



Title	眼球血管に対する急性放射線効果
Author(s)	松島, 英乃
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1977, 37(5), p. 494-502
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16945
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

眼球血管に対する急性放射線効果

東邦大学医学部放射線医学教室

(東邦大学大橋病院放射線科 医長 森谷 寛教授)

松 島 英 乃

(昭和51年12月17日受付)

(昭和52年1月27日最終原稿受付特別掲載)

Acute effect of γ -irradiation on blood vessels of the eye

Hideno Matsushima

Department of Radiology, Toho University School of Medicine

(Toho University Ohashi Hospital, Director: Prof. H. Moriya)

Research Code No.: 404

Key Words: Radiation injury, Eye, Microangiography

Radiation injuries to the eye were studied by examining the alteration of fine vasculature of irradiated rabbit eyes, by referring to the usual clinical findings, fundus photography, microangiography, and histological sections. These experiments were performed by using white rabbits whose eyes were locally irradiated with a single dose of 500, 1000, 2000, 3000, and 5000 R of ^{60}Co - γ -ray. The eyes were observed periodically for a period up to 10 weeks after irradiation, and the following results were obtained:

- 1) Radiation damage to the blood vessels was maximum around 6 weeks after irradiation for doses less than 2000 R, and the damage appeared to be reversible.
- 2) When given more than 3000 R irradiation, alteration of the blood vessels continued increasing for 10 weeks with no evidence of recovery.

Experimental evidence from these studies supports the hypothesis that the degree of radiation injury of the eye depends highly on the damage to blood vessels serving each structure of the eye.

1. 緒 言

高エネルギー放射線治療の普及によつて、悪性腫瘍の治療成績は向上しつつあるが、その代償としての放射線障害が大きな問題となつて来ている。眼科領域の放射線障害についても、すでに1897年に Chalupsky¹⁾ の記載があると云われ、中でも放射線白内障に関しては、1905年の G. Gutman²⁾ の報告に始まり、諸家の関心を集め Cogan³⁾ らや、Merriam⁴⁾ らの優れた研究があり、我

国に於ても、神島⁵⁾、丸田⁶⁾、堀内⁷⁾等によつて詳細な研究が行われた。白内障以外の放射線障害には、放射線による結膜炎、角膜炎、虹彩毛様体炎、緑内障、網膜炎と種々多彩であり、それら個々の障害の発生時期や程度もまちまちである。それらの相違は、眼球を構成している組織によつて放射線感受性が違うことに負うとされている⁸⁾⁹⁾。然らば、かなり高い放射線感受性を持つ組織グループの中に等しく位置しながら、水晶体

は数百 rad で混濁を来し⁵⁾⁶⁾⁷⁾、それは回復することなく、一方、結膜、角膜は皮膚と同じ様に反応し、数百 rad では、晩期障害としての形態的变化を残さないのは何故であろうか。

放射線による組織障害の解析には、組織を構成する細胞に対する放射線の直接効果のみでなく、それら細胞の置かれた環境への影響を考え合わせなくてはならないだろう。それ故、照射された組織に於ける微小循環系や間質に対する放射線の影響が検索された¹⁰⁾¹¹⁾。しかしながら、眼球血管系の形態的变化を中心とした放射線効果に関する研究は少ない。

本研究に於ては、白色家兎を用いて、放射線照射後の眼球の血管変化を経時的に追求することにした。研究を進めるに当たっては、眼球の微小血管系を生理的に再現することを重視した。本研究はすでにかなり長期に亘って観察しているが、今回は Acute clinical period に相当する時期に於ける前眼部及び後眼部の血管変化を中心に報告する。尚、表在器管である眼に対しては、中硬度のX線が良いとも考えられるが、今回は線質はコバルトγ線を選んだ。これは我々が日常、上顎癌等の放射線治療を⁶⁰Co 遠隔照射によつて行つていたので、これらの際の眼球の副次的な局所の照射後変化をも見たいためである。

II. 実験方法

1) 実験動物

12から13週齢の成熟白色家兎(体重 2.5から3.5kg)を用いた。5段階の照射線量別に2羽ずつ1週から10週迄、1週置きに眼球摘出を行つたので合計 100羽使用した。また未照射家兎5羽をコントロールとし、別の未照射家兎5羽を線量測定に用いた。

