

Title	ウサギの脳の自発電気活動および誘発電位におよぼす放射線の影響 1. 海馬自発電気活動および皮質視覚領の誘発電位におよぼすX線の影響
Author(s)	南沢, 武; 土屋, 武彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(8), p. 1040-1048
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15772
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

ウサギの脳の自発電気活動および誘発 電位におよぼす放射線の影響

1. 海馬自発電気活動および皮質視覚領の誘発電位 におよぼす X 線の影響

放射線医学総合研究所障害基礎研究部 (部長 江藤秀雄博士)

南 沢 武 土 屋 武 彦

(昭和39年9月24日受付)

The Effects of Ionizing Radiation on the Spontaneous and Evoked
Brain Electrical Activity in Rabbits.

1. The Effects of X-Rays on the Hippocampal Spontaneous Electrical Activity and Visual Cortical Response to Photic Stimulus.

By

Takeru Minamisawa and Takehiko Tsuchiya.

Division of Radiation Hazards (Head; Hideo Eto).

National Institute of Radiological Sciences.

The effects of X-rays on the spontaneous and evoked brain electrical activity were studied in two group of rabbits, each of which received 1,000 r of radiation either on whole body (W-group) or an head (H-group).

Two kinds of spontaneous electrical activity, arousal and sleepy patterns, were observed before irradiation.

In W-group after irradiation the appearance rate of arousal pattern showed an immediate increase followed by a sharp decline. In several hours the rate began to increase gradually. The rise continued up to 20 hrs when it reached a level higher than that in control. At 24 hrs there appeared a tendency to return down to the control level.

In H-group, however, irradiation did not bring about an increase to the appearance rate until about 10 hrs after which the rate increased gradually to reach a level higher than those in W-group or control at 24 hrs.

In control the evoked potential caused by photic stimulus presented a small rapid wave which was followed by a large slow one.

In W-group the potential of the large wave gradually became lower and lower until at 8 hrs when it reached the minimum level, from which it returned to the control level at about 24 hrs after irradiation.

In the case of H-group the minimum level of the potential appeared at 4 hrs with the similar tendency of returning up to the control level at 24 hrs.

It was observed that the evoked potential fluctuated among individual animals much more in H-group than in W-group.

緒 言

従来、哺乳動物の中枢神経系は電離放射線に対し比較的その感受性が低い器官であると考えられていた。このことはひとつにはその研究が古典病理学的方法のみに依存していたこと、またひとつには、電気生理学的研究の際、その対象が哺乳動物の脳でも限局した一部の皮質や末梢神経のみに限られていたことによる。

最近にいたり、哺乳動物の大脳の皮質下部への電離放射線の影響を電気生理学的に研究することにより、比較的低い線量 (LD₅₀) でその効果のあることが H. Gangloff (1962)¹⁰⁾ のネコやウサギによる研究、および T.J. Haley (1962)¹²⁾ のネコによる研究等により知られてきている。

H. Gangloff (1962)¹⁰⁾ は照射直後、海馬にスパイク発射が出現し始め数日経過した後消失することを、また T.J. Haley (1962)¹²⁾ はその頻度が照射3～7時間後で最大なることを観察している。

一方、F. Rosenthal and P. S. Timeras (1963)¹⁷⁾ はシロネズミの脳の自発電気活動および誘発電位を記録し、X線照射により自発電気活動は変化しないが、誘発電位の潜時と電位の大きさが変化するといっている。

また C.S. Bachofer (1957, 1962a)³⁾⁴⁾ や C.S. Bachofer and M.E. Gautereaux (1959, 1960a, 1960b)⁶⁾⁷⁾⁸⁾ は、シロネズミの尾の神経やミミズの巨大神経を用い電気生理学的立場から、神経線維への放射線の影響を研究しその様相を明らかにしてきている。彼等は連続照射中の実験で、これらの神経の種々の電気的性質がいずれも一時的に変化することを観察している。これに対し N. Allen and J.G. Nichollis (1962, 1963)¹⁾²⁾ は、摘出されたシロネズミの横隔膜の神経筋標本にX線を照射し、そのシナプスの部分がとくに影響を受けるという結果を報告している。

