

Title	エラミミズBranchiura sowerbyiにおける二次鰓形成と尾部再生に対するX線の効果 (1)
Author(s)	田中, 紀元
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 23(11), p. 1313-1325
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17812
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

エラミミズ *Branchiura sowerbyi* における二次鰓 形成と尾部再生に対するX線の効果 (I)

京都府立医科大学 生物学教室

田 中 紀 元

(昭和38年11月26日受付)

Effects of X-Irradiation on Secondary Gill Formation and Tail Regeneration
in *Branchiura sowerbyi* (I)

Norimoto TANAKA

Biological Laboratory, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kyoto.

Effects of X-irradiation on the secondary gill formation and tail regeneration in *Branchiura sowerbyi* was studied.

(1) On severing the body of *Branchiura*, gills secondarily regenerate on the operated trunk region having no gills previously.

It was studied by N. Nakamura ('41) that secondary gill formation process and tail regeneration process were independent each other. He said that the secondary formation of gills occurred in relation to the increased metabolic activity in the operated region as the result of stimulation by injury, therefore injury of the intestine is necessary for the secondary regeneration of gills.

It was reported by the author that tail regeneration is relatively more sensitive than secondary gill formation and secondary formation of gills take place within a certain dose range (up to 150 Kr X-irradiation).

Even though the intestine was injured, the secondary gill formation rate was about 20 per cent, but the animal was amputated, the rate of gill formation was 100 per cent (N. Tanaka. '63).

(2) The tail regeneration rates of X-irradiated animal are as follows: 3 Kr (100 per cent), 4.2 Kr (80 per cent), 5.1 Kr (0 per cent) and 6 Kr (5 per cent). The rate of tail regeneration of non-irradiated animals is 100 per cent. In this case, the operation of tail was carried out immediately after the X-irradiation.

The tail regeneration process of the animal takes place as follows: during 3 days after operation, the formation of secondary gills; regeneration of tail (after 5 days); regeneration of tail and disappearance of secondary gills (7 days); and the performance of complete regeneration of tail process (after 14 days) in non-irradiated control (at about 25° C). (Fig. 1)

Thus observations were done on 5th, 7th, and 14th days after operation, respectively. The animals were exposed to whole-body X-irradiation. The geometry of irradiation

were; 80 Kvp, 4 mA, no filter, dose rate of 300r/min at 10cm.

(3) The animals were amputated their tails on 4 th, 10 th and 15 th days after X-irradiation (3 Kr and 6 Kr).

The recovery from X-irradiation damage could be seen in the tail regeneration process and the rate of tail regeneration on 14 th day proceeded further with 6Kr irradiation than in the control experiment (in this case the operation was done after X-irradiation immediately) (See Table 8). And the grade of recovery grows more conspicuous as the time go on after irradiation.

(4) The animals were irradiated (3Kr, 6Kr, 9Kr and 12Kr) and operated immediately after X-irradiation. This is control-experiment. The experimental animals were reamputated, in the same region as the previous operation on 14 th day after X-irradiation.

The experimental groupes more easily recovered from irradiation damage than control. The recovery of tail regeneration rate was observed with 3 Kr and 6 Kr X-irradiation but not with 9 Kr and 12 Kr.

The rate of tail regeneration on 14 th (after reamputation) increased with 6 kr than the control (See Table 10).

From these results the author agree that the recovery of tail regeneration is the primary acute reaction (V.V. Brunst. '44) and the irreversible injury caused over dose of 9 Kr is the secondary reaction (V.V. Brunst. '44).

(5) The influence of head part on the tail regeneration was studied.

The head and tail of Branchiura were amputated simultaneously after X-irradiation (3 Kr and 6 Kr). As the control tails were only amputated. Furthermore, non-irradiated animals were operated quite in the same way as the irradiated ones.

The tail regeneration process of the experimental groupes was inhibited further than the control groupes. In non-irradiated animals such difference was not observed.

The influence of head part on tail regeneration in the irradiated animals, therefore, was considered as the result of indirect action such as weakness or neurosecretion disturbance after X-irradiation and so on.

緒 言

X線を用いることは再生に対する研究においても、他の生物学的な過程、現象に対する研究と同様に有効な方法であることが示されている。特に細胞増殖の機構等に対するX線効果の基礎的な貴重な資料の蓄積がみられる。それであるから、非常に数多くの細胞分裂乃至増殖をともなう再生過程に対するX線の影響を研究することは興味あることである。また、再生過程の多くの未知の分野、すなわちその本質または再生芽体の細胞の本源を知る手懸かりをうるためにX線の効果を研究することは意義あることと思われる。事実、上記

の目的で両生類を用いた研究論文は非常に多く見出せる。

本実験において用いたエラミミズは再生過程の第一段階に二次鰓形成をおこなう動物である。このような再生現象における再編成は今までに他のミミズでは知られておらず、動物界においてもめづらしい現象である。

この動物の二次鰓形成に対するX線の効果は非常に抵抗性が高く、150Krを照射してもなお形成されるのに反し、再生に対しては二次鰓形成を抑制する線量よりも比較的感受性が高く、2.5 Kr ~10Kr 間にその再生抑制限界線量がある、