2) 照射装置

日立製 TC-100SA 型テレコバルト装置を用いた。

3) 照射方法及び照射条件

長さ10cm、直径 2.7cm の円型照射筒を作り、これを用いて照射を行つた。すなわち家兎の眼球にγ線束が瞳孔中心部に垂直となり、眼球全体が

照射野に入る様に家兎を側位固定し、対向二門で照射した。照射条件は、線源角膜頂点間距離40cm、照射野は直径 2.7cm の円型照射野とし、線量率は50R/min であつた。線量測定はシーメンス社製指頭型線量計を用い、角膜頂点部に於て測定したので文中の照射線量はすべて空中線量である。照射はホリゾン10mg による静脈内麻酔で行つた。その際家兎は開眼状態となり、角膜の厚さ 1～0.8mm、前房の深さ 3～4mm、眼球の前後径平均16.7mm であるので、毛様体、水晶体の位置で 100%の深部線量を得られた。照射線量は 500, 1000, 2000, 3000, 5000 R の 5 群に分け、いずれも一回照射とした。

4) 観察方法

a) 眼球の Angiography

前眼部に分布する血管のγ線照射後の変化を比較検討する為に、眼瞼及び球結膜等の血管よりも比較的規則正しく走行している大虹彩動脈輪 Circulus arteriosus iridis major を選び、これを主として観察する為に、眼球の Angiography を行つた。

イ) 造影方法

生理的な眼の血管分布を再現する為に、灌流液及び造影剤を定温、定圧で注入出来る造影装置を作製した。ソセゴン15mg とホリゾン10mg の混合静脈内麻酔を行い、至適麻酔深度が得られてから両側総頸動脈を露出し、これにペニューラー針を末梢側に向つて挿入し針を造影装置に接続し、両側外頸静脈より汚血しながら、80mmHg 圧の生理的食塩水で約5分間灌流した。その後、生理的食塩水で2倍に稀釈したマイクロバック液を造影剤として約15分間注入した。虹彩の血管が充分造影されたのを確かめ、直ちに眼球摘出を行い、正、側面の軟X線撮影を行つた。撮影条件は管電圧30kV、管電流10mA、距離45cm で10秒間曝射した。使用フィルムは Fuji Softex F.G. で Sofdol により指定現像した。

ロ) 造影血管像の評価

血管変化の解析に当たり、正面像を約 6.7倍に拡大して焼付け、その陽画上最も良く造影されて

いる大虹彩動脈輪について、血管拡張と蛇行の二変化について、数量的に検索することにした。すなわち、薄い透明プラスチック板で拡大された眼球写真の大きさにほぼ等しい円型分度器を作製し、3度ずつに区切つて、合計120個の楔形目盛をつけた。そして、この楔形目盛の区域中に生ずる現象を便宜的に変化の最小単位とした。この特製スケラーを Angiography 正面像（陽画）に瞳孔を中心として重ね（Fig. 1）、もし個々の楔型

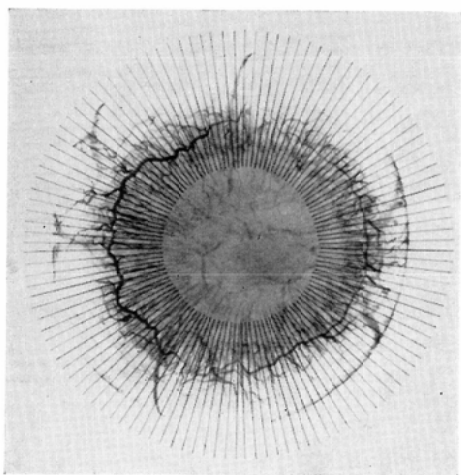


Fig. 1. Special scale of each 3 degrees for calculating microangiographic changes on circulus arteriosus iridis major.

目盛を横断する大虹彩動脈輪に血管の拡張があれば、拡張1つとして記録し、120個の目盛についての拡張出現率を算出した。

血管の蛇行についても、その出現頻度を同じ方法で記録した。

b) 眼底写真撮影

後眼部の血管変化として、網膜動脈を主として観察する為に、眼底カメラの撮影を行った。

イ) 眼底撮影装置と方法

オリンパス製 PRC 手持式小型眼底カメラを用いた。使用フィルムは Fuji color daylight type (ASA 100)である。撮影に当たつては、対物レンズと角膜表面の距離は約7mm、焦点調節レバーは0から1、フラッシュの光量は人間の1/2とした。Mydorin P を点眼し、充分散瞳させた後に

