

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

日本医学写真学会雑誌（2000.02）38巻1号:P1～9.

共焦点レーザー走査検眼鏡（SLO）による眼底撮影の臨床的有用性第2報（間接光による形態的検索）

福井勝彦、加藤祐司、五十嵐弘昌、磯部裕成、吉田晃敏

共焦点レーザー走査検眼鏡（SLO）による眼底撮影の臨床的有用性 第2報 間接光による形態的検索

福井勝彦¹⁾，加藤祐司¹⁾，五十嵐弘昌²⁾，磯部裕成³⁾，吉田晃敏¹⁾

旭川医科大学眼科学講座¹⁾，釧路赤十字病院 眼科²⁾，旭川医科大学脳神経外科学講座³⁾

Clinical Usefulness of Scanning Laser Ophthalmoscope for Taking Images of the Ocular Fundus. II (A Method for Examination of Fundus Morphology by Indirect Light)

Katsuhiko Fukui¹⁾, Yuji Katou MD,Ph.D¹⁾, Hiromasa Igarashi MD,PhD²⁾, Akitoshi Yoshida MD,Ph.D¹⁾,

- 1) Department of Ophthalmology Asahikawa Medical College
(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan)
- 2) Kushiro Red Cross Hospital
(21-14 Shineimachi Kushiro 085-0032,Japan)
- 3) Department of Neurosurgery Asahikawa Medical College
(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan)

: Abstract

We investigated the usefulness of a method for examining a protruding lesion on the yellow spot and for examining the morphology of the retinal surface using the dark-field aperture of a scanning laser ophthalmoscope. The cases examined were branch retinal vein occlusion, posterior uveitis, preretinal fibrosis and macular hole. A diode laser at 780 nm was used for the beam, and imaging was performed at an angle of 20 degrees using a ring aperture with a close aperture of 4 mm. Images taken using a dark-field aperture are made by blocking direct reflected light and only allowing indirect reflected light to pass through the ring aperture. In this method, the indirect reflected light causes a slight phase lag between the flat part and protruding part retina due to refraction and diffraction on the uneven surface of the protruding part. And the image obtained from conversion by electrical signals of optical data collected in the light detector has a three-dimensional-like appearance in that part due to very sharp contrast. This contrast is further enhanced by using a long-wave diode laser beam. For focus-shifting observation of the retinal surface, this method enables three-dimensional-like reproduction of the uneven surface of the retina and provides useful clinical information.

Key word: dark-field aperture; dark-field mode; fundus photography, scanning laser ophthalmoscope; cystoid macular edema

I. 緒言

対物レンズを照明光学系と撮影光学系で共用する同軸照明方式や撮影のみに使用する分離照明方式による従来からの眼底カメラ、瞳孔領から眼底全体を照明し眼球の透光体越しに眼底からの反射光を一度に撮影¹⁾するため、眼底からの散乱光や角膜や水晶体のみならず眼底カメラの光学系そのものからの反射はフレーザーやゴーストとなり画像を低下させる。さらに中間透光体の前房、水晶体、硝子体の濁りに起因したチンダル現象は、眼底に入射する光に比べて極めて反射率の少ない眼底からの反射光を遮り眼底所見を不明瞭化させる。撮影系にレンズを使用せず、眼底をレーザー光で高速走査し、その反射を高感度の光電子増幅管で捉えて画像に再構築する走査型レーザー検眼鏡 scanning laser ophthalmoscope (SLO)²⁻⁴⁾は、検出器の前に点光源と共役な位置に絞りを設置することにより反射光から直接的反射光もしくは間接的反射光(散乱光)を捉えることが可能である。レーザースポットの合焦点部位と共役な直接的反射光だけを小開口径(open aperture)を通過させる共焦点方式(confocal mode)^{5,6)}は、眼光学系による反射や散乱光の影響を受けにくくコントラストの高い眼底所見が観察⁷⁻¹⁴⁾でき、開口径の大きさを焦点深度を変化させることができる。一方、リング絞りを通過させて間接的反射光を選択する暗視野方式では、長波長のレーザーの波長特性¹⁵⁻¹⁷⁾により網膜色素上皮を透過し三次元構築の脈絡膜血管の観察に適しているが、その臨床的な有用性としての報告¹⁰⁾は少ない。今回我々は、暗視野絞りをを用いて黄斑部に隆起性病変を伴う疾患に対し、解像力の高い撮影倍率で焦点¹⁴⁾を移動することにより網膜表層の検索法を検討した。本法では、SLOの共焦点絞りによる眼底観察とは異なる所見が得られ、網膜表層の立体的観察に優れており、従来の眼底カメラによる画像では観察できなかった新たな情報として間接光による形態的検索法の有用性を報告する。

II. 対象と方法

1. 対象

対象として網膜静脈分枝閉塞(症例1)、後部ぶどう膜炎(症例2)、網膜前線維症(症例3)、黄斑円孔(症例4,5)の症例を対象とした。

2. 撮影装置

撮影装置は、ローデンストック社製(Rodenstock, Ottobrunn, Germany)の走査型レーザー検眼鏡 scanning laser ophthalmoscope (SLO)で行った。

3. 撮影方法

SLOによる画像の検出方法は、レーザーで眼内を走査し焦点の合った面だけを取り込まない。リング絞りは、絞りの中央を遮断す

ることで、焦点を合わせた部位からの反射光を遮断し、その前後からくる反射光および散乱光を選択して通過させて画像を形成する。共焦点絞りと暗視野絞りによる撮影原理^{12,14)}の模式図を示す(図1a)。撮影光源としては、長波長のダイオードレーザー(780nm)を用い遮断径は4mmのリング絞りで解像度の高い20度の撮影画角で行った。比較対照として眼底カメラによるカラー眼底撮影とフルオレスセイン蛍光眼底撮影およびSLOの共焦点(開口)絞りによる撮影を行った。カラー眼底撮影は、広角撮影用のキャノン社製眼底カメラCF60-Z(Canon, Tokyo, Japan)、もしくはニコン社製RETINAPAN-45 II(Nikon, Tokyo, Japan)を用いた。フルオレスセイン蛍光眼底撮影はフルオレスセインナトリウム(フルオレスサイト注射液1号(Alocn Tex, U.S.A.)500mg/5ml)を正肘静脈から注射後、既存の方法に従いキャノン社製のCF60-Zもしくは撮影画角30度のカールツァイス社製の眼底カメラ(Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)で撮影を行った。SLOの共焦点絞りによる撮影は、開口径2mmを用いて撮影画角40度で行い、詳細な観察には解像度の高い撮影画角20度で対象となる疾患の病変部が最も鮮明に写し出されるようにアルゴンブルー(488nm)、ヘリウムネオン(633nm)、ダイオード(780nm)のレーザー光で撮影を行った。(図2a)

