

インドシアニングリーン染色による「光る手術用デバイス」の開発と臨床応用のための特性評価

東京科学大物質¹・昭和医大医²・京都工繊大繊維³・安藤 慎治¹・田代 良彦²・安永 秀計³

体内手術用ガーゼは、外科手術において止血や汚染された術野を整える目的だけでなく、体内組織の圧排や手術の進行方向の誘導にも使われ、その用途は多岐に及ぶが、手術中にガーゼを体内で見失う「遺残」が永年の課題となっている。一方、インドシアニンググリーン (ICG) はトリカルボシアニン系の近赤外発光色素で、生体毒性が低く「生体の窓」と呼ばれる近赤外域に蛍光発光 (励起 780 nm/発光 820 nm) を示すため¹⁾、人体組織を 8~12 mm 透過することができ、深部組織や *in vivo* イメージングに適している²⁾。外科手術において腹腔鏡手術やロボット手術が主流になるにつれ、術者の触覚が失われ、視覚情報がより重要になることから、手術室には ICG の励起/発光波長に合わせた蛍光イメージングシステム (FIS) が標準装備されつつある。そこで、体内手術用ガーゼを ICG により染色し蛍光発光性にできれば、術後の遺残を防ぐだけでなく、術中の位置の目印とする「手術ガイド」としても使用が可能となる。これまでに ICG 染色による発光ガーゼの報告例³⁾はあるものの、その作製法から体内での ICG 漏出と組織への再付着が強く懸念された。そこで'23 年春に 3 大学による「医工連携プロジェクト」を立ち上げ、発光強度と染色堅牢性がともに高い「光る手術用ガーゼ」の開発に着手した。

ICG は水溶性色素であるが、低発光性の H-/J-凝集体を形成するため、水溶液の発光強度は 48 h で約 1/10 に低減する。手術用ガーゼの綿セルロースは一般に染色が困難な素材であるが、様々な染色方法や条件を検討する過程で、ICG 水溶液をオートクレーブにより水熱条件 (132°C: 2.83 気圧) として染色し、蒸熱滅菌の後処理をする方法が、ICG 染色と漏洩防止に極めて有効であることを見出した⁴⁾。

「光る手術用ガーゼ」の実用化を目指して、ICG 染色したガーゼの上に 7~12 mm 厚の胃、大腸、腸間膜を置いて透過させたところ (Fig. 1)⁵⁾、FIS (Stryker 社, SPY-PHI) による蛍光観察が十分に可能であった。また腹腔鏡及びロボット支援下の大腸手術における手術ガイドとしても極めて有用であった。体内での紛失を想定し、小腸間膜内にガーゼを留置したところ、間膜を透過した蛍光により容易に同定できた。ガーゼに接触した組織の蛍光観察においても、ICG の漏出や再付着を認めなかったが、ICG は血漿タンパクと強く結合するため、血液に 2h 浸漬すると若干の漏洩がみられた。

ICG は綿やジアセテートのみならず、ナイロンやポリウレタン (PU)、絹や羊毛など極性基を持つ繊維体に良好な染色性を示すことから、綿ガーゼのみならず PU のスポンジ、チューブ、輪ゴムなども ICG 染色でき (Fig. 1)、これらの繊維体は広い範囲で蛍光ガイド手術に有用な汎用医療デバイスになり得る。

【謝辞】蛍光ガーゼの臨床応用にご協力いただいている昭和医大 青木武士教授と消化器外科の先生方に感謝いたします。

【文献】1) E.D. Cosco, I. Lim, E.M. Sletten, *ChemPhotoChem*, **2021**, 5, 727. 2) 蛍光イメージング実践ガイド, メジカルレビュー社 (2020). 3) H. Kumata, I. Haga *et al.*, *Clin Case Rep.*, **2022**, 10, e06356. 4) 特願 2024-211557. 安藤慎治, 田代良彦・安永秀計, *高分子学会予稿集*, **2024**, 73, 1T09. 5) Y. Tashiro, T. Aoki, H. Yasunaga, S. Ando, *Langenbeck's Arch. Surgery*, **2025**, 410, 40.

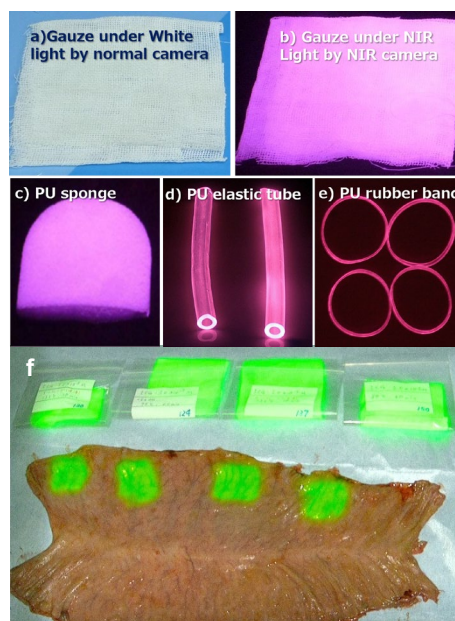


Fig. 1 Photos of ICG-dyed surgical gauze illuminated by a) white light and b) near-IR LED, c) PU sponge, d) PU elastic tube, e) PU rubber bands, f) FL image of a gauze detected through an overlying colon tissue.

Development of Glowing Surgical Devices Dyed with Indocyanine Green and Evaluation for Clinical Applications

Shinji ANDO¹, Yoshihiko TASHIRO², Hidekazu YASUNAGA³ (¹ School of Materials and Chemical Technology, Institute of Science Tokyo, 2-12-1-E4-5, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan, ² Department of Surgery, School of Medicine, Showa Medical University, Japan, ³ Faculty of Fiber Science and Engineering, Kyoto Institute of Technology, Japan)

Tel: +81-3-5734-2137, Fax: +81-3-5734-2889, E-mail: ando.s.aa@m.titech.ac.jp