

· 指南解读 ·

美国胃肠内镜外科医师协会《2025 吲哚菁绿荧光成像引导胃肠手术指南》要点解读

康岳¹, 秦长江², 戴伟钢^{1*}

1. 中山大学附属第一医院 胃肠外科中心, 广东 广州 510080

2. 河南大学淮河医院 普通外科, 河南 开封 475000

【摘要】 美国胃肠内镜外科医师协会于2025年发布了关于吲哚菁绿荧光成像引导手术在胃肠外科应用的临床指南。本文旨在对该指南进行深度解读。指南采用推荐分级的评价、制定与评估(grading of recommendations assessment, development and evaluation, GRADE)体系,并创新性引入“效用值”加权的临床效应判定阈值来评估证据。针对8个关键临床问题,指南提出了分级推荐建议:强推荐在胃肠癌淋巴结清扫及左半结直肠癌吻合术中使用吲哚菁绿荧光成像引导手术,以增加淋巴结获取数及改善吻合质量;有条件推荐用于术中识别远处转移灶、原发癌病灶及辅助食管吻合;对于胸导管识别、减重手术及儿科拖出式手术,因缺乏比较性的证据,将其列为可合理选择的专家意见。此外,本文汇总了不同术式的吲哚菁绿给药剂量与时机,对比了该指南与国内共识在注射方式上的异同,并分析了当前证据的局限性与未来研究方向,为临床规范化应用提供参考。

【关键词】 吲哚菁绿; 荧光成像引导手术; 胃肠外科; 指南

Key takeaways from the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons' 2025 guidelines for fluorescence image – guided surgery using indocyanine green in gastrointestinal procedures

Kang Yue¹, Qin Changjiang², Dai Weigang^{1*}

1. Gastrointestinal Surgery Center, the First Affiliated Hospital of Sun Yat – Sen University, Guangzhou 510080, Guangdong, China

2. Department of General Surgery, Huaihe Hospital, Henan University, Kaifeng 475000, Henan, China

*Corresponding author: Dai Weigang, E-mail: daiweig@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 In 2025, the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) released the SAGES 2025 guidelines for fluorescence image – guided gastrointestinal surgery using indocyanine green (ICG). This article aims to provide an in – depth interpretation of the guidelines. The guidelines adopt the grading of recommendations assessment, development and evaluation (GRADE) methodology and innovatively introduce "utility value" – weighted clinical effect judgment thresholds to assess the evidence. Addressing eight key questions, the guidelines provide graded recommendations: strong recommendations are made for the use of ICG fluorescence image – guided surgery in lymph node harvesting for gastrointestinal cancers and in left – sided colorectal anastomosis to increase lymph node retrieval and improve anastomotic quality; conditional recommendations are offered for the intraoperative identification of distant metastases and primary cancer lesions, as well as for assisting with esophageal anastomosis; while the use of ICG for thoracic duct identification, bariatric surgery, and pediatric pull – through procedures is supported by expert opinion due to a lack of comparative evidence. Furthermore, this article summarizes the ICG dosing and timing for different surgical procedures, compares the injection methods between the

基金项目:河南省科技发展计划项目(242102311047)

* 通信作者:戴伟钢, E-mail: daiweig@mail.sysu.edu.cn

guidelines and the domestic consensus, and analyzes the limitations of current evidence along with directions for future research, providing a reference for standardized clinical application.

【Key words】 Indocyanine green; Fluorescence image-guided surgery; Gastrointestinal surgery; Guidelines

随着吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光成像引导手术(fluorescence image-guided surgery, FIGS)在临床上的广泛开展,这项技术已成为提升手术可视化、识别关键解剖结构的重要辅助手段。然而,此项技术在不同应用场景中仍存在明显的局限性。国际荧光引导外科学会(International Society for Fluorescence Guided Surgery, ISFGS)针对各种应用制定了 ICG 推荐剂量和给药时间,但这些推荐是基于专家共识而非严格的循证研究,目前尚缺乏标准化的使用规范。美国胃肠内镜外科医师协会(Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons, SAGES)作为全球胃肠道及内镜外科领域的权威组织,致力于通过制定标准操作程序和临床实践指南来推动微创手术的发展与规范化。为了填补上述空白,SAGES 召集了多学科专家小组,制定了《2025 吲哚菁绿荧光成像引导胃肠手术指南》(以下简称指南)。

1 指南概览与核心亮点

指南严格遵循 SAGES 标准操作程序,采用推荐分级的评价、制定与评估(grading of recommendations assessment, development and evaluation, GRADE)体系和证据至决策框架制定临床建议,其报告结构与系统评价分别符合医学实践指南报告规范(reporting items for practice guidelines in healthcare, RIGHT)与系统评价/Meta 分析报告规范(preferred reporting items for systematic reviews and Meta-analyses, PRISMA)。专家组使用 Cochrane 偏倚风险评估 2.0 工具[针对随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)]和纽卡斯尔-渥太华量表(针对非随机研究)进行证据质量评估;数据处理仅纳入 ICG 组与非 ICG 组的直接对比证据,并进行随机效应 Meta 分析。

在方法学创新上,指南引入了基于“效用值”(专家组按 0~1 分打分)的临床效应判定法。通过公式“绝对风险差(absolute risk difference, ARD)阈值=[系数/(1-效用)] $\times$ 1000”量化收益与危害的平衡;对于后果极其严重的并发症(效用值接近 0,

如死亡),即便 ICG 技术仅能减少极少数病例(计算出的 ARD 阈值较小),亦会被判定为具有“大效应”(图 1)。这一创新使临床效应平衡的判定更加透明、量化,显著降低了主观偏倚。在统计数据处理中,二分类变量和连续变量分别优先使用 OR 值和平均差(mean deviation, MD)/标准化均数差(standard mean deviation, SMD)值表示。为便于临床医生直观评估技术的实际获益,指南将统计学结果统一转化并表述为“每 1000 例患者中绝对增减的数量”,而非单纯呈现晦涩的 OR 或 P 值。

指南专家组由多学科国际专家、方法学家(无投票权)及 3 位患者代表共同组成,充分体现了以患者为中心的理念。正式的循证建议需在证据至决策表格的综合研判下,达到 $\geq 80\%$ 的专家投票一致率方可通过;而对于缺乏比较性证据的关键问题(key question, KQ),则仅基于团队共识降级形成“专家意见”(表 1)。

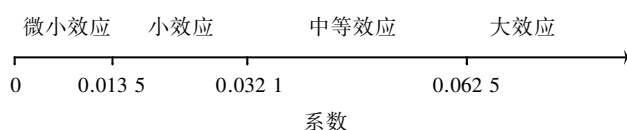


图 1 指南基于效用值加权的系数分级标准

2 强推荐领域

KQ4: 行胃肠癌切除术的患者是否应使用 ICG 进行术中淋巴结识别?