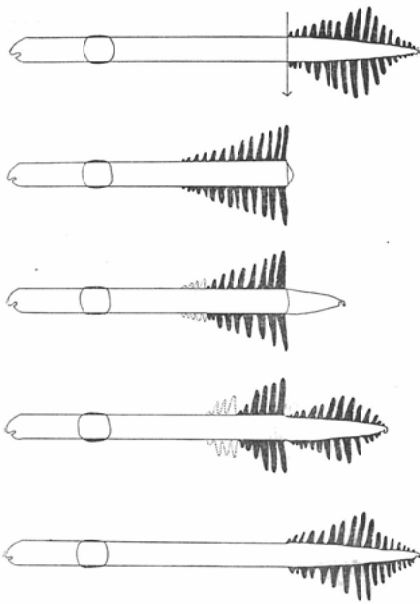


Fig. 1. A Schematic Drawing of the Normal Tail Regeneration and Secondary Gill Formation in *Branchiura sowerbyi*

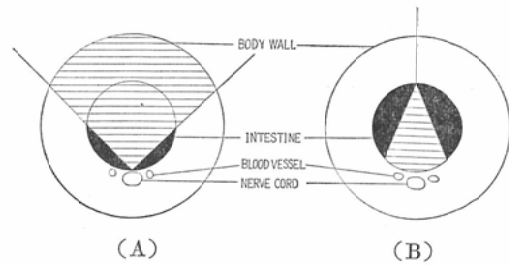


Fig. 2. Diagrams of Cross Section of Trunk Segment of *Branchiura sowerbyi*. The Shaded Area Indicate Transected Regions, Respectively.

Table 1. Secondary Gill Formation Rate When the Intestins was Injured. (A) and (B) are Represented the way of Injury as Shown in Fig. 2.

	Number of Animals Operated	Number of Animals Secondary Gills Formed	Secondary Gill Formation Rate %
A	204	40	19.6
B	213	37	17.3

田中, 仲尾¹⁾ (印刷中).

そこで, (a) 再生抑制限界線量を先の報告より一層詳細に検討し, (b) 再生過程を指標とした, 同一個体に対するX線効果の持続性をしらべ, (c) 照射後頭部切断により, 頭部域の尾部再生能力に対する影響の検討をするという3項目について実験を行った。

現在までにえられた知見は次のようである。

(A) 尾部再生および二次鰓形成に対する研究

エラミミズは身体の後部 $1/4 \sim 1/5$ 位の背腹部にえらを有する水生ミミズである。この動物の尾部再生および二次鰓形成に関する研究は Nakamura²⁾, ('41) によりおこなわれている。それによるとこの動物の後部すなわちえらを有する部分を切断すると, 25°C前後で約5日間から1週間で尾部再生が行われるが, この尾部再生が行われるまでの間にミミズの後部分すなわち今までえらの生じていなかった体幹部から新しいえらが形成される(1図)。このような鰓形成を二次鰓形成あるいは再編成とよんでいる。この現象の誘導として腸

管が重要な役割をしていることは Nakamura²⁾ ('41) により報告されている。切断によりえらの二次形成が100パーセントおこなわれることは勿論であるが, たんに腸管を傷つただけでも二次鰓形成が行なわれる。これは, 傷をつけられたために全体の代謝が変化したためと, 腸管にふくまれるある物質による誘導によつて鰓が形成されるのである。しかしながら著者³⁾ (56) は, 腸管に傷をつける際, 腸管以外の部分にも大きく傷をつけた場合も最小限にした場合(2図)も二次鰓形成率は20パーセント前後であることを知つた(1表)。しかし, 腸管に傷をつけても二次鰓形成を行わなかつた個体の尾部を切断すると100パーセントの二次鰓形成率が得られたことから, 二次鰓形成を行わなかつた個体も二次鰓形成能力は保有していることがわかる。Nakamura²⁾ の論文には形成率について記載がないが100パーセント近い形成率を得ているものと思われるが, 著者のえた結果とを比較することはさしひかえておきたい。

(B) 二次鰓形成に対するX線の効果

この動物のえらの二次形成に対するX線の効果については著者等¹⁾(印刷中)の報告がある。これによるとエラミミズにおける二次鰓形成は尾部再生に比較してX線に対する抵抗性が非常に高いことがわかる。すなわち尾部の再生が10Krもしくはそれ以下で抑制されるにもかかわらず二次鰓形成は150KrでX線照射しても可能である。このように二次鰓形成能力がX線に対して抵抗性が高いということはえらの機能の重要性によるかどうかはこの実験だけでは断定できない。また他の呼吸器官がX線に対して感受性が低いといわれている。しかしながら、このえらは呼吸作用を営んでいる、川口⁴⁾(36)、岡田⁵⁾(29)ので、このえらのX線抵抗性についても研究をすすめてみたい。

(C) 尾部再生に対するX線の効果

この動物の尾部再生は二次鰓形成よりもX線に対して感受性が高く、それを抑制できる線量は2.5Kr~10Krの間である。

1 尾部再生抑制線量について

前述したように、尾部再生に対してX線が大きな障害をおよぼし、その過程を抑制したり、遅延させたりすることは、種々の動物を材料として詳細に追及されており、その結果、再生の際に活動的になつて形態形成にあづかる能力の高い細胞群の活動がX線によつて抑えられるために再生の抑制または遅延がおこるのであらうといわれている、Curtis, W.C⁶⁾(36)。

