OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	X線拡大立体撮影について
Author(s)	長谷川, 正浩; 清水, 浩
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1982, 42(5), p. 429-434
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19447
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X線拡大立体撮影について

日本医大放射線医学教室（主任：恵畑欣一教授）
長谷川 正浩 清水 浩

（昭和56年11月26日受付）
（昭和57年1月25日最終原稿受付特別掲載）

Regarding Magnified Stereoscopic Radiography

Masahiro Hasegawa and Hiroshi Shimizu
Department of Radiology, Nippon Medical School
(Director: Prof. Kin-ichi Ebata)

Research Code No.: 500

Key Words: Magnified stereoscopic radiography, Focal points, Depth perception

The clinical significance of magnified stereoscopic radiography has been better acknowledged in recent years but there seems to be still some confusions in the practical aspects because the technological principle has not yet been systematically established. The authors attempted to make a basic and theoretical approach to magnified stereoscopic radiography, applying the concept of magnification of depth perception vis à vis the retinal image in the ordinary visibility. The clinical stereoscopic radiography is intended to provide with necessary informations concerning the anatomical correlations for the surgical intervention or diagnosis under natural visual sight. The clinical significance of stereoscopic radiography, therefore, should be evaluated by the convenience of the x-ray image with the object image under the natural visual sight. From this view point, the usefulness of the magnified stereoscopic radiography will be improved by simulating the correlations between the image and the depth perception in magnified stereoscopic radiography to that of the natural visual sight as much as possible. To see an object in the natural visual sight at a magnification n is to magnify the retinal image by n times. The simplest way to see an object now in sight at a magnification n is to shorten the observation distance to the 1/n. The second way is to use a magnifier.

Based upon above mentioned concepts, the authors classified the magnified stereoscopic radiography into three types; so called approaching magnification type, the magnifier type and the combination type in which the former two types are combined. The authors also suggested that the most proper type should be chosen for the practice in accordance with the demanded conditions such as the grade of necessary magnification, size of the object to be magnified and the convenience of the user of the stereoscopic apparatus.

緒　言

医療に用いられるX線拡大立体写真は，実際に物を観察する場合と比較検討されるものであるから，X線拡大立体撮影法を日常実際に物をみる場合の網膜像と奥行感の観点から分類し，又見ているX線拡大立体写真がこの日常の客観的視空間に於けるどのような状態に相当するのかを意識する必要があることを述べた．

I　通常のX線立体撮影法，所謂コンタクト立体撮影法について

先ずX線拡大立体撮影法の理解のために通常のX線立体撮影法（以後コンタクト立体撮影法とする）の撮影および観察の基本的関係を考察する．

I-1　所謂コンタクト立体撮影法の条件について

瞳孔間距離を DD′，焦点—被写体後面あるいは密着したフィルム面間距離を ff_1，観察距離 df_1 のときの視差角をαとすると，Fig. 1 の様にX線立体撮影では実物を見た場合の印象とほぼ同等の奥行感を得るための視差角αを作るために二焦点間距離 FF′ が必要なのであり，$ff_1 \fallingdotseq df_1$ ならば，

$$FF' = DD' \times ff_1/df_1 \cdots\cdots \quad \cdots\cdots (1)$$

が成立つ．

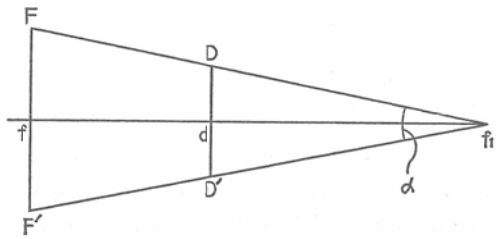

Fig. 1　Geometry for steroscopic radiography.

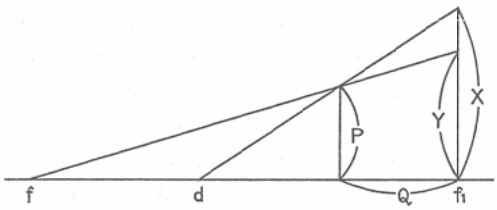

Fig. 1′　Geometry for radiography.