推荐建议: 专家组推荐行胃肠癌切除术的患者在术中使用 ICG 荧光成像技术来识别淋巴结(强推荐,证据确定性高)。

淋巴结清扫是胃肠癌根治术中至关重要且极具挑战的环节。传统手术主要依赖术者的视觉与触觉反馈,而由于胃肠道血管及淋巴解剖变异复杂,加之部分淋巴结常深埋于脂肪组织中,精准识别与完整清扫极具难度,对于年轻医师来说尤为困难。在不增加手术并发症的前提下,高效获取足够数量的淋巴结是一大临床难点。目前,ICG 荧光成像技术已被证实能有效提升多个手术区域淋巴结的检出率^[1-3]。此外,ICG 联合放射性同位素的双

表 1 指南解读要点汇总

关键问题	推荐意见	考察元素/结局指标	效应量级
KQ1:术中识别胸导管	与标准方法相比,使用 ICG 荧光成像辅助术中识别胸导管是一个合理的选择(因缺乏比较性证据,无法形成正式推荐)	识别结构、识别损伤、乳糜胸(漏)	无法判定(现有数据极少,无法得出有意义的结论)
KQ2:术中识别远处(非区域性)转移	有条件推荐;证据确定性:极低;建议术中使用 ICG 荧光成像检测远处转移(如肝转移)	正确识别切缘 手术时间(ICG 组时间更短) R0 切除率 治疗方案改变	大 大 大 大
KQ3:术中识别原发肿瘤	有条件推荐;证据确定性:中等;建议术中使用 ICG 荧光成像识别腹部原发肿瘤	R0 切除率 治疗方案改变 正确识别切缘 手术时间延长	大 大 大 微不足道
KQ4:胃肠癌切除术中识别淋巴结	强推荐;证据确定性:高;推荐术中使用 ICG 荧光成像识别淋巴结	获取淋巴结总数 阳性淋巴结数量 手术时间延长	大 相似 微不足道
KQ5:结直肠吻合质量改善	强推荐;证据确定性:中等;推荐在左半结直肠吻合术(良性或恶性疾病)中使用 ICG 荧光成像以提高吻合质量(包括有预防性造口的患者)	吻合口漏 再手术 吻合口狭窄 吻合后局部修补 预离断点改变 再干预	大 大 大 大 大 微不足道
KQ6:食管癌切除术中食管吻合质量	有条件推荐;证据确定性:极低;建议在食管癌切除术进行食管吻合时使用 ICG 荧光成像	吻合口漏 再手术 预离断点改变 再干预 危害/副作用	大 大 大 相似 微不足道
KQ7:减重或修正手术吻合质量	在初次或修正性减重手术中,使用 ICG 荧光成像是一个合理的选择,但目前尚无足够证据确定其必然优势	吻合口漏	不确定(现有研究显示两组的吻合口漏发生率差异无统计学意义,数据严重受限)
KQ8:儿科拖出式手术吻合质量	与标准手术程序相比,在儿科拖出式手术中使用 ICG 荧光成像辅助是一个合理的选择	吻合口漏、再手术、预离断点改变	无法判定(仅有单臂研究数据,证据极其有限)

注:ICG,吲哚菁绿;KQ,关键问题。

示踪技术在早期胃癌淋巴结定位中亦展现出显著优势^[1,4]。借助腹腔镜与荧光导航进行实时追踪,有助于术者开展更为系统、彻底的淋巴结清扫,从而提高分期精确率,优化治疗决策,并在一定程度上延长患者的无病生存期与总生存期。针对 KQ4,指南全面评估了 ICG 荧光成像技术在术中淋巴结识别中的作用。

指南共纳入了 18 项研究^[3-20](含 1 项低偏倚风险 RCT 及 17 项观察性研究,后者包含 11 项高偏

倚风险及 6 项低偏倚风险研究)。观察性研究中,有 13 项聚焦于胃及胃食管结合部癌,3 项关注结直肠癌,1 项涉及肝内胆管癌。这些研究都在术中或术前 1 d 通过内镜在肿瘤周围黏膜下注射 ICG。相较于非 ICG 组,ICG 组的优势体现在淋巴结获检总数上,而在阳性淋巴结数量方面差异无统计学意义。尽管 ICG 组的手术时间略有延长,但其延长的幅度被认为是微不足道的^[5]。虽然该技术并不会显著改变阳性淋巴结的检出数量,也略微增

加了手术时间,但它极大地提高了淋巴结清扫的总数,这一优势对于精确的癌症分期和潜在的生存率提升至关重要。因此,专家组认为其临床获益远大于时间成本的损耗。

不同癌症的生物学行为特点和淋巴结转移特点直接影响本问题的亚组考量。首先是癌种异质性;当前高质量证据(RCT)及多数观察性研究(13/17)均聚焦于胃癌。鉴于不同癌种的 ICG 摄取率、最佳注射时间窗及背景荧光干扰存在差异,直接将胃癌数据外推至结直肠癌或胆道癌存在误导风险。其次是异位淋巴结清扫:肿瘤阻塞淋巴管可导致淋巴液改道,形成跳跃性转移或流向非典型解剖区域的异位淋巴结,此类病灶通常肉眼难以辨认且触诊无法触及。ICG 示踪的优势在于其追踪的是功能性淋巴引流而非固定的解剖路径,理论上能发现传统解剖学路径之外的潜在引流区域。然而,现有数据(包括 RCT)仅证实了 ICG 荧光成像技术能增加总检出数,尚缺乏其能显著提高异位淋巴结检出率或借此直接转化为生存获益的专属性数据。这也指明了未来的研究方向:评估 ICG 荧光成像技术能否提供超越传统解剖经验的视觉导航,填补隐匿性淋巴结检测的盲区。

基于上述分析,专家组在剔除高偏倚风险数据后,主要依据高质量 RCT 结果,最终作出“强推荐”决定,支持将 FIGS 与 ICG 结合应用。但需强调,该意见仅推荐其作为辅助手段,并未将其确立为强制性的标准手术程序。后者仍需更多按癌种(胃癌、结直肠癌、胆道癌等)分层的 RCT 数据支持。此外,未来亦应进一步探索双示踪技术(如 ICG 联合 99mTc 示踪剂)的效用,并开展不同示踪方式的横向比较研究。

KQ5: 在进行结直肠吻合术前,是否应使用 ICG 以提高吻合质量?

推荐建议: 专家组推荐因良性或恶性疾病接受左半结直肠吻合术的患者,在术中使用 ICG 荧光成像技术以提高吻合质量(强推荐,证据确定性中等)。此建议也适用于带有预防性造口的患者。

尽管当前结直肠肿瘤手术的安全性已稳步提升,但吻合口漏仍是令人担忧且具有灾难性后果的并发症。吻合口漏不仅影响手术结局、延长住院时间并增加医疗费用,还会导致患者短期及远期预后恶化。一项 2005 年的前瞻性队列研究显示,恶性肿瘤患者发生吻合口漏后,其 5 年局部复发

率显著升高^[21]。结直肠手术后吻合口漏的发生率为 1.8%~19.2%,多见于直肠吻合^[22-23]。此外,吻合口漏的早期诊断颇具挑战性,患者早期往往症状隐匿,且影像学检查可能呈阴性。鉴于局部血流灌注是决定吻合质量的关键术中因素,确保吻合区血供充足并在关腹前排查潜在漏点,是降低吻合口漏发生率的有效策略。ICG 荧光成像技术为术中实时评估组织微循环、预防缺血相关吻合口漏提供了全新的手段。

