



Title	篩照射に関する基礎的研究(第6報)家兔辜丸に及ぼす影響について(その1)
Author(s)	種井, 清吉
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1958, 17(12), p. 1448-1459
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20089
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

篩照射に関する基礎的研究(第6報)

家兎辜丸に及ぼす影響について(その1)

信州大学医学部放射線医学教室(主任 金田弘教授)

種 井 清 吉

(昭和32年9月5日受付)

1909年 Köhler¹⁾により初めて試みられた篩照射法は、1mmの針金を2mm間隔の網目にした篩を用い、當時の普通照射法の10倍以上の線量を照射している。その主たる目的は、レ線による皮膚障害の防禦にあつた。その後、Abeles (1925)²⁾、Liberson (1933)³⁾、Haring (1934)⁴⁾、Woenkhaus (1934)⁵⁾、Grynkraut (1935)、Grynkraut and Sitkowski (1936)⁷⁾の報告があるが、特に注目されることはなかつた。

1950年に Marks⁶⁾⁹⁾¹⁰⁾が1cm直径、面積比40:60の篩板にて、28日間に空中線量 24,000 r が照射し、皮膚にかくの如き大量のレ線照射が可能であれば、深部線量も又増大することが認められるに至り、これに関する基礎的な研究と臨床的應用が盛んに行われ、現在に至っている。

人体に篩照射を行つて、皮膚の耐え得る最大線量は Marks の報告の如く、大体 24,000 r であつて、Freid, Lipman and Jacobson¹¹⁾ Gross, Wolf and Burg¹²⁾、Botstein and Harris¹³⁾も最大 24,000 r を照射して居り、當教室の経験にては、1cm直径、面積比40:60の篩にて、分割照射毎に開放部を一致せしめて照射すれば、胸部では 20,000 r 以上の照射が可能であり、もし分割照射毎に開放部を一致せしめることなく、万邊なく照射した場合には、これの60%に當る 12,000 r の照射が可能であることが明らかとなつた。

然し篩照射法によれば、何故にかく大量のレ線に皮膚が耐え得るかに關しては、Freid, Lipman and Jacobson の指摘のごとく、いまだ合理的な解答は與えられて居らない。

また篩照射法によれば、皮膚のみならず、全身

に及ぼす影響も普通照射法に比して軽度であつて、宿醉發生率も普通照射法に比して低く、血液像の變化も、また同様に軽度であることが認められている (Goldfeder¹⁴⁾、Marks, Cohen et al.¹⁵⁾ 金田外¹⁶⁾)。

また動物實驗に於ても血液像の變化、血清蛋白分層にも著しい變化がなく (Becker et al.¹⁷⁾ Bauer et al.¹⁸⁾、兩角¹⁹⁾、また全身篩照射による致死率が、全身普通照射に比して低率であることも認められている (Kereiakes et al.²⁰⁾)。

以上の如き結果より、篩照射法の如き空間的に分割照射した場合には、そこに特異なる生物學的反應が生起されるものと推測されるのである。

著者は家兎辜丸について、篩照射法による影響を、精細胞數の消長を數的に求め、普通照射法と比較検討することに依り知らんとし、同時に辜丸組織の酸素消費量を測定することにより検討を加え、興味ある結果を得たので、こゝに報告する。

A 普通照射並びに篩照射を行いたる家兎辜丸の精細胞數の消長について

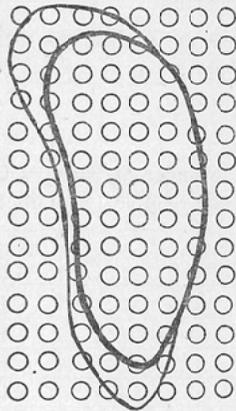
1. 實驗方法

實驗材料として、生後10-13カ月、体重 2.5-3 kg の健康なる雄家兎の辜丸を使用した。

レ線照射條件は、管電壓 180KV、管電流 15 mA、濾過板として 0.5mmCu と 0.5mmAl を使用した。半價層は 0.9mmCu に相當する。焦點皮膚間距離は 30cm、線強度は 108r 毎分である。また使用した篩板は、厚さ 1.5mm の鉛板に直径 2mm の圓形の孔を柵形に配列したのものを使用し、開放部の被覆部に對する面積比は40:60とした。

尚、上記の如き直径2mm、面積比40:60の篩板では、第1圖に示すごとく、家兎辜丸には約40個の小レ線束が照射されることになる。

Fig. 1.



照射に先だち、家兎を脊位に固定し、10%のウレタン溶液を体重1kg當り10ccの割合にて皮下に注射し、注射後20分乃至30分にて麻酔の完成するを待ち、一側辜丸に篩を通して、1回線量1500rを照射し、他側には普通照射法にて600rを、同じく1回照射した。特に麻痺を行った理由は、篩照射を行うに當り、上記の如き微小なる開放部の密接せる篩では、家兎の僅かの動揺に依つても、篩による空間的分割照射を完全に行い得ないからである。また一側辜丸を照射中は、他側辜丸並びにその周邊部を、厚さ5mmの鉛板にて被い充分に遮蔽した。

照射した辜丸は、照射後2週、3週、4週、5週、7週、10週及び15週後に摘出し、10%のホルマリンにて固定し、パラフィン包埋した。切片標本作製に當つては、照射方向に直角に、而も辜丸の中心部を厚さ5μの連続切片として採り、ヘマトキシリン・エオジン重染色を行い、組織學的に篩照射を行ったものと、普通照射を行ったものとを比較検討した。

2. 實驗結果

組織標本を見るに、附圖に示すごとく、普通照射法を行ったものと、篩照射を行ったものとの間に、明らかに障害の程度の差が認められ、容積線

量が殆んど等しいに拘らず、篩照射法を行ったものに於いて障害の程度が軽い。著者は精細管の中の各細胞数を計算することにより、障害の程度を數的に表現せんとした。

朝山²¹⁾は、マウス辜丸のX線による障害の研究に於て、辜丸組織標本の細精管内のセルトリ氏細胞、精祖、精母、精娘の各細胞及び精子について、各細精管内の存否を記録し、之を辜丸断面全域に互り檢鏡觀測し、細精管を單位とする各種精細胞の百分率を出し、20個の辜丸についての平均値を求めて、障害の程度を數量的に表現している。

徳富²²⁾はγ線微量連続照射の生殖腺に及ぼす影響に關する研究に於て、マウス辜丸の組織標本について、圓形に近い細精管を任意に20個選び、其の中の精粗、精母、精娘の各細胞並びに精子を數え、之を合計した數を比較することに依つて、精細胞數の消長を數值的に記載している。

