

AMCoR

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

日本医学写真学会雑誌 (2001.11) 39巻4号:105～113.

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6
報 連続移動による立体的観察法

福井勝彦、永野幸一、磯部裕成、石子智士、五十嵐弘昌、
吉田晃敏

原著論文

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6報 105

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6報 連続移動による立体的観察法

福井勝彦 1), 永野幸一 2), 磯部裕成 3), 石子智士 1), 五十嵐弘昌 4), 吉田晃敏 1)

旭川医科大学 眼科学講座 1), 北里大学病院 眼科 2)
旭川医科大学附属病院 遠隔医療センター3), 釧路赤十字病院 眼科 4)

Clinical Usefulness of a Confocal Scanning Laser Ophthalmoscope for
Imaging of the Ocular Fundus (6)
(Three-dimensional Observation by Continuous Shifting)

Katsuhiko Fukui1), Koichi Nagano2), Hironari Isobe3), Satoshi Ishiko MD. PhD1),
Hiromasa Igarashi MD. PhD4), Akitoshi Yoshida MD. PhD1)

1) Department of Ophthalmology Asahikawa Medical College

(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan)

2) Department of Ophthalmology Kitasato University Hospital

(1-15-1 Kitasato Sagamihara 228-8555, Japan)

3) Telemedicine Center, Asahikawa Medical College Hospital

(2-1-1 Midorigaokahigasi Asahikawa 078-8510, Japan)

4) Kushiro Red Cross Hospital

(21-14 Shineimachi Kushiro 085-0032, Japan)

(2001 年 6 月 4 日受付・2001 年 10 月 10 日受理)

Abstract :

We studied three-dimensional observation method using a confocal scanning laser
ophthalmoscope

(SLO). SLO radiates laser on a point of the ocular fundus and provides high-speed
scanning horizontally at 15 kHz with a polygon mirror and vertically at 60 Hz with

a galvanometer scanner. The output of SLO images are based on the national television system committee (NTSC) system, and serial images of 30 frames per second with 525 scanning lines, can be observed. For operation, the laser spot is shifted continuously in the right and left directions (turn to right, turn to left and repeat it) in the papillary area using a measuring head control key. The scanning range of laser in the pupil area is about 2.5 mm, requiring no advanced technique if mydriasis is good. In this method, a slight gap in images (parallax) continuously occurs after shifting. Utilizing this gap, together with an after image effect, three-dimensional observation can be achieved. This method allows immediate observation on a TV monitor, without a limit to the number of observers. Images on the monitor can be recorded on a video tape for repeated examination. Since observation by continuous shifting of SLO has advantages of using an apparatus with a long focal depth and three-dimensional observation providing much information, this method is considered clinically useful.

106 日本医学写真学会雑誌 Vol. 39 No. 4

Key words :

after image effect, continuous shifting, ocular fundus, Scanning Laser Ophthalmoscope (SLO), three-

dimensional observation

1. はじめに

眼球は球体で、発生する疾患も立体的な広がりをもつものが多く、立体的な観察手段 1-8) でなければ、黄斑部の浮腫や硝子体と網膜面などの把握は不可能といっても過言ではない。細隙灯顕微鏡や双眼倒像鏡 9) で

は、立体的に観察することはできても客観的な記録手段として、1枚の眼底写真から立体的な情報の把握は困難である。しかし、両眼視 10) で立体感を認識できる瞳孔間距離に相当する視差をつけた立体撮影を行うことにより、平面的な写真では、捉えにくい三次元的な多くの情報を得ることができる。眼軸長が約 24mm の眼球では、眼底カメラで、リング照明光の撮影軸を約 0.5 ~ 1.0mm 程度、瞳孔領内で左右に平行移動させ 2 枚一組の眼底像を撮影し、裸眼による交差法や平行法で融像させるかステレオビューアで観察すると立体効果を得られるが複数で同時に観察できない欠点がある。比較的大人数で観察するには、2台のプロジェクターの前に偏光軸が互いに 90 度（直交）異なるように偏光フィルターを装着し、偏光眼鏡を用いて観察することができるが、偏光した画像を効率よく反射する指向性の高いスクリーンや偏光眼鏡が必要となるなど観察手段 11) に制限があるため立体撮影が普及しにくかった。

従来からの眼底カメラと異なり瞳孔中心部をレーザーの入り口とし、眼底を高速で走査し、反射光の出口として残りの瞳孔領を使う、逆 Gullstrand 瞳分離方式の原理を応用した走査型レーザー検眼鏡（SLO）12-14) は、瞳孔領から入射するレーザースポットの直径は約 1mm、走査範囲は 2.5mm で小瞳孔でも眼底の観察が可能である。走査画像は NTSC (National Television System Committee) 方式のテレビモニター画像で

