



Title	篩照射法における不均等度と生物学的効果
Author(s)	中塚, 次郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1966, 26(8), p. 963-974
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15583
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

特別掲載

篩照射法における不均等度と生物学的効果

京都府立医科大学放射線医学教室（指導 金田 弘教授）

中 塚 次 郎

(昭和41年 月 日受付)

STUDIES OF SIEVE IRRADIATION
Inhomogeneity Quotient and Biological Sieve Effect

by

Jiro Nakatsuka

Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of Medicine.

(Director: Professor Dr. Hiromu Kaneda)

There are two important factors in sieve therapy, one is the field-size factor, that is, the diameter of the hole and ratio of the open area, the other is the inhomogeneity quotient (IQ) which is the ratio of the maximum dose at the open area to the minimum dose at the covered area.

The IQ is a high value on the surface, which decreases as the depth increases, and the lower the IQ the less the biological sieve effect ratio (BSER). It is generally considered that at the depth where IQ becomes less than 2, there is no biological sieve effect (BSE). There are only a few papers demonstrating the relationship between IQ at various depths and its related BSE.

In this report, the author studied the relationship between BSER and IQ of 0 cm. (CO-60, 0.5 cm.), 5 cm., and 10 cm. depths evaluating the LD 50/30 and median survival time after the whole body irradiation. The probit analysis was used to estimate the experimental results.

1. X-Ray sieve irradiation

414 male mice of the d.d.Y. Strain were used in this series and were individually fixed in a plastic cylinder to keep them from movement without anesthesia. An X-Ray sieve made of lead 2 mm. in thickness with holes 2 mm. in diameter, and an open area of 40% was used.

Toshiba KXC-18 type unit was operated at 200 kV, HVL 1.2 mm.Cu. The focus-skin distance was 40 cm., and the dose rate was 92.0 R per minute. The animals were divided into four groups: Group 1, 0 cm. depth with conventional irradiation, Groups 2, 3, and 4, 0 cm., 5 cm., and 10 cm. depth with sieve irradiation respectively.

IQs calculated by the Schröck-Vietor method were 6.8, 2.2, and 1.8 at 0 cm., 5 cm., and 10 cm. depth respectively.

As the results of this experiment, the LD 50/30 of these four groups was 432 R in the 0 cm. depth conventional irradiation, 547 R in the 0 cm., 516 R in the 5 cm., and 481 R in the 10 cm. depth sieve irradiation. BSER was therefore determined to be 1.27, 1.19, and 1.11 at IQ of 6.8, 2.2, and 1.8 respectively.

The median survival time with 600 R X-Ray sieve irradiation was 24.7, 17.7, and 14.8 days at IQ

of 6.8, 2.2, and 1.8 respectively, compared to 10.9 days with conventional irradiation.

2. CO-60 sieve radiation

382 male guinea pigs of the Hartley Strain were used in this group, and were anesthetized with Pentobarbitur Natrium Soluion (2 mg/100 gr) i.p.

The CO-60 sieve was made of lead 46 mm. in thickness perforated with cylindrical holes 10 mm. in diameter. The open area was 55% on the source side, 45% on the animal side, and 50% in the center. Details of structure and dose measurement of this sieve were reported before. (Maeda and Yamada, 1962; Maeda et al, 1964) The dose rate was 28.0 R per minute, and source-skin distance was 60 cm. The animals were divided into four groups, that is, 0.5 cm. depth with conventional radiation, 0.5 cm., 5 cm., and 10 cm. depth with sieve radiation. IQs measured with a fluoroglass dosimeter by Maeda and Yamada (1962) were 7.8, 4.5, and 3.5 in 0.5 cm., 5 cm., and 10 cm. depth respectively. The LD 50/30 of these four groups was 560 R in the 0.5 cm., 502 R in the 5 cm., and 481 R in the 10 cm. depth with sieve radiation compared to 405 R in the 0.5 cm. depth with the conventional radiation. BSER was 1.38, 1.24, and 1.19 at IQ of 7.8, 4.5, and 3.5 respectively.

With 625 R CO-60 sieve radiation, the median survival time was prolonged to 19.6, 13.8, and 9.1 days at respective IQ of 7.8, 4.5, and 3.5 compared with 5.9 days following conventional radiation.

In the above two series of experiments, it was recognized that the BSER, relative to depth, attained higher values as the IQ was increased.

The CO-60 sieve radiation had a higher value of IQ at each depth and a greater BSER than the X-Ray sieve irradiation, so that the CO-60 sieve therapy was found to be more suitable for the treatment of deep-seated tumors than X-Ray sieve.

緒 言

篩照射法のごとく、電離放射線を空間的に分割照射すれば、物理的に同一線量を均等に照射したきにくらべて、生体のうける障害は、いちぢるしく軽度となる。この事実は、すでに臨床的にも、実験的にも種々なる角度より検討が加えられ、篩照射法のもつ特異な生物学的效果として、一般に認められている²¹⁾⁸⁾⁵⁾³⁰⁾¹²⁾。

このような篩照射法のもつ特異な效果は、篩の一つ一つの開放部の大きさが小さいことによつて生起されるもので、いわゆる照射野因子の影響によるものと考えられている。この問題に関する研究が今までにされている Kereiakes et al¹⁶⁾ (1954) は同じ面積比をもち、開放部の大きさを異にする種々な篩を使用して、ラットの全身に 200 KV のレ線を一時照射し、開放部直径が小さくなるにしたがつて、生存率がいちぢるしく上昇したと報告している。