そこで今回は線量の範囲をさらに広くして3Kr~12KrでX線を照射し、その効果をしらべた。

(a) 実験材料および実験方法

本実験に用いたエラミミズは京都市内にある著者の勤務する学校の近辺のどぶ川のひと所から採集した個体のうち、体長約6cmの個体を選び使用した。実験中の飼育条件は大体 Nakamura²⁾(41)の方法と同じである。X線照射条件は80Kvp, 4mA, フィルターなし、焦点→物体間距離は10cmで300r/minである。動物を合成樹脂製小容器に入れ、虫体に水分が附着している程度で全身照射した。照射線量は3Kr, 6Kr, 9Kr, 12Krさらに4.2Krと5.1Krで、その他に非照射個体群

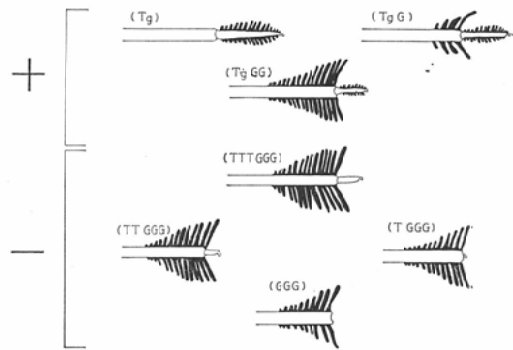


Fig. 3. The Standards of Tail Regeneration in *Branchiura sowerbyi*

Tg: Regeneration of complete tail with gills
G: Secondary gill formation
T: Regeneration of incomplete tail without gills

を対照として実験群と対比観察した。切断手術には麻酔を使用せず、照射後または照射前に手術を行なつてみたが、いずれの場合も結果に顕著な差異が認められなかつたので、本実験では照射後手術する方法によつた。対照例では切断手術後3日目に二次鰓形成が認められ、5日目には尾部の再生がみられ、7日目で尾部の再生および二次鰓の消失がおこり、14日目までに再生の過程が完成するので、実験群も同じように3日、5日、7日、14日目に観察を行なつた。

つぎに再生の基準を7段階に分けた(第3図)。尾部再生が進行し、その尾部にえらが形成された場合を尾部再生+とし、それまでの過程にあるものは尾部再生-とした。たゞし、これら尾部再生の過程の中での段階を示すには二次鰓の残存状態を規準にとつた。

(b) 実験結果

3日目の観察では二次鰓形成は対照群および実験群のすべての個体にみられる。3日目での尾部再生は与えられた線量に反比例しておこり、大きな線量をうけたほど尾部再生は遅延あるいは抑制されている。5日目では3日目観察にみられた突起状えらは完全なえらとなつている。そして対照群と比較して、えらそのものはほとんど差がない。ところが、尾部再生は対照ではすでに行われ、その再生した尾部にえら形成も(23個体中20

Table 2. The Tail Regeneration and Secondary Gill Formation on 14th Day After Operation With Simultaneous X-Irradiation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation		Tail Regeneration		Died
		+	-	+	-	
3	21	21	0	21	0	0
4.2	10	10	0	8	2	0
5.1	10	10	0	0	10	0
6	20	20	0	1	19	0
9	19	19	0	0	19	0
12	21	21	0	0	21	0
Non-irradiated control	12	12	0	12	0	0

個体) みられるにもかかわらず, 実験群(3Kr~12Kr)では全くみられない。やはり再生過程に遅延もしくは抑制がみとめられることがわかる。また尾部再生過程の進行は照射線量に比例して遅延されている。7日目観察で対照群においては二次えらがしだいに消え去つてゆく傾向がみられる, すなわち全個体が Tg⁺GG 状態になっている。これに比し, 実験群では3Krをのぞき4.2Kr以上では尾部再生過程がいちぢるしく遅延している。とくに12Krではその程度がひどい。しかし, 3Krでは尾部再生の過程は対照に比べるとやや遅延されてはいるが, Tg⁺GG状態になった個体もある。つぎに14日目の観察結果を2表にまとめてみた。6Krでは尾部再生状態は再生芽体よりも成長した形態で停止しているが, 12Krでは大部分の個体は再生芽の程度もしくはそれまでの状態で抑制されている。9Krでは頂度その中間の状態で停止している。以上のように用いた線量においては二次的に形成されたえらはすくなくとも14日目の観察日までは消去することなくそのまゝの状態が残っている。このときすでに対照群では全個体再生過程を完成している。3Kr照射では大部分の個体は再生の過程を完成しているがなかにはまだ二次えらが残っている個体もある。

(c) 結果のまとめと考察

(1) 二次えら形成は著者等の先の報告¹⁾(印刷中)の結果とかわりなく, 本実験で用いたいかなる線量(3Kr~12Kr)でもかならず行われることが確かめられた。

(2) 尾部再生に対するX線の効果はあたえられた線量に比例しており, すなわち大線量ほどその効果は大である。

(3) 3Krおよび4.2Krでは尾部再生は抑制されないが, 遅延がみられる。

(4) 5.1Krおよび6Krでは完全な抑制はみられないが, X線の効果はかなり大きい。

(5) 9Kr以上では, 尾部再生が14日以内では完全に抑制されている。

(6) 実験飼育期間中死んだ個体は一つもなかった。

以上の結果, すくなくとも14日間(非照射対照群の全ての個体が十分に再生過程を完成した)で再生を抑制できるX線の最低線量は5Krあるいは6Krであることがわかった。そこでこの線量を, 放射線生物学において致死線量の基準として慣用されているLD_{50/30}の代りに, この実験での基準としてエラミミズを用いて, 次の段階の研究, 例えば, 放射線保護効果の, また回復の研究その他種々なる放射線生物学的研究に進むことができるのである。