連続的に観察できる。

今回我々は、SLO のレーザースポットを瞳孔領で上下・左右方向への反復運動を連

続させることにより、眼内に発生する立体的病巣を検出しやすくする立体的観察法を検討した。

II. 方法

1. 対象および撮影装置

緑内障、増殖糖尿病網膜症、ベーチェット病、加齢性黄斑変性症、中心性漿液性網脈絡膜症の症例を用いた。撮影装置は、アルゴンレーザー（488nm）、ヘリウムネオンレーザー（633nm）、ダイオードレーザー（780nm）の3種類のレーザー波長が選択できるローデンストック社製（Rodentstock, Ottobrunn, Germany）の走査型レーザー検眼鏡（Scanning Laser Ophthalmoscope）を用い、反射光を制限する共焦点開口径は比較的焦点深度の深いC3（4mm）を選択し症例によりC2（2mm）を使用した（図1）。レーザー光は、25面体のポリゴンミラーで水平方向に15kHz（37800回転/分）に、ガルバノメータスキャナーで垂直方向に60Hzで偏光され、テレビモニターに画像を作る電子ビームの走査と同期している。

2. 撮影方法

立体的観察として、十分な散瞳が確保できる被検者に対して、視線を固定させ対象となる症例の隆起部もしくは、陥凹部に焦点を合わせ、眼底カメラによる平行移動法を応用した。瞳孔領内で本装置のトラッカーマウスハンドセット（“Tracker-Mouse” handset）のMeasuring headコントロールキーで、上下・左右方向にMeasuring headを移動させる押しボタンを数回、左右方向に連続的に反復させた（図2）。なお、

SL0 の写真は、S-VHS ビデオで記録したものを再生しモニター画面を撮影した。

図 1. SL0 の模式図

レーザースポットを眼底の一点に照射し、高速に X-Y 方向に走査する。ある瞬間の焦点面の反射光を取り込む。

図 2. 撮影方法

Measuring head 移動装置 (右) で瞳孔領のレーザースポットを上下・左右方向に位置移動を反復させる。

3. 静止画での症例の観察方法

平面的な静止画から、症例の立体感が把握できるように平行法で左右一組の SL0 の写真で提示した。レーザースポットを左および右方向に移動させた状態を S-VHS ビデオで再生し、モニター画面を撮影 (14, 16, 20) した (図 3a)。

本法では、上下方向の連続移動も立体感が把握できるが、上下方向にずれた 2 枚の SL0 の写真から立体観察するには、プリズムを用いた観察装置が必要である。なお、リバーサルフィルムで、SL0 画像をモニター画面から撮影した場合には、専用の観察装置を必要とする (図 3b)。

平行法両眼単一視

プリズム法交差法

図 3a. 静止画 (写真) の観察方法

写真より先方を見ると開散 (平行法) し、手前を見る

と交差（交差法）する。上下方向にズレ（視差）のある写真の観察は、プリズムが必要である。

プロジェクター投影法ステレオビューアー

図 3b. 静止画（スライドフィルム）の観察方法

専用の観察装置のステレオビューアーを使用、または偏光フィルターを装着したプロジェクターに、偏光眼鏡を用いると多人数での観察が可能である。

108 日本医学写真学会雑誌 Vol. 39 No. 4

III. 結果

症例 1. 緑内障性乳頭陥凹 (glaucomatous excavation)

正常眼では、視神経乳頭の生理的陥凹は、要な視標となる。緑内障の病初期に発生す視神経乳頭径の 60%以下（陥凹径/ 乳頭径を網膜神経線維束の部分欠損の観察に適し比 : cup/disc ratio = C/D 比）で、視神経に短波長（488nm）のアルゴンレーザーで、乳頭陥凹の拡大は緑内障 6, 15) の診断上の重視視神経乳頭の陥凹が立体的 7) に捉えられた

(図 4)。

図 4. 緑内障性乳頭陥凹（アルゴンレーザー、開口径 C 2 : 2mm、画角 40 度）

視神経乳頭の陥凹が立体的に観察できた（症例 1）。

症例 2. 増殖糖尿病網膜症 (proliferative 含み上下血管アーケードに沿って広範囲に、diabetic retinopathy) 膜様の増殖線維膜が進展した増殖糖尿病網

糖尿病に合併する網膜病変で、新生血管膜症 15) の症例を示す。焦点深度の深い開口が発生し、硝子体の増殖変化および硝子体径 16) (C3 : 4mm) と 633nm のヘリウムネ出血が併発して、視神経乳頭から黄斑部を

図 5. 増殖糖尿病網膜症（ヘリウムネオンレーザー、開口径 C3 : 4mm、画角 40 度）

視神経乳頭と硝子体中の増殖線維膜が立体的に観察できた（症例2）。

オンレーザーでは、視神経乳頭と前方の硝察できた（図5）。一方、眼底周辺部で硝子体中に発生した増殖線維膜が立体的に観網膜光凝固を施行した網膜面と前方に発生

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6報 109

図6. 増殖糖尿病網膜症（ヘリウムネオンレーザー、開口径 C3：4mm、画角40度）

周辺部では、網膜と前方の新生血管が立体的に観察できた（症例2）。

している新生血管も明瞭に捉えられた（図6）。

症例3. ベーチ F ット病 (Behcet disease) 15) の症例を示す。新生血管から漏出しにくく皮膚・粘膜・眼症候群の一つで、日本人い分子量 775 のインドシアニングリーンに多く原因不明で確実な治療法のない難病 (ICG) を蛍光造影剤として静注し、励起光とされている疾患で、黄斑部下方に硝子体として 780nm のダイオードレーザーを用出血と視神経乳頭上の網膜血管から新生血いて観察した所見を示す。硝子体中に立ち管が認められた不完全型のベーチェット病上がる房状の新生血管が明瞭に捉えられた（図7）。

