

# AMCoR

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

日本医学写真学会雑誌（1999）37巻4号:P119～126.

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（1）  
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  
（1）形態的検索

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（1）形態的検索

福井勝彦<sup>1)</sup>，加藤祐司<sup>1)</sup>，五十嵐弘昌<sup>2)</sup>，磯部裕成<sup>3)</sup>，吉田晃敏<sup>1)</sup>

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

**Clinical Usefulness of Confocal Scanning Laser Ophthalmoscope for Detecting Fundus Morphology**

**Katsuhiko Fukui<sup>0)</sup>, Yuji Katou MD,Ph.D<sup>0)</sup>, Hiromasa Igarashi MD,PhD<sup>2)</sup>, Hironari Isobe<sup>3)</sup>  
Akitoshi Yoshida MD,Ph.D<sup>0)</sup>**

<sup>0)</sup> Department of Ophthalmology Asahikawa Medical College  
(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan )

<sup>2)</sup> Kushiro Red Cross Hospital  
(21-14 Shineimachi Kushiro 085-0032,Japan )

<sup>3)</sup> Department of Neurosurgery Asahikawa Medical College  
(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan )

## I. 緒言

眼底カメラは、客観的記録手段として眼科診療のみならず内科領域の検診や人間ドック等でも広く用いられている。近年、従来の眼底カメラによる撮影方法の原理と異なる共焦点走査型レーザー検眼鏡 scanning laser ophthalmoscope(SLO)<sup>1-3)</sup> が開発され、その臨床応用<sup>4-10)</sup> が検討されている。眼底カメラは、可視光域の連続スペクトルを有する高輝度の照明光で眼底全体を照射し、その反射全体をレンズを用い一度に捉えている<sup>11)</sup> に対して、共焦点走査型レーザー検眼鏡は、低出力のレーザースポットを眼底の一点に照明し、このスポットをポリゴンミラーで回転させて水平方向に走査し、垂直方向にはガルバノメーター スキャナーで走査して眼底を検索する装置<sup>12,13)</sup> である。網膜に対する総照射光量は眼底カメラに比較して低出力となり、被検者の羞明感が軽減され長時間の眼底撮影が可能である。また、蛍光造影剤の吸収波長と、ほぼ同じ波長のレーザー光を選択することによって蛍光造影検査も可能となる<sup>14)</sup>。ビデオ画像として取り込んだ毎秒 30 コマの連続画像では、焦点深度の深い動的所見としての臨床情報を得ることができる。今回、我々は、共焦点走査型レーザーの波長特性<sup>16,17)</sup> と共焦点絞りの開口径の選択および暗視野絞りをを用いて眼内の三次元的病変を伴った例を撮影し、その有用性と操作特性に知見を得たので報告する。

## II. 対象および方法

### 1. 対象

対象として網膜前線維膜（症例 1）と網膜硝子体疾患として特発性黄斑上膜<sup>7)</sup>（症例 2）と後部硝子体膜のグリア組織<sup>15)</sup>（症例 3）および黄斑円孔（症例 4）の症例を用いた。

### 2. 撮影装置

ローデンストック社製（OttoBrunn,Gamany）の走査型レーザー検眼鏡 scanning laser ophthalmoscope(SLO)を用いた。本装置の原理図<sup>12)</sup>を示す（図 1 a）。

検出方法は、眼底から照明系と同じ光路で返ってくる反射光は、ミラーによって照明光から分離させ、検出器の前に設置した共焦点（開口部）絞り、もしくは暗視野（リング）絞りを選択し、検出器である光電子増感により電気的な濃度信号に変換して、眼底の画像として処理されテレビモニターに出力しビデオ画像として記録する。共焦点絞りは中央に穴のあいた絞りで、焦点を合わせた部位からの反射光のみを通過させ、絞りの開口径を選択することにより像の焦点深度を変化させることができる。共焦点絞りの開口径は 1mm、2mm、4mm、10mm と開口径を制限しない 22mm の 5 段階である。暗視野絞りは、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ブロックし、その前後からくる直接的反射光および間接的（散乱光）を選択して通 20 度と 40 度が選択でき、光源としては 488nm のアルゴンブルー、514nm のアルゴングリーン、633nm のヘリウムネオン、780nm ダイオードレーザーの 4 種類の単色光レーザーが使用できる。レーザースポットの、網膜状の一点に集光する時間は約 100nsec と短く安全性に優れ、また設定された限界値や積算エネルギーを越えるとレーザー光がブロックされる機能が働く。

### 3. 撮影方法

本装置の起動時に設定されている共焦点絞りの開口径 4 mm から、被検者の羞明感の少ないヘリウムネオンを用いて広画角の 40 度を用いて眼底に焦点を合わせて観察し、症例によってアルゴンブルーおよびダイオードを選択し、その後、開口径を 2mm (C2) および 10mm (C4) へ切り換えて焦点深度を変化させて観察した。中央部を遮断した暗視野絞りは、ヘリウムネオンで遮断径 4mm を用いて観察した。微細な病変部には解像度の高い 20 度を用いた。

### Ⅲ. 結果

#### (1) 網膜前線維症

病初期の網膜前線維症を示す (症例 1)。本症は網膜表層に網膜のグリア細胞<sup>3)</sup>が網膜内境界膜の断裂部を通り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ある。黄斑部に約 1 乳頭径 (papilladiameter 約 1.5mm) の放射状の牽引を伴った半透明な膜様物を認めた (図 2 a)。平坦な組織のため開口径の比較的小さい共焦点絞り (C2 ; 開口径 2mm) を用いて観察した。アルゴンブルーでは、短波長のため網膜と硝子体の境界面の詳細な観察に適しており、網膜表層に接着した前線維膜の拡がりや明瞭に観察することが可能であった (図 2b)。一方、同一条件で、レーザーの入射位置を僅かに変化させると網膜前線維膜が透見され放射状の雛壁のみが観察された (図 2c)。ヘリウムネオンでは、波長特性により網膜表層の網膜前線維膜を透過し網膜深層に放射状の雛壁のみが観察 (図 2d) されたものの、レーザーの入射位置を僅かに変化させると、アルゴンレーザーで捉えていた線維膜が観察され、放射状の雛壁が観察されなくなった (図 2e)。ダイオードレーザーは、ヘリウムネオンより波長が長い網膜深層や脈絡膜の観察に適しており、レーザーの入射位置を僅かに移動した画像でも変化がなかった (図 2f)。

