate independence on X-rays. (2.3r/min.-275 r/min.)

次にγ線では小線量はラジウム、大線量はコバルトを使用して200r照射し、084r/h~9840r/h(最高値は最少の約10<sup>4</sup>倍)の間の6点の線量率の変化による測定を行った。

この実験の範囲内では線量率の影響は全く認め

られなかつた。又 Ba-硝子と Li-硝子との間の差も認められなかつた。

第5節 深部線量率の測定

Mix D phantom を用いて、各深さに於ける表面線量に対する深部線量率を測定した結果は第10図の如くである。照射野は10×10cmである。<sup>60</sup>Co-γ線は全く電離槽型線量計と一致するが、(Li-硝子, Ba-硝子共に) X線では数パーセント高い値を示した。(Ba-硝子の方が多少高い値であつた)

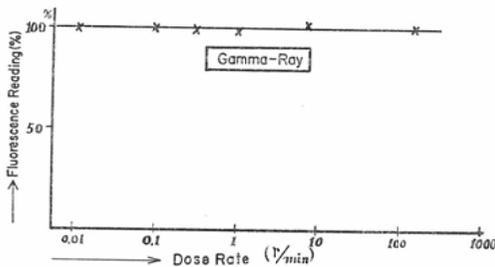


Fig. 9 Dose rate independence on gamma-rays. 0.014 r/min.-164 r/min.)

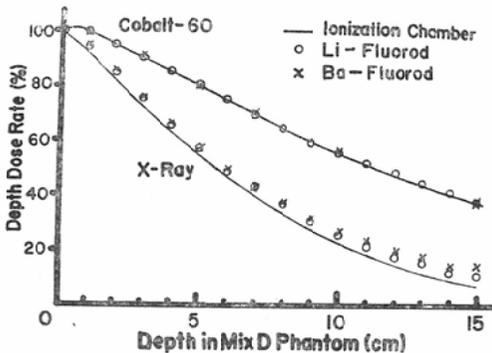


Fig. 10 Comparison of depth dose curves measured by two types of fluorods and the ionization chamber for X-ray and cobalt-60 γ-ray.

散乱線の影響を調べるために、照射野の大きさを変えて2 cm, 5 cm, 10cmの深さに於ける深部率を電離槽型線量計と比較した結果は第11図の如くであつた。(Li-硝子使用)

第6節 方向性について

硝子細桿線量計を照射線軸に対し、平行、30度、60度、垂直の4つの状態に固定し、同一条件で一定量のX線、γ線を照射した。(第12図)空

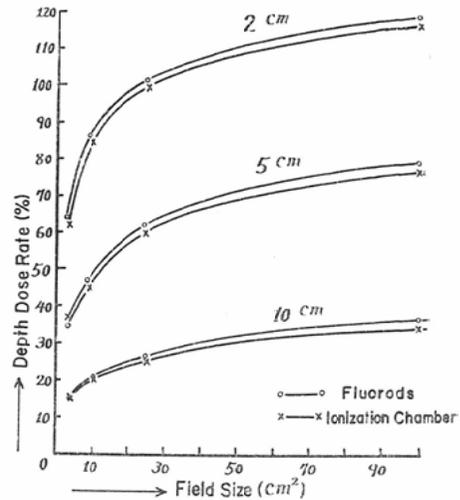


Fig. 11 Comparison of depth dose curves for X-rays (200 Kvp) obtained by fluorod and ionization chamber in depth of 2 cm, 5 cm, 10 cm in various field size.

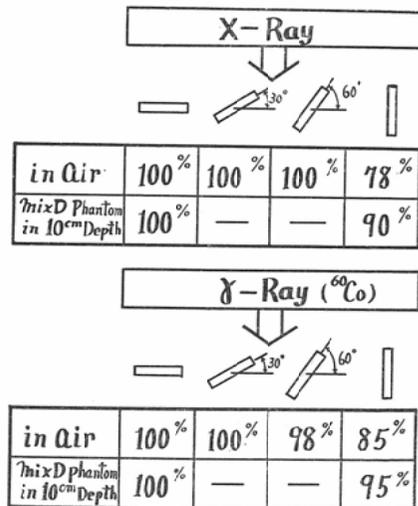


Fig. 12 Directionality of fluorods irradiated with X and γ-rays. Directional independence was observed except fluorod axis agreed with the beam direction.

中に於ては照射軸に平行の場合、約20%減少するが、多少角度が加われば影響はなくなる。Mix D phantom 10cmの深さでは、平行の場合の方向性は少なくなる。一般にγ線の方がX線より方向依存性は少ない。

第7節 積算線量について

硝子細桿線量計に適当な照射間隔(2~5日)にて、同一線質の放射線を加算照射した結果は、同一線量一回照射の場合と等しい値を示した。この場合照射間隔が長くなると蛍光褪色の影響により不正確となる。又加算回数が非常に多い時と加算値が直線性の限界に近づいた場合には、精度が悪くなる。

#### 小括及び考按

この線量計の最大の欠点は線質特性のあることで、Ba-硝子では Schulman<sup>2-6)10-12)</sup>等は60KeV附近で最高値を示し、<sup>60</sup>Co エネルギーに対してその値は15~24倍であると云っている。著者の測定では約16倍であった。文献に見られる値の差は、使用X線装置による相違で単一波長でないために生じたものと考えられる。

線質特性の主要原因は、硝子の構成物質中に原子番号の大きいBa, Kが入っているためである。最近作られた Li-硝子はこれらの元素が入っていないので線質特性は非常に少なく6.5倍である。更に金属カプセルを応用することにより、特性は一層改良されることを第3図に示した。即ち5mmの厚さの銅カプセルを用いれば、100KeV以上は線質特性は全く認められなくなる。併しこれでは実際使用にあたり容積が大きくなり過ぎ、小さい線量計の特色を失ってしまうことになる。その点0.2mm白金のカプセル針は多少線質特性があるが、小さくて都合である。以上を要約すれば、この線量計はγ線の測定には最適であるが、線質特性のあるX線では些か問題があるが、これはその対策を用いれば十分使えると云うことである。即ちその対策というのは、第1に金属カプセルの応用でSchulman<sup>13)</sup>, Malsky<sup>15)</sup>も有効な方法であることを強調している。第2に金属カプセルを用いず裸のまま使用した場合であるが、Schulman, Etzel<sup>6)</sup>は200kvp X線の深部率曲線で電離槽型線量計よりも20~40%も高い値を示し測定に適さぬと述べているが、著者の測定結果では数パーセント高い値を示したに過ぎなかつた。更にphantomの深部に於ける散乱線の変化を、深さと照射野の大きさについて調べたが、有意の変化は認めなかつた。これらの測定結果は均一組織内の表在

部と深部とのスペクトル分布が殆んど変わらないというCormack<sup>24)25)</sup>, Hettinger<sup>26)26)</sup> Hertz<sup>88)</sup>の実験より、線質特性があつても使用可能と考えられる。唯その場合、電離槽型線量計との比較で求めた補正曲線を作らねばならぬ煩らわしさがある。