撮影を行った。撮影部位は特に乳頭より水平にのびる網膜動脈と縦に走る脈絡膜動脈を重点とした。

ロ) 眼底写真の評価

眼底カメラにより観察された網膜動脈の変化を線量別及び経時的に記録した。すなわち一定の距離から投影された眼底カメラの画像上で、乳頭辺縁部より一定の距離の部位を定め、網膜動脈の直径を計測した。この値を眼底写真の拡大率で割り、計算上の網膜動脈の直径を算出した。

c) 肉眼的並びに組織学的所見

前眼部の肉眼的所見を経時的に観察記録すると共に、剔出した眼球については、組織標本を作製し、H.E. 染色を行い検鏡した。

以上のaからc迄の観察はいずれも照射後1週より10週迄行い1週ごとに実験結果を記録した。

III. 実験結果

1) 眼球の Angiography について

家兎眼の Angiography に於ける正面像では、大虹彩動脈輪 *Circulus arteriosus iridis major* が良く造影された (Fig. 2-a)。側面像では虹彩動脈 *A. iridis nasalis et temporalis* (長後毛様体動脈 *A. ciliaris posterior longus*)、脈絡膜動脈 *A. cho-*

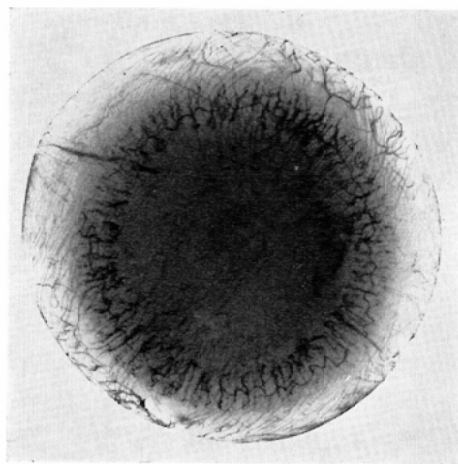


Fig. 2. Microangiography of the eye. (a) An anterior view of the control. *Circulus arteriosus iridis major* is well demonstrated.

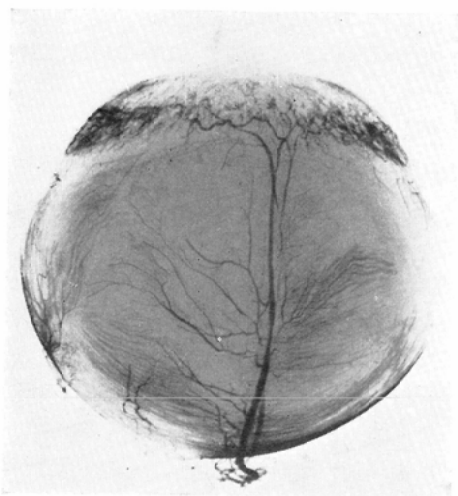


Fig. 2-(b). Lateral view of the control.

rioidea(短後毛様体動脈A. ciliaris posterior brevis)及び大脈絡静脈 Vv. chorioideae major (渦状静脈 Vv. vorticosae) が明瞭に造影された (Fig. 2. —(b)).

未照射群の眼球の大虹彩動脈輪は、規則正しく蛇行しながら一定の太さを保ちつつ、輪状に虹彩の周囲に分布している (Fig. 2).

また 500 R から 2000 R (Fig. 3) の照射群では、照射後 1 週目にはほとんどコントロールと変わらないが、照射後 7 週目に血管拡張は最も強く現われた (Fig. 3.—(b)). しかし、3000 R, 5000 R (Fig. 4) 照射群では照射後 1 週目より、部分

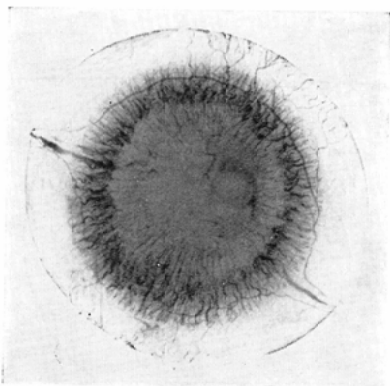


Fig. 3. Microangiography of the eye. (a) Seven days after 2000R irradiation. There are no changes.

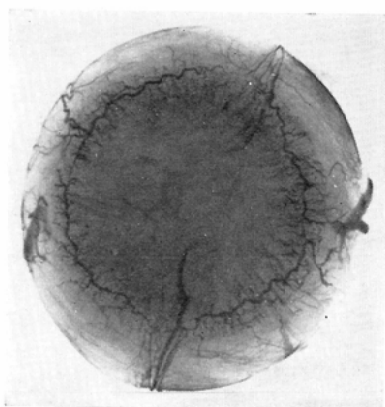


Fig. 3-(b). Forty-nine days after 2000R irradiation. Dilatation and tortuosity are recognized on circulus arteriosus iridis major.

