

Title	金を基材としたX線用防護義眼の試作と検討
Author(s)	山崎, 武; 善成, 務; 金光, 正志 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1961, 21(7), p. 707-718
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/19505">https://hdl.handle.net/11094/19505</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 金を基材とした X 線用防護義眼の試作と検討

大阪大学医学部放射線医学教室 (主任 立入弘教授)

山崎 武 善成 務 金光 正志

大阪大学医学部附属診療エックス線技師学校

速水 昭宗

大阪大学医学部眼科学教室 (主任 水川孝教授)

浜野 光

(昭和36年10月30日受付)

## Comparative Study on Au Protective shells with Pb for X-ray Therapy

By

Takeshi Yamazaki, Tsutomu Yoshinari, Masashi Kanemitsu  
and Akimune Hayami

Department of Radiology, Osaka University Medical School

(Director: Prof. H. Tachiiri)

Hikaru Hamano

Department of Ophthalmology, Osaka University Medical School

(Director: Prof. T. Mizukawa)

In X-ray therapy from grenzray up to 200 kVp against palpebra or facial skin, attempts to protect cornea, conjunctiva and lens with protective shells, have been undertaken for many years in the past. But in a majority of these attempts, Pb has been used as the base agent.

The first requisites for protective shells in radiation therapy are that they are as thin and as small in size as possible while being provided with sufficient protective capacity, because they are to be inserted directly into a small conjunctival sack.

The present writers, with an eye on the easiness with which Au can be processed, its high linear absorption co-efficient and chemical stability as well as harmless on a living body, have since last year attempted the employment of pure gold as a base agent, although its relatively high price made them hemsitate to a certain degree, and undertook the following some experiments on protective shells, made of Pb and Au. Namely, with the use of polystyrene thin plates, Al foils, and a paraffin phantom, measurement was carried out with the photographic emulsion (single side), thimble chamber (Victoreen Model 131) and shallow chamber (Toshiba's trial manufacture; window thickness 0.05 mm Polystyrene), for a comparative study of the protective capacities of Au shell to Pb one including secondary radiation. The experiments have led to the following results:

1. Au is superior to Pb as a base agent for protective shells.

2. Because of secondary radiation, the dose at the corneal surface of the shells strikingly varies, depending on how the quality of radiation, the thickness of the protective shells and the thickness of the cover are combined.

3. Generally, Au shells, similarly with Pb shells, require both-side cover with the material of low atomic number for the purpose of protecting them secondary radiation.

4. So far as very soft X-ray is employed, Au shells, unlike Pb, will not require a cover in practice. This particular advantage is considered to be more than enough to make for the drawback of Au in respect of its price.

5. Even when protective shells are used for cover, attention should be paid to the quality of radiation and the field size all the same, so that any injury to the lens and cornea may be properly avoided.

On the basis of these results, moreover, it was actually applied to some cases of palpebral hemangiona and cancer, and the subsequent progress for 1-6 months has been observed, as a result of which no injury was found on both lens and cornea.

### I. 放射線治療に伴う眼障害

眼の放射線障害に関する報告は古く今世紀の初頭にさかのぼるが、以来現在まで多数の研究によってこの領域は広く開発され、最近ではマイクロ波よりX線に及ぶ広いスペクトル帯域にわたって総合的に取り扱われるに至つた<sup>7)36)</sup>。また最近微量照射としてX線診断に際する検者、被検者の障害を論じた報告もかなり見られる<sup>12)24)37)</sup>。しかし最も重要なものは治療の場合の障害であつて、眼組織自体に対する治療はもちろん、眼部附近の悪性腫瘍の治療に際しても、眼の防護に注意するのは当然であり、文献<sup>21)27)</sup>にも指摘される所である。美容上の治療や良性疾患の治療はいうまでもなく、悪性腫瘍においても眼部附近のそれは比較的治りやすく、かつ放射線療法との進歩とともに治癒率は高くなり、したがつて予想される長期生存者の眼防護の重要性もまた増大すると考えねばならない。放射線眼障害の中で最も注意すべきものは直接視力を左右する白内障と角膜障害である。眼の放射線感受性は部分によつて異なるが、諸家の報告<sup>40)</sup>によると水晶体、角膜、結膜が比較的高く、特に水晶体は critical organ として最も敏感であり、眼の放射線障害に関する研究の大半は白内障を問題としている。次に放射線白内障に関する最近の報告を要約すれば、実験的研究としては、幼若動物の水晶体感受性問題<sup>9)10)11)</sup>、実験諸

動物あるいは人の感受性差<sup>41)</sup> 閾値線量に関する諸問題(後述)、白内障発生の本態、特に毛様体の役割について、水晶体の部分照射による白内障発生実験<sup>23)31)33)34)</sup>、電子顕微鏡など進歩した技術を駆使しての観察<sup>5)42)</sup>、化学的防護に関する報告、全身照射の場合の水晶体変化、中性子照射の問題等である。臨床的観察としては Kozina 氏<sup>40)</sup>、Merriam & Focht 氏<sup>26)</sup>らの報告が貴重である。その他最近におけるβ線あるいは超軟X線療法の普及とともに、その水晶体、角、結膜障害が問題とされる傾向は注目すべきであらう<sup>3)6)14)17)25)29)43)</sup>。放射線緑内障については、臨床例<sup>4)</sup>以外、実験的研究が困難であると云われ<sup>40)</sup>、現在では放射線による血管系障害の副次作用と解されている<sup>40)</sup>。放射線結膜炎に関する文献は少いが、他部の粘膜と異つて粘膜下組織が粗なため浮腫の著明な点が特徴的であるとされる<sup>40)</sup>。原爆症ならびにこれに附帯する研究も多数ある。