指南采纳了 7 项 RCT (含 5 项低偏倚风险研究)及 1 项观察性研究用于形成循证意见^[24-31]。这 7 项 RCT 共计纳入 2501 例患者,总体偏倚风险较低;除“吻合后局部修补”外,其余结局指标均采用了 RCT 数据。纳入的研究涵盖了右半与左半结肠病变,以及良性与恶性结直肠疾病的各类吻合术。在给药方案上,所有研究均在术中经静脉输注 ICG,随后建立吻合以确定离断点。多数研究在吻合建立后会追加一剂 ICG 以评估吻合口情况;唯 Alekseev 等^[24]和 Watanabe 等^[25]仅在吻合前给药。而 Jafari 等^[26]则在吻合后给药并通过经肛门成像评估吻合口情况。各研究的 ICG 注射剂量亦存在差异(部分按体重给药,部分采用标准固定剂量)。

国际直肠癌研究小组将吻合口漏分为 A、B、C 三级^[32](A 级:无需干预;B 级:需积极干预;C 级:需再次手术),而指南纳入的大部分研究涵盖了所有级别的吻合口漏。只有 Faber 等^[28]的研究仅针对 B 级和 C 级漏进行亚组分析,其结果仍支持使用 ICG 荧光成像技术($OR=0.54, 95\%CI\ 0.38\sim0.77$)。尽管 A 级吻合口漏的临床紧急程度不如 B、C 级,但仍会对患者造成不良影响。为实现更全面的评估,指南对 7 项 RCT 涵盖的所有级别吻合口漏均进行了分析。

在吻合口漏发生率方面,RCT 合并数据表明,与对照组相比,术中使用 ICG 降低了左半结直肠吻合口漏的发生率($OR=0.58, 95\%CI\ 0.44\sim0.75$)。与此同时,观察性研究亦证实了使用 ICG 后吻合口漏发生率呈下降趋势。针对离断点改变率,RCT 结果显示,ICG 组离断点改变率显著增加(每 1000 例手术中,约有 120 例因使用 ICG 而调整了切除位置。由于理论上 ICG 荧光成像技术能揭示肉眼不可见的缺血区域,因此可以引导术者将吻合建立在血供更佳的组织上)。但需要注意的是,部分研究指出,需更改离断点的患者本身存在较高的

吻合口漏固有风险,这可能归因于其潜在的微循环灌注障碍。在吻合后局部修复(首次手术建立吻合后,因发现潜在缺陷而在手术台上临时进行的非计划加固缝合)、吻合口狭窄、再手术率及再干预率方面,ICG组与对照组的差异均无统计学意义。其中关于吻合口狭窄,指南特别指出,许多研究纳入了伴有预防性造口的患者,造口的存在极易掩盖早期狭窄症状,若缺乏常规造影或内镜随访,狭窄往往在还纳造口时才被确诊。目前证据体亟需长期随访数据,以确证 ICG 荧光成像技术能否有效减少缺血导致的远期吻合口功能障碍。

以下几项关键亚组因素可能影响 KQ5 结局。

①既往放射治疗(简称放疗)史:盆腔放疗可显著破坏微血管,影响局部血流与组织灌注。②病变部位(左侧与右侧):现有证据强力支持 ICG 荧光成像技术在左侧的应用。与右侧(肠系膜上动脉)丰富可靠的血供相比,左侧血供(肠系膜下动脉)脆弱多变,且吻合操作空间窄、张力与腔内压更高,漏风险极高,故 ICG 的微循环可视化效用在左侧更为突出。③转流性造口状态:造口仅能阻断粪便减轻感染(常掩盖漏的早期症状),故 ICG 荧光成像技术在此类患者中的核心价值在于降低狭窄、瘘管等远期并发症发生风险,而非降低短期再手术率。④疾病性质(良性与恶性):ICG 荧光成像技术对良恶性疾病均有效。但因恶性肿瘤根治术需平衡切除范围与吻合口血供,术中决策难度大,ICG 荧光成像技术的辅助价值可能更高。⑤手术紧迫性:急诊(梗阻、穿孔等)患者休克应激引起的血管收缩易致假性低灌注,且 ICG 设备准备需要时间,可能导致抢救延误。尽管急诊缺血风险极高,但受生理与后勤限制,ICG 荧光成像技术在此亚组中的实际获益尚待证实。

综上,专家组明确建议:对于因良恶性疾病行左半结肠吻合术的患者,术中应常规应用 ICG 荧光成像技术。未来研究须重点关注右半与左半结肠、良性与恶性疾病等亚组间的结局差异。此外,在所有涉及吻合的手术记录中,无论是否采用 ICG,均应详实阐明离断线调整的情况及更改计划的医学依据,以便为评估 ICG 荧光成像技术对临床决策的真实影响提供数据支撑。最后,建议报告吻合口漏的迟发性表现(狭窄、裂开、窦道及瘘管),从而补全隐匿性转流性造口患者的数据链,为 ICG 荧光成像技术的远期获益提供完整证据。

3 有条件推荐

KQ2:是否建议在术中使用 ICG 识别远处(非区域性)癌症转移灶?

推荐建议:专家组建议在术中使用 ICG 荧光成像技术来检测远处转移(有条件推荐,证据确定性极低)。需要注意注射方式、新辅助治疗史、肿瘤类型和 ICG 剂量的变异性。

对于胃肠道恶性肿瘤,远处转移灶的早期诊断与彻底切除对患者的生存预后具有决定性意义。微小转移灶的存在是早期实体瘤患者术后复发的独立危险因素^[33],因此,早期探查并处理微小残留病灶具有核心临床价值。既往研究证实,ICG-FIGS 能有效探测出微小的肝包膜下转移结节及腹膜种植转移^[34]。KQ2 旨在评估 ICG 荧光成像技术在胃肠道肿瘤手术中用于检测非区域性转移灶的临床效用。

指南共纳入 3 项对比 ICG 组与非 ICG 组在术中识别远处转移灶差异的研究,包含 1 项高质量(低偏倚风险)的 RCT 及 2 项低偏倚风险的观察性研究。其中,He 等^[35]和 Handgraaf 等^[36]的研究聚焦于结直肠癌肝转移,而 Wang 等^[37]的研究则针对神经内分泌肿瘤肝转移。所有纳入研究均在术前 1~2 d 经静脉注射 ICG,且患者均包括了接受与未接受新辅助治疗的病例。分析结果提示,两组在主要结局指标上的差异无统计学意义,但效应趋势整体偏向 ICG 组;Handgraaf 等^[36]的观察性研究表明,ICG 组发生治疗方案改变的概率更高。Wang 等^[37]发现,ICG 组正确识别切缘的概率高于非 ICG 组($OR=29.9$, 95% CI 1.58~542.27;低确定性证据);尽管数据显示使用 ICG 正确识别切缘的概率是非 ICG 组的近 30 倍,但其 95% 置信区间极宽,且结论仅基于单项观察性研究,这提示 ICG 荧光成像技术虽具明显优势,但其具体效应量在不同患者个体间波动明显。此外,上述的观察性研究报道,ICG 组与非 ICG 组的 R0 切除率差异无统计学意义^[36-37]。针对手术时间,He 等^[35]开展的 RCT 显示,ICG 组手术时间平均缩短了 32.16 min,但组间差异无统计学意义($MD=-32.16$ min, 95% CI -68.67~4.35 min;低确定性证据)。Handgraaf 等^[36]同样未发现手术时间差异有统计学意义($MD=3$ min, 95% CI -14.43~20.43 min;极低确定性证据)。这 2 项研究的效应值(MD)表现出不一致性:在 RCT 中

