



Title	篩照射法に関する基礎的研究 第16報 深部に於ける生物学的篩効果について
Author(s)	島崎, 敏
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1960, 20(6), p. 1198-1204
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15710
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

篩照射法に関する基礎的研究（第16報）

深部に於ける生物学的篩効果について

京都府立医科大学放射線医学教室（指導 金田弘教授）

島 崎 敏

（昭和35年5月9日受付）

I

篩照射法のごとく空間的に分割照射した場合には、その平均線量が普通照射法にて均等に照射した場合と同一線量であつても、健康組織に於ける障害の程度は軽度である。このことは既に経験的にも、また実験的にも実証されている。このような篩照射法による効果は、生物学的篩効果比 S.E.R. として表わすことができる。すなわち普通照射法にて線量 M を照射した場合と、同一の生物学的効果を現わすに要する、篩照射法による照射線量を N とすれば、篩照射線量 N は普通照射線量 M と、生物的学に同じ線当量 Dose equivalent であると言うことができる。然し一般に N は M に相当する物理的線当量 O よりも大きい。この O は篩の面積比によつて異なるが、一般に最も多く使用されている面積比 4 : 6 の篩では $O = M / 0.4$ となる。すなわち普通照射法にて 400r を照射した場合と、面積比 4 : 6 の篩にて 1,000r を照射した場合とは、物理的に照射線量が同一であると考えるのである。金田¹⁾ は生物学的線当量 N を、物理的線当量 O にて除したもののもつて篩効果比 Sieve effect ratio を求めている。

この S.E.R. は空間的分割照射による生物学的効果であつて、穴すなわち開放部に於ける線量分布の山と、被覆部に於ける谷との比が大きいことによつて生ずる効果である。

言うまでもなく篩を通して照射された多数の鉛筆様のレ線束は、深部に入るにしたがつて減弱するとともに、被覆部に相当する部分は、レ線束よりの散乱線が加わるため、線量分布の山と谷の比

は、深部にゆくに従つて小さくなり、均等に近づく。しかし組織内 10cm 深部にありても均等にはならない。

このように深在部にて、線量分布の山と谷の比が小さくなつた場合の生物学的効果は、線量分布の山と谷の比の大きい浅在部に於けるものとは、当然異つてくるであろうことが推測される。

著者は深在部として 5 cm ならびに 10cm 深部をとり、この部分に於ける篩照射による効果を知るために、家兎睾丸を用い、普通照射法と篩照射法による障害の程度を比較検討した。

II

レ線照射条件は、管電圧 200KV、管電流 25 mA、距離 40cm とし、濾過板には 0.7mm Cu に 0.5mm Al を附加したものを用いた。この場合の半価層は 1.1mm Cu に相当する。また線強度は 112.4r 每分である。

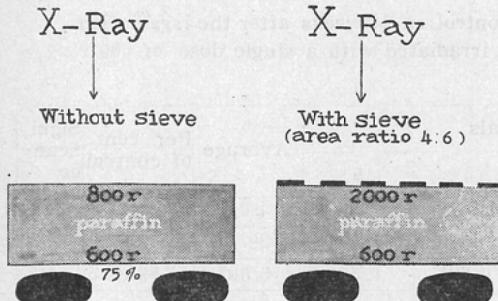
使用した篩は、厚さ 1.5mm の鉛板に直径 2mm の円形の穴を樹形に配列したものを使用し、開放部の被覆部に対する面積比は 4 : 6 とした。種井は同じ篩を用い家兎睾丸に照射した場合には、約 40 個の小レ線束が照射されると述べている。

照射に先だち、家兎を背位に固定し、下腹部に 10cm²、高さ 5cm 又は 10cm のパラフィンを置き、睾丸を 5cm、10cm 深部にあるごとくに設置して照射した。パラフィン層の厚さ 5cm ならびに 10cm 深部にある睾丸には局所線量として 600r を一時照射した。一時照射 600r では家兎睾丸の精細胞は著しき障害を受けるが、セルトリ一氏細胞は障害を受けず、分裂を経続する。

Table 1. Number of germ cells in average one sample in the case of control.