Ⅲ. 結 果

1. 網膜静脈分枝閉塞症(症例1)

網膜中心静脈の分枝が閉塞し、その支配領域に火炎状の出血が認められた網膜静脈分枝閉塞症のカラー眼底写真を示す。水晶体の混濁により眼底所見は不明瞭であったが黄斑部に病変が確認された(図2a)。フルオレスセイン蛍光眼底撮影の後期像では、火炎状の出血が認められた下耳側血管領域に蛍光漏出およびstining(組織染)が観察されたが黄斑部所見は不明瞭であった(図2b)。SLOによるダイオードレーザーの暗視野絞りによる画像では、長波長の波長特性で間接光を捉えるため脈絡膜血管が立体的に観察できた(図2c)。一方、解像度の高い20度の画角で網膜表層に焦点移動して詳細に詳細に観察すると、黄斑部に不整円形の嚢腫状の黄斑浮腫が立体的に観察できた(図2d)。

2. 後部ぶどう膜炎(症例2)

後部ぶどう膜炎のカラー眼底写真を示す。脈絡膜の炎症性疾患により虹彩毛様体炎が併発した症例で、中間透光体の硝子体は混濁を伴い詳細な眼底観察は困難であった(図3a)。フルオレスセイン蛍光眼底撮影の後期像では、黄斑周囲の網膜毛細血管からの透過性亢進による漏出液から網膜神経上皮層に貯留し、中心窩の周囲に多数の微小類嚢胞腔(microcystoid space)が散在した嚢胞様黄斑浮腫が観察でき

た(図3b)。SLOのダイオードレーザーを用いた共焦点絞りによる観察では、硝子体混濁による散乱光は遮断網膜血管や滲出斑が捉えられ、さらに黄斑部が楕円形に障害されている所見が観察できた(図3c)。一方、暗視野絞りによる観察では、フルオレスセイン蛍光眼底撮影で捉えられた黄斑部中心窩の嚢胞様黄斑浮腫は花卉状の形態を示し、それを取り囲んで黄斑部は隆起性を伴った浮腫として観察できた(図3d)。

3. 網膜前線維症(症例3)

病初期の網膜前線維症のカラー眼底写真を示す。本症は網膜のグリア細胞¹⁸⁾が網膜内境界膜の断裂部より網膜表層への細胞増殖が原因となり、膜の形成とともに増殖や収縮を病変とする疾患で、黄斑部には半透明な牽引を伴った膜様物が観察できた(図4a)。フルオレスセイン蛍光眼底撮影では、蛇行した黄斑部の毛細血管が明瞭に観察でき、強く牽引された病巣部は造影初期で過蛍光を示し、造影後期では、蛍光色素の漏出が観察された(図4b)。SLOによる画像所見は、網膜表層の観察に適した波長の短いアルゴンブルーの共焦点絞りによる観察では、前線維膜が明瞭に観察された(図4c)。一方、暗視野絞りによる観察では、線維膜の牽引により黄斑部の周辺部に線維膜の収縮による線状の網膜の雛壁が観察された(図4d)。

4. 陳旧性の黄斑円孔(症例4)

円孔底に黄色の小沈着物と円孔周辺にhalo(暈)を形成していた陳旧性の黄斑円孔のカラー眼底写真を示す(図5a)。フルオレスセイン蛍光眼底撮影では、円形欠損した網膜を透見(window defect)して後方の脈絡膜背景蛍光が観察でき、円孔周辺部のhaloは網膜色素上皮の萎縮によりリング状の淡い過蛍光を示した(図5b)。

SLOの共焦点絞りによる画像所見は、散乱光が制限され、ヘリウムネオンレーザーでは、円孔縁が黒く輪郭の明瞭な2個の円形病変が観察できた(図5c左)。また、長波長のダイオードレーザーでは、による共焦点絞りによる観察では、円孔を透見し円孔底の形状を明瞭に捉えていた(図5c右)。暗視野絞りによる観察では、2個の円形病変と円孔周辺部の薄い網膜剥離部の拡がりや表層を立体的に捉えていた(図5d)。

5. 後部硝子体未剥離の黄斑円孔(症例5)

眼底に境界明瞭な横経約300 μ mの黄斑円孔のカラー眼底写真を示す。黄斑部の後部硝子体は未剥離で硝子体の牽引により円孔縁の網膜が隆起し、その周囲にhalo(暈)と周辺部に約1.5視神経乳頭横径の大きさの網膜神経上皮剥離部が観察できた(図6a)。フルオレス

セイン蛍光眼底撮影では、円形欠損した網膜を透見して後方の脈絡膜背景蛍光が観察できた（図6b）。ダイオードレーザーの共焦点絞りによる観察では、円孔の周りのhaloはコントラストが高くなり、さらに、円孔周辺の網膜神経上皮の剥離部は正常網膜と明瞭に区別された（図6c）。暗視野絞りによる観察では、円孔周囲の剥離した網膜神経上皮は円孔を中心として同心円上に配列した花卉状の皺襞として立体的に観察できた（図6d）。

