

超高感度撮像管を用いた硝子体手術術中蛍光眼底造影

今井 和行¹⁾, 安藤 伸朗¹⁾, 市辺 幹雄¹⁾, 岩田 和雄¹⁾, 高須 正行²⁾

¹⁾新潟大学医学部眼科学教室, ²⁾株式会社トプコン

要 約

硝子体手術を必要とする網膜硝子体疾患の中で、硝子体出血や硝子体混濁により術前に蛍光眼底造影ができない症例を、時に我々は経験することがある。そこで、これら症例に対して、経毛様体扁平部硝子体手術術中に、10%フルオレセインナトリウム(フルオレサイト®) 5 mlを静注し、蛍光眼底造影を施行した。眼科用手術装置の光源に励起フィルターを、手術用顕微鏡の下面に濾過フィルターを装着し、側視鏡に超高感度撮像管の silicon intensifier target tube (SIT 管) を使用したビデオカメラを接続して、SVHS ビデオテープレコーダーに記録した。SIT 管の使用により、通常の光源で十分観察に耐

える画像が得られ、同時に網膜光毒性を抑制することができた。また、糖尿病網膜症例において、術中に新生血管、増殖組織、無血管帯、毛細血管瘤などの蛍光像が明瞭に観察できた。さらに、圧迫で強膜を内陥することにより、毛様体隆起部の蛍光像が撮影できた。このように、糖尿病網膜症などにおいて、硝子体手術術中の蛍光眼底造影は、手術に必要な情報をもたらすと考えられた。(日眼会誌: 98: 792-796, 1994)

キーワード: 硝子体手術術中蛍光眼底造影, 超高感度撮像管, 網膜光毒性, 糖尿病網膜症

Intraoperative Fluorescein Angiography with an Ultrasensitive Imaging Tube

Kazuyuki Imai¹⁾, Noburo Ando¹⁾, Mikio Ichibe¹⁾,
Kazuo Iwata¹⁾ and Masayuki Takasu²⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Niigata University School of Medicine

²⁾Topcon Corporation

Abstract

Fluorescein angiographic examination may be prevented by vitreous hemorrhage or opacities in vitreoretinal diseases before vitrectomy. We performed intraoperative fluorescein angiography for such cases, using a conventional light source and an ultrasensitive video camera equipped with a silicone intensifier target tube to avoid retinal phototoxicity. Intraoperative fluorescein angiograms allowed evaluation of neovascular vessels, proliferative tissues, and avascular areas associated with diabetic

retinopathy. Indentation of the pars plicata enabled us to also record fluorescein images of the area. This device may aid intraoperative assessment of vitreoretinal diseases including diabetic retinopathy. (J Jpn Ophthalmol Soc 98: 792-796, 1994)

Key words: Intraoperative fluorescein angiography, Silicon intensifier target tube, Phototoxicity, Diabetic retinopathy

I 緒 言

蛍光眼底造影所見は、網膜硝子体疾患の主要な原因である血管閉塞や血管新生などの血管病変を捕らえることができ、光凝固や硝子体手術などの指針となるので、現在最も重要な眼科検査法の一つである。特に網膜硝子体疾患の中で、硝子体出血や硝子体混濁により術前に蛍光

眼底造影ができない症例の場合には、硝子体手術術中に蛍光眼底造影を施行し、病状を評価した上で、治療を加えることは有意義だと思われる。硝子体手術術中蛍光眼底造影(以下、術中蛍光眼底造影)については、既に幾つか報告されているが^{1)~4)}。現在のところ一般に行われている検査法ではない。今回我々は、術中蛍光眼底造影に超高感度撮像管の silicon intensifier target tube (SIT

別刷請求先: 951 新潟県新潟市旭町通1-757 新潟大学医学部眼科学教室 今井 和行
(平成5年11月9日受付, 平成6年4月8日改訂受理)

Reprint requests to: Kazuyuki Imai, M.D. Department of Ophthalmology, Niigata University School of Medicine,
1-752 Asahimachi-dori, Niigata-shi, Niigata-ken 951, Japan.

