

AMCoR

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

眼科写真 (2007) 23巻:3~10.

Heidelberg Retina Angiograph (HRA) のよるフレオレセイン蛍光眼底造影とインドシアニングリーン蛍光眼底造影の同時撮影

福井勝彦、花田一臣、吉田晃敏

—解説—

Heidelberg Retina Angiograph (HRA)によるフルオレセイン蛍光眼底造影とインドシアニングリーン蛍光眼底造影の同時撮影

Simultaneous Fluorecein Angiography and Indocyanine Angiography with Heidelberg Retina Angiograph (HRA)

福井勝彦、花田一臣、吉田晃敏

Katsuhiko Fukui, Kazuomi Hanada, Akitoshi Yoshida

<要旨>

HRAは共焦点レーザー走査方式のため、焦点深度が浅く高コントラストの画像を記録できる。造影画像の画像処理は、HRAソフトウェアバージョン1.10を用い、明るさと明暗比 (Brightness/Contrast)、輪郭強調 (Shrapen)、画像の平均化 (Computing Mean Images) のプログラムを用いた。HRAの画像取得の前のライブ画像を確保する「call back buffer」は、造影早期のCNVにおける栄養血管の撮影に有用であった。低輝度の画像は、静止画像の加算平均化処理 (Computing Mean Images) によって画像を鮮明に再現することができた。Computing Mosaic Images機能は、幾つかの画像から広範囲のモザイク画像として自動的に作成できる。HRAのdigital画像では、画像処理により品質を高めた画像が得られ、迅速な診断や治療が可能であった。同時撮影は、検査時間の短縮と患者の負担が軽減することで臨床的に有用な検査装置だと考えられた。

<Abstract>

The HRA is a confocal scanning laser system with a shallow depth of focus, providing high contrast images. Imaging processing was conducted using the HRA software, with the Brightness/Contrast, Shrapen and Computing Mean Images programs. The HRA's function "call back buffer" to reserve the live images before obtaining the image was useful to scan the feeder vessels in CMV during the early phase of the contrast visualization. For the images with lower brightness, the summation averaging processing (Computing Mean Images) of static images led to reproduction of the images with improved clearness. Computing Mosaic Image function can be made automatically as a mosaic image of the large area from some images. The digital images of HRA allowed prompt diagnosis and treatment, as the quality of images was improved by the image processing. Simultaneous FA and IA can be a clinically useful examination device by reducing the time required for examination and lightening the burden on the patient.

1. はじめに

眼球は、網膜血管系と脈絡膜血管系によって栄養されている。網膜の血管は、色や明暗の情報を脳に伝達する神経網膜を栄養している。一方、脈絡膜の血管は網膜色素上皮と視細胞を栄養するため、眼球内を密に分布しているが、メラニン色素の豊富な網膜色素上皮に遮られているため通常の検眼では、脈絡膜の血管を観察することが難しい。眼底疾患に脈絡膜が関与していることは推測できても、脈絡膜血管の情報を観察することは困難であった。近年、欧米先進国において加齢黄斑変性症(AMD)¹⁻²⁾が、成人失明原因の第一位となり、治療法を選択する上で脈絡膜血管の所見が必須となった。そのため赤外領域に蛍光を発生するインドシアニングリーン(ICG)蛍光眼底像造影法(IA)³⁻⁶⁾が臨床応用され、組織透過性に優れたIA所見から脈絡膜循環の解析や脈絡膜新生血管の診断や治療、さらに病因論的研究に普及している。

IAに用いられる装置は、従来の蛍光眼底カメラをIA用に改良したものと共焦点走査型レーザー装置⁷⁻⁸⁾に大別される。眼底カメラ改良型は、キセノン光源を用い、眼底全体を励起フィルターでインドシアニンググリーン(ICG)の吸収波長域を励起し、発生した蛍光を広域のバンドパス型の干渉フィルターで撮影する。このため蛍光以外の散乱光の影響が大きく、解像度の低下が大きな課題であった。共焦点走査レーザー方式の装置⁹⁻¹¹⁾は、蛍光色素(ICG)の吸収波長に一致するレーザー光を眼底の一点に照射し、X-Y方向に走査し、眼底からの反射光を焦点の合わせた位置と共役な位置に絞り(開口絞り)と励起波長を遮断するフィルタを設置して、散乱光を制限し蛍光を画像に再構築する(図1)。走査レーザー方式を採用したHRAでは、FA/IAの同時撮影¹²⁻¹⁴⁾が可能である。造影所見はデジタル画像で得られ、様々な画像処理が可能となる。IAでは、蛍光色素(ICG)の物理的特性(輝度)¹⁵⁾や血漿蛋白との結合による蛍光波長の長波長側への移動や時間的ずれが画像の解像度に影響する。本稿では、共焦点走査レーザー方式の装置によるFAとIAの同時撮影について解説する。

2. 網膜毛細血管と脈絡膜毛細血管

眼や脳などの神経組織を維持するには、様々な物質や電解質を選択する関門機能が不可欠である。網膜血管と脈絡膜の毛細血管では、血管構造が異なる。網膜毛細血管には、閉鎖柵(tight junction)があり、物質が自由に拡散することはない。脈絡膜の中大血管は関門機能があるが、脈絡膜の毛細血管には、閉鎖帯がなく窓構造(fenestration)である(図2)。脈絡膜毛細血管の、窓構造を代償する関門機能は、網膜色素上皮(上皮型関門)が行っている。分子量の小さい、フルオロセインナトリウム(分子量:376)は、血中に投与されると血漿蛋白と結合するが、約88%が結合型^{16,17)}となり、約12%が非結合型として血漿中に存在する。この非結合型のF-Naが窓構造の脈絡膜毛細血管から漏出するが、網膜色素上皮の関門柵でブロックされるため、網膜面は、淡い背景蛍光として観察できる。このためF-Naを造影剤とした蛍光眼底造影(FA)では、網膜血管と網膜色素上皮の関門柵の検索が可能である。一方、閉鎖帯がない脈絡膜毛細血管の検索には、分子量の大きいインドシアニンググリーン(分子量:775)が造影剤に使われる。ICGは、血中に投与されると高率にリポ蛋白と結合¹⁸⁾する。脂質とポリペプチドが種々の比率で結合した集合体であるリポ蛋白¹⁹⁾は、脂質を肝から体内の各組織に運ぶ担体と考えられている。分子量は70万~数百万に及び、ICGと結合すると高分子化し血管から漏出し難く、関門柵をもたない脈絡膜血管の観察に優れている。