図7. ベーチェット病（ダイオードレーザー、開口絞り：1F、画角20度）

硝子体中に立ち上がる新生血管が立体的に観察できた（症例3）。

症例4. 加齢性（円盤状）黄斑変性症 (age-related macular degeneration)

高齢者で、黄斑部網膜下に脈絡膜毛細血 15, 17) を示す。780nm のダイオードレーザー管網から新生血管が発生し、出血と線維性では、線維性増殖に透過性が制限されたも増殖が進行し黄斑部網膜は挙上し、円盤状のの黄斑部が楕円形に隆起している所見が

の隆起を伴った加齢性(円盤状)黄斑変性症観察でき、漿液の貯留が推測された(図8)。

110 日本医学写真学会雑誌 Vol. 39 No. 4

図8. 加齢性(円盤状)黄斑変性症(ダイオードレーザー、開口径C2: 2mm、画角40度)

黄斑部が楕円形に隆起しているのが観察できた(症例4)。

症例5. 中心性漿液性網脈絡膜症(central serous chorioretinopathy)

脈絡膜と網膜の関門柵である網膜色素上皮性漿液性網脈絡膜症¹⁵⁾を示す。本症例では、皮に障害が起こり、脈絡膜からの漏出液が網膜組織の障害が少ないため780nmのダイオードレーザーで、隆起した網膜を透過^{13, 14)}局所的な網膜剥離(浮腫)を生じている中し下層の病巣部を明瞭に把握できた(図9)。

図9. 中心性漿液性網脈絡膜症(ダイオードレーザー、開口径C2: 2mm、画角40度)

隆起した黄斑部を透視し深層の病巣部が観察できた(症例5)。

IV. 考 察

立体撮影によって得られた一対の立体写真からは、1枚の写真より多くの情報量が得られるため、古くから眼底撮影にも応用¹⁻³⁾されてきた。眼底カメラの対物レンズ前に専用アダプターを取りつけ、一定の傾斜角度で光路をずらし、2枚の写真を撮影する平面平行ガラス回転装置³⁾や同時立体眼底撮影装置²⁾による撮影、さらに、操作法が簡便な平行移動法による継時立体眼底撮影^{3, 4, 5, 7, 8)}が報告されている。しかしなが

ら、平面平行ガラス回転装置による撮影は、

瞳孔径が小さいと傾斜角が制限され、照明光がガラスに反射し画像に写り込む³⁾。また、同時立体撮影装置^{2, 6, 18)}は、常に一定の二光軸間距離（ステレオベース）が得られるため緑内障における視神経乳頭陥凹の経時変化を捉えることが可能だが、撮影画角が狭く撮影対象が制限され、対象が中心から $1/2$ 以上ずれると計測値に有意差¹⁹⁾が生じる。一方、平行移動法による眼底撮影は、

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6報 111

移動量により立体感が変化し、経時的な経過観察には制限があるが特別な装置を必要とせず従来からの眼底カメラで撮影が可能で、撮影手技の簡便さと比較的大きな画角から得られる情報量の多さから現在も試みられている。

2枚一組の写真から立体視するには、各々の写真を両眼の網膜に写し融像¹⁰⁾する必要がある。一般的に物を観察する場合には、自動調節機能と輻輳により両眼単一視が行われる。立体写真の観察³⁾には、輻輳を弱める開散か、交差させて写真より先方に結像する平行法もしくは手前に結像する交差法により、裸眼でも観察することができるが実際には、なかなか困難である。立体観察装置として、写真用実体鏡（stereoscope）³⁾ やステレオビューワ（stereoviewer）⁴⁾、また多人数では、特殊なスクリーンおよび、偏光フィルターを装着させた2台のプロジェクターと専用眼鏡^{3, 5)}を用いれば観察が可能であるが、いずれにしても立体観察は容易ではなく観察装置も入手しにくい。

SLO は、眼底カメラに比べて焦点深度が

深く 12, 13, 14, 16, 17, 20) 眼底を観察しながら硝子
体変化 12, 20) も観察できるが、観察手段は、
連続的な画像の平面的な観察である。しか
しながら、隆起性病巣や陥凹などの立体的
な病巣では、連続的に上下または、左右に
反復移動させて、わずかな視差 3, 4, 5, 7, 8) が生
じた眼底画像を連続的にテレビモニターに
写し出しビデオ画像として記録できる。ビ
デオで記録された画像は、2枚の写真から
平行法や交差法による融像運動 3, 4, 10) や専用
の立体観察装置を必要とせず、瞬時に立体的
な病変の把握が可能である。操作方法は、
従来の眼底カメラによる平行移動法を応用
したものであり、瞳孔径でのレーザーの直
径は約 1mm、走査範囲は約 2.5mm で、低
輝度のレーザー照 1) では、羞明感や被検者
の固視の動揺も少なく、本法では視線が一
定し散瞳状態が良好であれば観察は容易で

あった。

モニターでの観察では、上下・左右に連
続させて反復移動をすると、わずかな画像
のずれが連続的に発生する。すなわち、NTSC方式では、左から右に移動した画像
は、30 フレーム/秒で1フレーム毎に微妙
にずれた画像として取り込まれる。この操
作を、一定の間隔で右方向から左方向へと
数回反復させて観察すると、残像効果によ
り直前のフレームにリアルタイムにその後
のフレームが重なり、立体視 10) させる条件
である微妙に視差のある連続した画像とし
て認識され、立体的に観察できるものと考えられる。