(Received November 9, 1993 and accepted in revised form April 8, 1994)

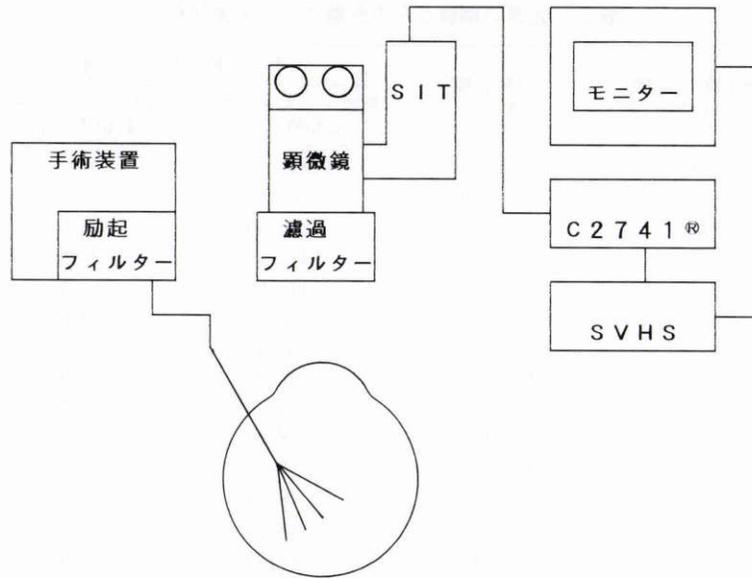


図1 硝子体手術中蛍光眼底造影.

SIT: ビジコンカメラ C 2741 カメラヘッド (超高感度撮像管), C 2741[®]: ビジコンカメラ C 2741 コントロールユニット, SVHS: ビデオテープレコーダー

管)を利用することにより、通常の眼科用手術装置の光源で十分な画像を得ることができ、さらに、網膜光毒性の可能性を最小限に押さえることができたので報告する。

II 方法と症例

眼科用手術装置 10000 オキュトーム[®](アルコン社)の光源起始部に励起フィルターを、手術用顕微鏡 OMS-600[®](トプコン社)の対物レンズ下面に濾過フィルターを装着した。また、顕微鏡の側視鏡部に超高感度撮像管の SIT 管を使用したビデオカメラ C 2741[®](浜松ホトニクス社)を接続し、SVHS ビデオテープレコーダーで記録した(図1)。励起フィルター、濾過フィルターはトプコ

ン社眼底カメラの干渉フィルターを利用した。各々の透過波長を図2に示した。また、SIT 管の分光感度特性を図3に示した。

以上の装置により、まず眼内照明の光量をカロリメーターラボマスターE[®](コヒレント社)で測定した。次に、増殖型糖尿病網膜症の2症例に対し、経毛様体扁平部硝子体手術を行い硝子体を単純切除した後、10%フルオレセインナトリウム(フルオレサイト[®])5mlを静注し、術中蛍光眼底造影を施行した。症例1は、術前、硝子体出血により眼底が透見不能だったために術中蛍光眼底