家兎辜丸については小坂²³⁾の研究があり、彼は放射線の間接作用の實驗的研究に於て、生熟家兎辜丸の障害程度を次の如く表している。任意の細精管100—200箇を算定し、其の中で核分裂精粗細胞を有する細精管との比をとつた。即ち

$$\frac{\text{核分裂精粗細胞を有する細精管數}}{\text{全細精管數}}$$

を分裂細精管の割合と假稱し、次に分裂細精管に就いて其の中の精粗細胞を1000—2000個内外算定して、核分裂精粗細胞が何箇あるかを數え其の比をとつた。即ち、 $\frac{\text{核分裂精粗細胞數}}{\text{全精粗細胞數}}$ (%)を求め、此を分裂精粗細胞の割合と假稱し、辜丸障害程度を、分裂精細胞數減少の關係より求めている。

Börner et al²⁴⁾は、X線とγ線のラッテ辜丸に及ぼす生物學的作用の比較研究に於て、各辜丸の連続切片を4枚作り、各切片標本について細精管100個、4枚にて計400個を選び、各細精管内の各精細胞を、障害の程度により4段階に分けている。即ち、完全に細胞の欠亡している場合を0點、1—10個存在している場合を1點、1個のグループ様存在、或は點在している場合を2點、密に存在している場合、或は多數のグループ様存在

を認める場合を3点とし、障害程度を数量的に表している。

著者は普通照射法と篩照射法による、家兎辜丸の障害の程度を數的に比較検討するため、次の如き方法を採用した。

前述の如くにし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個の比較的圓形にして、直角方向に切斷されていると考えられる。精細管の中の各精細胞數を計算した。従つて1つの辜丸について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數を、そのセルトリ氏細胞數にて除したる數値を求め、これを各精細胞の比率とした。この比率を無處置群、普通照射群及び篩照射群について各々5例より求め、その平均値を比較することにより、障害の程度を比較した。

セルトリ氏細胞數を計算するに當り、X線照射後精粗細胞の回復期間には、精粗細胞への移行を思わしめる如き、濃染された核を有する細胞を認める場合があるが、之が正常なるセルトリ氏細胞に近い形態を有する場合には、これをセルトリ氏細胞の中に入れ、精粗細胞に近い形態をとる場合には、精粗細胞に入れて計算した。又精粗細胞の分裂期、精母細胞の生熟分裂期のものは、夫々精粗、精母細胞の範疇に入れ、前精子は精娘細胞と區別して計算した。

1) 無處置群精細胞の比率

全く照射を行わざる5匹の家兎辜丸について、各精細胞數並びにセルトリ氏細胞數を、上述の方法により求めた結果は第1表に示すごとくである

Tab. 1 Number of Germ Cells in Average one Sample (20 Tubules) in the Case unirradiated (Control).

Number of cells	Number of animals					Average
	1	2	3	4	5	
A Sertoli	407	479	472	455	528	
B Spermatogonia	388	368	517	436	704	
B/A	0.953	0.768	1.079	0.958	1.333	1.018
C Spermatoocytes	1391	1405	2044	1694	2456	
C/A	3.417	2.933	4.267	3.723	4.651	3.798
D Spermatids	2312	1939	3624	2350	3548	
D/A	5.680	4.048	7.565	5.164	6.719	5.835
E Total cells	4091	3712	6185	4480	6708	
E/A	10.051	7.749	13.103	9.846	12.704	10.690

表に見るごとく、5例についての平均値は精粗

細胞數は、セルトリ氏細胞數に等しく、精母細胞數は3.798にて約4倍、精娘細胞數は5.835にて約6倍になっている。

また、この無處置群と篩照射群、篩照射群と普通照射群、普通照射群と無處置群との間のセルトリ氏細胞數について、推計學的検討を行つた結果、この3者の間に有意の差のないことが認められた(第2表)。

Tab. 2 Number of Sertoli's Cells in Average one Sample (20 Tubules.)

Time after the Irradiation	with sieve	without sieve
2	418	433
3	438	471
4	453	419
5	462	453
7	420	409
10	425	408
15 weeks	417	427
Control	468	

即ちセルトリ氏細胞は、レ線を照射することなく無處置であつても、篩照射法により照射しても、また普通照射法にて照射しても、著者の行つた照射条件にては、照射後15週に亙り、レ線の影響を受けて居らず、一定數が存在することが明らかになつた。

従つて各實驗群に於いて、このセルトリ氏細胞の數を基準とし、これをもつて各實驗群の細精管内の各細胞數を除すことにより、比率を求め、これを比較検討した。

セルトリ氏細胞のX線感受性が細精管中最も低いことは一般に認められているが、Bloom²⁵⁾は、家兎辜丸に800r 1回照射を施行し4カ月後、X線の影響を全く認めなかつたと記載している。Momigliano and Essenberg²⁶⁾は白鼠辜丸に800r 1回照射し、照射後20日に於いて、セルトリ氏細胞の數には變化が無いが、或は、幾分増加する傾向が見られる例があると述べ、Börner et alは白鼠辜丸に400r 1回照射し、照射後60日間にセルトリ氏細胞の數に變化を認めなかつたと記載している。又朝山はマウス辜丸に1000r 照射し、

其の實驗時間 $14\frac{1}{2}$ 週間に亙り、セトリ氏細胞は數量的に全く變化がないが、4週間以後形態的に核が稍く膨大し、核内顆粒が増加し、その結果核全体が濃染して、核小体の存在が不明になって行く變化を觀察し、セトリ氏細胞の精粗細胞への再生過程と考えている。

著者が行つた實驗に於て、セトリ氏細胞の數量的變化に差異がなかつたことは既に述べたが、形態的變化については、X線照射後、精粗細胞の回復が始まる3-4週より15週に亙り、精粗細胞への變形移行過程を推察せしめる如き、核内顆粒の増加、核小体の不明瞭、核の濃染を示すセトリ氏細胞が認められた。かかるセトリ氏細胞の状態を、篩照射群と普通照射群について比較するに、篩照射群では精粗細胞の回復が始まつた3週から、普通照射群では4週より漸く認められた。5週より15週の経過では前者群は後者群より、かかる状態のセトリ氏細胞が多數存在する傾向が認められた。