2 再生過程を指標とした放射線効果の持続性

(A) 照射後4日目, 10日目, 15日目に切断した場合の再生能力の検討

通常X線を照射した場合, その被照射個体におよぼした影響はおかれすくなかれある一定期間をへたのちでなければ可視反応としては現われない。すなわち照射してからその生物に反応が出現するまでの潜伏期が存在する。放射線生物学においてこの潜伏期は近年よく研究されてきたが(L. Eldjarn and A. Pihl⁷⁾'60)それでもなお大きな問題として残されている。そしてこの潜伏期中に, いろいろの要因が関係している。その要因の一つとして細胞分裂の速度がある。細胞分裂とX線感受性についてはC. Packard⁸⁾('31)等数多くの論文が報告されている。さらにもう一つの要因として放射線の強度がある。強度が大であれば

反応はまもなく現われるし、生物にわづかな障害しかあたえないような強度であれば、回復という現象もみられる。

そこで先の実験から、不可逆的な生物学的障害をおよぼさないような線量を用いて再生過程を指標としてX線効果の持続性をしらべた。

(a) 実験材料および方法

実験材料・飼育条件・X線照射条件は先の実験と全く同じである。

実験方法は照射後4日目、10日目そして15日目に切断手術を施し、手術後5日目、7日目、14日目に尾部の再生状態を観察した。対照としては、照射直後に手術を施した個体群と非照射群とを設けた。飼育中の室温は25～31℃であった。

(b) 実験結果

(A-1) 照射後4日目に手術した個体群5日目観察では線量3Kr, 6Krとも対照群とほとんど変わらない。7日目観察では両線量においていくらか差がみられる。すなわち3Krでは1個体を除き尾部再生は+となっているが対照群では21個体中8個体が+である。また6Krでも尾部再生状態が対照群に比し進んでいる個体がみられる(第3表)。14日目の観察結果を第4表に示した。3Kr, 6Krとも照射直後手術の対照群と対比すると、3Krでは再生の進行の程度が増加していることがわかる。さらに6Krになるとその傾向がなお明確になり、尾部再生+の個体も増加

Table 3. The Tail Regeneration on 7th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation	Tail Regeneration				
			Tg G	Tg GG	TT TG GG	TT GG GG	TG GG
3*	5	5	0	4	1	0	0
3**	21	21	0	8	13	0	0
6*	5	5	0	0	2	3	0
6**	20	20	0	0	0	19	1
Non-irradiated control	5	5	5	0	0	0	0

* The operation was done on 4th day after X-irradiation

** The operation was done immediately after X-irradiation

Table 4. The Tail Regeneration on 14th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration	
			+	-
3*	5	5	5	0
3**	21	21	21	0
6*	5	5	3	2
6**	20	20	1	19
Non-irradiated control	5	5	5	0

* The operation was done 4th day after X-irradiation

** The operation was done immediately after X-irradiation

し、二次鰓の残っている Tg G よりも進んだ個体も現われている。このことは対照群と比較して著しい差があることがわかる。

なお二次鰓形成は、実験個体の全てに認められた。

(A-2) 照射後10日目に尾部切断した個体群

5日目観察で3Krでは再生+の状態になった個体があった。そのとき対照群ではそのような状態のものは1個体もない。また、非照射個体群では大部分が再生+の状態である。6Krでは対照群と大差なかつた。えらの二次形成は対照、実験

Table 5. The Tail Regeneration on 7th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration				
			Tg G	Tg GG	TT TG GG	TT GG GG	T GG
3*	10	10	2	7	1	0	0
3**	21	21	0	8	13	0	0
6*	9	9	0	1	2	6	0
6**	20	20	0	0	0	19	1
Non-irradiated control	5	5	5	0	0	0	0

* The operation was done on 10th day after X-irradiation

** The operation was done on immediately after X-irradiation

Table 6. The Tail Regeneration on 14th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation	Tail Regeneration	
			+	-
3*	10	10	10	0
3**	21	21	21	0
6*	9	9	8	1
6**	20	20	1	19
Non-irradiated control	5	5	5	0

* The operation was done on 10th day after X-irradiation
 ** The operation was done immediately after X-irradiation

Table 7. The Tail Regeneration of 7th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation	Tail Regeneration				
			Tg G	Tg GG	TT TG	TT GG	T GG
3*	8	8	0	5	3	0	0
3**	21	21	0	8	13	0	0
6*	10	10	0	1	2	6	1
6**	20	20	0	0	0	19	1
Non-irradiated control	5	5	5	0	0	0	0

* The operation was done on 15th day after X-irradiation
 ** The operation was done immediately after X-irradiation

Table 8. The Tail Regeneration on 14th day After Operation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation	Tail Regeneration	
			+	-
3*	8	8	8	0
3**	21	21	21	0
6*	10	10	9	1
6**	20	20	1	19
Non-irradiated control	5	5	5	0

* The operation was done on 15th day after X-irradiation
 ** The operation was done immediately after X-irradiation