### II. 防護義眼とその装用

#### 1) 文献的事項

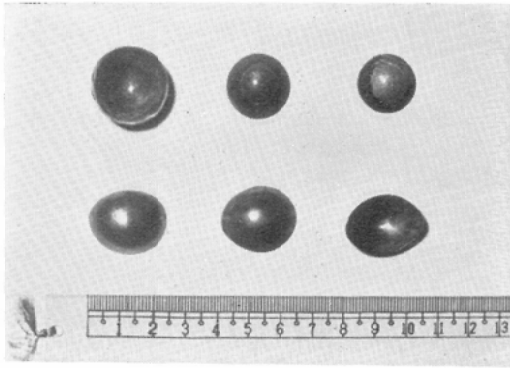
Wölfflin 氏が1917年にPbガラスで防護義眼を作つて以来、義眼装用照射の文献も多数にある。前報<sup>15)</sup>で記載したもののほか、比較的新しいものとしては、Hunt<sup>18)</sup>氏は1mm Pb 義眼入射面に小ハンドルを附けたもの(Mager & Gougelmann 製)を使用しており、また Knieler u. Schirren

氏ら<sup>19)</sup>は取り外しを容易にする目的で一側に小孔を穿ち、糸を通したものを考案した (Liebl u. Ritzinger 製). Beck<sup>1)</sup> 氏のものには 1mm Pb-Folie を中にはさんだ Plexiglas 義眼に Eügel (ツバ) を付け、眼科的な訓練に乏しい放射線医でも容易に取り外しするという (Carmen Apparatefabrik 製). Merriam & Focht<sup>27)</sup> 氏らは 100kVp では Pb の 0.78mm, 250kVp では 1.56mm, 1000kVp では 12.5mm が必要であるとし、更に wax-ccat をすくめている。また Kölling u. Reuter<sup>20)</sup> 氏らは新防護義眼として 1.8mm Pb 板の表面に Al の薄層を蒸着したもの (F. AD. Müller 製) を実験に用いている。金を基材としたものは Cremer<sup>40)</sup> 氏, Miescher<sup>28)</sup> 氏, その他<sup>38)</sup> があるが, Wölfflin<sup>44)</sup> 氏は高い価格を代償するほどの利益がないとして批判的である。

## 2) 試作品：図(1)参照

実験に使用したものは、Au I：平均厚さ 0.73mm, Au II：同0.54mm, および従来の Acrylite 被

Figure (1): Protective shells for X-ray therapy in various shapes and sizes, with Au and Pb used as base agents.



覆 Pb 義眼の 3 種類である。更に実験用 (3.7×3.7cm) として Au 板：厚さ 0.27, 0.38, 0.72mm 各 1 枚, Pb 板：厚さ 0.50mm 7 枚, 0.78mm 1 枚を作製した。Au はすべて純金である。

## 3) 装用の実際

従来 Pb 義眼に種々の被覆を施した理由は、

1) Pb が生体に有害なこと, 2) 変形しやすくしばしば Riss が入る<sup>16)</sup>, 3) 表面酸化が早い、

4) 表面を平滑にし難い, 5) Pb からの二次線の問題, などである。被覆材としては上記のほか、古くからゴム<sup>38)</sup>, パラフィン<sup>38)</sup>, Ferspex<sup>38)</sup>, ガラス<sup>40)</sup>, Ni<sup>45)</sup>, Cu<sup>44)</sup> などが用いられている。消毒面から考えると金属が適当であるが、薄層であるだけに表面酸化の問題は大きい。Plastics では煮沸が困難であるが、逆性石鹼による消毒は可能である。Pb を基材とする場合は硬化の目的で少量の Sb を加えることが推賞されている<sup>44)</sup>。ガラスは破損しやすい<sup>38)</sup>。また義眼装用時に軟膏を表面に厚く塗布すれば、二次線は除かれ、角膜の損傷も防がれる<sup>45)</sup>。不十分な防護では、大量の二次線による結膜刺激が起ることは Stumpt 氏がすでにずっと前に観察している<sup>16)</sup>。二次線の本態についても Hoffmann<sup>16)</sup> 氏, Smithers<sup>38)</sup> 氏は電子線为目标とし、近接照射の電圧では Pb の特性線を励起し得ないとした。

## III. 防護状態の検討

### 1) 諸家の測定

防護義眼の性能を空中線量の測定のみ relies することは危険である。Phantom 測定としては Hoffmann 氏の報告<sup>16)</sup> が最も古いようである。氏によると、2mm Pb 義眼、水 Phantom、指頭電離槽を用い、照射野 6×8cm, HVL: 0.9~1.3mm Cu の条件では、1cm の深さにおいて 15~16% に減弱し、また 2~5mm の範囲では義眼の厚さはさして影響しないという。吾国では戸塚氏(1944)<sup>40)</sup> が眼部の含骨密蠟模型と印画紙を用い、Film 測定を行った。これによると 0.5mm Pb 義眼では、HVL: 0.7mm Cu (照射野 6×8cm) および体腔管 (Tubus 直径 3.65cm) の照射で、水晶体線量はそれぞれ 19%, 8% に減弱するという。また Merriam & Focht<sup>27)</sup> 氏らは骨-Paraffin-wax 頭部 Phantom を作り、Baldwin-Farmer condenser chamber を使用し、100kVp, HVL: 1.0mm Al, 照射野直径 1~4cm<sup>2</sup> の条件では、0.8mm Pb 義眼を用いると水晶体線量は 1% 以下に減弱するが、Ra 治療は危険であるという。Lederman<sup>21)</sup> 氏も Pb ゴム板による眼の防護について、種々の線量分布を報告しているが義眼の

Table (1) : X-ray equipments used in the experiments, and the conditions of irradiation.

Code	X-ray Equipments	kVp	Filter	HVL(HVD)	FSD	Field size
P <sub>1</sub>	Toshiba KXC-18-5 Pendulum therapy unit	200	0.7mmCu+0.5mmAl	1.55mmCu	31cm 52cm	1 × 1 cm φ 2 cm, 5 cm
P <sub>2</sub>	"	120	0.5mmCu+0.5mmAl	—	"	"
S <sub>1</sub>	Shimadzu, Shinaigo	120	0.3mmCu+0.5mmAl	0.66mmCu	42cm	φ 3 cm, 5 cm
S <sub>2</sub>	"	80	2mmAl	4.7mmAl	"	"
D <sub>1</sub>	Siemens Dermopan	50	1mmAl	(13mm)	17cm	φ 2 cm, 5 cm
D <sub>2</sub>	"	43	0.6mmAl	( 7.5mm)	"	"
D <sub>2</sub>	"	29	0.3mmAl	( 3mm)	"	"
D <sub>1</sub>	"	10	—	( 0.3mm)	"	"