最高測定可能線量はRoswit<sup>16)</sup> Bausch & Lomb<sup>6)</sup>のいうように10<sup>4</sup>rである。これは銀イオンの電子をtrapする能力が限界であるのと、蛍光の自己吸収が多くなるためであろう。X線では感度が強いため早く飽和状態になる。その量は<sup>60</sup>Coの限界量をX線の線質特性の因子で割つた値と云うことになる。著者の測定値ではLi-硝子で2500rであるが、X線は測定に適さぬと考えられた故か、この点に触れている文献はない。

線量率の影響及び方向性<sup>14)16)</sup>は漠然と認められないとされていたが、詳細は不明であつた。著者は実験よりγ線では0.84r/h~9840r/hの約10<sup>4</sup>倍の範囲内に、X線では2.3r/min~275r/minの約120倍の範囲内に線量率依存性がないことを明らかにした。方向性は多少角度があれば影響は全くないが、硝子細桿軸が照射線軸に一致した時、僅かに存在することが判つた。臨床的に用いる場合、このような状態におかれることは殆んどないと考えられるので方向性は無視してよい。

次に蛍光量と時間との関係についてHodara<sup>14)</sup>は100日で60%になると報告しているが、著者の結果では5カ月で90%と優れた値を示した。又Grow timeについては線量率が少ない程、換言すれば照射時間の長い程、照射終了より安定になる時間は短くなる。これは照射期間中に光化学反応(Ag<sup>+</sup>→Ag<sup>0</sup>)が行われるためと推定される。

Ba-硝子とLi-硝子との優劣は軽卒に論じられませんが、測定精度、感度及び線質特性の問題からLi-硝子の方が勝つていると思われる。

以上の基礎的実験より硝子細桿線量計は治療用X線及びγ線測定の使用が可能のことが判つた。

### 第3章 臨床的応用

#### 第1節 食道の線量測定

軟部組織、肺、骨で囲まれている食道の線量は計算で求めるのは困難であるが、硝子細桿のよう

な容積の小さな線量計を用いれば、実測が容易で照射線量を正確に知ることが出来る。

I) X線固定多門照射

a) Phantom 測定

人体と同じ様な組織で作られた胸部Phantom<sup>29)</sup>の食道部に電離槽型深部線量計と硝子細棒を挿入し、X線7門照射を行い比較測定した。照射条件は管電圧 200kVp, 濾過板 0.7mmCu+ 0.5mmAl, 焦点表面距離40cm, 照射野 5×15cmである。

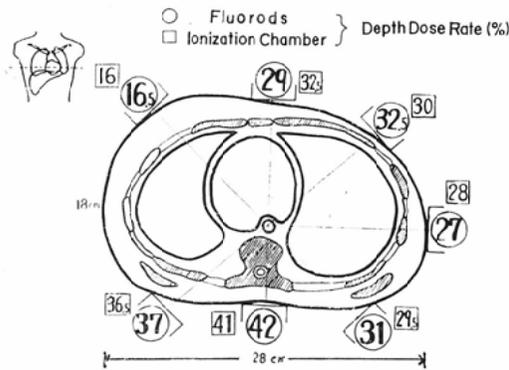


Fig. 13 Dosimetry of the esophagus in the chest phantom irradiated on conventional X-ray. There was no significant difference of value for fluorod and ionization chamber

第13図は表面空中線量を 100とした時の深部率である。この2つの線量計は略々等しい値を示しているが、硝子線量計の方が僅かに高い値であった。これは既に第2章第5節の深部線量率曲線の説明より当然のことと考えられる。1部に少ない結果が出ているが、実験誤差と考えられる。

b) 患者測定

硝子細棒を細いビニール・チューブ(直径3mm)に入れ、その上下に小さな金属を入れた食道一胃測定用の挿入カテーテルを用いた(第14図)。金属片は硝子がX線透視で見えないので、“目印”のために用いた。硝子細棒は2-3本を1度に使用した。ビニール・チューブは細いので嚥下は極めて容易であった。照射前に治療装置で、電圧を低くしてX線透視を行い、患者の病巣部に硝子線量計が挿入されていることを毎回確認し、その姿

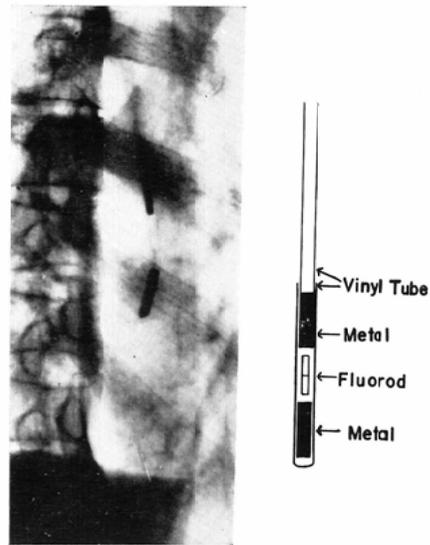


Fig. 14 X-ray picture of inserted fluorods enclosed in vinyl tube with metal markers in the esophagus.

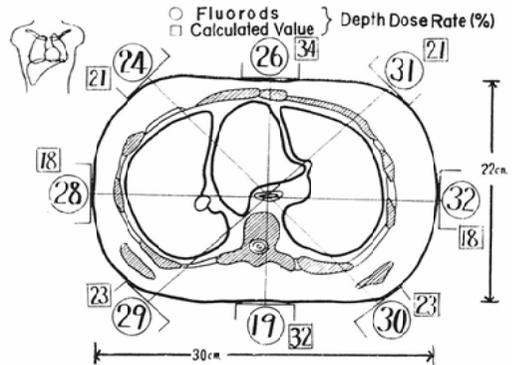


Fig. 15 Esophagus dosimetry in the patient treated with conventional X-ray. The significant difference was shown between calculated value and fluorod measurement causing by bone and lung tissue (Field size 5×12 cm)

勢にて照射した。照射条件は前と同じである。第15図は硝子線量計の食道に於ける実測値の表面空中線量に対する百分率及び組織係数の補正をせずに Johns の表<sup>30)</sup>よりの計算値を示したものである。結果は当然のことであるが肺、骨の影響が著明に認められる。

II) X線運動(振り)照射

実験目的は異層物質に囲まれた食道を運動照射

で治療する場合、組織係数の補正をどの位にしたらいいか実際の治療で常に困ることである。そこで硝子細桿線量計を用いて実測値を求め、それより補正係数を導出することを試みた。

照射条件は管電圧 200kvp, 濾過板 0.5mmCu + 0.5mmAl, 照射野 4~5cm (幅) × 8~12cm (長さ), 振り角は 330度である。測定にあたり正確に病巣部に硝子線量計が入り、廻転中心に一致していることの確認に苦心した。即ち患者の食道に挿入された硝子線量計を照射前治療台にて、2方向よりX線透視して病巣部に確実に入っていることを確かめて照射した。更に照射中廻転横断撮影を行って完全を期した。

食道上中下部の分類は組織係数を求める都合より、胸部では肺の占める割合が大きい為了解剖上の分類に従わず、上部は食道入口部より 5cm 以内、下部は噴門から 5cm 上までの部分とし、残りを全部中部食道とした。