IV. 考 察

走査型レーザー検眼鏡scanning laser ophthalmoscope (SLO) は、瞳孔から入射するレーザースポットが小さく、羞明を軽減させて眼底の診断や記録ができたが初期のSLOは、瞳孔全体で反射光を受光したため散乱光の影響が大きく、画像の解像度に問題があった。散乱光を制限するため共焦点方式 (confocal mode) がSLOに採用され、点光源と共役な位置に開口絞り (open aperture) を設置することにより、合焦点部位だけを画像として捉えることができ、コントラストの高い眼底画像を得ることが可能となった。さらに、開口径を変換することも可能である。一方、今回我々が検討した暗視野絞り (dark-field mode) による画像は、共焦点絞りとは逆に、口径の中心部を遮断¹⁾することによりリング状に光を透過させて合焦点部位からの直接的反射光を遮断し、その周りの環は合焦点部位の前後からの直接的反射光および間接的反射光 (散乱光) を透過させることによって形成している。すなわち、屈折率のゆるやかな勾配がある隆起性の病変部では、合焦点部位の前後からの直接的反射光および間接的反射光は網膜表層の凹凸面で屈折や回折を伴い、平坦な部位とに、わずかな位相^{19,20)}の差が生じ、検出器である光電子倍像管で光の情報を電気的な濃度信号に変換した画像は、その部分に明暗のコントラストがつき、立体感のある画像として観察される。さらに、近赤外光のダイオードレーザーは波長特性により、中間透光体の混濁、黄斑部網膜内のキサントフィル、網膜色素上皮細胞のメラニン色素を透過し脈絡膜の深い層からの反帰光を得ることができ、その立体的効果は、リング絞りの遮断経が大きいほど焦点深度が深くなる。その結果、暗視野絞りでは、脈絡膜血管像の観察に適している、したがって、この波長特性を網膜表層の形態を観察する目的で、高解像度の画角で硝子体側に焦点を移動することによって黄斑部の囊腫状浮腫のみならず、黄斑部週毛細血管からの透過性亢進による漏出では、花卉状の隆起病変を立体的に観察することができた。また、網膜前線維膜の牽引による網膜兵法の浮腫や線状の皺襞も観察することができ、変視症の自覚的検査手段であるアムスラーチャート (Amsler Charts) による、ゆがみの程度との比較や病状の経過観察だけで

なく、硝子体手術の治療効果の判定にも有用である。、さらに、黄斑円孔の症例では、円孔周辺部の薄い網膜剥離部の病巣部の拡がりを正常の網膜とは明瞭に区別して捉えられ、比較暗点や変視症の原因となる網膜表層の凹凸を観察することができた。これらのことより、暗視野絞りによる眼底観察は、網膜表層の形態的検索に有用であると考えられた。

V. ま と め

走査型レーザー検眼鏡scanning laser ophthalmoscope (SLO) の暗視野絞り (ring aperture) を用いて、黄斑に隆起性病変を伴う疾患を観察し網膜表層の形態的検索法を検討した。暗視野絞りによる画像は、直接的反射光を遮断し間接的反射光を透過させることによって形成している。本法では、合焦点部位の前後からの直接的反射光および間接的反射光は隆起部の凹凸面で屈折および回折を伴い、平坦部と隆起部に位相の差が生じ光検出器で光の情報を電気的な濃度信号に変換した画像は、その部分に明暗のコントラストがつき、立体感のある画像として観察される。その現象は、波長特性により長波長のダイオードレーザーでより明瞭なる。網膜表層に焦点を移動した観察では、網膜表層の凹凸が立体的に再現されており、その画像情報から従来の眼底カメラによる画像やSLOの共焦点方式による画像では得ることのできない有用な情報が得られた。

本論文の要旨は、第40回日本医学写真学会で発表した。

参考文献

- 1) 福井勝彦：「眼科診療プラクティスVol.46」，眼科写真撮影法，カラー撮影の基礎，金上貞夫，丸尾敏夫，臼井正彦，田野保雄編，36-37，文光堂，東京，1999.
- 2) Webb RH, Hughes GW, Pomerantzeff O : Flying spot TV ophthalmoscope. Applied Optics 19, 2991-2997, 1980.
- 3) Webb, RH, Hughes GW : Scanning laser ophthalmoscope. IEEE Trans Biomed Eng BME 28, 488-492, 1981.
- 4) Webb RH, Hughes GW, Delori FC : Confocal scanning laser ophthalmoscope. Applied Optics 26, 1492-1499, 1987.
- 5) 須藤憲子，田中隆行，坂本道子，大谷倫裕，岸章治：走査型レーザー検眼鏡による眼底の観察，臨床眼科，Vol. 46, No. 5, 763-770, 1992.
- 6) 千原悦夫，高橋扶佐乃：スキャニングレーザーオプサルモスコープによる網膜神経線維層欠損の観察，臨床眼科，Vol. 46, No. 2, 129-132, 1992.
- 7) 梯 彰：レーザー検眼鏡を使用した硝子体ビデオグラフィ，日本眼科学会誌，Vol. 99, No. 7, 819-823, 1995.
- 8) 長岡泰司，引地泰一，秋葉 純，石子智士，吉田晃敏：特発性黄斑上膜に後部硝子体の円形欠損を明瞭に認めた1例，日本眼科紀要，Vol. 47, No. 8, 993-995, 1996.
- 9) 梯 彰弘，石子智士：SLOと黄斑疾患，眼科，Vol. 139, No. 2, 14
- 10) 石子智士，秋葉 純，柳谷典彦，北谷智彦，吉田晃敏：走査レーザー検眼鏡を用いた間接光による黄斑円孔の観察，眼科臨床医報会，Vol. 90, No. 6, 777-779, 1997.
- 11) 石子智士，秋葉 純，北谷智彦，長岡泰司，吉田晃敏：走査レーザー検眼鏡を用いた白内障患者における硝子体の観察，眼科臨床医報，Vol. 91, No. 9, 1384-1386, 1997.
- 12) 廣芝直子：「月刊眼科診療プラクティス Vol. 1 , No.1, 33. デジタル眼底診断」；走査型レーザー検眼鏡の原理，小椋祐一郎，本田士編，16，文光堂，東京，1992.
- 13) 千原悦夫：「眼科診療プラクティス 2. 眼底の描き方」；レーザースキャン眼底カメラ，丸尾敏夫，本田孔士，臼井正彦，田野保雄編，218-219，文光堂，東京，1992.
- 14) 福井勝彦，加藤祐司，五十嵐弘昌，磯部裕成，吉田晃敏：共焦点レーザー検眼鏡（SLO）による眼底撮影の有用性(1)形態的検索，日本医学写真学会雑誌，Vol.37, No.4, 119-126, 1999.
- 15) 福井勝彦，加藤祐司，五十嵐弘昌：脈絡膜疾患に対する赤色光

眼底撮影の有用性と限界，日本医学写真学会雑誌，Vol. 36，No. 4，87-93，1998.