Joyet and Hohl¹⁰⁾ (1955) は照射野の大きさと

皮膚耐容線量の関係を、人体背部の皮膚をもつてしらべ、照射野が小さくなるにしたがつて、皮膚耐容線量は増加し、両者は逆比例の関係にあるとのべている。金田・近藤¹¹⁾ (1956) の報告は、家兎大腿部の脱毛状態を観察し、照射野が直径 2 cm のものまでは、照射野の大きさによる脱毛状態に差がなく、直径 1.5 cm 以下になると、脱毛にいたる潜伏期の延長がみられ、直径 0.5 cm 以下になると、7,500 R ~ 10,000 R の大量を一時照射しても、脱毛が認められなかつたという。また近藤¹⁷⁾ (1956) は、面積比が 40% で、開放部直径を異なる種々なる篩をもつて、家兎耳介にレ線 7,000 R を一時照射、または 700 R を 20 回ずつわち 14,000 R を分割照射し、血管の組織学的変化を経時的に検討した結果、直径 2 cm では照射後 70 日にて、開放部、被覆部ともに血管の破壊、閉塞のごとき高度の変化をみとめ、直径 1.5 cm では変性像がみとめられるも、閉塞、破壊像なく、直径 1 cm では拡張と充血にとどまり、直径 0.5 cm では、

さらに障害は軽度で、軽度の充血像をみるとあるにすぎなかつたと報告している。金田・奥¹⁴⁾(1959)は同じく家兎耳介をもちいて、単一微小照射野による脱毛、ならびに湿性皮膚炎のごとき肉眼的変化をきたすに要する線量を検討し、開放部直径が2cmより小さくなるにしたがつて、同一の変化をきたすに要する線量が、いちぢるしく増大することを認めている。また照射野因子は周辺因子(marginal surface factor)の影響によると考えられるにいたり、周辺因子の効果を追求したものとしてはBàràny¹⁵⁾(1959)、谷川^{[31]32)}(1960, 1962)の研究がある。またJolles⁹⁾(1950)は拡散物質の問題をとりあげ、相隣れる開放部の大きさと、その間に介在する被覆部の距離の相異による耐容線量の研究をおこない、照射野が1.56cm², 2.5cm², 3.5cm²のときに近接効果をあらわす最大距離は、それぞれ2cm, 3cm, 4cmであり、拡散物質は、

$$\frac{\text{投与線量} \times \text{照射野 (cm}^2\text{)}}{\text{距離 (相隣れる開放部間距離)}}$$

に比例するとのべている。

このように篩照射法の生物学的効果としては、開放部の大きさが関与する部分がきわめて大きく、金田はその大きさの限界を2cm直径以下と考えている。

篩照射法の生物学的効果におよぼす影響は、單に照射野因子のみではなく、面積比が関係し、またいわゆる不均等度が影響する。

いうまでもなく、篩照射法による特異の効果は、開放部に相当する照射された部分と、被覆部に相当する直接照射をうけない部分との間ににおいて、放射線化学的ならびに病理組織学的な修復作用が生起され、このために照射された線量に相当すると考えられる障害が現れてこないと考えられるのである。生物学的篩効果の大きいためには、照射された部分の周辺組織は、散乱線による影響のみならず、いわゆる間接作用による効果も零、または零に近いことが望ましいのである。鉛筆状の線束によつて照射された周辺は、放射線による障害より温存された健康組織にかこまれていることが必要なのである。これを線量分布の面より考

えると、線量分布の山と谷の比、すなわち不均等度の大きいことが、篩照射法による生物学的効果を大きくする上に重要な因子となるのである。篩照射による線量分布曲線をもとみると、浅在部では不均等度は大きいが、深部にすすむにしたがつて吸収と散乱のため、線量分布の最大値と最小値との比が小さくなり、均等に近くなる。しかし、200KV(HVL: 1mmCu)のレ線を使用し、1cm直径、面積比40%の篩をもちいた場合の測定結果では、パラフィン・ファントームの15cm深部にても、その線量分布は均等にはならない。

このように篩照射法では、体内の深部にゆくにしたがつて、不均等度は小さくなり、しだいに均等に近づきはするが、物理的には均等にならないのである。このような線量分布の最大値と最小値が接近した深部における生物学的篩効果について研究したものにMarkus und Menting²²⁾(1952)の報告があり、不均等度2以下では、篩照射法による効果がないと報告している。

物理的な不均等度と生物学的篩効果¹⁵⁾との関係については、島崎²³⁾(1960)が家兎精巣をもちいて、5cm厚、10cm厚のパラフィン・プロックを精巣の上におくことにより、5cm, 10cm深部における不均等度の精巣に及ぼす効果を検索している論文があるにすぎない。彼はレ線を均等に600R照射した場合と、篩を通して同じく平均線量として600Rを照射した場合の精細胞数の消長を比較し、5cm深部では、両照射法の間に有意の差をみとめたが、10cm深部では、その差を認めることができなかつた。

著者はこの篩照射法による不均等度の差が生体におよぼす影響についてレ線ではマウス、⁶⁰Coのγ線にてモルモットを用い、全身照射の生存におよぼす影響について実験をおこない、種々な角度より検討を加えたので報告する。

実験方法

本実験は、不均等度差による篩照射の生物学的効果をしるために、レ線(200KV)と⁶⁰Coとを使用して、実験動物に全身一時照射をおこない、均等照射による実験結果を基準とし、篩照射

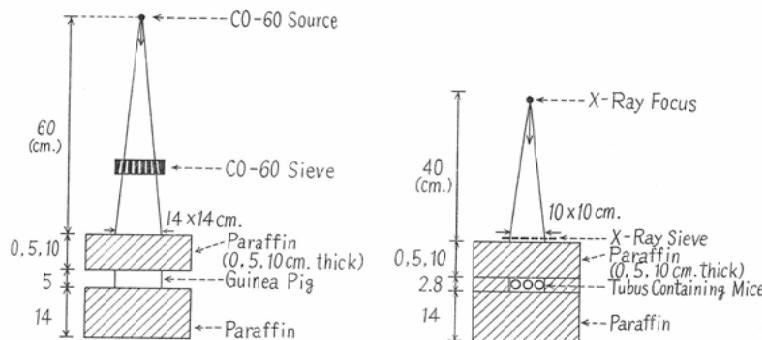


Fig. 1. Geometric Arrangement in the X-Irradiation in Mice and in the CO-60-Radiation in Guinea Pigs.

