OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	二十日鼠脾臓内血液芽細胞の核分裂より觀察せる線?度の檢討
Author(s)	伊藤, 乙正
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1956, 15(10), p. 879-896
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15924
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

二十日鼠脾臓内血液芽細胞の核分裂より観察せる線强度の檢討

東京遞信病院放射線科部長
東京大學醫學部放射線醫學教室(主任　中泉正德敎授)
伊　東　乙　正

(昭和30年8月11日受付)

內容梗概

研究目標　廿日鼠脾臓白血液芽細胞に就て1000 100, 10, 5,1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.02r/m の各線強度に於て 120r, 300r, 600r 照射の場合の核分裂の變化を比較檢討し線強度と核分裂の變化の關係を考察し，併せて中間の線強度に障碍度の強いものゝ有無を調べる．

研究方法　廿日鼠脾臓に對する放射線の作用の報告で述べた方法を用いた．照射には 0.5r/m 迄はエックス線を，0.2r/m 以下は Ra のγ線を用いた．

研究結果及び考按　核分裂の變化形式は線量，線強度，細胞の種類により多少の差はあるが大體その形式が似ている．この形式を初期刺戟，分裂抑制，分裂抑制解除，分裂恢復，分裂低下に分け各個に線量，線強度により比較すると次のようになる．

1)　初期刺戟は線強度及び線量に關せず照射開始直後より15分後位の間に認められその後は認められない．

2)　分裂抑制は1000r/m 乃至 0.5r/m の線強度で 60r 乃至 600r 照射では淋巴細胞に於ては照射開始後30分より1時間半位迄認め，赤芽細胞に於てはこの期間が稍ゝ短縮している．この範圍では線強度及び線量に關係しない．

3)　從つて分裂抑制解除期はこの範圍の線強度，線量に於ては淋巴細胞では何れも照射開始後2時間前後となり照射時間が長くなると照射中に分裂抑制解除期をむかえる．赤芽細胞では淋巴細胞より稍ゝ早く1時間半位である．尚弱線長時間照射では照射が終了すると再度の分裂抑制解除期を認める．これは5 r/m 乃至 0.02r/m の線強度で照射終了後大體1時間と略ゝ一定している．

4)　核分裂の恢復は線量及び線強度により異る．淋巴細胞では 100r/m, 10r/m, 5 r/m の場合 120r, 300r 照射では大體照射開始後3時間に，600r 照射では6時間後に恢復を見る．1000r/m の場合は少し後れている．1 r/m, 300r, 600r照射では恢復が最も惡い．赤芽細胞は淋巴細胞より稍ゝ恢復が早い．弱線照射では照射中に係らず分裂の恢復を見る．しかしこの場合變性度が強く中，強變性分裂核の增加のみで核分裂の增加とならない事が少くない．弱線長時間照射では照射終了後に再度核分裂の變化が認められ分裂の恢復があるがこの場合は稍ゝ早い．

5)　弱線長時間照射の場合の修復的過刺補償は 0.2r/m, 0.1r/m 120r 乃至 600r 照射にても認められ淋巴細胞では照射中後期に，赤芽細胞では照射終了後24時間，48時間に認められた．

6)　分裂核の變性度の變化は1000r/m 乃至 0.1 r/m の何れの線強度に於ても照射開始後經過時間に從つて初期刺戟期の變性度の輕度增加，分裂抑制期の變性分裂核の減少，分裂抑制解除期の強變性核の多發，其後は變性度の減少と共に分裂の恢復という一定の形式の變化がある．尚線強度 0.5 r/m，線量 60r 迄は強變性核の多發時は淋巴細胞で照射開始後2時間，赤芽細胞で1時間半と略ゝ一定している．弱線長時間照射では照射中にこの變化が起り，照射終了後に再度強變性核の多發が認められる．

7) 變性核産物の出現は強變性核の出現より2乃至3時間後れている．このため出現の山は 0.5 r/m 迄は大體照射開始後 6 時間で， 0.2r/m, 0.1r/m ではより稍々早期に認められる．

線強度と障碍度の關係に就いて核分裂の變化より觀察すると次のようになる．

8) 核分裂の恢復 600r, 300r 照射では 1 r/m の線強度が恢復最も惡い． 120r 照射では 1000r/m の線強度が最も惡い． 0.5r/m 以下の線強度では核分裂の恢復が良い．

9) 中強變性分裂核 0.5r/m 以下の弱線ではこの出現が少くなつており傷害の減少を認める．1 r/m の線強度では多數出現し障碍度の強いことを示している．

10) 變性核産物 1 r/m では照射中並に照射後長時間に亙り多數出現を認める．

11) 胚中心の變化 1000r/m, 1 r/m が最も傷害強い．

12) 細胞減少度 0.2r/m 以下は明に少い．

以上を綜合すると障碍度の順にすると 1000r/m 1 r/m > 100r/m, 10r/m, 5 r/m > 0.5r/m > 0.2r/m > 0.1r/m > 0.02r/m となる．

これを要するに線強度を異にした場合に照射時間が異つてくるので照射終了後の同一經過時間では非常に異つた變化のように見える場合も照射開始以來經過時間を基準にすれば線強度及び線量に關せず略々一定の形式の核分裂の變化が認められ，更に 0.5r/m 60r 迄は線強度及び線量に關せず分裂抑制解除期迄は變化が照射開始後略々同一時間に認められる．尚弱線長時間照射となると照射終了に起る變化が既に照射開始により起れる變化と分離して繰返えされる．線強度と障碍度の關係では 1 r/m が極大の障碍度を示した．

研究目標

1000r/m, 0.02r/m の兩極端の線強度照射所見は前に報告[2)3)]したが，今回は 120r, 300r, 600r の同一線量で 100r/m, 10r/m, 5 r/m, 1 r/m 0.5r/m, 0.2r/m, 0.1r/m と線強度を變化せしめて前報告と同樣核分裂の變化を中心にして觀察した結果より線強度を異にすることにより放射線の作用に如何なる差異があるかを考察し，更に中間の線強度に障碍度の極大を示すものゝ有無を確めんとした．

研究方法

前報告[1)2)3)]と同じく實驗動物は體重約20 g の廿日鼠を性別の區別なく使用した．照射には深部エックス線裝置，撮影用エックス線裝置，ラヂウムを使用した．エックス線照射條件は表 1 の如くこ

表 1 照射條件

深部エツクス線裝置

二次電壓	63 KVP			
管電流	2.8 mA			
濾過板	0.5mmAl			
體中央部迄の焦點からの距離 (cm)	100	71	31.6	22.4
線强度 (r/m)	0.5	1.0	5.0	10

撮影用エツクス線裝置(1000mA トリドロス)

二次電壓	63 KVP
管電流	3.8 mA
濾過板	0.5 mmAl
體中央部迄の焦點からの距離	14.1 cm
線强度	100 r/m

れにて 100r/m 乃至 0.5r/mの線強度の照射を實施し， 0.2r/m, 0.1r/m はラヂウムのγ線照射とし，空間的線量分布を出來るだけ均等にするために Parker (1934)[4)]の Circular line element を應用して半徑 9 cmのコンパウンドの輪の上に80 mgのラヂウムを並べたものを2個用いてセルロイド製動物容器の上下より挾みこの容器内に廿日鼠を入れて照射した． 線強度 I は下式で計算される． $I=\frac{mg}{(4a^2x^2+x^4)^{1/2}}$ mg：用いたラヂウムの量…… 160mg, a：Circular line element の半徑…… 9 cm, x：兩 Circular line element 間の距離．

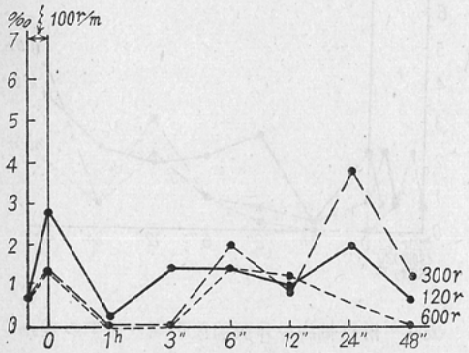
0.2r/m, 0.1r/m の線強度は 12r/h, 6 r/h でラヂウム 1 mg は 1 cmで 8.4r/h であるから求める距離は 0.2 r/m の場合は 5.9cm, 0.1 r/m の場合は10.7cmとなる．標本は照射中及び照射終了直後，1, 3, 6, 12, 24, 48時間後に作成した．脾臟は新鮮の儘固定することに努め廿日鼠を麻醉を用い

ず速に摘出直ちにフオルマリン液固定を行つた．切片は最も面積の大きく取れる様に上下面に平行に切り厚さは約3μとした．染色はヘマトキシリンエオヂン染色，檢鏡は油浸強擴大を用いた．各細胞の分裂の變化の觀察には前報告と同じく核分裂率，分裂前後半期の比率，分裂核の變性度を記録し，其他破壞顆粒の消長，細胞數の變化，胚中心の變化，兩脾髓の變形等を觀察した．

研究結果

A）　100r/m 照射所見

圖1　淋巴細胞の核分裂率の變化



（註）　核分裂率の算出には無，弱變性分裂核のみを以てしたので中，强變性分裂核は關係していない．以下同じ．

核分裂の變化は圖1, 2, 表2, 3, 4, 5の如く照射終了直後に核分裂の亢進を認めること多く，これは1000r/m 照射15分後に認められたと同じく初期刺戟と思われる．照射1時間後は各線量共分裂抑制を認める．分裂抑制解除は1000r/m の場合と同じく淋巴細胞では2時間後，赤芽細胞ではこれより稍と早いものと思われる．抑制解除後 120r 照射では3時間後に早くも分裂の恢復を見るが 300r, 600r 照射では照射後6時間と後れて居り核分裂も少い．分裂核の變性度の變化は表に見る如く淋巴細胞では照射直後分裂亢進と共に變性度も高

表3　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化

線强度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3′	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度							
100r/m	一二〇r	一、二分	(—)	7	1	0	1	0	1	0
			弱	12	0	7	6	5	9	3
			中	7	0	4	4	4	6	1
			强	6	1	29	24	12	3	0
	三〇〇r	三分	(—)	2	0	0	3	0	8	1
			弱	5	0	0	7	4	11	5
			中	9	2	5	4	7	12	2
			强	2	22	31	26	31	5	7
	六〇〇r	六分	(—)	1	0	0	0	1	2	0
			弱	6	0	0	7	5	2	0
			中	0	1	2	22	7	4	1
			强	2	26	14	53	41	27	7
						分裂抑制解除				