形でない。最近では Kölling u. Reuter<sup>20</sup>氏らが Paraffin 顔面 Phantom と Bomke-Dosimeter ( $\gamma, \beta$  Kammer) を用い, Ra 治療と Chaoul 氏の X線近接照射 (60kV) を比較し, 1.8mmPb の上記義眼でも前者は危険であり, 後者であれば Tubus 6, FHA : 5cm の条件で 1% 以下に減弱するという。

## 2) 実験

### a) 線源と Phantom

測定に使用した線源と照射条件を表(1)に示す。成人の角膜は厚さ約1mm, 水晶体後面は角膜表面より約9mmの深さにある。そこで眼部 Phantom として直径15cm, 高さ19cmの Paraffin 円柱を作り, 片眼相当位置として上面中心より約3cm外方に指頭電離槽が丁度埋没する溝を掘り, その直上部Phantom表面に(卵), 円錐形の(Au), Pb 義眼角膜面に密着するような Paraffin片(高さ9mm)をおいて眼部模型とした。前報, 第(2)図参照。この状態の測定値をもつて水晶体後面照射線量を推定し, Paraffin 片を除いた時の測定値によつて角膜面照射線量を推定した。後述の Shallow Chamber による測定の場合は Paraffin 片を Chamber 表面において眼部 Phantom とするが, その有無によつてそれぞれ水晶体, 角膜線量を推定するのは上と同様である。図(2)参照。1 × 1 cm照射野は同大の窓をもつた塗装 Pb 板(7mm)で, ほかはすべて Tubus である。可変絞りは必要な最小位置とした。

Figure (2): Shallow Chamber, Toshiba's trial manufacture, used for measurement.

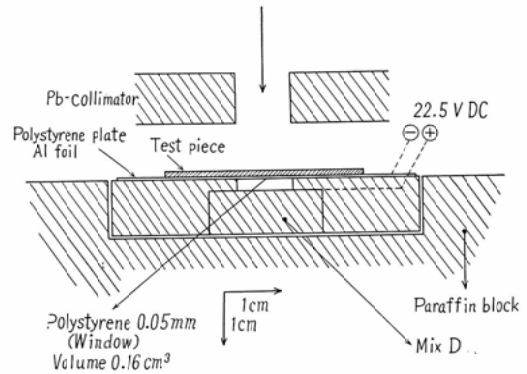
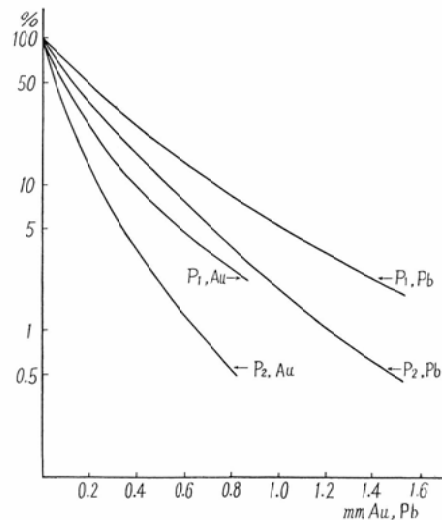


Figure (3): Attenuation of X-ray through Au and Pb.





b) Victoreen (Model 131) 電離槽による測定

イ) Au, Pb によるX線の減弱: 図(3)参照

前報第(1)図に従つて, 上記義眼および試験用 Au, Pb 板を用い, 線源 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> について実測した結果を図(3)に示す. Au と同程度の減弱を与えるに必要な Pb の厚さは常に Au の約2倍では一定している. また義眼 Au I では線源 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> に対してそれぞれ 3.1%, 0.7%, Au II ではそれぞれ 5.6%, 1.6%に減弱する. 線源 P<sub>2</sub> に対し1%以下に減弱させる Au板の厚さは約0.65 mm以上必要である.

ロ) Phantom 測定: 表(2)参照

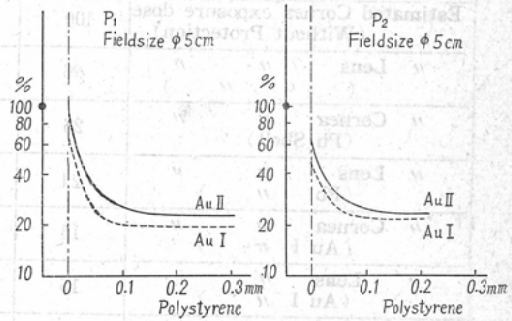
前報に一部を示したが, 防護効果は直径5 cmの照射野の際には多くを期待出来ない. 一般に線質が軟いほど, そして義眼が厚いほど有効である. 軟線無防護の場合の深部差を除けば, 角膜線量と水晶体線量とは大差がない. また義眼の厚さによる相違は上記一次線の減弱差に比し不明瞭で, 軟線ではむしろ余り変らない. しかるに Pb-collimator (直径14mmの円窓をもつた厚さ9 mmの Pb板) を併用すると防護効果は著明となり, 一次の減弱に近い値まで減弱する. そしてこのときは義眼の厚さの相違による減弱差が明瞭となる. 以上は線質による散乱方向の相違, 特に側方散乱の役割の大きいことを示すものであろう.

c) Shallow Chamber<sup>39)</sup> による測定

イ) Phantom 測定: 表(3)参照

水晶体線量に関しては, 線質および義眼の厚さの相違による防護性能の変化, 上記Collimatorの効果等についてはすべて Victoreen Chamber を用いたときと同様である. しかし絞つた場合の線量減弱は Shallow Chamber を用いたときの方が一次減弱値に近いものを表わす. 防護効果から見ると, Dermopan は従来のX線装置に比べて格段に安全であり, 特に D<sub>1</sub> は他の Stufe よりもはるかに安全である. また D<sub>1</sub> では Paraffin 片のみ(無防護)でも 2.8%まで減弱する. 無防護の場合の水晶体線量を除き, 一般に Victoreen Chamber に比べて測定値は大きく出ている. これは Phantom, Chamber 双方の構造差による

Figure (4): The dose on the corneal surface of two kinds of Au protective shells against Source P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>, and their attenuation by Polystyrene thin plate.