#### (2) 特発性黄斑上膜と後部硝子体のグリア組織

硝子体は、水晶体の後面と網膜の内面に接し眼球内容の大部分を占め透明なゲル状で加齢により、液化、収縮、そして網膜からの剥離などの変化が生じ網膜硝子体疾患に深く関与している。特発性黄斑上膜のカラー眼底写真を示す (症例 2)。網膜表層に収縮した半透明な膜様物が認められ、網膜血管は蛇行していた (図 3 左)。硝子体側に焦点シフトした所見では、黄斑前の後部硝子体膜が円形に欠損し、その輪郭が観察できた。半透明な硝子体が三次元的に存在する症例では、眼底カメラでは、焦点深度が浅く網膜と硝子体を同時に撮影することは困難であった (図 3 右)。

SLO の共焦点絞り (C3 ; 開口径 4mm) と長波長のヘリウムネオンを用いて、後部硝子体の膜上のグリア組織を捉えた所見を示す (症例 3)。網膜より 11.5diopter (3diopter は約 1mm) 前方に剥離した後部硝子体は黒い陰影として観察され、眼底像を観察しながら後部硝子体が観察できた (図 4a)。一方、短波長のアルゴンブルーの選択では、焦点深度は浅くなるものの後部硝子体上に連なるグリア組織を観察することが可能となった (図 4b)。視神経乳頭と乳頭前グリア環の接着部を共焦点絞り (C3 : 開口径 4mm) を用いて画角 20 度で動的観察した。ヘリウムネオンで暗い陰影で捉えられた接着部はアルゴンレーザーでは明るい反射画像として明瞭に観察され、さらに硝子体側に焦点シフト (+ 6.0 diopter)

すると接着部先端から連続する透明なグリア組織が観察できた (図 4c)。

### (3) 黄斑円孔

網膜に接する後部硝子体の牽引により、黄斑部の網膜が円形に剥離した黄斑円孔の症例を示す (症例 4)。カラー眼底写真では、後部硝子体に牽引された辺縁部は、やや上昇し嚢胞様を示し黄斑周囲の網膜は放射状の皺襞を形成し約 1/5 視神経乳頭横径 (直径約 300  $\mu\text{m}$ ) の円孔を伴った眼底象が捉えられた (図 5a)。SLO による共焦点絞り (C2; 開口径 2mm) の画像所見を示す。アルゴンレーザーでは、黄斑部はキサントフィル (黄斑色素) により波長が吸収され病変部の形態は不明瞭であった (図 5b 左)。しかしながら、焦点位置を硝子体側にシフト (+ 4.8diopter) させると剥離した半透明な網膜の一部 (円蓋; operculum) が円孔直上の硝子体中に残存している所見が得られた (図 5b 右)。ヘリウムネオンレーザーによる観察では、黄斑円孔周囲の浅い剥離部全体はコントラストが高くなり、円孔を縁取るようにその範囲が明瞭に観察されるが円孔縁は不明瞭であった (図 5c)。長波長のダイオードレーザーでは、ヘリウムネオンより病変部は立体感が強調され円孔辺縁部および円孔周囲の剥離部の皺襞、円孔底が明瞭に観察できた (図 5d)。一方、ヘリウムネオンによる暗視野絞り (R2: 遮断経 4mm) を用いた画像所見を示す。合焦点部位から直接的反射光が遮断され、その前後からの直接的反射光および間接的反射光により、黄斑円孔辺縁と放射状の網膜趨壁がレリーフ像として立体的に観察された。さらに、直上の円蓋 (operculum) も観察され、眼球運動と共に円蓋が後部硝子体に牽引されている所見が得られた (図 5e)。

## IV. 考按

眼底像を撮影するには、眼底は自ら光を発生することはないので暗い眼底内を外部から照明する光とカメラレンズを必要とする。眼底カメラは、Gullstrand 瞳分離の原理を応用して瞳孔縁からリング状に眼底全体に光りを照射し、その中央部より反射全体をレンズによって一度に捉えていものの照射する光に対して、眼底からの反射光は極端に少ない。さらに、散瞳剤を使って瞳孔を開かせるので観察光や輝度の高い撮影用ストロボ光による羞明感や被検者にとって負担が大きく、散瞳の持続時間も長く撮影後も眩しさが残存する。1980 年に Webb らによる撮影系にレンズを用いない共焦点走査型レーザー検眼鏡 (SLO) を開発した。SLO は、逆 Gullstrand 瞳分離を採用し瞳孔中心部をレーザーの入り口とし、反射光の出口として残りの瞳孔部を使い、低出力のレーザースポットを眼底の一点に照明し、このスポットを順次動かし眼底を高速で走査して検索する装置である。レーザースポットは、角膜上では直径約 1mm となり小瞳孔でも画像を捉えられ、また、眼内に入射する光量は少なく被検者の羞明感が軽減される。レーザーは、位相性、指向性、収束性、単色性に優れ眼底の一点から反射された画像は、眼底カメラで撮影した画像に比較して眼光学系による散乱光やレンズの表面反射や収差に影響されにくく高輝度の画像が得られる。画像は、モノクロ画像で、共焦点によるレーザー走査は焦点を合わせた対象物と共役な位置にピンホール (開口絞り) を置くことによって、合焦位置以外からの反射光をカットし、ピンホールのあった反射光のみを捉えることができる。また、暗視野絞りでは散乱光での観察が可能である。これらのことから、網膜前線維症では、病変の深さレベルの情報が得られ、

後部硝子体膜上のグリア組織では、波長特性により動的所見や後部硝子体膜と、それに連なるグリア組織を明瞭に捉えることができた。また黄斑円孔の症例に対しては、剥離した網膜の円蓋（operculum）が円孔直上の硝子体中に残存している所見が得られた。