症例は上部食道 2 例、中部 23 例、下部 9 例の 34 例であった。横軸に食道の平均深度、縦軸に補正係数をとると第16図のようになる。測定結果より中部食道の補正係数は 1.4, 下部は 1.2 がよいことが判った。

Ⅲ) <sup>60</sup>Co 廻転照射

<sup>60</sup>Co 廻転照射にて同じような測定を行った。

照射条件は線源廻転中心距離75cm, 照射野 5~6cm (幅) × 10~12cm (長さ) である。15例の実測値より胸部組織係数を求めると 1.08 であった(第

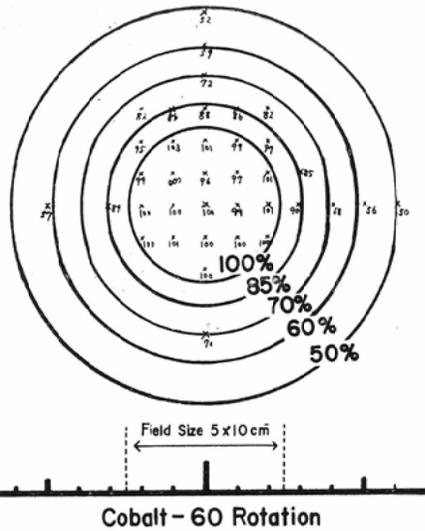


Fig. 17 Dose distribution of cobalt-60 complete rotation in mix D ellipsoid phantom.

16図)。この場合 ( 360度廻転照射 ) の線量分布を Mix D 楕円 Phantom を用い、硝子細桿線量計 37本を同時使用して求めると17図の如くである。この線量計には運動照射の線量分布を容易に求められる利点を持っている。

次に食道内に縦列に10数本の硝子線量計を用いて、食道長軸の線量分布を測ってみると、照射野の辺縁(上下端) 1cm内の処では中心部の90%, 照射野外 1cmで15%, 2cmで5%の値を示した。これは線源の半影に原因する物理的誤差と、呼吸性移動等の臨床的誤差のためと考えられる。

第2節 胃の線量測定

I) 胃内カテーテル挿入による方法

ビニール・チューブに硝子細桿を封入した胃測定用カテーテルを嚥下させ、X線透視下で胃癌の病巣部に入れてテレコバルト固定照射を行った。噴門部ではカテーテル挿入も照射時の固定も簡単であったが、胃体部、幽門部では挿入が容易でなかった。症例は噴門部 6 例、その稍々下方 6 例、胃体部 8 例、幽門部 4 例の 24 例である。照射条件は線源皮膚距離25cm, 照射野 8 × 8 cm である。測定結果は18図に示す通りで、噴門部の近くは約50%, 幽門部附近は約70で解剖上の深さより求めた計算値と略く同じ値であった。病巣部位の深さの

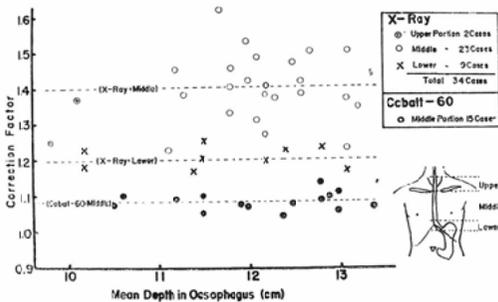


Fig. 16 Tissue correction factor in chest cavity irradiated with moving beams of X-ray(200 kvp) and cobalt-60  $\gamma$ -ray. X-ray (330° pendulum) cobalt-60 (complete rotation)

決定はX線断層撮影及び仰臥位で右→左方向のX線透視撮影を行ったが、後者の方が優れていた。実測値は胃腔内を測定しているの、病巣線量の決定は胃前壁の場合は1cm少ない深さで、後壁の場合は1cm多い深さで補正を行った。

I) 胃壁縫着による方法

症例は1例である。胃癌術前照射の患者を開腹(病巣部胃壁の任意の胃体部外弯前壁より後壁に及ぶ)一前壁に3カ所、後壁に1カ所の4部位

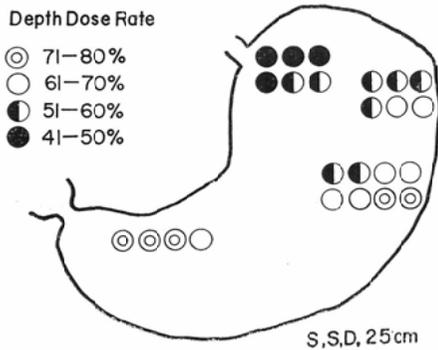


Fig. 18 Stomach dose distribution irradiated on tele cobalt unit. (Field size 8×8cm)

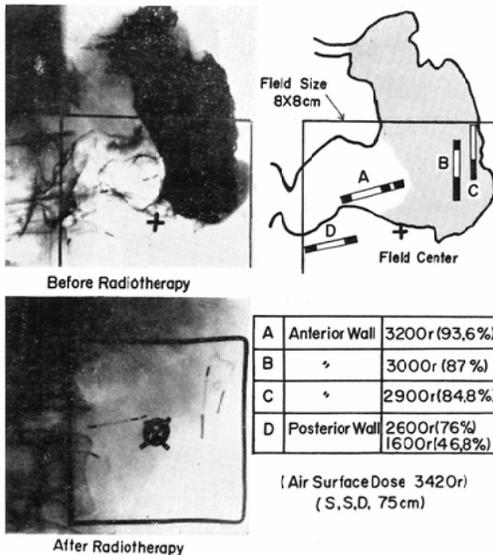


Fig. 19 The X-ray picture for sewed fluorod in to the stomach wall on the left, information of the result on the right, reduction in dose D is due to fluorod having slipped out from irradiation field during treatment period.

に硝子線量計及び金属マークが封入されているビニール・チューブを縫いつけ、20回<sup>60</sup>Co-60分割照射を行った。照射条件は線源皮膚間距離75cm, 照射野8×8cmで、硝子線量計が照射野内に確実に入るように照射した(第19図参照)。照射開始後10日目のX線撮影により、後壁に縫着した線量計(D)が半分照射野外に出ているのを発見したが、そのまま照射を続けた。摘出資料の測定結果は19図に示した通りで、(D)を除いて計算値と略と一致していた。

第3節 骨及び骨髓の線量測定

I) Phantom による骨髓吸収線量の測定

造血臓器としての骨髓に対して、体外照射による障害は大きな問題である。併しながら骨髓は生体内に於て、原子番号の高い元素より出来ている骨に囲まれて存在しており、複雑なスペクトルが予想され、現在の処正しい測定が困難である。従つて線量に対する障害の研究は不明の点が多い。著者は1つの方法として、半価層より実効電圧を出し、N.B.S, Hand book 62の表より吸収係数を求め、実測した骨髓内の線量を補正し、骨髓線量を求めることを試みた。

軟部組織、骨髓は Mix D 骨は合成骨及び牛骨粉の板を組み合わせて作った Phantom を使用した。(合成骨は Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>) 238%, C<sub>28</sub>H<sub>58</sub> 54%, C: 8%を混合して作った。これはN.B.S, Hand book 62の骨組成と略と同じものである。) 線量計に各種の厚さの銅キャップをかぶせて、骨髓内

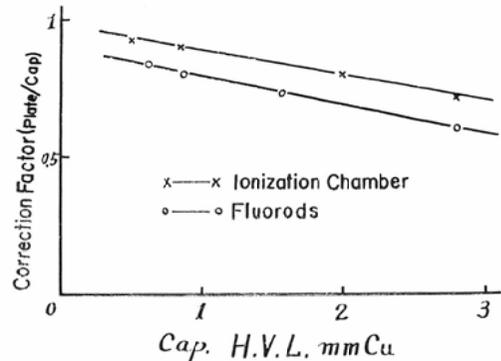


Fig. 20 Correction factor in plate H. V. L. measured in air convert to Cap H.V.L. in phantom.