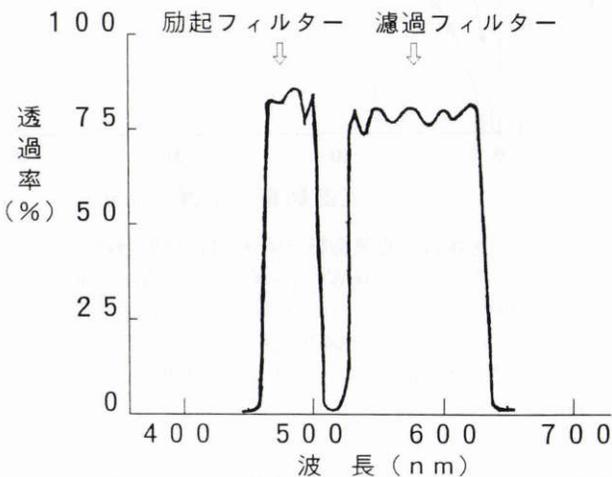


図2 蛍光眼底造影時の励起フィルターおよび濾過フィルターの波長特性。各フィルターはトプコン社眼底カメラのフィルターを利用し、透過率は約80%である。

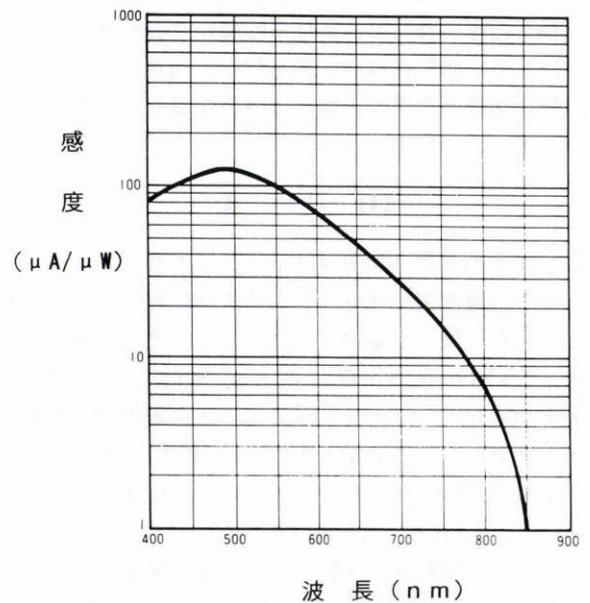


図3 SIT 管の波長による感度曲線 (浜松ホトニクス社資料)。SIT 管は、蛍光波長の500~600 nm 前後で超高感度を示す。

表1 光源の網膜からの距離による光量変化

光源網膜間距離 A cm	照射面積 B cm ²	単位面積当たりの光量	
		歴起フィルターなし C mW/cm ²	励起フィルターあり D mW/cm ²
0.1	0.00781	2,816.88	384.12
0.2	0.03124	704.22	96.03
0.3	0.07029	312.40	42.69
0.4	0.12495	176.00	24.00
0.5	0.19524	112.64	15.36
0.6	0.28114	78.32	10.68
0.7	0.38266	57.42	7.83
0.8	0.49981	44.00	6.00
0.9	0.63257	34.76	4.74
1.0	0.78095	28.16	3.84
1.1	0.94495	23.32	3.18
1.2	1.12457	19.58	2.67
1.3	1.31980	16.72	2.28
1.4	1.53066	14.30	1.95
1.5	1.75713	12.54	1.71
1.6	1.99923	11.00	1.50
1.7	2.25695	9.68	1.32
1.8	2.53027	8.80	1.20
1.9	2.81922	7.70	1.05
2.0	3.12379	7.04	0.96

ファイバーからの照射角 53°
 ファイバー端面での光量 励起フィルターなし 22 mW
 励起フィルターあり 3 mW
 光量測定装置 カロリーメーターラボマスターE®
 $B = (\tan(53/2) \times A)^2 \times \pi$ $C = 22/B$ $D = 3/B$

造影を施行した。症例2は、初回硝子体手術後に硝子体出血を生じ、その除去の目的で再手術を施行した例で、偽水晶体眼であった。出血源を検索するために術中蛍光眼底造影を施行した。

なお、対象の患者に対し、術前に外来で通常の方法で蛍光眼底造影を施行し、副作用のないことを確認した。また、患者に研究内容の説明を行い、同意を得た。さらに、局所麻酔下の手術の場合は静脈を確保し、吸引、酸素、挿管などの準備を行った。

III 結 果

眼科用手術装置 10000 オキュートム®の光ファイバー先端面での通常使用状態、および蛍光励起フィルターを通した場合の最大光量は、カロリーメーターで測定した結果、各々22 mW, 3 mWであった。また、光ファイバーの照射角は53°であった。以上から、光源網膜間距離による単位面積当たりの光量を算出した(表1)。これらの光量に対して、網膜光障害の安全閾値を2.92 J/cm²とした場合⁵⁾の本法の照明可能時間を図4に示した。