（註）　淋巴細胞（無弱變性分裂核を含む）5000コ算する間に認められた中，强變性分裂核で5000コ中には入つていない．以下同じ．

圖2　赤芽細胞の核分裂率の變化

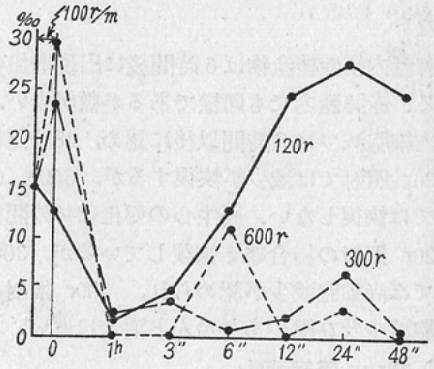


表2　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化

線强度	線量	照射時間	經過時間		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率								
100r/m	一二〇r	一二分	無弱變性	前半期/後半期	16/3	1/0	5/2	7/0	5/0	8/2	2/1
			中變性	前半期/後半期	6/1	0/0	4/0	4/1	4/0	5/1	1/0
	三〇〇r	三分	無弱變性	前半期/後半期	5/2	0/0	0/0	6/4	3/1	10/9	5/1
			中變性	前半期/後半期	9/0	1/1	5/0	4/0	6/1	12/0	0/2
	六〇〇r	六分	無弱變性	前半期/後半期	5/2	0/0	0/0	5/2	3/3	2/2	0/0
			中變性	前半期/後半期	0/0	1/0	2/0	20/2	6/1	4/0	1/0

表4　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化

線强度	線量	照射時間	經過時間		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率								
100r/m	一二〇r	一二分	無弱變性	前半期/後半期	18/8	1/2	4/5	23/3	30/19	38/18	25/24
			中變性	前半期/後半期	12/2	4/0	8/3	9/0	23/1	1/0	17/4
	三〇〇r	三分	無弱變性	前半期/後半期	31/16	0/4	3/4	0/1	1/3	10/3	1/0
			中變性	前半期/後半期	6/0	1/0	62/8	3/0	7/2	8/1	2/0
	六〇〇r	六分	無弱變性	前半期/後半期	37/23	0/0	0/0	13/8	0/0	6/0	0/0
			中變性	前半期/後半期	14/1	0/0	1/0	97/23	0/0	10/1	1/1

表5 赤芽細胞の分裂核の變性度の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
100 r/m	一二〇r	一、二分	(—)	7	1	2	5	16	25	13
			弱	19	2	7	21	33	31	36
			中	14	4	11	9	24	1	21
			強	2	10	11	7	3	1	1
	三〇〇r	三分	(—)	14	2	1	0	2	0	0
			弱	33	2	6	1	2	13	1
			中	6	1	70	3	9	9	2
			強	0	0	41	69	25	10	2
	六〇〇r	六分	(—)	16	0	0	1	0	1	0
			弱	44	0	0	21	0	5	0
			中	15	0	1	120	9	11	2
			強	1	57	8	21	1	11	1

↑分裂抑制解除

(註) 赤芽細胞(無弱變性分裂核を含む)2000コ算する間に認められた中，强變性分裂核で2000コ中には入つていない．以下同じ．

まつて居り，分裂抑制期には變性核も減少している．分裂抑制解除直後は強變性核が多發しており，其後次第に減少している．赤芽細胞でも略ゝ同様であるが變性度はより弱く強變性核は少い．

300r 照射3時間後，600r 照射6時間後に中變性分裂核の多發を認める．これは分裂恢復現象であるが，中變性分裂のため分裂率の上昇とはなつていない．

白脾髓内變性核産物は6時間後に出現增加の山を見る．赤脾髓内でも同様であるが數が少い．白脾髓内細胞減少は3時間以後に認め，48時間後には 120r 照射では減少が恢復するが，300r，600r 照射では恢復しない．胚中心の變化は48時間後では 120r 照射の場合略ゝ恢復しているが，300r，照射では尚細胞減少が認められ，600r 照射の場合細胞減少及び縮少あり殆んど消失に近い．

B) 10r/m 照射所見

核分裂の變化は圖3，4，表 6，7，8，9の如く 100 r/m 照射の場合より照射時間が長いが，照射終了直後 120r 照射は照射開始以來12分で初期刺戟期にあり淋巴細胞では核分裂亢進を認める．300r，600r 照射では照射終了直後，照射開始以來經過時間はそれぞれ30分，60分で既に分裂抑制期で兩者共分裂抑制を良く認める．照射1時間後は 120r 照射の場合尚分裂抑制期であるが，(赤芽細胞では分裂抑制解除初期？) 300r 照射の場合は分裂抑制解除初期であり，600r 照射の場合は分裂抑制解除期で(照射開始後經過時間2時間) 強變性核の多發を認める．抑制解除後 120r 照射では3時間後に早くも分裂の恢復を見るが，300r，600r 照射では6時間以後に恢復を認める．分裂核の變性度の變化は表の如く 100r/m の場合と形式は同じである．赤芽細胞に 300r 照射6時間後，600r 照射3時間後に中變性分裂核の多發を

圖3 淋巴細胞の核分裂率の變化

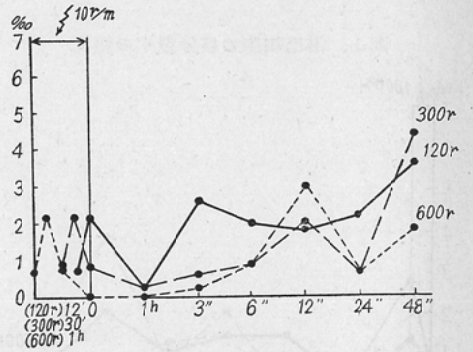


表6 淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂前後半期比率		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
10 r/m	一二〇r	一二分	無弱變性	前半期/後半期	5/6	1/0	11/2	7/3	6/3	10/1	12/6
			中變性	前半期/後半期	10/2	1/1	10/0	4/0	3/1	6/1	4/0
	三〇〇r	三〇分	無弱變性	前半期/後半期	2/2	1/0	2/1	4/0	8/2	3/0	18/4
			中變性	前半期/後半期	1/0	2/0	2/0	0/0	16/2	2/0	10/0
	六〇〇r	六〇分	無弱變性	前半期/後半期	0/0	0/0	1/0	3/1	12/3	3/0	2/2
			中變性	前半期/後半期	1/0	1/0	1/1	6/1	2/1	0/0	7/0

表7 淋巴細胞の分裂核の變性度の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
10 r/m	一二〇r	一二分	(—)	2	0	2	2	4	2	10
			弱	9	1	11	8	5	9	8
			中	12	2	10	4	4	7	4
			強	6	3	26	5	6	3	4
	三〇〇r	三〇分	(—)	1	0	0	1	1	0	4
			弱	3	1	3	3	9	3	18
			中	1	2	2	0	18	2	10
			強	3	32	31	33	49	5	2
	六〇〇r	六〇分	(—)	0	0	0	1	3	1	1
			弱	0	0	1	3	12	2	8
			中	1	1	2	7	3	0	7
			強	10	30	63	22	8	0	9

↑分裂抑制解除

圖4　赤芽細胞の核分裂率の變化

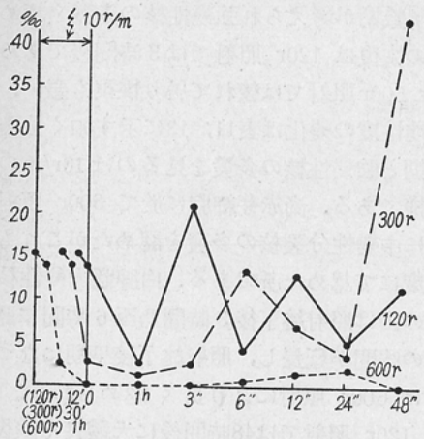


表8　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
			分裂前後半期比率							
一〇r/m	一二〇r	一二分	無斜變性 前半期/後半期	17/11	2/3	23/19	1/7	20/7	5/5	15/8
			中變性 前半期/後半期	4/2	9/3	42/8	11/2	22/9	2/1	20/2
	三〇〇r	三〇分	無斜變性 前半期/後半期	3/2	0/0	1/4	22/5	9/5	5/2	59/26
			中變性 前半期/後半期	7/5	0/0	18/3	79/9	25/2	8/1	10/4
	六〇〇r	六〇分	無斜變性 前半期/後半期	0/0	1/1	(4000) 10/2	0/1	1/2	0/4	0/0
			中變性 前半期/後半期	0/0	3/2	145/19	19/6	4/1	1/0	0/0

表9　赤芽細胞の分裂核の變性度の變

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
			分裂核變性度							
一〇r/m	一二〇r	一二分	(—)	10	2	7	1	1	3	11
			弱	18	3	35	7	25	7	12
			中	6	12	50	13	31	3	22
			強	0	21	13	2	3	1	6
	三〇〇r	三〇分	(—)	3	0	2	2	1	1	51
			弱	2	0	3	25	13	6	34
			中	12	0	21	88	27	9	14
			強	5	25	50	5	3	2	1
	六〇〇r	六〇分	(—)	0	0	(4000) 1	0	0	1	0
			弱	0	2	11	1	3	3	0
			中	0	5	164	25	5	1	0
			強	5	56	55	93	0	0	4

↑分裂抑制解除

認めることも 100r/m 照射の場合に似る．白脾髓内變性核産物の出現の山は 100r/m 照射の場合と略ゝ同じく6時間後に認めるが，300r，600r 照射では照射時間が稍ゝ長いので照射終了後稍ゝ早期に山の出現を認め，山の出現は照射開始後6時間と考えた方がより妥當である．胚中心は照射終了48時間後 120r，300r照射では殘存して細胞減少より恢復している．600r 照射では殘存しているが細胞減少及び縮小より充分恢復していない．