法では3種の不均等度(0cm, 5cm, 10cm深部)をえらび実験した。実験結果の検討は、30日間における50%死亡線量($LD_{50/30}$)、ならびにレ線照射では600R、 ^{60}Co 照射では625R照射後における、30日間の中間生存日数(median survival time)を求めることによつて行つた。なお5cm, 10cm深部における異なる不均等度をうるために、図1に示すとく、パラフィン・ブロックを試験のうえにおいて照射した。

実験材料ならびに照射方法

1. 実験動物

a) レ線照射群

関西動物協会より購入したd.d.Y.系雄マウスをもちいた。実験開始2週間前より飼育し、充分に環境に馴化せしめたのちに、414匹を18匹ずつ1グループとし、ステンレス製の飼育籠に入れ、床に鉢屑を敷いて動物の走行時の不安定な状態を除去した。飼料には船橋農場製マウス・ラット用固型飼料をもちい、水は給水瓶により自由にあたえた。照射日のマウスの体重は16gr~20grであつた。

b) ^{60}Co 照射群

Hartley系雄モルモットを実験開始2週間前に、マウスと同じく関西動物協会より購入し、よく馴化せしめたのちに、382匹を4~5匹のグループに分け、ステンレス製飼育籠に入れて、恒温舎で飼育した。飼料には、比較的水分の少い豆腐粕とフスマを4:1の割合に混合したものを40gr/匹、オリエンタル酵母工業社製モルモット・専用固型

飼料を10gr/匹を1日量として与え、同時に新鮮野菜を供給した。照射時の体重は290~310grであつた。

2. 照射方法

a) レ線照射群

照射中のマウスの動きを阻止するために、アクリル樹脂性の円筒(外径28mm, 内径22mm, 長さ90mm.)に無麻醉でマウスを入れ、円筒の後側開放端と尾部を布紺創膏で固定した。この方法をもつて、マウスを呼吸による体動のみにとどめることができ。照射時には、このようにして円筒内に固定したマウス3匹を背位で照射野内に並列し、マウスの後方および側方散乱を考慮して、円筒の全周ならびに下方をパラフィン・ブロックで囲んだ。

b) ^{60}Co 照射群

マウスの時と同じく、照射中におけるモルモットの動きをとめるために、ペントバルビタール・ナトリウム溶液(ミンタール)を2mg/100grの割合で腹腔内麻酔し、深麻酔の時期を利用して、13×13cmの木箱の中に左側臥位に固定して、高さ14cmのパラフィン・ブロックの上において照射した。この麻酔法で麻酔が直接の原因となつて死亡したものはまつたくなく、約80分の深部麻酔時間をうることができた。

3. 照射条件

a) レ線照射群

東芝製KXC-18型深部治療装置をもちい、200KV, 25mA, 濾過板は0.7mmCuと0.5mmAl。

を使用、半価層は 1.2mmCu、管球焦点一マウス背面、または管球一パラフィン・ファントーム間距離は40cm、照射野10×10cm、線強度92.0R/min(空中)で照射した。各深部における線量率は、均等照射では0cmにて109R/min、篩照射では0cmにて44R/min、5cm深部25R/min、10cm深部13R/minであった。なお線量測定には、島津直示線量計(No. B-422)をもちいた。

b) ^{60}Co 照射群

島津製S T3000型の ^{60}Co 固定遠隔照射用装置をもちいた。線源容量は717Ci、10mm直径のペレット型で、線源一動物間距離または線源一パラフィン・ファントーム間距離は60cm、篩下面に濾過板として0.5mmCdをもちいた。照射野14×14cm、線強度は島津直示線量計(No. B-421)で28.0R/minであった。また各深部における線量率は、均等照射(0.5cm深部)で28.0R/min、篩照射0.5cm深部14.8R/min、5cm深部11.1R/min、10cm深部7.7R/minであった。

レ線照射用の篩と、不均等度ならびに平均線量；実験にもちいた篩は、2mm厚鉛製で、開放部直径は2mm、桿型配列で面積比は開放部で40%である。

不均等度ならびに平均線量は Johns の深部線量表をもとにして Schröck-Vietor^{27,28)} の計算式よりもとめた。平均線量は2mm厚の鉛の篩の被覆部を透過してくる線量を1.5%とすると、均等照射の41.5%と考えられる。この数値に関しては、著者の教室で島津製作所に特別発注して製作したフラットチエンバーで測定した結果、篩の平均線量は均等照射の40.2%から42.2%の間にあたり、かなり計算値とよく一致した。

Schröck-Vietor の計算式

篩の被覆部の線量:Dso

篩の開放部の線量:DLO

透過率Tのときの被覆部の線量:Dst

透過率Tのときの開放部の線量:Dlt

照射野零のときの線量:Dp

照射野10×10cmの散乱線量:D_s

篩の開放部の面積比:A

篩の透過率:T

照射野10×10cmの線量:Dg, (Ds=Dg-Dp)

$$Dst = Dso + (Dg - Dso) \cdot \frac{T}{100} \quad \dots \dots \quad (1)$$

$$Dlt = Dlo + (Dg - Dlo) \cdot \frac{T}{100} \quad \dots \dots \quad (2)$$

不均等度(I.Q)は1, 2式より

$$I.Q = \frac{Dlt}{Dst}$$

であらわされる。

平均線量(Dm)は

$$Dm = Dlt \cdot A + Dst(1-A)$$

であらわされるから、1, 2を代入すれば、

$$Dm = Dg \left[A + \frac{T}{100} (1-A) \right]$$

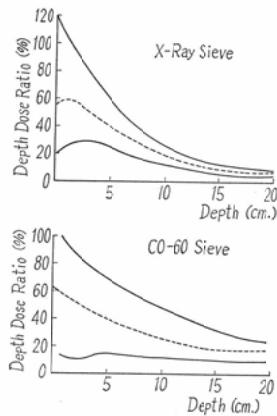
となる。上式より任意の深部における平均線量は、その深さにおける均等照射の深部線量率に比例することがわかる。

^{60}Co 照射用の篩と、不均等度、ならびに平均線量：篩は46mm厚の鉛(約4半価層)に直径10mmの円筒状の開放部を線源を中心に放射状に並べたものであつて、正三角形状に配列されている。面積比は線源側で55%，動物側で45%，篩の厚さの中心で50%である。