2) 篩照射群と普通照射群との精細胞比率の比較

前記の如く、著者の行つた照射條件では、普通照射にても、篩照射にても、そのセトリ氏細胞數には數的に影響がないことが明かになつたので、各辜丸の各精細胞について、その細精管内のセトリ氏細胞にて除した數値を求め、これを各精細胞の比率とし、無處置群にて得られた同じ比率に對する百分率を求め各5例の平均値により普通照射群及び篩照射部について、その障害の程度を比較した。

$$\frac{\text{各精細胞數}}{\text{セトリ氏細胞數} + \text{無處置群}} \div \frac{\text{各精細胞數}}{\text{セトリ氏細胞數} + \text{無處置群}} \times 100 = \frac{\text{無處置群精細胞數}}{\text{精細胞數}} \text{の百分率}$$

a. 精粗細胞

求めた結果は、第3, 4, 5, 6, 7, 8, 及び9表に示すごとくであつて、この百分率を圖示すれば、第2圖aの如くなる。

照射後2-4週にして、篩照射群、普通照射群は何れも著明に減少し、殆んど精粗細胞を認め得ないが、4週後篩照射群は上昇し、普通照射群は

Tab. 3 Number of Germ Cells in Average one Sample(20 Tubules) and Percent of Control of Both Sieve and Without Sieve Irradiation On 2 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	394	435	421	429	484	433	
B Spermatogonia	6	1	4	27	14		
B/A	0.015	0.002	0.009	0.062	0.028	0.023	2.25
C Spermatoocytes	143	26	526	76	470		
C/A	0.362	0.059	1.249	0.177	0.971	0.563	14.82
D Spermatids	1370	1237	717	1116	1785		
D/A	3.477	2.843	1.703	2.601	3.680	2.863	49.06
E Total cells	1519	1264	1247	1269	2269		
E/A	3.855	2.905	2.961	2.958	4.688	3.473	32.48
A' Sertoli	414	378	396	395	482	412	
B' Spermatogonia	27	13	6	35	19		
B'/A'	0.089	0.034	0.015	0.088	0.039	0.053	5.53
C' Spermatoocytes	349	80	329	205	435		
C'/A'	0.842	0.211	0.830	0.518	0.900	0.660	17.37
D' Spermatids	1544	1490	1305	1235	1454		
D'/A'	3.729	3.941	3.295	3.126	3.010	3.420	58.61
E' Total cells	1930	1583	1640	1475	1808		
E'/A'	4.661	4.187	4.141	3.734	3.743	4.092	39.28

Tab. 4 On 3 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	536	598	389	410	421	471	
B Spermatogonia	19	4	18	10	6		
B/A	0.035	0.006	0.046	0.024	0.014	0.025	2.45
C Spermatoocytes	25	0	0	2	4		
C/A	0.046	0	0.004	0.114		0.032	0.84
D Spermatids	1119	595	150	996	847		
D/A	2.087	0.994	0.385	2.429	2.011	1.581	27.09
E Total cells	1163	599	168	1.008	901		
E/A	2.169	1.001	0.431	2.458	2.140	1.639	15.33
A' Sertoli	470	528	360	432	398	438	
B' Spermatogonia	17	14	6	27	4		
B'/A'	0.036	0.026	0.016	0.062	0.010	0.030	2.94
C' Spermatoocytes	70	6	19	103	121		
C'/A'	0.148	0.011	0.052	0.238	0.304	0.151	3.97
D' Spermatids	1702	989	742	1049	1160		
D'/A'	3.621	1.873	2.061	2.428	2.914	2.579	44.19
E' Total cells	1784	1009	767	1174	1285		
E'/A'	3.806	1.910	2.130	2.729	3.228	2.760	27.81

Tab. 5 On 4 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	369	462	394	350	502	419	
B Spermatogonia	1	10	3	72	7		
B/A	0.002	0.021	0.007	0.205	0.013	0.050	4.91
C Spermatoocytes	1	1	3	1	0		
C/A	0.002	0.002	0.007	0.002	0	0.003	0.07
D Spermatids	6	112	20	81	63		
D/A	0.016	0.244	0.050	0.231	0.125	0.137	2.34
E Total cells	8	142	26	154	70		
E/A	0.021	0.307	0.063	0.440	0.139	0.194	1.81
A' Sertoli	417	467	453	406	524	453	
B' Spermatogonia	17	35	27	94	2		
B'/A'	0.040	0.074	0.059	0.231	0.003	0.081	7.95
C' Spermatoocytes	59	58	1	9	137		
C'/A'	0.141	0.124	0.002	0.022	0.261	0.110	2.89
D' Spermatids	227	337	174	128	210		
D'/A'	0.544	0.721	0.384	0.315	0.400	0.473	8.10
E' Total cells	303	430	212	243	349		
E'/A'	0.726	0.920	0.467	0.566	0.666	0.669	6.25

Tab. 6 On 5 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	444	413	412	480	509	452	
B Spermatogonia	22	47	18	81	37		
B/A	0.049	0.113	0.043	0.168	0.067	0.087	8.54
C Spermatoocytes	22	37	25	114	30		
C/A	0.049	0.089	0.060	0.237	0.058	0.098	2.58
D Spermatids	26	8	9	172	31		
D/A	0.058	0.019	0.022	0.358	0.060	0.100	1.71
E Total cells	70	92	52	367	94		
E/A	0.157	0.222	0.126	0.764	0.184	0.290	2.71
A' Sertoli	442	468	411	473	518	462	
B' Spermatogonia	24	83	31	191	97		
B'/A'	0.054	0.177	0.075	0.408	0.187	0.179	17.58
C' Spermatoocytes	20	191	27	595	482		
C'/A'	0.045	0.420	0.065	1.257	0.930	0.543	14.29
D' Spermatids	41	17	4	501	269		
D'/A'	0.092	0.036	0.009	1.059	0.519	0.353	6.04
E' Total cells	85	297	62	1287	648		
E'/A'	0.192	0.634	0.150	2.720	1.637	1.066	9.97

Tab. 7 On 7 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	408	378	365	441	431	404	
B Spermatogonia	150	65	217	134	275		
B/A	0.367	0.163	0.593	0.304	0.639	0.413	40.56
C Spermatoocytes	60	50	451	179	721		
C/A	0.147	0.126	1.236	0.406	1.673	0.718	18.90
D Spermatids	3	0	0	21	33		
D/A	0.007	0	0	0.247	0.077	0.027	0.46
E Total cells	213	115	668	334	1024	1.156	10.81
E/A	0.522	0.268	1.830	0.757	2.387		
A' Sertoli	434	420	348	440	456	420	
B' Spermatogonia	108	168	180	175	371		
B'/A'	0.248	0.400	0.520	0.390	0.594	0.432	42.43
C' Spermatoocytes	90	135	418	385	925		
C'/A'	0.207	0.322	1.115	2.011	2.021	1.137	29.93
D' Spermatids	15	1	26	224	124		
D'/A'	0.036	0.002	0.057	0.514	0.263	0.174	2.98
E' Total cells	213	304	608	1286	1416		
E'/A'	0.490	0.723	1.747	2.922	2.885	1.753	16.39