次に、増殖型糖尿病網膜症の2症例に術中蛍光眼底造影を施行した。症例1は、硝子体手術による出血除去後、蛍光眼底造影を施行し、硝子体出血および網膜前出血に覆われていた新生血管、増殖組織、無血管帯、毛細血管瘤などを確認することができた(図5)。症例2は、毛様

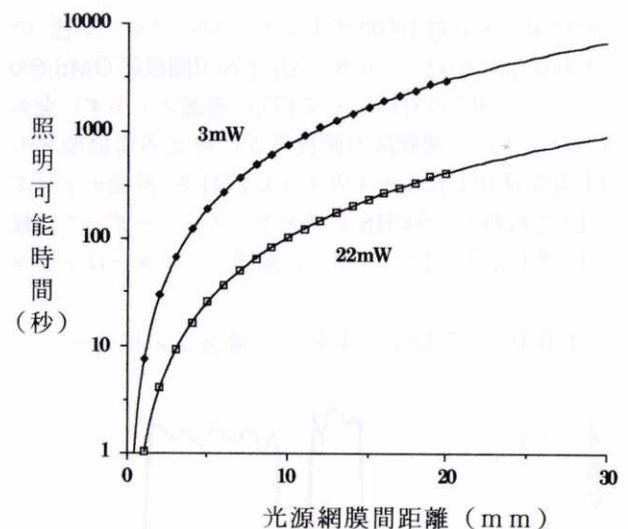


図4 術中蛍光眼底造影の照明可能時間(秒)。

通常光の最大光量22 mW、術中蛍光眼底造影時の最大光量3 mWの各々を用いた場合に、同一網膜面に対して可能な照明時間、光源網膜間距離に応じて変動する。単位面積当たりの網膜光障害の安全閾値を2.92 J/cm²として算出した。

体部の出血源を検索するために圧迫子で強膜を内陥して、蛍光眼底造影を施行したところ、毛様体突起先端が過蛍光となっている所見を得た(図6)。しかし、出血源と思われる蛍光漏出は毛様体部に認めなかった。両症例

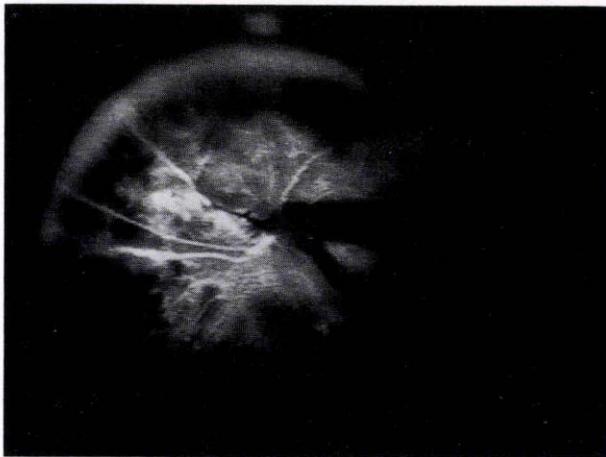


図 5 症例 1 : 増殖型糖尿病網膜症の術中蛍光眼底造影。

ストレートニードルにより網膜面上の出血を吸引したところ、蛍光漏出する過蛍光の新生血管および増殖膜が乳頭鼻側に認められる。



図 6 症例 2 : 増殖型糖尿病網膜症の術中蛍光眼底造影。

強膜内陥により得られた毛様体突起先端の過蛍光像。

において、顕微鏡直視下での観察、およびモニター上の画像ともに、明瞭な蛍光眼底造影所見を得ることができた。

また、術中の蛍光眼底造影施行時に合併症は生じなかった。

IV 考 按

蛍光眼底造影は Novotny ら⁹⁾により報告されて以来、網膜硝子体疾患に欠かせない検査法である。特に硝子体出血を発症して硝子体手術の対象となる糖尿病網膜症、網膜静脈分枝閉塞症、加齢性黄斑変性などにおいては、血管閉塞、血管新生などを確認するために重要な検査である。ところが、これらの疾患では、時に硝子体出血や混濁のため、術前に蛍光眼底造影ができない症例をしばしば経験する。現在のところ、術中ジアテルミー凝固や光凝固などの治療は、硝子体手術中の手術顕微鏡下所