C)　5 r/m 照射所見

核分裂の變化は圖5, 6, 表10，11，12，13の如くで照射時間は10r/m の場合より更に長くなつているので照射終了直後 120r 照射でも照射開始後經過時間は24分で既に分裂抑制期に入り明に分裂抑

圖5　淋巴細胞の核分裂照射所見率の變化

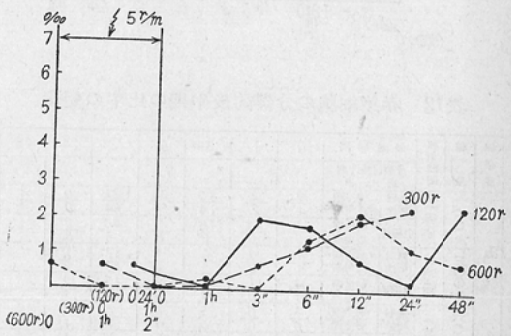


表10　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
			分裂前後半期比率							
五r/m	二一〇r	二四分	無斜變性 前半期/後半期	1/1	0/0	8/2	7/2	3/1	0/1	9/3
			中變性 前半期/後半期	0/0	2/1	2/0	1/1	1/0	0/0	4/0
	三〇〇r	一時間	無斜變性 前半期/後半期	0/0	(3000) 0/0	(3000) 0/0	5/1	10/0	8/4	—
			中變性 前半期/後半期	0/0	0/0	1/0	3/0	1/1	2/0	—
	六〇〇r	二時間	無斜變性 前半期/後半期	0/0	(3000) 0/1	(4000) 0/0	5/2	7/4	5/1	2/2
			中變性 前半期/後半期	1/0	1/0	1/0	5/0	2/4	6/1	2/0

表11　淋巴細胞の分裂核の變性度の變

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
			分裂核變性度							
五r/m	二一〇r	二四分	(—)	0	0	7	1	1	1	5
			弱	2	0	3	8	3	0	7
			中	0	3	2	2	1	0	4
			強	7	29	36	18	0	0	12
	三〇〇r	一時間	(—)	0	(3000) 0	(3000) 0	1	1	3	
			弱	0	0	2	5	9	9	
			中	0	0	1	3	2	2	
			強	6	10	22	12	11	8	
	六〇〇r	二時間	(—)	0	(3000) 10	(4000) 0	3	3	0	1
			弱	0	1	0	4	8	6	3
			中	1	1	1	5	6	7	2
			強	8	41	12	8	10	4	2

↑分裂抑制解除

圖6 赤芽細胞の核分裂率の變化

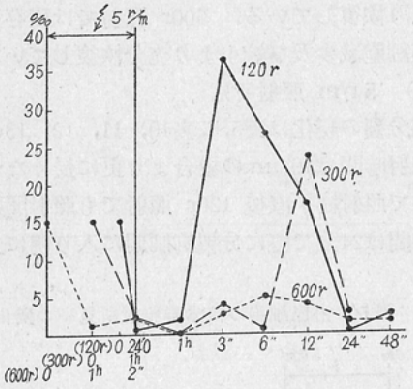


表12 赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂前後半期比率		0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
五 r/m	一二〇r	二四分	無弱變性	前半期	0	2	60	30	21	0	4
				後半期	1	2	14	24	14	0	1
			中變性	前半期	1	14	16	27	40	0	1
				後半期	2	0	8	8	5	0	1
	三〇〇r	一時間	無弱變性	前半期	1	0	6	1	37	(3000) 2	
				後半期	1	0	2	0	10		
			中變性	前半期	4	1	9	2	15	2	
				後半期	1	0	0	0	4	1	
	六〇〇r	二時間	無弱變性	前半期	4	0	5	6	7	2	2
				後半期	0	0	0	4	1	1	1
			中變性	前半期	3	2	13	62	20	1	1
				後半期	1	1	1	13	4	2	0

表13 赤芽細胞の分裂核の變性度の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3"	6"	12"	24"	48"
五 r/m	一二〇r	二四分	(−)	0	1	41	4	7	0	3
			弱	1	3	33	50	28	0	2
			中	3	14	24	35	45	0	2
			強	2	36	28	6	8	1	1
	三〇〇r	一時間	(−)	1	0	2	0	17	(3000) 3	
			弱	1	0	6	1	30	5	
			中	5	1	9	2	19	3	
			強	5	27	6	4	7	1	
	六〇〇r	二時間	(−)	1	0	0	0	0	1	2
			弱	3	0	5	10	8	2	1
			中	4	3	14	75	24	3	1
			強	57	38	8	20	2	0	1

↑分裂抑制解除

制を示している。 300r 照射直後でも分裂抑制を良く認めるが， 600r 照射直後では照射開始後經過時間は既に2時間で淋巴細胞では尚分裂抑制期の末期と思われるが，赤芽細胞では旣に分裂抑制解除期で強變性核の多發を認める．照射終了1時間後は 120r， 300r 照射の場合照射開始以来經過時間はそれぞれ1時間24分，2時間で分裂抑制解除期に入つて居り強變性核の多發を認める．

600r 照射の場合は更に照射終了後の再度の分裂抑制解除期が考えられ強變性核の多發を認める．分裂の恢復は 120r 照射では3時間後であるが， 300r 600r照射では後れて居り恢復も惡い．核分裂の變性度の變化は表11，13に示す如く分裂抑制解除期と強變性核の多發を見るのは10r/mの場合と同樣である．尚赤芽細胞に於て 600r 照射6時間後に中變性分裂核の多發を認めたがこれも他の線強度にて認めた所である．白脾髓内變性核産物出現の山は照射終了後3時間乃至6時間に認められ山の時間が延長し，照射終了後早期になつているのは 600r 照射により良く認められる． 胚中心は 120r 照射では48時間後に大體良く恢復して居り 300r 照射では24時間後に殘存しているが細胞減少及び縮少を認め， 600r 照射では稍々殘存しているが細胞減少，縮小共に目立つ．

D） 1r/m 照射所見

淋巴細胞及び赤芽細胞の核分裂の變化は圖7，8，表14，15，16，17の如くである．本線強度にては照射時間が更に延長され，照射中に短時間照射終了後の核分裂の變化を略々同樣に認めることが看取される．卽ち照射中を見ると照射1時間（60 r）は分裂抑制， 照射2時間（ 120 r）は分裂抑制解除で強變性核の多發， 照射5時間（ 300 r）は分裂恢復， 照射10時間（ 600 r）は分裂下降と略々變化が一致しているが，核分裂の變性度が增加して居り，特に淋巴細胞の方にそうである．更に注目すべきは照射終了1時間後は各線量共再度分裂抑制解除（照射終了後分裂抑制解除）を認め著明な強度性核の多發がある．これは5 r/m， 600r 照

圖7 淋巴細胞の核分裂率の變化

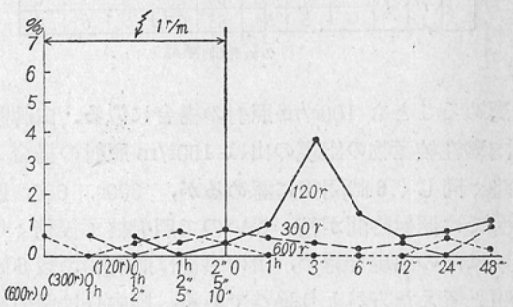


表14　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間		0	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率		60r (1時間)							
一 r/m	一二〇r	二時間	無弱變性	前半期	0/0	2/0	3/2	11/8	5/2	3/0	3/1	5/2
				後半期								
			中變性	前半期	0/0	1/0	3/3	21/5	3/0	5/0	4/0	7/0
				後半期								
	三〇〇r	五時間	無弱變性	前半期		3/1	2/1	1/1	0/1	2/0	0/0	4/1
				後半期								
			中變性	前半期		7/4	2/0	3/0	1/0	4/0	5/0	5/0
				後半期								
	六〇〇r	一〇時間	無弱變性	前半期		0/2	0/0	0/0	0/0	0/0	1/2	0/1
				後半期								
			中變性	前半期		0/0	1/0	1/0	1/0	3/0	3/0	2/0
				後半期								

表15　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度	60r (1時間)		分裂抑制解除(照射開始による)					
一 r/m	一二〇r	一時間	(一)	0	2	1	0	0	1	1	0
			弱	0	0	4	19	7	2	3	7
			中	0	1	6	26	3	5	4	7
			強	2	10	161	77	21	5	5	7
	三〇〇r	五時間	(一)		1	1	1	1	0	0	0
			弱		3	2	1	0	2	0	5
			中		11	2	3	1	4	5	5
			強		79	70	25	23	18	13	3
	六〇〇r	一〇時間	(一)		0	0	0	0	0	1	0
			弱		2	0	0	0	0	2	1
			中		0	1	1	1	3	3	2
			強		21	138	46	21	11	1	3

分裂抑制解除(照射終了による)

圖8　赤芽細胞の核分裂率の變化

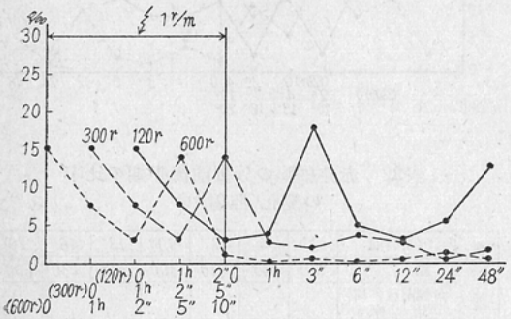


表16　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間		0	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率		60r (1時間)							
一 r/m	一二〇r	二時間	無弱變性	前半期	(3000) 8/5	4/2	(3000) 6/3	27/9	5/5	6/3	8/3	15/11
				後半期								
			中變性	前半期	2/1	5/0	17/2	41/5	22/0	1/0	3/3	28/5
				後半期								
	三〇〇r	五時間	無弱變性	前半期		19/9	(3000) 6/2	2/2	(3000) 7/4	(2500) 5/3	0/1	3/1
				後半期								
			中變性	前半期		18/3	26/2	13/1	55/8	10/3	1/0	6/2
				後半期								
	六〇〇r	一〇時間	無弱變性	前半期		(3000) 2/1	0/0	1/0	4/2	(3000) 1/1	(3000) 2/2	(4000) 2/0
				後半期								
			中變性	前半期		6/0	1/1	32/2	26/1	0/1	6/1	6/0