Tab. 8 On 10 Weeks after the Irradiation

Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	374	388	407	411	460	408	
B Spermatogonia	174	146	167	226	174		
B/A	0.471	0.408	0.411	0.550	0.378	0.439	43.12
C Spermatoocytes	507	360	637	941	532		
C/A	1.356	0.900	1.565	2.280	1.141	1.456	38.33
D Spermatids	189	235	700	734	532		
D/A	0.505	0.349	1.720	1.795	1.113	1.146	19.64
E Total cells	875	741	1504	1901	1241	3.053	28.55
E/A	2.339	1.909	3.695	4.625	2.697		
A' Sertoli	388	429	401	444	463	425	
B' Spermatogonia	296	318	264	456	180		
B'/A'	0.737	0.739	0.658	1.027	0.390	0.710	69.74
C' Spermatoocytes	834	927	682	1339	635		
C'/A'	1.800	2.156	1.701	3.015	1.156	2.042	53.76
D' Spermatids	1345	1548	1134	1650	756		
D'/A'	3.466	3.600	2.828	3.716	1.657	3.053	52.32
E' Total cells	2477	2793	2080	3445	1571		
E'/A'	6.384	6.510	5.187	7.759	3.393	5.846	54.68

Tab. 9 On 15 Weeks after the Irradiation

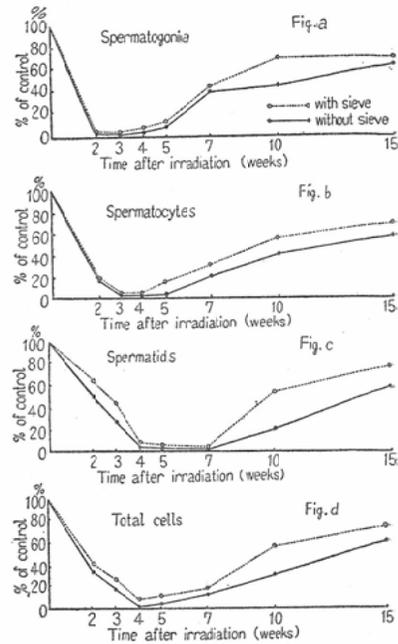
Number of cells	Number of animals					Average	Per cent of Control
	1	2	3	4	5		
A Sertoli	445	431	421	391	447	427	
B Spermatogonia	242	123	214	316	368		
B/A	0.544	0.317	0.510	0.808	0.823	0.650	63.85
C Spermatoocytes	718	806	999	1024	863		
C/A	1.613	1.870	2.379	2.619	1.931	2.082	54.81
D Spermatids	1303	1169	1126	1609	2113		
D/A	2.928	2.712	2.681	4.115	4.727	3.433	58.83
E Total cells	2263	2148	2334	2449	3344	6.155	57.57
E/A	5.085	5.099	5.567	7.342	7.480		
A' Sertoli	441	431	406	396	413	417	
B' Spermatogonia	214	354	283	343	281		
B'/A'	0.485	0.821	0.697	0.866	0.680	0.710	69.74
C' Spermatoocytes	613	1015	954	1220	1575		
C'/A'	1.390	2.355	2.350	3.101	3.813	2.602	68.50
D' Spermatids	1419	1487	1550	1861	2152		
D'/A'	3.218	4.513	3.818	4.699	5.211	4.320	74.03
E' Total cells	2246	3356	2787	3432	4008		
E'/A'	5.092	7.786	6.864	8.666	1.704	7.622	71.30

5週より上昇し、7週にては約40%になり、10週にして更に上昇する。然しこの時期にて篩照射群は69.77%、普通照射群43.12%であつて、大きな開きがあり、篩照射群に於いて回復が著しいことが判る。またこの時期の両者の間には5%の危険率にて有意差がある。15週には、普通照射群は篩照射群に稍と接近している。

b. 精母細胞

第2圖bに示すごとく、普通照射群は3-5週にて低位になり、7週より上昇し、15週にて普通

Fig. 2



照射群 54.81%、篩照射群は68.5%になる。この場合何れの時期に於いても、篩照射群は普通照射群より細胞数の百分率は多く、両者は略と平行に走っている。

c. 精娘細胞

4週~7週にて最低値をとり、10週にて回復が見られ、普通照射 19.64%、篩照射は 52.32%にて両者の差は大きく、推計學的には5%の危険率にて有意差がある。

d. 全精細胞数の比較

細精管内の精祖、精母、精娘各細胞数の和を、全精細胞数として、各期に於て、上述の方法と同じく篩照射群と普通照射群とを比較した。

照射2週間後、篩照射群は38.28%、普通照射群は32.48%に各減少した。4週間後、両者共に最低値を示し、前者は6.25%、後者は1.81%に減少し、5%以下の危険率で有意差を認め得た。以後次第に回復し、10週間後に於て、篩照射群は普通照射群とは著しい開きを示し、5%以下の危険率で有意差を認め得た。15週間後、普通照射群は稍と篩照射群に接近したが未だ可成りの差異を認

Tab. 10 The calculated Data of statistical Examination about the Rate of Oxygen Consumption both Sieve and without Sieve Irradiation.

	Weeks	2	3	4	5	7	10	15
		M.S	M.S	M.S	M.S	M.S	M.S	M.S
Spermatogonia	B.r	2.220	0.063	2.528	21.068	0.980	175.827*	12.041
	B.c	1.330	0.334	14.96**	17.787	46.423	42.364	31.502
	E	0.361	0.329	0.335	4.176	10.517	14.209	16.324
Spermatocytes	B.r	23.425	34.692	28.832	494.621	434.322	665.578	674.441
	B.c	267.260	13.190	5.214	178.863	1025.740	630.023	654.420
	E	99.216	29.344	5.635	115.143	235.098	123.333	363.995
Spermatids	B.r	778.852	2491.078*	281.232*	147.623	54.908	6594.203*	1932.482
	B.c	404.439	1049.625	23.134	173.349*	24.277	495.053	1279.716
	E	375.147	223.521	14.842	21.915	18.395	675.060	850.509
Total cells	B.r	960.380	3140.482*	55.012*	1505.43*	887.789	19519.509*	5483.157*
	B.c	356.821	1204.509*	35.122	896.880	1227.987	2537.171	4134.926*
	E	407.500	171.104	32.743	387.225	419.099	1380.332	518.435

B.r - Between row variation (Treatment)
 B.c - Between column variation (Body)
 E - Error
 M.S - Mean Square
 * - The level of significance of 5 per cent
 ** - The level of significance of 1 per cent

め得る (第10表参照)。

3) 小 括

家兎辜丸の1側に直径2mm, 面積比40:60の篩を使用して, 1500r 一時照射し, 他側に普通照射法に600rを一時照射し, 15週に互り, 精細胞数の消長を検討した結果, 次の事項が認められた。

1. 上記の照射条件並びに照射線量にては, セルトリ氏細胞数には殆んど影響がないものと考えられる。

2. 従つてセルトリ氏細胞を基準にして, 各精細胞数の百分率を求め, 普通照射群と篩照射群のレ線による影響を比較検討することが可能である。

3. かくして求めた各精細胞数の百分率の消長を見るに, 照射後2週にありては, 精粗細胞は著しく消失し, 最低値を示し, 篩照射群と普通照射群の間に差がない。精母細胞は3週後に最低値を示すが, 2週では20%が認められ, 僅かに篩照射群に於いて障害の程度が軽い。また精娘細胞は2週では, 普通照射群は49.06%であるが, 篩照射群は58.61%であつて, 両者の間には5%の危険率にて有意差が見られる。即ち精粗, 精母及び精娘の精細胞の中, 最も感受性の高い精粗細胞は2週にて全く消失し, 両照射群の間に差がないが, 感受性が低いと考えられる精娘細胞にては50%の減少率があり, 而も両照射群の間に減少率の差が見られる。即ち感受性の高いものは, 篩照