I-2　撮影距離 ff_1 と観察距離 df_1 が異るときの物体前後の拡大率の差について

通常の非立体X線写真に於ては，物体前後の拡大率は同等の方が好ましい故X線束を可求的平行とするために撮影距離を観察距離よりも大とする．一方実際に物を見る場合には同じ大きさのものでも近方のものは大，遠方のものは小にみえる．Fig. 1′ に於て非立体X線撮影の場合を考えると，被写体の後面あるいはフィルム面 f_1 からQだけ離れた所にある目標pをdから見る場合の網膜像に対応する影Xを基準とすれば，撮影距離 ff_1 でpを撮影したX線写真Yとの拡大率の差は下記の様になる．

$$Y/X = (ff_1/ff_1 - Q)/(df_1/df_1 - Q) \cdots\cdots (1)'$$

同様にしてコンタクト立体撮影の場合，Fig. 1 に於て被写体の後面又はフィルム面 f_1 からQだけ手前にある目標部分の立体写真は，実際にその部を見る場合と比較すれば像も実行感も $(ff_1/ff_1 - Q)/(df_1/df_1 - Q)$ の割合で歪んでみえることになる（Ⅱ-2参照）．

I-3　X線立体写真の平均的観察距離について

従来所謂コンタクト立体撮影法に於ては，2焦点間距離 FF′ は撮影距離 ff_1 の10%が適当とされているが，今瞳孔間距離 DD=6cm とすれば観察距離 df_1=60cm，又 DD=6.2cm とすれば df_1=62 cm となる．観察者は実物を見る時の像の大きさと奥行感の関係に似る様努めるだろうから，$ff_1 > df_1$ 時の像の歪みを考慮すれば従来のX線立体写真の利用範囲に於ては約 60cm～80cm の観察距離が採られることが多かった事を物語ると思われる．

Ⅱ　X線拡大立体撮影法について

日常実物を見る場合，物体をn倍にして見るということは網膜像をn倍にすることである．今見ている物体をn倍にして見たい時の最も単純な方法は通常目標に接近して観察距離を 1/n にすることであり，別な方法としてはルーペでn倍にして見る方法がある．そこで接近して拡大して見る場合に相当する拡大立体撮影法を「接近拡大法」，ルーペで拡大して見る場合に相当する拡大立体撮影法を「ルーペ拡大法」，両者を合せた拡大立体撮影法を「混合拡大法」として分類し，今見ているX線拡大立体写真が実際に物を見る場合のどの様な状態に相当するのかを意識し易い様にしたいと思う．

Ⅱ-1　「接近拡大法」について

今 Fig. 2 にdの位置の両瞳孔をD及び D′，又 d′ の位置の瞳孔を D″ 及び D‴ とし，被写体の後面の目標 f_1 に向って視線が集中する様を示す．なお以下Ⅱに於て目標 f_1 を考える時，便宜上被写体の後面の一点を基準とする．そして観察距離

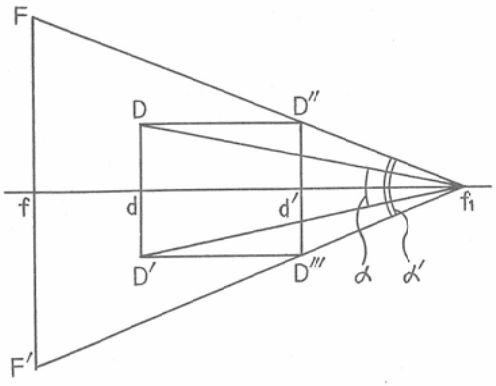

Fig. 2 Geometry for concept of magnification of depth perception in relation to the retinal image in ordinary sight.

と撮影距離が異る時の目標 f_1 から手前のものの拡大率の差，歪みに関しては必要に応じて随時考察（I－2参照）することとし，その一々を述べずに $df_1 \fallingdotseq ff_1$ として拡大立体撮影法の大方の理論の展開を試みることとする．