射にも認められたが，5 r/m，300r，120r 照射及び10r/m 以上の強線強度では照射時間が短いた

表17　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度	60r (1時間)	分裂抑制解除(照射開始による)						
一 r/m	一二〇r	二時間	(一)	(3000) 1	0	(3000) 0	5	2	1	2	4
			弱	12	6	11	31	8	8	9	22
			中	3	5	19	46	22	1	6	33
			強	1	28	33	17	8	4	0	4
	三〇〇r	五時間	(一)		8	(3000) 0	1	(3000) 0	(2500) 1	0	1
			弱		20	8	3	11	7	1	3
			中		21	28	14	63	13	1	8
			強		11	40	28	16	8	1	2
	六〇〇r	一〇時間	(一)		(3000) 0	0	0	0	(3000) 0	(3000) 0	(4000) 0
			弱		3	0	1	6	1	4	2
			中		6	0	34	27	1	7	6
			強		14	39	44	9	7	4	1

分裂抑制解除(照射終了による)

め，照射開始後分裂抑制解除と照射終了後分裂抑制解除が重り合つて認め難く，長時間照射の場合初めて區別可能となる．核分裂の恢復は 120r 照射の時は3時間後に認められたが 300r，600r 照射では殆んど認められない．核分裂の變性度の變化は表15，17に示す如く抑制解除期には何れも強變性核の多發がある．尚赤芽細胞では 300 r，600r 照射3時間乃至6時間後に中變性分裂核の多發を認め，これは變性度の高い核分裂の恢復と考えうる．

白脾髓内變性核産物出現の山は照射開始6時間に認められ，且つ其の後長期に亘つている．赤脾髓内でも略ゝ同様である．決して照射終了後6時間ではない．細胞減少も 300r，600r 照射では照射終了時に既に認められ，減少度が稍ゝ強い．胚中心の變化は 120r 照射では殘存しているが終了48時間後にも尚輕度の細胞減少及び縮小を認め，300r 照射では細胞減少及び縮小が強く，600r 照射では胚中心が消失している．

E）0.5r/m 照射所見

淋巴細胞及び赤芽細胞の核分裂の變化は圖9，10表18，19，20，21，22，23，24，25に示す如くである．本線強度にては照射時間は長時間となる．照射中の變化を檢討するに，照射2時間は分裂抑制解除期で核分裂は少いが強變性核が多發している．照射4時間[1]乃至10時間は分裂恢復期で，照射16時間乃至20時間は分裂下降期である．照射中に係らずこれらの一連の變化は良く認められる．特に赤芽細胞では分裂恢復，分裂下降の變化が良

く認められる．淋巴細胞では分裂恢復期に中，強變性分裂核の多發があり，これは變性度の強い核分裂の恢復と考えられよう．又淋巴細胞の分裂下降期に分裂率が稍ゝ上昇しているのは核分裂の變性度の減少のためで，これを考えるとむしろ分裂下降である．以上の如く1r/mの場合と同じく照射中に短時間照射後と同様な核分裂の變化を認め

圖9　淋巴細胞の核分裂率の變化

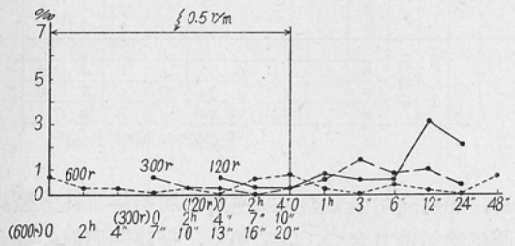


表18　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射中)

線強度	照射時間		2h	4″	7″	10″	13″	16″	20″
	線量		60r	120r	210r	300r	390r	480r	600r
	分裂前後半期比率								
0·五r/m	無變性	前半期	1	0	0	1	0	2	2
		後半期	0	1	0	0	0	1	2
	中變性	前半期	1	0	0	5	8	5	0
		後半期	0	0	2	2	2	0	1

表19　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射後)

線強度	線量	照射時間		經過時間	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
				分裂前後半期比率							
0·五r/m	二一〇r	四時間	無變性	前半期	0	2	3	2	10	11	
				後半期	1	2	0	1	6	9	
			中變性	前半期	0	3	6	8	10	8	
				後半期	0	1	2	0	0	1	
	三〇〇r	一〇時間	無變性	前半期	1	2	7	5	5	2	
				後半期	0	1	3	2	3	0	
			中變性	前半期	5	0	3	1	9	0	
				後半期	2	0	0	0	2	0	
	六〇〇r	二〇時間	無變性	前半期	2	1	0	1	0	0	2
				後半期	2	0	0	1	1	0	2
			中變性	前半期	0	1	0	1	1	3	0
				後半期	1	0	0	0	1	0	0

表20　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化(照射中)

線強度	照射時間	2h	4	7	10	13	16	20
	線量	60r	120r	210r	300r	390r	480r	600r
	分裂核變性度							
0·五r/m	(一)	0	1	0	0	0	1	2
	弱	1	0	0	1	0	2	2
	中	1	0	2	7	10	5	1
	強	27	9	13	67	50	17	8

↑分裂抑制解除(照射開始による)

表21　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化(照射後)

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度							
0·五r/m	二一〇r	四時間	(一)	1	1	0	1	2	0	
			弱	0	3	3	2	14	11	
			中	0	4	8	8	10	9	
			強	9	25	12	8	6	2	
	三〇〇r	一〇時間	(一)	0	1	1	1	2	1	
			弱	1	2	9	6	6	1	
			中	7	0	3	1	11	0	
			強	67	5	8	3	5	1	
	六〇〇r	二〇時間	(一)	2	0	0	0	1	0	2
			弱	2	1	0	2	0	0	2
			中	1	1	0	1	2	3	2
			強	8	31	11	3	0	0	1

↑分裂抑制解除(照射終了による)

圖10　赤芽細胞の核分裂率の變化

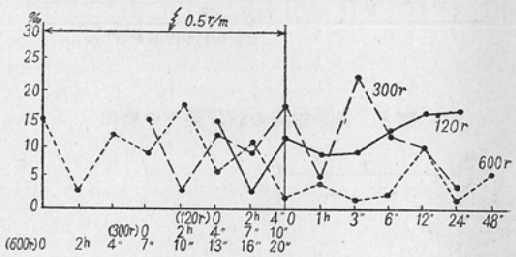


表22　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射中)

線強度	照射時間		2h	4″	7″	10″	13″	16″	20″
	線量		60r	120r	210r	300r	390r	480r	600r
	分裂前後半期比率								
0·五r/m	無變性	前半期	3	7	9	21	10	19	4
		後半期	3	18	10	15	3	4	0
	中變性	前半期	8	15	10	28	22	38	11
		後半期	1	6	9	12	4	7	1

表23　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射後)

線強度	線量	照射時間		經過時間	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
				分裂前後半期比率							
0·五r/m	二一〇r	四時間	無變性	前半期	7	(2500)	15	17	26	20	
				後半期	18	7	5	11	8	75	
			中變性	前半期	15	20	24	27	11	16	
				後半期	6	1	1	3	4	3	
	三〇〇r	一〇時間	無變性	前半期	21	8	45	23	(1000)	5	
				後半期	15	2	1	3	2	3	
			中變性	前半期	28	5	15	25	7	0	
				後半期	12	0	1	3	0	2	
	六〇〇r	二〇時間	無變性	前半期	4	8	3	5	17	1	9
				後半期	0	1	0	0	5	2	4
			中變性	前半期	11	8	1	4	19	2	3
				後半期	1	0	1	0	2	0	0

表24　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化(照射中)

線強度	照射時間	2h	4″	7″	10″	13″	16″	20″
	線量	60r	120r	210r	300r	390r	480r	600r
	分裂核變性度							
0.5r/m	(−)	1	3	4	3	3	0	0
	弱	5	22	15	33	10	23	4
	中	7	21	19	40	26	45	12
	強	11	6	5	11	16	6	2

↑分裂抑制解除(照射開始による)

表25　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化(照射後)

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度							
0.5r/m	一二〇r	四時間	(−)	3	(2500) 11	2	1	1	17	
			弱	22	23	18	27	33	18	
			中	21	21	25	30	15	19	
			強	6	9	1	2	1	1	
	三〇〇r	一〇時間	(−)	3	1	17	3	(1000) 9	2	
			弱	33	9	29	23	10	6	
			中	40	5	16	28	7	2	
			強	11	2	4	1	2	2	
	六〇〇r	二〇時間	(−)	0	2	0	1	4	1	5
			弱	4	17	3	4	18	2	8
			中	12	8	2	4	21	2	3
			強	2	4	2	1	1	0	0

↑分裂抑制解除(照射終了による)

る．照射終了後の變化として照射終了後の分裂抑制解除は各線量共1時間後に認め，強變性核の稍々多發がある．核分裂の恢復は 120 r，300r 照射の場合3時間以後に認められるが，600r 照射では恢復が惡い．比率の變化から觀察すると照射中赤芽細胞の核分裂恢復あるに係らず比率からはむしろ分裂抑制を示すのは興味ある所見である．核分裂の變性度の變化は抑制解除期に強變性核の多發を見るのは他の場合と同様である．照射中に變性度の増加するのは淋巴細胞に良く認められた．白脾髓內變性核産物出現の山は照射開始後6時間乃至16時間で稍々長時間に亘り認められる．照射終了後3乃至6時間に更に輕度の山を認めるのは照射終了後強變性核の再度增加があるためであろう．白脾髓の細胞減少は照射中7時間より認め，後期に更に減少している．胚中心の變化は 120r 照射では細胞減少及び縮小から全く恢復している．

300r，600r 照射では細胞減少及び縮小はあるが胚中心は殘存している．

F）0.2r/m 照射所見

淋巴細胞及び赤芽細胞の核分裂の變化は圖11，12，13，14及び表26，27，28，29，30，31，32，

圖11　淋巴細胞の核分裂率の變化(照射中)

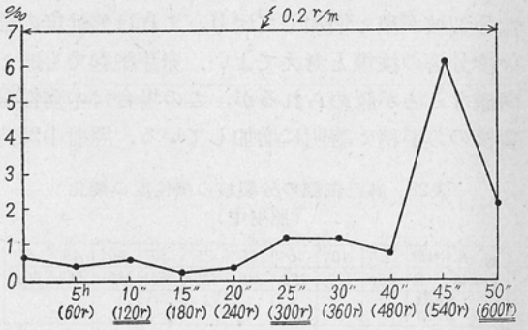


圖12　淋巴細胞の核分裂率の變化(照射後)