従来からの眼底カメラでも、平行移動を

反復連続させると立体的に観察できるが単眼の接眼ファインダーでは、観察者は検者一人に制限される。本法では、上下方向のみならず左右方向に反復移動し、テレビモニターでリアルタイムに複数人で観察でき、ビデオテープで記録することにより繰り返し再生が可能である。したがって、SLO を用いた連続移動による観察では、高度な技術を必要とせず、焦点深度の深い画像から得られる長所 (11, 15, 19) と立体的観察の情報の多さから隆起性病変だけでなく網膜剥離や増殖線維膜の把握にも有用性があるものと考えられた。

・まとめ

今回我々は、眼内に発生する立体的病巣を観察するために、SLO を上下・左右方向への反復移動を連続させた立体的観察法を検討した。SLO の画像は NTSC 方式の連続画像としてモニターでリアルタイムに観察できる。本法では、2枚の画像を融像する眼球調整も必要とせず動画観察では、上下・左右に連続させて移動を繰り返すと、わずかな画像のずれが連続的に発生し直前の画像の残像効果とともに、視差を脳内に与えているものと考えられる。したがって、

112 日本医学写真学会雑誌 Vol. 39 No. 4

SLO を用いた連続移動による観察は、高度 10) 初川嘉一：「眼科学体系 1 眼科診療学・な技術を必要とせず焦点深度の深い画像か眼機能」両眼視，増田寛次郎，猪俣孟，ら得られる長所と立体的観察の情報の多さ玉井信，本田孔士編，457-467，中山から臨床的に有用性がある。書店，東京，1993.

本論文の要旨は日本医学写真学会の第 4211) 久保田健次，高塚忠宏：眼底立体画像

回定例学会で動画で発表した。にみられた空間歪覚の検討, 日本眼科

紀要 35, 2333-2337, 1984.

参考文献 12) 福井勝彦, 加藤祐司, 五十嵐弘昌, 磯

1) Allen, L. : Ocular Fundus Photogra-部裕成, 吉田晃敏 : 共焦点レーザー走
phy. Am. J. Ophthalmol. 57 : 13-28, 査検眼鏡 (SLO) による眼底撮影の臨
1964. 床的有用性 (1) 形態的検索, 日本

2) Donaldson, D. D. : A new camera 医学写真学会雑誌, Vol. 37, No. 3,
for stereoscopic fundus photogra-119-126, 1999.
phy., Arch Ophthalmol 73, 253-267. 13) 福井勝彦, 加藤祐司, 五十嵐弘昌, 磯
1965 部裕成, 吉田晃敏 : 共焦点レーザー走

3) 三国政吉, 八百枝浩 : 「眼底撮影の実査検眼鏡 (SLO) による眼底撮影の臨
際」立体撮影, 56-69, 金原出版, 東京, 床的有用性第 2 報 (間接光による形
1972. 態的検索法), 日本医学写真学会雑誌,

4) 金上貞夫 : 「眼科学体系 1 眼科診療 Vol. 38, No. 1, 1-9, 2000.
学・眼機能」立体写真記録, 増田寛 14) 福井勝彦, 五十嵐弘昌, 磯部裕成, 吉
次郎, 猪俣孟, 玉井信, 本田孔士編, 田晃敏 : 共焦点レーザー走査検眼鏡
201-207, 中山書店, 東京, 1993. (SLO) による眼底撮影の臨床的有用

5) 久保田健次, 高塚忠宏 : 眼底のステレ性第 3 報 (黄斑部網膜上膜形成の観察),
オ撮影およびステレオ映写について, 日本医学写真学会雑誌, Vol. 38, No. 2,
日本眼科紀要 35, 142-147, 1984. 29-35, 2000.

6) 難波克彦 : 「月刊眼科診療プラクティ 15) 「現代の眼科学」第 6 版第 1 刷, 所敬,
ス 46」眼科写真撮影法, 同時立体撮金井淳編、金原出版, 東京, 1996.
影法, 金上貞夫, 丸尾敏夫, 本田孔士, 16) 福井勝彦, 磯部裕成, 石子智士, 五十
臼井正彦, 田野保雄編, 24-25, 文光堂, 嵐弘昌, 吉田晃敏 : 共焦点レーザー走
東京, 1999. 査検眼鏡 (SLO) による眼底撮影の臨

7) 柳田哲司 : 視神経立体眼底写真撮影法, 床的有用性第 5 報 (増殖糖尿病網膜症
眼科写真 Vol. 13, 7-10, 1997. におけるレーザー波長の有効開口径),

8) 山崎伸吾：「月刊眼科診療プラクティス日本医学写真学会雑誌，Vol. 39，No. 2，46」眼科写真撮影法，平行移動法，金 26-32，2001.

上貞夫，丸尾敏夫，本田孔士，臼井正 17) 福井勝彦：レーザー走査検眼鏡による
彦，田野保雄編，20-22，文光堂，東京，眼底観察（共焦点方式と暗視野方式に
1999. よる臨床応用），眼科写真 Vol. 16，

9) 出田秀尚：「眼科検査法ハンドブック」28-32，2000.