しかしながら、哺乳動物の中枢神経系の自発電気活動が放射線照射後時間の経過とともにどのよ

うに変化するかについて観察した基本的研究はきわめて少ない。

そこで、著者等はウサギにX線を照射し、大脳の新皮質と古皮質(海馬)の自発電気活動およびそれらの領域における誘発電位への影響について経時間的な研究を行なった。

材料および方法

材料として、本研究所で自繁したウサギ(体重、約2.5kg、約6カ月令)を用いた。実験数日前、動物を実験環境に慣らすため飼育室から実験室に移した。Nembutal (0.5g/kg)の静注後動物を脳定位固定装置に固定し、その後記録電極を挿入し、それを歯科用セメントで頭蓋に固定した。

記録電極には、直径0.5mmの銀線の先端を球形(径1mm)にしたもの(皮質表面記録用)およびステンレス針(径0.2mm)をシリコンワニスで先端のみ残して絶縁したもの(深部用)を使用した。

大脳皮質の左右の体性知覚領、運動領および視覚領には各一對の銀球電極を、また左右の背側海馬にはステンレス針電極を埋没した。おのおの電極挿入部位は M. Monnier and H. Gangloff (1961)¹³⁾ の脳図を用いて決定したが、とくに海馬の場合には電極の刺入によつて発現する損傷発射を示標として電極を固定した。またネジ釘を前頭部に固定し、これを不関電極とした。記録の対象には、①皮質体性知覚領、運動領、視覚領および海馬より記録される自発電気活動、②光刺激により皮質視覚領に現われる誘発電位を選んだ。

記録方法はすべて単極誘導法で、脳波計(時定数0.3sec、日本光電 K.K. 製、ME-40D型)およびブラウン管オシロスコープ(時定数0.3sec、日本光電 K.K. 製、VC-6型)を用いて記録した。これらの記録およびX線照射はアクリル製の特殊な拘束箱にウサギを入れて行なった。

光刺激には光刺激装置(日本光電 K.K. 製、MS-IPS型)を用いて、動物の正面一定の距離から1

回/1秒の間隔で連続10回与えた。

電極挿入約一週間後、手術からの完全回復を待つて記録を開始した。記録は数日間毎日同時刻に行ないこれを対照とした。その後X線を照射し、照射直前、直後、30分、1、2、3、4、6、8、10、12、15、18、21、24の各時間にそれぞれ記録を行なった。

ただし自発電気活動のみを観察する場合には、照射前3時間から照射後24時間にわたり連続記録を行なった。

X線照射：全身(W群)および頭部(H群)にそれぞれ1,000 r のX線を照射した。

X線照射条件

W群. 管電圧 200kVp. 管電流20mA.

フィルター 0.5mmAl + 1.0mmCu.

焦点表面距離70cm

線量率約40r/min.

H群. 管電圧 250kVp. 管電流15mA.

フィルター 0.5mmAl + 1.0mm Cu.

焦点表面距離40cm

照射野 8 cm × 8 cm

線量率約 105r/min.

結果

I 海馬自発電気活動

前述のような条件下では海馬から記録される自発電気活動のパターンは、約8 c/sの規則的な波からなる覚醒パターンときわめて不規則な波からなる睡眠パターンの二つに大別されただけで、他のパターンははつきり認められなかつたので覚醒、睡眠の両パターンに分類した。おのおの、パターンの連続する期間は個体により、またその状態により異なっているが、一般に正常のものは比較的それぞれの期間が長い。単位時間内に示す覚醒パターンと睡眠パターンとの期間はほぼ等しいが、後者の方がわずかに長い傾向にある。これらの波形を脳波分析器を用いて7つに分析すると、前者は θ 波(4~8 c/s)の電位が圧倒的に高く、後者は δ_2 波(1~2 c/s)、 δ_1 波(2~4 c/s)と θ 波(4~8 c/s)が他のものに比較して高くなっている。覚醒パターンの電位は約300 μ V(個体により、また同一個体でも電極の部位により差がある)であるが、睡眠パターンはそれよりも一般に高くなっている(Fig. 1)。