射法にても, 普通照射法にても同程度の障害を受けるが, 感受性の低いものにては, その障害の程度に有意の差があることが判る。

4. 精粗, 精母, 精娘の各細胞について比較すると, その最低値は2-4週, 3-5週, 4-7週と移動して居る。この事は高度の障害を受けることなく残在していたセルトリ氏細胞の分裂によつて, 各精細胞が順次回復したものであることを示している。

5. また両照射群について, その回復の程度を比較する, 各精細胞の各時期に於いて, 篩照射群は高く, 殊に精粗及び精娘細胞は10週に於いて, 有意の差をもつて, 普通照射群より百分率が多い。明らかに回復の高いことを示している。

B 普通照射並びに篩照射を行いたる家兎辜丸の組織呼吸について

1. 実験方法

実験材料は前項の実験に使用した家兎辜丸の中心部の一部を切採し, 生理的食鹽水中にて洗滌して, 実験に供した。従つて照射条件, 照射方法は前項実験と同様であつて, 照射後2週, 3週, 4週, 5週, 7週, 10週及び15週に組織呼吸を測定した。実験数は各実験何れも5例である。

組織呼吸測定装置はワールブルグ氏検圧装置(単一検圧計)を使用し, 容器は硝子製のもので, 1個の側室と, 1個の副室を有する。大きき約11ccの圓推状器を用いた。恒温槽の温度は38°C±0.1に調節し, 毎分95~100回振盪する様にした。

浄遊液として, pH 7.2-7.4の重曹加 Ringer 氏液を使用した。

辜丸の組織呼吸を測定するに當り, 各容器に浄遊液2cc, 及び辜丸組織切片を入れ, 1個の副室には5% KOH を0.2cc入れ, 他の側室には何にも入れない。これらの容器を38°Cの恒温槽にかけ, 温度及び圧が平衡状態に達して後, t-to 分間に於ける壓の變化 H₁ 及び H₂ を讀む, H₁ 及び H₂ より酸素消費量 XO₂ を次式より計算する。

$$XO_2 = H_1 [KO_2]_1$$

$$\text{但し } KO_2 = V_G \frac{273}{273+t} + V_F \alpha O_2$$

KO_2 : 酸素に関する容器恒数

V_G : 瓦斯腔容積

V_F : 容器内液容積

αO_2 : Bonsen 氏呼吸係数 (O_2)

かくして得た酸素消費量は次式により算出する。

$$QO_2 = \frac{\text{酸素消費量mm (1時間値)}}{\text{乾燥重量mg}}$$

2. 実験結果

1) 無處置群 QO_2 値

無處置部では家兎辜丸組織の酸素消費量 QO_2 を測定した5例の平均は 8.2となつた(第11表)。

2) 普通照射群と篩照射群の QO_2 値

普通照射後2週では QO_2 値は7.83に落ち、3週7.01と更に落ち、4週は7.18、5週は7.25、7週7.13と僅かに上り、10週では7.41になり15週では7.49を示した。

Tab. 11 The Oxygen Consumption of the unirradiated Testes.

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂
		30'	60'	
1	4.71	16.83	35.07	7.44
2	3.77	16.20	30.80	8.17
3	2.47	11.93	22.08	8.93
4	4.09	17.45	32.99	8.06
5	3.78	15.62	31.80	8.41
		average		8.20

Tab. 12 The Oxygen Consumption Rate of the Irradiated Testes with Sieve and without Sieve.

On 2 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)
		30'	60'		
1 without S	3.49	13.74	25.37	7.27	
1 with S	4.00	16.46	32.92	8.23	+13.2
2 without S	3.45	14.69	26.99	7.82	
2 with S	4.35	19.47	34.98	8.04	+2.8
3 without S	3.25	12.67	24.76	7.62	
3 with S	3.83	16.28	32.04	8.36	+9.7
4 without S	3.73	15.25	30.21	8.10	
4 with S	3.21	13.45	26.54	8.27	+2.1
5 without S	3.25	16.63	27.07	8.33	
5 with S	2.97	14.66	24.65	8.30	-0.4
		average		7.83	
				8.25	+5.5

Tab. 13 On 3 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)
		30'	60'		
1 without S	2.74	10.09	19.74	7.20	
1 with S	2.35	10.31	19.74	8.40	+16.7
2 without S	6.45	24.13	47.96	7.44	
2 with S	4.41	18.45	36.72	8.33	+12.0
3 without S	2.94	12.31	22.52	7.66	
3 with S	2.59	11.50	20.79	8.03	+4.8
4 without S	3.98	12.70	26.23	6.59	
4 with S	4.20	15.24	28.38	6.75	+2.4
5 without S	5.61	18.35	34.45	6.14	
5 with S	5.85	23.17	43.17	7.38	+20.1
		average		7.01	
				7.78	+11.2

Tab. 14 On 4 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)
		30'	60'		
1 without S	2.80	9.58	19.95	7.12	
1 with S	2.24	9.09	17.42	7.78	+9.3
2 without S	4.77	18.91	36.27	7.60	
2 with S	4.40	17.56	35.22	8.01	+5.4
3 without S	4.17	15.34	30.01	7.20	
3 with S	4.63	18.72	36.91	7.97	+10.7
4 without S	3.61	12.77	24.58	6.81	
4 with S	2.59	9.39	18.76	7.24	+6.3
5 without S	4.65	17.44	33.38	7.18	
5 with S	4.75	21.06	37.25	7.84	+9.2
		average		7.18	
				7.77	+8.2

Tab. 15 On 5 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)
		30'	60'		
1 without S	3.62	13.87	24.72	6.83	
1 with S	3.82	14.34	27.69	7.25	+6.1
2 without S	3.38	13.32	24.03	7.11	
2 with S	2.96	10.45	20.12	6.80	-4.4
3 without S	4.41	16.47	32.51	7.37	
3 with S	3.36	12.93	25.58	7.61	+3.3
4 without S	4.56	18.01	34.28	7.52	
4 with S	3.85	15.15	24.83	7.75	+3.1
5 without S	5.05	19.03	37.35	7.40	
5 with S	4.89	20.27	38.94	7.96	+7.6
		average		7.25	
				7.47	+3.0