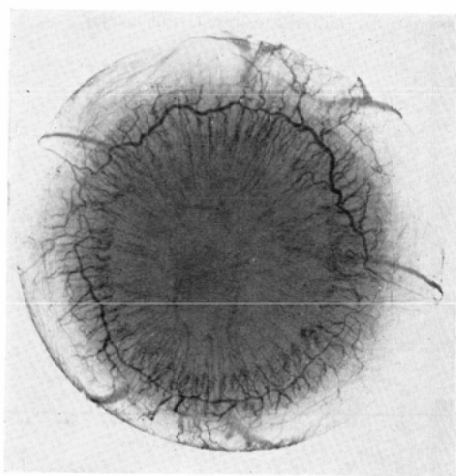


Fig. 4. Microangiography of the eye. (a) Seven days after 5000R irradiation. Even after seven days, moderate dilatation and tortuosity are partially seen.

的に血管拡張や、コントロールとは異なる不自然な蛇行が認められ、時間の経過と共に血管変化は増強した (Fig. 4.—(b)). 以上の結果を数量的に測り、グラフ上にまとめた。

a) 大虹彩動脈輪の血管拡張について

大虹彩動脈輪の血管拡張の出現率を縦軸にとり、横軸に照射後の時間をとつて線量別にその変化を記載した (Fig. 5). その結果、拡張の出現率は線量に依存し、500, 1000, 2000 R 照射後、血管拡張は 7 週で最も多く出現し、以後漸減す

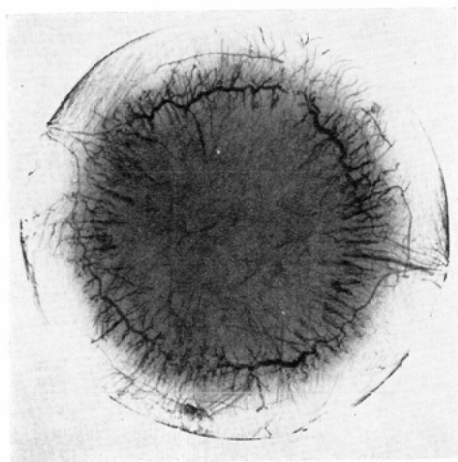


Fig. 4-(b). Forty-two days after 3000R irradiation. Remarkable dilatation and tortuosity are seen on circulus arteriosus iridis major.

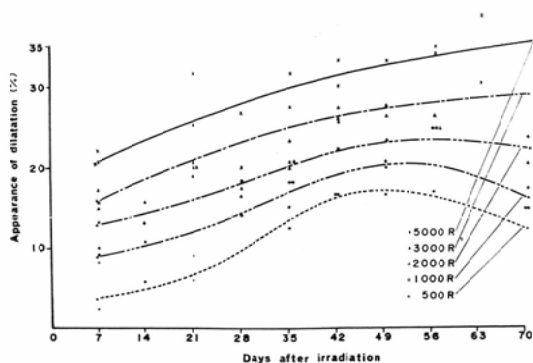


Fig. 5. Relationship between the appearance of changes on circulus arteriosus major and doses (a) Dilatation of major circle of iris artery.

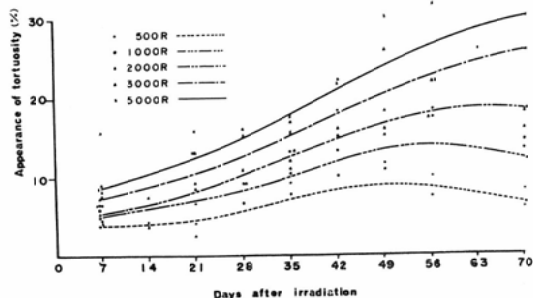


Fig. 5-(b). Tortuosity of major circle of iris artery

る。しかし、3000, 5000 R照射群では1週後に於いて血管拡張はかなり強く(15~20%), 10週にいたつても尚増加の傾向を示した。

b) 大虹彩動脈輪の蛇行について

大虹彩動脈輪の蛇行の出現率も同じく縦軸にとり、横軸に照射後の時間をとつて線量別に表わしてみると、拡張と同様に、照射線量が多いほど高かつた (Fig. 5-(b))。また2000 R以下の照射群では、蛇行の程度はごくわずかであつたが、照射後7~8週で蛇行の程度が最強となり、以後漸減したが、3000 R以上の照射群は変化の程度がより強く、蛇行の出現率も照射後10週にいたつても尚増加の傾向を示した。

2) 眼底カメラ所見

白色家兎の眼底所見は、ほぼ円形の白く陥凹した視神経乳頭を中心に、網膜血管が水平に周辺に



Fig. 6-(a). Fundus photography of the rabbit eye (normal).