手术时间缩短,可能得益于 ICG 荧光成像技术加速了病灶定位;而在观察性研究中手术时间略有延长,原因可能是术中探查到了更多隐匿病灶需要额外处理,或耗费了额外时间排查假阳性荧光信号。

综合上述 3 项研究,ICG 组在正确识别切缘、改变手术决策及缩短手术时间方面均较非 ICG 组展现出一定优势。然而,关键阳性结果多源自观察性研究,整体证据级别较低;加之研究纳入的数据混杂了不同部位的原发肿瘤,病种的异质性可能会对结局评估造成干扰。尽管如此,现有数据趋势仍支持在术中应用 ICG 荧光成像技术辅助评估肝转移。此外,指南对 ICG 荧光成像技术与现有替代方案进行了横向比较:传统开放手术中依赖触觉反馈存在增加术后总体并发症发生率的风险;术前微弹簧圈定位技术用于标记微小肿瘤或转移灶时,存在非特异性和时间延迟的局限;亚甲蓝染色虽为一种备选方案,但染料一旦向目标区域外扩散,极易导致手术视野混淆。相比之下,ICG 被证实是一种安全性高且相对高效的临床选择。

专家组强调,尽管应用 ICG 荧光成像技术探测肝转移灶具有重要的临床推荐价值,但受限于当前数据的样本选择偏倚风险,未来亟须开展包括大型 RCT 在内的研究以补充高质量的对比性证据。同时,ICG 给药方案(如注射方式、时间窗)及术中荧光信号定量测量方法的标准化,将直接影响最终的手术结局,应成为下一步研究的重点。值得注意的是,人工智能在这一领域极具应用潜力,借助计算机视觉技术自动量化荧光强度,以及通过算法滤除背景噪声,可将原本依赖肉眼主观评估的荧光强弱转化为具有统一标准的客观数据。此外,具有更高肿瘤靶向性的新型放射性同位素和成像系统可能在未来展现出优于 ICG-FIGS 技术的潜力,学界应积极开展此类新型靶向示踪剂与 ICG 的头对头对比评估。

KQ3:在术中识别原发性癌症时,是否应使用 ICG?

推荐建议: 专家组建议在术中使用 ICG 荧光成像技术来识别患者的腹部原发性癌症(有条件推荐,证据确定性中等)。需要注意注射方式、新辅助治疗史、肿瘤类型和 ICG 剂量的变异性。

ICG 荧光成像技术作为一种安全的实时外科导航工具,其重要临床应用之一即为原发性肿瘤

的识别(涵盖肿瘤定位及切缘界定)^[3]。然而,该技术在腹腔原发性恶性肿瘤探查中的确切效用尚存争议。KQ3 旨在评估术中应用 ICG 荧光成像检测原发性癌灶的临床价值。

共 11 项研究被纳入分析^[6,38-47],包括 1 项偏倚风险较低的 RCT(Liu 等^[47])和 10 项观察性研究。纳入研究的肿瘤类型具有异质性:4 项(含上述 RCT)聚焦于肝脏肿瘤,6 项为胃恶性肿瘤,1 项涉及胰头肿瘤。当前证据核心权重高度依赖单项 RCT,但其样本量仅 50 例,且仅局限于肝细胞癌。其余 10 项观察性研究虽在数量上占优,但逾半数存在高偏倚风险,其主要作用在于提供佐证以确认效应方向的一致性,尚不足以提供高质量的因果推断依据。综合分析表明,除手术时间外,其余所有结局指标的点估计值均倾向于支持 ICG 荧光成像技术;RCT 与 1 项观察性研究均提示 ICG 组在改变治疗方案方面具有更优的临床表现;RCT 结果还显示,ICG 组正确识别切缘的概率更高。在 R0 切除率和手术时间方面,ICG 组与对照组的差异无统计学意义。

在针对肝脏肿瘤的研究中,ICG 的给药策略存在显著差异。尽管所有研究均采用术前静脉注射,但部分研究联合了术中“正染”或“负染”技术。具体而言,若主要目的是显影肝脏肿瘤实体,常采取术前约 7 d 静脉给药,该策略与肝转移灶的显影逻辑一致;若旨在显影拟切除的肝段(以指导解剖性肝切除),则可于术中实施“正染”(肝脏离断前经门静脉分支注射)或“负染”(阻断靶向门静脉蒂后经静脉注射)。影响 KQ3 结局评估的亚组变量主要为原发肿瘤类型(如肝胆、胰腺或胃肠道肿瘤)。此外,在阐释数据时,需细分肝脏恶性肿瘤的亚型(区分原发性肝癌与转移性肝癌),并应充分评估患者的新辅助治疗史。不同的肿瘤生物学行为与既往治疗史可显著干扰荧光显像效果,进而影响预后评估。例如,原发性肝癌常合并肝炎或肝硬化,受损的肝脏背景功能会延迟 ICG 代谢,进而导致全肝背景荧光增强、信噪比下降;此外,新辅助化疗药物诱导的药物性肝损伤亦可能产生类似的显影干扰。

尽管目前缺乏大样本的 RCT 数据,但专家组并未因此否定 ICG 的临床价值,而是基于其极高的效应量[如治疗方案改变的 OR 值为 21.00(95%CI 4.92~89.56)]给出了支持性建议。“正确识别切缘”

被视作核心关键因素,对最终的推荐决策影响最大;R0切除率的潜在提升也具备重要的临床意义,二者构成了专家组推荐将ICG荧光成像技术应用于肝癌与胃癌手术的主要循证依据。然而必须承认,当前可纳入的研究数量有限,且“强证据”(RCT)仅局限于原发性肝细胞癌。对于胃癌和其他腹腔肿瘤,虽有大量观察性数据予以支持,但仍缺乏高质量的对比性研究确证其效果。未来亟待解决的问题包括:针对各类病种与临床情境的ICG给药时机和剂量尚需严格标准化;明确该技术在不同的病理场景下是否存在应用差异,并在急诊手术中进一步验证其真实临床价值。

KQ6: 接受食管癌切除术的患者在进行食管吻合术前,是否应使用ICG以提高吻合质量

推荐建议: 专家组建议接受食管癌切除术的患者在进行食管吻合时使ICG荧光成像技术(有条件推荐,证据确定性极低)。

尽管ICG荧光成像技术被广泛认为是评估食管吻合质量的潜在辅助手段,但其确切的临床有效性证据尚存争议。KQ6旨在评估ICG-FIGS能否有效改善吻合口局部血流灌注,从而降低食管吻合口漏的发生率。

指南纳入了3项回顾性队列研究^[48-50],其中1项偏倚风险较低,2项偏倚风险较高。值得注意的是,所有纳入研究均未报告吻合口狭窄、吻合后再次切除以及吻合后局部修补等结局指标。合并数据显示,ICG组发生吻合口漏的概率降低(每1000例患者中,使用ICG可以减少65例吻合口漏),考虑到食管吻合口漏极高的致死率和临床治疗难度,该获益在临床上具有极为重要的价值。而在再次手术、吻合前离断点的改变、再次干预方面,两组的差异无统计学意义。