ものであろう. さらに両者の最も著明な相違は, Shallow Chamber による測定値で角膜線量のみがかなり大きく出ていることである. これは照射野の大きさと無関係で, 線源と義眼の厚さの組合わせ如何によつて, 角膜線量は水晶体のその数倍にもなりうる. また Au II-P<sub>1</sub> の組み合わせでは99%, すなわち無防護にも等しい. この現象は線質が硬いほど著明である. Pb 義眼ではこの現象は不明瞭となるが, Acrylite 被覆に因るものと思われる.

ロ) Au 義眼角膜面の二次線: 図(4)参照

次にこの現象を検討するため Au 義眼と Shallow Chamber 表面との間に Polystyrene 薄板(厚さ0.05mm, 直径8 cm円形)を1枚宛積み重ねて測定を反復した. 無防護の場合の表面線量を100%としている. 以下同様. 図(4)に見られるように Au I, II とも Polystyrene 1~2枚(0.05~0.1mm)ではほぼ一定値となり, 表(3)の水晶体線量に近い値を取る. そして義眼のみの時の値はその角膜線量に近い. 以上から見ると義眼角膜面の二次線は Polystyrene の薄層で止めることが分る.

ハ) 防護板射出面の二次線: 図(5)参照

次に角膜線量と線源, 義眼の厚さとの関係を検討するため, 上記試験用 Au, Pb 板を義眼に代え, 種々の線源について射出面線量を測定した. 一般にこの二次線は線質が硬く, 防護板が薄いほ

Table (2) : Measurement by Victoreen Chamber.

Source	Fieldsize $\phi$ 5cm				" $\phi$ 1.4cm	
	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>
Estimated Cornea exposure dose (Without Protection)	100	100	100	100	100	100
" Lens " " " ( " " " )	96	93	95	82	96	100
" Cornea " " " (Pb Shell)	26	19	13	7	16	5.7
" Lens " " " (Pb " )	24	19	16	6.5	15	5.7
" Cornea " " " (Au I " )	15	16	13	7.5	4.7	0.2
" Lens " " " (Au I " )	15	16	14	7.5	4.7	0.1
" Cornea " " " (Au II " )	18	16	16	7	7.5	1.4
" Lens " " " (Au II " )	18	17	13	7.8	6.8	0.9

Table (3) : Measurement by Shallow Chamber

Source	Field size $\phi$ 5cm							" $\phi$ 1.4cm " 1 $\times$ 1cm	
	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Estimated Cornea exposure dose (Without Protection)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
" Lens " " " ( " " " )	84	86	78	76	72	50	2.8	—	—
" Cornea " " " (Pb Shell)	34	28	24	8.6	6.1	3.5	0.4	15	6.8
" Lens " " " (Pb " )	31	28	24	7.8	6.3	3.1	0.4	13	5.9
" Cornea " " " (Au I " )	77	39	26	9.4	7.0	3.4	0.3	25	6.1
" Lens " " " (Au I " )	23	23	24	8.8	6.5	3.2	0.3	3.4	0.9
" Cornea " " " (Au II " )	99	46	26	9.3	6.8	3.3	0.2	50	16
" Lens " " " (Au II " )	26	27	22	8.5	6.2	3.0	0.4	6.2	1.5

ど著明である。図(5)は線源 P<sub>1</sub> に対する測定結果を示す。0.50mm Pb および 0.27mm Au では無防護の場合の 2.5倍に達する。また基材のみでは厚さを増しても効果的でないことが明らかである。次にこの二次線は防護板を Chamber 表面から遠ざけると減弱し、1~2cm程度の空気層は Polystyrene 1~2枚 (0.05~0.1mm) 程度に相当する減弱を示す。

ニ) Polystyrene 薄板によるその減弱曲線 :

図(6)(7)参照

実験イ)ではこのような空気層による誤差が介入するため、次に上記防護板と Shallow Chamber 表面との間に Polystyrene 薄板をはさみ、これに伴う線量の減弱を検討した。図(6)は P<sub>1</sub>, (7)は P<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, D<sub>1</sub> に対するものである。P<sub>1</sub> に対し、Au 0.27~0.73mmの範囲では、Polystyrene 4枚(0.2mm)程度では一定となる。この一定値はその厚さの Au 板の一次減弱値に近い。P<sub>2</sub> についても

Figure (5): The dose on the corneal surface of Au and Pb protective plate, 0.27-3.5mm in thickness, against Source P<sub>1</sub>

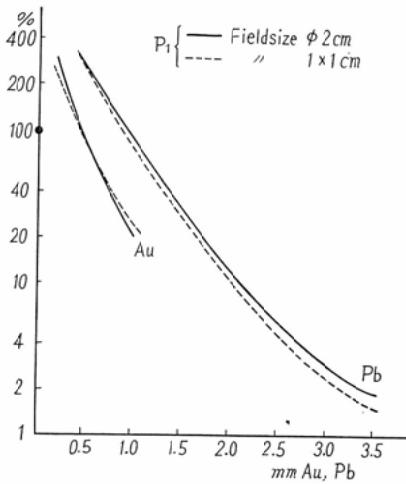
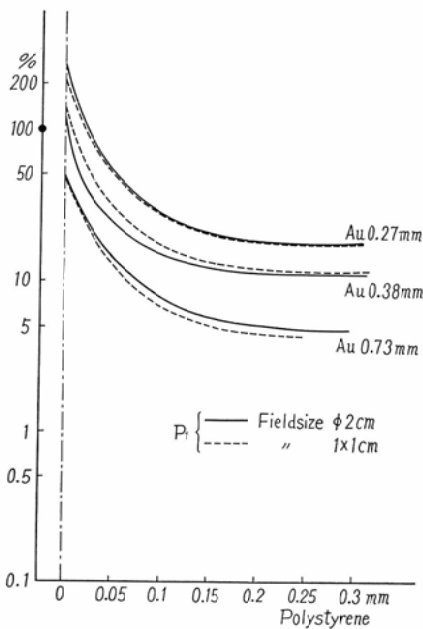
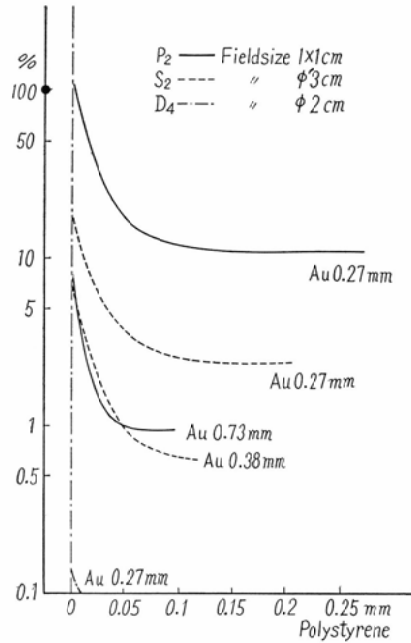


Figure (6): The dose on the corneal surface of Au protective plates of three kinds of thickness, against Source P<sub>1</sub>, and their attenuation by Polystyrene thin plate.