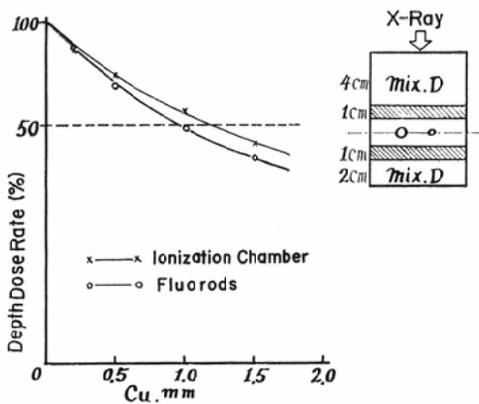


Fig. 21 Comparison of attenuation curve of fluorod and ionization chamber in bone marrow phantom for X-ray on 200 kvp.

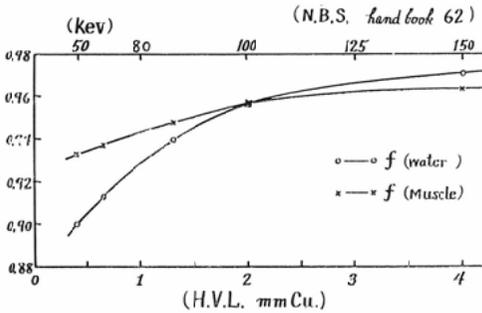


Fig. 22 Relation between half layer value and absorption tissue factor. (N.B.S. hand book 62)

の半価層を測り、この値を空气中で測定した銅キャップと銅板との半価層の比率より補正し、骨髄内の半価層に換算した値として求めた(第20図)。第21図は軟部組織4cm、骨1cm、骨髄2cm、骨1cm、軟部組織2cmのPhantomの骨髄中央に於ける減弱曲線である。これより求めた半価層を第20

図で補正し、それより実効電圧を導出し、N.B.Sの表(第22図)より吸収係数(f)を求め、実測した値を補正し骨髄の吸収線量とした。第4表は整理した測定値である。即ち合成骨使用の場合、シーメンス製電離槽型線量計では空中線量100rを授与した時、骨髄線量は48rad、補正しないと52rであった。一方硝子線量計では骨髄線量52rad、補正しないと57rであり、何れの線量計でも補正すると10%位少ない値を示した。硝子線量計は電離槽型線量計より7~10%高い値を示した。

II) 上腕 phantom の骨周辺の線量分布及び骨髄線量の測定

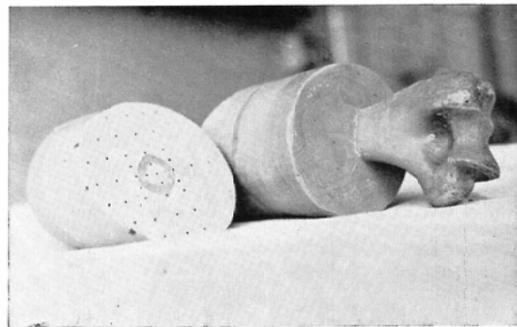


Fig. 23 Upper arm phantom. Humerus was surrounded by mix D.

人骨を Mix D に埋没した上腕 Phantom (第23図)に管電圧 200kVp、濾過板 1.0mmCu + 0.5mmAl、焦点表面距離50cmの条件でX線照射をした。照射野12cm直径の線量分布は第24図の如くである。又骨周辺部の深部率の変化は第25図の如くである。このPhantomの骨髄中央部の減弱曲線は第26図に示す如くである。骨髄線量を前記方法で

Table 4. Comparison of bone marrow dose in difference bone component with different dosimeter.

	Specific Gravity	Dosimeter	Half-Value Layer (Cu:mm)	Effective Voltage (KeV)	Absorption Factor (f:Water)	Depth Dose Rate (%)	Bone Marrow Dose (%)
Composition Bone	1.29	Siemens	0.99	80	0.924	52	48
		Fluorod	0.76	71	0.916	57	52
Bull Bone Powder	1.21	Siemens	0.88	75	0.920	50	46
		Fluorod	0.74	69	0.915	54	49

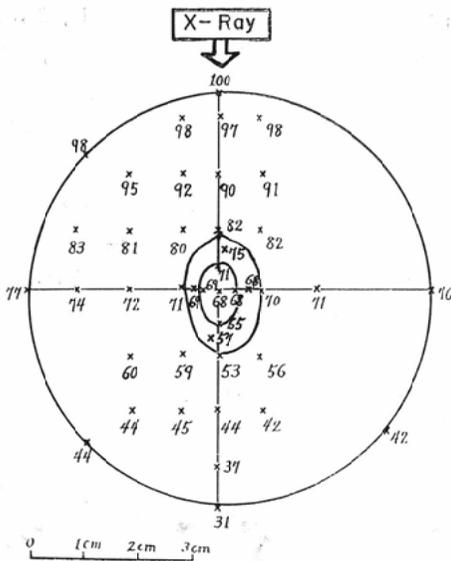


Fig. 24 Dose distribution of the upper arm irradiated with 200 kvp X-ray. (Field size 12 cm φ)

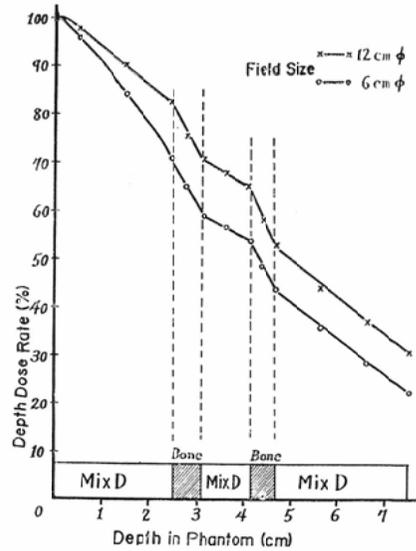


Fig. 25 Depth dose curve of the upper arm phantom at the horizontal midline. irradiated with 200 kvp X-ray.

