

G2-06 人体組織を透過して明るく光る手術用ガーゼの開発

○安藤 慎治¹・田代 良彦²・安永 秀計³ (東京科学大物質¹・昭和医大医²・京都工繊大繊維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、以前より手術中にガーゼを体内で見失う「遺残」が問題となっている。一方、インドシアニングリーン (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、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、術中に位置の目印とする「手術ガイド」としても使用できる。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 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、非発光性の H/J 凝集体を形成するため、発光強度が 48 h で約 1/10 に低減する。また手術用ガーゼの綿セルロースは一般に染色が困難であるが、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×15 分) 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 7~12 mm 厚の胃、大腸、腸間膜を ICG 染色したガーゼの上に置いて透過させたところ (Fig. 1)⁵⁾ FIS (SPY-PHI, Stryker 社) 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有用であった。体内での紛失を想定して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、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、ナイロンやウレタン、絹や羊毛にも良好な染色性を示すことから、ICG 染色による各種繊維体は蛍光ガイド手術に有用な医療デバイスとなり得る。

【謝辞】 昭和医科大学 青木武士教授と同 消化器・一般外科の先生方に感謝いたします。

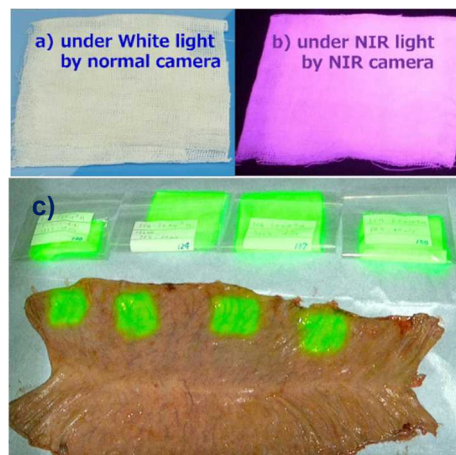


Fig. 1 Photos of 'Glowing surgical gauze' illuminated by a) white light and b) near-IR LED. c) FL image of ICG-dyed gauze detected through an overlying colon tissue.

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.

PROFILE

安藤 慎治 (東京科学大学 物質理工学院 応用化学系 教授)

1989 年 東京工業大学高分子工学専攻 博士課程修了 (工学博士)、1989 年 日本電信電話(株)境界領域研究所研究員、1995 年 東京工業大学高分子工学専攻 助教授、1998-99 年 英国 Durham 大学化学科客員研究員、2006 年 東京工業大学物質科学専攻 教授、2016-18 年 同 副学長(安全・コンプライアンス担当)、2024 年~東京科学大学 物質理工学院 教授。専門分野: 耐熱性高分子の構造解析と光・熱・誘電物性の高機能化, DFT 計算による物性予測。趣味: 南ヨーロッパの巡礼路歩き, 宗教美術。