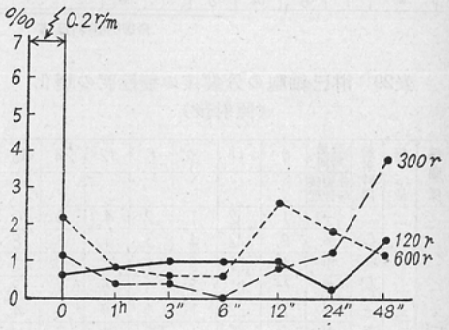


表26　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射中)

線強度	照射時間		5h	10″	15″	20″	25″	30″	40″	45″	50″
	線量		60r	120r	180r	240r	300r	360r	480r	540r	600r
	分裂前後半期比率										
0.2r/m	無變性	前半期	2	2	0	1	5	5	2	21	7
		後半期	0	1	1	1	1	1	2	10	4
	中變性	前半期	0	5	6	0	1	0	2	12	4
		後半期	0	1	0	0	0	0	0	2	0

表27　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化(照射後)

線強度	線量	照射時間	經過時間		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率								
0.2r/m	一二〇r	一〇時間	無變性	前半期	2	4	4	3	5	1	8
				後半期	1	0	1	2	0	0	0
			中變性	前半期	5	11	7	1	2	0	3
				後半期	1	0	1	0	0	0	0
	三〇〇r	一二五時間	無變性	前半期	5	1	2	0	4	4	14
				後半期	1	1	0	0	0	2	5
			中變性	前半期	1	0	1	0	3	2	9
				後半期	0	0	0	0	0	0	0
	六〇〇r	五〇時間	無變性	前半期	7	4	3	2	11	6	5
				後半期	4	0	0	1	2	3	1
			中變性	前半期	4	0	3	0	3	0	2
				後半期	0	0	1	0	0	0	0

33に示す如くである．本線強度にては照射時間は更に長時間となり，600r 照射では照射50時間となる．照射中照射5時間乃至15時間は核分裂恢復期，照射20時間は分裂下降期であるが，淋巴細胞では恢復期に核分裂率の上昇は認めないが，中強變性分裂核が稍ゝ増加して居り，これは變性度の強い核分裂の恢復と考えてよい．赤芽細胞でも略ゝ同様なことが認められるが，この場合は中變性分裂核のみが稍ゝ著明に増加している．照射中25時間以後淋巴細胞では連續的の核分裂亢進を認めるが，これは修復的過剩補償によるものと考えられる．照射終了1時間後は各線量共輕度強變性核の

表28　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化
（照射中）

線強度	照射時間	5h	10″	15″	20″	25″	30″	40″	45″	50″
	線量	60r	120r	180r	240r	300r	350r	480r	540r	600r
	分裂核變性度									
〇・二r/m	(—)	0	1	0	0	1	3	2	8	5
	弱	2	2	1	2	5	3	2	23	6
	中	0	6	6	0	1	0	2	14	4
	強	9	6	14	8	10	14	2	23	1

修復的過剩補償

表29　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化
（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂核變性度							
〇・二r/m	一二〇r	一〇時間	(—)	1	2	1	2	4	0	0
			弱	2	2	4	3	1	1	8
			中	6	11	8	1	2	0	3
			強	6	11	2	3	5	1	3
	三〇〇r	二五時間	(—)	1	2	1	0	0	3	4
			弱	5	6	1	0	4	3	15
			中	1	0	1	0	3	2	9
			強	10	10	3	0	7	0	5
	六〇〇r	五〇時間	(—)	5	2	0	0	5	5	1
			弱	6	2	3	3	8	4	5
			中	4	0	4	0	3	0	2
			強	1	4	12	1	2	3	4

↑↑分裂抑制解除（照射終了による）

圖13　赤芽細胞の核分裂率の變化（照射中）

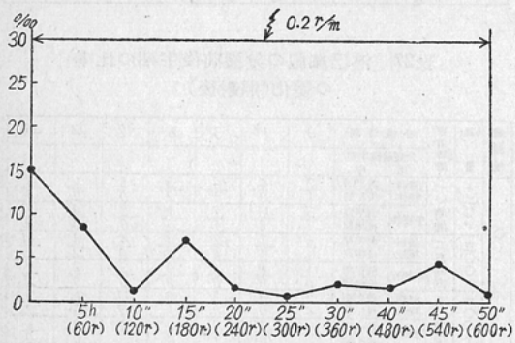


圖14　赤芽細胞の核分裂率の變化（照射後）

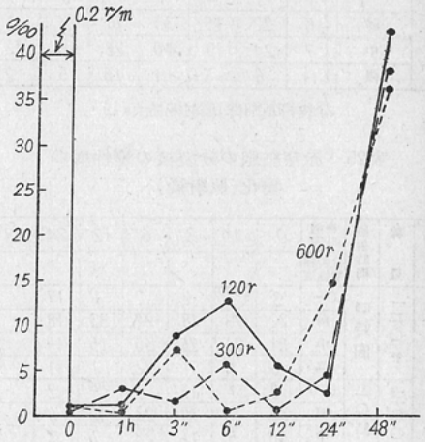


表30　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化（照射中）

線強度	照射時間		5h	10″	15″	20″	25″	30″	40″	45″	50″
	線量		60r	120r	180r	240r	300r	360r	480r	540r	600r
	分裂前後半期比率										
〇・二r/m	無變性	前半期	13	2	11	3	1	3	2	6	1
		後半期	4	0	3	0	0	1	1	3	1
	中變性	前半期	41	2	49	3	1	2	6	0	1
		後半期	4	0	4	0	0	1	0	0	0

表31　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
			分裂前後半期比率								
〇・二r/m	一二〇r	一〇時間	無變性	前半期	2	1	12	14	6	3	60
				後半期	0	1	6	12	5	2	27
			中變性	前半期	2	3	28	15	2	1	12
				後半期	0	0	0	2	2	0	0
	三〇〇r	二五時間	無變性	前半期	1	4	2	4	0	8	58
				後半期	0	2	1	8	1	1	20
			中變性	前半期	1	24	0	1	4	3	11
				後半期	0	2	1	0	0	0	1
	六〇〇r	五〇時間	無變性	前半期	1	1	12	1	(300)	18	54
				後半期	1	0	3	0	3	12	20
			中變性	前半期	1	0	35	2	1	7	3
				後半期	0	1	4	1	1	1	1

表32　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化
（照射中）

線強度	照射時間	5h	10″	15″	20″	25″	30″	40″	45″	50″
	線量	60r	120r	180r	240r	300r	360r	480r	540r	600r
	分裂核變性度									
〇・二r/m	(—)	2	0	1	0	0	1	1	0	0
	弱	15	2	13	3	1	3	2	9	2
	中	45	2	53	3	1	3	6	0	1
	強	7	1	3	2	5	1	0	12	0

表33　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化
（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
0.1r/m	一二〇r	一〇時間	(−)	0	1	0	2	4	2	54
			弱	2	1	18	24	7	3	33
			中	2	3	28	17	4	1	12
			强	1	5	5	0	0	0	0
	三〇〇r	二五時間	(−)	0	1	0	8	0	4	43
			弱	1	5	3	4	1	5	25
			中	1	26	1	1	4	3	12
			强	5	11	6	1	22 (30h0)	0	1
	六〇〇r	五〇時間	(−)	0	0	2	0	2	13	51
			弱	2	1	13	1	6	17	23
			中	1	1	39	3	2	8	4
			强	0	3	30	5	1	0	0

分裂抑制解除（照射終了による）　修復的過剰補償

多發を認め照射終了後分裂抑制解除と思われる．其後に各線量共分裂の恢復を認める．赤芽細胞では更に24時間乃至48時間後に異常に著明な核分裂等の上昇を認めるが，これは前記の淋巴細胞の場合と同じく修復的過剰補償によるものと考えられる．白脾髓の變性核産物は照射5時間より長時間に亘り出現を認め，50時間後も尚認められる．照射終了3時間後に輕度増加の山を認めその後減少している．細胞減少は白脾髓ではより強い線強度の場合より輕い．尚赤脾髓では照射終了後48時間後に細胞減少から著しく恢復するが，これもより強い線強度の際には認められない．胚中心の變化は 120r 照射では良く殘存し細胞減少及び縮小を認めない．　300r，600r 照射でも殘存し細胞減少及び縮少は僅か認められるのみである．赤脾髓は照射終了48時間後の不規則な細胞増殖のため細胞の配列の亂れが増加している．

G）0.1r/m 照射所見

淋巴細胞及び赤芽細胞の核分裂の變化は圖15，16，17，18，表34，35，36，37，38，39，40，41に示す如くである．照射中核分裂率は淋巴細胞では照射5時間より照射20時間迄正常値より稍々低いことが多い．然るに30時間乃至 100時間に連續的な核分裂亢進を認める．これは 0.2r/m の場合と同じく修復的過剰補償と考えられる．赤芽細胞では照射中引續き核分裂率低いことが多い．照射終了後分裂の恢復を6時間後に認める．赤芽細胞の場合48時間後に特に 600r，300r 照射に著明

圖15　淋巴細胞の核分裂率の變化（照射中）

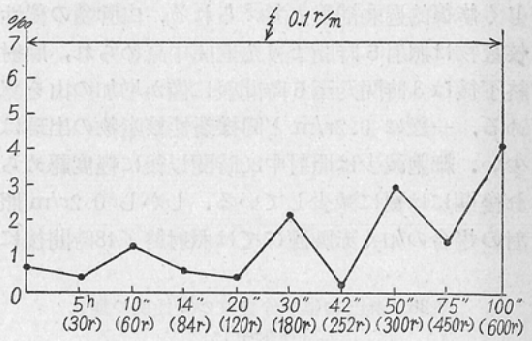


圖16　淋巴細胞の核分裂率の變化（照射後）

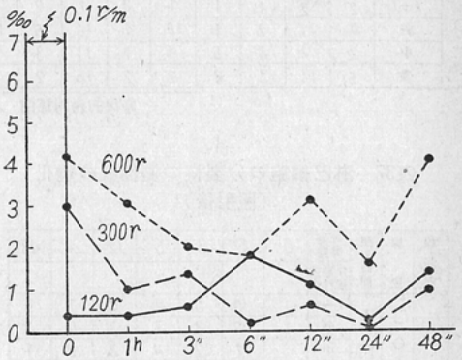


表34　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化（照射中）

線強度	照射時間		5h	10″	14″	20″	30″	42″	50″	75″	100″
	線量		30r	60r	84r	120r	180r	252r	300r	450r	600r
	分裂前後半期比率										
0.1r/m	無弱變性	前半期/後半期	1/1	11/2	2/1	2/0	10/1	1/0	10/5	6/1	18/4
	中變性	前半期/後半期	2/0	6/1	3/0	5/0	9/0	1/0	11/0	3/0	5/1