不均等度ならびに平均線量は前田、山田²⁰⁾(1962)がガラス線量計をもちいて測定した結果、および中塙²⁵⁾他(1964)が測定し、かつ計算した結果をもちいた。この場合もレ線用篩の場合と同じく、深部における平均線量は均等照射の深部線量率に比例している(表1)。

Table 1. Inhomogeneity Quotients of X-Ray and CO-60 Irradiation

Depth (cm)	X-Rays (HVL: 1.2mm.Cu.)	CO-60	
		0.5cm	7.8
0	6.8		
1	4.0		7.0
2	3.2		6.6
3	2.7		5.7
4	2.4		5.1
5	2.2		4.5
6	2.1		4.3
7	2.0		4.1
8	1.9		3.9
9	1.8		3.7
10	1.8		3.5
15	1.4		3.1



実験結果

1. LD₅₀/30 について

Storer J.B. et al (1957) が発表しているごとく、照射された線量と動物の死亡率の間には一定の関係がみられ、死亡率を Y (Probit) とすると、投与線量 X との間には、

$$Y = a + b \log X$$

の直線式が成立する。

a) レ線照射群

均等照射の場合においては 0 cm、篩照射では 0 cm (不均等度 6.8), 5 cm 深部 (不均等度 2.2) および 10 cm 深部 (不均等度 1.8) に並置されたマウスについて実験した。照射線量は、1.15倍の等比級数に相当する 343R, 395R, 454R, 522R, 600R, 690R とし、このうちの 3 ~ 5 点をえらび全身に一時照射した。

これらの各実験群ならびに各照射線量を照射した場合 30 日間の死亡経過は図 2, 3, 4, 5 に示

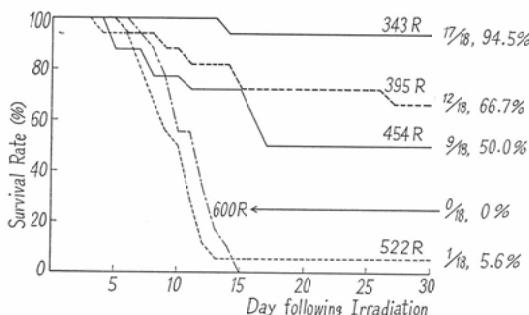


Fig. 2. Survival Rates of Mice Irradiated at 0 cm. Depth with Conventional X-Ray Method.

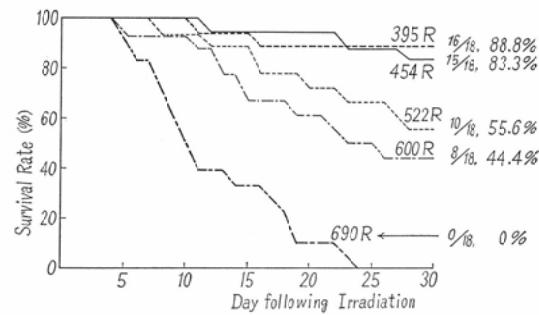


Fig. 3. Survival Rates of Mice Irradiated at 0 cm. Depth with X-Ray Sieve Method.

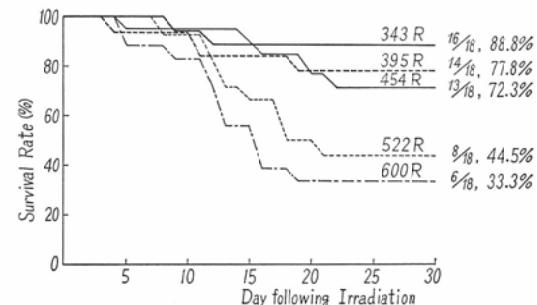


Fig. 4. Survival Rates of Mice Irradiated at 5 cm. Depth with X-Ray Sieve Method.

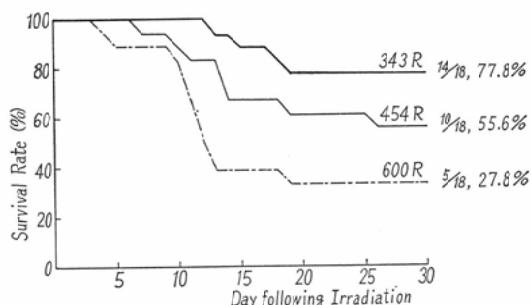


Fig. 5. Survival Rates of Mice Irradiated at 10 cm. Depth with X-Ray Sieve Method.

すぐとくである。これらの経過より得られた死亡率をもとにして、死亡率 Y (Probit) と投与線量 X (log) の関係をみると、図 6 のごとき直線を得ることができた。この直線をみるととき、線量率の高いものほど、すなわち均等照射による 0 cm、篩照射の 0 cm, 5 cm 深部, 10 cm 深部の順に、その勾配はゆるやかになつていている。

これらの直線の方程式ならびに $Y = 5$ (Probit)

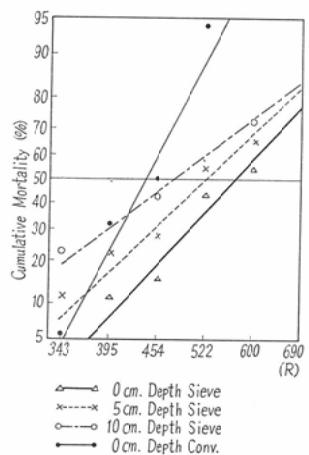


Fig. 6. Probit Analysis of the Mortality at 30 Days after X-Ray Irradiation in Mice.

のときのX(log)の値は次のとくである。

$$Y = 5 \text{ のとき}$$

均等照射 0 cm:

$$Y = 5.0117 + 16.0331 (X - 2.6363), \\ 2.6356 \pm 0.011$$

篩照射 0 cm:

$$Y = 4.9476 + 11.4991 (X - 2.7334), \\ 2.7379 \pm 0.0131$$

篩照射 5 cm深部:

$$Y = 4.7092 + 7.1023 (X - 2.6711), \\ 2.7122 \pm 0.0139$$

篩照射10cm深部:

$$Y = 4.8751 + 6.0071 (X - 2.6610), \\ 2.6818 \pm 0.0305$$

この方程式よりもとめられた LD50/30 は、均

Table 2. Relationship of BSER to IQ at Various Depths according to LD50/30 following X-Ray Irradiation.