No. of cells	Number of animals					Average
	1	2	3	4	5	
(A) Sertoli	407	479	472	455	528	
(B) Sp. go.	388	368	517	436	704	1.018
B/A	0.953	0.768	1.079	0.958	1.333	
(C) Sp. cy.	1391	1405	2044	1694	2456	3.798
C/A	3.417	2.933	4.267	3.723	4.651	
(D) Sp. tid.	2312	1939	3624	2350	3548	
D/A	5.680	4.048	7.565	5.164	6.719	5.853
(E) = B+C+D	4091	3712	6185	4480	6708	
E/A	10.051	7.749	13.103	9.846	12.704	10.690

Fig. 1



照射した睾丸は、照射後10週に摘出し、10% フォルマリンにて固定し、パラフィンにて包埋した。切片標本作製にあたつては、レ線束の方向に直角に5μの厚さに切り、ヘマトキシリソ・エオジン重染色を行つた。観察時期を照射後10週としたのは著者の照射した線量が、局所線量として600rであり、この線量では照射後10週にて普通照射法と篩照射法による差が最も大きいという種井²⁾³⁾⁴⁾の報告を参考としたものである。

著者は種井の方法を用い、上記の方法にて作製した連続切片標本の中より、任意の5枚をとり、1枚の標本より20個の比較的円形にして、直角方向に切断されていると考えられる、精細管の中の各精細胞数を計算した。したがつて1つの睾丸について100個の精細管を計算したことになる。かくして求めた各精細胞数を、そのセルトリ氏細胞

数で除したる数値を求め、これを各精細胞の比率とした。

この比率をもつて両照射法による障害の程度の差を比較することは可能であるが、無処置群との比率、いわゆる対照百分率 per cent of control を求めることによつて比較検討するため、種井の求めた無処置群の比率を用いた。種井の得た比率は第1表に示すごとくであつて、その平均値を見るに精細胞数はセルトリ氏細胞数に等しく、精母細胞は3.798にて約4倍、精娘細胞は5.853にて約6倍になつてゐる。

III

5cm深部に於ける家兎睾丸に及ぼす普通照射法と篩照射法による障害度の比較検討。

第1図に示すごとく、背位に固定した家兎睾丸の上に、厚さ5cmのパラフィンを置き、その上より照射した。著者の用いたレ線が半価層1.1mm Cu のものであり、距離40cm、照射野の大きさは100cm²であるから、Grebe und Wiebeの表より5cm深部の線量は空中線量の75%になる。したがつて睾丸に普通照射法にて600rを照射するには空中線量として800rを照射する必要がある。また篩照射法にて同じく睾丸に600rを照射するためには、使用した篩の面積比が4:6であるから、800rを0.4にて除した線量、即ち2,000rを照射すればよいことになる。このようにして5cm深部にある家兎睾丸は普通照射法にても、また篩照射法にても、それぞれ600rが照射されて

Table 2. Number of germ cells and per cent of control on 10 weeks after the irradiation with conventional method. Rabbit's testes were irradiated with a single dose of 600r in 5 cm depth.

No. of cells	Number of animals					Average	Per cent of control
	1	2	3	4	5		
(A) Sertoli	464	418	441	426	468	443.4	
(B) Sp. go.	265	152	150	248	139	190.8	
B/A	0.571	0.364	0.340	0.582	0.297	0.430	42.24
(C) Sp. cy.	815	448	592	450	480	557	
C/A	1.756	1.072	1.342	1.056	1.026	1.256	33.07
(D) Sp. tid.	217	309	406	500	304	347.2	
D/A	0.468	0.739	0.921	1.174	0.695	0.783	13.42
(E) B+C+D	1297	909	1148	1198	923	1095	
E/A	2.795	2.175	2.603	2.812	1.972	2.470	23.11

Table 3. Number of germ cells and per cent of control on 10 weeks after the irradiation with sieve method. Rabbit's testes were irradiated with a single dose of 600 r in 5 cm depth.