Spontaneous Electrical Activity

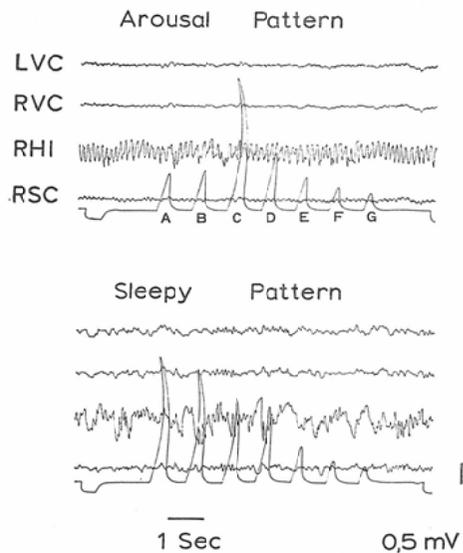


Fig. 1. Unipolar recording of spontaneous electrical activity in rabbits' brain. Upper: hippocampal arousal pattern, which shows the clear wave with about 8 c/s (theta rhythm). Lower: hippocampal sleepy pattern, which shows the irregular low cycle and high voltage waves superimposed on rapid small one. Illustrated seven thorny wave analysis by frequency analyzer: A, B, C, D, E, F, and G correspond to δ_2 (1-2 c/s), δ_1 (2-4 c/s), θ (4-8 c/s), α (8-13 c/s), β_1 (13-20 c/s), β_2 (20-30 c/s), and β_3 (30-60 c/s) waves, respectively.

L.V.C: left visual cortex.

R.V.C: right visual cortex.

R.H. I: right dorsal hippocampus.

R.S. C: right sensory cortex.

X線照射後の覚醒パターンと睡眠パターンの出現の割合は個体により、また同一個体でも照射後の時間により異なっているが、各群の概要は以下のごとくである。

1) 全身照射群(W群)

X線照射直後覚醒パターンは極端に連続性を増し、しばらくの間ほとんど変化なく持続する。それに続いて、睡眠パターンが長時間の覚醒パターンの間にごく短時間ときどき出現してくる。その後、睡眠パターンは次第に増加しその持続時間も長くな

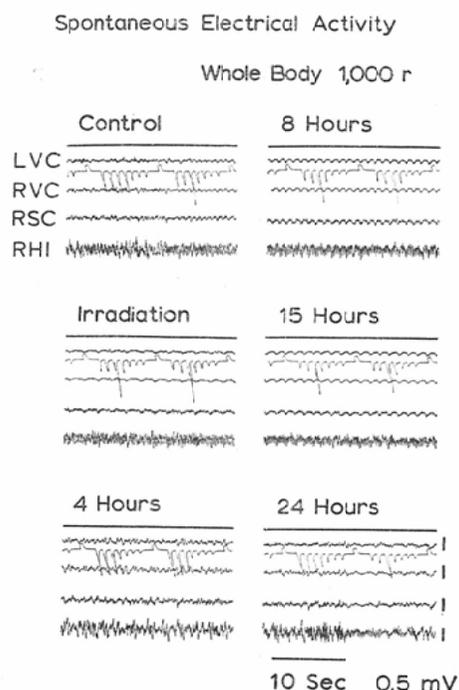


Fig. 2. Unipolar recording of spontaneous electrical activity in rabbits' brain before and up to 24 hrs after 1,000 r of whole body X-irradiation.

Control: prior to irradiation.
Irradiation: immediately after irradiation.
Abbreviation: see Fig. 1.

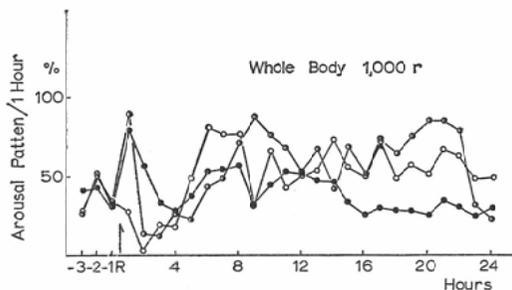


Fig. 3. The appearance rate of hippocampal arousal pattern per each hour, which was calculated as a function of time after 1,000r of whole body X-irradiation. Three independent experimental results are shown.