3. 造影剤の蛍光現象と物理特性

蛍光とは、光の照射を受け、エネルギーを吸収した物質が、長波長側に新たな光を放出する現象である。F-Na の、最大吸収波長は 493nm で、513nm の蛍光を発生する。F-Na は、血中では、ミリ秒単位でアルブミン(分子量:69,000)と結合し、血中濃度は静注後約1~2分で最大となり蛍光輝度は ICG の 25~50 倍¹⁵⁾といわれている。血中濃度変化も ICG と比べて急速に低下せず緩やかな希釈排出曲線(dilution excretion curve)^{16, 17)}を示す。吸収波長と蛍光波長は 20~30nm 長波長側に移動するが、F-Na は、蛍光輝度が高いため画像は、波長の変動にあまり影響されない。

一方、ICGの最大吸収波長は、766nm で、826nm の蛍光を発生させる。静注にてリポ蛋白と結合すると吸収波長は 805nm に移動する。また、結合するのに数分間²⁰⁻²²⁾を要し、835nm に蛍光が長波長側に移動する。血中 ICG 濃度は静注約30秒前後から急激に上昇し、約 60 秒で最大となり、その後は指数関数的に下降し血中半減期¹⁵⁾は約3分といわれている(図3)。ICG はリポ蛋白と高率に結合(約 98%)するが最大光学濃度(optical density: OD 値:対数)は約 1.0 程度と低く、静注された結合型 ICG は急速(約20分)に血中から消失する。フリーの ICG (約2%)は、静注後血管から消退するまで脈絡膜層内に拡散し組織染色(図 4)を呈し、造影晚期では脈絡膜中大血管から ICG が消退するため、血管像が脈絡膜背景蛍光内にシルエットとして観察できる。ICG 血中動態に関して、吸収波長と蛍光波長の長波長側への移動と血漿蛋白と結合して平衡状態に達するまでの時間的なずれ、さらに吸収波長と蛍光波長が近く、蛍光輝度が低いことも相まって開発初期のキセノン光源を用いた眼底カメラ改良型の装置では、励起及び濾過フィルターの波長設定が早期画像の画質に影響することが欠点であった。

4. レーザー光源と共焦点方式の撮影装置の特徴

眼底カメラ改良型での蛍光眼底撮影では、励起波長と蛍光波長の重複が偽蛍光となり画質の低下を引き起こすが、単一波長を発生できるレーザーでは、安全で高出力の励起が可能である。さらに、共焦点走査レーザー方式を用いることで、焦点の合わせた部位の反射だけを、X-Y 方向へ走査し共焦点開口部(共焦点開口絞り:400 μm)を通過させ、焦点の合わせた部位以外の反射や、散乱光を共焦点絞りで制限するためコントラストの高い画像として記録できる(図 5)。ハイデルベルグ社製(Gamany)の Heidelberg Retina Angiograph(HRA)では、488nm と 795nm の二つの波長光源を有しているが、最初に 488nm アルゴンレーザーで F-Na を励起し 15 μ 秒後に 795nm のダイオードレーザーで ICG を励起する2回の走査ライン¹⁴⁾によって各々の蛍光の反射を検出器で捉えて蛍光画像に構築することで同時撮影を可能にしている。

5. 画像解析

画像のデジタル化と共に画像解析が容易になり解像度の低い IA 画像も画像処理により明瞭化が可能となった。HRA では、蛍光造影画像の画像処理は、HRA ソフトウェアバージョン 1.10 の Brightness/Contrast (明るさ/明暗比)、Shrapen (輪郭強調)、Computing Mean Images (画像の加算平均化処理)、Computing Mosaic Images (広角パノラマ画像作成)のプログラム¹⁴⁾が使用できる。

6. ライブ画像の自動記録(call back buffer)の応用例

ICGの蛍光波長は赤外領域のため肉眼では観察できず、発せられた蛍光はモニタ上ではじめて映像化される。また、ICGの蛍光輝度は低く、IAにおける脈絡膜動脈相を確実に捉えるためにはモニタで確認してから撮影を開始する数秒前からの画像が必要である。HRAは、call back buffer¹⁴⁾によって撮影開始の最大2秒前からのライブ画像(単一撮影は最大40画像、同時撮影は最大24画像)を蓄えられることが利点の一つである。撮影開始2秒前から、ライブ画像を自動記録しコントラストと明るさを補正し、輪郭強調の画像処理することで、脈絡膜新生血管の流入血管が観察できた網膜色素上皮剥離の症例を示す(図6)。造影早期では、画像の解像度が低く詳細な観察は困難だった(図7)。Brightness/Contrast(明るさ/明暗比)、Shrapen(輪郭強調)で画像補正処理を行うことで、栄養血管の同定が捉えられた(図8)。造影後期のFAで、微細裂孔(microrip)からの漏出が拡大し、IAでは、脈絡膜層にICGが貯留しており、加齢黄斑変性症と診断した(図9)。加齢黄斑変性症では、脈絡膜新生血管の流入血管の同定と中心窩からの位置によって治療を検討する。FAで網膜色素上皮剥離部の微細裂孔を、IAで脈絡膜新生血管の局在や拡がりや活動性を捉えることができる。

7. Computing Mean Imagesのソフトウェア(画像の加算平均化処理)の応用例

HRAでは、幾つかの単一画像を平均化加算処理^{14, 23, 24)}してS/N(信号/雑音)比を改善することにより、品質を高めた画像が得られるComputing Mean Images(平均画像の計算ソフトウェア)が使用できる。S/N比は、 $1/\sqrt{n}$ (n:画像数)の係数で画像の品質を改善することができる。硬性白斑を伴った網膜浮腫と網膜血管吻合がみられた網膜内血管腫状増殖²⁵⁾の病初期の例を示す(図10)。optical coherence tomography(OCT)では、網膜内浮腫と中心窩に網膜剥離がみられた(図11)。造影後期に連続撮影した15画像を平均加算処理および画像補正(明るさ/明暗比、輪郭強調)した画像を示す。FAで、蛍光漏出による網膜内血管腫状増殖に特有な網膜内組織染が見られ、IAでは、網膜血管吻合部位はhot spotとして観察でき、hot spotからICGの漏出が確認でき活動性の高いことが判定できた(図12)。同時撮影では、輝度の高いF-Naに検出器の感度を合わせながらICGは励起する赤外レーザーの強度を血中濃度変化に応じて調整する必要がある。しかし、ICGは、約20分で消失するため造影後期で赤外レーザーの強度を最大にしてもIA所見が低輝度でしか得られない。HRAでは、この欠点を補うために低輝度の連続画像を取り込み加算平均化処理によって画像を鮮明に再現することができる。