鉴于纳入证据均为观察性研究,且其中2项因组间基线缺乏可比性而导致偏倚风险较高,故当前证据的总体确定性被评定为极低。未来亟须开展高质量的RCT以确证ICG荧光成像技术在预防食管吻合口漏中的实际作用。然而,尽管现有数据质量受限,但所有临床结局指标的效应趋势均一致支持应用ICG荧光成像技术。

此外,专家组强调食管吻合口漏是一个由多因素驱动的复杂并发症。在实施食管吻合前,对管状胃的血流灌注进行精准评估至关重要。当ICG荧光成像提示预定吻合区血供欠佳时,术者通常

会切除该缺血段,重新寻找血运良好的位点以改变离断点。但须警惕的是,切除范围的增加会导致残留重建组织变短,这可能致使吻合口张力增大,进而增加局部缺血和远期狭窄的风险,最终影响吻合质量。因此,未来的临床研究应针对“因术中ICG荧光成像异常提示而改变离断点”的特定亚组人群,重点评估其吻合口漏的真实发生率。同时,ICG荧光成像技术的应用并非孤立的,必须与优化患者个体状态和精进外科操作流程等其他综合策略协同进行,方能最大程度地降低吻合口漏的发生率并减轻相关并发症的危害。

4 可合理选择的临床适应证

KQ1: 是否建议在术中识别胸导管时使用ICG

推荐建议: 与标准方法相比,使用ICG荧光成像技术是辅助术中识别胸导管的一个合理选择。

胸导管损伤导致的乳糜胸在成人食管切除术中发生率为2%~12%,儿童心胸外科手术中的发生率为0.85%~6.60%,乳糜胸发生后严重影响患者预后,增加二次手术风险及非手术治疗死亡率^[51-52]。由于胸导管的解剖位置深且变异较大,传统识别极具挑战。然而,此问题的相关证据相当有限,指南一共纳入5项研究(1项交叉对比研究^[53]和4项单臂研究,当中包含1项儿科患者研究^[54])。各研究的给药途径差异较大,包括术中小肠系膜内注射(Barnes等^[53])及术前皮下/脚趾间注射ICG^[51-52, 54]。

胸导管识别方面:Yang等^[51]和Vecchiato等^[52]的单臂研究发现ICG对胸导管的识别率分别为93%和100%。但唯一的对比研究显示,ICG组与对照组的识别率差异无统计学意义($OR=0.82$, $95\%CI\ 0.14\sim4.74$)^[53]。

损伤识别方面:单臂研究报道的损伤检出率为7%~12.5%^[55]。在对比研究中,损伤识别的 OR 值高达18.04($95\%CI\ 0.92\sim354.91$)^[53],此强烈的临床信号提示ICG荧光成像技术能极大协助术者发现肉眼难以辨别的微小淋巴管损伤,以便即时修补。

乳糜胸发生率方面:成人研究(含交叉与单臂)中ICG组均未发生乳糜胸;仅在新生儿单臂研究中报告了12.5%的乳糜漏发生率^[54]。

受限于样本稀缺、研究异质性大(给药方式与

人群混杂), 现有数据不足以生成循证推荐意见。但专家组一致认为, 在首次手术中, 使用 ICG 识别胸导管和处理术后渗漏优于高风险的直接解剖游离。鉴于其负面影响极小, ICG 荧光成像是一个值得考虑的合理辅助选项。未来需开展高质量对比研究以建立给药标准, 目前专家组更倾向于小肠系膜根部注射, 认为其比腹股沟途径更快捷且可重复性更高。

KQ7: 减重手术或修正性减重手术进行胃肠吻合术前, 是否应使用 ICG 以提高吻合质量?

推荐建议: ICG-FIGS 是辅助初次或修正性减重手术的一个合理的选择, 但目前没有足够的证据确定这一点。

吻合口漏与胃漏是减重手术中备受关注的并发症。早期 Meta 分析提示首次腹腔镜胃旁路术后漏的发生率为 0.1%~8.3%, 但近期数据显示首次手术后的吻合口漏发生率已普遍低于 1%^[56-57]。修正性胃旁路手术的漏发生率虽曾高达 19%, 但近期亦大幅降至 0.7%~2.3%^[56, 58]。

KQ7 仅纳入 2 项观察性研究, 且 ICG 均为吻合后经胃管腔内给药。Kalmar 等^[59]的研究因可比性差而存在高偏倚风险; 另一项交叉研究虽偏倚风险较低, 却因混用亚甲蓝而引入了混杂因素^[60]。受限于样本量小、基础事件发生率低及证据确定性极低, 当前研究均未能证实使用 ICG 荧光成像技术可显著降低吻合口漏发生率。

然而, 在“吻合后局部修补”这一结局上, 2 项研究(共 445 例)的汇总分析表明, ICG 组实施局部修补的概率增高($OR=9.61, 95\%CI 1.02\sim90.18, P=0$; 极低确定性证据)。这提示 ICG 荧光成像技术能有效揭示潜在血运不佳并引导术者当场行预防性修补, 但这种术中决策的改变能否切实转化为远期并发症的减少, 仍需大样本 RCT 予以验证。

尽管当前证据存在严重缺陷且无定论, 但专家组一致认为, 由于 ICG 荧光成像技术引入的负面风险极小, 其对于外科医生而言仍是一个合理的辅助选择。尤其在面对修正性手术、广泛组织剥离及解剖结构改变等存在微循环损伤风险的复杂高危病例时, 使用 ICG-FIGS 评估灌注是一项安全的兜底手段。

KQ8: 在接受拖出式手术的儿科患者中, 是否应使用 ICG 以提高吻合质量?

推荐建议: 与标准手术程序相比, ICG-FIGS

是辅助儿科拖出式手术实施的一个合理选择。

小儿拖出式手术(如 Swenson、Duhamel、Soave 术式)主要用于治疗先天性巨结肠及高位肛门直肠畸形。与成人肿瘤手术基于恶性浸润范围切除不同, 该手术切除线主要取决于神经节细胞的分布。此类手术术后并发症风险较高, 一项全国性研究显示其 30 d 和 1 年再入院率分别达 20% 和 36%^[61]。

目前该领域仅有 1 项纳入 13 例患者的单臂研究, 且无对照组^[62]。研究通过静脉给药 ICG, 结果显示吻合口漏发生率为 7.69%(1/13), 再次手术率为 7.69%(1/13), 未报告狭窄; 值得注意的是, 在 30.77%(4/13) 的病例中, ICG 荧光成像技术促使术者更改了预定的离断点。尽管单臂小样本研究数据的效力有限, 且 7.9% 的漏发生率略高于该手术 1%~8% 的常规预期水平^[63-65], 但切除范围的改变(切除更多组织)强烈提示 ICG 在预防吻合口漏方面具有潜在价值。