求め、測定結果を整理すると第5表となる。

第4節 膀胱の線量測定

ゴム風船の内側に硝子細桿線量計及び金属マークをはりつけ、細いネラトンを内臓したものを試作した。これを空気を抜いた状態で膀胱内に挿入して、一定量の空気を入れて固定し照射した。膀胱への挿入は女性では極めて容易で、全く苦痛を訴えなかった。挿入後X線写真を2方向よりとり、線量計の位置を記録する。第27図の症例は、<sup>60</sup>Co 照射を行ったもので、A,B,Cの3本は照射野内にあり、D,Eの2本は照射区域外にある。X線写真より求めた深さはA: 4 cm, B: 8 cm, C: 2.5 cm, D: 6.8 cm, E: 5.5 cmである。測定結果を深部率で表わすとA: 75%, B: 66%, C: 88%, D: 20%, E: 9.3%で Johns の表よ

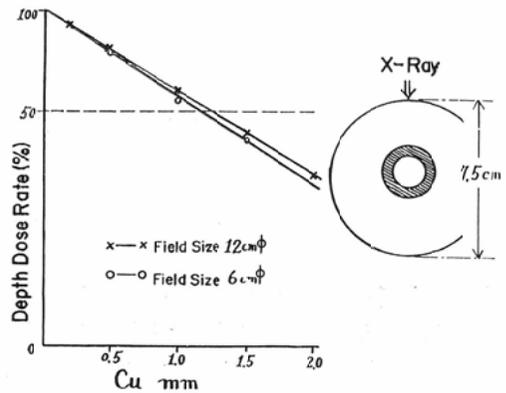


Fig. 26 Depth dose curve of upper arm phantom at the horizontal midline.

り得られた値より多少高かった。特に後壁に於て著明であることは興味を持たれる。

Table 5. Bone marrow dose in the upper arm

Field Size	Half-Value Layer (Cu mm)		Effective Voltage (KeV)	Absorption Factor (f: Water)	Depth Dose Rate (%)	Bone Marrow Dose (%)
	Cap	Plate				
6 cm φ	1.15	0.90	76	0.925	57	52.7
12 cm φ	1.25	0.97	79	0.927	68	63.1

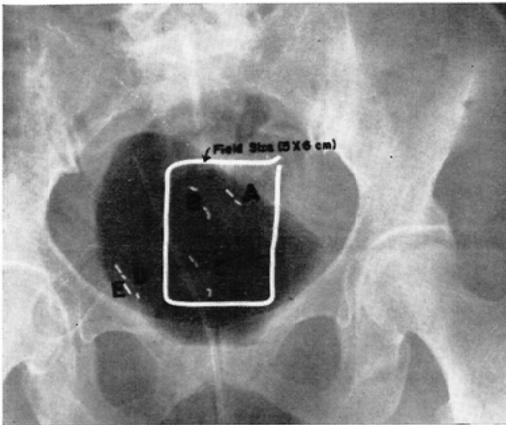


Fig. 27 X-ray film of fluorod fixed in inner aspect of rubber ballon in the urinary bladder.

第5節 ラジウム針刺入の舌線量の測定

舌のような軟部組織に限局して発生した癌に対し、ラジウム針の組織内照射が著効を奏することは昔より知られている。その場合針の使用が多くなると、線量の計算がむずかしく、経験的な生体反応に頼ることになり、熟練者でなければ治療出来なくなる。そのような時最も必要な部位に硝子細桿線量計を刺入又は挿入し、1~2時間して取り出し測定すれば実測が出来、治療計画を立てるのに好都合である。

舌癌の組織内照射の実測結果は第6表の如くである。第28図は第6表の症例5で、舌にラジウム針及び硝子線量計を入れた白金カプセル針が刺入されたX線写真である。AはSingle planeに刺されたラジウム針層の5mmより少しはなれた病巣外に刺入された。(この部位で4000r以上あ

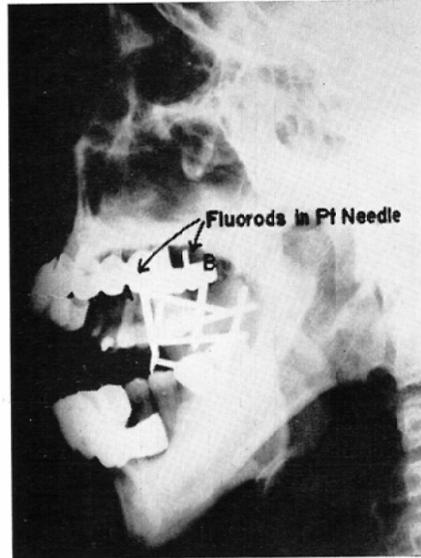


Fig. 28 X-ray film of single plane interstitial radium needle implantation in the tongue tumor. Fluorods A and B was covered by platinum sheathes.

ば治療は十分と考えられる)。Bはラジウム針層より5mm以内に刺入されたもので、高線量が予想される(過剰線量による障害を考慮するため)。その他舌の表面にビニール・チューブに封入された硝子線量計を用いて表面線量を測定した。

第6節 <sup>60</sup>Co チューブの空間的線量分布の測定

硝子細桿線量計約50本を空間の薄い紙の上に立て、<sup>60</sup>Co 16mc チューブの空气中に於ける線量分布の実測を行つた。ラジウム10mg相当に換算した値が第29図である。尾内<sup>32)</sup>がC.D.S. ガンマー

Table 6. Radiation dosage in case of radium needle implantation of cancer of the tanguer.

× Fluorods was punctured in about 3 mm distance from single plane,  
 ※ was in about 6 mm distance.

Case	Methd	Surface		Interstitial Measurement Dose
		Calibration Dose	Measurement Dose	
S .A.	Single plane	37 (r/h)	34 (r/h)	
Y. A.	Two plane	48	55	
T. M.	Single plane	36	34	
Y. S.	"	45	51	× Maximum Portion 78 (r/h)
K. I.	"	37	38	× Maximum Portion 106 (r/h) ※ Minimum Portion 24 (r/h)

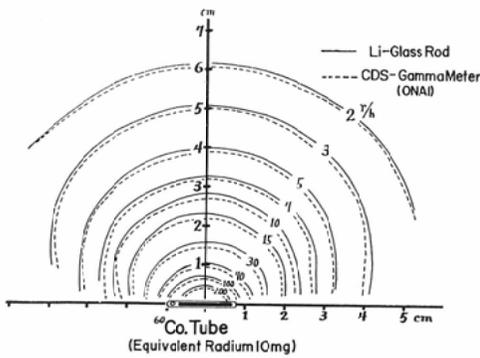


Fig. 29 Iso-dose curves of cobalt-60 tube in air.  
Solid line: fluorid measurements.  
Point line: C.D.S. gamma meter measurements by Y. Onai (1956)

メーターで測定した値と比較すると、多少強く出ているが、線源の濾過金属も違うので優劣は論じられない。 $^{60}\text{Co}$ の容器はステンレス、ラジウムは白金。

#### 小括及び考按

病巣線量の決定には色々の方法があるが、実測しない以上多くの問題が生じてくる。併し現在まで適當の線量計がなかつたので、臨床線量計として使用され、実測された報告は殆んど認められてない。

Spiers<sup>33)24)</sup>は体外より食道に達する各組織(筋肉、脂肪、骨、肺)の比重、組織均等原子、吸収係数を求めて計算で食道線量を求めている。だがこれを患者に適應することはむずかしい。

