脳血管外科手術における術中 Indocyanine Green Videoangiography の使用経験

高木 康志¹, 菊田健一郎¹, 西村 真樹¹
石井 暁¹, 野崎 和彦², 橋本 信夫³

Early Experience of Indocyanine Green Videoangiography in Cerebrovascular Surgery

Yasushi TAKAGI, M.D.,¹ Ken-Ichiro KIKUTA, M.D.,¹ Masaki NISHIMURA, M.D.,¹
Akira ISHII, M.D.,¹ Kazuhiko NOZAKI, M.D.,² and Nobuo HASHIMOTO, M.D.³

¹Department of Neurosurgery, Kyoto University Hospital, Kyoto, ²Department of Neurosurgery, Shiga University of Medical Sciences, Ohtsu, and ³National Cardiovascular Center, Suita, Japan

Summary: Fluorescence angiography was first used by ophthalmologists to measure retinal blood flow by using the fluorescent dye fluorescein. With the use of indocyanine green (ICG) as a novel fluorescent dye, and its integration into a compact system that takes advantage of modern video technology, fluorescence angiography has recently re-emerged as a viable option. We present representative cases of which ICG videoangiography is useful in the treatment to show the efficacy of ICG videoangiography in cerebrovascular surgery. ICG videoangiography is a safe and simple method with which to assess the microcirculation of the brain.

Key words:

- indocyanine green (ICG)
- ICG videoangiography
- cerebrovascular surgery

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 37: 104-108, 2009

はじめに

脳神経外科領域において、蛍光血管撮影は Feindel ら²⁾により、最初の報告がされ、脳底部の椎骨動脈の血流や浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術におけるバイパスの開存や局所の血流評価の結果が示された。しかし、蛍光血管撮影は脳血管外科医に十分に普及することにはなかった。

近年、インドシアニングリーンと発達したビデオシステムを駆使して、Raabe ら³⁾は新たな術中蛍光血管撮影の報告を行い、その有用性が脳血管外科領域で認められつつある。

今回、京都大学脳神経外科における同撮影の症例を提示する。

方 法

カールツァイス社製 OPMI Pentero 手術顕微鏡に搭載した INFRARED 800 のシステムを用いて近赤外線インドシアニンググリーンビデオ血管撮影を行った。1回の撮影につき、インドシアニンググリーン 25 mg を 10 ml の注射用蒸留水に溶解し、1回の撮影につき 3 ml を輸液ルートより静注した。システムを稼働してから室内の照明を落とし静注後約 1 分後に蛍光画像が得られた。インドシアニンググリーン

¹京都大学 脳神経外科, ²滋賀医科大学 脳神経外科, ³国立循環器病センター(受稿日 2008.9.26)(脱稿日 2008.11.20)[連絡先: 〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町 54 京都大学 脳神経外科 高木康志] [Address correspondence: Yasushi TAKAGI, M.D., Department of Neurosurgery, Kyoto University Hospital, 54 Shogoin Kawahara-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8507, Japan]

Table 1 近赤外線インドシアニンググリーン蛍光ビデオ血管撮影を施行した症例

Surgery	Number of cases
Aneurysm (unruptured 13, ruptured 1)	14
Parasagittal meningioma	1
Hemangioblastoma	1
STA-MCA bypass	9
CEA	2
AVM	4
Radial arterial graft	2
total	33

Abbreviations used: STA-MCA, superficial temporal artery-middle cerebral artery; CEA, carotid endarterectomy; AVM, arteriovenous malformation

蛍光血管撮影については、平成19年1月23日、京都大学大学院医学研究科・医学部医の倫理委員会によりC-119「ICGを使用した顕微鏡下術中血管観察」として承認を受け行われた。2007年1月から2008年4月までに同撮影を行ったのは33症例であった。

結 果

Table 1にて症例のまとめを記す。33症例全例で蛍光血管画像を得ることができた。14例の動脈瘤の撮影においては、14例において動脈瘤の閉塞が確認され、術後の3D-CT angiographyにおいても、動脈瘤が造影される症例はなかった。分岐部の血管においては、IC-Pcom分岐部動脈瘤の1例においてp-comの造影が得られなかったが、それ以外の症例では描出可能であった。傍矢状洞髄膜腫では上矢状洞の開存が認められた。血管芽腫の症例においては、腫瘍本体とfeederが描出された。STA-MCA bypassにおいては9例で開存が確認できた。うち1例で、当初開存が確認できなかったため、再吻合を行った。内頸動脈内膜剥離術は2例でプラークの位置が推測でき、内頸動脈の開存が確認できた。AVMでは4例でナイダスの位置が確認でき、全例でdrainerの位置が確認できた。橈骨動脈バイパスの症例においても全例でバイパスの開存が確認できた。以下代表的な症例を提示する。