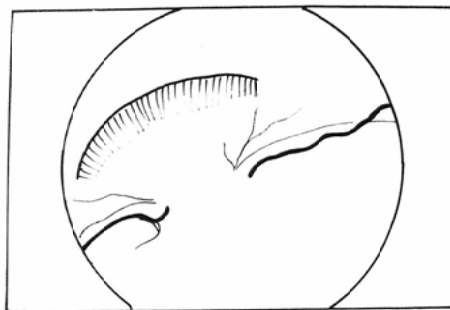


Fig. 6-(b). Schema of normal fundus photography. Retinal artery is smoothly running toward lateral.

向つて分布し、網膜動脈及び静脈は平行に走行し、脈絡膜血管がこれを取りまいている(Fig. 6—(a)). 網膜動脈を太い黒線で表わし、schema化すると、未照射群の眼底写真では、乳頭のわきから出た動脈は両側二方向に、なめらかに分布している(Fig. 6—(b)).

照射直後、3日後、7日後、以後1週間置きに10週迄眼底カメラで眼底の観察と撮影を行つたが、500から2000 R迄の照射群では、照射後1週目迄には肉眼的にはほとんど眼底の変化は認めなかつた。しかし、3000 R照射群では照射後3日目より軽度の網膜血管の拡張が認められ、特に5000 R照射群では、照射直後より網膜血管の拡張、蛇行があつた(Fig. 7—(a)), (Fig. 7—(b)).

2000 R迄の照射群では、網膜の出血、脈絡膜血

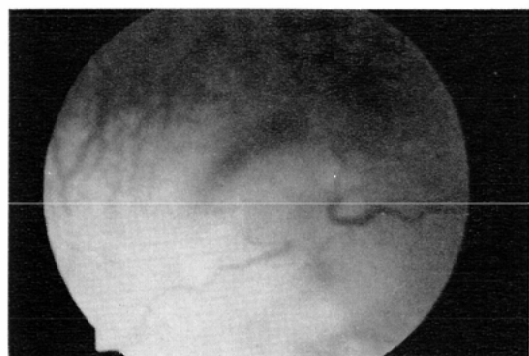


Fig. 7-(a). Fundus photograph of the rabbit eye (immediately after 5000R irradiation).

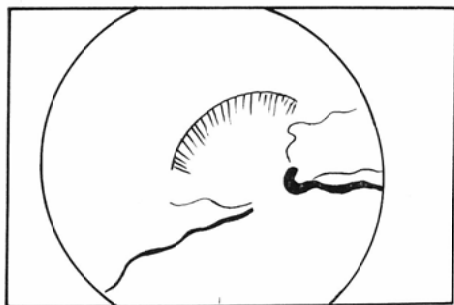


Fig. 7-(b). Schema of fundus photography of the 5000R irradiated eye. Dilatation of retinal artery is recognized on the right side.

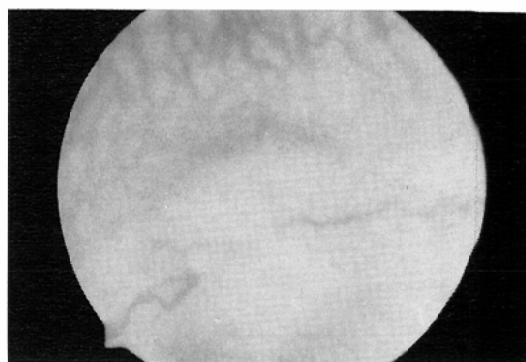


Fig. 8-(a). Fundus photograph of the rabbit eye, 70 days after 500R irradiation.

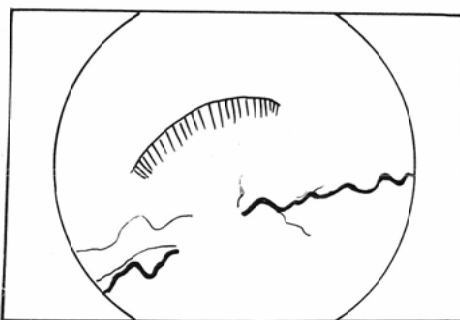


Fig. 8-(b). Schema of fundus photography of 500R irradiated eye. Tortuosity is remarkable.

管等の異常は10週以内の観察期間中には認めなかつたが、10週目には500 R照射群でも網膜血管の拡張、蛇行、乳頭発赤が著明となつた(Fig. 8—(a)), (Fig. 8—(b)).