Jacobson, Knauer<sup>35)</sup>はPhantom(肺比重: 0.27)を用いて従隔洞中央の病巣線量を200kvp X線6門照射の測定を電離槽型線量計で行っている。それによると病巣までの平均深度は13.4cmで、測定値の深部率平均は8×15cmの照射野では32.5%、7×7cmでは26.5%であると述べている。著者が行つた固定6門の患者例は第15図に示した如くで、食道の平均深度は12.3cm、硝子細桿線量計による実測値の深部率平均は27.3%で、Jacobsonの実験値に略と近い値であつたが、実測値であるところに意義が認められると思う。

胸部の組織補正係数はX線: 1.2~2.0<sup>40)</sup>、 $^{60}\text{Co}$  1.2<sup>36)</sup>と文献に示されているが、X線では範

囲が広過ぎて使用する場合不便である。著者の34例の結果より中部食道: 1.2(1.17~1.25)を導出したことは、X線運動照射をやる上に役立つと思われる。

$^{60}\text{Co}$ 廻転照射では1.08(1.05~1.14)で文献の値と多少違っているが、複雑な計算から出されたものより、実測値から求めた方が臨床使用には適していると思われる。Nahon<sup>38)39)</sup> Wachsman<sup>37)</sup>が生体で透過線量を測定し、同じ胸厚の患者でも測定値に相当の開きがあることを指摘している如く、生体の個人差は如何ともなし得ない。著者の測定結果でも散在性が認められる。従つてよい値を求めるには、個人について実測することが最上と考えられ、硝子細桿線量計はこの点最適と思われる。

胃の線量測定も硝子線量計を用いれば、極めて容易である。第18図に示したテレコバルトによる照射の測定値はJohnsの表<sup>30)</sup>よりの計算値と余り変らなかつた。唯カテーテルで胃内に線量計を挿入する方法は、固定がむずかしく、測定部位が変る危険性がある。(著者の測定では、照射後のX線写真で位置の変つていたものは除いた)。又胃内容物が多いと病巣線量としての測定値は不正確となる。その点硝子細桿線量計の胃壁縫着による測定は、病巣位置が確実である。著者の実験例では癒着のため後壁に縫着した線量計が、照射期間中に照射野外に出てしまった。この1例をもつて軽々しく病巣線量と病理組織との関係は述べられぬが、途中より照射区域外に出てしまった部分D: 1500r照射と照射区域内A: 3200r(B, Cは開腹時腫瘍はなかつた)との間に有意の差が認められたことは意味があると思う。即ち少量照射部分(D)は放射線の影響が殆んど認められないのに対して、大量照射部位(A)は癌細胞の核の膨大、合成細胞形成が著明であつた。この程度の線量の差に対して、病理組織変化が強過ぎ、何か別の原因が働いたのかも知れない。何れにしても病巣線量と病理組織との相関関係の研究に役立つと思われる。今後症例を重ねて検討を行う必要を感じている。

次に骨髓線量の測定の問題であるが、造血骨髓

は殆んど海綿状骨内にある<sup>42)</sup>。その場合、骨より発生する二次線が問題になる。Epp<sup>43)</sup>及び田島<sup>44)</sup>の測定による200～250kvpのX線では、骨表面より200 $\mu$ 以内の微小範囲に著明の影響があると報告している。硝子細桿線量計の直径は1mmであるから、この小さな線量計を用いても測定は不可能である。そこで著者は大腿骨上端のような特殊な部位を対象にして、測定を考えた。その測定方法について、半価層から実効電圧を求めることに検討の必要があると思われる<sup>45)46)</sup>。それを組織内にまで発展させてよいか、その求め方として銅キャップを使用したことに批判の余地は残されているが、現在の処、適当な測定法がないので検討は後日の問題とした。

骨周辺の線量分布の測定は、吸収散乱の微小変化が捕えられ、興味ある結果を示した。入江<sup>47)</sup>はフィルム線量計を用い、橋詰<sup>48)</sup>は小さな電離槽型線量計を用いて、骨表面の散乱線の増加線量を測定している。著者の使用したPhantomは上腕部で、測定部分の骨表面が生憎尖状であつたため、照射野の大きい12cm直径で僅かにその影響らしきものを認めたと過ぎなかつたが、骨髄部では骨の二次線が明らかに認められた。

硝子線量計はフィルム線量計と比較して<sup>50)</sup>、方向性がないこと、線質特性が少ないこと、線量の測定範囲が大きいこと等の長所があり、一方電離槽型線量計と比較して容積が小さいので、微小変化を捕え易い利点がある。

Spiers<sup>33)</sup>は骨の比重、吸収係数を計算で求め、骨を含む異層物質の深部率曲線を出している。骨の減衰曲線は著者の値と似ているが、照射条件が違うので比較は出来ない。

膀胱の線量測定は今まで簡単に行なわれなかつたようであるが、著者の方法は放射線治療と併用する処に大きな意義がある。即ち治療前に一定量の空気(約200cc)必要によつては水を使用して膀胱を拡大照射する。腫瘍の部位により、照射方法を変えて病巣外の膀胱を十分に保護することが可能となる。同時に膀胱の線量が測定出来るので治療に役立つと思われる。現在のところ男性の使用は些かむずかしい欠点が残されている。

最後に組織内線量の測定であるが、舌癌のSingle plane 刺入法では、実測の表面線量がPater-son-Parker<sup>5)</sup>の表より求めた病巣線量とよく合致している。従つて表面線量を測るのが簡単で、治療計画に役立つと思われる。

#### 総括並びに考按

病巣線量の決定にLoevinger<sup>51)</sup>、Fedoruck<sup>54)</sup>はPhantom測定より体内の線量分布を作つて臨床への適応をはかり、Johns<sup>30)</sup>やMeridith<sup>51)</sup>の標準深部率曲線より病巣線量をだす方法より前進させた。一方Spiers<sup>33,34)</sup>は計算より求める方法を試みたが複雑で、日常使用するわけにはゆかない。臨床使用の場合個人差が大きく、正確に病巣線量を得るには実測以外にない。

Wootton<sup>5)</sup>は小さな電離槽型線量計(外径4.72mm,長さ20mm)を作り、上顎洞、咽頭、食道、膀胱の照射線量を実測している。操作は簡単であるといつてはいるが、ケーブルがついてるので臨床線量計として使う時煩らわしく、又線量計は大きいので患者の苦痛も強いと思われる。これに反して硝子細桿線量計は容積が非常に小さく(直径1mm,長さ6mm)生体実測に最適である。体腔(食道、胃、膀胱、尿管、子宮、直腸、耳鼻科領域)及び組織内(舌、皮膚、直腸等の腫瘍)への挿入、刺入は容易であり、更に簡単な手術を行つて体内腫瘍に縫いつけて測定することも出来る。そして病巣線量を測定することより照射技術の監視が行える。照射角度のとり方で病巣部がはずれる場合、患者の体位が悪くて皮膚の照射マークと病巣が違う場合等が実際の治療ではあり、計算では予知出来ない思われぬ失敗が発見出来、照射技術の向上を促進させることが出来る。