Method & Depth (cm.)	Inhomogeneity Quotient	LD 50/30 (R)	Ran-ge	Biological Sieve Effect Ratio
Sieve	0	6.8	547	1.27
	5	2.2	516	1.19
	10	1.8	481	1.11
Conv.	0	—	432	1.00

等照射で 432 R, 篩照射 0 cm (不均等度 6.8) で 547 R, 5 cm深部 (2.2) で 516 R, 10cm深部 (1.8) で 481 R であった。

篩照射法の生物学的効果 (Biological Sieve Effect Ratio)をうるために、均等照射の LD50/30 すなわち 432 R を 1 とすると、篩照射 0 cm では 1.27, 5 cm深部では 1.19, 10cm深部では 1.11 という結果がえられた (表 2)。

b) ^{60}Co 照射群

レ線照射群のときと同じく、均等照射 (0.5cm深部) と篩照射 (0.5cm, 5 cm, 10cm深部) につ

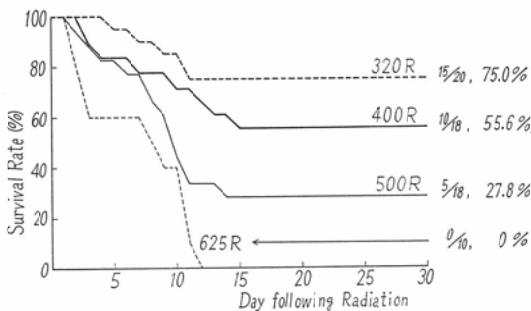


Fig. 7. Survival Rates of Guinea Pigs Irradiated at 0.5cm. Depth with CO-60 Conventional Method.

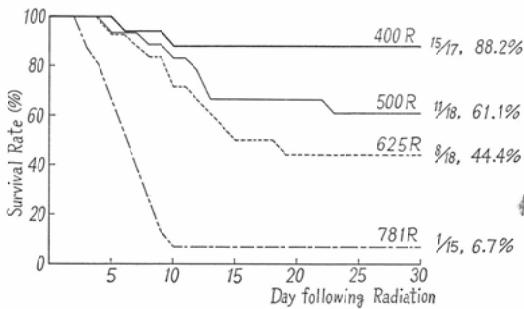


Fig. 8. Survival Rates of Guinea Pigs Irradiated at 0.5cm. Depth with CO-60 Sieve Method.

いて、それぞれ 320 R, 400 R, 500 R, 625 R, 781 R のうち 4 点をえらび全身一時照射した。30 日間の死亡経過は図 7, 8, 9, 10 に示すごとくである。均等、篩照射各群の死亡率、線量関係は図 11 のごとくである。この図よりえられた方程式は、

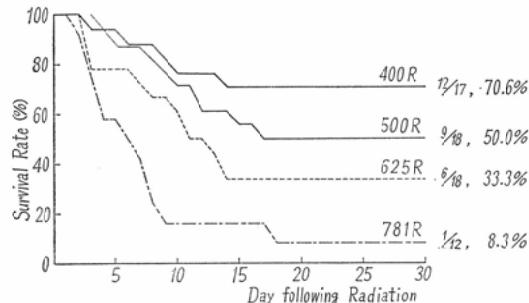


Fig. 9. Survival Rates of Guinea Pigs Irradiated at 5cm. Depth with CO-60 Sieve Method.

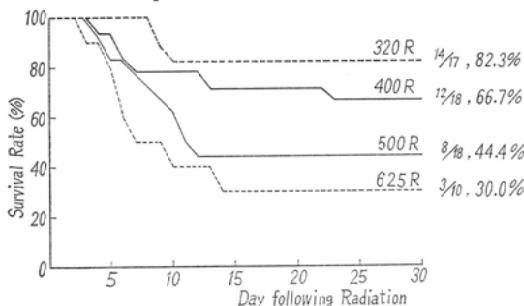


Fig. 10. Survival Rates of Guinea Pigs Irradiated at 10cm. Depth with CO-60 Sieve Method.

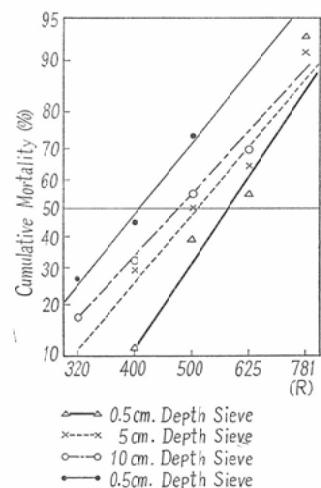


Fig. 11. Probit Analysis of the Mortality at 30 Days after CO-60 Radiation in Guinea Pigs.

均等照射 (0.5cm深部) : $Y = 5$ のとき

$$Y = 5.1037 + 7.6935 (X - 2.6205), \\ 2.6070 \pm 0.0220$$

篩照射 (0.5cm深部) :

$$Y = 4.9736 + 8.0970 (X - 2.7444), \\ 2.7477 \pm 0.0208$$

篩照射 (5cm深部) :

$$Y = 5.1566 + 6.0619 (X - 2.7264), \\ 2.7005 \pm 0.0238$$

篩照射 (10cm深部) :

$$Y = 4.7990 + 5.1981 (X - 2.6436), \\ 2.6823 \pm 0.0336$$

L D_{50/30}は均等照射(0.5cm深部)は405R, 篩照射(0.5cm深部)は560R, 5cm深部で502R, 10cm深部で481Rであった。生物学的篩効果比は、0.5cm深部(不均等度7.8)では1.38, 5cm深部(4.5)で1.24, 10cm深部(3.5)では1.19なる値をえた(表3)。

Table 3. Relationship of BSER to IQ at Various Depths according to LD following CO-60 Radiation.