No. of cells	Number of animals					Average	Per cent of control	Significance
	1	2	3	4	5			
(A) Sertoli	534	497	475	472	476	490.2		
(B) Sp. go.	302	289	296	326	274	297.4		
B/A	0.566	0.585	0.623	0.691	0.576	0.607	59.63	+
(C) Sp. cy.	1012	704	864	949	684	842.6		
C/A	1.895	1.416	1.819	2.011	1.449	1.719	45.26	+
(D) Sp. tid.	805	654	393	399	450	540.2		
D/A	1.507	1.324	0.827	0.845	0.945	1.102	18.89	-
(E) B+C+D	2119	1647	1553	1674	1408	1680.2		
E/A	3.961	3.314	3.269	3.547	2.958	3.428	32.07	+

Fig. 2

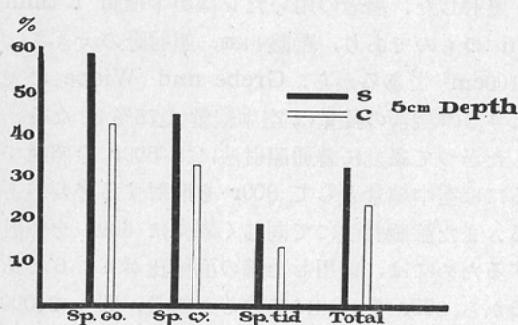
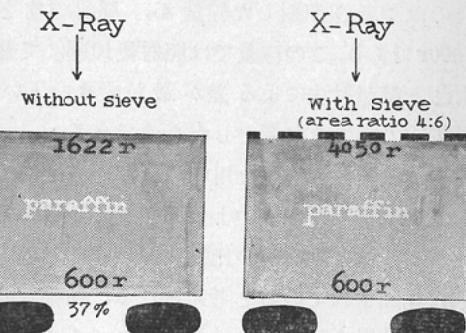


Fig. 3



いるものとして、両照射法による障害の程度の差を、照射後10週目に摘出した組織標本について比較した。

第2表はかくして得られた普通照射法による各

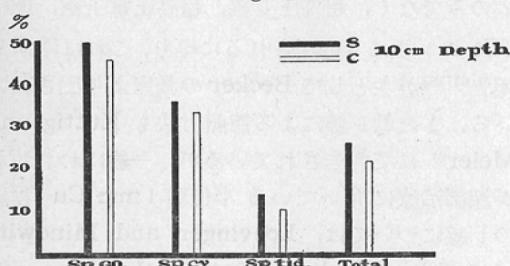
Table 4. Number of germ cells and per cent of control on 10 weeks after the irradiation with conventional method. Rabbit's testes were irradiated with a single dose of 600r in 10 cm depth.

No. of cells	Number of animals					Average	Per cent of control
	1	2	3	4	5		
(A) Sertoli	473	592	541	547	578	546.2	
(B) Sp. go.	201	309	245	272	250	255.4	
B/A	0.425	0.522	0.453	0.497	0.433	0.468	45.97
(C) Sp. cy.	728	688	743	521	802	692.4	
C/A	1.539	1.128	1.373	0.952	1.388	1.268	33.39
(D) Sp. tid.	404	222	389	224	426	333	
D/A	0.854	0.375	0.719	0.410	0.737	0.610	10.45
(E) B+C+D	1333	1199	1377	1017	1478	1280.8	
E/A	2.818	2.025	2.545	1.859	2.557	2.345	21.94

Table 5. Number of germ cells and per cent of control on 10 weeks after the irradiation with sieve method. Rabbit's testes were irradiated with a single dose of 600 r in 10 cm depth.

No. of cells	Number of animals					Average	Per cent of control	significance
	1	2	3	4	5			
(A) Sertoli	464	441	547	508	600	512.0		
(B) Sp. go.	256	220	315	254	252	259.4		
B/A	0.552	0.499	0.576	0.500	0.420	0.507	49.80	(—)
(C) Sp. cy.	704	699	714	723	686	705.2		
C/A	1.517	1.585	1.305	1.420	1.143	1.377	36.26	(—)
(D) Sp. tid.	510	285	476	532	420	444.6		
D/A	1.099	0.646	0.870	1.045	0.700	0.868	14.88	(—)
(E) = B+C+D	1470	1204	1505	1509	1358	1409.2		
E/A	3.168	2.730	2.751	2.970	2.263	2.752	25.74	(—)