又線量分布の作成への適応が可能で、運動照射法や小線源の微細部分の測定等に硝子細桿線量計を同時に多数使用し、1回の照射で線量分布が測定出来る利点がある。

更に $\beta$ 線<sup>18)</sup>、中性子線<sup>17)20)</sup>も基礎実験より測定可能のことが報告され、利用範囲は一層拡大されつつある。

以上の如く臨床線量計として、非常に優れたものであり、既にLoswitzがこれを用いて効果を

あげているが、基礎的性質で幾つかの改善をを望まれる問題が残されている。

第1に測定したものは、硝子の吸収線量であつて生体の組織線量でないこと。

第2に線質特性を持つていること—これは金属カプセル<sup>13)15)</sup>の使用により、効果をあげ得ることが期待される。

第3に照射直後に測定値が判らぬ不便さがある。—これは<sup>56)</sup>熱処理等の理学的方法で安定になるに要する時間が短縮されることが考えられる。

第4に使用した硝子の蛍光を消失させ、以前の状態に戻す、所謂再生の問題がある。—現在熱処理の方法<sup>18)</sup>が取られているが、感度を悪くする欠点がある。

硝子線量計をより優れたものにするには、これらの問題の解決が今後の課題であろう。

蛍光メーターについては、光電子増倍管、水銀燈が用いられている以上、温度、湿度、塵汚、電源の安定性は大切な問題であり、著者も測定に於て相当悩まされた。精密な測定であるから測定器のおく場所、及び測定条件に注意する必要がある。その中特に注意を要する点は、硝子の汚染である。生体内に裸の硝子を長期間入れておくと、硝子の表面は薄い膜のようなものでおおわれ、測定誤差の原因となる。この汚染は洗滌では容易にとれないから、汚さぬように注意することが大切である。小さな金属カプセルの使用は、汚染を防ぐと同時にX線透視の目印となり、線質特性を少なくするのでよい方法と思われる。

以上幾つかの未解決の欠点を残しているが、生体線量計として優れたものと考えられ、測定に使用して好成績を得たので報告する。

## 結 論

### A) 硝子細桿線量計の基礎的性質

① Ba-硝子の線質特性は<sup>60</sup>Co  $\gamma$ 線に比して、65KeV のX線で最高を示し、その値の16倍である。併し改良されたLi-硝子では6.5倍である。

② 測定可能範囲は200kvp X線では、Ba-硝子で5~1500r, Li-硝子で1~2500r であり、 $\gamma$ 線ではBa-硝子で50~10000r, Li-硝子で10~10000r で、その精度は5%である。

③ 照射後10時間より数日の間が安定で、測定に適する。

④ 線量率の影響は認められない。

方向性は照射が硝子軸に一致した時を除いて無視される。積算線量の測定も可能である。

⑤  $\gamma$ 線の深部率曲線は電離槽型線量計と同一値であるが、X線では数パーセント高い値を示す。

⑥ Li-硝子の方がBa-硝子より線質特性及びPre Doseが少なく、測定精度もよく優れている。

### B) 臨床的応用

① 食道8門固定照射(X線)の実測を行った。

② 食道に於ける200kvp X線330度振り照射、<sup>60</sup>Co 廻転照射の実測値より、胸部組織補正係数を求めた。X線では中部食道1.4、下部食道1.2、<sup>60</sup>Co では中部食道1.08であつた。

③ 胃線量測定をテレコバルト(SSD:25cm)で試みた結果、噴門部では約50%、幽門部では約70%の深部率であつた。

又胃壁縫着法により胃壁の線量を測定した。

④ 骨髄線量をPhantomを用いて、“半価層法”で測定した。又上腕Phantom使用により、骨周辺部の深部率曲線を測定し興味ある結果を得た。

⑤ 膀胱腫瘍の線量測定を行った。

⑥ 舌癌のラジウム針刺入時の線量測定を行った。Single plane 刺入法では表面の測定値が病巣線量としてよい値を示した。

⑦ <sup>60</sup>Co 管の空間的線量分布を測定した。

本論文の要旨は、昭和34年4月6日、第18回日本医学放射線学会総会、昭和34年10月29日第1回日本放射線影響学会、昭和35年7月1日、第19回日本医学放射線学会総会、昭和36年4月1日、第20回日本医学放射線学会総会に於て発表した。

稿を終るにあたり、終始御懇篤な御指導並びに御鞭撻を賜つた恩師寛弘毅教授に厚く御礼申し上げます。また御助力を戴いた教室諸兄姉に深甚なる謝意を表します。

## 文 献

- 1) Etzel H.W., Schulman J. H (1954) "Silver-Activated Alkali Halides" The Journal of Chemical Physics 22, 9, 1549-1554. — 2) Schulman J.H., Ginther R.J. Klick C.C.: (1951)