今回の検討では、レーザー波長を変化させることにより焦点深度を変化させ硝子体の眼内所見の解釈に多くの情報を得ることができた。また、暗視野絞りによる観察では、剥離した網膜皺襞をレリーフ像として立体的に捉えることが可能であった。したがって、SLOはレーザー光や焦点深度を変化させ、さらに眼球運動による動的観察することにより網膜から剥離した後部硝子体の広がりや形状などの二次的所見のみならずフォーカスシフトすることにより病変部の高さを diopter として定量し、三次元的な臨床情報を得ることができる。しかしながら、対物レンズの中心から眼底を平均的に拡散照明する眼底カメラと異なり、一点に集光したレーザースポットを高速に走査して画像を取り込むため、共焦点での小開口径による検索ではレーザー光の入射位置や入射角度により組織深達性が抑制される。特に波長の短いレーザー光では、レーザー光の入射位置や角度を僅かに移動させて確認する必要がある。また、レーザーの眼透光体の透過率の相違により、アルゴンブルーは、網膜表層の観察に優れているものの水晶体の混濁により透過性が影響<sup>9)</sup>される。さらに、網膜の内外網状層に存在するキサントフィル（黄斑色素）<sup>19)</sup>は波長の短いアルゴンブルーを吸収するため黄斑色素の多い黄斑部の観察には、長波長のレーザーでの観察が優れていた。

## V. まとめ

SLOは、小瞳孔でも眼底の観察が可能であり、画像は連続画像として観察できるので、眼球運動に伴い病変の可動性も観察できる。観察光量は眼底カメラに比較して低出力で、被検者の羞明感が軽減される。レーザー光の選択によって、組織深達性により異なる深さの眼底所見を得ることが可能であった。しかしながら短波長のレーザー光ではレーザー光の入射位置により、病変部の所見が症例によって異なる場合があり、レーザー光の入射位置や角度を移動させて検索する必要がある。また、開口絞りの選択により焦点深度の異なる所見を捉えることができ、暗視野絞りによる観察では、網膜皺襞が立体的なレリーフ像として捉えられた。したがって、共焦点レーザー走査検眼鏡の形態的検索法の臨床応用としては、波長の組織深達性による検索のみならず、動的観察には、波長特性と絞りを選択することにより多くの有用な情報が得られると考えられた。

本論文の要旨は、第39回日本医学写真学会で発表した。

## 参考文献

- 1) Webb, R.H.,Hughes, G.W.,Pomerantzeff,O :Flying spot TV ophthalmoscope.Applied Optics 19:2991- 2997,1980.
- 2) Webb, R.H.,Hughes, G.W.: Scanning leser ophthalmoscope.IEEE Trans Biomed Eng BME 28:488-492,1981.
- 3) Webb RH,Hughes GW,Delori FC:Confocal scanning leser ophthalmoscope.Applied Optics 26:1492-1499,1987.
- 4) 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 46(5): 763-770, 1992.
- 5) 千原悦夫: 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, 眼科診療プラクティス 2 眼底の描き方, 218-219, 文光堂, 東京, 1992.
- 6) 梯 彰弘, 石子智士, 今野 優, 門 正則, 秋葉 純, 吉田晃敏: 走査レーザー検眼鏡を使用した硝子体ビデオグラフィ, 日本眼科学会雑誌, Vol.99, No.7, 819-823, 1995.
- 7) 長岡泰司, 引地泰一, 秋葉 純, 石子智士, 吉田晃敏: 特発性黄斑円孔に後部硝子体の円形欠損を認めた 1 例, 日本眼科紀要, Vol.47, No.8, 993-995, 1996.
- 8) 梯 彰弘, 石子智士: S L O と黄斑疾患, 眼科第 39 巻第 2 号, 141-149, 1997.
- 9) 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, 眼科臨床医報第 90 巻第 6 号, 777-779, 1997.
- 10) 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, 眼科臨床医報第 91 巻第 9 号, 1384-1386, 1997.
- 11) 福井勝彦: 「月刊眼科診療プラクティス Vol.46」カラー撮影の基礎, 眼科写真撮影法 (金上貞夫, 丸尾敏夫, 本田孔士, 臼井正彦, 田野保雄編), 6-11, 文光堂, 東京, 1999.
- 12) 廣芝直子: 「月刊眼科診療プラクティス Vol.1, No.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, 本田孔士編), 16, 文光堂, 東京, 1998.
- 13) 千原悦夫: 「眼科診療プラクティス Vol.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) 三木徳彦, 林一彦, 白木邦彦編: 「ICG 蛍光造影の実際 (基礎と臨床)」, 金原出版, 東京, 1995.
- 15) 村松美代, 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.
- 16) 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. ,
- 17) 福井勝彦, 加藤祐司, 五十嵐弘昌: 脈絡膜疾患に対するのスクリーニングとしての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.37, No.1, 2-11, 1999.
- 18) 福井勝彦: 「月刊眼科診療プラクティス Vol.46」単色光眼底撮影, 眼科写真撮影法 (金上貞夫, 丸尾敏夫, 本田孔士, 臼井正彦, 田野保雄編), 36-37, 文光堂, 東京, 1999.
- 19) 池田光雄: 「視覚の心理物理学」, 51-54, 森北出版, 東京, 1975.

<図の説明>

図 1a. 本装置の原理図

レーザースポットを眼底の一点に照明し、高速でX-Y方向に走査する。反射光は、ミラーで照明光から分離させ、検出器で眼底の画像に処理される（右）。ある瞬間の焦点面の反射のみ検出し、合焦点以外はカットされる（左）。