倒像眼底検査，湖崎克，松井端夫，丸 18) 佐藤健二，難波克彦，岩田和雄：
尾敏 v 編，384-393，医学書院，東京，同時立体眼底カメラ NIDEK 3-
1958. DK の使用経験，眼科臨牀医報 87，

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6報 113

1686-1691，1993.

19) 難波克彦，白柏基宏，岩田和雄：視
神経乳頭のコンピューター画像解析-
写真画像上の視神経乳頭の位置の測
定値への影響-，眼科臨牀医報 87，1692-1695，1993.

20) 福井勝彦，石子智士，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4報(硝子体病変の動的
観察)，日本医学写真学会雑誌，Vol.
38，No. 3，62-69，2000.

<図の説明>

図1. SLO の模式図

レーザースポットを眼底の一点に照射し、高速に X-Y 方向に走査する。ある瞬間の焦点面の反射光を取り込む。

図2. 撮影方法

Measuring head 移動装置（右）で瞳孔領のレーザースポットを上下・左右方向に位置移動を反復させる。

図3 a. 静止画（写真）の観察方法

写真より先方を見ると開散（平行法）し、手前を見ると交差（交差法）する。上下方向にズレ（視差）のある写真の観察は、プリズムが必要である。

図3 b. 静止画（スライドフィルム）の観察方法

専用の観察装置のステレオビューアーおよび偏光フィルターを装着したプロジェクターに、偏光眼鏡を用いると多人数での観察が可能である。

図4. 緑内障性乳頭陥凹(アルゴンレーザー、開口径 C2 : 2mm、画角 40 度)

症例1. 視神経乳頭の陥凹が立体的に捉えられた。

図5. 増殖糖尿病網膜症（ヘリウムネオンレーザー、開口径 C3 : 4mm、画角 40 度）

症例2. 視神経乳頭と硝子体中の増殖線維膜が立体的に観察できた。

図6. 増殖糖尿病網膜症（ヘリウムネオンレーザー、開口径 C3 : 4mm、画角 40 度）

症例2. 周辺部では、網膜と前方の新生血管が明瞭に捉えられた。

図7. ベーチェット病（ダイオードレーザー、開口絞り : IF、画角 20 度）

症例3. 硝子体中に立ち上がる新生血管が立体的に捉えられた。

図8. 加齢性（円盤状）黄斑変性症（ダイオードレーザー、開口径 C2 : 2mm、画角 40 度）

症例4. 黄斑部が楕円形に隆起しているのが観察できた。

図9. 中心性漿液性網脈絡膜症（ダイオードレーザー、開口径 C2 : 2mm、画角 40 度）

症例5. 隆起した黄斑部を透見し深層の病巣部が把握できた。

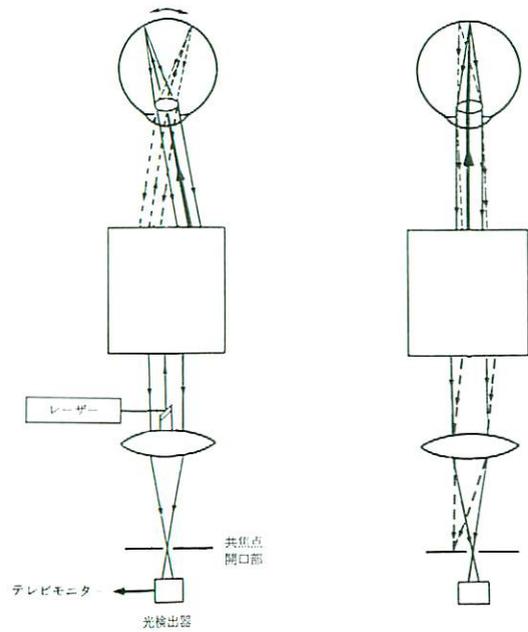


図 1 .

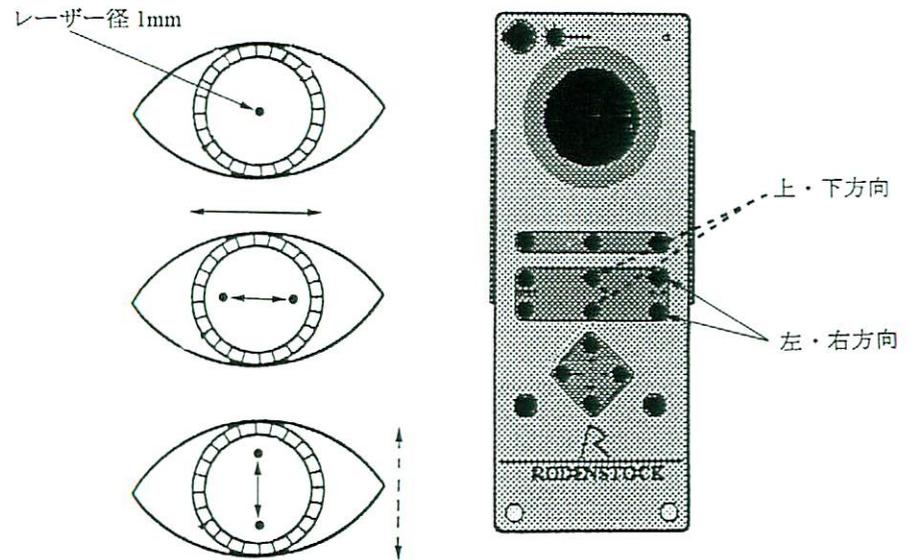
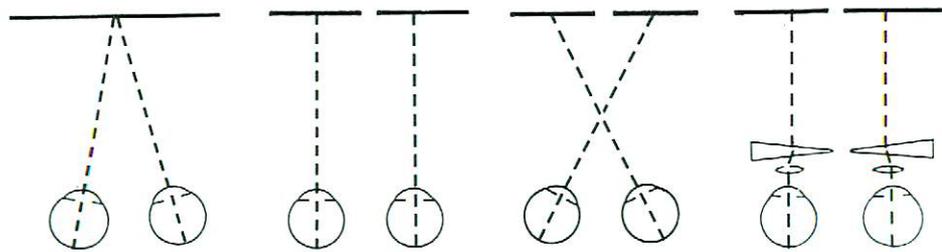