R: irradiation.

り、時間の経過とともに両パタンの割合は照射前のそれに近づいてくる。照射2~5時間後では逆

に睡眠パタンの増加した状態が持続する。それからふたたび覚醒パタンの割合は高くなり、多少の起伏を伴ないながら数時間ないし10数時間この状態が続く。その後ふたたび、睡眠パタンが増加の傾向を示し、24時間後では両パタンの割合はほぼ照射前にもどる。照射後の両パタンの振巾の大きさは、照射前に比較して著しい変化はない(Figs. 2 and 3).

2) 頭部照射群 (H群)

X線照射後の両パタンの経時間的な出現の割合はW群の場合と異なっている。すなわち、照射直後の両パタンの出現の割合は照射前のそれとあまり変わりなく、睡眠パタンのわずかに増加した状態が多少の起伏を伴ないながら約10時間後まで持続する。その後は逆に覚醒パタンが増加し、時間の経過とともにその割合は高くなる傾向を示し、24時間後の覚醒パタンの割合は照射前のそれより高くなる。H群もW群と同様、照射後の振巾の差

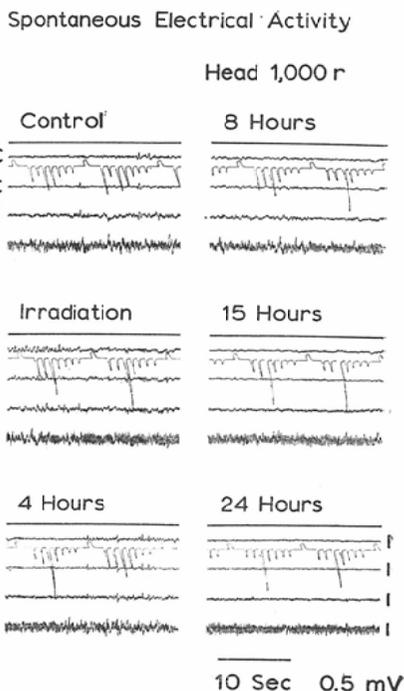


Fig. 4. Unipolar recording of spontaneous electrical activity in rabbits' brain before and up to 24 hrs after 1,000 r of head X-irradiation.

Abbreviation: see Figs. 1 and 2.

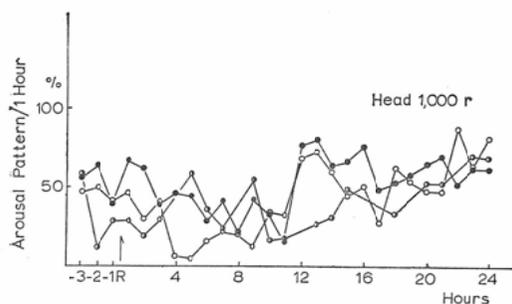


Fig. 5. The appearance rate of hippocampal arousal pattern per each hour, which was calculated as a function of time after 1,000 r of head X-irradiation. Three independent experimental results are shown.

Abbreviation: see Fig. 3.

異は少ない。

新皮質の自発電気活動も海馬における変化とほぼ同様の経過を示すが、こゝでは変化が捕えやすい海馬の活動パタンのみを説明し、新皮質の活動パタンの変化については省略する (Figs. 4 and 5).

II 光刺激による皮質視覚領の誘発電位

光刺激により皮質視覚領から記録される誘発電位は潜時数m sec後の陰性の速波とそれに続くゆるやかな陰性—陽性の2相性の遅波とからなっている。これら全体の大きさおよび期間は個体により、また同一個体でもその記録部位によつて多少異なっているが、それぞれ約200 μ V.および400 m secである。また、1 c/sの頻度の連続刺激を行なつた際、おのおの波形はたがいに多少異なっている。そのため、同一時刻に10回(1 c/s)の刺激を30秒毎に連続3回、計30回行ない、その平均値を誘発電位の大きさの値とした。

速波と遅波の大きさおよびその波形はX線照射後いずれも変化するが、おのおのについての分析はきわめて困難であるため、誘発電位全体の大きさの変化のみの観察を行なつた。

1) 全身照射群 (W群)