Method & Depth (cm)	Inhomogeneity Quotient	LD _{50/30} (R)	Range	Biological Sieve Effect Ratio
Sieve	0.5	7.8	560	587—533 1.38
	5	4.5	502	530—470 1.24
	10	3.5	481	520—445 1.19
Conv.	0.5	—	405	425—385 1.00

2. 中間生存日数について (Median Survival Time)

レ線照射群(均等照射0cm, 篩照射0cm, 5cm深部, 10cm深部)に600R, ⁶⁰Co照射群(均等照射0.5cm深部, 篩照射0.5cm深部, 5cm深部, 10cm深部)に625Rを全身一時照射し, 30日間の経過を観察し, 50%死亡を要する日数を各群についてもとめた。この場合, 死亡率をY (Probit), 照射後日数をX (log)とした。

レ線照射群では図12のごとき直線がえられ, この直線より次の方程式をえた。

均等照射, 0cm深部:

$$Y = 5.1237 + 8.3225 (X - 1.0539)$$

篩照射, 0cm深部:

$$Y = 4.701 + 3.4344 (X - 1.2370)$$

篩照射, 5cm深部:

$$Y = 4.8167 + 3.2533 (X - 1.1908)$$

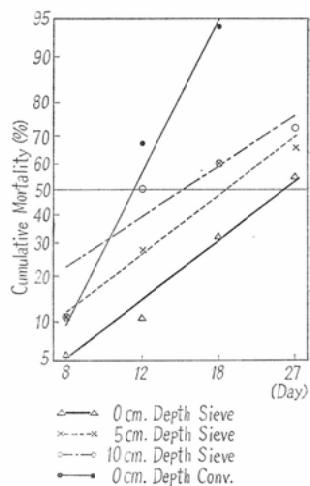


Fig. 12. Probit Analysis of the Mortality of 600R Irradiated Mice with X-Ray Method.

篩照射, 10cm深部:

$$Y = 4.9590 + 3.0355 (X - 1.1711)$$

50%死亡に要する日数は、それぞれ

均等照射: 0 cm深部: 10.9日 (10.2~11.6日)

篩照射: 0 cm深部: 24.7日 (21.1~28.8日)

篩照射: 5 cm深部: 17.7日 (15.8~19.7日)

篩照射: 10cm深部: 14.8日 (13.9~17.2日)

となる。

^{60}Co 照射群では、図13よりえられた直線式は、
均等照射 (0.5cm深部) :

$$Y = 5.2053 + 3.6349 (X - 0.8261)$$

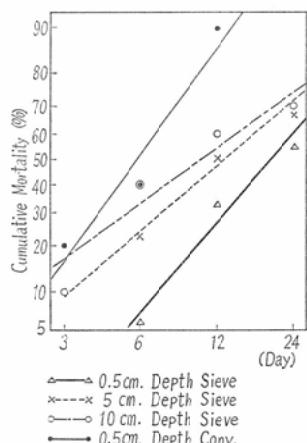


Fig. 13. Probit Analysis of the Mortality of 625R Irradiated Guinea Pigs with Co-60 Method.

篩照射 (0.5cm深部) :

$$Y = 4.5124 + 2.8947 (X - 1.1237)$$

篩照射 (5 cm深部) :

$$Y = 4.6258 + 2.4615 (X - 0.9891)$$

篩照射 (10cm深部) :

$$Y = 4.9006 + 1.8622 (X - 0.9591)$$

である。

50%死亡日数は、それぞれ

均等照射: 0.5cm深部: 5.9日 (5.0~6.9日)

篩照射: 0.5cm深部: 19.6日 (16.3~23.5日)

篩照射: 5 cm深部: 13.8日 (11.7~16.4日)

篩照射: 10cm深部: 9.1日 (7.9~13.3日)

となる。

総括ならびに考察

レ線篩照射法を臨床的にもちいた場合の特徴として、金田¹⁸⁾ (1959) は次の 3 点を指摘している。

1. 皮膚耐線量がいちぢるしく上昇し、これにともなつて深部線量が増加する。

2. 放射線による全身的症状が、普通照射法にくらべて軽度であり、大量の照射線量を広範囲の照射野を用いて照射することが可能となる。

3. 治療可能比 (Therapeutic Ratio) が上昇する。

^{60}Co または超高压レ線装置の開発ならびに普及によって、われわれは、現在では普通レ線照射による高度の皮膚障害を考慮することなく、深在性病巣に大量の放射線を与えることが容易となつた。したがつて、従来の普通レ線に篩をもちいることにより、皮膚障害を軽減せしめ、大量のレ線を照射しようとする篩照射法は、もはや過去のものとなつてしまつたのである。このように皮膚における障害の面よりのみ考えれば、超高压レ線または ^{60}Co の γ 線治療にあえて篩を用いる必要はない。われわれが ^{60}Co による治療に篩を使用する理由は、空間的分割照射による健康組織の温存にあるのである。

Becker et al (1965)⁴⁾, (1958)³⁾は、 ^{60}Co の γ 線治療、ペータートロンによる超高压レ線、または電子線治療にそれぞれ特別の篩を作製し、広く

臨床面に篩照射法を活用している。ことに ^{60}Co 篩照射法は広範囲の深在性病巣に用いられており、肺癌のほか、卵巣癌その他の腹部腫瘍には、すべて篩をもちいることにより、宿酔のごとき全身的症状が軽微であるほか、照射後の忌むべき副作用の一つである腸の癒着が、防止できるとのべている。しかし Schoen²⁶⁾ (1959), Kuttig⁴⁾ (1965) は乳癌の皮膚転移のような表在性のものに対しては、組織学的に検討した結果電子線篩照射法は不適当であつて、被覆部下の腫瘍組織に、照射された開放部よりの間接的効果を期待することはできないという。

Mauderli et al²⁸⁾ (1960) は末期癌患者の治療のために、3種の開放部直径、4種の面積比を組み合せて12種類の ^{60}Co 篩を制作し使用している。