Tab. 16 On 7 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)
		30'	60'		
1 without S	3.57	13.72	26.64	7.48	
1 with S	4.70	17.18	34.64	7.37	-1.5
2 without S	6.93	25.36	48.63	7.01	
2 with S	5.75	19.08	39.76	6.92	-1.3
3 without S	3.67	13.34	25.68	6.99	
3 with S	4.09	13.23	26.56	6.49	-7.2
4 without S	4.90	18.05	32.62	6.66	
4 with S	6.21	22.63	42.81	6.89	+3.5
5 without S	4.15	15.45	31.17	7.51	
5 with S	3.39	12.95	26.85	7.92	+5.5
		average		7.13	
				7.12	-1.4

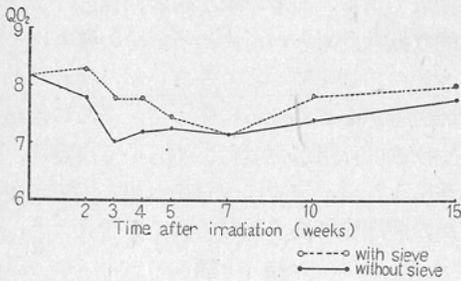
Tab. 17 On 10 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)	
		30'	60'			
1	without S	3.35	12.86	25.55	7.62	
	with S	3.27	13.36	26.29	8.04	+ 5.5
2	without S	4.77	18.91	35.51	7.44	
	with S	3.86	14.73	29.27	7.78	+ 4.6
3	without S	4.70	16.91	34.73	7.39	
	with S	4.60	17.65	35.58	7.73	+ 4.6
4	without S	4.35	15.86	31.10	7.15	
	with S	4.25	16.99	33.63	7.91	+ 10.6
5	without S	3.71	14.38	27.70	7.46	
	with S	4.97	19.63	37.63	7.57	+ 1.5
	without S			average	7.41	
	with S			"	7.80	+ 5.2

Tab. 18 On 15 Weeks after the Irradiation

	Tissue weight (mg)	O ₂ Consumption		QO ₂	Rate (%)	
		30'	60'			
1	without S	5.74	20.97	40.70	7.09	
	with S	4.78	18.67	36.20	7.57	+ 6.8
2	without S	5.21	20.75	40.72	7.82	
	with S	5.23	21.82	42.54	8.13	+ 4.0
3	without S	4.81	18.37	34.46	7.16	
	with S	4.19	17.45	33.28	7.94	+ 10.9
4	without S	3.77	15.07	27.05	7.17	
	with S	4.81	19.56	36.73	7.64	+ 6.6
5	without S	3.72	16.50	30.49	8.20	
	with S	4.64	22.27	40.45	8.72	+ 6.3
	without S			average	7.49	
	with S			"	8.00	+ 6.8

Fig. 3



然し篩照射群では7週の QO₂ 値が、普通照射群と同値である外は何れも、普通照射群よりは高く、2週にて僅かに上昇し、3週にて減少を來たし、7週にて最低値を示し、10週にて上昇し、15週にて更に上昇を示している。普通照射群に比し、篩照射群では QO₂ 値が高い傾向にある(第12, 13, 14, 15, 16, 17, 18表, 第3圖参照)。

3) 推計學的吟味

各期の篩照射群と普通照射群の QO₂ を推計學的に吟味すれば、4週後に於て、動物個体差の變

動も大きい、處理による變動は1%以下の危険率で有意差が認められ、10週後に於て、5%以下の危険率で有意差が認められた。(19表参照)

Tab. 19 The calculated Data of the stastical Examination about the Rate of Oxygen Consumption both Sieve and without Sieve Irradiation

Weeks	2	3	4	5	7	10	15
	M.S	M.S	M.S	M.S	M.S	M.S	M.S
B.r	0.424	1.490*	0.853**	0.129	0.000	0.388*	0.655**
B.c	0.097	0.767*	0.162*	0.230	0.367	0.130	0.445**
E	0.087	0.119	0.072	0.079	0.027	0.00	0.014

B.r---Between row variation (Treatment)
 B.c---Between column variation (Body)
 E---Error
 M.S---Mean square
 *---The level of significance of 5per cent
 **---The level of significance of 1per cent

總 括

篩照射法の如く、空間的に分割照射を行えば、物理的に容積線量が等しくても、そこに生起される生物學的反應は、普通照射法に較べて軽度である。局所的には、篩を通してレ線を照射すれば、皮膚は普通照射法の約5倍に相當する大量のレ線に耐え、而も潰瘍の如き重篤なる障害を残さないという經驗的事實が、これを立實している。また全身的には、既に Goldfeder, Marks, Cohen et al., Kaneda の報告せる如く、宿醉症状の發現率が低く、血液所見に及ぼす影響が軽いという事實が認められている。また最近には Pfeifer und Seidel,²⁷⁾ Becker and Kuttig²⁸⁾ 等が、全身症状の輕微であることを、篩照射法の特徴として指摘して居り、Becker, Stodtmeister, Fliedner und Kuttig¹⁷⁾ は、ラッテに普通照射法にて600r, 篩照射法(篩の面積比4:6)にて1390rを全身照射して、30日後の生存率を比較し、前者は35%, 後者は75%であつたと記載している。

Bauer, Piller und Schneider¹⁸⁾ は同じくラッテを用いて實驗し、全身症状の輕度であることを認めている外、血清蛋白分層にも變化が少く、骨髓組織にも障害が輕度であつたという。

著者は家兔辜丸について、篩照射法と普通照射法による障害並びに回復の程度の差異を15週に互

り検討し、組織呼吸の測定を併せ行った。

家兎辜丸の精細胞の消長を比較検討するに當り、著者は、これを數的に表現するため、一定數の細精管中の各精細胞數を、セルトリ氏細胞にて除すことより求めんとした。このためには先づ、無處置群、普通照射群、篩照射群の各々について、著者の行った照射條件にて、基準とするセルトリ氏細胞數に變動が有るや否を確め、しかる後に、この基準數値に對する、各精細胞數の百分率を求めて比較したのである。この結果、最も感受性の高い精粗細胞は、普通照射群、篩照射群は何れも2週にて最低値になるが、篩照射群は普通照射群に比し、10週後は有意の差をもつて、より高度に回復している。また精母細胞に於いても同様の關係が認められ、最も感受性の低いとされている精娘細胞では、何れの時期にありても、その百分率は高く、障害の程度が低く、且つ回復の高いことが實證された。

即ち篩照射法の如く空間的に分割照射すれば、辜丸の如き臓器にありても障害の程度が低く、回復が高いのである。また組織呼吸を測定した結果からも、篩照射群に於いて QO_2 値が、普通照射法より高いことが認められた。