8. FA/IA同時撮影で網膜内血管腫状増殖の病期分類に有用であった症例

線維性増殖と網膜下出血を伴った、網膜内血管腫状増殖の症例を示す(図13)。OCTにて網膜由来の新生血管が網膜下腔と網膜色素上皮の下へ進入する所見がみられた(図14)。造影早期のFAで網膜・網膜血管吻合が、IAでは網膜・脈絡膜血管吻合が確認できた(図15)。網膜内血管腫状増殖の進行例では、網膜由来の新生血管が網膜色素上皮下に進展し脈絡膜血管と吻合する。HRAの同時撮影のIA所見からⅢ期と判定できた。

9. Computing Mosaic Imagesのソフトウェア(広角パノラマ画像作成)の応用例

HRAでは、無制限の画像を単一の広角モザイク画像として自動的に結合させることができる。胸部圧迫後から生じた遠達性外傷性網膜症であるプルッチェル網膜症²⁶⁾と診断された症例

を示す。乳頭周囲に多数の軟性白斑と黄斑円孔を伴う網膜剥離が見られた (図 16)。画角 30 度の画角を使用し、パノラマ撮影の要領で受像器を、上下方向への傾斜と左右方向へスイングし広範囲の画像を記録し、Computing Mosaic Images のソフトウェアで画像処理した。FA で、造影早期に乳頭周囲の軟性白斑は軸索塞栓による低蛍光を示し、造影後期には閉塞領域辺縁からの透過性亢進による過蛍光を呈し、蛍光漏出がみられた。IA では、造影早期から後期にかけて脈絡膜循環障害を示唆する低蛍光領域が観察できた (図 17)。

10. まとめ

HRA の撮影開始前の、ライブ画像を確保する call back buffer (画像自動記録) は、造影早期の脈絡膜新生血管への流入血管の撮影に有用であった。ICG の蛍光輝度は低く急激に上昇した後、指数関数的に下降するため同時撮影では、蛍光色素の血中濃度に応じたダイオードレーザーの調整が必要である。同時撮影は、単一撮影に比べて情報量 (pixels 数) が制限されるため、造影所見の詳細な解釈には、高解像度の画像や高速撮影による動画撮影が要求される。新たに改良機種の HRA 2 が開発されているが、現状ではコンピュータの処理力に依存するため高画質 (pixels の増加) に改良された反面、撮影画像数 (画像/秒間) は、HRA に比較して制限される。

FA では流入欠損、流入遅延、蛍光遮断の低蛍光所見と蛍光貯留、蛍光漏出、組織染 (色)、蛍光透見の過蛍光所見さらに、新生血管、血管瘤、側副血管、毛細血管拡張症、脈絡膜血管腫などの異常血管所見が観察できる。これらをカラー眼底写真と対比させて病態を検討する。一方、IA では、組織透過性に優れた波長特性により脈絡膜血管の循環動態や occult 型の脈絡膜新生血管の把握が可能である。今日では、脈絡膜疾患の眼底所見を解釈するうえで FA と IA を対比させて検討することは重要である。しかし、FA と IA は励起および蛍光の波長や血中動態さらにバリアー機能を生じる組織も違っている。しかも、ICG は、蛍光輝度が低く、血漿蛋白と結合を完了するのに数分間を要し、最大吸収波長および蛍光波長の長波長側への遷移が ICG 画像の画質の低下に影響する。従来型の改良型眼底カメラの光学系では ICG の物理化学的特性のため IA は FA に比較して画像が不鮮明であった。

デジタル画像では、Brightness/Contrast (明るさ/明暗比)、Shrapen (輪郭強調)、Computing Mean Images (画像の加算平均化処理)、Computing Mosaic Image (広角パノラマ画像作成) 等の様々なプログラムが使用できる。画像処理により、自動パノラマ合成や S/N (信号/雑音) 比を改善して、品質を高めた画像が、リアルタイムで得られ迅速な診断や治療が可能である。ICG は静注後約 20 分で血中から消退するため、連続画像を加算平均化処理して S/N 比を改善する Computing Mean Images は、IA の造影後期像に有用である。加算平均化処理用の連続撮影時における視線の動揺は、画像処理が困難な原因となるため、被検者によって処理枚数を制限するなど工夫が必要である。Computing Mosaic Images (広角パノラマ画像作成) 用の画像取得には、画像の一部をオーバーラップさせることで画像のぬけに注意しながら撮影することで 80° ~100° の広範囲の情報が得られる。FA と IA の単一撮影の画像を対比させて検討しようとする場合、F-Na と ICG の静注量、静注速度や造影時間をまったく同じに揃えることは困難である。同時撮影では同一時期における網膜循環や脈絡膜循環の比較や病巣の位置の同定を正確に行うことができるため多くの情報が期待できる。