今 d の位置からの観察時の網膜像を基準にすると，d′ の位置からの観察時の網膜像は $df_1/d'f_1$ 倍である．そしてこの時網膜像に含まれる奥行感をもたらす因子も又 $df_1/d'f_1$ 倍されている（II－2参照）．一方瞳孔間距離 DD′ と D″D‴ は不変なので d の位置から d′ 迄移動すればその時の視差角 α′ は，もとの視差角 α のほぼ $df_1/d'f$ 倍となる．従って d′ からの観察時の奥行感をもたらす因子はほぼ $(df_1/d'f_1)^2$ 倍となる．今 d′ の位置からの観察とほぼ同じ網膜像と奥行感の関係を得るために二焦点 FF′により所謂コンタクト立体撮影を行い，その写真をAとし，d′ の位置から見たAの印象をそのままそっくり d の位置から得るためには，観察距離の増加による網膜像の縮小を補正してAを $df_1/d'f_1$ 倍しなければならない．そしてその大きさの写真を作るために ff_1 を $df_1/d'f_1$ 倍して焦点一フィルム間距離が得られる．

今 Fig. 3 に示す様に倍率を n とし，焦点一被写体後面の目標間距離 ff_1，焦点一フィルム間距離を ff_2，拡大して見るために仮に接近した観察距離を $d'f_1$ とすると，「目標に接近して観察するときにほぼ等しい網膜像と奥行感の関係」を得るための X 線拡大立体撮影法の関係式は，

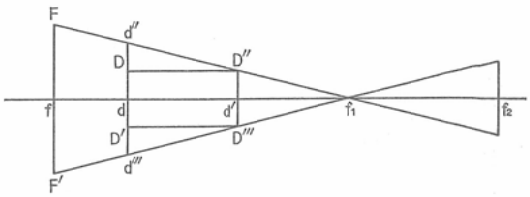

Fig. 3 Geometry for so-colled approaching type magnification.

$$n = df_1/d'f_1 \cdots\cdots \quad \cdots\cdots (2)$$

$$FF' = nDD' \times ff_1/df_1 \cdots\cdots \quad \cdots\cdots (3)$$

$$ff_2 = nff_1 \cdots\cdots \quad \cdots\cdots (4)$$

又は式（2）(3)を整理して，

$$FF' = ff_2 \times DD'/df_1 \cdots\cdots \quad \cdots\cdots (5)$$

即 n 倍接近拡大法の時，像は n 倍，奥行感をもたらす因子はほぼ n^2 倍である．

ただし $d'f_1 \neq ff_1$ の時は I－2 で考察した歪みを考慮する．又接近には自ずと限度があるので n は高々 2～3 迄とする．

II-2　「ルーペ拡大法」について

実際に物を見る場合に於て，観察距離を変えずにルーペ（両眼共に見える）を用いて目標を拡大して見る時の網膜像と奥行感との関係は，X線拡大立体撮影に於ては，コンタクト立体撮影の条件としての2焦点間距離 FF′（I－1参照）を変えずに焦点一フィルム間距離 ff_2 を増して影である写真を拡大した時に相当する．被写体の影であるX線写真と奥行感との関係を Fig. 4 に示すと，今Dから単眼で被写体 f_1 の影（A），（B）を見る時，視角（α）が同じならその網膜像の大きさは同じである．そして（A），（B）に対応する点として D′ の視角上に（A)′，（B)′を求め，df_1 の観察距離で（A）(A)′を立体視した時と df_2 の観察距離で（B）(B)′を立体視した時とでは網膜像の大きさと奥行感との関係は同じである．ここで DD′ を FF′ 又（B）(B)′と（A）(A)′をX線立体写真と置変えて考えることが出来る．X線拡大立体写真（B）(B)′は，コンタクト立体写真（A）(A)′に比して df_2/df_1 倍されていて，もちろんそれにつれて視差による奥行をもたらす

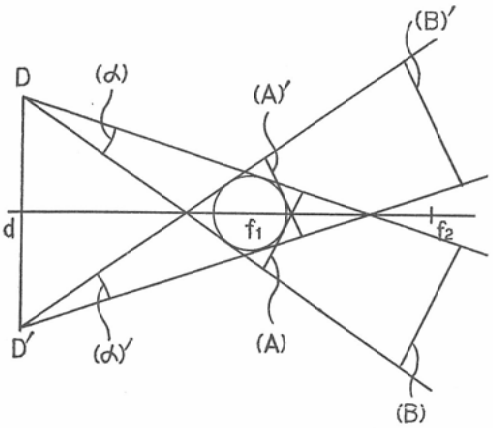

Fig. 4 Illustration for so-colled magnifier type magnification.