群ともみられた。7日目観察結果を第5表に示した。これによると3Krでは再生+の状態のものが対照群では20個体中1個体もないが、実験群ではすでに90パーセントがその状態まで進行している。さらに6Krでは再生+の個体は実験群においてはすでに認められるが対照群では1個体もない。14日目観察結果を第6表に示した。この表から対照群直後切断した対照群と対比すると、3Krでは、両者共に全て尾部再生は+になっているが、しかし切断後14日目までに再生過程におけるその能力の回復を知ることかできる。6Krの場合には、明らかに差異が認められる。対照群において20個体中1個体のみが+であつたのに反し、実験群においては9個体中8個体が+になっている。結果として対照群と逆転していることがわかる。

(A-3) 照射後15日目に尾部切断した個体群

5日目観察で対照群に比し大差がない。7日目観察を第7表に示す。(A-1)や(A-2)で観察されたように3Kr, 6Krにおいては対照に比し再生状態がより進行している。14日目観察結果を第8表にまとめた。3Krでは前述のA-1, A-2とほとんど同程度で、6KrにおいてはA-2にみられたと全く同じ結果を得ている。

(c) 考察および要約

生物をX線照射して、その効果が現られるま

での潜伏期に関係した実験は数多くある。この潜伏期に細胞の改変が認められ、その障害度の大小によつてその生物に様々な様相が現われてくる。照射線量があまりにも大きければ障害はもはや回復せず、その生物組織は退化して遂に死ぬ。しかし線量如何によつて有糸分裂は一時的に抑制されただけで、ある期間経るとまた回復して正常な有糸分裂をすることもあり、また増殖する能力を失うが一定期間は生存できる場合もある。

今、本実験で問題にしているのは再生過程に対するX線の効果が持続されるかもしくわ氷久に能力を失うかをみることである。すなわち、再生

という現象をとおして回復機構の一端を観察することである。これについては、V.V. Brunst and E.A. Chérémétiéva⁹⁾ ('36) の相当長期間にわたつた Triton cristatus での観察がある。すなわちその観察は5年から6年の間、局部照射を施した動物の肢を繰りかえし切断したが、この場合照射された肢の再生能力は完全に失なわれているが、他方の非照射肢は全く正常に再生がみられた。

本実験では R₁₀₀₍₁₄₎ (尾部再生を14日観察の範囲内で抑制する線量)に近い6KrとR₀₍₁₄₎ (尾部再生が14日目観察で+となる線量)の3Krを用いて尾部再生状態を観察した結果、6Krではあきらかな再生能力の回復が認められた。とくに照射後15日間飼育したのちに切断手術した群では照射直後に手術した群と結果が逆転することがわかつた。また照射後10日目に手術した群でもそれに近い結果を得ている。しかし、照射後の日数と再生能力の回復とはかならずしも対応してないが、照射後、切断するまでの期間が増加するにしたがつて再生率、換言すれば再生能力の回復現象は増加する傾向が認められる。このことは3Krについても言えることで、切断後14日目観察では照射直後切断対照群と同様に全て+になってしまうのでその点では回復の差異がはつきりしないが、その過程においてあきらかに回復の傾向が認められる。実験に用いた個体数がすくなかつたために断定できるまでにはいたつてないが、傾向だけはあきらかに認められる。こゝで問題になるのはR₁₀₀₍₁₄₎ をきめる日時が14日目で早すぎはしないかということであるが、正常な再生過程を考えるとこの日数はこの実験目的に対しては一つの指標としてよいと思う。

また、この回復現象が個体の全体のはたらきについてではなく、局所的な再生現象を扱つているので哺乳類等で致死率を指標とした回復現象と同一機構によるものであるかどうか現在のところよく分らない。しかしながら、本実験での回復現象は局所的な再生過程についてではあるが、全身照射したのであるから、その機構を明らかにすることはこれだけの実験では不可能である。間接的

に、他の被照射組織からの影響とか、再生生長にともなう栄養不摂取の影響とか、再生に関係する細胞の影響等々が関与していると思われる。事実、V.V. Brunst and E.A. Schremetjewa¹⁰⁾ ('33) は Pelobates fuscus の幼生の尾が再生しているとき全身照射と局部照射を同時に行つて、その効果を観察した結果、再生している器官は局部照射よりも全身照射の方により強く影響を受ける、それは他の部分の間接的な影響によるものであると言つている、この種の再生局部のうける間接的な影響に関してはCaspary, W¹¹⁾ ('26) の研究もある。

以上を要約すると、

(1) 照射後一定期間を経れば個体の再生能力はあきらかに回復している。

(2) 3Kr では14日目観察で照射直後尾部切断した対照群と一定期間を経たのちに手術した実験群はともに再生+になつている。すなわち再生能力はその過程で充分回復した徴候を認めることができる。

(3) 6Kr では最終観察で、照射直後切断対照群と実験群とを対比すると、再生能力の回復はあきらかに認められる。すなわち、照射後15日目に切断手術をした個体群では直後照射対照群と結果が逆になる。

(B) 被照射同一個体において、二度切断した場合の再生能力の検討

前実験で述べたように、照射された直後から障害が出現するまでに色々な過程が進行する。その中の一つに回復の現象も含まれる。しかし現在でも回復過程については十分な知見が得られていない。哺乳類の場合、被照射動物に正常組織を移植。注射することによつて死亡率が減少することが認められているが、この場合はこれらの組織が一時的に障害組織に代つて役立つので、厳密にその個体の回復とは異なることであると思われる。しかし種々な化学的保護物質の効果と回復要因との関連は今後に残された大きな問題でもある。