篩照射法に関する基礎的研究の一つである照射野因子の問題に関しては、幾多の論文があり、これに関してはすでに緒言において述べたごとくである。著者の論ずる不均等度による生物学的効果に関しては、その多くは表在部における効果について研究しているが、不均等度が小さい深在部における篩効果については検討されていないのであつて、島崎²⁹⁾ (1960), 中塚他²⁴⁾ (1963) の報告のほかには全く見あたらないのである。

Becker et al²²⁾ (1956) は鉛ゴムの篩（開放部直径4mm, 面積比40%）をもちい、200KV, 半価層 1.1mmCu のレ線でラットに LD50/30と考えられる線量すなわち 600R を全身一時照射し、照射後30日間におる生存率、血液像を均等照射と比較し、30日後の生存率は均等照射にて35%，篩照射では75%であつて、その生存率は篩照射法によるものの方が高く、また血液像においても篩照射法の方が防禦効果が大であるとのべている。日下、島崎¹⁸⁾ (1959) は 1.5mm鉛厚、開放部直径2mm, 面積比40%のレ線用の篩をもちい、マウスに均等照射法で空中線量 400R, 450R, 500R を、篩照射法にて 1300R, 1400R, 1500R (空中) をそれぞれ全身一時照射し、30日間の生存率から生物学的篩効果比を検討している。この結果均等照

射法による 400R と篩照射法による 1300R では、効果比は 1.3 より低く、450R と 1400R では 1.2 より高く、500R と 1500R では 1.24 より高いという結果を得て、篩効果比は 1.24 より高く 1.3 より低く、近似的に 1.275 であると報告している。

Lane et al¹⁹⁾ (1960) は直径 6.35mm, 面積比 1 : 1.5 の ^{60}Co 篩をもちいて、マウス全身一時照射をおこない、LD50/30 の線量をもとめ、均等照射と比較検討し、篩照射法では $1880 \pm 100\text{R}$ 均等照射法では $775 \pm 50\text{R}$ であつて、両者の比は 2.4 : 1 であるといふ。

また上記の篩照射の線量を容積線量に換算するならば、その値は 997R であると推定し、容積線量からみた篩の生物学的効果比は 1.27 : 1 であると報告している。この数値は著者の実験結果 1.38 に比較するとかなり低いが、これは実験動物として用いたマウスが、篩の開放部の大きさにくらべて、小さすぎたために、充分な篩効果をあらわすに至らなかつたのではないかと考えられる。

つぎに著者の実験は、レ線ならびに ^{60}Co をもちいて、任意の不均等度を得るために、パラフィン・プロックを試験の上におくことにより、5cm, 10cm の深部を作成したため、各照射群において線量率を一定にすることができなかつた。すなわちレ線群では、均等—109R/min, 篩 0cm—44R/min, 5cm—25R/min, 10cm—13R/min であり、 ^{60}Co 群では、均等 28.0R/min, 篩 0.5cm—14.8R/min, 5cm—11.1R/min, 10cm—7.7R/min となつてるので、これらの線量率の差の実験成績におよぼす影響についても検討を加える必要があるので、次のような実験を、さらに追加しておこなつた。

レ線 (200KV, 半価層 1.2mmCu) をもちいて、局所の線量率をほぼ一定にするために、照射距離および電流を変化させて、空中における線量率を 26.6R/min と、この約 8.8 倍に相当する 236R/min のものをえらび、マウスに 500R を全身一時照射し 30 日間の経過を観察した。

	線量率
A 群 均等照射表面	236R/min

B群 篩照射10cm深部 }
C群 均等照射10cm深部 } 26.6R/min

30日後の生存率は、A群38.1%，B群55.5%，C群46.7%で、A，B，C3群の間には有意差をみるとめることができなかつた。このような線量率の問題についてはFowler et al⁷⁾(1960)の報告があり、230KV，半価層1.4mmCuのレ線をもちい、線量率65R/min, 345R/min, で皮膚の反応をしらべ、また95R/min, 10R/minでマウスのLD50/30をしらべて、両線量率の間にほとんど差がないと報告している。

以上の事実より、著者のおこなつた実験の最高線量率と最低線量率との間では、線量率の差による生物学的影響を無視することができると考える。

かくのごとき実験結果より、⁶⁰Co篩照射では、10cm深部においてなお不均等度3.5を示し、かつ1.19の生物学的効率比があるということは、深在性腫瘍にこの照射法を用いることにより、腫瘍周辺の健康組織の温存を期待することができる事を示している。また、Ebert et al⁸⁾(1958)の報告のごとく、篩照射にありては均等物質(水等価)にくらべて不均等物質(肺等価)の方が深部においてより高い不均等度がえられるので、⁶⁰Co篩照射法は肺癌の治療に効果的であるという考え方方が成りたつのである。

われわれの教室にては、すでに150例以上の肺癌について篩照射法を用いて治療しているが、その治療成績は欧米の一流クリニックのそれと比較して劣つてはいない。殊に高度の肺線維症の発生を認めないという事実は注目してよい。

しかし篩照射に関しては、未解決のものもすくなくなく、腫瘍領域の実験、各臓器における感受性の差など、今後の研究にまたねばならぬものがかなり残されている。

結論

この研究の目的は篩照射法における不均等度と、その生物学的効率比をもとめるにある。実験は、レ線の場合にはマウスをもちい、⁶⁰Coではモルモットを使用した。均等照射による実験結

果を基準とし、篩照射法では0cm, 5cm, および10cm深部のLD50/30の線量を求めるとともに、レ線600R, ⁶⁰Coで625Rを全身一時照射し、50%死亡日数をもとめた。

1. LD50/30は、レ線群均等照射で432R, 篩照射0cm(不均等度6.8)で547R, 5cm深部(不均等度2.2)516R, 10cm深部(不均等度1.8)で481Rであつた。以上の結果より生物学的効率比を求めるとき、それぞれ1.27, 1.19, 1.11となる。

2. ⁶⁰Co均等照射ではLD50/30は、405R, 篩照射0.5cm深部(不均等度7.8)で560R, 5cm深部(不均等度4.5)で502R, 10cm深部(不均等度3.5)で481Rとなり、生物学的効率比は、1.38, 1.24, 1.19であつた。