参考文献

- 1) Harnett ME, Weiter JJ, Staurenghi G et al : Deep retinal vascular anomalous complexes in advanced age-related macular degeneration. *Ophthalmology* 130 : 2042-2053, 1996.
- 2) 加齢黄斑変性の診断：月刊診療プラクテス 48 丸尾敏夫, 本田孔士, 臼井正彦、田野保雄編, 文光堂、1999、東京・
- 3) Flower RW ,Injection technique for indocyanine green and sodium fluorescein dye angiography of the eye, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 12, 881-895,1973.
- 4) 林 一彦:赤外眼底撮影法、眼科, 27, 1541-1550, 1985.
- 5) 白木邦彦:インドシアニングリーン赤外蛍光眼底造影の解析, 臨眼 48, 1077-1088, 1994.
- 6) 湯沢美都子編:インドシアニングリーン蛍光眼底アトラスーフルオレセイン蛍光眼底との比較ー, 南山堂, 東京, 1999.
- 7) Webb RH, Hughes GW, Delori FC: Confocal scanning laser ophthalmoscope *Applied Optics* 26:1492-1499,1987.
- 8) Scheider A , Schroedal C :High resolution indocyanine green angiography with scanning laser ophthalmoscope, *Am J Ophthalmol* ,108, 458-459,1989.
- 9) 梯 彰弘, 石子智士:SLOと黄斑疾患, 眼科 Vol.39, No.2, 141-149, 1997.
- 10) 福井勝彦, 五十嵐弘昌, 石子智士, 北谷智彦, 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7報(脈絡膜疾患の断層検索と形態的観察), 日本医学真学会雑誌, Vol.40, No.3, 65-73, 2002.
- 11) 福井勝彦, 花田一臣, 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)を用いた加齢黄斑変性症における形態検索と新生血管の活動性の検索, 日本医学真学会雑誌, Vol.42, No.2, 30-40, 2004.
- 12) 白木邦彦, 森脇美康, 加茂雅明, 三木徳彦, 上野珠代:ハイデルベルグレチナングラムを用いたインドシアニングリーン蛍光眼底造影における共焦点画像の利点, 臨眼 51, 565-568, 1997.
- 13) 石子智士, 吉田晃敏, 北谷智彦, 長岡泰司, 高宮 央:ハイデルベルグレチナングラムによる2種類蛍光造影同時撮影, 眼科臨床医報 92, 1602-1604, 1998.
- 14) 福井勝彦, 花田一臣, 五十嵐弘昌, 磯部裕成, 吉田晃敏:脈絡膜疾患に対するフルオレセイン蛍光眼底造影とインドシアニングリーン蛍光眼底造影の同時撮影の有用性, 日本医学真学会雑誌, Vol.43, No.2, 23-33, 2005.
- 15) ICG 蛍光造影の実際ー基礎と臨床、三木徳彦, 林 一彦, 白木邦彦編, 金原出版、東京、1995.
- 16) 新家 真, 松元 俊, 静注後フルオレセイン の血漿内動態の解析及び血液房水透過性の算出, 日眼, 87, 403-409, 1983.
- 17) 吉田晃敏, 小島満, *Vitreous fluorophotometry* 値の血漿内タンパク非結合フルオレセイン濃度動態を用いた補正法, 臨床眼科, 38 (12), 1287-1291, 1984.
- 18) Bischoff PM, Flower RW: Ten years experience with choroidal angiography using indocyanine green dye.a new routine examination or an epilogue? *Doc Ophthalmol* 60:235-291,1985.

- 19) 臨床検査技術新書, 生化学・臨床化学(上):リポタンパク, 金芳堂, 1974. 東京。
- 20) Yoneya S, Noyori K : Improved visualization of the choroidal circulation with indocyanine green angiography, Arch Ophthalmol 111, 1165-1166,1993.
- 21) Yoneya S , Iijima M et al : Improved indocyanine green angiography and early dye-filling pattern of the choroids. Invest Ophthalmol Vis Sci 35, 1420,1994.
- 22) Yoneya S, Flower RS : Does preinjection binding of indocyanine green to serum actually improve angiograms ? (in reply). Arch Ophthalmol 112:31138-1139,1994.
- 23) 松本長太, 尾辻 理, 奥山幸子, 丸山耕一, 岩垣厚志, 大月卓也, 大鳥利文:scanning leaser ophthalmoscope の加算平均化处理画像を用いた網膜神経線維層欠損の観察, 臨眼 49, 643-646, 1995.
- 24) 丸山耕一, 松本長太, 大月卓也, 中尾雄三, 大鳥利文:SLOによるICG蛍光眼底造影の静止画像における加算平均化处理の有用性、眼紀 46, 735-739, 1995.
- 25) Yannuzzi LA, Negrao S, Iida T et al : Retinal angiomatous proliferation in age-related macular degeneration. Retina 21 : 416-434, 2001.
- 26) Purtscher O: Angiopathia retinae traumatica Lymphorrhagen des Augengrundes, Albrecht von Graefes Arch Klin Ophthalmol 82:347-371,1912.

<図の説明>

図 1. 走査レーザー方式の装置の原理

レーザーを、眼底の一点に照射し高速で X-Y 方向へ走査し一つの画面として捉えている。網膜への照射光量が少ない。

図 2. 網膜毛細血管と脈絡膜毛細血管

網膜毛細血管には閉鎖柵があり、脈絡膜毛細血管は窓構造である。

図 3. ICG の特性と血中動態

吸収波長と蛍光波長が近く光学濃度 (OD 値) が低い。静注約30秒前後で急激に上昇し、約60秒で最大となり、その後は指数関数的に下降する。

図 4. ICG の脈絡膜内動態

造影初期(上段)では、ICG(緑)が脈絡膜血管内を循環する。造影早期から中期(中段)に、約2%のフリーのICGが脈絡膜血管から脈絡膜内に漏出(↑)する。造影晚期(下段)に、フリーのICGが脈絡膜内に拡散(波線↑)し脈絡膜組織染を呈する。図 5. 共焦点方式と共焦点開口部(共焦点絞り)

焦点の合わせた部位以外の反射や、散乱光を共焦点絞り(400 μ m)で制限するためコントラストの高い画像として記録できる。

図 6. 網膜色素上皮剥離の症例

漿液性の網膜剥離が観察できる。

図 7. 造影早期の同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

画像の解像度が低く詳細な観察は困難だった。

図 8. 画像処理した造影早期の同時撮影 (左 : FA、右 : A)

call back buffer で撮影開始2秒前からのライブ画像を取得し、画像処理(明るさ/明暗比、輪郭強調)して栄養血管が観察できた。

図 9. 画像処理した造影後期の同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

造影後期の FA で、微細裂孔 (microrip) からの漏出が拡大し、IA では、脈絡膜層に ICG の貯留が観察できた。

図 10. 網膜内血管腫状増殖の症例

硬性白斑を伴った網膜浮腫と網膜血管吻合 (矢印) がみられる。

図 11. 網膜内血管腫状増殖の OCT 画像

網膜内浮腫と中心窩に網膜剥離 (矢印) がみられた。丸印は、網膜血管吻合部を示す。

図 12. Computing Mean Images の画像処理した造影後期の同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