ところで、前述の実験で回復現象の一端を認めることができたか、その機構については現在の段階では不明である。しかしこの一つの手がかりを

Table 9. The Tail Regeneration on 7th day After Reamputation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration					
			Tg G	Tg GG	TTT GGG	TT GGG	T GGG	GGG
3*	21	21	7	13	1	0	0	0
3**	21	21	0	8	13	0	0	0
6*	19	19	0	0	2	14	1	2
6**	20	20	0	0	0	19	1	0
9*	19	19	0	0	0	16	3	0
9**	19	19	0	0	0	13	6	0
12*	21	21	0	0	0	8	4	5 (4) +
12**	21	21	0	0	0	0	15	6
Non-irradiated control	10	10	10	0	0	0	0	0

* The reamputation was done on 14th day after the first operation with simultaneous X-irradiation

** The operation was done immediately after X-irradiation, + Died (4)

Table 10. The Tail Regeneration on 14th day After Reamputation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration		Died
			+	-	
3*	21	21	21	0	0
3**	21	21	21	0	0
6*	19	19	7	12	0
6**	20	20	1	19	0
9*	19	19	0	19	1
9**	19	19	0	19	0
12*	21	21	0	21	11
12**	21	21	0	21	0
Non-irradiated control	10	10	10	0	0

* The reamputation was done on 14th day after the first operation with simultaneous X-irradiation

** The operation was done immediately after X-irradiation

たどつて次の段階と進みたい。そこで次のような実験を行なつた。

(a) 実験材料および実験方法

実験材料とX線照射条件は今までと同じである。実験方法は次のようである。X線線量 3Kr, 6Kr, 9Kr, 12Krで照射した個体を直後に切断手術し14日経過したものをを用いた。この実験ではさらに先に手術を施したと同一箇所または頭部寄りの1体節（これは尾を再生していない個体にかぎる）で切断手術をした。これらの実験群と再度

の切断は行つてない対照群と比較してX線の効果の持続性を再生能力と関連させてしらべた。

(b) 実験結果

5日目観察の結果は非照射対照群では最初に切断しただけのものと2度の切断したものとで再生状態には大差がない。しかし照射群では3Krで大きな変化が認められる。すなわち実験群では再生+のものが約50パーセントも認められるのに比し、対照群ではこの状態にまで進行した個体は1個体もなかつた。また先の(A)の実験に比べて

再生状態はよりよく進行している。6Kr では余りその差が認められなかつた。また(A)と比しても大差ない。9Kr および12Kr ではわづかながら対照群より再生状態が進行しているが+となつたものはない。7日目観察結果を第9表に示した。表にみられるように、対照群では再生+の状態が3Kr では21個体中8個体に過ぎないが実験群では21個体中20個体もある。また6Kr, 9Kr, 12Kr では、あまり対照群と差異は認めにくかつた。14日目観察を第10表に示してある。この表により、二次鰓形成はあらゆる場合、何れの実験群、対照群においてもみられた。尾部再生に関しては、3Kr では再生が+になることは今までの結果とかわりないが、再生過程において対照群と比し再生状態がより進んでいることが認められた。6Kr では、再生が+になつた個体が $\frac{1}{3}$ も認められ、(A)に比しややその比率は低い但对照群にくらべると著しい差異がある。9Kr では対照群との差異はほとんどなく、そして12Kr では約50パーセントが死亡してしまつた。

(c) 考察

以上の実験から、二次鰓形成はいかなる線量でも、また2度の切断手術においても形成される。尾部再生は対照群では3Kr で100パーセント+になり、6Kr では(すくなくとも本実験14日目観察日)5パーセントであり、より以上の線量(9Kr, 12Kr)では0パーセントであつた。ところが、2回目切断では3Kr では100パーセント再生したが、それまでの過程に対照群と質的な差異が認められた。また、もつとも顕著に再生能力の回復が認められたのは6Kr で、+の結果が36パーセントにも増加した。しかし9Kr 以上では完全に再生能力がうしなわれて再生は0パーセントであつた。

3Kr, 6Kr でこのような再生能力の回復を認めたことはV.V. Brunst^{12,13)}(44)のいう一次急性反応で、細胞、組織の一時的な障害がじよじよに回復する現象と解釈してもさしつかえないと思われる。すくなくとも本実験では全身照射であつたためにより再生過程が遅延されたのかも知れない。また、9Kr 以上の照射をうけた個体に

みられる再生の完全な抑制はある一定期間死にもしない安定期間を保つ二次反応(V.V. Brunst. 12,13)44)の現われであろう。それ故に、3Kr の場合には、全身的に再生能力が一時障害されて再生は遅延しながらもついには100パーセント再生が認められる。その障害を受けた再生域細胞や他の組織が時間を経るにつれて漸次回復したのであろう。6Kr の場合も同様であろうが、3Kr よりもその障害の程度が強かつたためにその影響も大きい、それも日時を経るとともに回復し、36パーセントもの+の結果を得た。こゝで注意しなければならぬことは、こゝではあくまでX線の効果の持続性を問題にしているのであつて、2度の切断によつてえられた結果が、たとえその現われた現象が回復の様相を示し、効果がうしなわれたようにみえたからといつて、これが他の要因、例えば二度の切断による刺戟等によつて再生がうながされたのではないかという問題が残されている。