16) 福井勝彦，加藤祐司，五十嵐弘昌：脈絡膜疾患のスクリーニングとしての赤色光眼底撮，日本医学写真学会雑誌，Vol. 37，No. 1，2-11，1999.

17) 福井勝彦：「眼科診療プラクティスVol.46」，眼科写真撮影法，単色光眼底撮影，金上貞夫，丸尾敏夫，臼井正彦，田野保雄編，36-37，文光堂，東京，1999.

18) 松村美代，岡田守生，白川弘泰，荻野誠周：特発性黄斑上膜の組織学的分類，日本眼科紀要，Vol. 39，No. 4，689-695，1988.

19) 長野主税：特集 光学顕微鏡の基礎と応用，1. 顕微鏡光学系の基礎Ⅱ，日本医学写真学会雑誌，Vol. 34，No. 3，131-138，1996.

20) 長野主税：特集 光学顕微鏡の基礎と応用，3. 新しい光学顕微鏡と最近のアプリケーション，日本医学写真学会雑誌，Vol. 35，No. 1，2-7，1997.

< 図説 >

図1a SLOの撮影原理

レーザーを眼底の一点に照明し、高速でX-Y方向に走査、焦点面の反射光のみ検出し、それ以外はカットする。共焦点絞りは直接的反射光を暗視野絞りは、間接的反射光を透過する。