15 画像を平均加算化処理後、FA で、蛍光漏出による網膜内組織染がみられ、IA では、hot spot (矢印) から ICG が漏出が確認できた。

図 13. 網膜内血管腫様増殖の症例

線維性増殖と網膜下出血を伴った、網膜内血管腫様増殖を示す。

図 14. 網膜内血管腫様増殖の OCT 画像

網膜由来の新生血管が、網膜下腔と網膜色素上皮の下への進入 (矢印) を、示唆する所見がみられた。

図 15. 画像処理した造影早期の同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

FA で、網膜血管吻合、IA では、網膜・脈絡膜血管吻合が観察できた。

図 16. 画像処理した造影後期の同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

8 画像平均加算化処理後 FA で嚢胞様黄斑浮腫 (CME)、IA では、数個の hot spot (矢印) が観察できた。

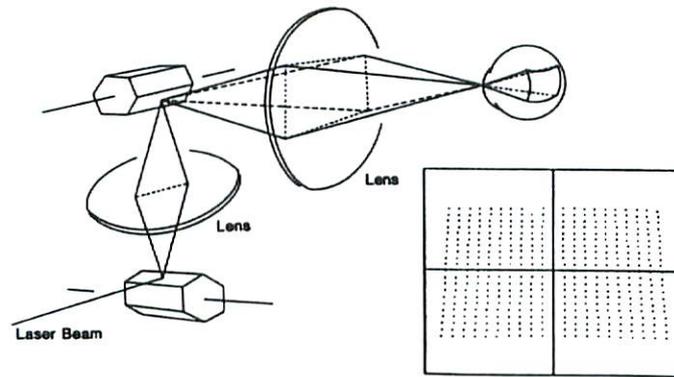
図 17. プルッチェル網膜症の症例

乳頭周囲に多数の軟性白斑と黄斑円孔を伴う網膜剥離が見られた。

図 18. Computing Mosaic Images の画像処理した同時撮影 (左 : FA、右 : IA)

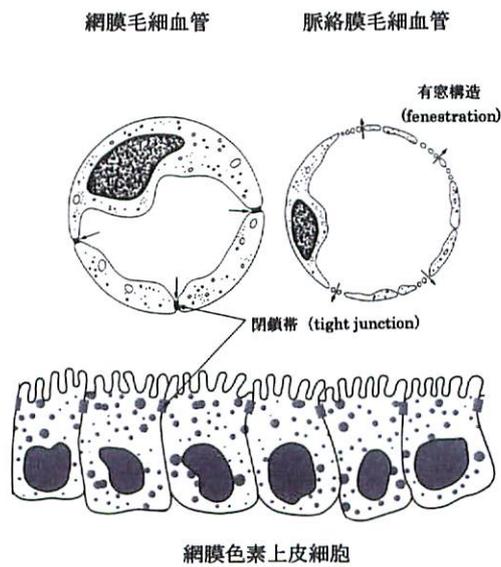
FA で、乳頭周囲の毛細血管閉塞領域から透過性亢進による蛍光漏出と IA では、脈絡膜循環障害を示唆する低蛍光領域がみられた。

図1. 走査型レーザー方式の原理



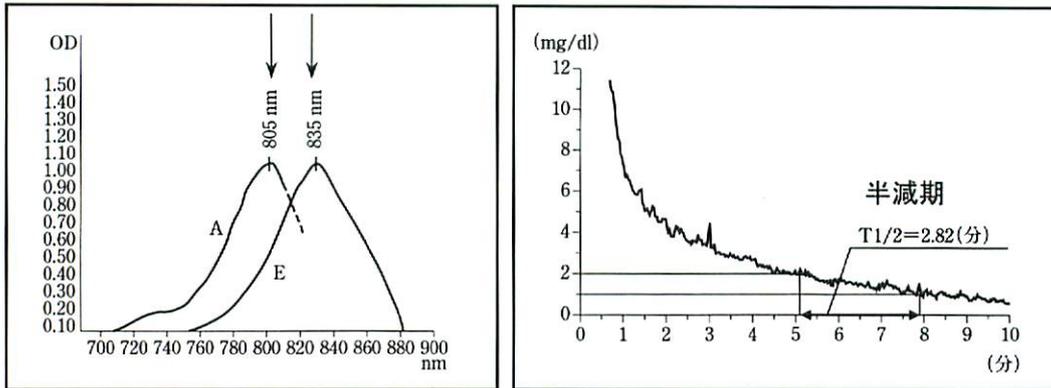
レーザーを、眼底の一点に照射し高速でX-Y方向へ走査し一つの画面として捉えている。網膜への照射光量が少ない。

図2. 網膜毛細血管と脈絡膜毛細血管



網膜毛細血管には閉鎖帯があり、脈絡膜毛細血管は窓構造である。
 (Hayreh, SS :Albrecht v Graefes Klin Exp Ophthalmol 192,1974, より改変引用)

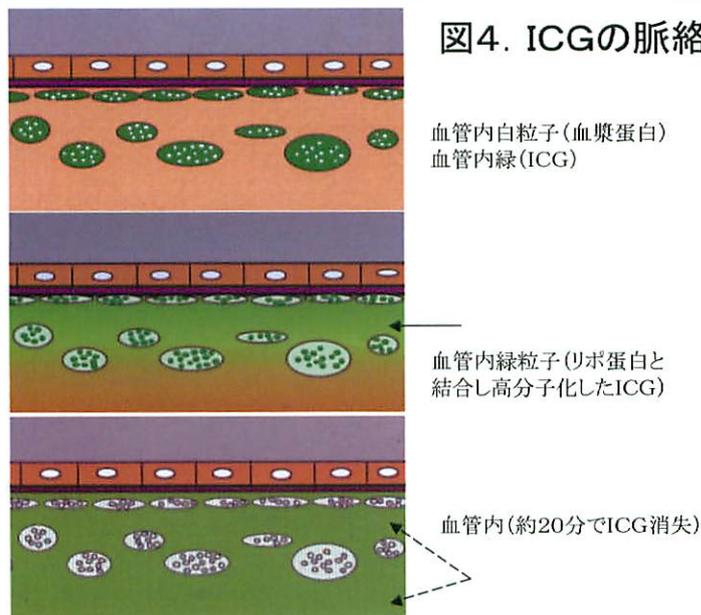
図3. ICGの特性と血中動態



吸収波長と蛍光波長が近く(矢印)光学濃度(OD値)が低い。静注約30秒前後で急激に上昇し、約60秒で最大となり、その後は指数関数的に下降する。

(尾花明:ICG色素の特性と安全性、ICGインドシア蛍光造影の実際—基礎と臨床、1995。金原出版より引用)