図 1b. 共焦点絞りと暗視野絞り

検出器の前に設置した絞りの開口径を大きくすると、焦点深度は深くなる。

（左）共焦点絞り（C1～C4）：合焦点部位の直接的反射光を透過させる。

（右）暗視野絞り（R1,R2）：合焦点部位以外の間接的反射光を透過させる。

図 2a. 網膜前線維症のカラー眼底写真（症例 1）

放射状に広がる線維膜が観察できる。

<図 2f の右側に挿入>

図 2b. アルゴンブルー（開口径 2mm、画角 40 度）

網膜表層の前線維膜を明瞭に捉えている。

図 2c. アルゴンブルー（レーザーの入射位置を移動した画像）

網膜前線維膜が透見され放射状の皺襞のみが観察された。

図 2d. ヘリウムネオン（開口径 2mm、画角 40 度）

波長特性により、網膜深層に放射状の皺襞が観察された。

図 2e. ヘリウムネオン（レーザーの入射位置を移動した画像）

線維膜が観察され、放射状の皺襞は観察されなくなった。

図 2f. ダイオード（開口径 2mm、画角 40 度）

脈絡膜層では皺襞は不明瞭となった。

図 3. 特発性黄斑上膜のカラー眼底写真（症例 2）

左：網膜表層に広がった黄斑上膜が観察できた。

右：硝子体側に焦点シフトすると後部硝子体膜の円形欠損が観察できた。

図 4. 後部硝子体上のグリア組織（症例 3）

a：ヘリウムネオン（開口径 4mm、画角 40 度）では、眼底像を観察しながら後部硝子体が観察できた。

b：アルゴンブルー（開口径 4mm、画角 20 度）後部硝子体膜上に連なるグリア組織が観

察できた。

c：視神経乳頭とグリア組織の接着部の観察

ヘリウムネオンでは暗い陰影（左）、アルゴンブルーでは明るい反射画像として捉えられた（中）。接着部の先端から透明な硝子体（右：矢印\*）に連なる（開口径4mm、画角20度）

図 5a. 黄斑円孔のカラー眼底写真（症例 4）

円孔周囲の網膜は放射状の雛壁を伴っていた。

図 5b. アルゴンブルー（開口径 2mm）

左：黄斑色素に波長が吸収されて黄斑部の観察は不明瞭（画角 40 度）。

右：焦点シフトすると operculum が観察できた（画角 20 度）。

図 5c. ヘリウムネオン（開口径 2mm、画角 20 度）

円孔周囲の浅い剥離部は円孔を縁取るように観察された。

図 5d. ダイオード（開口径 2mm、画角 20 度）

円孔と雛壁を伴った剥離部の詳細な観察ができた。

図 5e. ヘリウムネオン（暗視野絞り、遮断径 4mm、画角 20 度）

円蓋が後部硝子体に牽引されている所見が得られた。

図 1 a

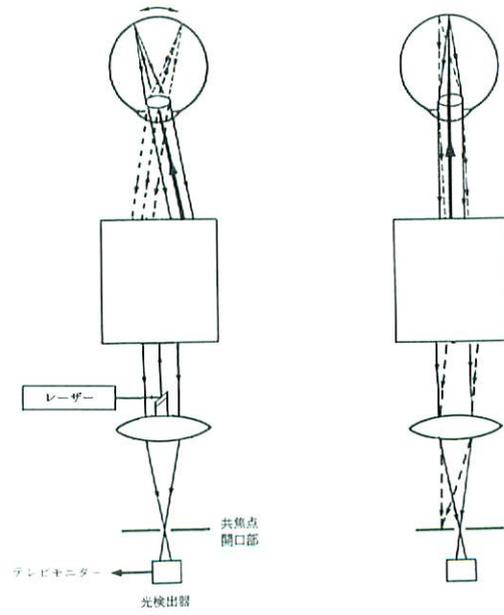


図 1 b

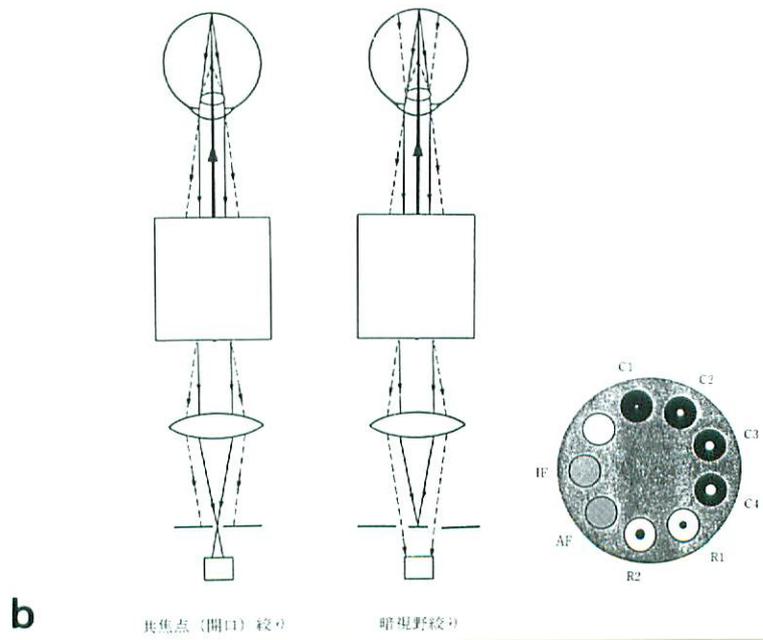
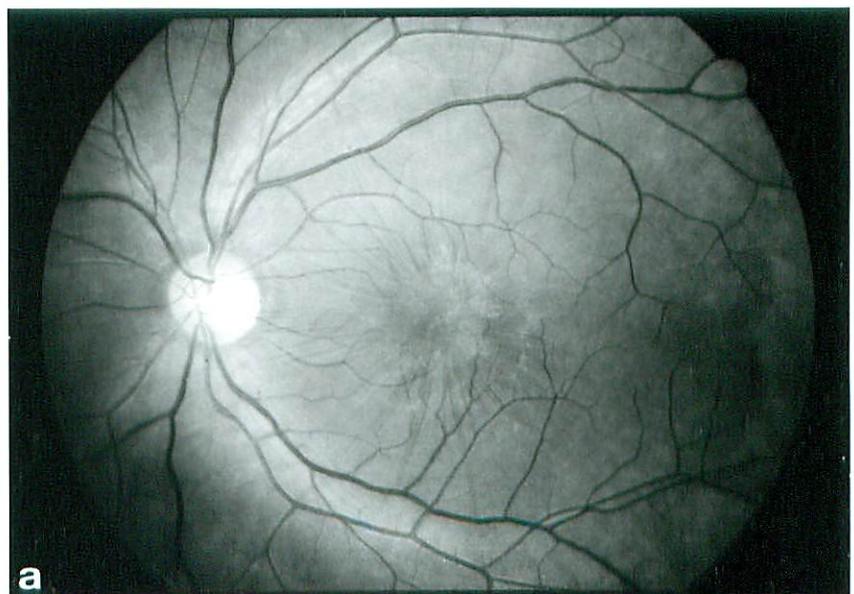