図 2 .



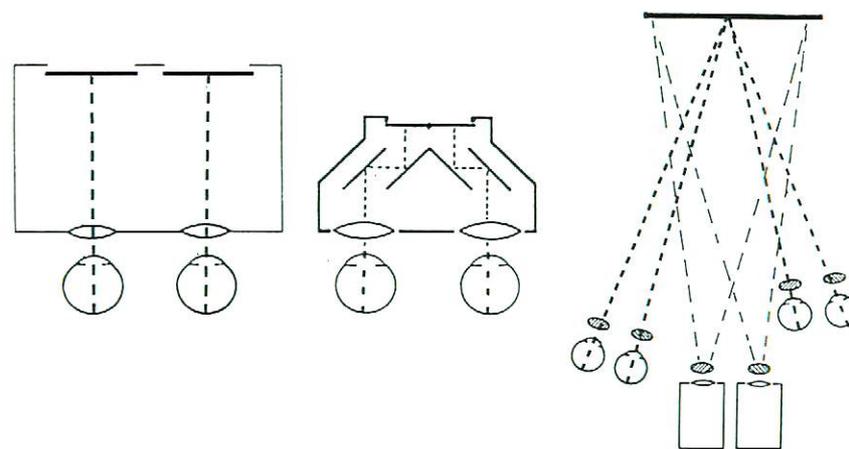
(1) 両眼単一視

(2) 平行法

(3) 交差法

(4) プリズム法

図 3a.



(1) ステレオビューアー

(2) 一騎用ステレオビューアー

(3) プロジェクター投影法

図 3b.

图 4.

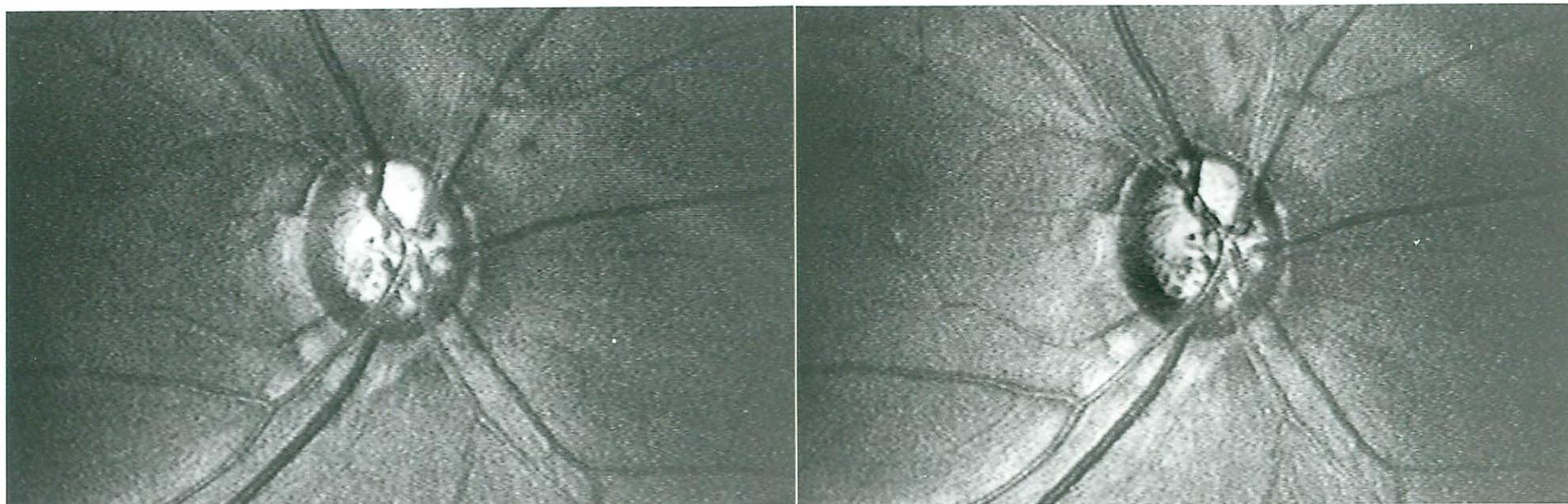


图 5.