5000 R照射群では、照射後3週で、すでに乳頭の発赤が認められ、網膜血管の拡張、蛇行の程度は他の低い照射線量群よりもより強かつた。しかし、4~5週目迄に網膜の出血、網膜血管の狭窄、途絶、新生血管の出現、網膜の白斑、変性、規則正しく柵状に配列する脈絡膜動静脈の走行の異常は認めなかつた。なお、残念なことに、5000 R照射群では4~5週後に角膜浸潤が始まり、6週以後の眼底カメラの撮影は不可能となつた。

網膜動脈の直径を縦軸にとり、横軸に照射後の時間を示し、眼底写真上で計測した網膜動脈の直径を各照射線量別にプロットし、グラフ上にまと

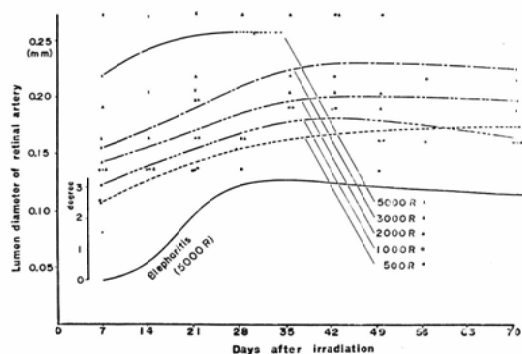


Fig. 9. (a) Changes in lumen diameter of retinal artery at different periods after exposure. (b) Relationship between vascular change of the retina and change of the anterior segment of the eye.

めてみると (Fig. 9), 照射線量が大きい程, 血管拡張の程度が強くなり, 1000 R, 2000 R, 3000 R 照射群では照射後 6 ~ 7 週で最も強く拡張した。1000 R 照射群は 7 週をすぎると以後拡張は漸減して行くが, 2000 R 以上の照射群では変化はプラトーか増強して行つた。またグラフの下段に, 5000 R 照射群の眼瞼炎の程度を経過を追って観察した結果を合わせ示すと, 5000 R 照射群の血管拡張は, 照射直後よりかなりあり, 前眼部の臨床的肉眼所見は照射後 4 ~ 5 週目に最も強く表われている。

3) 肉眼的および組織学的所見

a) 1000 R 以下の照射群

肉眼的所見はほとんど認められず, 組織学的にも, 照射後 10 週目に軽度の血管拡張が認められるのみで各組織の実質細胞には光顕的に著変はなかった。

b) 2000 R 照射群

肉眼的には 5 週目からわずかに流涙, 結膜充血が認められたにすぎなかった。組織学的には, 照射後 6 週目に角膜輪部の血管がやや拡大し, 血管周囲に軽度の細胞浸潤が認められるのみで, 角膜固有層に形態的变化は起きなかった (Fig. 10)。

c) 3000 R 照射群

照射後 2 ~ 3 日から流涙, 分泌物, 結膜充血等

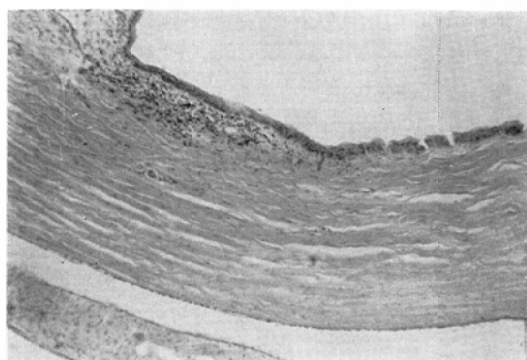


Fig. 10. Histological findings of the cornea (a) forty-two days after 2000R irradiation.

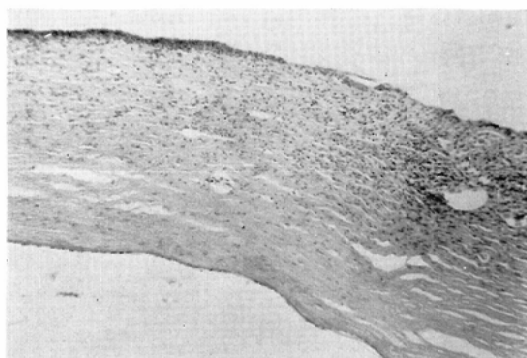


Fig. 10-(b). Forty-two days after 3000R irradiation.

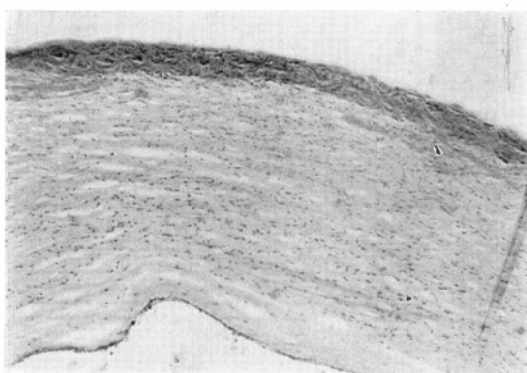


Fig. 10-(c). Forty-two days after 5000R irradiation.