図 2 a



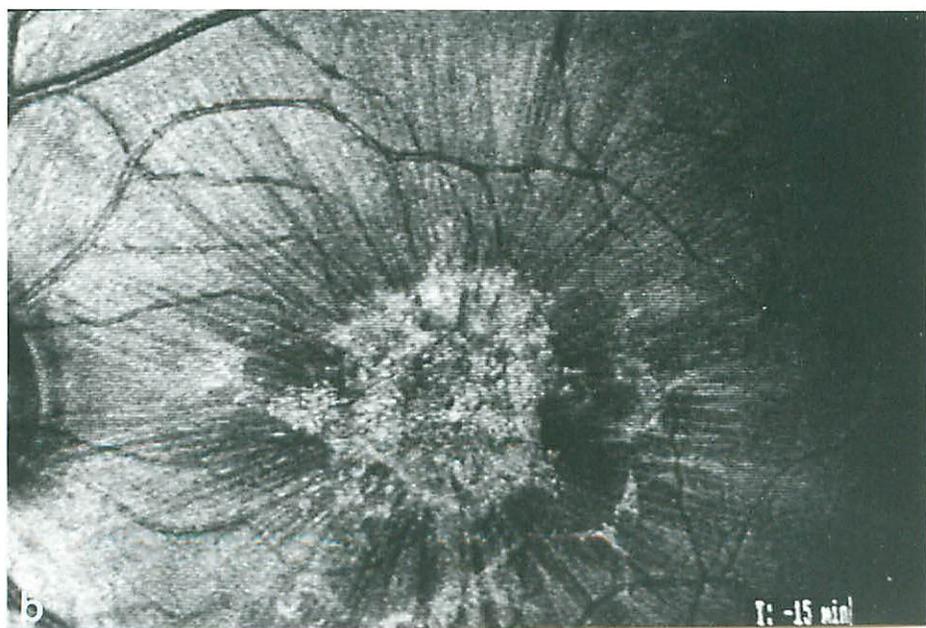


图 2 b

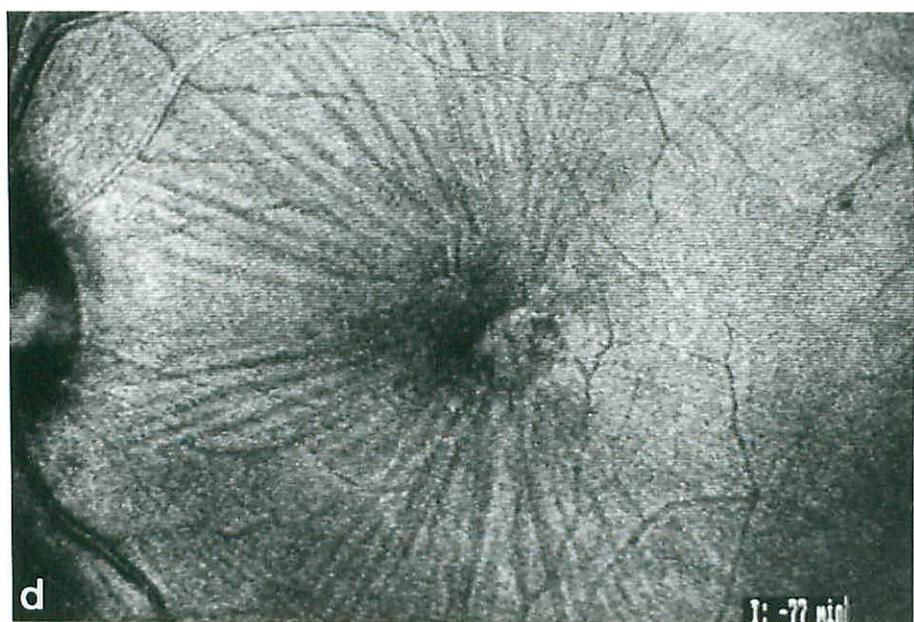


图 2 d

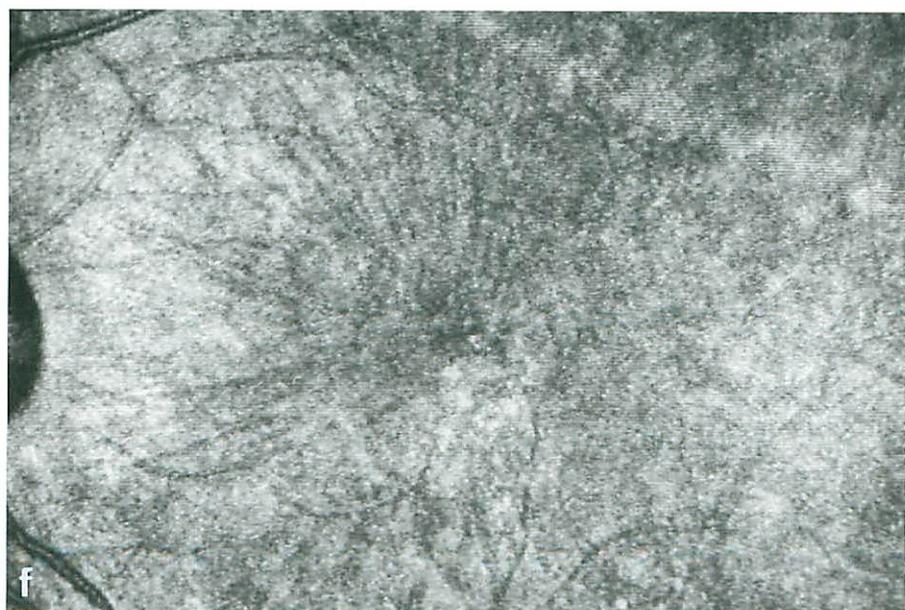


图 2 f