Fig. 4



精細胞数、全精細胞数、その平均値、ならびに対照百分率を表示したものであり、第3表は篩照射法による同様の結果を示している。

また第2図は両照射法による各精細胞数ならび

に全精細胞数の対照百分率を図示したものであるが、いずれに於いても篩照射法にて照射したものが、普通照射法にて照射したものより障害の程度が軽度であつた。

また両照射法による障害度の間に有意差があるか、否かについても検討を加えたが、精粗細胞数、精母細胞数、全精細胞数はいずれも有意の差があつたが、精娘細胞数には有意差が見られなかつた。

IV.

10cm深部に於ける家兎睾丸に及ぼす、普通照射法と篩照射法による障害度の比較検討。

Table 6 Biological sieve effect on the rabbit's testes

	0 cm (surface)	5 cm	10 cm
S. go.	1.62	1.41	1.08
S. cy.	1.4	1.34	1.09
S. tid.	2.73	1.4	1.37
Total	1.92	1.39	1.17

Table 7 Depth dose of the sieve irradiation

depth cm	covered area	open area	ratio	average dose
0	11.0	113.0	10.3	62.0
1	19.5	103.4	5.3	61.5
2	18.2	85.0	4.7	51.6
3	19.4	70.9	3.7	45.2
4	18.5	59.1	3.2	38.8
5	18.1	49.5	2.7	33.8
6	17.0	41.8	2.4	29.4
7	15.3	35.1	2.3	25.2
8	13.8	29.3	2.1	21.6
9	12.2	24.6	2.0	18.4
10	11.2	21.0	1.9	16.1

X-ray: h-v-l 1, 1 mm Cu, distance 40 cm, field size 100 cm².

Sieve: open area 1cm ϕ , area ratio 4:6, Pb. 2mm in thickness.

前実験と同様であるが、この場合には、家兎睾丸の上に厚さ10cmのパラフィンを置き、その上より照射している。Grebe und Wiebe の表よりこの照射条件による10cm深部の線量率は37%となるから、普通照射法にて睾丸に 600r を照射するには 1,622r を照射しなければならない。また面積比40%の篩を通して同線量を照射するには 1,622r を 0.4 にて除すことによつて得られた 4,050r の線量を照射することが必要となつてくる。

5 cm深部と同様に照射後10週の各精細胞数を比較した。普通照射法によるものは第4表に、篩照射法によるものは第5表に示した。

以上の2つの実験は、5 cm深部と10cm深部にあると仮定される家兎睾丸にそれぞれ 600r が局所線量として照射されるごとく、普通照射法と篩照射法にて照射した場合の障害の程度を比較したものである。いずれに於いても、篩照射法にて照射したものの方が、普通照射法にて照射したものよ

りも、障害の程度が軽度である傾向は認められるが、推計学的には両者の間に有意の差は認められない。また篩照射法を行つた対照百分率に対する普通照射法によるそれとの比率を求め、これをもつて生物学的篩効果をあらわすものとすると、第6表のごとくであつて、深部に行くにつれて生物学的篩効果が低下する傾向が認められる。なおこの表に於ける表面の数値は種井の実験値より求めた。

以上の結果は、レ線篩照射法による線量分布の測定結果からも考えられることである。開放部の鉛筆様の線束では組織吸収による減弱が働き、被覆部では散乱附加が加わるから、線量分布の山と谷の比は、深部にゆくに従つて均等に近づくのである。

金田⁵⁾によれば、篩照射法による深部線量は第7表のごとくであつて、5 cm深部では開放部に対する被覆部の線量の比は 2.7 であつて、平均線量は 33.8% であり、10cm深部に於る線量の比は 1.9 であつて、平均線量は 16.1% である。

篩照射法による線量分布に於いて、開放部線量に対する被覆部線量の比率と、5 cm深部ならびに、10cm深部に於ける生物学的篩効果とを図示すれば、第5図のごとくになり、両者の間に密接なる関係のあることが判る。