同様で、照射野が非常に小さいためであろう。次に図(7)において、P<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>とも Au 0.27~0.38mmの範囲では Polystyrene 2枚(0.1mm)程度

Figure (7): The dose on the corneal surface of Au protective plates of three kinds of thickness, against Source P<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> and D<sub>4</sub>, and their attenuation by Polystyrene thin plates.



でほぼ一定値となる。D<sub>4</sub>に対しては0.27mm Au板のみですでに0.14%に減弱し、これにPolystyrene 1枚(0.05mm)をはさむと、線量計の測定下限(0.1r/分, 0.035%)以下に減弱する。また0.38mm Au板ではこれだけでも測定下限を下まわると、防護板のみで測定不能となる。またS<sub>2</sub>でも0.73mm Au板のみで約3%に減弱し、更にPolystyrene 1枚をはさむと測定不能となる。なおこの二次線を阻止するに必要なPolystyreneの厚さは線源のみに関係し、防護板の厚さには無関係のようにも見える。防護板からの二次電子がこの二次線の主体であると考えれば、この現象は理解しやすい。Pb板でも同様の現象が見られるのはいうまでもない。

ホ) Al箔による減弱曲線: 図(8)参照

次にPolystyreneの代りにAl箔(厚さ0.015mm)を積み重ねて同様の実験を行った。図(8)にその結果を示す。この二次線を阻止する必要



Figure (8): The dose on the corneal surface of Au and Pb protective plates, of three kinds of thickness, against Source P<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, and their attenuation by Al foils.

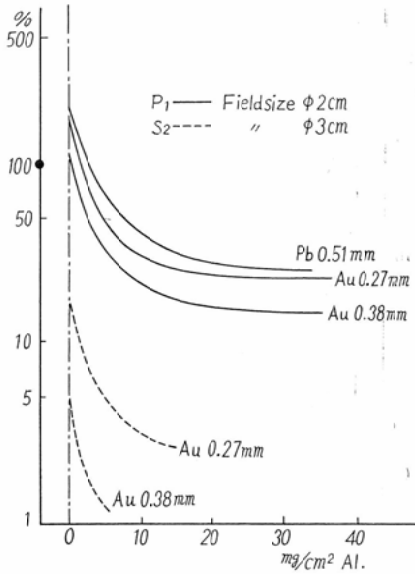
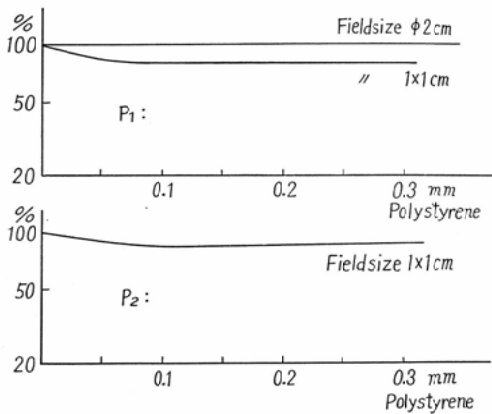


Figure (9): The sub-surface dose of small field size, against Source P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>.



な Al 箔の厚さは0.06~0.09mm, すなわち15~25 mg/cm<sup>2</sup> 程度である。

へ) 対照実験 (Collimator からの二次線の検討): 図(9)参照

次に1×1cmの Collimator および直径2cmの Tubus(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>用)からの二次線について Shallow Chamber による実験を行った。これら照射野の

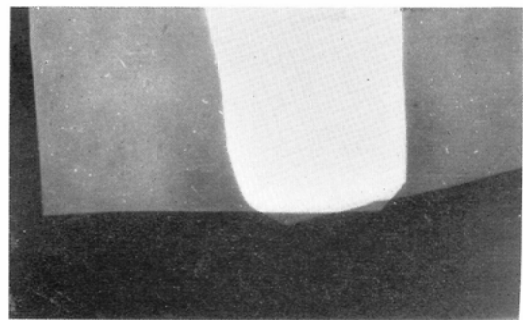
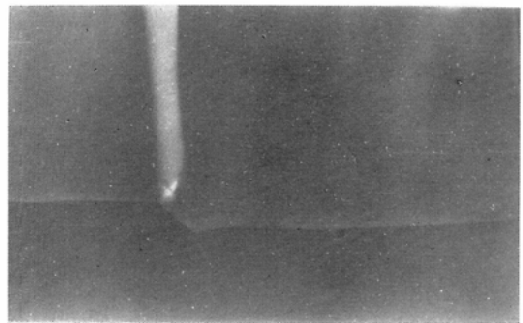
場合の X 線の Build-up 曲線について、直径2cmの Tubus の時はその先端と Chamber 表面との間隔が1~20mmの範囲では、Polystyrene を積み重ねても線量変化を認め得ない。しかるに1×1cmの Collimator (間隔11mm) の場合は0.05mmの深さで(Polystyrene 1枚)線量は約10%減少し、更に深部で一定値に近づく。わずかではあるが二次線に関する上記実験と類似の現象が見られる。この現象は Collimator を Chamber 表面から10cm離すと消失する。