3 頭部の尾部再生におよぼす影響の検討

神経系はX線照射に対し他の器官または組織よりも放射線抵抗性であることが知られている。しかし機能に変化をひきおこすには相対的に小線量でたりることがわかつてきた。例えば興奮性の減少、興奮過程と抑制過程の間の不均一な誘発および条件反射の変化などである。

一方、再生と神経との関係については種々な動物での実験があり、主として両生類を対照としてそれに対する検討もなされている(蒲原¹⁴⁾56)。ミミズで神経の移植実験をおこない、再生において神経が大きな役割をはたしていることをOkada and Kawakami¹⁵⁾(43)が詳細に報告している。また、渦虫のような再生能力の旺盛な動物でも、脳あるいはそれに附属する神経組織を取去ると頭の再生は著しく阻害され、ときには阻止されることもある(岡田¹⁶⁾51)。

そこで、本実験ではエラミミズにX線照射後、頭部を切断し、尾部再生におよぼす影響を確かめた。

(a) 実験材料および方法

飼育および照射条件は前述と全く同じ方法によ

Table 11. The Tail Regeneration on 7th day After Amputation of Head and Tail Following X-Irradiation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration					
			Tg G	Tg GG	TTT GGG	TT GGG	T GGG	GGG
3	10	10	0	0	2	8	0	0
3**	21	21	0	8	13	0	0	0
4.2	10	10	0	0	1	9	0	0
4.2**	10	10	0	0	4	6	0	0
5.1	10	10	0	0	0	10	0	0
5.1**	10	10	0	0	1	9	0	0
6	10	10	0	0	0	9	0	1
6**	20	20	0	0	0	19	1	0
Non-irradiated control #	10	10	10	0	0	0	0	0
##	10	10	10	0	0	0	0	0

** The tail was only amputated # The tail was only amputated
 ## Both head and tail were amputated

Table 12. The Tail Regeneration on 14th Day After Amputation of Head and Tail Following X-Irradiation

Dose (Kr)	Number of Animals	Secondary Gill Formation +	Tail Regeneration	
			+	-
3	10	10	2	8
3**	21	21	21	0
4.2	10	10	2	8
4.2**	10	10	8	2
5.1	10	10	1	9
5.1**	10	10	0	10
6	10	10	0	10
6**	20	20	1	19
Non-irradiated control #	10	10	10	0
##	10	10	10	0

** The tail was only amputated
 # The tail was only amputated
 ## Both head and tail were amputated

つた。X線照射線量は 3Kr, 4.2Kr, 5.1Kr, 6Kr で、照射後、頭部および尾部を切断した。また、対照として非照射個体の頭部および尾部を切断したものと、尾部切断のみのものをつた。

なお、照射後尾部だけを切断したものとしては前実験1の結果を対照とし利用し比較検討した。

(b) 実験結果

(b-1) 切断後5日目の観察結果

実験群と対照群を比較すると、まず非照射対照群では、頭部・尾部切断と尾部切断との間には大差がみられず、大部分が再生+である。しかし実験群では3Krで尾部だけ切断のものに対し再生状態のおくれがみられたが、4Kr以上では両者の間に差異はほとんどない。

(b-2) 切断後7日目の観察結果

第11表に示した。非照射群では尾部切断のものと頭部・尾部切断のものとは全然差異が認められない。3Krでは対照群ではすでに21個体中8個体が再生+になっているのに、実験群では再生+の個体は1個体もない。4.2Krでは3Krほどに顕著ではないがそれでも幾分成長過程におくれの傾向がみられる。ところがそれ以上の線量ではほとんど差がない。

(b-3) 切断後14日目の観察結果

第12表にまとめた。この表に示されているように、二次鰓形成は尾部再生と無関係に、また照射線量の大小によらず、さらに頭部・尾部切断した

実験群でも 100パーセントみられるから、二次鰓形成は頭部切断による影響がないことが了解される。一方、再生に関しては非照射群ではその過程、結果は質的にも、量的にも頭部切断によつても変化がない。ところが実験群の 3Kr と 4.2Kr ではあきらかに手術のちがいによる差異が認められる。すなわち、14日間観察で 3Kr では尾部切断対照群は 100パーセント再生するのに実験群の尾部再生は10個体中2個体だけが+であり、なお 4.2Kr も同様である。5.1Kr以上でも幾分その傾向がみられる。一方、頭部再生は被照射群において非照射群に比し著しく遅延する。

(c) 考察

以上の実験結果から尾部再生に対する頭部切断の影響は非照射群の結果ではかならずしも頭部神経系の存在が必要であるとはいえないことがわかった。このことは、Okada and Kawakami¹⁵⁾ (43) のミミズの実験では神経が傷口の再生部位にあれば再生はその部位から行われる。また、Todd, J.T.¹⁷⁾ ('23)によると両生類の肢の再生は傷口の大小や肢に分布する血管によつて影響されるのではなく、神経さえ切らなければ再生力は影響を受けないという説とも矛盾しない。何故なれば、本実験では頭部を切断しているが尾部の切断部位すなわち再生部域には神経は残されているからである。ところが、被照射実験群では 3Kr, 4.2Kr で尾部再生が、対照群で 100パーセントあるいはそれに近い値を得ているに反し、遅延ないし抑制されている。これはあきらかに頭部域の切断は尾部再生に一義的に関与しないとしても何らかの影響をあたえるものと解釈しなければならない。それはOkada and Kawakami¹⁵⁾, Todd¹⁷⁾ の言う神経の存在による直接的な影響ではなく、例えば神経分泌作用のようなことが二次的に関与するのかも知れない。あるいは、具体的にどのような機作によるものかは不明だけれど X線照射による全身的な再生能力の減少が頭部域切断によつて一層つよまるのかも知れないこの実験結果から、再生を支配する部位(器官)について一つの手懸がりを得たと思つている。