著者がこの實驗に使用した篩板は、直徑2mm、面積比40:60のものを使用している。この場合、2つの開放部間の最短距離は0.8mmである。

近藤²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾、Kaneda and Tanei³²⁾の報告では、面積が等しくても、開放部直徑が小さくなるに従つて、皮膚耐線量は上昇する。Kereiakes et al の實驗では篩を通してマウスに全身照射を行った場合に、直徑が小さくなるに従つて死亡率が減少している。また松澤³³⁾はマウに週1回600rを、回、計24,000rを照射して、照射局所に皮膚癌の形成を認めているが、0.5cm直徑には疣贅の發生すら見られず、皮膚癌形成はなく、1cm直徑には有効總數の10%、1.5cm直徑には38%に皮膚癌を形成せしめている。

この様に面積比が等しくても、開放部直徑が小さくなるに従つて、そこに生起される生物學的反應は軽度となる。著者は柵形に配列されている篩

板について、面積比(K)、開放部半徑(r)、一定面積内の開放部周邊の和(1)、及び相隣れる2つの開放部の最短間隔(d)との間に次の關係があることを知つた。

$$K = \frac{(2\gamma + d)^2}{\pi\gamma^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{\pi\gamma^2}{K}} - 2\gamma$$

また $l = 2\pi\gamma P$ a: 一定面積A内の全開放部面積
 $a = \pi\gamma^2 P$

$$l = 2 \frac{a}{\gamma} = 2 \frac{AK}{\gamma}$$

上記の式より、一定面積比の篩にては、開放部半徑が $1/2$ になれば、間隔dは $1/2$ になり、用邊の長さlは倍になることが判る。

このことから、照射群が小さくなるに従つて、そこに生起される生物學的作用が、照射された線量に比して軽いということは、照射野の面積に比して周邊の長さが長いことと關係があり、金田³⁴⁾はこゝに2つの作用機構が考えられると述べている。その一は直接照射を受けない周邊より回復であり、他は照射局所に產生された毒性物質の周邊への擴散である。前者の求心的な回復と、後者の遠心的な擴散効果との、占める部分の割合については今後の検討を待つより外ないが、何れにしても、照射野が小さくなるに従つて、そこに生起される生物學的作用が軽度であるという事實は、篩照射法によれば、何故に大量のレ線に皮膚が耐え得るかの問題を解決する鍵であると言えよう。

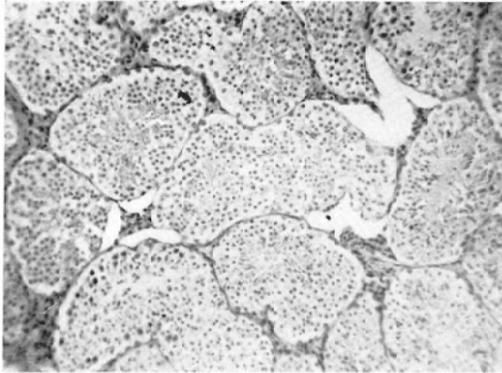
結 語

家兎辜丸の1側に、直徑2mm、面積比4:6の篩を通して1500rを一時照射し、他側に普通照射法にて600rを一時照射し、照射後2週、3週、4週、5週、7週、10週及び15週に摘出し、作製した組織標本について、兩照射群の各精細胞數の消長を比較検討した。また同時に組織呼吸を測定し、次の結果を得た。

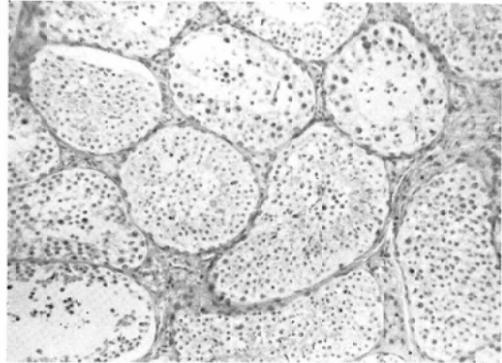
1. 著者の用いた照射條件並びに照射線量にては、セルトリ氏細胞數に影響がない。従つてセルトリ氏細胞數に對す、各精細胞數の百分率を求

Cross Section of Seminiferus Tube from the Rabbit's Testes of Both Sieve and Without Sieve Irradiation