図2a 網膜分枝閉塞症のカラー眼底写真（症例1）

下耳側静脈分枝にが火炎状の出血が認められた。

図2b フルオレスセイン蛍光眼底写真

蛍光漏出とstainingが観察されたが、黄斑部（↑）の浮腫は不明瞭。

図2c 画角40度のダイオードによる暗視野絞りをを用いた画像（遮断径4mm）

脈絡膜血管が明瞭に観察できた。黄斑部（↑）

図2d 画角20度の暗視野絞りによる画像（遮断径4mm）

網膜表層に焦点移動すると黄斑部に隆起性浮腫（矢頭）が観察できた。

図3a 後部ぶどう膜炎のカラー眼底写真（症例2）

硝子体混濁を伴い眼底所見は不明瞭。

図3b フルオレセセイン蛍光眼底写真

嚢胞様黄斑浮腫（↑）が明瞭に観察できた。

図3c ダイオードによる共焦点絞りをを用いた観察。（開口径2mm）

血管や滲出斑および黄斑部病変（矢頭）が明瞭に観察できた。

図3d 画角20度の暗視野絞りをを用いた観察（遮断径4mm）

花弁状の嚢胞様黄斑浮腫（↑）と黄斑部の浮腫（矢頭）が観察できた。

図4a 網膜前線維症のカラー眼底写真（症例3）