然而, 该技术的推广面临现实阻碍: 小儿外科常用的 4 mm 腹腔镜镜头往往不具备 FIGS 功能, 设备可及性较差; 且患儿的年龄、畸形类型、病理严重程度及术式选择等亚组因素极其复杂, 均会显著影响预后。专家组小儿外科医师一致认为, ICG 荧光成像技术不仅有助于术中识别解剖分界线, 还能明确评估血流灌注。借鉴成人结直肠吻合数据, ICG 荧光成像技术很可能是小儿拖出式手术的有益辅助手段。尽管受限于样本量极小、设备尺寸不匹配及病理特异性(需同时兼顾神经功能与血供)而暂无确凿证据, 专家组仍建议将其作为一种低风险、潜在高收益的辅助工具, 并呼吁未来开展高质量对照研究。

5 实操落地: ICG 给药方案探讨

指南纳入的研究显示, ICG-FIGS 在胃肠外科中的应用场景主要归纳为三大类: 解剖结构识别、肿瘤及转移灶探测, 以及组织血流灌注评估。针对吻合口血供等组织灌注评估(KQ5、KQ6、KQ7、KQ8), 临床均采用术中静脉注射 ICG, 并常规辅以生理盐水冲管, 以确保药物以“团注(bolus)”形式迅速抵达靶区域。在肝转移灶(KQ2)及原发癌(KQ3)的探测中, 为利用 ICG 在肿瘤组织中廓清迟缓、滞留时间长于正常肝组织的特性, 通常需在术前(提前 48 h 甚至 7 d)进行静脉给药, 待正常组织排泄后, 肿瘤区域即可形成高对比度的“反向

染色”。针对淋巴结或引流区域的导航定位(KQ4),则采用肿瘤周边局部注射。值得注意的是,在辅助胸导管识别时,成人与儿童的给药途径截然不同:儿童采用皮下或脚趾间注射,依赖淋巴回流显影;而成人则需直接注射于小肠系膜内。

相比之下,国内相关专家共识将 ICG 给药途径主要划分为静脉注射与瘤周注射两大类^[66]。在静脉给药方面,国内外共识指南均强调“静脉注射+生理盐水冲管”的给药模式。而国内共识进一步细化推荐了“0.5 ml 生理盐水+0.5 ml ICG+0.5 ml 生理盐水”的“三明治”式注射法,利用盐水隔离层有效防止染料溢出并促进药物均匀扩散。在瘤周注射方面,SAGES 指南的论述较为宏观,而国内共识则将其细分为消化内镜下黏膜下注射与腔镜(或直视)下浆膜下注射。国内共识明确指出,术中浆膜下注射易发生定位偏移及染料渗漏污染手术视野,其精准度不及内镜下黏膜下注射(术前或术中)。此外,注射浓度在不同解剖层次亦有严格要求:采用浆膜下直接注射时,若浓度过高,极易引发荧光猝灭或过度晕染从而干扰视野,因此需将常规浓度稀释 20~50 倍(黏膜下常规浓度为 1.25~2.5 g/L,而浆膜下建议浓度降至 0.05 g/L)。

综合指南各关键问题可见,不同应用场景下

ICG 的推荐剂量与给药方式存在细微差异。部分研究中给药时间窗口的跨度较大(如术前 48 h 与术前 7 d 的对比),这提示尽管存在典型参考剂量,但真实的临床实践仍具较强变异性,术者需结合具体指南推荐与患者个体化特征进行动态调整(表 2)。

6 总结与展望

指南指出,除 KQ5(结直肠吻合)外,其余各领域的现有证据质量均不甚理想。其中,KQ1(胸导管)、KQ7(减重手术)与 KQ8(儿科)因缺乏对照研究而无法进行 GRADE 分级,仅能形成“专家意见”;KQ6(食管吻合)亦仅基于 3 项观察性研究,证据确定性被评为“极低”。未来亟须针对食管癌、胃癌淋巴结清扫及其他良性疾病应用开展前瞻性 RCT,以夯实高级别循证基础。

在临床操作层面,现阶段各研究在 ICG 给药途径、剂量与时机上异质性显著,ISFGS 相关标准在临床实践中尚未被严格遵循。未来研究务必详实记录给药细节及成像参数。值得期待的是,人工智能在客观量化荧光强度、消除视觉主观偏倚方面被寄予厚望。此外,ICG 设备的昂贵造价及其含碘属性,客观上限制了其在资源匮乏地区及碘过敏群体中的普及。因此,研发低成本或无染料的替

表 2 基于指南的 ICG 注射方案与剂量汇总

关键问题	手术/步骤	注射类型/部位	典型剂量	注射时间
KQ 1	胸导管识别	儿童:皮下、脚趾间注射;成人:注射至小肠系膜的中外侧区域	儿童:0.025 mg;成人:25 mg/10 ml ^a	儿童:术前 1 h;成人:术中
KQ 2	远处转移灶识别;肝脏	静脉注射	0.5 mg/kg	术前:根据 ISFGS 建议为术前 7 d;根据本指南纳入的研究至少术前 48 h
KQ 3	原发癌识别	静脉注射	0.5 mg/kg	肝癌:术前 7 d;然而本指南纳入的部分研究为术前 48 h
KQ 4	术中淋巴结识别	肿瘤周边区域	肿瘤每个象限注射 0.5~1 ml	术前或术中
KQ 5	结直肠吻合口灌注	静脉注射	7.5 mg(范围 5~10 mg), ICG 浓度 2.5 g/L+10 ml 生理盐水冲管	术中
KQ 6	食管吻合口灌注	静脉注射	3 ml ICG+10 ml 生理盐水冲管 ^b	术中
KQ 7	减重手术中的灌注	静脉注射	3 ml ICG+10 ml 生理盐水冲管 ^b	术中
KQ 8	儿科拖出式手术	静脉注射	0.1~0.3 mg/kg	术中

注:^a25 mg ICG 溶于 10 ml 灭菌水,最终浓度为 2.5 g/L;^b使用标准配比浓度(2.5 g/L)ICG 溶液 3ml(即 7.5 mg ICG),再用 10 ml 生理盐水冲管。ICG,吖啶菁绿;ISFGS,国际荧光引导外科学会;KQ,关键问题。

代显影技术以提升医疗可及性亦势在必行。

在结局评价指标上,目前多数研究局限于术中即刻指标(如切除线变更率、淋巴结检出数)或短期并发症,严重缺乏无病生存期或复发率等生存数据。未来研究的核心应向以患者为中心的远期结局(涵盖肿瘤复发、生活质量以及排便控制、吻合口狭窄等功能学结局)倾斜。同时,鉴于外科操作的专业壁垒,后续临床试验设计应将“术者经验”纳入协变量以评估 ICG 荧光成像技术的学习曲线,从而厘清究竟是技术本身效用受限,还是术者操作熟练度带来的偏倚。

综上所述,ICG 荧光成像技术虽前景广阔且在特定领域应用渐趋成熟,但多数场景仍处于临床探索的早期阶段。学界的未来攻坚方向必须从单纯的可行性探索,全面转向标准化大样本 RCT 的构建与长期肿瘤学获益的深度验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