見によって施行している。しかし、顕微鏡下所見だけでは無血管帯や新生血管の把握が不十分となる可能性がある。また、術後は硝子体腔への再出血のため、蛍光眼底造影が施行できない場合がある。したがって、術中に出血原因を明らかにして、治療を加えることは有意義であると思われる。

術中蛍光眼底造影の方法について、1977年に Charles¹⁾の記載があるが、一般に施行されていない。これは、第一に従来の方法では明瞭な画像が得られなかったため、第二にその意義が十分に検討されていなかったためと思われる。明瞭な術中蛍光眼底造影の画像を得るためには、造影剤の変更以外では、光源を明るくする、フィルターの透過率や透過波長を改良する、ビデオカメラの感度を向上させることが考えられる。近年、吉田ら²⁾³⁾はキセノン眼内照明装置を用いて光量を増強した術中蛍光眼底造影法を報告している。また、Avery ら⁴⁾は、フィルターを改良し、ヒストプラスモース疑いの症例に対する術中蛍光眼底造影を提示している。しかし、光量を増強した場合、網膜の光毒性が問題となるため、網膜障害に対する十分な検討が必要と思われる。また、現在眼底カメラに用いられているフィルターの透過率は約 80% で透過波長も適当であり(図 2)、改良の余地は少ない。

今回我々は、通常の硝子体手術装置の光源を改変せず使用し、また、フィルターは眼底カメラに装着されている蛍光眼底造影用干渉フィルターを利用したが、術中蛍光眼底造影の顕微鏡直視下での観察は予想以上に明瞭で、術中操作も可能であった。さらに、我々は明瞭な画像を得るため、SIT 管を使用した高性能ビデオカメラによる感度を向上させ、術中蛍光眼底造影を施行したところ、高解像度のモニター上の画像も得ることができた。この撮像システムの利点は、モニター上の画像が顕微鏡直視下の観察より明瞭な時は、蛍光所見をモニターで確認しつつ術中操作に利用できること、また、術中操作によって生ずる蛍光所見の変化を連続して捕らえられること、さらに、術中術後に蛍光所見を再確認できることである。

次に術中蛍光眼底造影の意義であるが、Charles¹⁾は硝子体手術中に漏出血管をジアテルミー凝固や光凝固できるとしている。吉田ら²⁾³⁾は眼内圧を変化させて観察したり、十分な光凝固効果を得るために有用であろうとしている。また、Avery ら⁴⁾は、網膜下出血を除去した後の網膜下手術に利用できると考えている。我々は、術中蛍光眼底造影を行うと以下の点で有意義と考える。第一に、硝子体手術と蛍光眼底造影を時間的に同時に施行することによる効果が考えられる。例えば、糖尿病網膜症による硝子体出血例で、術前に蛍光眼底造影ができない場合、術中に硝子体出血を除去して蛍光眼底造影を行い、網膜上の新生血管の部位、無血管帯の範囲を明らかにし、

それと同時に病巣に適切なジアテルミー凝固，光凝固が施行できる。症例1は，糖尿病網膜症例で，術前出血に覆われていた新生血管を術中に明らかにすることができた。新生血管は注意深い直視下での観察によっても確認できるが，術中蛍光眼底造影の方が活動性も含めてはるかに明瞭に識別できると思われる。このように，術前術後に蛍光眼底造影ができない場合や，術中に蛍光眼底造影で治療対象を確認した上での，十分な治療が必要な場合に有用である。第二に，手術操作を組み合わせることにより，新たな蛍光眼底造影所見が得られると考える。例えば，通常の方法では難しい毛様体の造影を強膜内陥によって容易に施行できる。その他にも灌流ボトルの高さを変えて眼圧を変動させたり，ジアテルミー凝固，光凝固などを加えることにより生ずる蛍光所見の変化が撮影できると考えられる。症例2は，人工水晶体が挿入されている増殖型糖尿病網膜症例であるが，強膜圧迫により毛様体突起先端部の過蛍光像を認めた。術中には眼内ほぼ全域に対する蛍光撮影が可能なので，毛様体部の新生血管の存在や血液眼関門の障害が確認できると考える。このように，術中蛍光眼底造影は，診断の対象を広げる可能性がある。さらに，蛍光色素注入後の光凝固による蛍光光化学血栓⁷⁾⁹⁾を新生血管の閉塞に積極的に利用することも考えられるが，今回は検討していない。