黄斑部には表面反射を伴った膜様物（↑）が観察できた。

図4b フルオレセセイン蛍光眼底写真（左：造影早期、右：造影後期）

線維膜の牽引による蛍光色素の漏出（↑）が観察できた。

図4c 画角40度のアルゴンブルーの共焦点絞りをを用いた画像（開口径2mm）

網膜表層に接着した前線維膜（↑）が明瞭に観察できた。

図4d 画角20度の暗視野絞りをを用いた画像（遮断径4mm）

嚢胞様黄斑浮腫と網膜の雛壁（↑）が観察できた。

図5a 黄斑円孔のカラー眼底写真（症例4）

円孔底には多数の黄色の小沈着物が観察できた。

図5b フルオレセセイン蛍光眼底写真

halo（暈：↑）は過蛍光を示し、円孔部には脈絡膜背景蛍光が観察できた。

図5c 画角20度の共焦点絞りをを用いた画像（開口径2mm）

（左）ヘリウムネオン：表層に2個の円孔病変（黒↑）が観察できた。

（右）ダイオード：円孔底（↑）の形状を明瞭に観察できた。

図5d 画角20度の暗視野絞りをを用いた観察（遮断径4mm）

円孔周辺部の網膜表層の凹凸が明瞭に観察できた。

図6a 黄斑円孔のカラー眼底写真（症例5）

halo（暈）と、その周囲に薄い網膜剥離部（↑）が観察できた。

図 6b フルオレセセイン蛍光眼底写真

円孔部は脈絡膜背景蛍光が明瞭に観察できた。

図 6c ダイオードの共焦点絞りによる観察（遮断径2mm）

網膜剥離部は花コントラストが高く明瞭に判別できた。

図 6d 画角20度の暗視野絞りをを用いた観察（遮断径4mm）

剥離部網膜は菊花状の皺襞として立体的に観察できた。

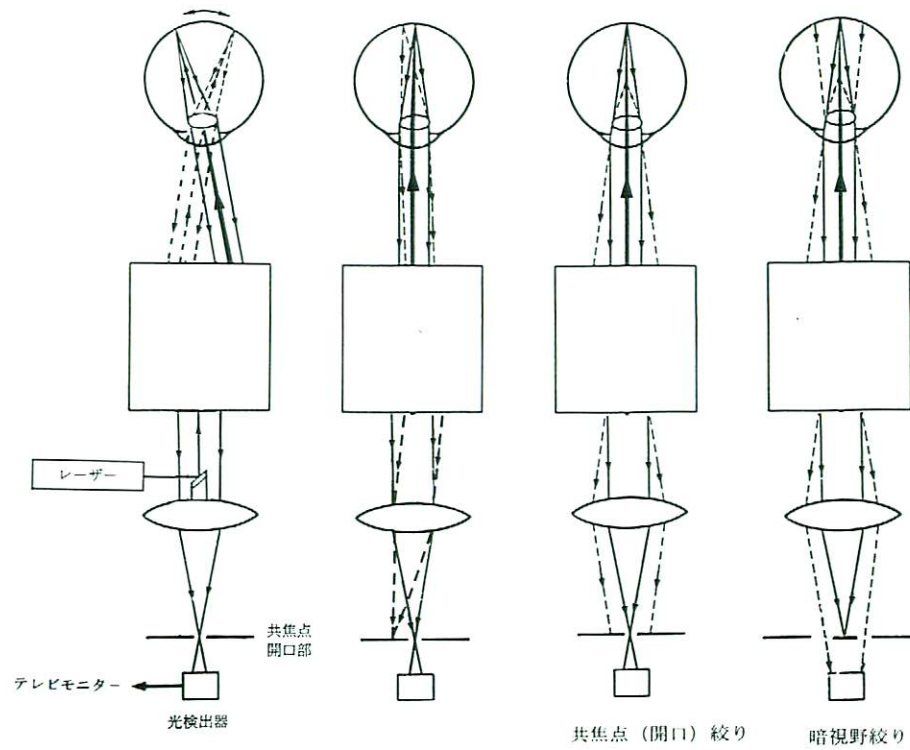


図 1



图 2a



图 2b

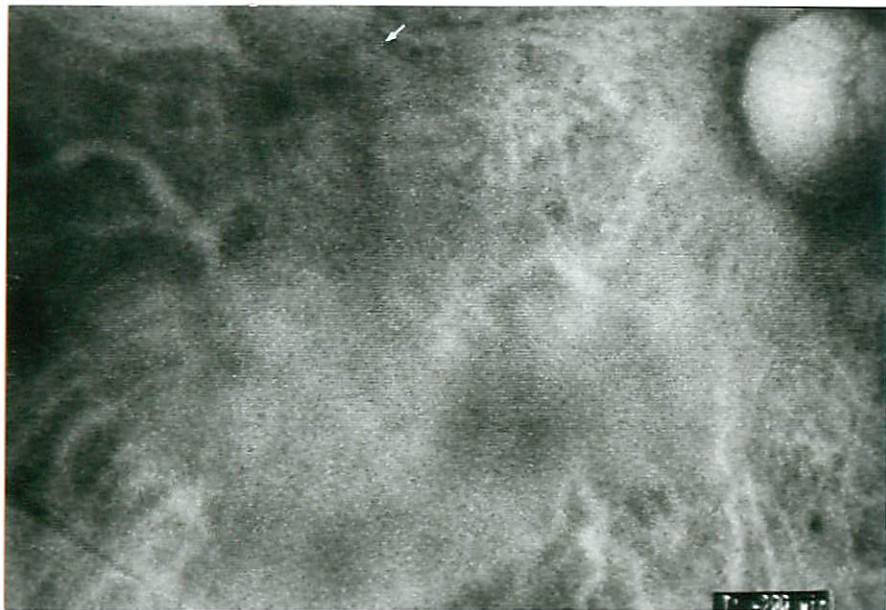


图 2c

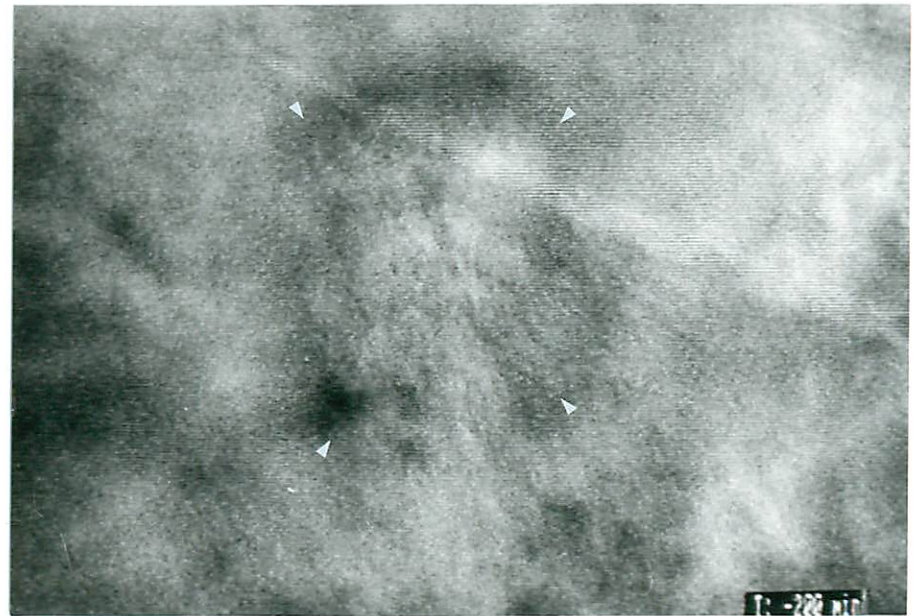


图 2d

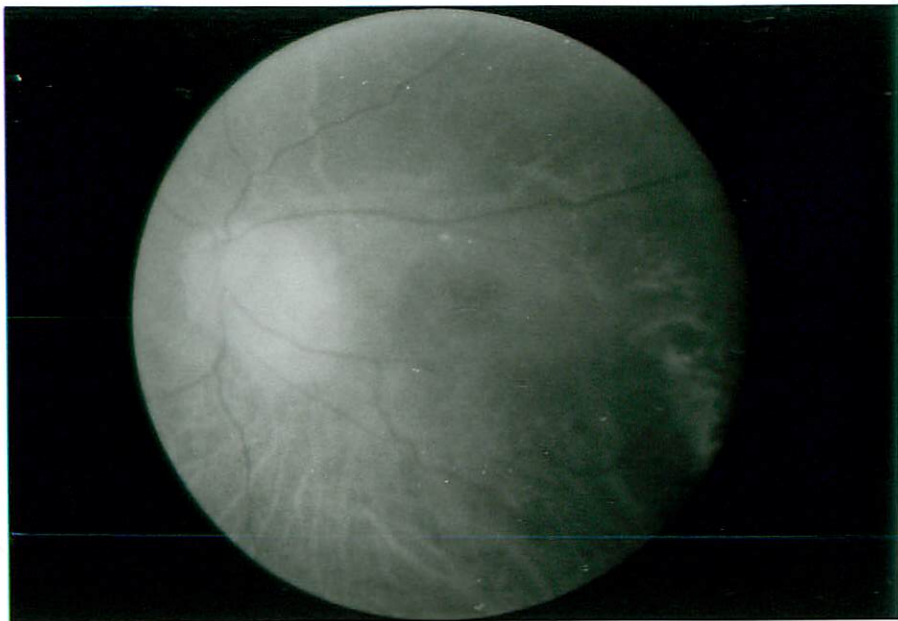


图 3a

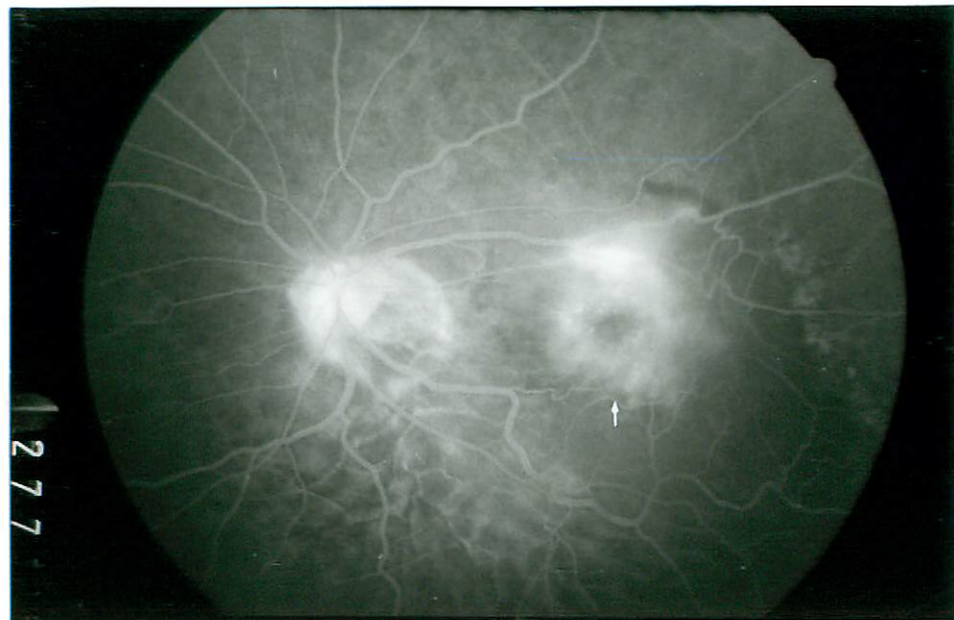


图 3b