X線照射直後の誘発電位の大きさは、増大するもの、逆に減少するもの、およびあまり変化しないものなどさまざまである。その後時間の経過とともに、これらは多少増減しながらいずれも減少

Evoked Potential Whole Body 1,000 r

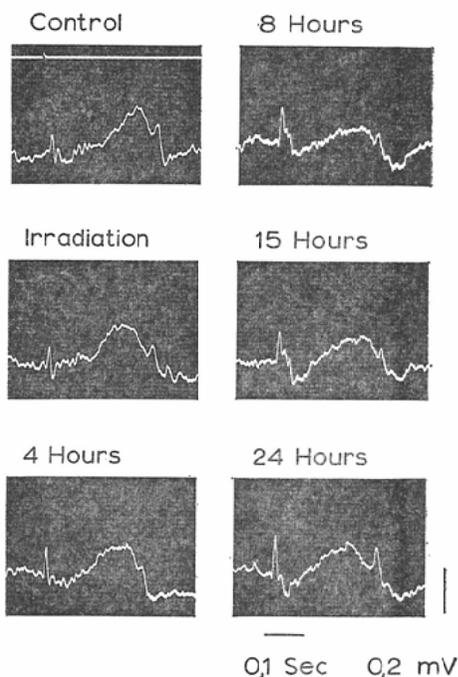


Fig. 6. Unipolar recording of visual cortical response to photic stimulus before and up to 24 hrs after 1,000 r of whole body X-irradiation. Upper deflexion is negative.

Abbreviation: see Fig. 2.

する傾向を示し、4時間後の大きさは照射前のそれより小さくなる。6時間、8時間と経過するにつれてこの傾向はさらに進み、8時間後の大きさはいずれの個体も6時間後のそれよりも明らかに小さな値を示すようになる。この時期に見られる誘発電位相互の差異は特に大であると思われる。10時間、12時間後にはさらに減少するものもあるが、大部分のものは回復に向かう傾向を示し、その後15時間、18時間、21時間と経るにつれて、わずかつつではあるが照射前の状態にもどつてゆく。しかし24時間後では、まだほとんどの個体が完全には回復していない (Figs. 6, 7, 8 and 11).

2) 頭部照射群 (H群)

X線照射後経時的に誘発電位の大きさを記録すると、その変化の様相はW群におけるそれと大



Fig. 7. Unipolar recording of visual cortical response to photic stimulus before and up to 24 hrs after 1,000r of whole body X-irradiation. Upper deflexion is negative.

C: prior to irradiation.
R: immediately after irradiation.

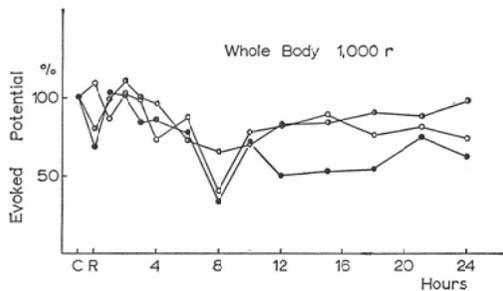


Fig. 8. The mean value of visual cortical response to photic stimulus, which was calculated as a function of time after 1,000 r of whole body X-irradiation. The mean amplitude prior to irradiation is taken as 100%. Three independent experimental results are shown.

Abbreviation: see Fig. 7.

体同じである。しかし照射直後の各個体の変化の様相はW群の場合より著しく、また最小値を示す時間はW群の8時間に比してそれより4時間も早く、すなわち照射4時間後である。この時期の値

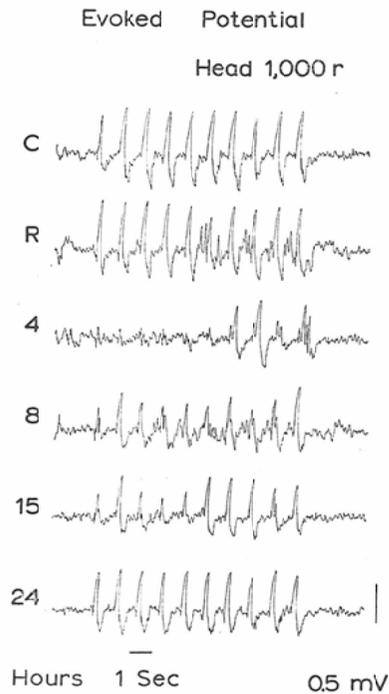


Fig. 9. Unipolar recording of visual cortical response to photic stimulus before and up to 24 hrs after 1,000 r of head X-irradiation. Upper deflexion is negative.