症 例

〈症例1〉58歳女性、左内頸動脈頭蓋内狭窄症。右片麻痺のTIAにて発症、脳血流SPECTにおいて左中大脳動脈灌流領域血流低下と同部位におけるダイアモックス反応性の低下を認め、左浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術を行った。術中蛍光血管撮影においてバイパスの開存が術中に確認できた(Fig. 1A-C)。

Fig. 1 58歳女性、頭蓋内内頸動脈狭窄症。A: 術中写真 B: and C: インドシアニンググリーン蛍光血管撮影(B: 弱拡大, C: 強拡大)バイパスの開存が確認できる。

〈症例2〉10歳女性、脳動静脈奇形。脳内出血にて発症した脳動静脈奇形。nidusは直径2cm、前大脳動脈および中大脳動脈の枝をfeederとし表在静脈系のdrainerを持つ、Spetzler-Martin grade Iの脳動静脈奇形であった。右頭頂開頭による摘出術を行った。病変の剥離を終わった時点で、ドレーナーの血流が消失していることが確認できた(Fig. 2A-D)。

〈症例3〉47歳女性、前交通動脈瘤。突然の頭痛により発症したくも膜下出血。脳血管撮影において左A1-A2 junctionに動脈瘤を認めた。左前頭側頭開頭にて脳動脈瘤クリッピング術を施行した。クリッピング前に確認された

Fig. 2 10歳女性，脳動静脈奇形．A and C: 術中写真．B and D: インドシアニングリーン蛍光血管撮影．B: 剥離前，脳動静脈奇形が描出されている．D: 剥離後，脳動静脈奇形は描出されない．

Fig. 3 47歳女性，破裂前交通動脈瘤．A and C: 術中写真．B and D: インドシアニングリーン蛍光血管撮影．A and B: 動脈瘤近傍に穿通枝が確認される(矢印)．B and D: クリッピング後，穿通枝の開存が確認できる．

右 A2 からの perforating artery の開存がクリッピング後の蛍光血管撮影において確認できた (Fig. 3A-D)。

考 察

蛍光血管撮影は最初に、眼科医により、フルオレセインを用いて網膜の血流を評価するために用いられた³⁾。脳神経外科領域においては Feindel ら²⁾により、最初に蛍光脳血管撮影の報告がされ、脳底部の椎骨動脈の血流や浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術におけるバイパスの開存や局所の血流評価の結果が示された。しかし、蛍光血管撮影は脳血管外科医に十分に普及することはなかった。

近年、インドシアニングリーンと発達したビデオシステムを駆使して、Raabe らは新たな術中蛍光血管撮影の報告を行った。このインドシアニンググリーンは眼科領域で広く用いられていたが、蛍光が強いうえに副作用がフルオレセインと比較して少なく、また US Food and Drug Administration において、1956 年に心拍出量評価、肝機能評価に、1975 年に網膜血管撮影に用いることにおいて承認を受けている³⁾。

インドシアニンググリーンは 805 nm の波長で励起され、835 nm の蛍光を発する。これらの波長は近赤外線領域に存在し、通常の組織においてはほとんど存在しない波長であるため、コントラストの強い映像が得られる。インドシアニンググリーンは静注後 1-2 秒の間に主に血液中のグロブリンに結合し、肝臓より排泄される。血中半減期は 3-4 分である³⁾。

2003 年に Raabe らは、14 例の脳動脈瘤、脊髄および脳動静脈瘻の患者に対しインドシアニンググリーン蛍光血管撮影を行いその結果を報告した。この報告においては、彼らは近赤外線照射源とインドシアニンググリーンにより励起された蛍光のみを通すフィルターをビデオカメラに装着し撮影を行っている³⁾。この励起された蛍光も近赤外線領域に存在する。

さらに 2005 年に Worrzik らは浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術の症例など 40 例において同撮影を行い、浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術や大伏在動脈バイパス術においてインドシアニンググリーン蛍光血管撮影が術中のグラフト閉塞の予防に有用であると報告している⁷⁾。

同年、Raabe らはカールツァイス社の協力の下に、近赤外線インドシアニンググリーン蛍光血管撮影のシステムを手術顕微鏡内に導入し、さらに簡便に蛍光血管撮影が行えるシステムについて報告した⁴⁾⁵⁾。その中で彼らは 140 例の症例においてインドシアニンググリーン血管撮影を行い、その有用性について評価を行った。これらのうち、脳動脈瘤クリッピング術においては 124 の動脈瘤に対して、187 回の撮影が行われ、179 回の撮影において十分なクオリティ