3. 50%死亡日数はレ線照射では均等照射で10.9日、篩照射0cmにて24.7日、5cm深部は17.7日、10cm深部14.8日である。⁶⁰Co照射では均等照射で5.9日、篩照射0.5cm深部は19.6日、5cm深部13.8日、10cm深部9.1日であつた。

(本論文の要旨は、1965年ローマ市において開催された第11回国際放射線学会にて発表した。)

文獻

- 1) Bárány J.: Die Bedeutung der Gewebsregeneration bei der Rasterbestrahlung. Strahlentherapie 108 (1959), 460—465.
- 2) Becker J., Stodtmeister R., Fliedner T. und Kuttig H.: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Gitterbestrahlung. Strahlentherapie 101 (1956), 272—277.
- 3) Becker J., Gudden F., und Kuttig H.: Siebbestrahlung mit Co-60-Gammastrahlen. Strahlentherapie 105 (1958), 623—629.
- 4) Becker J., and Kuttig H.: The Use of the Grid in Supervoltage Therapy. Progress of Radiation Therapy 3 (1965), 50—67.
- 5) Cohen L., Shapiro P., Cohen A., and DE Moor N.G.: Experimental Radiotherapy of Abdominal Cancer, 4. Radiosensitivity of Liver Tumours. Brit. J. Radiol. 27 (1954), 402—406.
- 6) Ebert H.G., Finke H., und Sigmund R.: Dosisverhältnisse bei der Siebbestrahlung homogener und inhomogener Medien. Forts. Röntg. 88 (1958), 109—114.
- 7) Fowler J.F., F. Inst. P., and Lawrey J.M.:

- Dose-Rate Effects on Mice and Rats in the Range 2 to 340 Rads/min. Brit. J. Radiol. 33 (1960), 382—388.
- 8) Haris W.: Recent Clinical Experience with Irradiation through a Grid. Radiology 58 (1952), 343—350.
- 9) Jolles B.: The Reciprocal Visinity Effect of Irradiated Tissues on a "Diffusible Substance" in Irradiated Tissues. Brit. J. Radiol. 23 (1950), 18—24.
- 10) Joyet G. und Hohl K.: Die Histologische Hautreaktion in der Tiefentherapie als Funktion der Feldgrösse ein Gesetz der Strahlentherapie. Fort. Röntgen. 82 (1955), 387—400.
- 11) Kaneda H. and Kondow R.: Some Studies about Sieve Therapy. 2. Upon the Histological Studies of Vessels. Med. J. Shinshu Univ. 1 (1956), 249—255.
- 12) 金田弘: 篩照射法の経験, 日医放会誌, 18 (1958), 614—636.
- 13) 金田弘: 篩照射法, 放射線医学最近の進歩(医歯薬出版社) (1959), 509—534.
- 14) 金田弘, 奥孝行: 篩照射法の問題点である照射野因子について, 最新医学, 14 (1959), 270—276.
- 15) Kaneda H., Maeda M., Oku T., und Tani-kawa K.: Klinische Betrachtungen zur Sieb bestrahlung. Strahlentherapie 124 (1964), 366—371.
- 16) Kerejakes J.G., Parr W.H., Storer J.B., and Krebs A.T.: Effect of Partial Shielding by Grids on Survival of X-Irradiated Rats. Proc. Soc. Exper. Biology and Medicine 86 (1954), 153—156.
- 17) 近藤廉治: 篩照射法における基礎的研究(第2報), 日医放会誌, 16 (1956), 1069—1079.
- 18) 日下本雄, 島崎敏: 篩照射法に関する基礎的研究(第12報), 日医放会誌, 18 (1958), 1419—1422.
- 19) Lane J.W., Mauderli W., and Gould D.M.: Biologic Effect of Grid CO-60 Radiation. Am. J. Roentgenol. 84 (1960), 681—686.
- 20) Maeda M. and Yamada C.: A Sieve for Telecobalt Therapy. Nippon Acta Radiol. 22 (1962), 965—971. (Japanese)
- 21) Marks H.: Clinical Experience with Irradiation through a Grid. Radiology 58 (1952), 338—342.
- 22) Markus und Menting: Internationaler Röntgenkongress für Radiologie. Kopenhagen (1952)
- 23) Mauderli W., Gould D.M., and Lane J.W.: Focused Grid Telecobalt Film Dosimetry. Am. J. Roentgenol. 83 (1960), 514—519.
- 24) Nakatsuka J., Kaneda H., Maeda M., and Hishida T.: Studies of Biological Sieve Effects. Nippon Acta Radiol. 23 (1963), 1013—1020. (Japanese)
- 25) Nakatsuka J., Maeda M., Kobayashi T., Yamada C., and Urano M.: The Influence of the Structure of a Telecobalt Sieve to Inhomogeneity Quotient and Mean Depth Doses. Nippon Acta Radiol. 24 (1964), 395—403 (Japanese)
- 26) Schoen D.: Über die Wirkung der Siebbestrahlung auf Hautmetastasen. Strahlenforschg. und Krebsbehandlung. Sbd. 43 zur Strahlentherapie (1954), 164.
- 27) Schröck-Vietor W.: Tiefendosistabellen für die Röntgen-Siebbestrahlung. Strahlentherapie 99 (1956), 452—458.
- 28) Schröck-Vietor W.: Berichtigung zur Arbeit "W. Schröck-Vietor, Tiefendosistabellen für Röntgen-Siebbestrahlung" aus Band 99, 452—458 dieser Zeitschrift. Strahlentherapie 101 (1956), 158—160.
- 29) 島崎敏: 篩照射法に関する基礎的研究(第16報), 日医放会誌, 20 (1960), 1193—1204.
- 30) 種井清吉: 篩照射法に関する基礎的研究(第6報), 日医放会誌, 17 (1957), 1448—1458.
- 31) 谷川一夫: 照射野因子に関する研究(第1報), 日医放会誌, 20 (1960), 885—896.
- 32) 谷川一夫: 照射野因子に関する研究(第2報), 日医放会誌, 22 (1962), 972—978.