Abbreviation: see Fig. 7.

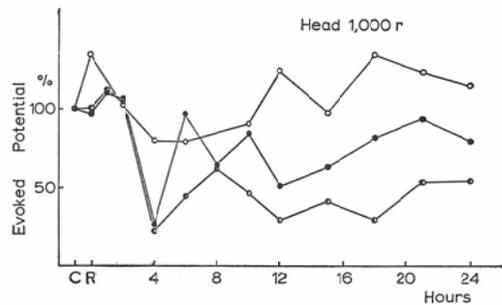


Fig. 10. The mean value of visual cortical response to photic stimulus, which was calculated as a function of time after 1,000 r of head X-irradiation. The mean amplitude prior to irradiation is taken as 100%. Three independent experimental results are shown.

Abbreviation: see Fig. 7.

は、いずれの個体も2時間あるいは3時間後および照射前のそれより小さくなる。この時期に見ら

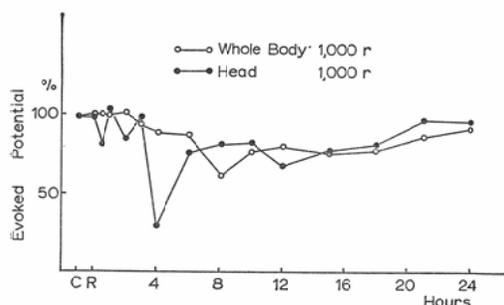


Fig. 11. The mean value of visual cortical response to photic stimulus obtained from 8 (W-group) or 7 animals (H-group) as a function of time after X-irradiation. The mean amplitude prior to irradiation is taken as 100%.

Abbreviation: see Fig. 7.

れる相互の誘発電位の差異は、W群の場合と同様とくに大であると思われる。6時間後では、わずかなではあるがほとんどの個体が回復の傾向を示す。8時間、10時間後ではほとんど回復を示すもの、照射前の値より大きくなるもの、および回復しないものなど個体による差異が大きい。その後、おのおのは多少増減しながら経過し、24時間後に回復するものは実験した匹数のうちではごくわずかである (Figs. 9, 10 and 11).

考 察

I 海馬自発電気活動

ウサギの脳海馬から記録される覚醒パタンと睡眠パタンの出現の割合は、X線照射後変化することが知られた。T.J. Haley (1962)¹²⁾は、200 r または 400 r の X線を全身、あるいは 400 r を体部 (頭部を除く) に照射されたネコの海馬のスパイク発射の数が 3~7 時間の間に最大になるといふ、さらにその割合は動物の覚醒-睡眠のレベルに依存し覚醒の時には小さくなると述べている。彼は体部 (頭部を除く) のみを照射した個体ではこのような事実が見られなかつたことから、放射線が中枢に直接与える現象であろうと推定している。さらに彼は海馬のスパイク発射を惹起する機構はいまだ明らかでないが、神経の興奮性が増加するのは γ -アミノ酪酸が減少するという E. Roberts (1950)¹⁴⁾の考えを取り入れ、おそらく海馬における γ -アミノ酪酸の量が放射線により減