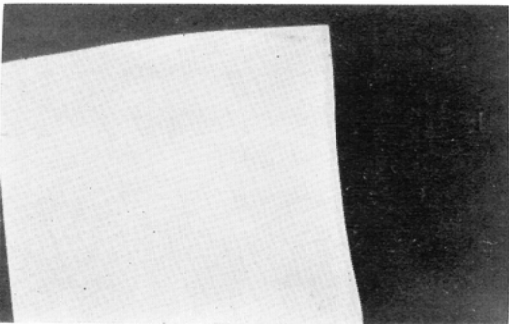
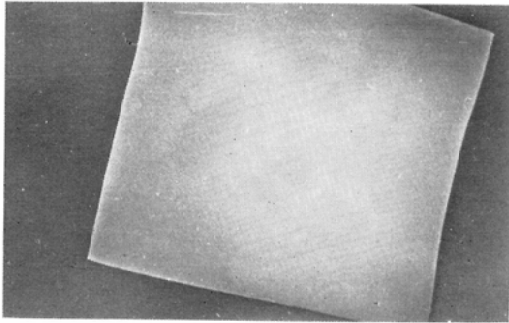
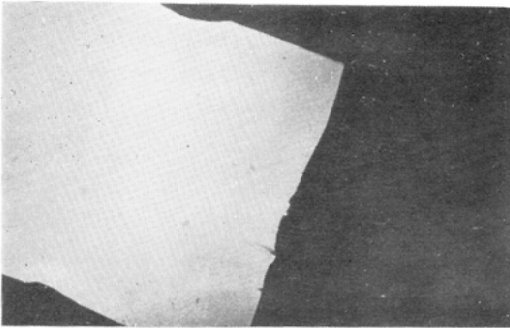
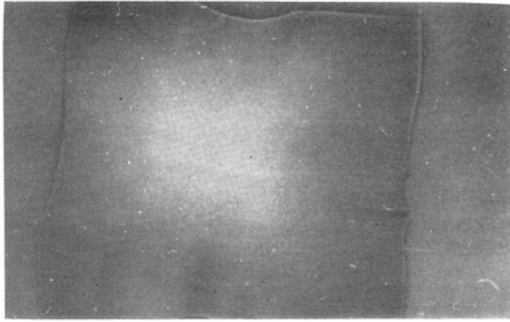
d) 片面乳剤の黒化: 図(10)参照

次にこの二次線に関する Shallow Chamber の測定結果を Film の黒化によつて補足した。Film は Neopan SS および Process film, 写真上段は

Figure(10): Response of photographic emulsions on the corneal surface of Au and Pb protective plates, against Source P<sub>1</sub>, and their attenuation by Polystyrene thin plates.

0.5 mm Pb (Process)	0.27 mm Au (SS)	0.38 mm Au (SS)
" +0.05 mm Polystyrene (Process)	" +0.2 mm Polystyrene (SS)	" +0.2 mm Polystyrene (SS)





Paraffin ブロック表面に置かれた乳剤膜面（入射側）上に直接防護板を置いて撮影したものであり、下段は防護板と膜面間に Polystyrene をはさんで撮影したものである。防護板を置いた部分が二次線のため周囲より強く黒化する場合もあり、増感作用を示す。Polystyrene をはさむとこの黒化は消失し、周囲との Contrast は強くなる。またこの方法によつて、義眼入射面にも角膜面と同様強い二次線が認められ、特に入射面は角膜面と異り、一次線の減弱による相殺がないためその黒化は高度である。これは義眼装用の場合の瞼結膜防護に関係し、角膜面のみならず、入射面も被覆すべきことを暗示する。Film dosimetry については今後更に検討を進めたい。

#### IV. 眼瞼部義眼装用照射の諸問題

##### 1) 前眼部の許容線量

###### a) 水晶体

X線白内障の閾値線量については古くから多くの臨床的観察と動物実験がある。前者としては、Hunt<sup>18)</sup>氏は135kVp, 775tissue r, 1000gamma r でそれぞれ5～7年後に白内障を認めている。有沢氏<sup>40)</sup>は140kV, 200r × 8回照射で222日後に白内障を観察した。またCogan<sup>7)</sup>氏によると200kVp 以下では空中線量1,000r 程度で白内障を起すが、停止性の水晶体濁濁は600r でも起ると。Kozina<sup>40)</sup>氏は1回、分割いずれの照射においても360r 以下ならば白内障は起らないという。またPolitzer<sup>32)</sup>氏も1回400r ではたしかに無害であると述べ、Lederman<sup>21)</sup>氏は600r × 1回, 1,500r/1カ月ではほとんど確実に白内障を起すという。最近Merriam & Focht 両氏<sup>26)</sup>は最小白内障発生線量として、200r × 1回, 400～500r/3週～3カ月～それ以上を示し、更にもし750～950r/3週～3カ月を照射すれば60%の確率で白内障が発生し50%の確率でそれは進行性であると、また1150r を越えれば線質、治療期間に関係なく全例が白内障を起すと報告している。血管腫の治療においてGreuel<sup>13)</sup>氏によると500～600r で白内障が起り始めると云う。次に後者に関する報告はきわめて多いが、いずれも臨床的

な閾値線量をはるかに下まわる線量で白内障性変化が見られており、かつ幼若動物の感受性が重視されている。Upton<sup>41)</sup>氏は水晶体の感受性差について、マウス、ラッテ、モルモット、家兎そして人の順であるとし、逆に Rohrschneider, Poppe<sup>40)</sup>氏は人が家兎より敏感であるという。北島氏<sup>40)</sup>は成熟家兎に対し、150kV、216r×1回照射で125日後に赤道部の組織学的変化を検出した。また神鳥氏<sup>40)</sup>は猿眼について80kV、900r×1回、8カ月後に更に400r×3回計2,100r照射し、2.5年後に典型的なX線白内障を見ている。Cogan & Donaldson<sup>8)</sup>氏は生後10週の家兎について閾値線量は(200kVおよび1,200kV)250r以下という。また Politzer<sup>32)</sup>氏によると生後14日の Salamandrinaen では水晶体は400r×1回で3カ月後に障害された。Leinfelder<sup>22)</sup>氏は動物実験で120kV(Al-濾過)では500~1,000rで少くとも部分的な濁濁が起ると述べている。徳永氏<sup>40)</sup>は生後3~5カ月の家兎について160kV(0.5mm Cu+1.0mm Al)、45~90rでも21週後に後嚢下空胞形成を、そして200rでは部分的濁濁を認めている。Riley<sup>35)</sup>氏はマウスについて1年後観察により、median cataractogenic dose (X線)を775rとしている。また Becker<sup>2)</sup>氏は家兎眼について100~1,300r (200kVp)で水晶体上皮の有糸分裂が抑制されるという。次に Leinfelder<sup>23)</sup>氏、Richards<sup>34)</sup>氏は家兎水晶体の部分的Shield(4象限に分割して照射)による200~250kV照射に際し、水晶体の2象限以上を防護すれば1,000~12,000rの大線量でも照射部分のみの濁濁を来し、1年後にはこの部にもふたたび正常の線維形成が見られるに至る。1/4のみの防護では完全な白内障発生を防ぎうるとは限らないという意見である。最近 Ehling u.Krokowski<sup>(9)10)11)</sup>氏は幼若家兎水晶体の感受性を強調し、350rad(入射300~500r)を閾値線量とし、また200rを水晶体の成長障害に対する耐容量としているが、若い場合は50r程度でも性腺と同様に蓄積され<sup>20)</sup>、最小量でも成長が障害されるという。超軟線ないしは軟線の作用に関しては、Brunst<sup>6)</sup>氏が若い