人工智能使用声明 本文未使用任何人工智能相关工具对文字及图表进行处理

参考文献

- [1] Dai Zhangyi, Shen Cheng, Mi Xingqi, et al. The primary application of indocyanine green fluorescence imaging in surgical oncology[J]. *Front Surg*, 2023, 10: 1077492.
- [2] Sun Liting, Meng Cong, Zhang Zhongtao, et al. Opportunities and challenges of indocyanine green in gastrointestinal cancers for intraoperative and nano-medicine application [J]. *Cancer Nanotechnol*, 2024, 15 (1): 12.
- [3] Roh C K, Choi S, Seo W J, et al. Indocyanine green fluorescence lymphography during gastrectomy after initial endoscopic submucosal dissection for early gastric cancer[J]. *Br J Surg*, 2020, 107(6): 712-719.
- [4] Cianchi F, Indennitate G, Paoli B, et al. The clinical value of fluorescent lymphography with indocyanine green during robotic surgery for gastric cancer: a matched cohort study [J]. *J Gastrointest Surg*, 2020, 24 (10): 2197-2203.
- [5] Chen Qiyue, Xie Jianwei, Zhong Qing, et al. Safety and efficacy of indocyanine green tracer-guided lymph node dissection during laparoscopic radical gastrectomy in patients with gastric cancer: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Surg*, 2020, 155(4): 300-311.
- [6] Lu Xiaofeng, Liu Song, Xia Xuefeng, et al. The short-term and long-term outcomes of indocyanine green tracer-guided laparoscopic radical gastrectomy in patients with gastric cancer [J]. *World J Surg Oncol*, 2021, 19(1): 271.
- [7] Liu Maoxing, Xing Jiadi, Xu Kai, et al. Application of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in totally laparoscopic distal gastrectomy [J]. *J Gastric Cancer*, 2020, 20(3): 290-299.
- [8] Chen Xiaoning, Zhang Zhengwei, Zhang Feng, et al. Analysis of safety and efficacy of laparoscopic radical gastrectomy combined with or without indocyanine green tracer fluorescence technique in treatment of gastric cancer: a retrospective cohort study [J]. *J Gastrointest Oncol*, 2022, 13(4): 1616-1625.
- [9] Huang Zening, Tang Yihui, Zhong Qing, et al. Assessment of laparoscopic indocyanine green tracer-guided lymphadenectomy after neoadjuvant chemotherapy for locally advanced gastric cancer [J]. *Ann Surg*, 2024, 280(1): 110-118.
- [10] Kwon I G, Son T, Kim H I, et al. Fluorescent lymphography-guided lymphadenectomy during robotic radical gastrectomy for gastric cancer [J]. *JAMA Surg*, 2019, 154(2): 150-158.
- [11] Lan Y T, Huang K H, Chen P H, et al. A pilot study of lymph node mapping with indocyanine green in robotic gastrectomy for gastric cancer [J]. *SAGE Open Med*, 2017, 5: 2050312117739088.
- [12] Munechika T, Kajitani R, Matsumoto Y, et al. Safety and effectiveness of high ligation of the inferior mesenteric artery for cancer of the descending colon under indocyanine green fluorescence imaging: a pilot study [J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(4): 1696-1702.
- [13] Hasegawa H, Tsujinaka S, Miura H, et al. Near-infrared imaging using indocyanine green for assessment of bowel perfusion in colorectal surgery [J]. *Dis Colon Rectum*, 2022, 65(7): e703-e710.
- [14] Osterkamp J, Strandby R, Nerup N, et al. Intraoperative near-infrared lymphography with indocyanine green may aid lymph node dissection during robot-assisted resection of gastroesophageal junction cancer [J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(3): 1985-1993.
- [15] Park S, Berlth F, Choi J, et al. Near-infrared fluorescence-guided surgery using indocyanine green facilitates secure infrapyloric lymph node dissection during laparoscopic distal gastrectomy [J]. *Surg Today*, 2020, 50(10): 1187-1196.

- [16] Puccetti F, Cinelli L, Genova L, et al. Applicative limitations of indocyanine green fluorescence assistance to laparoscopic lymph node dissection in total gastrectomy for cancer [J]. *Ann Surg Oncol*, 2022, 29 (9): 5875–5882.
- [17] Romanzi A, Mancini R, Ioni L, et al. ICG–NIR–guided lymph node dissection during robotic subtotal gastrectomy for gastric cancer: a single–centre experience [J]. *Int J Med Robot*, 2021, 17(2): e2213.
- [18] Wei Meng, Liang Yize, Wang Limei, et al. Clinical application of indocyanine green fluorescence technology in laparoscopic radical gastrectomy [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 847341.
- [19] Zhang Yuxin, Zhang Yujie, Zhu Jinghan, et al. Clinical application of indocyanine green fluorescence imaging in laparoscopic lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma: a pilot study (with video) [J]. *Surgery*, 2022, 171(4): 1025–1031.
- [20] Zhou Sicheng, Tian Yantao, Wang Xuwei, et al. Application of indocyanine green –enhanced near –infrared fluorescence –guided imaging in laparoscopic lateral pelvic lymph node dissection for middle –low rectal cancer [J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(31): 4502–4511.
- [21] Branagan G, Finnis D. Prognosis after anastomotic leakage in colorectal surgery [J]. *Dis Colon Rectum*, 2005, 48 (5): 1021–1026.
- [22] Chiarello M M, Fransvea P, Cariatì M, et al. Anastomotic leakage in colorectal cancer surgery [J]. *Surg Oncol*, 2022, 40: 101708.
- [23] Gessler B, Eriksson O, Angenete E. Diagnosis, treatment, and consequences of anastomotic leakage in colorectal surgery [J]. *Int J Colorectal Dis*, 2017, 32(4): 549–556.
- [24] Alekseev M, Rybakov E, Shelygin Y, et al. A study investigating the perfusion of colorectal anastomoses using fluorescence angiography: results of the FLAG randomized trial [J]. *Colorectal Dis*, 2020, 22 (9): 1147–1153.
- [25] Watanabe J, Takemasa I, Kotake M, et al. Blood perfusion assessment by indocyanine green fluorescence imaging for minimally invasive rectal cancer surgery (EssentiAL trial): a randomized clinical trial [J]. *Ann Surg*, 2023, 278(4): e688–e694.
- [26] Jafari M D, Pigazzi A, Mclemore E C, et al. Perfusion assessment in left–sided/low anterior resection (PILLAR III): a randomized, controlled, parallel, multicenter study assessing perfusion outcomes with PINPOINT near –infrared fluorescence imaging in low anterior resection [J]. *Dis Colon Rectum*, 2021, 64(8): 995–1002.
- [27] Gach T, Bogacki P, Orzeszko Z, et al. Fluorescent ICG angiography in laparoscopic rectal resection – a randomized controlled trial. Preliminary report [J]. *Videosurg Other Miniinv Tech*, 2023, 18(3): 410–417.
- [28] Faber R A, Meijer R P J, Droogh D H M, et al. Indocyanine green near –infrared fluorescence bowel perfusion assessment to prevent anastomotic leakage in minimally invasive colorectal surgery (AVOID): a multicentre, randomised, controlled, phase 3 trial [J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2024, 9(10): 924–934.
- [29] De Nardi P, Elmore U, Maggi G, et al. Intraoperative angiography with indocyanine green to assess anastomosis perfusion in patients undergoing laparoscopic colorectal resection: results of a multicenter randomized controlled trial [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(1): 53–60.
- [30] Tirelli F, Lorenzon L, Biondi A, et al. ‘4 –Check’ protocol for intraoperative anastomotic assessment during transanal total mesorectal excision: retrospective cohort study [J]. *BJS Open*, 2023, 7(4): znad206.
- [31] Eltaweel M M, Mohamadain A H. The value of intraoperative indocyanine green angiography to assess anastomotic perfusion and leakage in patients undergoing laparoscopic colorectal resection: a randomized controlled clinical trial [J]. *Al–Azhar Int Med J*, 2024, 5: 61–66.
- [32] Rahbari N N, Weitz J, Hohenberger W, et al. Definition and grading of anastomotic leakage following anterior resection of the rectum: a proposal by the International Study Group of Rectal Cancer [J]. *Surgery*, 2010, 147 (3): 339–351.
- [33] Pantel K, Cote R J, Fodstad O. Detection and clinical importance of micrometastatic disease [J]. *J Natl Cancer Inst*, 1999, 91(13): 1113–1124.
- [34] Wakabayashi T, Cacciaguerra A B, Abe Y, et al. Indocyanine green fluorescence navigation in liver surgery: a systematic review on dose and timing of administration [J]. *Ann Surg*, 2022, 275 (6): 1025–1034.
- [35] He Kunsha, Hong Xiaopeng, Chi Chongwei, et al. Efficacy of near –infrared fluorescence –guided hepatectomy for the detection of colorectal liver metastases: a randomized controlled trial [J]. *J Am Coll Surg*, 2022, 234(2): 130–137.
- [36] Handgraaf H J M, Boogerd L S F, Hoppener D J, et al. Long–term follow–up after near–infrared fluorescence –