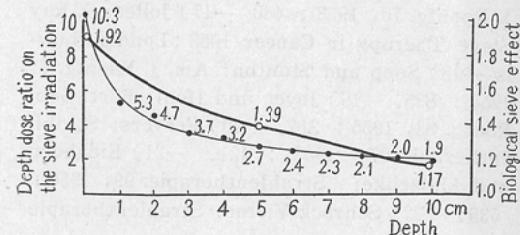
V

篩照射法による線量分布の測定は、既に多くの研究者により報告されているが、この照射法がレ線のみでなく、超高圧レ線、超高圧電子線、或は⁶⁰Co の γ 線にも応用されるに至り、これに関する報告⁶⁾⁷⁾⁸⁾が主として Becker の教室より出されている。また軟レ線による篩照射法も Kuttig und Meier⁹⁾にて報告されているが、一般にわれわれが深部治療に用いている半価層 1 mm Cu 程度のレ線については、Loevinger and Minowitz (1950¹⁰⁾、Mitchell (1952¹¹⁾)、Jacobson and Lipman (1952¹²⁾)、Cohen and Palazzo (1952¹³⁾)、Loevinger (1952¹⁴⁾)、Jacobson (1953¹⁵⁾)、Freid, Lipman and Jacobson (1953¹⁶⁾)、Jolles (1953¹⁷⁾)、Sopp and Stanton (1954¹⁸⁾)、Joyet

und Hohl (1955¹⁹), Fervers (1955²⁰), Eichhorn und Matschke (1956²¹), Schröck-Vietor (1955²²), (1956²³), Kröker (1956²⁴), Pfeifer und Seidel (1956²⁵), Krokowski (1957²⁶) の測定結果がある。また我が国にては橋詰, 鈴木¹¹により測定値が出されている。いずれの報告にても、10cm深部の線量分布は平坦とはならない。わずかではあるが不連続性に照射されて居り、金田によれば5cm深部に於ける線量分布の山と谷の比は2.7であり、10cm深部では1.9となつていて。従つてその比が大きい表在部と、比が小さい深在部では、篩照射法による生物学的効果の上に差があつて当然である。金田の報告では篩照射法によれば、人体皮膚は普通照射法の数倍に相当する大量のレ線照射に耐え、潰瘍のごとき重篤なる皮膚障害を伴わない。何故にかくのごとき大量のレ線照射に耐えるかの問題については、現在必ずしも明らかにされては居らないが、開放部に相等する直接照射された部分に産生された毒性物質が、被覆部、すなわち直接照射されない周辺の部分へ拡散し、拡散することによつて稀釈され、照射された線量に相当すると考えられる生物学的反応が、照射局所に起つて来ないことによるのではないかと推測している。この推測は照射野因子に関する有賀、奥、谷川の研究によつて、確定づけられる方向に進みつつある。

しかし、このような篩照射法による効果は、線量分布の山と谷の差の大きい表在部に於いて著明に認められるが、山と谷の差の小さい深在部にては、それ程著しくはないであろう。或は均等照射の場合と、あまり差がないかもわからない。著者はこの問題について家兎睾丸をパラフィン層を置くことによつて5cm、または10cm深部に在るごとく設定し、普通照射法と篩照射法による障害の程度を比較検討した。この結果、5cm深部にては両照射法の間に有意の差が認められたが、10cm深部にては各精細胞はいずれも篩照射法によるものの方が、普通照射法よりも障害の程度は軽度であるという傾向を示したが、その間に有意の差を見出しえなかつた。同様の実験をパラフィン層を置

Fig. 5



くことなく、線量分布の差の最も大きい表在部にて実験した種井の研究と比較すると、線量分布の比と障害度の比との間には第5図に示すごとく関連性のあることが判る。

すなわち篩照射法のごとく不連続性に照射することによつて起る、特異なる生物学的反応は、レ線が不連続性に照射される程度が大きいほど著明であり、不連続性の波の巾が小さい場合には、物理的には差があつても、生物学的には均等照射と、あまり変らないという結果が得られた。