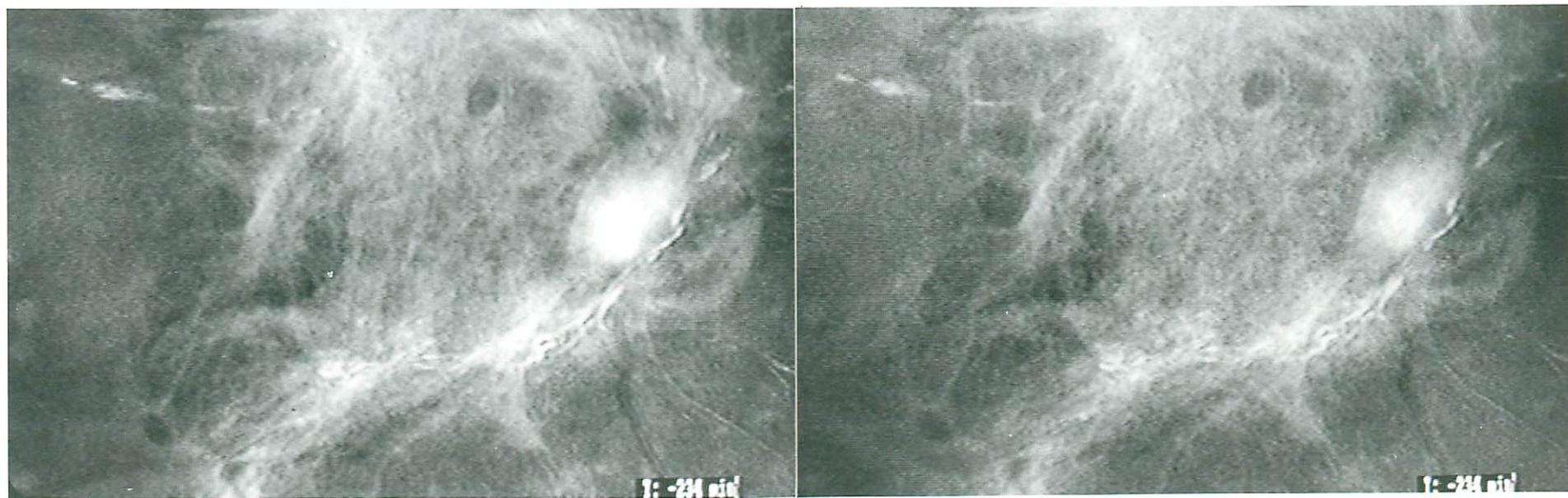


图 6.

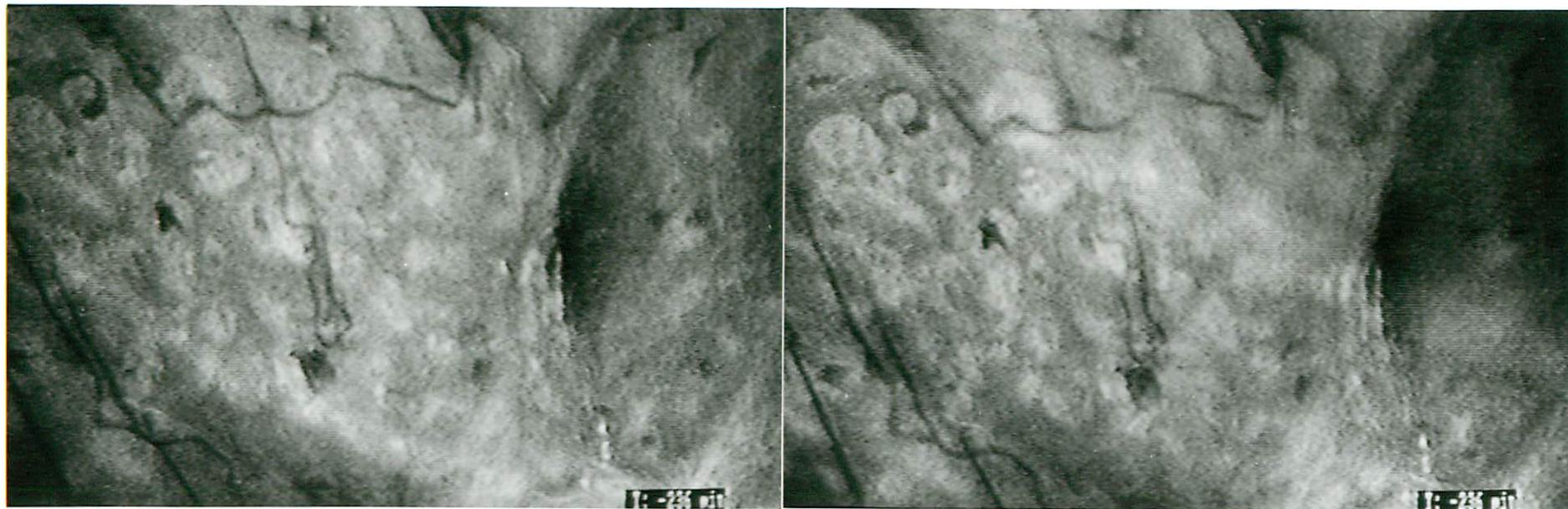


图 7.