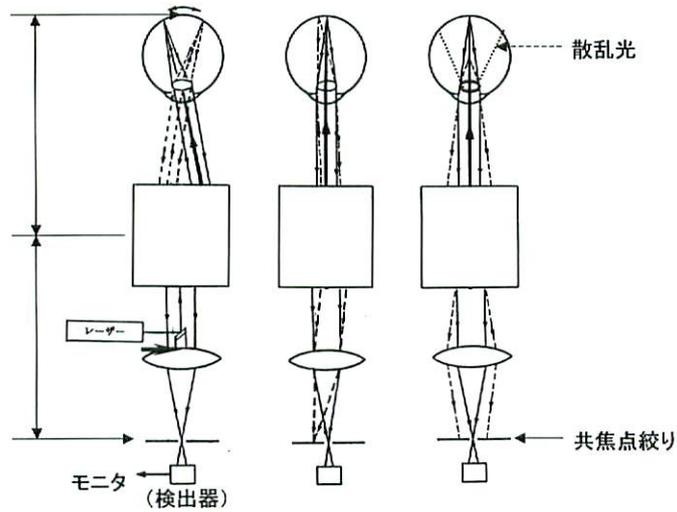
図4. ICGの脈絡膜内動態



造影初期(上段)では、ICG(緑)が脈絡膜血管内を循環する。造影早期から中期(中段)に、約2%のフリーのICGが脈絡膜血管から脈絡膜内に漏出(↑)する。造影晚期(下段)に、フリーのICGが脈絡膜内に拡散(波線↑)し脈絡膜組織染を呈する。(宇山昌延、西村哲哉、高橋寛二編:黄斑疾患テキスト&アトラス、医学書院、2000。より改変引用)

図5. 共焦点方式と共焦点開口部

(合焦点の反射)(焦点以外の反射)(散乱光)



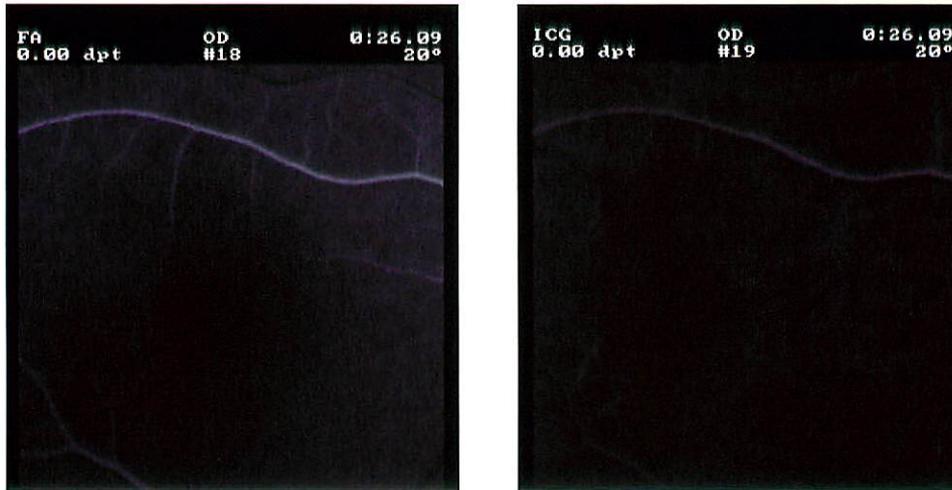
焦点の合わせた部位以外の反射や、散乱光を共焦点絞り(400 μm)で制限するためコントラストの高い画像として記録できる。

図6. 網膜色素上皮剥離の症例



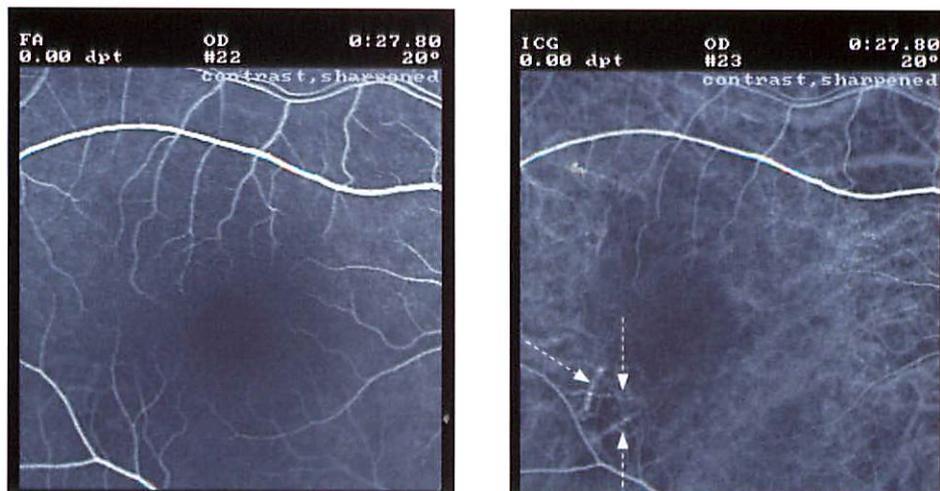
漿液性網膜色素上皮剥離が観察できる。

図7. 造影早期の同時撮影(左:FA、右:IA)



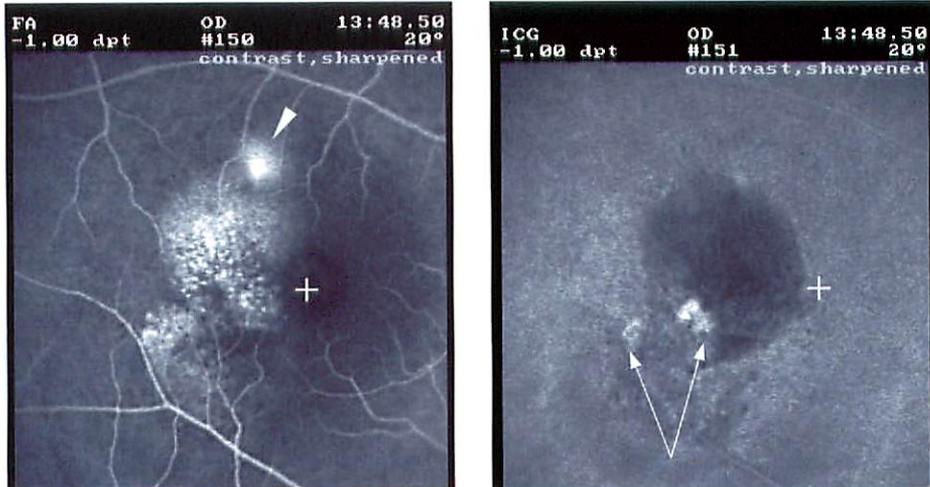
画像の解像度が低く詳細な観察は困難である。

図8. 画像処理した造影早期の同時撮影(左:FA、右:IA)