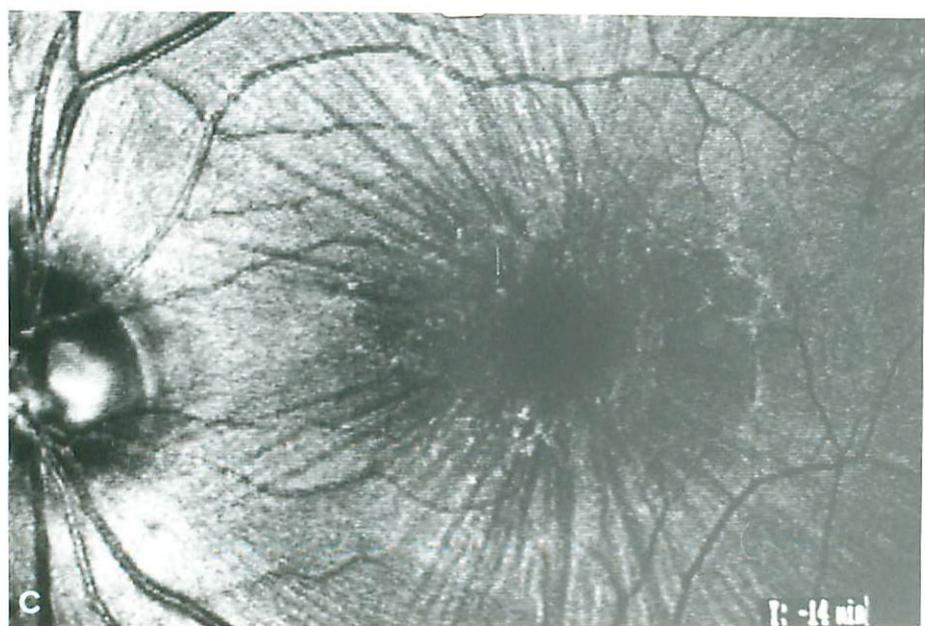


图 2 c

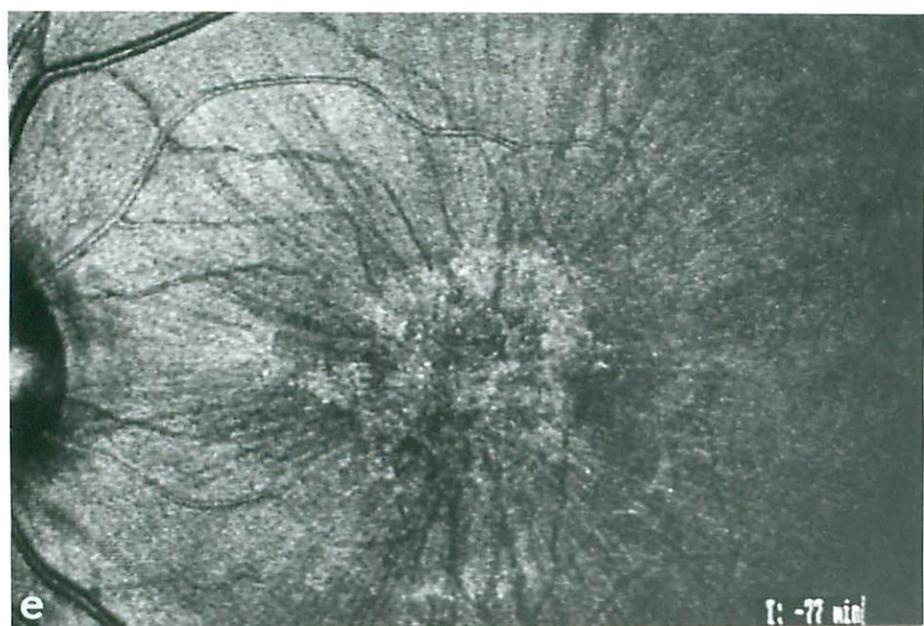


图 2 e

图 3

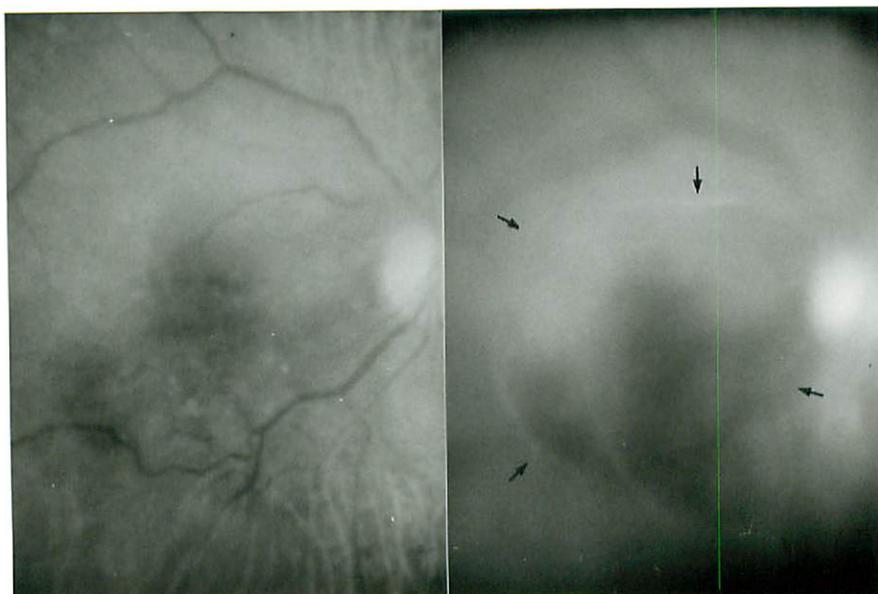


图 4 a