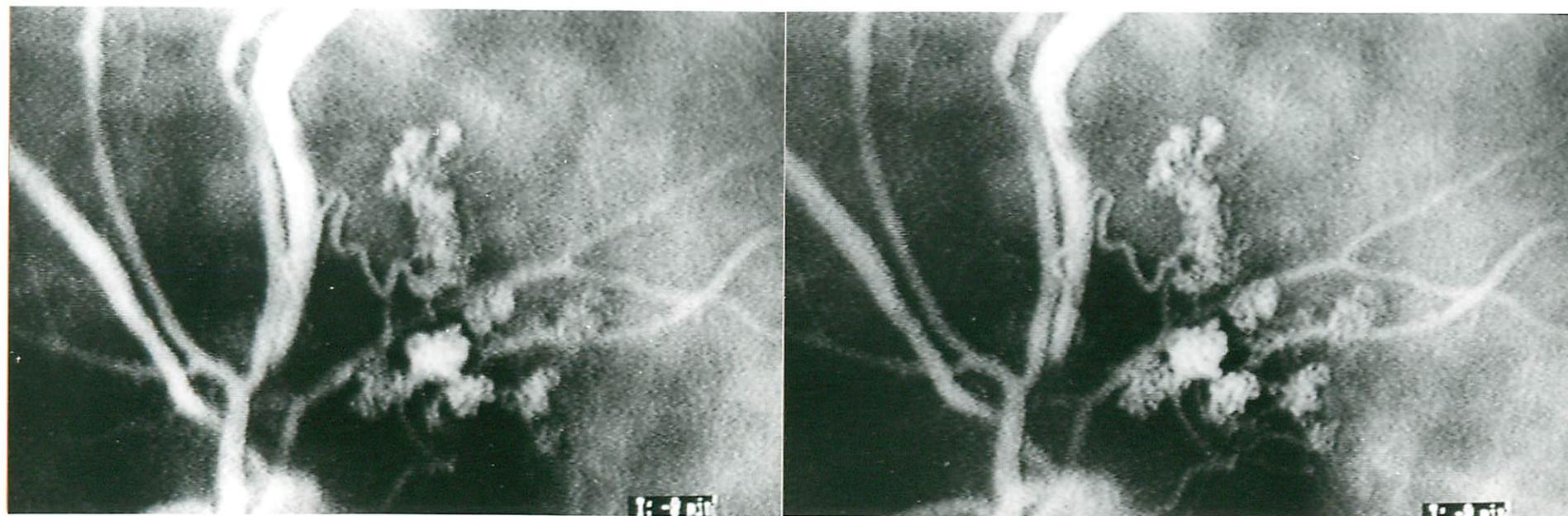


图 8.

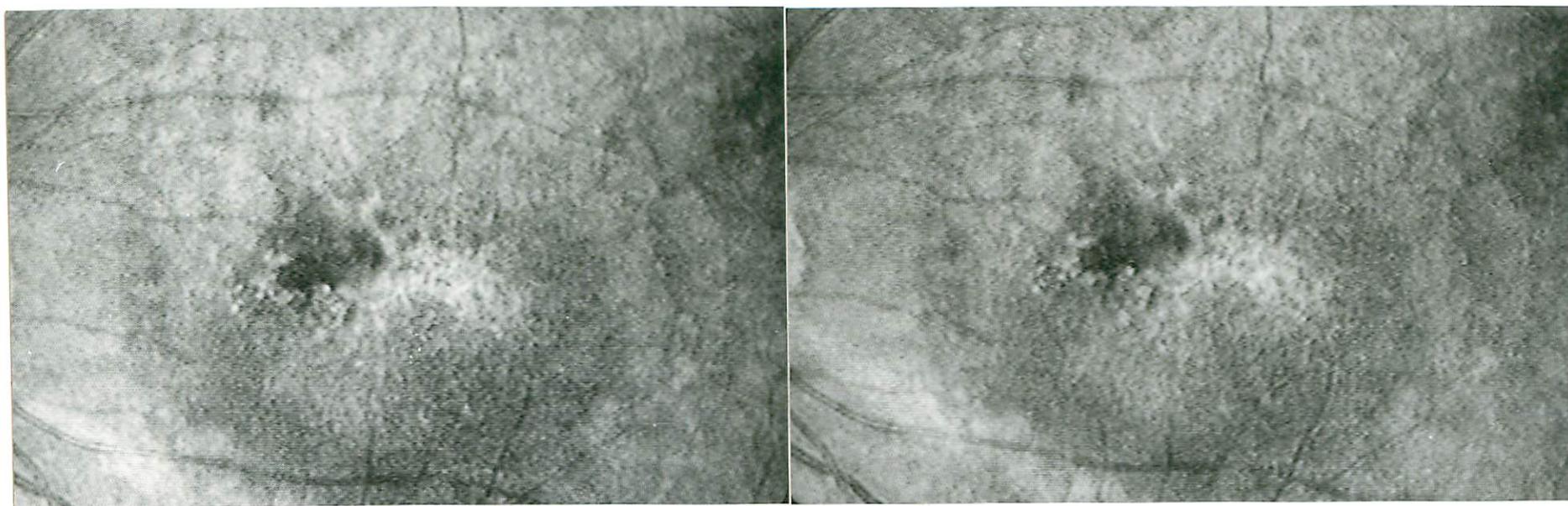


图 9.