があつた。しかし, 組織学的には, この時期には各層の血管拡張があるが, 実質細胞に著変なく, 照射後 5 週目になって, 結膜の細胞浸潤, 虹彩毛様体の血管拡張, 充血, 出血が著明で毛様

体や角膜輪部の細胞浸潤が明らかに認められた。照射後6週目より角膜輪部附近の角膜固有層の細胞浸潤が始まり (Fig.10—(b)), 照射後7週目には細胞浸潤が角膜全体に及び、角膜固有細胞の膨化が見られた。

c) 5000 R 照射群

5000 R 照射群では照射直後に著明な球結膜の充血が印象的であつた。また照射後2〜3日より、流涙、分泌物等が一番多くあり、照射後4〜5週目に眼瞼の糜爛が最も強くなつた。組織学的には、各層の血管拡張、充血が早期より見られ、毛様体に出血が著明であつた。しかし、角膜上皮細胞の変性、脱落等は照射後4週目より始まり、照射後5〜6週目には角膜全体に細胞浸潤が及び、角膜固有層の薄葉の配列が乱れたり (Fig.10—(c)), 網膜各層の実質細胞の変性等が認められた。いずれにしても、光顕では、各照射群共、実質細胞の形態的变化よりも血管の変化が先行した。

IV. 考 察

組織に対する放射線の影響は、その組織を構成する細胞に対する放射線の直接の効果と、血管系と結合織の障害による二次的效果が加わり修飾される⁹⁾。特に放射線治療後の晩期障害については、毛細血管の障害が無視出来ないとされている¹⁰⁾¹¹⁾。かくして今回行つた実験の目的は眼球に分布する血管に対する放射線効果を中心にして、その障害を検討することであつた。今回の実験で、著者は眼球の Angiography を工夫し、前眼部の微小血管系をほぼ生理的条件下に再現することに成功し、再現された血管の中で、最も読影し易い血管を選び、放射線被曝によつて惹起された血管変化を数量的に表わすことに努力した。これによつて線量別に变化の程度を量的に知り得た。また後眼部の血管は手持式眼底カメラを用いて生体観察、記録し、各々異つた組織で構成される眼球の放射線効果を前、後眼部に分布する血管を介して、相対的に知り得た。すなわち、前、後眼部共に血管の変化は照射直後より認められ、線量依存性を示した。特にすべての血管に於て、一番始めに血管

拡張が起ることは、金子ら¹⁰⁾¹¹⁾や Lindop¹²⁾の実験結果と同じであつた。2000 R以下の照射線量では大虹彩動脈輪の拡張、蛇行は照射後7〜8週で最も強く表われ、以後漸減して行き、3000 R以上照射すると、障害の程度も線量に比例して大きくなり、血管の変化は形態的に10週をすぎても回復しないことが明らかになつた。また後眼部の血管としての網膜動脈に於ては、1000 R, 2000 R, 3000 R照射群では6〜7週に最も強く拡張が起り、2000 R以上照射すると、血管拡張は10週をすぎても増強した。3000 R以上照射すると、血管の障害はさらに強く現われ、角膜炎の為、途中迄しか眼底カメラによる観察は出来なかつたが、組織検査では、血管変化は増悪し、血管回復は望めないことが想像出来た。また本実験後引き続き飼育した3000 R以上照射した家兎眼は、角膜潰瘍及び穿孔、網膜変性、眼球萎縮等重篤な症状を呈し、組織の回復は起らなかつた。

一般に結膜、角膜、脈絡膜の放射線障害は皮膚に於ける障害と同じであり、すなわち上皮の基底層にある増殖性の放射線感受性の高い分裂細胞の破壊を来し、また急性炎症と浮腫を伴つた微小血管の障害が加わり、その結果、微小血管に二次的な進行性の変性が伴うとされている⁹⁾。今回の実験結果に於ける結膜、角膜、脈絡膜の障害も相沢¹³⁾の皮膚に関する実験と同じ様に、2000 R以下の照射では肉眼的に変化を認めないが、5000 R照射では、照射直後より肉眼的変化を認めている。

また角膜中心部は輪部と異なり、無血管であるが故に、反応が異るとされているが、3000 R以上照射すると角膜全体に細胞浸潤が及び、後には新生血管が輪部より中心部に進入し、パンヌスの状態となり回復しない。

一方成熟網膜は比較的放射線に抵抗性であるとされているが、Electoretinogram (E.R.G.) 上では、2000rad 照射すると、E.R.G. は停止することが知られている¹⁴⁾。また4200rad を網膜に照射すると、E.R.G. では Ganglion cell の反応は照射直後はおとろえないが、1週間後には急速に低下する。そして2週間後には網膜動脈及び静脈の