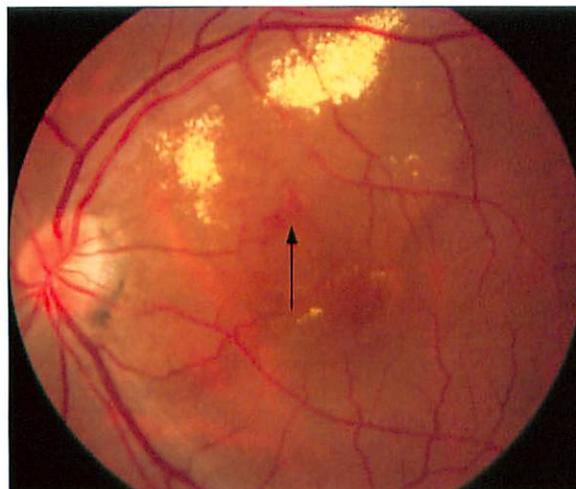
call back bufferシステムで撮影開始2秒前からのライブ画像を取得し、画像処理(明るさ/明暗比、輪郭強調)して栄養血管が観察できた。

図9. 画像処理した造影後期の同時撮影(左:FA、右:IA)



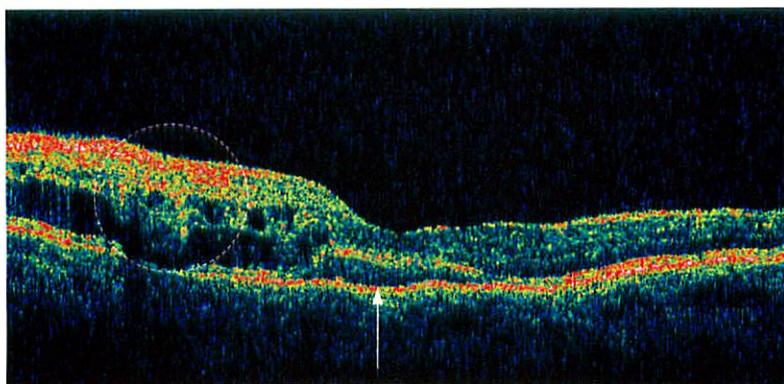
造影後期のFAで、微細裂孔 (microrip : 矢頭) からのF-Naの漏出が拡大し、IAでは、脈絡膜層にICGの貯留 (矢印) が観察できた。(+: 中心窩)

図10. 網膜内血管腫状増殖の症例



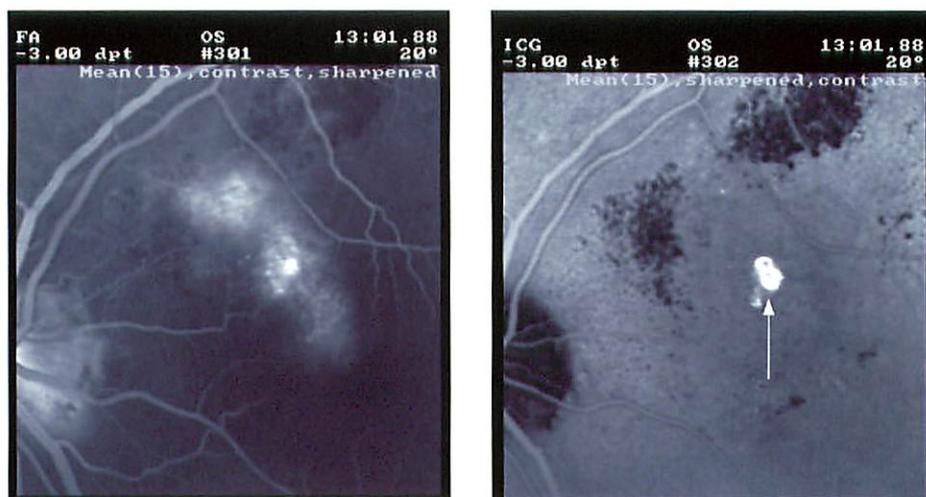
硬性白斑を伴った網膜浮腫と網膜血管吻合(矢印)がみられる。

図11. 網膜内血管腫状増殖のOCT画像



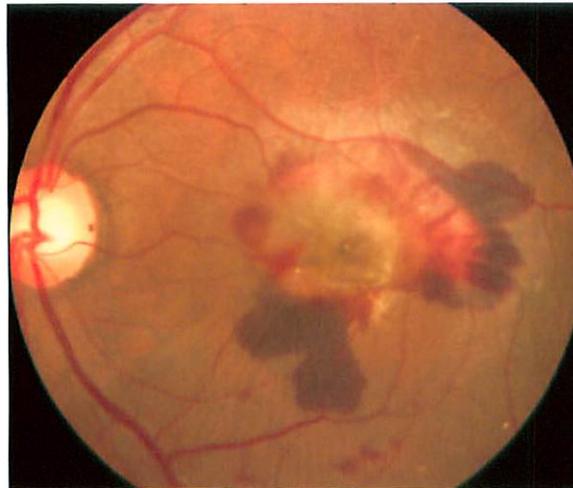
網膜内浮腫と中心窩に網膜剥離(矢印)がみられた。丸印は、網膜血管吻合部を示す。

図12. Computing Mean Imagesソフトウェアで画像処理した造影後期の同時撮影(左:FA、右:IA)