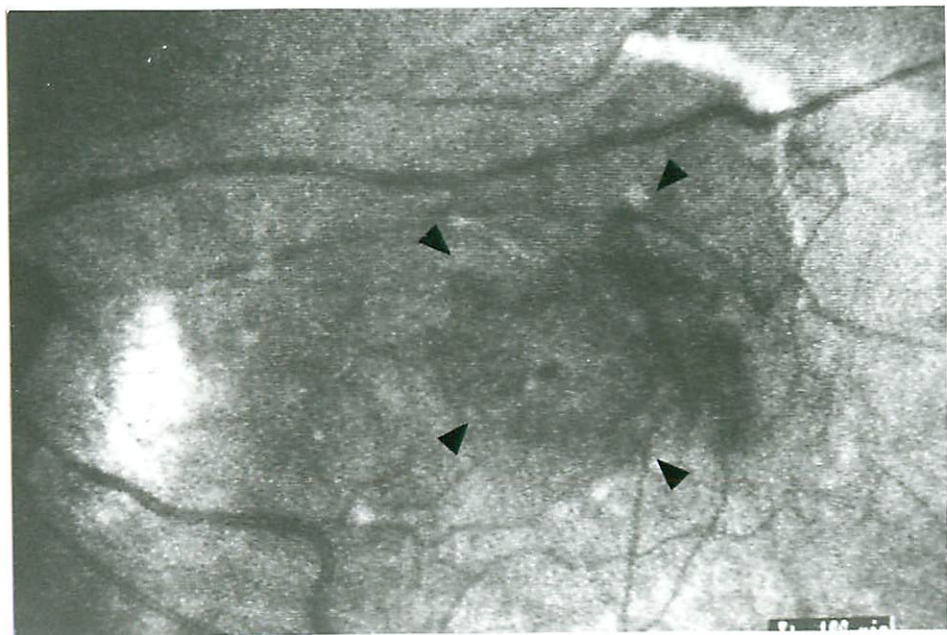


图 3c



图 3d

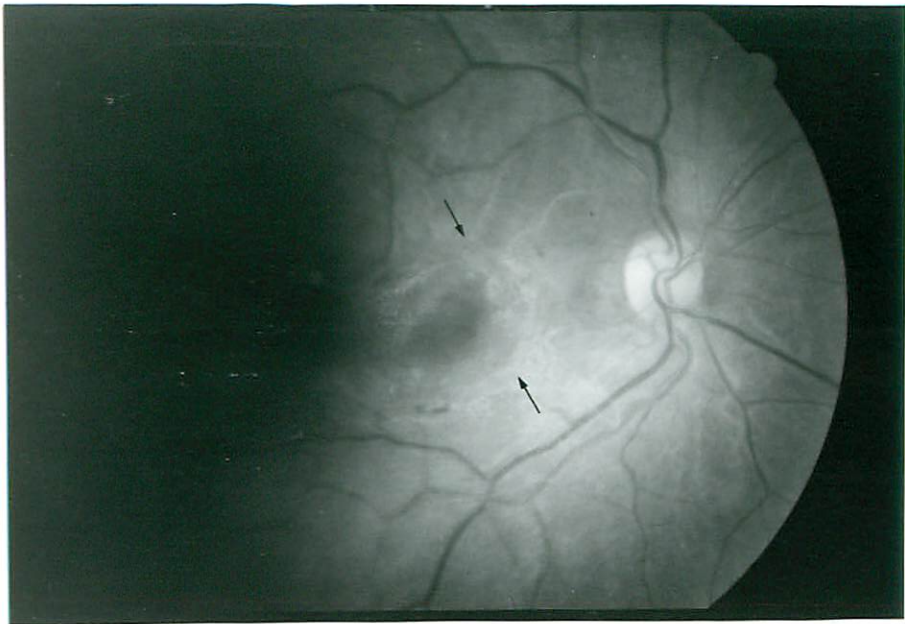


图 4a

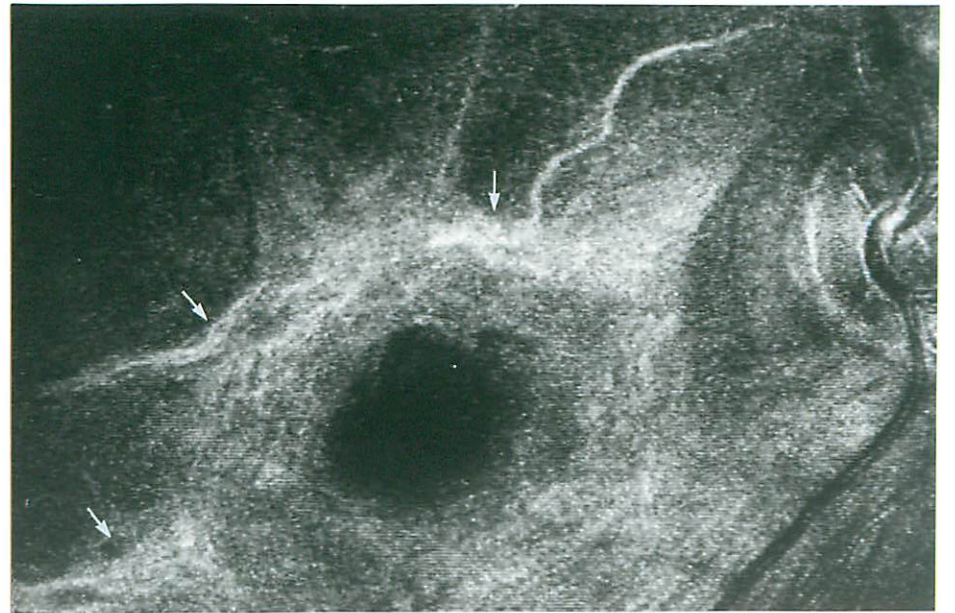


图 4c



图 4b

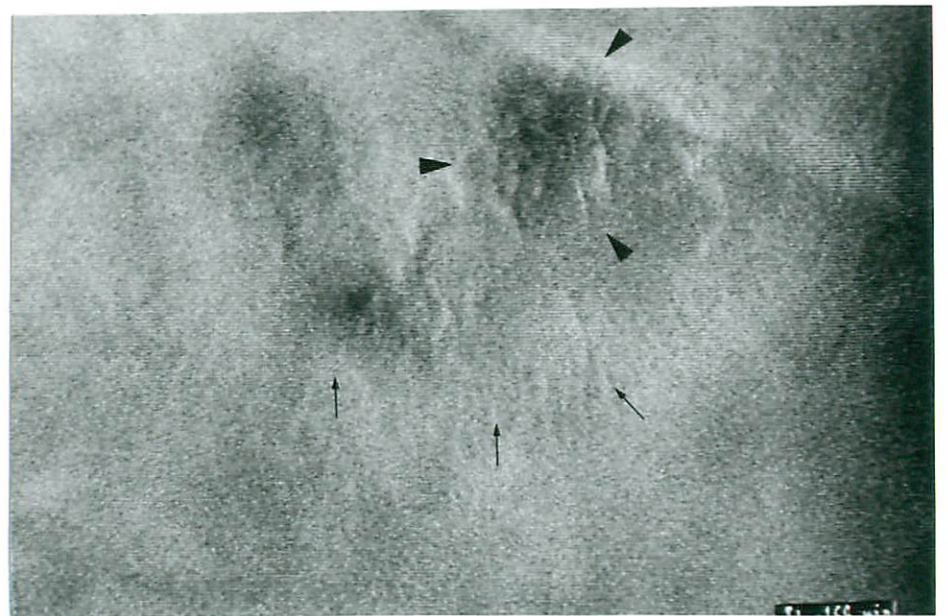


图 4d



图 5a

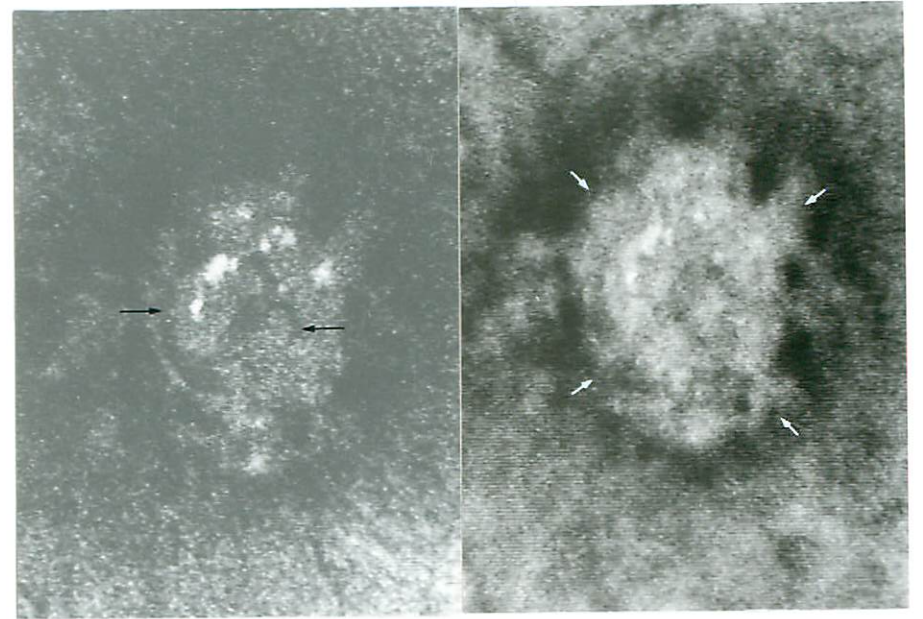


图 5c

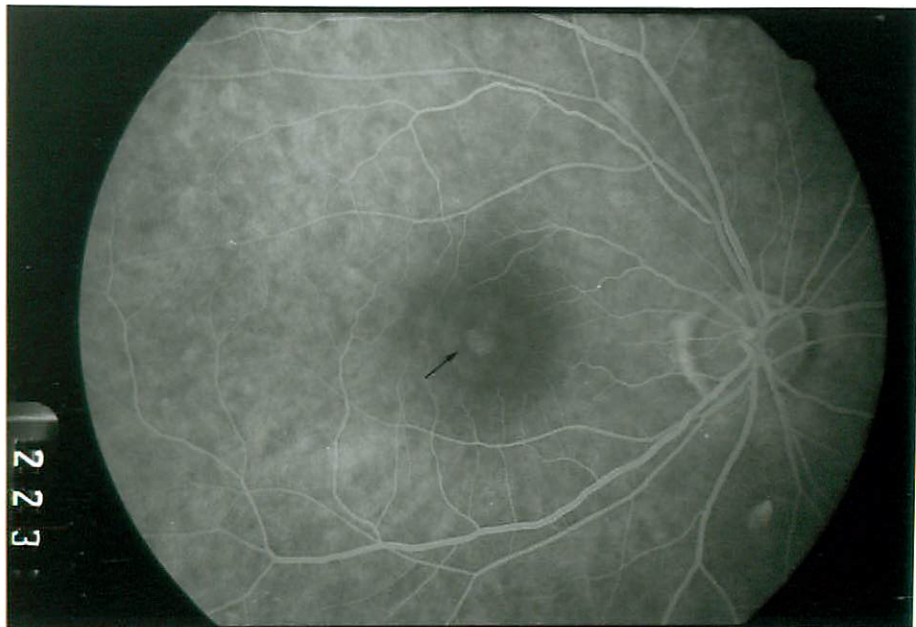


图 5b



图 5d

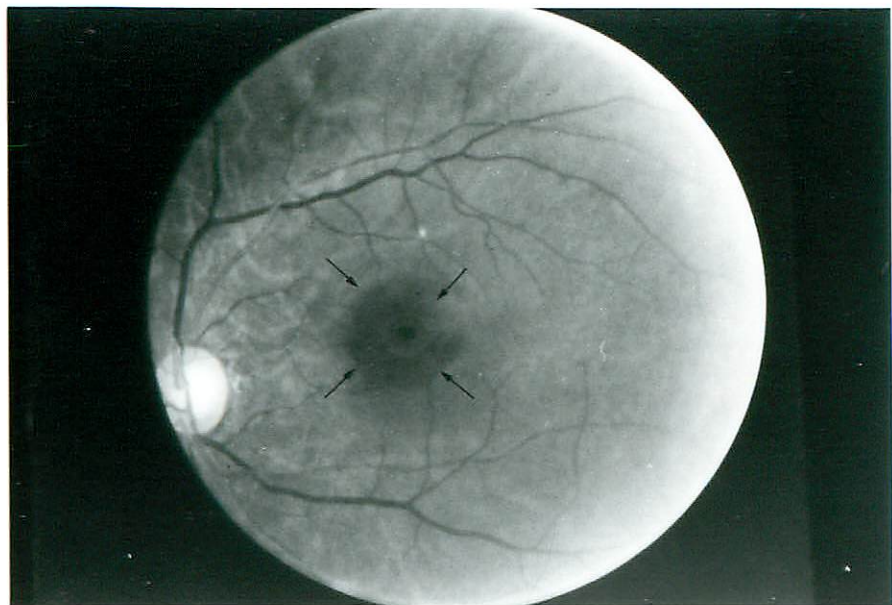


图 6a

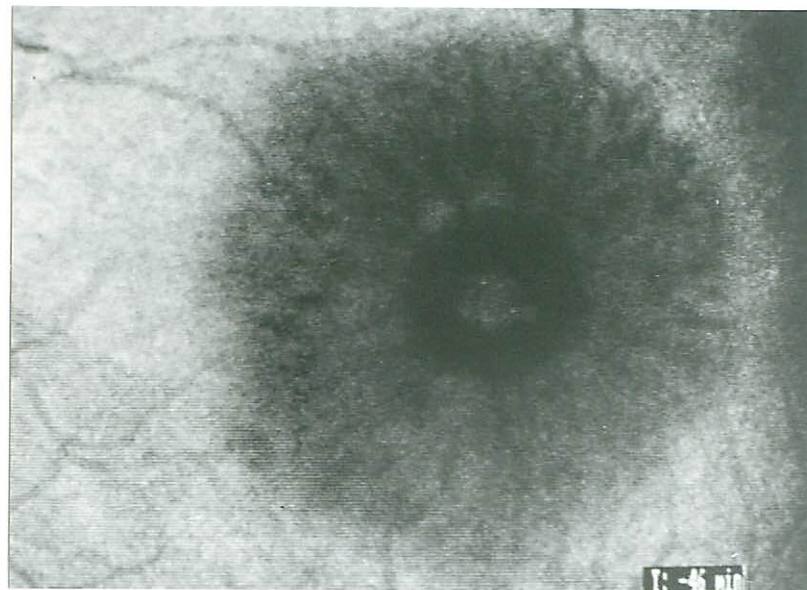


图 6c

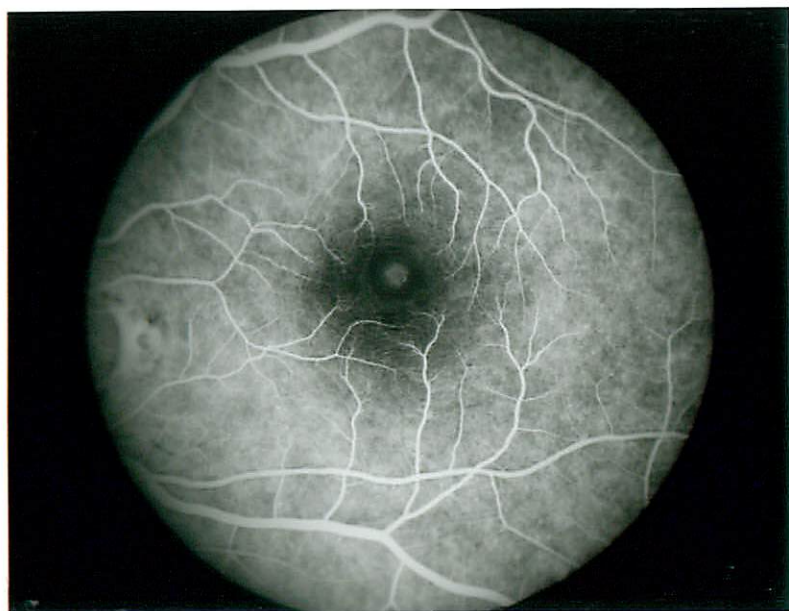


图 6b



图 6d