因子も又 df_2/df_1 倍されている．今例えば（A）と（B）′を一組として（A）と（B）′を各々 df_1 及び df_2 の距離に置いて（A）（B）′を立体視すると，（A）（A）′を df_1 にて立体視したのと同じ網膜像と奥行感が得られる．実際にも（A）に相当する写真として，一被写体を，FF 5cm，焦点一被写体後面あるいはフイルム面間距離 ff_1 50cm（被写体が小ならば FF′ 10cm，ff_1 100cm でもよい）の所謂コンタクト立体撮影法で撮影した一葉と，（B）′に相当する写真として FF′ 5cm，ff_2 100 cm の2倍拡大立体撮影法で撮影した一葉とを各々，眼前30cm，60cm に据えて錯視法にて裸眼立体視が可能であり，それは（A）（A）′に相当する前者の組を眼前30cm に置いて立体視するのとほぼ同じ網膜像の大きさと奥行感である．

今（B）（B）′を観察距離 df_1 で見ると網膜像は df_2/df_1 倍，奥行感も df_2/df_1 倍されて見える．故に「ルーペ拡大法」で n_2 倍する時のX線拡大立体撮影の関係式は，

$$FF'=DD'\times ff_1/df_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (6)$$

$$ff_2=n_2ff_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (7)$$

又は式（6）（7）を整理して，

$$FF'=DD'\times ff_2/n_2df_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (8)$$

即 n_2 倍ルーペ拡大法の時，像は n_2 倍，奥行感も n_2 倍である．又仮に焦点が小で且つ焦点一被写体間距離が等しければ，所謂コンタクト立体写真を光学的に n_2 倍したものは n_2 倍ルーペ拡大立体撮影したものにほぼ等しい．

II-3 「混合拡大法」について

観察距離 df_1 を基準として，まず目標に $d'f_1$ だけ接近した後そこから n_2 倍ルーペ拡大する場合，即「接近拡大法」と「ルーペ拡大法」の混合拡大の場合は，

先ず目標に $d'f_1$ だけ接近する時の倍率 n_1 は

$$n_1=df_1/d'f_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (9)$$

その時の2焦点間距離 FF′ は（3）式より

$$FF'=n_1DD'\times ff_1/df_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (10)$$

ルーペ拡大が n_2 倍ならさらに像を n_2 倍拡大されなければならないので（4）式より焦点一フィルム間距離 ff_2 は，

$$ff_2=n_1n_2ff_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (11)$$

以上の式（9）（10）（11）を整理すれば，

$$FF'=DD'\times ff_2/n_1n_2d'f_1\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots (12)$$

即上記（9）（10）（11）式に於て，あるいは（12）式に於いて

① n_1 と n_2 が同時に変化すれば，目標に $d'f_1$ 接近した後に n_2 倍ルーペ拡大した時の印象に相当する像の大きさと奥行感とを df_1 の観察距離で得る場合，

② $n_2=1$ ならば，n_1 倍接近拡大立体撮影法

③ $n_1=1$ なら n_2 倍ルーペ拡大立体撮影法

④ $n_2=1$，$n_1=1$ なら所謂コンタクト立体撮影法の場合である．

III 考　察

X線拡大立体撮影は拡大率が大になる程，比較的大きな被写体の表裏等の大きな前後差を判断しようとするにはかえって不向きとなる．故に撮影する被写体の大きさや利用者の目的によって拡大率や前記3種の拡大法が選択されなければならない．故意に二焦点間距離を大として奥行感のみを拡大して見る特別な場合を除き，例えば低倍率の場合や，1本の指骨，末梢気管支の一部の様な小さな被写体の場合には「接近拡大法」が適当であり，実際にも我々の選択的末梢気管支造影の2倍拡大立体撮影は「接近拡大法」によっている．又被写体が比較的大で且つ大まかな全体的前後関係

も，部分的詳細な前後差も同時に観察したい様な場合は，拡大率が小ならば「接近拡大法」も利用可能だが，拡大率が比較的大か又は実物をルーペによって拡大視する感じを欲する場合には「ルーペ拡大法」を採るのが適当だろう．いずれにしてもX線拡大立体写真が実際に見るものと比較検討されるものである限り，その撮影による立体写真を見た時の印象が，日常物を見る場合のどの様な状態（拡大法）に相当するのかを意識することは大切なことであると思われる．