- “Dosimetry of X-Rays and Gamma-Rays by Radiophotoluminescence” *Journal of Applied Physics* 22, 12, 1479—1487. — 3) Degelman J., Callahan A.B., Fulton G.P.: (1957) “An Improved Fluorometer for Miniature Glass Rod Radiation Detectors” *Radiation Research* 6, 548—553. — 4) Schulman J.H.: Etzel H.W.: (1953) “Small-Volume Dosimeter for X-Rays and Gamma-Rays” *Science* 118, 184—186. — 5) Etzel H.W., Krik R.D., Schulman J.H.: (1955) “Small-Volume Dosimeter” *R.A.-DET.* 8, 2, 49—56. — 6) Bausch and Lomb Optical Co. “The New Bauch & Lomb Microdosimeter System” — 7) Barr N.F., Stark M., Laughlin J.S.: (1961) “A Comparison of Two Fluorometers Designed to Measure the Radiation-Induced Fluorescence of Silver-Activated Glass Rods” *Radiology* 76, 1, 113—115. — 8) Davison S., Goldbrith S.A., Proctor B.E.: (1956) “Glass Dosimetry” *Nucleonics* 14, 1, 34—39. — 9) Riegeert A.L., Johns H.E., Spinks J.W.: (1956) “Agphosphate Glass Needle for Measuring Gamma Dose” *Nucleonics* 14, 11, 134—137. — 10) Ginther R.J., Schulman J.H.: (1960) “New Glass Dosimeter is less Energy-Dependent” *Nucleonics* 18, 4, 92—93. — 11) Riegeert A.L., Spinks J.W.T.: (1958) “Energy Dependence of Silver Phosphate Glass Dosimeters” *Applied Radiation and Isotopes* 3, 2, 125—130. — 12) Kreidl N.J., Blair G.E.: (1959) “Glass Dosimetry” *Nucleonics* 17, 10, 58. — 13) Schulman J.H., Shurcliff W., Ginther R.J., Attix F.H.: (1953) “Radiophotoluminescence Dosimetry System of the U.S. Navy” *Nucleonics* 11, 10, 52—56. — 14) Hodara M., Friedman M., Hine G.L.: (1959) “Radiation Dosimetry with Fluorods” *Radiology* 73, 11, 693—706. — 15) Malsky S.J., Amato C.G. et al.: (1961) “In Vivo Dosimetry with Miniature Glass Rods” (Part I, Physical Aspects and Recent Developments) *Am. J. Roent.* 85, 3, 568—571. — 16) Roswit B.: (1961) “In Vivo Dosimetry with Gold-Sheathed Miniature Glass Rods” (Part II. Clinical Applications in Radiation Therapy) *Am. J. Roent.* 85, 3, 572—582. — 17) Amato C.G., Malsky S.T.: (1961) “Radiophotoluminescent Gamma-Ray Dosimetry of Mixed Neutron Gamma-Ray Radiation Field” *Radiology* 76, 290—291. — 18) 近藤宗平 (1959) “銀活性磷酸硝子による液体個体内のβ線の絶対線量の測定” 第3回日本アイソトープ会議論文抄録集, 134. — 19) 大沢秀雄他: 東芝レビュー, No. 44, 35—40. — 20) Yokota R., Nakajima S., Sakai H.: (1961) “High sensitive Silver-Activated Phosphate Glass for Thermal Neutron,  $\gamma$  and  $\beta$ -Rays.” *Health Physics Pergamon Press* 1961, 5, 219—224. — 21) Hine G.J., Hodara M. Friedman: (1962) “Accuracy of Fluorod Dose Measurement” *Radiology* 78, 1, 44—48. — 22) Friedman M., et al.: “Fluorod Dosimetry Close to Radium and Co-60 Source” *Radiology* 78, 1, 29—43. — 23) Barr N., Stark M.B., Laughlin J.S.: (1961) “Dosimetry with small silver-activated Glass Rod” *Health Physics* 7, 48—53. — 24) Cormack D.V., Griffith T.J., Johns H.E.: (1957) “Measurement of the Spectral Distribution of Scattered 400 kvp X Rays in a Water Phantom” *Brit. J. Roent.* 30, 351, 129—135. — 25) Cormack D.V., Davitt W.E., Burke D.G.: (1958) “Spectral Distribution of 280 kvp X Rays” *Brit. J. Roent.* 31, 370, 565—570. — 26) Hettinger G., Liden K.: (1960) “Scattered Radiation in a Water Phantom Irradiated by Roentgen Photons Between 50 and 250 Kev” *ACTA Radiologica* 53, 73—92. — 27) Hettinger G.: (1960) “Angular and Spectral Distribution of Backscatter Radiation from Slabs of Water, Brass, and Lead Irradiated by Photons Between 50 and 250 Kev” *ACTA Radiologica* 54, 129—152. — 28) Hertz C.H., Gremmelmaier R.: (1960) “Miniature Semiconductor Dose Rate Meter” *ACTA Radiologica* 54, 69—80. — 29) 市川, 荒居 (1961) 胸部放射線治療による肺障害について, 日医放学会誌, 21巻6号, 53—62. — 30) Johns H.E.: (1953) “The Physics of Radiation Therapy” Springfield III Charles C Thomas. — 31) Morgan, Corrigan: *Hand book of Radiology* 178 Year Book Publishers — 32) 尾内能夫: 放射線医学 (医学書院) 179頁. — 33) Spiers F.W.: (1946) “Effective Atomic Number and Energy Absorption in Tissue” *Brit. J. Roent.* 19, 218, 52—63. — 34) Spiers F.W.: (1951) “Dosage in Irradiated Soft Tissue and Bone” *Brit. J. Roent.* 24, 365—369. — 35) Jacobson L.F., Knauer I.S.: “Correction Factors for Tumor Dose in the Chest Cavity Due to Diminished Absorption and Scatter in Lung Tissue” *Radiology* 67, 6, 863—876. — 36) Nahon J.R., Hawkes J.B.: (1954) “Energy Distribution in the Thorax During Multiple Field and Rotational Therapy” *Am. J. Roent.* 72, 5, 819—826. — 37) Wachsmann: (1952) “Neue Gesichtspunkte für die Ermittlung der Dosis bei Bestrahlung tiefliegender Herde” *Strahlentherapie* 87, 253—265. — 38) Nahon J.R., Naidorf C.P.: (1952) “Comparative Study of X-Ray transmission in Thorax and Abdomen in Living Subjects” *Radi-*

- ology. 58, 241—245. — 39) Nahon J.R.: (1955) "Further comparative Studies of X-ray transmission through the Abdomen in Living Subjects" *Radiology*. 64, 392—397. — 40) 梅垣洋一郎: 放射線医学 (638頁) 医学書院. — 41) Jacobson L.E., Knauer I.: (1956) "Absorption in Different Tissues of Cobalt 60 Gamma Radiation and Roentgen Rays with Half Value Layers from 1 mm Al to 5 mm Cu" *Radiology* 66, 1, 70—84. — 42) Epp E.R., Weiss H.: (1961) "Measurement of Bone Marrow and Ganadal dose from the Chest X-ray Examination as a Function of Field Size, Field Aligument Tube Kilovolt and added Filtration. *Brit. J. Roent.* 34, 85—100. — 43) Epp E.R., Woodard H.Q., Weiss H.: (1959) "Energy Absorption by the Bone Marrow of the Mouse Receiving Whole Body Irradiation with 250 KV X-Rays or Cobalt-60 Gamma Rays" *Radiation Research* 11, 184—197. — 44) 田島英一他 (1959) 日本物理学会春季放射線物理分科会講演予稿集 141. — 45) Procter N.M., Greening J.R.: (1960) "On the Adequacy of Half-Value Layer as a Criterion of X-Ray Quality in the Calibration of Dosimeters" *Brit. J. Roent.* 33, 389, 321—325. — 46) Trout E.D., Kelley J.P., Lucas A.C.: (1960) "Determination of Half-Value Layer" *Am. J. Roent.* 84, 4, 729—740. — 47) 入江英雄他 (1961) 日医放学会誌, 20巻12号, 2607—2610. — 48) 橋詰雅他 (1961) 日医放学会誌, 20巻10号, 2211—29. — 49) Court-Brown N.M., Doll R.: (1957) "Leukaemia and Aplastic Anaemia in Patients Irradiated for Ankylosing Spondylitis" *Medical Research Council (Special Report Series No. 295)*. — 50) Hine H.E., Brownell G.L.: (1956) "Radiation Dosimetry" *Academic Press Inc. New York*. — 51) Laughlin J.S., Meurk M.L., Pullman I (1957) "Bone, Skin and Gonadal Doses in Routine Diagnostic Procedures" *Am. J. Roent.* 78, 6, 961—982. — 52) Paterson R.: "The Treatment of Malignant Disease by Radium and X-Rays being a practice of Radiotherapy" *Edward Arnold (Publishers) LTD—53) Loevinger R., Wolf B.R., Minowitz W.: (1950) "Clinical Isodose Curves" Am. J. Roent.* 64, 999—1009. — 54) Fedoruck S.O., Johns H.E., Watson T.A.: (1954) "An Improved Clinical Dosimeter for the Maserment of Radiation" *Radiology* 62, 177—182. — 55) Wootton P., Cantril S.T.: (1959) "Comparison of the use of Standard Depth Dose Data at 250 kvp and 2 Mev by Dirrect Measurement of Tumor Exposure Dose in vivo" *Radiology*. 72, 5, 726—734. — 56) Schulman J.H., Klick C.C., Rabin H.: (1950) "Measuring High Doses by Absorption Changes in Glass" *Nucleonics* 13, 2, 30—33.