Axolotl の水晶体変化を検討し、6,000rで全例に白内障を認め、その内60%が中等度もしくは高度の変化であるのは興味深い。

#### b) 角、結膜

X線およびβ線照射に伴う角、結膜の反応もかなり観察されている。Wilson & Wilson<sup>43)</sup>両氏はβ線の Biostandardization として、一定の潜時後に現われる角膜実質性濁濁を起す最小線量としてM I D (Minimal Inflammatory Dose) という概念を導入し、これは35,000 rep 前後であるとした。その後も種々の報告<sup>29)40)</sup>があり、これは20,000~35,000 rep 程度とされている。Krasso<sup>30)</sup>氏は以前に限界線の980~4,000rで角膜上皮の浮腫を認め、更にその後4,000r照射すると角膜濁濁が発生し、その後もう一度4000r照射すると角膜の表在性壊死と瘢痕化が起つたとの報告をした。Merriam<sup>25)</sup>氏は良性疾患のβ線治療では角、結膜表面に2,000~3,000rep が適当で、5,000 repをこえるべきでないと感じている。また Blo-di<sup>3)</sup>氏の実験では250kV X線を8回照射して、900r/週以上では重い角膜障害を認め、1,000r/週以上では穿孔を起している。800r/週では角膜の血管新生とリンパ球浸潤が見られ、これ以下では一定した病的変化を見ていない。Lederman<sup>21)</sup>氏は人の正常角膜は非常に耐容性であると云う。また Becker<sup>2)</sup>氏らの研究結果では200kVp、100~1,300rでは家兎前房内の炎症性浸潤と房水分泌の部分的な抑制が見られる。Cogan & Donaldson氏<sup>8)</sup>らは200kV および1,200kVの1,500r/15~30日以上で家兎眼の角、結膜炎を観察し、年齢に関係なく1,000r/200kV、1,500r/1,000kVがその閾値であるという。吾国では北島氏<sup>40)</sup>が家兎について角膜浮腫、上皮剝脱等を起し、潰瘍に至る線量を1,700r (150kV, Al:3mm)以上としている。また上記の実験で Brunst<sup>6)</sup>氏は軟~超軟線の6,000 rで38%に角膜障害を見た。

#### 2) 防護義眼の被覆問題

以上の諸報告から、角、結膜の耐容量は水晶体よりもかなり大きいものと思われ、超軟X線やβ線では更に安全であろう。上記の諸実験によると

Table (4) : Combination of shell, source and field size, enabling the lens dose to be attenuated below a certain permissible level.

	Field size $\phi$ 5 cm				Field size $\begin{cases} \phi 1.4\text{cm} \\ 1 \times 1\text{cm} \end{cases}$			
	Au I		Au II		Au I		Au II	
	Vict.	Shal.	Vict.	Shal.	Vict.	Shal.	Vict.	Shal.
10% (400r)	D <sub>1</sub> ~D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub> ~D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub> ~D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub> ~D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>
5% (200r)	—	D <sub>1</sub> ~D <sub>2</sub>	—	D <sub>1</sub> ~D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~S <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>2</sub>
1% (40r)	—	D <sub>1</sub>	—	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~S <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~P <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> ~S <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> ~S <sub>2</sub>

義眼角膜面の二次線はこれらが主体をなすものと想像されるし、その上にこの二次線は一次線が軟線であるほど薄い被覆で阻止できるものと思われるために、軟X線治療の場合には被覆による二次線の防護をそれ程重視する必要はないと考える。Plastics被覆を行わなくても0.27mm Au板ではD<sub>4</sub>で0.14%、0.73mm AuではS<sub>2</sub>で3%程度に減弱する。したがって超軟線の時はもちろん、S<sub>2</sub>でもAu義眼の厚さによつては被覆を必要としないものとする。

### 3) 線源と照射野の撰択

前方より小照射野1門で眼瞼を照射するには4,000r前後の分割照射を行うことが多いから、これを一応の基準として水晶体被曝を計算すると、表(2),(3)より次の表(4)の結果が得られる。すなわち1回、分割を問わず総量4,000r(表面)を照射した場合にも、水晶体線量がその10%(400r)、5%(200r)、1%(40r)の限界をこえないような線源と照射野の組み合わせが表(4)に示されている。水晶体許容量に関する諸家の報告から考えると、成人では5~10%基準—悪性腫瘍10%、良性疾患5%—を取り、小児では1~5%基準—悪性腫瘍5%、良性疾患1%—に従うのが適当であろう。このように防護義眼を装着してもなお線源と照射野に充分な配慮が必要である。

### V. 臨床

現在まで4例の眼瞼血管腫、1例の眼瞼癌についてAu, Pb義眼を装着させて照射を行い、治療後1~6カ月間観察したが、角膜、水晶体ともに障害を認めず、また角膜の損傷も見られない。

### 1) 血管腫

吾々は通常D<sub>2</sub>, 300r/3週、総量3,000r/8カ月程度の照射を行っている。乳幼児に多く、実際の照射は窓を作つたPb板と義眼を併用して行われるため、その照射野は表(4)の両照射野の中間に相当し、したがって線源はD<sub>1</sub>~D<sub>2</sub>程度が望ましい。しかしD<sub>2</sub>以下では治癒せしめ難い症例もかなり多く、D<sub>3</sub>~D<sub>4</sub>を使用するか否かは症例ごとに決定すべき問題であろう。S<sub>2</sub>以上は不適当と考える。