表35　淋巴細胞の分裂前後半期の比率の變化
（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂前後半期比率		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
0.1r/m	一一〇r	一〇時間	無弱變性	前半期/後半期	2/0	1/1	2/1	7/2	2/1	1/0	3/4
			中變性	前半期/後半期	5/0	1/0	1/1	4/0	2/0	0/0	1/0
	三〇〇r 六〇〇r	五〇時間 一〇〇時間	無弱變性	前半期/後半期	10/5	2/3	6/1	0/1	3/0	0/0	4/1
			中變性	前半期/後半期	11/0	1/0	4/0	1/0	0/0	0/0	2/1
			無弱變性	前半期/後半期	18/4		7/3	6/3	11/5	5/3	10/10
			中變性	前半期/後半期	5/1		6/0	4/0	6/1	1/0	1/0

な核分裂上昇を認め，これも 0.2r/m の場合と同じく修復的過剰補償と考えられる．白脾髄の變性核産物は照射5時間より全期間中認められ，照射終了後は3時間乃至6時間後に僅か増加の山を認める．一般に 0.2r/m と同様變性核産物の出現は少い．細胞減少は照射中20時間以後に輕度認められ後期には更に減少している．しかし 0.2r/m 照射の場合の如く赤脾髄にては照射終了48時間後に減少の恢復を認める．胚中心の變化は照射後期に至る迄殘存し細胞減少及び縮小は少い．特に 120r 照射では細胞減少及び縮少を殆んど認めない．赤脾髄の48時間後の細胞の配列の亂れは細胞の不

表36　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化
（照射中）

線強度	照射時間	5h	10″	14″	20″	30″	42″	50″	75″	100″
	線量	30r	60r	84r	120r	180r	252r	300r	450r	600r
	分裂核變性度									
0.1r/m	(−)	2	(1000) 2	1	1	1	0	1	2	6
	弱	0	11	2	1	10	1	14	5	16
	中	2	7	3	5	9	1	11	3	6
	強	5	11	3	6	2	2	15	2	1

修復的過剰補償

表37　淋巴細胞の分裂核の變性度の變化
（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
0.1r/m	一二〇r	二〇時間	(−)	1	0	0	2	0	1	5
			弱	1	2	3	7	3	0	2
			中	5	1	2	4	2	0	1
			強	6	4	4	9	0	1	0
	三〇〇r	五〇時間	(−)	1	3	0	1	0	0	1
			弱	14	2	7	0	3	0	4
			中	11	1	4	1	0	0	3
			強	15	3	5	1	0	1	4
	六〇〇r	一〇〇時間	(−)	6		1	3	3	1	11
			弱	16		9	6	13	7	9
			中	6		6	4	7	1	1
			強	1		9	0	3	0	5

分裂抑制解除（照射終了による）

圖17　赤芽細胞の核分裂率の變化（照射中）

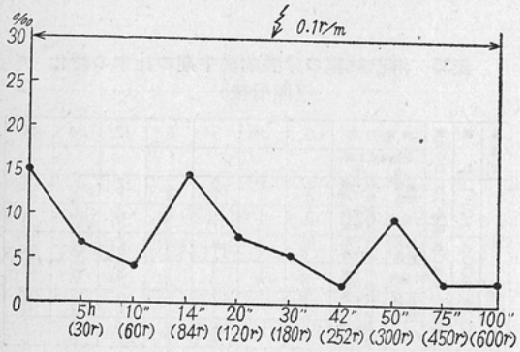


圖18　赤芽細胞の核分裂率の變化（照射後）

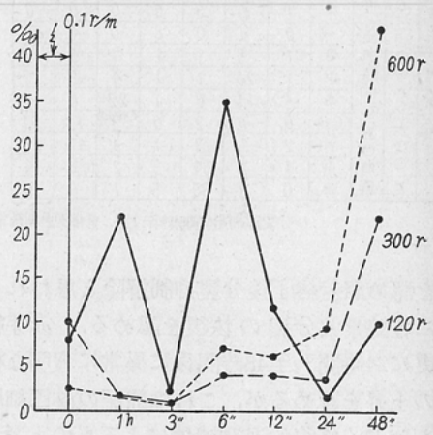


表38　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化（照射中）

線強度	照射時間	5h	10″	14″	20″	30″	42″	50″	75″	100″
	線量	30r	60r	84r	120r	180r	252r	300r	450r	600r
	分裂前後半期比率									
0.1r/m	無弱變性 前半期/後半期	6/7	(3000) 4/8	22/7	10/5	3/8	0/4	11/9	1/4	3/2
	中變性 前半期/後半期	8/2	13/6	16/4	7/0	7/0	2/0	13/4	2/1	0/0

表39　赤芽細胞の分裂前後半期の比率の變化（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂前後半期比率		0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
											(3000)
0.1r/m	一二〇r	二〇時間	無弱變性	前半期/後半期	10/5	32/12	3/1	56/14	16/7	0/3	20/10
			中變性	前半期/後半期	7/0	24/3	1/0	11/1	6/1	0/0	10/0
	三〇〇r	五〇時間	無弱變性	前半期/後半期	11/9	1/2	0/1	5/3	3/5	3/4	29/15
			中變性	前半期/後半期	13/4	2/0	12/2	3/1	10/0	3/1	15/4
	六〇〇r	一〇〇時間	無弱變性	前半期/後半期	3/2		1/0	7/7	4/8	12/7	59/28
			中變性	前半期/後半期	0/0		2/0	22/4	9/1	9/5	18/2

表40　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化
（照射中）

線強度	照射時間	5h	10″	14″	20″	30″	42″	50″	75″	100″
	線量	30r	60r	84r	120r	180r	252r	300r	450r	600r
	分裂核變性度									
0.1r/m	(−)	2	(3000) 4	6	3	1	0	3	0	1
	弱	11	8	23	12	10	4	17	5	4
	中	10	19	20	7	7	2	17	3	0
	強	5	20	13	5	5	5	19	1	1

表41　赤芽細胞の分裂核の變性度の變化
（照射後）

線強度	線量	照射時間	經過時間 / 分裂核變性度	0	1h	3″	6″	12″	24″	48″
0.1 r/m	一二〇r	二〇時間	(−)	3	8	0	33	7	0	(3000) 4
			弱	12	36	4	37	16	3	26
			中	7	27	1	12	7	0	10
			強	5	2	4	1	4	0	4
	三〇〇r	五〇時間	(−)	3	0	0	5	1	3	16
			弱	17	3	1	3	7	4	28
			中	17	2	14	4	10	4	19
			強	19	6	8	1	1	2	4
	六〇〇r	一〇〇時間	(−)	1		0	2	4	2	50
			弱	4		1	12	8	17	37
			中	0		2	26	10	14	20
			強	1		1	3	2	4	0

分裂抑制解除(照射終了による)　修復的過剰補償

規則な増殖による。

總括並に考按

各線強度に於ける初期刺戟—分裂抑制—抑制解除—分裂恢復—分裂低下の核分裂の變化形式を總括し考察する。

1)　初期刺戟

表42の如く線強度，線量に關せず照射開始直後より15分位の間に認められ，その後は認められない。

表42　各線強度の初期刺戟

線強度 r/m	線量 r	經過時間 開始	經過時間 終了	初期刺戟 淋巴細胞	初期刺戟 赤芽細胞	初期刺戟 骨髓細胞
1000	120	15′+	15′	(−)	+	(−)
	300	15′+	15′	(−)(+)	(−)	(−)
	600	15′+	15′	+	+	+
100	120	1.2′	0	+	(−)	
	300	3′	0	+	+	
	600	6′	0	+	+	
10	120	12′	0	+	(−)	

2)　分裂抑制

表43の如く何れの線強度にても照射開始時間を基準として開始後30分より1時間半位迄の間分裂抑制を認めるが，赤芽細胞の方は淋巴細胞より期間が稍〻短い。

3)　分裂抑制解除期

イ）照射開始後經過時間による分裂抑制解除期

表44の如く淋巴細胞では何れも照射開始後2時間前後となり1000r/m照射の場合と一致する。このため5 r/m 600 r，1 r/m 120 r，0.5r/m 60r照射では何れも照射中に分裂抑制解除期をむかえる。尚赤芽細胞では淋巴細胞より稍〻早く1時間半位に分裂抑制解除期を認める。

表43　各線強度に於ける分裂抑制

線強度 r/m	線量 r	分裂抑制 淋巴細胞 經過時間 終了	分裂抑制 淋巴細胞 經過時間 開始	分裂抑制 赤芽細胞 經過時間 終了	分裂抑制 赤芽細胞 經過時間 開始
1000	120	30′〜1.5h	30′+〜1.5h+	30′〜1h	30′+〜1h+
	300	30′〜1.5h	30′+〜1.5h+	30′〜1h	30′+〜1h+
	600	30′〜1.5h	30′+〜1.5h+	30′〜1h	30′+〜1h+
100	120	1h	1h1.2′	1h	1h1.2′
	300	1h	1h3′	1h	1h3′
	600	1h	1h6′	1h	1h6′
10	120	1h	1h12′	1h	1h12′
	300	0〜	30′〜	0〜	30′〜
	600	0	1h	0	1h
5	120	0〜	24′〜	0〜	24′〜
	300	0	1h	0	1h
1	60	0	1h	0	1h