以上のごとく体内では、深部にゆくに従つて、篩照射法による効果が減少し、10cm深部では均等照射法との間に有意差がないという興味ある結果は、深在性腫瘍に対する篩照射法の効果を推測する上にも、また照射線量を決定する上にも、きわめて意義があると考える。

この研究は文部省科学研究費の補助によるものなることを附記し、謝意を表す（主任研究者：金田弘）

文献

- 1) 金田：日本医学会誌18, 1958; 614. —2) 種井：17, 1958; 1448. —3) 種井日本医学会誌18, 1958; 164. —4) 種井：日本医学会誌18, 1958; 253.
- 5) 金田：最新医学, 14, 1959; 589. —6) Becker, Weitzel und Decken: Strahlentherapie 101, 1956; 191. —7) Becker, Gudden und Kuttig: Strahlentherapie 105, 1958; 623. —8) Becker, Weitzel und Decken: Strahlentherapie 99, 1956; 213. —9) Kuttig und Meier: Strahlentherapie 101, 1956; 260.
- 10) Loevinger and Minowitz: J. Mt. Sinai Hosp. 17, 1950; 49. —11) Mitchell: Brit. J. Radiol. 25, 1952; 403. —12) Jacobson and Lipman: Am. J. Roentg. 67, 1952; 458. —13) Cohen and Palazzo: Am. J. Roentg. 67, 1952; 470. —14) Loevinger: Radiology 58, 1952; 351. —15) Jacobson: Am. J. Roentg. 70, 1953;

991. —16) Freid, Lipman and Jacobson: Am. J. Roentg. 70, 1953; 460. —17) Jolles: X-Ray Sieve Therapy in Cancer 1953; London. Lewis. —18) Sopp and Stanton: Am. J. Roentg. 71, 1954; 835. —19) Joyet und Hohl: Fort. Geb. Röntg. 82, 1955; 387. —20) Fervers: Strahlentherapie 97, 1955; 421. —21) Eichhorn und Matschke: Strahlentherapie. 99, 1956; 536. —22) Schröck-Vietor: Strahlentherapie

97, 1955; 143. —23) Schröck-Vietor: Strahlentherapie 99, 1956; 452. —24) Kröker: Fort. Geb. Röntg. 84, 1956; 392. —25) Pfeifer und Seidel: Strahlentherapie 101, 1956; 325. —26) Krokowski: Fort. Geb. Röntg. 86, 1957; 256. —27) 有賀: 信州医学 6, 1957; 495. —28; 奥: 日本医放会誌 18, 1958; 685. —29) 谷川: 日本医放会誌 20, 1960; 885.

Fundamental Studies of Sieve Therapy (16th Report) On the biological effect in depth

By

Satoshi Shimazaki

Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of Medicine
(Director: Prof. Dr. H. Kaneda)

The most characteristic feature of a sieve irradiation is a beam fractionation in space. On a body surface a difference of dose between exposed and covered area is remarkable but as the depth increases this difference become smaller. Such as ratios of maximal to minimal dose, viz., a dose in irradiated part/under covered part are 113:11 on surface, 49.5:11.2 in 5 cm depth and 21:1.2 in 10 cm depth (physical conditions; h.v.l. 1.1 mm cu, f.s.d. 40 cm, field size 100 cm², sieve of 1.5 mm pb in thickness, with perforations of 1 cm in diameter and of area ratio 4:6).

From these physical data it is assumed that a biological sieve effect in the depth may differ from that in the surface.

In the previous report, Kaneda and Tanei investigated the superficial sieve effect using rabbit's testes.

In this paper sieve effect in depth were examined using rabbit's testes which were underlaid paraffin of 5 cm and 10 cm in thickness. After irradiation of a local dose of 600 r in each depth, cellular damages were compared with both sieve and conventional method.

1) The difference of injuries of rabbits' testes caused by conventional and sieve method is significant in 5 cm depth but it is not significant in 10 cm depth. The ratios of per cent of control are 1.39 in 5 cm and 1.17 in 10 cm depth. In previous experiment this ratio was 1.93 on surface.

2) Namely, biological sieve effect ratios are much significant on surface and 5 cm depth but it is not significant in 10 cm depth in spite of spacial fractionation of beams.