少するのであろうと述べ、低血糖症がこのスパイク発現の要因であろうという T. Tokizane and C.H. Sawyer (1957)¹⁸⁾の考えを否定している。H. Gangloff (1962)¹⁰⁾は、400 r あるいは 200 r 照射されたウサギとネコの海馬が照射後、30~60 分以内にスパイク発射を現わし始め、その後数日間続き、その出現の割合は睡眠中に増加し、覚醒中に減少すると述べている。彼はこのスパイクが放射線による特別なものではなく pre-and post-synaptic membrane の興奮に起因している post-synaptic dendritic hyper-synchrony によるものであると考えている。さらに、彼はこの興奮性が放射線の直接的な影響によるものか、間接的な影響によるものかを決定するのは今日いまだ困難であると述べている。本実験の結果と H. Gangloff (1962)¹⁰⁾や T.J. Haley (1962)¹²⁾および H. Gangloff and T.J. Haley (1960)¹¹⁾の海馬におけるスパイク発射の所見とを直接結び付けて考えることはできないが、覚醒時にはスパイクが少なく、逆に睡眠時に多くなるという事実から、これらに何らかの関係があるように思われる。また、X線照射後の両パタンの割合の経時間的变化は、W群とH群とで異なり、前者では照射直後から数時間内で著しく変化するが、後者ではほとんど照射前と同様であつた。これに対し、24時間後では、W群は大體照射前にもどつたのが、H群では覚醒パタンが増加していた。このことはW群への照射の影響の現われ方がH群のそれよりも早く、かつその復帰は逆にW群の方が早いことを示しているものと思われる。

II 光刺激による皮質視覚領の誘発電位

光刺激により皮質視覚領から記録される誘発電位の大きさは、X線照射後一時減少し、その後次第に回復に向かうことが知られた。D. Rosen and K.B. Dawson (1960, 1962)¹⁵⁾¹⁶⁾と K.B. Dawson and D. Rosen (1962)⁹⁾はカエルの遊離神経を用い照射の影響として刺激閾値が減少する事実を捕え、そのような変化が、Na-ポンプのような機能の変化により生ずるのであろうと想像している。F. Rosenthal and P.S. Timiras (1963)¹⁷⁾は、全身に 250 r 照射したシロネズミの前梨状神経の誘発電位は照射前に比較してその潜時が減少する

ことを指摘している。彼は、この変化は嗅覚神経路の伝導速度が増加するか、あるいは嗅覚神経の軸索と前梨状神経の樹状突起との間のシナプス遅延が減少するかのいずれによるものであろうと述べている。C.S. Bachofer (1957, 1962a, 1962b)³⁾⁴⁾ および C.S. Bachofer and M.E. Gautereaux (1959, 1960a, 1960b)⁶⁾⁷⁾⁸⁾ はシロネズミの尾の神経、ミミズの単一遊離巨大神経線維、およびカメの上頸神経節を、*in vitro* あるいは *in situ* でX線を連続照射すると照射の始めにおいて、伝導速度と不応期が減少し、閾値が低下しそしてスパイクの振幅が増加する事実を確かめ、これらの変化が *in vitro* と *in situ* で類似していることから、照射の影響は直接神経におよんでいるのであろうと述べている。また、これらの変化がどのような機構によつて起こるのかについて彼らは明らかにしていないが、多分神経の膜を通して、Na およびKイオンの透過性が変化することによるのであろうと述べている。本実験の結果は D. Rosen and K.B. Dawson (1960, 1962)¹⁵⁾¹⁶⁾, K. B. Dawson and D. Rosen (1962)⁹⁾, C. S. Bachofer (1957, 1962a, 1962b)³⁾⁴⁾⁵⁾, C.S. Bachofer and M.E. Gautereaux (1959, 1960a, 1960b)⁶⁾⁷⁾⁸⁾ 等のそれと一部異なつていた。このことは、*in vitro* あるいは *in situ* での神経線維に大量の放射線を照射した場合と、全身あるいは頭部に比較的低線量のX線を与えた場合との相異によるものと思われる。また本実験からは、視覚系を構成している網膜、視神経、視索、外側膝状体、視放線および皮質視覚領のいずれがX線の影響を受けているかについて明らかにすることはできなかつた。しかし、誘発電位の減少がおのおの神経細胞群あるいはその一部への照射の影響に起因していることは事実である。このことについては今後さらに検討する。また、H群の方が照射の影響の受け方はW群より早かつたが、頭部に受けた線量は両群ともに等しく、W群はさらに体部に同量のX線が照射されている事実よりW群の方にその影響が早く現われる可能性があるように考えられるが、結果はその逆