狭窄や途絶を認めている報告¹⁵⁾がある。また網膜の外顆粒層のグリコーゲン量を測る組織化学的手段があり、3000~4000rad 照射すると、グリコーゲンの増加が起り、その増加は細胞死と関連することから、網膜障害の重要な指標となつている¹⁶⁾。一見、放射線抵抗性であると考えられている網膜も機能的にはかなり早期より障害があり、それらは今回の実験結果とかなり近似し、血管の障害に裏付けされる。

一方水晶体を傷つけた場合、その修復阻害の閾値は1500rad とされている¹⁷⁾。このことは、2000 R以上照射すれば、血管修復は遷延化し、眼球組織の不可逆性の障害が進行することを示している。尚、眼球の放射線による血管変化と水晶体混濁との関係については、引き続き実験を行つているので次回の問題としたい。

V. 結 語

白色成熟家兎の眼球に⁶⁰Co γ 線の1回照射を行い、照射後10週迄の放射線障害について血管の障害を中心に追求し、次の知見を得た。

1. 2,000 R以下の照射群では、前、後眼部ともに、血管の拡張、蛇行等の変化は照射後6週目に最も強く現われるが、その障害は10週迄に回復する。

2. 2,000 R以上照射すると、血管の変化は回復しない。

3. 前、後眼部ともに、血管の障害が回復可能であれば、眼球の各組織の障害も水晶体等を除けば回復可能であるが、血管が回復しなければ、組織の障害も進行性である。

稿を終るに臨み、御指導と御校閲を賜った森谷寛教授に深甚の謝意を表します。また本研究に対し種々の御助力及び御指導を賜った東邦大学医学部眼科教授大岡良子博士に厚く御礼申し上げます。また研究上、種々の協力を頂いた東邦大学大橋病院放射線科各位と直接御指導頂いた金子稜威雄博士に深く感謝致します。なお、本論文の要旨は第34回日本医学放射線学会総会において発表した。

文 献

1) Chalupsky, H.: Über die Wirkung der

- Röntgenstrahlen auf das Auge und die Haut. Zentr. Prakt. Augenh., 21, 234, 267, 886, 1897.
- 2) Gutaman und Treuter: Bericht über die 32 Versammlung der Ophthalmologischen Gesellschaft, Wiesbaden 1905, Heidelberg 337, —338, 1906.
- 3) Cogan, D.G. and Donaldson, D.D.: Experimental radiation cataracts. Arch. Ophthalmol., 45, 508—552, 1951.
- 4) Merriam, G.R. and Focht, E.F.: A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. Am. J. Roentgenol., 77, 759—785, 1957.
- 5) 神島文雄: 実験的〔レントゲン〕線白内障に関する研究. 日本眼科学会誌, 44: 890—930, 1940.
- 6) 丸田民昭: 実験的レントゲン線白内障に関する研究. 日本眼科学会誌, 59: 779—786, 1965.
- 7) 堀内淳一: 放射線白内障の実験的研究. 日本医放会誌, 19: 227—242, 1960.
- 8) Moss, W.T., Brand, W.N. and Battifora, H.: "Radiation Oncology," p. 147, 1973, The C.V. Mosby Co., St. Louis.
- 9) Rubin, P. and Casarett, G.W.: "Clinical Radiation Pathology," p. 662, 1968, W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- 10) 金子稜威雄: X線の毛細血管に及ぼす影響. 癌の臨床, 21: 480—485, 1975.
- 11) 金子稜威雄: X線の毛細血管に及ぼす影響について. 日本医放会誌, 36: 425—432, 1976.
- 12) Lindop, P.J., Jones, A.E. and Bakowska, A.: The effect of 14-MeV electrons on the blood vessels of mouse earlobe. BLN-50203 (C-57): 174—185, 1969.
- 13) 相沢 恒: C₃H/He マウス皮膚に及ぼす速中性子線およびX線の1回照射, 2回分割照射の影響. 日本医放会誌, 33: 602—616, 1973.
- 14) Gaffy, C.T.: Bioelectric sensitivity to irradiation of the retina and visual pathway. In "Response of the Nervous System to Ionizing Radiation," ed. T.J. Haly and R.S. Snider, 1964. Little Brown & Co., Boston.
- 15) Cavaggioni, A. and Rosati, G.: Electrical activity of the ganglion cell in irradiated retinas. Radiat. Res., 39, 685—704, 1969.
- 16) Kent, S.P.: Further observation on the effect of X-irradiation on the glycogen content. Radiat. Res., 10, 380—385, 1959.
- 17) Harding, C.V.: Effect of X-irradiation on the injury reaction in lens epithelium. Radiat. Res., 25, 305—311, 1965.