### 2) 癌

眼瞼癌に対してはD<sub>4</sub>~S<sub>2</sub>, 4,000r/2週~3週程度の照射が行われることが多いが、この場合は病巣周囲および内外眥部などの浸潤が問題となるため、水晶体被曝もある程度に増大するのは止むを得まい。D<sub>4</sub>によれば許容量程度に止めうるが、これで常に他の方法と同程度の治癒率が得られるか否かに問題が残る。

### VI. 総括ならびに結論

治療用防護義眼として最も要求される条件は、防護能力を保ちながら薄く小さく仕上げることにあり。著者らは昨年来、Auの易加工性、大きな線吸収係数、化学的安定性、また生体に無害な点などに着目し、価格の点にやゝ問題を残すが、純金を基材として用いることを試みた。更にPb, Au双方で試作された数種の防護義眼を中心に若干の遮蔽実験を行った。すなわちParaffin PhantomにPolystyrene薄板、Al箔などを併用して、指頭電離槽、Shallow Chamberおよび片面乳剤Film等による測定を行い、二次線を含めPbあ



るいは Au 防護義眼の性能について比較検討した。更にこれを臨床の実際に応用し、次の結論に達した。

1. 防護義眼基材として Au は Pb より優れている。

2. 二次線のため、線質、義眼の厚さおよび被覆の厚さ、の三者の組み合わせいかんによつて、義眼角膜面線量は著しく変化する。

3. 一般的には Au 義眼も Pb 同様、二次線防護の目的で低原子番号の物質による両面被覆が必要である。

4. 超軟X線を用いる限り、Au 義眼はPbと異つて実際上は被覆を必要とせず、この利点は Au のもつ価格上の難点を補いうるであろう。

5. 防護義眼を装用しても、線質と照射野に留意し、水晶体、角膜の障害を予防しなければならない。

本論文の要旨は第20回日本医学放射線学会総会において発表した。

立入弘教授、水川孝教授の御高閣に厚くお礼を申しあげて稿をおえる。

#### 文 献

- 1) Beck, A.: Fortschr. Röntgenstr. 78, 80, 1953.
- 2) Becker, B. et al.: Am. J. Ophthalm. 42, 51, 1956. —3) Blodi, F.C.: A.M.A. Arch. Ophthalm. 63, 20, 1960. —4) Bothman, L.: A.M.A. Arch. Ophthalm. 23, 1198, 1940. —5) Brodin, S.E. and H. Hammar: Acta Ophthalm. 37, 266, 1959. —6) Brunst, V.V.: Am. J. Roentgenol. 80, 1014, 1958. —7) Cogan, D.G.: Bull. Ophthalm. Soc. Egypt. 46, 458, 1953. —8) Cogan, D.G. and D. D. Donaldson: A.M.A. Arch. Ophthalm. 45, 508, 1951. —9) Ehling, U. und E. Krokowski: Fortschr. Röntgenstr. 86, 469, 1957. —10) Dies: ebenda 87, 222, 1957. —11) Diss: ebenda 88, 591, 1958. —12) Focht, E.F. et al.: Radiology 76, 459, 1961.

- 13) Greuel, D.: Deutsch. Med. Wochenschr. 84, 2229, 1959. —14) Haik, G.M. et al.: Am. J. Ophthalm. 38, 465, 1954. —15) 浜野光他: 臨床眼科, 15: 387, 1961. —16) Hoffmann, W.: Strahlenther. 36, 105, 1930. —17) Hughes, W.F. and C.E. Iliff: Am. J. Roentgenol. 56, 502, 1946. —18) Hunt, H.B.: Am. J. Roentgenol. 57, 160, 1947. —19) Knieler, W. und C.G. Schirren: Strahlenther. 89, 606, 1952. —20) Kölling, H.L. und E. Reuter: Strahlenther. 113, 299, 1960. —21) Lederman, M.: Brit. J. Radiol. 30, 469, 1957. —22) Leinfelder, P.J. et al.: Radiology, 65, 433, 1955. —23) Leinfelder, P.J. and E.F. Riley: A.M.A. Arch. Ophthalm. 55, 84, 1956. —24) Macherauch, E. und P.O. Thelen: Fortschr. Röntgenstr. 91, 125, 1959. —25) Merriam, G. R.: Radiology, 66, 240, 1956. —26) Merriam, G.R. and E.F. Focht: Am. J. Roentgenol. 77, 759, 1957. —27) Merriam, G.R. and E.F. Focht: Radiology 71, 357, 1958. —28) Miescher, G.: Strahlenther. 74, 664, 1944. —29) 水島亭: 日眼誌, 64, 2643, 1960. —30) Pfeiffer, R.L.: A.M.A. Arch. Ophthalm. 21, 976, 1939. —31) Pirie, A. and P.H. Flanders: A.M.A. Arch. Ophthalm. 57, 849, 1957. —32) Politzer, G.: A.v.G. Arch. Ophthalm. 157, 459, 1955~56. —33) Puntteney, I. and D. Shoch: Am. J. Ophthalm. 38, 673, 1954. —34) Richards, R.D. et al.: Am. J. Ophthalm. 42, 44, 1956. —35) Riley, E.F. et al.: Radiology 67, 673, 1956. —36) Rohrschneider, W.: Münch. Med. Wochenschr. 97: 1, 33, 1955. —37) Rübe, W. und E. Krokowski: Fortschr. Röntgenstr. 86, 374, 1957. —38) Smithers, D.W.: Brit. J. Ophthalm. 24, 105, 1940. —39) 立入弘他: 東芝放資料 41, 12, 1961. —40) 戸塚清: 日本眼科全書, 6, 2: 1, 203, 1958. —41) Upton, A.C. et al.: Radiology 67, 686, 1956. —42) Wanko, T. et al.: A.M.A. Arch. Ophthalm. 62, 977, 1959. —43) Wilson, F.M. and J.W. Wilson: A.M.A. Arch. Ophthalm. 48, 686, 1952. —44) Wölfflin, E.: Klin. Mbl. Augenheilk. 82, 813, 1929. —46) Wölfflin, E.: Strahlenther. 44, 800, 1932.