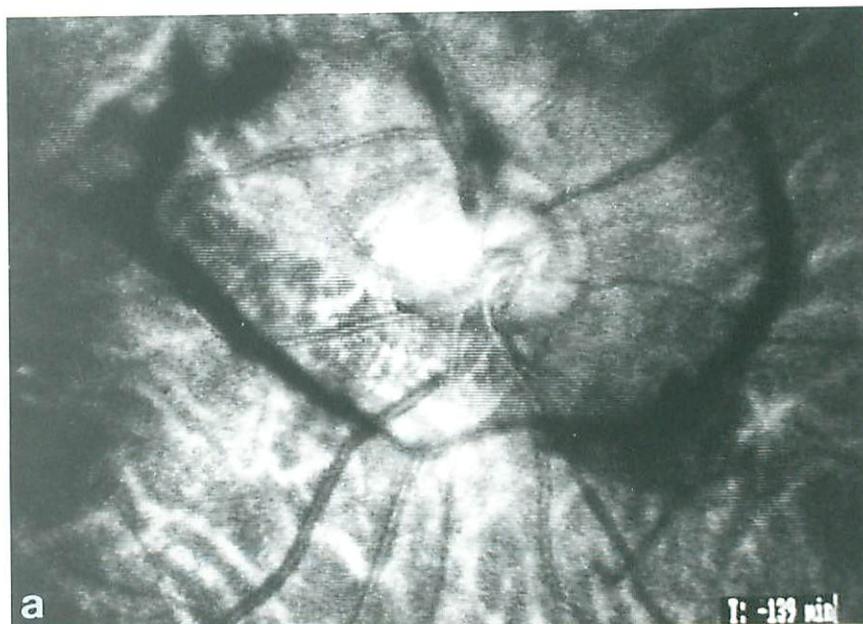


图 4 b

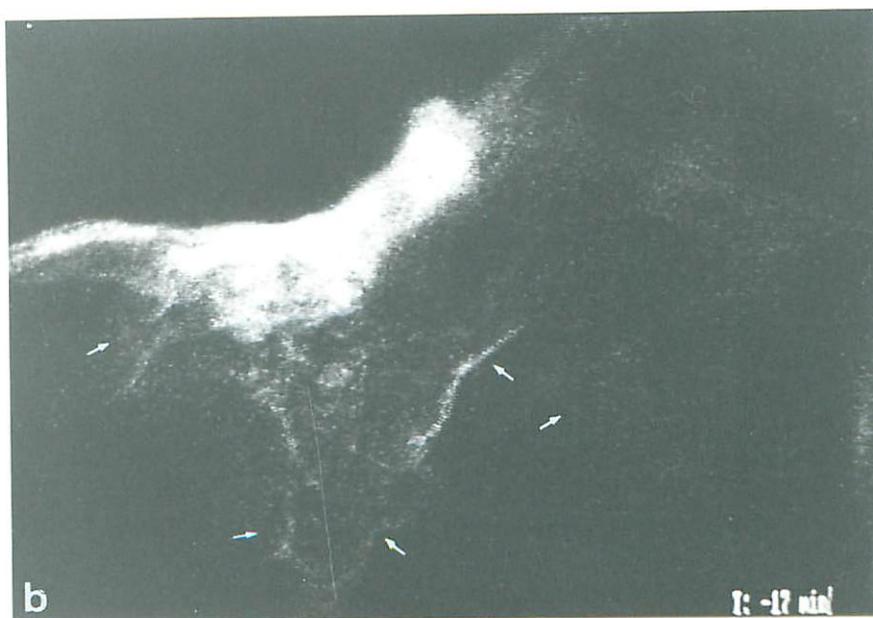


図 4 c

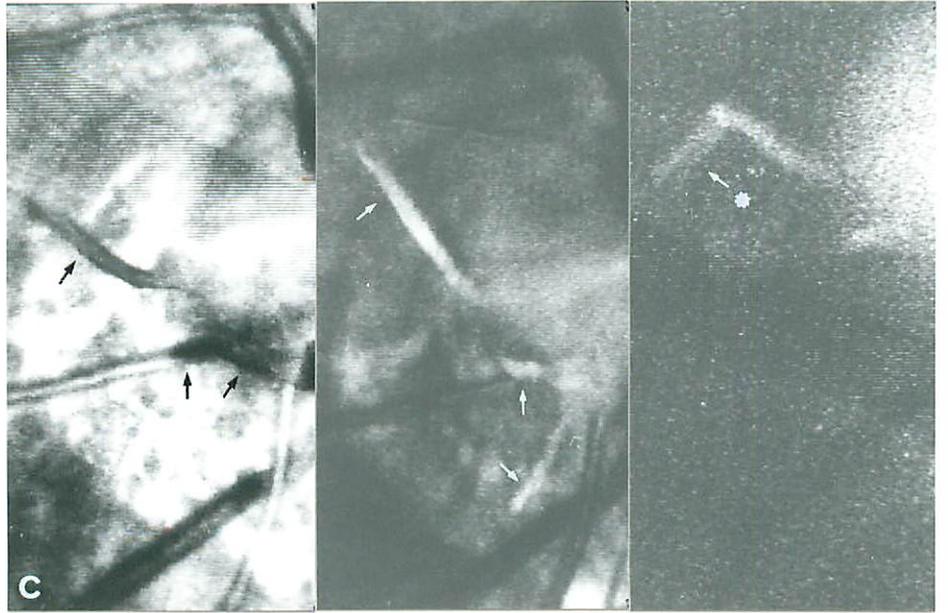


図 5 a

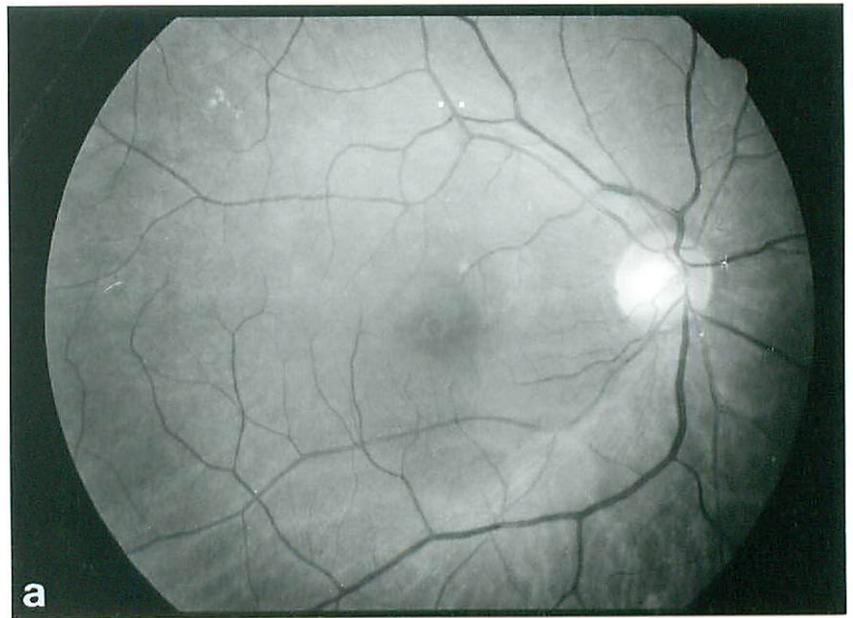