土井[10]はRadiology, August, 1977に於てn倍拡大では非ステレオ法の時と同じ立体感が従来のステレオ法の $1/n^2$ の焦点間距離で得られるとし，例えば「2倍拡大」の条件として，ff_2 101.6cm, FF′ 2.54cm をあげている．そして実験として2cmづつ変化する階段に文字「STEREO」を配しそれを前記の条件と，ff_1 101.6cm, FF′ 10cmのコンタクト法とで立体撮影し，両者を立体視した結果，深さの立体感は一致しているので「新しい拡大法の基礎となっている理論的予想」と良い一致をしていると述べている．しかしこの2倍拡大の条件で撮った立体写真を60cmの観察距離で見る場合の網膜像と奥行感との関係は，被写体後面附近の目標に30cm迄接近して観察する時に比べて目標の網膜像の大きさはほぼ同じでもその目標附近の奥行感は約1/4であり，又理論的には網膜像を4倍にするルーペをもって120cmの所から上記目標を眺める時の網膜像と奥行感の関係に似ている．

一方又，上記の二組の実験立体写真は，たとえ実際の空間や計算上の奥行が同一でも視空間にあっては奥行に差のある2点間を見るとき，正面から見たその2点間が広がる程，その2点間の奥行感は減少するという現象の証拠写真でもある．因に上記二組の立体写真から一連の階段文字「STEREO」のみを取出して立体視してみると（実は計算上はこの拡大立体写真はコンタクト立体写真に比べれば焦点—被写体間距離が短いので，被写体の前方程拡大率は大きくなる傾向を有しそれにつれて奥行感をもたらす因子も大となるので，全体的に奥行もやや大とならなければならない筈だが，いずれにしても）拡大された方の立体写真の奥行が浅く感ぜられる．実際にも二組の同複数の虫ピンを一組は幅1cm 高さ1cm，他の一組は幅2cm 高さ1cmの階段状に立て，両組を両眼視して奥行感を比べると幅の広い組の方が浅く見える．即拡大立体撮影に於て奥行に関する因子を2焦点間距離の操作によって，拡大する前のコンタクト撮影の場合と計算上同一にしてしまえば，出来上った拡大立体写真の視空間に於ける奥行感は減少し，最早もとのコンタクト撮影の時の奥行感とは同一ではないのである．

この様に日常物を拡大してみる場合の条件から掛離れた浅い奥行感をもたらす条件に加えて，視空間に於ける奥行感の減少という現象が関与するために，土井[10]の主張する条件で作られた拡大立体写真は，奥行に関しても詳しく知ろうとする場合には不十分なものとなるであろう．

又脳血管造影の2倍拡大立体撮影の条件としてFF′ 4cm, ff_2 100cm, DD′ 6cmがあるとすれば，出来上ったX線拡大立体写真を75cmの距離から観察する場合の網膜像の大きさと奥行感は目標を被写体後面附近の一点とするとき，その目標を75cmの所から網膜像を2倍にするルーペを用いて眺めた時の網膜像と奥行感の関係に相当し，又約38cmの距離からその目標を観察する時に比して網膜像の大きさはほぼ同じで目標附近の奥行感は約1/2である．日常物をより詳しく見たいとき，75cmの所からルーペを用いることは一般的には少ないので，その条件で拡大立体写真を見れば，フィルム面に近い目標程奥行がやや浅く感ぜられる筈である．

又FF′ 3.5cm, ff_2 110cm, DD′ 6cmの2倍拡大立体撮影の条件があるとすれば，この拡大立体写真を94cmの所から観察する時の網膜像と奥行感の関係は同様にして網膜像を2倍にする様にルーペを用いて，94cmの所から目標を眺めた時とほぼ等しく，又目標に47cm迄近づいて見た時に比べて網膜像は同じで目標附近の奥行感は約1/2である．従って上記の理由によりやはり奥行は浅