表44　各線強度に於ける分裂抑制解除期
（照射開始による）

線強度 r/m	線量 r	分裂抑制解除期 淋巴細胞 經過時間 終了	分裂抑制解除期 淋巴細胞 經過時間 開始	分裂抑制解除期 赤芽細胞 經過時間 終了	分裂抑制解除期 赤芽細胞 經過時間 開始
1000	120	2h	2h+	1.5h	1.5h+
	300	2h	2h+	1.5h	1.5h+
	600	2h	2h+	1.5h	1.5h+
100	120		(2h)		(1.5h)
	300		(2h)		(1.5h)
	600		(2h)		(1.5h)
10	120		(2h)	1h	1h12′ (初期)
	300	1h	1.5h(初期)	1h	1.5h
	600	1h	2h	1h	2h
5	120	1h	1h24′	1h	1h24′
	300	1h	2h	1h	2h
	600	0	2h	0	2h
1	120	0	2h	0	2h
0.5	60	0	2h	0	2h

ロ）長時間照射終了による再度の分裂抑制解除期

弱線長時間照射となると照射開始後經過時間，終了後經過時間の差が大で照射終了による再度の分裂抑制解除が良く分離して觀察される．これは表45に示す如く淋巴細胞，赤芽細胞共何れの線強度にても照射終了後大體1時間後に分裂抑制解除期を認める．これは弱線長時間照射のため蓄積線量が少く抑制期間が短縮されているものと思われる．

表45　各線强度に於ける再度の分裂抑制解除期
（照射終了による）

線强度 r/m	線量 r	分裂抑制解除期 淋巴細胞 經過時間 終了 h	淋巴細胞 經過時間 開始 h	赤芽細胞 經過時間 終了 h	赤芽細胞 經過時間 開始 h
5	600	1	3	1	3
1	120	1	3	1	3
	300	1	6	1	6
	600	1	11	1	11
0.5	120	1	5	1	5
	300	1	11	1	11
	600	1	21	1	21
0.2	120	1	11	1	11
	300	1	26	1	26
	600	1	51	(2)	(52)
0.1	120	(2)	(22)	1	21
	300	(2)	(52)	1	51
	600	(2)	(102)	(2)	(102)
0.02	120	1	101	1	101
	300	1	251	1	251
	600	1	501	1	501

4）核分裂恢復

イ）照射開始後經過時間による核分裂の恢復

表46,47に示す如く淋巴細胞では100r/m, 10r/m 5r/m の場合 120r，　300r 照射では大體照射開始後3時間に，　600r 照射では6時間後に恢復を認める．1000r/m の場合は少し後れている．赤芽細胞では稍ゝ恢復が早い．1r/m 120r 照射では分裂の恢復は照射開始後3時間であるが，終了後から計算すると僅か1時間となる．弱線になると長時間照射となり表47の如く照射中に係らず分裂の恢復を見る．しかしこの場合分裂核は變性度が

表46　核分裂恢復－Ⅰ
（照射後）

線强度 r/m	線量 r	分裂 淋巴細胞 經過時間 終了	分裂 淋巴細胞 經過時間 開始	恢復 赤芽細胞 經過時間 終了	恢復 赤芽細胞 經過時間 開始
1000	120	6h～12h	6h+～12h+	3h～	3h+～
	300	6h～12h	6h+～12h+	6h～	6h+～
	600	12h～24h	12h+～24h+	6h～	6h+～
100	120	3h～24h	3h12′～24h12′	3h～24h	3h1.2′～24h1.2′
	300	3h～	3h3′～	3h～	3h3′～
	600	6h	6h6′	6h～	6h6′～
10	120	3h～48h	3h12′～48h12′	3h～	3h12′～
	300	3h～12h	3.5h～12.5h	3h～6h	3.5h～6.5h
	600	3h～12h	4h～13h	3h～	4h～
5	120	3h～	3h24′～	3h～	3h24′～
	300	3h～24h	4h～25h	3h～24h	4h～25h
	600	6h～12h	8h～14h	3h～6h	5h～8h
1	120	1h～3h	3h～5h	1h～3h	3h～5h

表47　核分裂恢復－Ⅱ
（照射中）

線强度 r/m	分裂 淋巴細胞 照射時間 h	分裂 淋巴細胞 照射線量 r	恢復 赤芽細胞 照射時間 h	恢復 赤芽細胞 照射線量 r
1	5～	300～	5～	300～
0.5	10～13	300～390	4～10	120～300
0.2	5～15	60～120	5～15	60～120
0.1	5～10	30～60	5～14	30～84

強く，中強變性分裂核の増加のみで核分裂の増加とならない事が少くない．この變性は淋巴細胞の方に強く赤芽細胞の場合は核分裂の恢復を認めることが多い．

ロ）長時間照射終了による再度の核分裂の恢復

表48の如く弱線長時間照射では照射終了後再度核分裂の變化が認められ分裂の恢復がある．1r/m 300r，　600r 照射では分裂恢復は僅かで強く障碍されていることを示している．

表48　再度の核分裂恢復(長時間照射終了による)

線強度 r/m	線量 r	分裂恢復 淋巴細胞 經過時間 照射終了 h	分裂恢復 淋巴細胞 經過時間 照射開始 h	分裂恢復 赤芽細胞 經過時間 照射終了 h	分裂恢復 赤芽細胞 經過時間 照射開始 h
1	120	～3	～5	～3	～5
	300	6～12 (僅)	11～17 (僅)	6～ (僅)	11～ (僅)
	600	24(僅)	34(僅)	24(僅)	34(僅)
0.5	120	～24	～28	3～24	7～28
	300	3～12	13～22	3	13
	600	6	26	12	32
0.2	120	1～12	11～22	3～6	13～16
	300	12～48	37～73	6	31
	600	～12	～62	3	53
0.1	120	3～6	23～26	～6	～26
	300	3	53	6	56
	600	～12	～112	6～	106
0.02	120	6～24	106～124	3～6	103～106
	300	3	253	12	262
	600	12	512	3～12	503～512

5)　弱線長時間照射の特徴

弱線にては照射時間が長くなるので照射中に初期刺戟—分裂抑制—抑制解除—分裂恢復—分裂下降の短時間照射と同様の變化を認める．しかし照射中は變性度強く中強變性分裂核のみの増加となる場合が少くない．しかし1r/m，0.5r/m 照射中の場合淋巴細胞では中強變性分裂核のみの増加で分裂の増加は認めにくいが，赤芽細胞では變性度は増加しているが，分裂恢復を良く認め得た．これは淋巴細胞の方が變性度が強いことを示しているといえよう．次に Bloom (1948)[5] の所謂修復的過剰補償は弱線長時間照射中後期に或は照射終了後24乃至48時間後に認められる．0.2r/m，0.1r/m 照射では淋巴細胞に照射中に，赤芽細胞に照射終了48時間後に，更に0.02r/m 照射では淋巴細胞に照射中6乃至32時間に，赤芽細胞に照射中24時間以後引續き，照射終了後も24時間後迄認められた．これらの現象は過剰再生現象で放射線の一次的刺戟作用とは認め難い．

6)　分裂核の變性度

前述の如く分裂核の變性度の變化は1000r/m 乃至 0.1r/m の何れの線強度に於ても照射開始後經過時間に從つて初期刺戟期の變性度の輕度増加，分裂抑制期の中強變性分裂核を含めて全體の分裂核の減少，分裂抑制解除期の強變性核の多發，其後は變性度の減少と共に分裂の恢復という一定の形式の變化がある．線強度 0.5r/m，線量 60r 迄は線強度，線量に關せず分裂抑制解除期の強變性核の多發時は淋巴細胞で照射開始後2時間，赤芽細胞では1時間半と略ゝ一定している．弱線長時間照射では照射中に係らずこの變化が起り，照射終了後に再度分裂抑制解除期の強變性核の多發が認められる．

7)　變性核産物

1000r/m，100r/m では 120r，300r，600r 照射共照射後3時間乃至12時間に多數出現し6時間後が最大出現の山となつている．10r/m，5 r/m の 300r，600r 照射では照射時間が稍ゝ長くなつているので照射終了時に既に出現している．1 r/m，0.5r/m では照射中に多數出現し平坦な山を形成し，更に照射終了後に再度出現の山を見る．0.2r/m，0.1r/m でも終了後再度輕度出現の山を見る．これらを綜合すると變性核産物の出現は強度性核の出現より2乃至3時間後れている．このため出現の山は 0.5r/m 迄は大體照射開始後6時間で，0.2r/m，0.1r/m ではそれより稍ゝ早期に認められる．

以上を總括すると種々の線強度にて一定線量を照射した場合の核分裂の變化は照射開始以来經過時間と照射終了後經過時間の兩者を基準にした變化の綜合したものである．短時間照射に於いては開始，終了の時間差少く初期刺戟等極めて初期の變化の他は區別する必要はない．しかし核分裂の變化は照射開始と同時に始まるものであるから，一般には照射開始以来經過時間を基準にすべきである．線強度從つて線量を異にしても照射開始以来の經過時間が同じならば初期刺戟—分裂抑制—分裂抑制解除—分裂恢復—分裂低下の一定の核分裂の變化を認める．且つ線強度 0.5r/m，線量 60r 迄は線強度及び線量に關せず分裂抑制及び分裂抑制解除を略ゝ一定時間に認められる．一方照射終了により照射中の分裂抑制，變性増加の消退で

再び分裂抑制解除—分裂恢復を認める．これは當然照射終了後經過時間を基準とすべきで弱線長時間照射の場合良く分離觀察出來る．次に線強度と障碍度の關係に就いて核分裂の變化を主にして考察する．

8)　核分裂の恢復

600r 照射では圖19，20に示す如く 1 r/m 照射が核分裂の恢復が最も悪い．300r 照射でも同様である．120r 照射では1000r/mが恢復最も悪い．

圖19　600r 照射後の分裂の恢復(Ⅰ)
(淋巴細胞)