図 5 b

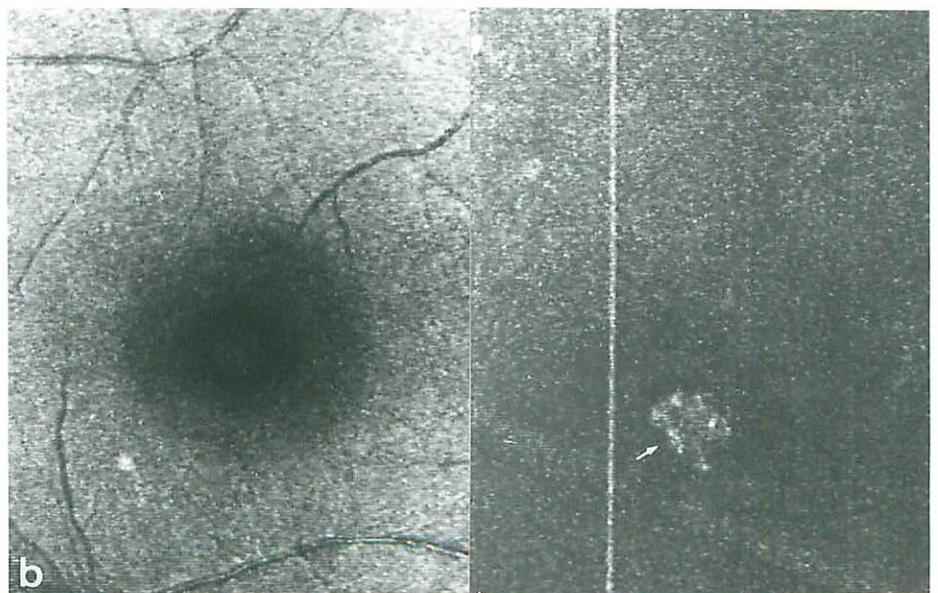


図 5 c

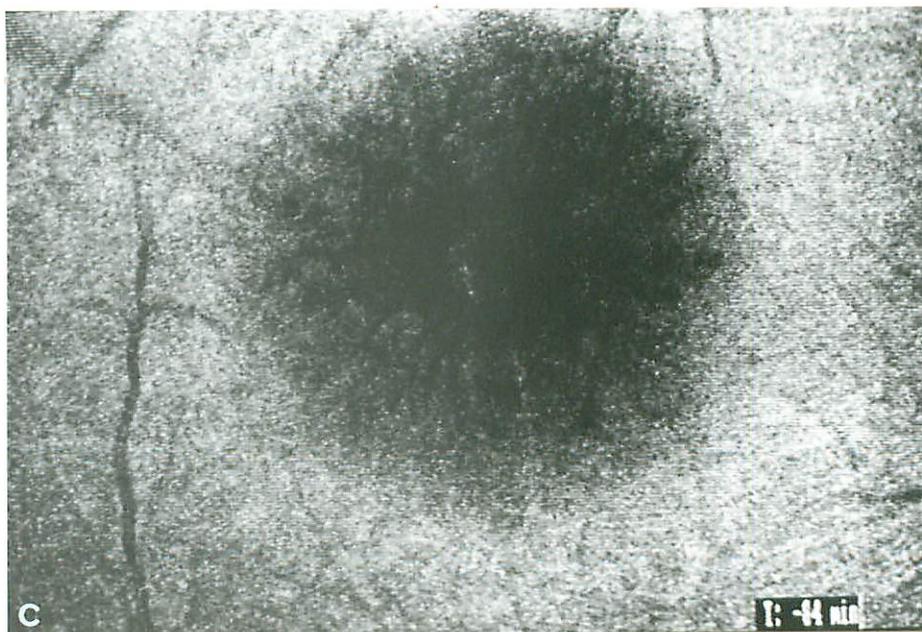


図 5 d

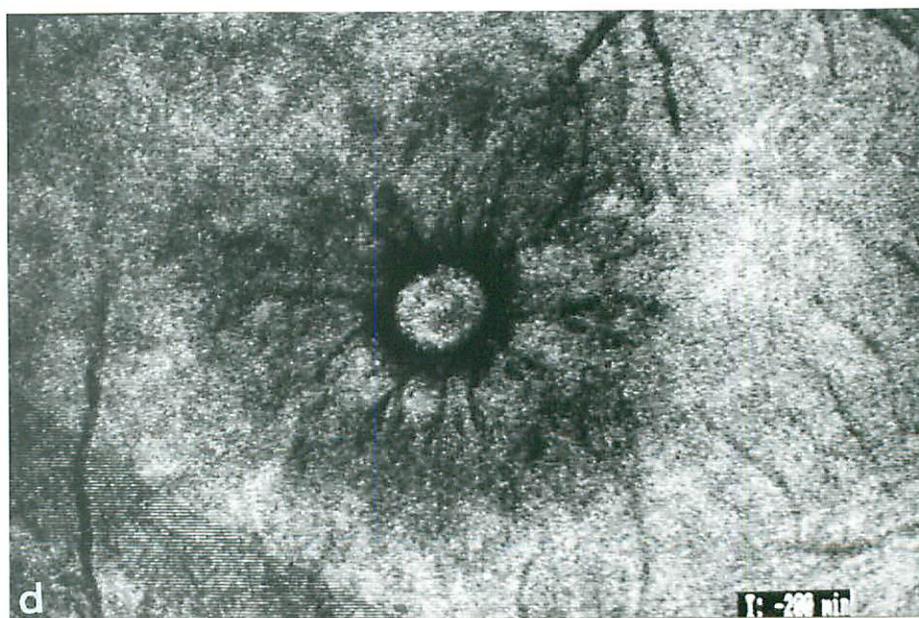


図 5 e