であつた。この事実についての解釈はきわめて困難であり、今後さらに研究を進める予定である。

本研究に関し、しゅじゅ御助言を頂いた野口拓郎、前川杏二の両博士に深謝の意を表します。また、実験を行なうにあつて終始協力された斎藤博子嬢、杉山洋氏に深く感謝致します。

なお、本研究に要した経費の一部は、昭和38年度文部省特定研究費（中枢神経系に対する放射線の影響）によつた。

文 献

- 1) Allen, N. and J.G. Nicholls: Presynaptic failure of neuro-muscular propagation after X-irradiation. In, Effects of Ionizing Radiation on the Nervous System (I.A.E.A., Vienna), pp. 51—61, 1962.
- 2) Allen, N. and J.G. Nicholls: A study of the effect of X-rays on the electrical properties of mammalian nerve and muscle. Proc. Roy. Soc., B, 175: 536—561, 1963.
- 3) Bachofer, C.S.: Enhancement of activity of nerves by X-rays. Science, 125: 1140—1141, 1957.
- 4) Bachofer, C.S.: Radiation effects on bioelectric activity of nerves. In, Response of the Nervous System to Ionizing Radiation (ed. Haley, T.J. and Snider, R.S., Academic Press), pp. 573—596, 1962a.
- 5) Bachofer, C.S.: Radiation effects on isolated nerves. In, Effects of Ionizing Radiation on the Nervous System (I.A.E.A., Vienna), pp. 13—26, 1962b.
- 6) Bachofer, C.S. and M.E. Gautereaux: X-ray effects on single nerve fibers. J. Gen. Physiol., 42: 723—735, 1959.
- 7) Bachofer, C.S. and M.E. Gautereaux: Bioelectric activity of mammalian nerves during X-irradiation. Radiation Res., 12: 575—586, 1960a.
- 8) Bachofer, C.S. and M.E. Gautereaux: Bioelectric responses *in situ* of mammalian nerves exposed to X-rays. Am. J. Physiol., 198: 715—717, 1960b.
- 9) Dawson, K.B. and D. Rosen: Increased response of the frog nerve-muscle preparation following X-irradiation. In, Effects of Ionizing Radiation on the Nervous System (I.A.E.A., Vienna), pp. 43—61, 1962.
- 10) Gangloff, H.: Acute effects of X-irradiation on brain electrical activity in cats and rabbits. In, Effects of Ionizing Radiation on the Nervous System (I.A.E.A., Vienna), pp.

- 123—135, 1962.
- 11) Gangloff, H. and T.J. Haley: Effects of X-irradiation on spontaneous and evoked brain electrical activity in cats. *Radiation Res.*, 12: 694—704, 1960.
 - 12) Haley, T.J.: Changes induced in brain activity by low doses of X-irradiation. In, *Effects of Ionizing Radiation on the Nervous System (I.A.E.A., Vienna)*, pp. 171—184, 1962.
 - 13) Monnier, M. and H. Gangloff: Rabbit brain research. Vol. 1. Atlas for stereotaxic brain research on the conscious rabbit. (Elsevier) 1961.
 - 14) Roberts, E.: Biochemical maturation of the central nervous system. In, *The Central Nervous System and Behavior* (ed. M.A.B. Brazier, Trans. Third Conf. New York. Hosiash Macy, Jr. Foundation), pp. 127—186, 1950.
 - 15) Rosen, D. and K.B. Dawson: Search for immediate effects of X-radiation on frog nerve-muscle preparation. *Radiation Res.*, 12: 357—370, 1960.
 - 16) Rosen, D. and K.B. Dawson: Fall in threshold to electrical excitation of X-irradiated isolated frog nerve. *Int. J. Rad. Biol.*, 5: 535—541, 1962.
 - 17) Rosenthal, F. and P.S. Timeras: Prepyriform electrical activity after 250 r whole-body X-irradiation in rats. *Am. J. Physiol.*, 204: 63—67, 1963.
 - 18) Tokizane, T. and C.H. Sawyer: Site of origin of hypoglycemic seizures in the rabbit. *A.M.A. Arch. Neurol. Psychiat.*, 77: 259—266, 1957.
-