一方，術中蛍光眼底造影の問題点として，第一に網膜光毒性がある。当科で測定したところ，眼科用手術装置10000 オキュトーム[®]の最大光量は22 mWで，蛍光励起フィルターを通した場合，光量はわずか3 mWだった。網膜光障害の安全閾値が2.92 J/cm²であるとの報告⁵⁾に基づき本法の照明可能時間を図4に示したが，例えば網膜面から光源を10 mm 離して術中蛍光眼底造影を施行した場合，同一面の網膜に対して約616秒の照明が可能である。蛍光眼底造影に用いる青色光は，網膜にとってより有害だが⁹⁾，我々の方法では光量自体が極めて少ないため，網膜光毒性は少ないものとする。第二の問題点は光凝固を併用した場合，微弱な照射条件でも蛍光光化学血栓による網膜および脈絡膜血管閉塞が合併症として生ずる可能性があり⁸⁾，網膜血管を直接光凝固しないなどの配慮が必要と考える。さらに，第三の問題点は造影剤によるもので，嘔吐による術野の汚染や窒息，ある

いはショックなどの副作用が予想される。我々は，対象の患者に対し，術前に皮内テスト，さらに症例により静注テストを施行し陰性であることを確認した後，外来で通常の方法で蛍光眼底造影を施行し，嘔気，嘔吐，蕁麻疹，ショックなどの副作用のない症例を選んだ。また，局所麻酔下の手術では静脈を確保し，吸引，酸素，挿管の準備を行った。我々は，局所麻酔下，全身麻酔下各々において造影を施行したが，全身麻酔下の方が安全で良いと思われる。

今回の我々の術中蛍光眼底造影法は光毒性が少なく，また，顕微鏡直視下，画像上ともに良好な蛍光所見が得られた。現在我々は，症例を増やし術中蛍光眼底造影法の臨床応用の有用性について，さらに検討中である。

文 献

- 1) **Charles S:** Indications, techniques, and results. In: McPherson A (Ed): New and controversial aspects of Vitreoretinal Surgery. CV Mosby, St. Louis, 197—198, 1977.
- 2) 吉田正和, 中村友昭, 大田啓雄, 加賀達志, 市川一夫: 市川式眼内照明装置による硝子体手術中蛍光眼底造影. Ther Res 12: 207, 1991.
- 3) 吉田正和, 中村友昭, 大田啓雄, 加賀達志, 市川一夫, 小嶋和伸, 他: 眼内照明装置による硝子体手術中蛍光眼底造影(その2). Ther Res 13: 97—99, 1992.
- 4) **Avery R, Jaffe D, de Juan EJ:** Intraoperative fluorescein angiography in subretinal surgery. Arch Ophthalmol 110: 1518—1519, 1992.
- 5) **Calkins JL, Hochheimer BF:** Retinal light exposure from operation microscopes. Arch Ophthalmol 97: 2363—2367, 1979.
- 6) **Novotny HR, Alvis DL:** Method of photographing fluorescence in circulating blood in the human retina. Circulation 24: 82—86, 1961.
- 7) **Rosenblum WI:** Fluorescence induced in platelet aggregates as a guide to luminal contours in the presence of platelet aggregation. Microvasc Res 15: 103—106, 1978.
- 8) 一戸 敏, 三上 規, 松橋英昭, 吉本弘志: 網膜血管閉塞症の新しいモデル。一蛍光光化学血栓を利用した網膜血管閉塞法について。日眼会誌 91: 670—682, 1987.
- 9) **Ham WT, Mueller HA, Sliney DH:** Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. Nature 260: 153—155, 1976.