結 論

エラミミズに X線照射し、その尾部再生および二次鰓形成に対する効果を研究した。

(1) エラミミズの尾部再生が行われる間に残された体節にエラの二次形成が行われる。

X線照射により、尾部再生が抑制される線量よりもなお大線量でエラの二次形成が行われることをみた。なお腸管に傷をつけただけでの鰓の二次形成率は約20パーセントにすぎなかつた(田中²⁾ 56)。

(2) 照射直後に尾部を切断し、切断後14日目の観察では 3Krでは 100パーセント、4.2Krでは約80パーセント、5Krで0パーセント、6Krでは5パーセント尾部が再生した。(対照群では100パーセント)

(3) 照射後4日目、10日目、そして15日目に切断した場合 3Krではその再生過程に、6Krでは再生過程と最終観察結果で回復の傾向が認められ、その回復率は照射後切断までの日数の経過とかならずしも対応していないが、4日目よりもおそい方が回復の率が増加している。

(4) 被照射群(3Kr, 6Kr, 9Krそして12Kr)で照射直後切断し、14日間再生を観察した後、これを先と同一箇所または1体節頭部よりで再切断し、尾部再生を観察した結果、この実験群にも回復の傾向が認められた。すなわち、3Krでは再生過程で、6Krでは再生過程および最終観察でみとめられているが、9Kr, 12Krでは全然その傾向が認められなかつた。これは6Krまでは全身 X線照射によつて、再生にあづかる細胞、組織等の再生能力が不完全な障害をうけるが、障害がまだ可逆的であるので回復されるが、9Kr以上では完全障害を受け不可逆的となつた結果であるとおもわれるが、(3)および(4)については将来の研究にまたねばならない。

(5) 照射直後に(3Kr, 4.2Kr, 5.1Krそして6Kr)頭部および尾部を切断して、尾部再生に対する頭部域の影響をみると、尾部切断のみの対照群に比較して著明な尾部再生のおくれあるいは抑制が認められる。非照射群では両者の差異はほとんどない。したがつて、頭部は照射による再

生過程の障害を寛和する何等かのはたらきをもっているということが出来る。

謝 辞

稿を終えるにあたり、多忙の中、心から御校閲くださり、御批判をしてくださいました京都府立医科大学教授小野喜三郎先生に厚くお礼申し上げます。常に御指導御鞭達をいただいた放射線医学総合研究所生物部長仲尾善雄先生に深甚なる謝意を表す。また、実験の途次御批判、助言をいただいた京都府立医大講師高本薫氏に謝意を表す。生存中種々御指導下さいました立教大学教授 故村地孝一教授の御冥福をお祈り致します。

文 献

- 1) 田中紀元, 仲尾善雄 (1963) 動雑72: 289~292.
- 2) Nakamura Norio: Secondary Formation of Gills in Branchiura sowerbyi by the Transformation of Trunk Segments. Jap. Journ of Zool. Vol. IX No. 2 195~208. (1941) — 3) 田中紀元 (1956) 動物学会大会にて発表. — 4) 川口四郎 (1936). 動雑. 48(4). 205~206. — 5) 岡田卓雄 (1929). 動雑. 41(490-491)416~417. — 6) Curtis, W.C.: Effects of X-rays and Radium upon Regeneration. In, Biological Effects of Radiation. Ed. B.M. Duggar. 411~457. McGraw-Hill Book co. New York, London. (1936).
- 7) L. Eldjarn and A. Phl: Mechanisms of Pr-

otective and Sensitizing Action. In; Mechanisms in Radiation Biology. Ed. M. Errera and A. Forssberg. Vol. II. 231~296. Acade Press. (1960) — 8) Packard, C.: The biological effects of short radiations. Quat. Rev. Biol. 6: 253~280. — (1931). — 9) Brunst, V.V. and E.A. Chereemetieva: Arch Zool expe Gen. 78: 57~67. (1936). — 10) Brunst, V.V. and E.A. Schremetjewa: Arch Entwoch Org., 128: 181~215. (1933). — 11) Caspary, W.: Physiologie der Röntogen und Radium strahlen. Hb. norm Pat-hol Physiol., 17: 343~390. (1926). — 12) Brunst, V.V.: Untersuchung des Einflusses von Röntgenstrahlen auf die regenerierenden und erwachsenen Extremitäten bei Urodelen. Arch Entwmech Org. 142: 668~705. (1944). — 13) Brunst, V.V.: Untersuchung des Einflusses von Röntgenstrahlen auf die Entwicklung bei Amphibien. Arch Entwmech Org., 142: 706~729. (1944). — 14) 蒲原春一 (1956). 実験形態 10: 83~104. — 15) Yo, K. Okada and I. Kawakami: Transplantation experiments in the earth worm, Eisenia foetida (Saviginy) with special remarks on the inductive effect of the nerve and on the differentiation of the body wall. J. Fac Sci. Tokyo Imp Univ. IV 6 (1943). — 16) 岡田要 (1951). 現代の生物学 (2) 発生. 283~340. — 17) Todd, J. T (1923). Quart. J. Sci., Lit. Arts. 16: 84~96.