Fig. 4 a On 2 Weeks after the Irradiation

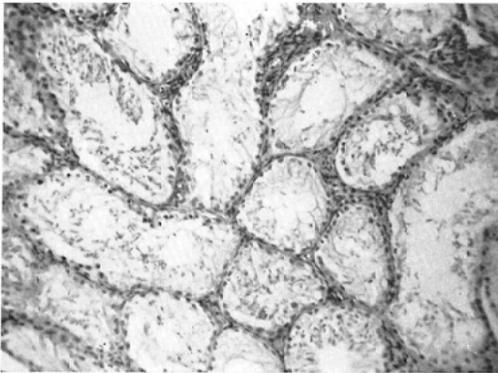


With Sieve Single Dose 1500r

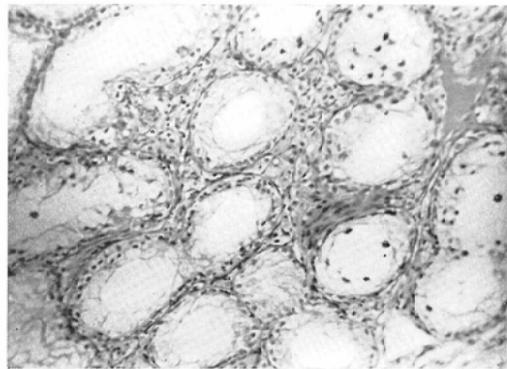


Without Sieve, single Dose 600r

Fig. 4 b On 5 Weeks after the Irradiation

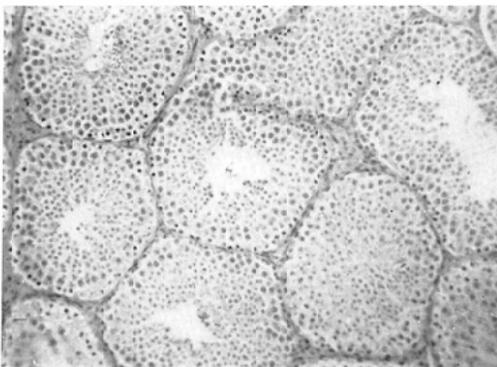


With Sieve, single Dose 1500r

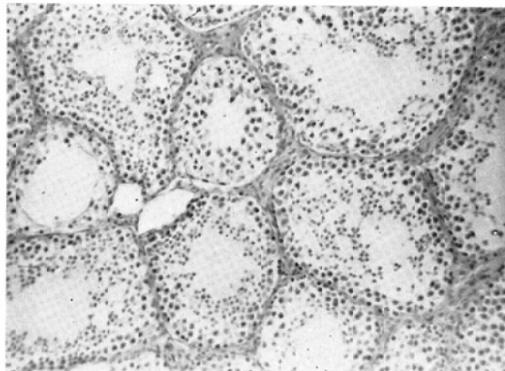


Without Sieve, single Dose 600r

Fig. 4 c On 10 Weeks after the Irradiation

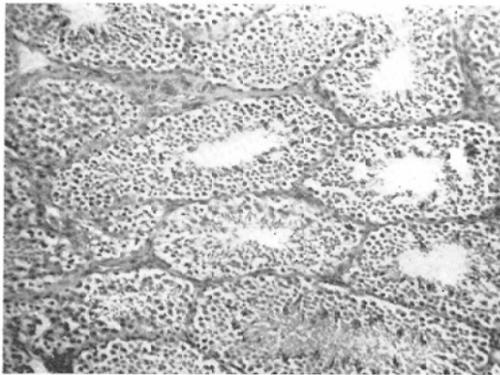


With Sieve, single Dose 1500r



Without Sieve, single Dose 600r

Fig. 4 d On 15 Weeks after the Irradiation



With Sieve, single Dose 1500r



Without Sieve, single Dose 600r

め、普通照射法と篩照射法による影響の差異を検討することができる。

2. 精粗細胞は照射後2週にして著しく消失し、最低値を示し、兩照射群の間に差が認められない。

3. 精母細胞は2週では20%が認められ、3週にして最低値を示す。然し、篩照射群は普通照射群より、何れの時期に於いても障害の程度は軽度である。

4. 精娘細胞は4週にして最低値を示し、何れの時期に於いても、篩照射群は障害の程度が軽度である。

5. 精粗、精母、精娘の各細胞について比較するに、その最低値は2—4週、3—5週、4—7週と移動している。この事は高度の障害を受けることなく残存していた。セルトリ氏細胞よりの回復であることを示しており、また回復の程度は篩照射群に於いては普通照射群より高い。

6. 同様に組織呼吸を測定した結果からも、明らかに QO_2 値は篩照射群に於いて高い。

文 献

1) Köhler: M.M.W. 45, 1909; 2314. —2) Abels: Fort. a. d. Geb. d. Röntg. 33, 1925; 763. —3) Liberson: Radiology 20, 1933; 186. —4) Haring: Strahlentherapie 51, 1934; 154. —5) Woenkhaus: Röntgenpraxis 6, 1934; 36. —6) Grynkrout: Bull. et Soc. de radiol. med. de France. 23, 1935; 50. —7) Grynkrout und Sitko-

wski: Strahlentherapie 56, 1936; 413. —8) Marks: J. Mt. Sinai Hosp. 17, 1950; 46. —9) Marks: Radiology 58, 1952; 338. —10) Marks: Arch. Otol. 59, 1954; 340. —11) Freid, Lipman and Jacobson: Am. J. Roentg. 70, 1953; 460. —12) Gros, Wolf and Burg: J. Radiol. 34, 1954; 771. —13) Botstein und Harris: Fort. a. d. Geb. d. Röntg. 75, 1951; Sonderband, 26. —14) Goldfeder: Radiology 57, 1951; 845. —15) Cohen. Shapiro, Keen, Cohen and Moor: Brit. J. Radiol. 27, 1954; 402. —16) 金田外: 治療, 38, 昭31; 531. —17) Becker, Stodtmeister, Flidner und Kuttig: Strahlentherapie 101, 1956; 272. —18) Bauer, Piller und Schneider: Strahlentherapie 100, 1956; 16. —19) 両角: 日本医放会誌, 18. (投稿). —20) Kereiakes, Parr, Storer and Krebs: Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 86, 1954; 153. —21) 朝山: 日本医放会誌, 10, 7, 昭25; 28, 12, 5, 昭27; 1, 12, 5, 昭27; 1. —22) 徳富: 日本医放会誌, 15, 昭31; 983. —23) 小坂: 北海道医学誌, 27, 1952; 1. —24) Börner, Neff, Riemann und Wachsmann: Strahlentherapie 101, 1956; 121. —25) Broom: Histopathology of Irradiation 1948. McGraw-Hill Book Comp. —26) Momigliano and Essenberg: Radiology 42, 1944; 273. —27) Pfeifer und Seidel: Strahlentherapie 101, 1956; 325. —28) Becker und Kuttig: Strahlentherapie 101, 1956; 253. —29) 近藤: 日本医放会誌, 16, 昭31; 39. —30) 近藤: 日本医放会誌, 16, 昭31; 1069. —31) 近藤: 日本医放会誌, 17, 昭32; 21. —32) Kaneda and Tanei: Med. J. Shinshu Univ. 2, 1957; 209. —33) 松沢: 日本医放会誌, 17 (投稿). —34) 金田: 信州医学, 5, 昭31; 287.

Fundamental Studies of Sieve Therapy (6th Report)
The Effect of the Sieve Irradiation on
the Testis of the Rabbit

By

Seikichi Tanei

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Shinshu University

(Director, Prof. H. Kaneda)

In this experiments, the degree of the injury caused by irradiations in the sieve and conventional methods was compared.

For the experiments, testes of healthy, 10 to 13 months old male rabbits were used. Irradiations was performed under the following conditions. Voltage: 180 KV., current: 15 mA., filters: 0.5 mm Cu and 0.5 mm Al, h.v.l.: 0.9 mm Cu, distance: 30 cm and dose at a rate of 108 r per minute. Used sieve: thickness: 1.5 mm, perforations 2 mm diam. arranged in square lattice, area ratio, covered: open=4:6. One of the testes was irradiated with a single dose of 1500 r through the sieve. Simultaneously the other testis was irradiated with a single dose of 600 r in the conventional method.

After 2, 3, 4, 5, 7, 10 and 15 weeks, the testes were removed from each animal and fixed in 10 per cent formalin solution. Microtomic serial sections of a thickness of 5 were prepared, imbedding in paraffin and staining with haematoxylin-eosin.

From number of these preparations of each testis, five were taken at random and with each one of them the number of each kind of germ cells in possibly circular 20 sections seminiferous tubules, was observed. This method enabled me to attain same validity as counting the respective germ cells in 100 seminiferous tubules of each testis.

The degree of the injury caused by irradiations in the sieve and conventional methods was compared by number of germ cells to sertoli's cells in the same section.

(1) The number of Spermatogonia in the sieve and conventional methods became similarly small after 2 weeks, but number of spermatids were lighter degree of the injury in the sieve than the conventional method.

(2) Comparing transitions in numbers of spermatogonia, spermatocytes and spermatids, it is known that occurrence of the minimum shifts in each kind of germ cells as 2-4 weeks, 3-5 weeks and 4-7 weeks respectively. This fact indicates each kind the germ recovering in number successively through division of remaining sertoli's cells which have not been injured too much.

(3) The recovery of various germ cells are always higher in the sieve method than in the conventional method, specially after 10 weeks.

(4) In the latter experiments, QO_2 of sieve and conventionally irradiated testes were investigated from oxygen consumptions measured by Warburg's manometric method. The results are shown that QO_2 of sieve irradiated testes are always higher than those of conventionally irradiated testes.