を持つ画像が得られたとしている。十分な画像が得られなかった 8 回においては、深い術野のため、十分に対象が露出されていなかったためや血管壁の動脈硬化による石灰化のためとしている。また、術中、術後脳血管撮影との比較においてはそれぞれ 10% の症例で、結果に差が出たとしているが、その結果が手術そのものの結果に影響を与えることはなく、術中脳血管撮影によるクリップの再留置に 15-45 分かかったのに対し、近赤外線インドシアニンググリーンビデオ血管撮影は 1-2 分で済んだと報告している。また、術後脳血管撮影により再手術を行った症例はなかったと結論づけている。また、この報告においては穿通枝は十分な画像が得られなかったとしている⁵⁾。

さらに de Oliveira ら¹⁾は近赤外線インドシアニンググリーンビデオ血管撮影の動脈瘤手術における有用性について報告している。この報告によると、56% の症例で動脈瘤近傍に穿通枝が認められ、30% の症例で動脈瘤のネック近傍に穿通枝が認められた。

これらの報告にあるように近赤外線インドシアニンググリーンビデオ血管撮影は簡便で、短い時間で血管の画像が得られ、しかも以前からある脳血管撮影に劣らぬ精度での評価が可能と考えられる。今後、このシステムの脳血管外科領域における普及が予想される。

近赤外線インドシアニンググリーンビデオ血管撮影の欠点として、Raabe は、1. 観察できる範囲が顕微鏡の視野に限られること、2. 血液、動脈瘤、脳組織によって覆われた部分は観察できないことをあげ、neck が残存する可能性を指摘している。また、画像のコントラストが、脳血管撮影と比較してつきにくいこと、石灰化や動脈壁が厚い場合に観察できないこと、脳動静脈奇形のように複数の方向からの評価が必要である場合には使いにくいことをあげている⁵⁾。しかし、脳動脈瘤手術においてインドシアニンググリーン蛍光血管撮影の偽陰性率は 9% と報告し、他の方法においても 5-9% 程度であることを指摘している⁵⁾。この方法は非常に簡便で、撮影が短期間に終了し、得られる情報も多く、使用した術者としては、これからいろいろな方向に発展していく可能性を予感させる。Wozzik らは脳梗塞における減圧開頭術において簡易的に脳循環を評価できる可能性を報告している⁸⁾。われわれも、小児の残存した脳動静脈奇形において応用した症例を報告している⁶⁾。また、内頸動脈狭窄や脳表の静脈の評価などにも応用されていくものと考えられる。

今回のわれわれの症例では、動脈瘤手術において瘤の閉塞を確認でき、しかも画像が 1 分以内に得られるという利点があった。穿通枝の評価においては、今後も検討が必要であるが、太い枝は確実に描出できるようなのである。バイパス手術においても開存の確認が明瞭に描出できた。術者が

気がついていないバイパスの閉塞が1例で認められ、有用性が確認できた。脳動静脈奇形においてもナイダスの描出やドレーナーの確認に有用であった。内頸動脈内膜剝離術における有用性については、プラークの描出などもう少し症例の蓄積が必要であると考えられる。

今後、さまざまな症例において近赤外線インドシアニングリーンビデオ血管撮影が施行され、その有用性が評価されていくものと思われる。

文 献

- 1) de Oliveira JG, Beck J, Seifert V, *et al*: Assessment of flow in perforating arteries during intracranial aneurysm surgery using intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography. *Neurosurgery* 61(3 Suppl): 63-72; discussion 72-73, 2007
- 2) Feindel W, Yamamoto YL, Hodge CP: Intracarotid fluorescein angiography: a new method for examination of the epicerebral circulation in man. *Can Med Assoc J* 96(1): 1-7, 1967
- 3) Raabe A, Beck J, Gerlach R, *et al*: Near-infrared indocyanine green video angiography: a new method for intraoperative assessment of vascular flow. *Neurosurgery* 52(1): 132-139; discussion 139, 2003
- 4) Raabe A, Beck J, Seifert V: Technique and image quality of intraoperative indocyanine green angiography during aneurysm surgery using surgical microscope integrated near-infrared video technology. *Zentralbl Neurochir* 66(1): 1-6; discussion 7-8, 2005
- 5) Raabe A, Nakaji P, Beck J, *et al*: Prospective evaluation of surgical microscope-integrated intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 103(6): 982-989, 2005
- 6) Takagi Y, Kikuta KI, Nozaki K, *et al*: Detection of a residual nidus by surgical microscope-integrated intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography in a child with a cerebral arteriovenous malformation. *J Neurosurg* 107(5): 416-418, 2007
- 7) Woitzik J, Horn P, Vajkoczy P, *et al*: Intraoperative control of extracranial-intracranial bypass patency by near-infrared indocyanine green videoangiography. *J Neurosurg* 102(4): 692-698, 2005
- 8) Woitzik J, Peña-Tapia PG, Schneider UC, *et al*: Cortical perfusion measurement by indocyanine-green videoangiography in patients undergoing hemicraniectomy for malignant stroke. *Stroke* 37(6): 1549-1551, 2006