く感ぜられる．

脳外科の実際は普通脳血管のごく一部を見乍行なわれるものであり，全体の血管影の奥行感は「ルーペ拡大法」による拡大立体撮影で一向に支障はないと思われる．しかし「ルーペ拡大法」の2焦点間距離 FF′ はⅡ-2で考察した様にもっぱら用いられる観察距離に於ける所謂コンタクト立体撮影法の条件が基準とされるべきであると思われる．又従来，二倍拡大立体撮影の焦点一被写体後面間距離 ff_1 として50cm～55cm が採られて居り，それはもっぱら用いられる平均的観察距離にほぼ等しいことが理想なのたが，そのもっぱら用いられる観察距離に関しては，裸眼立体視時の様な疲労なしに，任意の観察距離を採り得る例，例えば偏光板を用いた立体写真観察機等が普及すれば，拡大立体写真の平均的観察距離として従来と若干異る値が提唱される可能性もあると思われる．

又実物を見る場合に観察距離をm倍にすれば網膜像は $1/m$，奥行に関する因子は約 $1/m^2$ となるが，同様にして立体写真を見る場合網膜像は $1/m$，奥行にに関する因子は $1/m$ となる．故に例えば立体写真を見ながら観察距離を大とすれば網膜像に対する奥行が相対的に深く感ぜられる．今「基準とする観察距離」で実物を見る時の網膜像と奥行感に比較して，その物体の立体写真の目標付近の奥行に関する因子が $1/\beta$ のとき，その立体写真を，「基準とする観察距離」の β 倍の観察距離で見れば，目標付近の，網膜像に対する奥行感はその観察距離にて実物を見る時の網膜像に対する奥行感とほぼ等しい．

拡大立体撮影に関するその他の事項として，時に，二焦点間距離を増せば写真の共通部分が少くなる由の記載があるが無論これは拡大立体撮影の本質的問題とは別の，機構の改善の予地を示すものであると思われる．

結　語

X線拡大立体写真は実際に物を見る場合と比較検討されるものであるからX線拡大立体撮影法を日常実際に物を見る場合の網膜像と奥行感との関係から，ⅰ）接近拡大法，ⅱ）ルーペ拡大法，ⅲ）混合拡大法に分類し，撮影する被写体の大きさ，利用者の目的によって拡大法や拡大率が選択されるべきであり，又その拡大立体写真が日常物を見る場合に於けるどの様な状態に相当するのかを意識する必要があると主張した．

（稿を終るに当り多大なる御協力を賜った日本医大放射線医学教室恵畑欣一教授に深謝の念を捧げ，併せて同教室員各位の御援助に感謝致します．

参考文献

1) 萩原　朗編：眼の生理学，pp. 338—430，1966，医学書院，東京
2) 石原　忍：小眼科学．pp. 1—103，1963，金原出版，東京
3) 大塚　任，鹿野信一：臨床眼科全書 1．pp. 1—294，1969，金原出版，東京
4) 大塚　任．鹿野信一：臨床眼科全書 2—1．pp. 83—308，1970，金原出版，東京
5) 大塚　任，鹿野信一：臨床眼科全書 2—2．pp. 363—644，1970，金原出版，東京
6) 問田直幹：勝木保次 編：感覚の生理学．生理学大系VI．pp. 201—221，1967，医学書院，東京
7) 柳瀬敏幸，森川　進，木村幾生：レントゲンの扱い方．p. 362—364，1977，裳華房，東京
8) 高橋睦正：画像診断．Vol. 1，No. 8，pp. 702—707，1981
9) Christensen, E.E., Curry, T.S. and Nunnally, J.: An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, pp. 213—223, 1972, Lea and Febriger, Philadelphia
10) Doi, K., Rossmann, K. and Eugene E. Duda: A new Method of Cerebral Angiography, Radiology 124 pp. 394—401 1977
11) Dientz, K. and Kuhn, H.: Stereo Magnification Angiography, Electromedica 4. pp. 124—130, 1980
12) Schinz, H.R. et al.: Band I Allgemeine Grundlagen und Methoden. Lehrbuch der Röntgendiagnostik. pp. 59—64, 1965, Georg Thieme Verlag, Stüttgart
13) Robert A. Moses: Adler's Physiology of the eye,clinical application 5 edition.,1 969, The C.V. Mosby Company