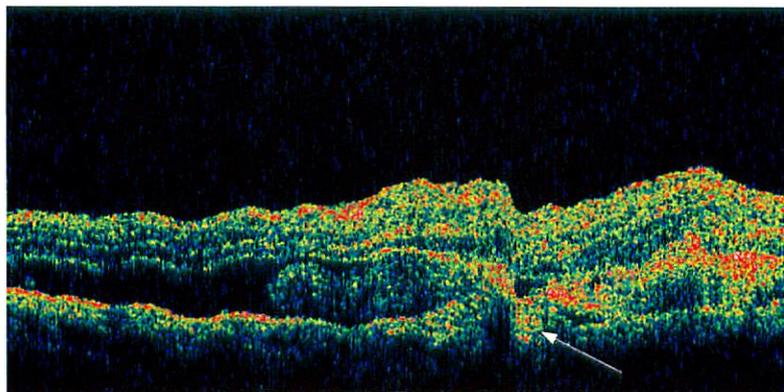
15画像を平均加算化処理後、FAで、蛍光漏出による網膜内組織染がみられ、IAでは、hot spot (矢印) からICGの漏出が確認できた。

図13. 網膜内血管腫様増殖の症例



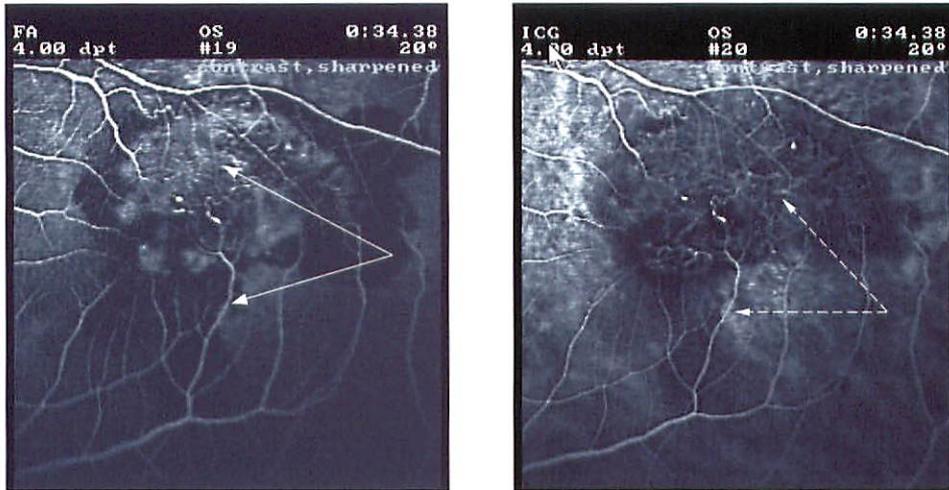
線維性増殖と網膜下出血を伴った、網膜内血管腫様増殖を示す。

図14. 網膜内血管腫様増殖のOCT画像



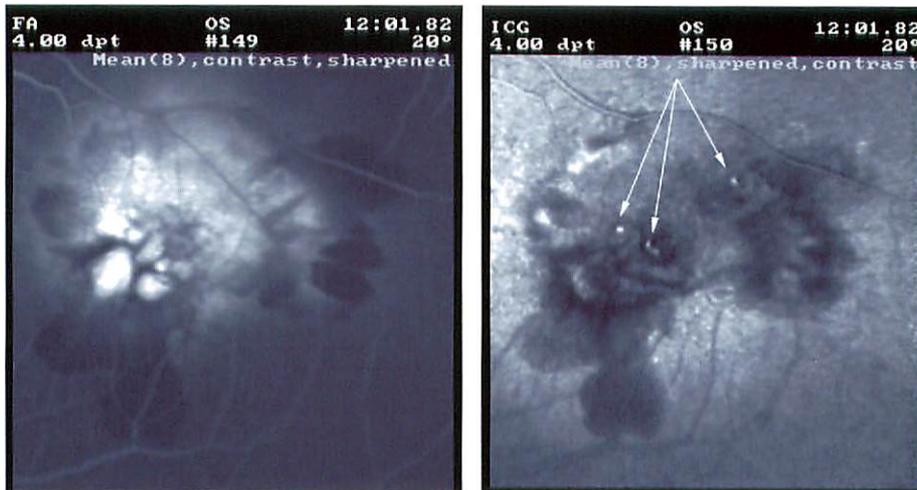
網膜由来の新生血管が、網膜下腔と網膜色素上皮の下への進入(矢印)を示唆する所見がみられた。

図15. 画像処理した造影早期の同時撮影(左:FA、右:IA)



FAで、網膜血管吻合(矢印)、IAでは、網膜・脈絡膜血管吻合(波線矢印)が観察できた。

図16. 画像処理した造影後期の同時撮影(左:FA、右:IA)



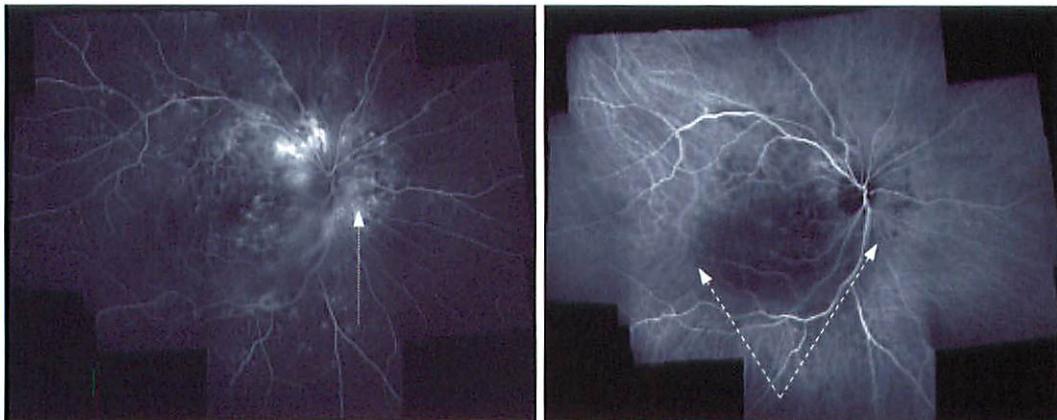
8画像を平均加算化処理後FAで嚢胞様黄斑浮腫(CME)、IAでは、数個のhot spot(矢印)が観察できた。

図17. プルッチェル網膜症の症例



乳頭周囲に多数の軟性白斑と黄斑円孔を伴う網膜剥離(矢印)が見られた。

図18. Computing Mosaic Imagesの画像処理した同時撮影(左: FA、右: IA)



FAで、乳頭周囲の毛細血管閉塞領域から透過性亢進による蛍光漏出とIAでは、脈絡膜循環障害を示唆する低蛍光領域がみられた。