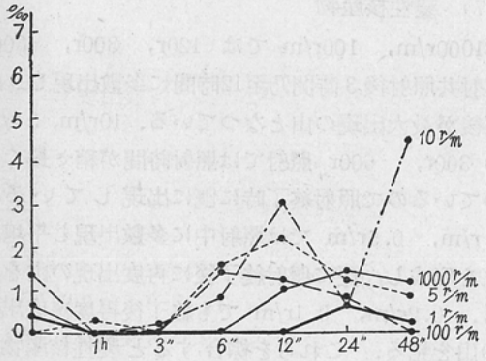
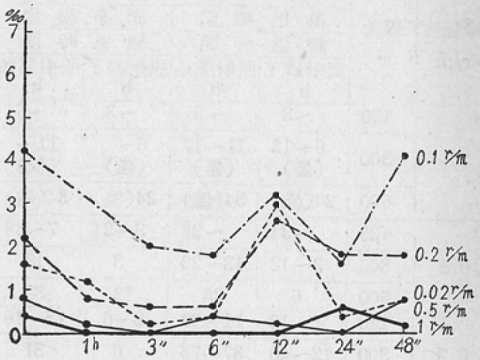


圖20　600r 照射後の分裂の恢復(Ⅱ)
(淋巴細胞)



0.5r/m　600r 照射を除けば 0.5r/m 以下の線強度では分裂の恢復は良い．以上は淋巴細胞に就ての觀察であるが赤芽細胞にても同様である．

9)　中強變性分裂核

0.5r/m 以下の弱線では中強變性分裂核の出現少く傷害の減少を認める．1 r/m の場合は比較的弱線に係らず多數出現し傷害の強いことを示している．

10) 變性核産物の出現

表49　各線强度の胚中心の變化

線强度 r/m	照射後經過時間 h	120r				300r				600r			
		發達	核分裂	細胞減少	縮少	發達	核分裂	細胞減少	縮少	發達	核分裂	細胞減少	縮少
1000	24	僅殘存	(—)	+	⊥	消失？	(—)	+	+	消失	(—)	++	++
	48	消失	(—)	+	+	？				消失	(—)	++	++
100	24	良殘存	⊥～+	(—)	(—)	稍良殘存	+	0～⊥	(—)	僅殘存	0～⊥	+	+
	48	殘存	0～⊥	(—)	(—)	稍殘存	⊥	0～⊥	(—)	僅殘存	(—)	+	+
10	24	良殘存	⊥～+	0～⊥	(—)	僅殘存	0～⊥	+	+	僅殘存	(—)	+	+
	48	良殘存	⊥～+	(—)	(—)	殘存	++	(—)	(—)	殘存	⊥	0～⊥	0～⊥
5	24	稍殘存	0～⊥	+	⊥	良殘存	⊥～+	⊥	0～⊥	消失？	(—)	+	+
	48	稍良殘存	⊥	(—)	(—)					稍殘存	(—)	⊥	⊥
1	24	稍殘存	⊥	0～⊥	0～⊥	僅殘存	(—)	⊥	⊥	消失？	(—)	+	+
	48	殘存	⊥	⊥	⊥	殘存	0～⊥	⊥	⊥	消失	(—)	+	⊥
0.5	24	稍良殘存	⊥～+	(—)	(—)	消失	(—)	++	+	僅殘存	(—)	+	0～⊥
	48									殘存	(—)	+	0～⊥
0.2	24	僅殘存	0～⊥	(—)	(—)	僅殘存	0～⊥	0～⊥	0～⊥	僅殘存	0～⊥	0～⊥	0～⊥
	48	稍良殘存	⊥～+	(—)	(—)	殘存	⊥	0～⊥	⊥	殘存	⊥	0～⊥	(—)
0.1	24	殘存	0～⊥	⊥	⊥	稍殘存	0～⊥	⊥	0～⊥	殘存	⊥～+	0～⊥	(—)
	48	殘存	0～⊥	0～⊥	0～⊥	殘存	⊥	+	⊥	殘存	⊥～+	0～⊥	(—)
0.02	24	著明殘存	+	(—)	(—)	殘存	⊥	(—)	0～⊥	殘存	0～⊥	⊥	⊥
	48	殘存	0～⊥	(—)	0～⊥	著明殘存	⊥	(—)	(—)	稍殘存	(—)	+	+

1 r/m では照射中並に照射終了後長時間に亙り多數出現を認めるのは他の強線強度の場合の短時間の出現に比して傷害が強いといえる.

11) 胚中心の變化

表49に示す如く 120r 照射では 1000r/m 最も傷害強く, 次で1 r/mの順であり, 300r, 600r 照射では1000r/m, 1 r/m 傷害強い. 綜合するに胚中心の障碍度は1000r/m 最も高く, 1 r/mがこれに次いでいる.

12) 細胞減少度

各線強度の照射終了後24及び48時間の細胞減少度は表50に示す如くである. この場合組織の收縮等のため互に比較することは稍々困難であるが, 1000r/m が減少度最も大きく次で中間の線強度で 0.2r/m 以下は減少度小である. 以上を綜合すると障碍度の順に線強度を並べると, 1000r/m, 1 r/m＞ 100r/m, 10r/m, 5 r/m＞ 0.5r/m＞ 0.2 r/m＞ 0.1r/m＞0.02r/mの順となる. 1 r/m の線強度の障碍度の大なることは佐野 (1934) [6] が既に述べている所であり, 又弱線の 0.5r/m, 0.2 r/mの障碍度の少いことは持田等 (1937) [7] の所見と一致する. 又 Canti 等 (1927) [8]の雞胚培養に於ける線強度と核分裂半減量との關係で10r/m より 2.5r/m の弱線の方が分裂抑制効果大である. Lea (1938a) [9][10] は線強度が異る場合蓄積線量が等しければ分裂抑制効果は等しいとして居る. t 時間後の蓄積線量 D_0 とすると恢復過程による減衰率は D_0/τ, 増加率は線強度 I であるから差引きの變化は $\frac{dD_0}{dt} = I - \frac{D_0}{\tau}$ である. これを積分して次式を得る.

$D_0 = I\tau(1 - e^{-t/\tau})$　I：線強度

τ：平均壽命

Lea は Canti 等の實驗値より τ の値を求め (τ=217分), 前の式より任意の線強度に對する蓄積線量 D_0 を得る照射時間 t の値を求め, 總線量 Itと線強度 I の關係曲線を得ているが, この曲線にても分裂抑制効果は1 r/m 迄は略々同様の効果で, 總線量 It の値は殆んど變らないが, 0.5r/m 以下となると總線量 It の値が急増して急激の効果の減弱となつている. Lea の理論的考察よりしても 0.5r/m 以下の効果の急激な減弱は本報告所見と一致している. これを要するに1 r/m の線強度は弱線ながら放射線感受性の高い血液芽細胞の分裂核に對し傷害が強く, この場合照射時間という因子が大いに關係して障碍度の増加を来しているものと考えられる.

表50　各線强度の細胞減少度

線强度 r/m	線量 / 經過時間 h	120r 白脾髓	120r 赤脾髓	300r 白脾髓	300r 赤脾髓	600r 白脾髓	600r 赤脾髓
1000	24	+	++	++	+++	++	++
	48	+	++	++	+	++	++
100	24	0～±	0～±	++	+++	++	+++
	48	0～±	(−)	+	++	+++	+++
10	24	+	+	+	++	++	++
	48	+	+	+	++	++	++
5	24	±	±	+	+	++	++
	48	±	+			++	++
1	24	±	±	+	++	++	++
	48	±	±	+	++	++	++
0.5	24	+	±	+	++	++	++
	48					++	++
0.2	24	±	+±	+	+±	+	++
	48	±	±	±	±	+	+
0.1	24	0～±	+	+	+	++	+++
	48	0～±	±	+	+±	+	+±
0.02	24	(−)	0～± (增加)	(−)	(−)	±	(−)
	48	(−)	(−)	(−)	(−)	0～±	(−)

(本研究を終るに臨み 恩師中泉教授の終始變らぬ懇切なる御指導, 御鞭撻及び御校閲に對し衷心より感謝の意を表する. 尙本研究の要旨は日本醫學放射線學會第13回總會及び關東地方會に於て發表した).

文　献

1) 伊東: 二十鼠脾臟に對する放射線の作用 (第1報), 日醫放誌, 14:685, 1955. —2) 伊東: 廿日鼠脾臟に對する放射線の作用(第2報), 日醫放誌, 14: 755, 1955. —3) 伊東: 廿日鼠脾臟に對する放射線の作用(第3報), 日醫放誌, 15: 132, 1955. —4) Parker: Brit. J. Radiol., 7:612, 1934. —5) Bloom: Histopathology of Irradiation from External and Internal Sources, 755, 1948. —6) 佐野: 日レ學誌, 12:240, 1934. —7) 持田, 肥沼, 笹尾: 日レ學誌, 14:201, 1936. 14:471, 1937. 15:

103, 1937. —8) Canti a. Spear: Proc. Roy. Soc., B, 102:92, 1927. —9)Lea: Brit. J. Radiol., 11:489, 1938. —10)Lea: Actions of Radiations on Living Cells, 297, 1955.

Studies on Intensities of Irradiation, Judging from Mitoses Changes by the Effects of Irradiation on Mitoses of the Hematopoietic Cells in Mouse Spleen.

By

O. Ito

Chief, Department of Radiology, Tokyo Communications Hospital the Department of Radiology, Faculty of Medicine, Tokyo Univ.
(Director: Prof. M. Nakaidzumi)

Summary

The effects of irradiation on mitoses of the hematopoietic cells, mitoses changes show a definite style being indifferent from the intensities, when the elapsed time is measured from the start and not from the end of irradiation.

This definite style of mitoses changes is consisted of next element, initial stimulation, inhibition of mitoses, release of inhibition, recovery and fall of mitoses.

In lymphoblasts, inital stimulation appears within 15 minutes, inhibition of mitoses from 30 minutes to one and a half hour, release of inhibition at two hours and recovery from three to six hours after the start of irradiation of X-ray or γ-ray, the dose of which is from 120r to 600r.

This definite style is unchangeable until release of inhibition, but recovery is influenced by these doses and intensities.

In erythrolasts, the duration of inhibition of inhibition is a little shorter, and consequently release of inhibition begins in one and a half hour.

Even in the low intensities irradiation, this definite style of mitoses changes still appears during irradiation, and similar style of mitoses reappears, when irradiation is stopped.

Among various intensities such as 100r/min, 10r/min, 5r/min, 1r/min, 0.5r/min, 0.2r/min, and 0.1r/min, the 1r/min intensity seems to give the maximum injury to the hematopoietic cells, judging from the style of mitoses changes.