- guided resection of colorectal liver metastases: a retrospective multicenter analysis [J]. *Eur J Surg Oncol*, 2017, 43(8): 1463–1471.
- [37] Wang Gaoming, Luo Ying, Qi Weijun, et al. Determination of surgical margins in laparoscopic parenchyma-sparing hepatectomy of neuroendocrine tumors liver metastases using indocyanine green fluorescence imaging [J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(6): 4408–4416.
- [38] Zhang Peng, Luo Huoling, Zhu Wen, et al. Real-time navigation for laparoscopic hepatectomy using image fusion of preoperative 3D surgical plan and intraoperative indocyanine green fluorescence imaging [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(8): 3449–3459.
- [39] Yoon B W, Lee W Y. The oncologic safety and accuracy of indocyanine green fluorescent dye marking in securing the proximal resection margin during totally laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a retrospective comparative study [J]. *World J Surg Oncol*, 2022, 20(1): 26.
- [40] Yao Shunyu, Zhang Luyuan, Ma Jinliang, et al. Precise right hemihepatectomy for the treatment of hepatocellular carcinoma guided by fusion ICG fluorescence imaging [J]. *J Cancer*, 2020, 11(9): 2465–2475.
- [41] Ushimaru Y, Omori T, Fujiwara Y, et al. The feasibility and safety of preoperative fluorescence marking with indocyanine green (ICG) in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer [J]. *J Gastrointest Surg*, 2019, 23(3): 468–476.
- [42] Nishino H, Hatano E, Seo S, et al. Real-time navigation for liver surgery using projection mapping with indocyanine green fluorescence: development of the novel medical imaging projection system [J]. *Ann Surg*, 2018, 267(6): 1134–1140.
- [43] Lu Chao, Xu Biwu, Mou Yiping, et al. Laparoscopic duodenum-preserving pancreatic head resection with real-time indocyanine green guidance of different dosage and timing: enhanced safety with visualized biliary duct and its long-term metabolic morbidity [J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2022, 407(7): 2823–2832.
- [44] Wang Jianxi, Zou Xiongfeng, Zheng Zehao, et al. Indocyanine green fluorescence-guided laparoscopic hepatectomy versus conventional laparoscopic hepatectomy for hepatocellular carcinoma: A single-center propensity score matching study [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 930065.
- [45] Chen Hao, Wang Yumin, Xie Zhiguo, et al. Application effect of ICG fluorescence real-time imaging technology in laparoscopic hepatectomy [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 819960.
- [46] Aoki T, Murakami M, Koizumi T, et al. Determination of the surgical margin in laparoscopic liver resections using infrared indocyanine green fluorescence [J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2018, 403(5): 671–680.
- [47] Liu Bing, Liu Tian, Su Ming, et al. Improving the surgical effect for primary liver cancer with intraoperative fluorescence navigation compared with intraoperative ultrasound [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 3406–3416.
- [48] Chandler P, Wiesel O, Sherwinter D A. Fluorescence-guided surgery of the esophagus [J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(10): 908.
- [49] Fabbi M, Hagens E R C, van Berge Henegouwen M I, et al. Anastomotic leakage after esophagectomy for esophageal cancer: definitions, diagnostics, and treatment [J]. *Dis Esophagus*, 2021, 34(1): doaa100.
- [50] Cantrell M C, Celso B, Mobley E M, et al. The anastomotic leak triad: preoperative patient characteristics, intraoperative risk factors, and postoperative outcomes [J]. *J Gastrointest Surg*, 2024, 28(10): 1622–1628.
- [51] Yang Feng, Gao Jian, Cheng Sida, et al. Near-infrared fluorescence imaging of thoracic duct in minimally invasive esophagectomy [J]. *Dis Esophagus*, 2023, 36(2): doac050.
- [52] Vecchiato M, Martino A, Sponza M, et al. Thoracic duct identification with indocyanine green fluorescence during minimally invasive esophagectomy with patient in prone position [J]. *Dis Esophagus*, 2020, 33(12): doaa039.
- [53] Barnes T G, Macgregor T, Sgromo B, et al. Near infra-red fluorescence identification of the thoracic duct to prevent chyle leaks during oesophagectomy [J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(7): 5319–5325.
- [54] Shiotsuki R, Uchida H, Tanaka Y, et al. Novel thoracoscopic navigation surgery for neonatal chylothorax using indocyanine-green fluorescent lymphography [J]. *J Pediatr Surg*, 2018, 53(6): 1246–1249.
- [55] Shen Yaxing, Feng Mingxiang, Khan M A, et al. A simple method minimizes chylothorax after minimally invasive esophagectomy [J]. *J Am Coll Surg*, 2014, 218(1): 108–112.
- [56] Jung J J, Jackson T, Gordon L, et al. Intraoperative leak test is associated with lower postoperative bleed rate in primary sleeve gastrectomy: a propensity matched analysis of primary and revision bariatric surgery using

- the MBSAQIP database [J]. Surg Endosc, 2022, 36(1): 753–763.
- [57] Alizadeh R F, Li S, Inaba C, et al. Risk factors for gastrointestinal leak after bariatric surgery: MBASQIP analysis[J]. J Am Coll Surg, 2018, 227(1): 135–141.
- [58] Marshall J S, Srivastava A, Gupta S K, et al. Roux-en-Y gastric bypass leak complications [J]. Arch Surg, 2003, 138(5): 520–523.
- [59] Kalmar C L, Reed C M, Peery C L, et al. Intraluminal indocyanine green for intraoperative staple line leak testing in bariatric surgery [J]. Surg Endosc, 2020, 34(9): 4194–4199.
- [60] Hagen M E, Diaper J, Douissard J, et al. Early experience with intraoperative leak test using a blend of methylene blue and indocyanine green during robotic gastric bypass surgery [J]. Obes Surg, 2019, 29(3): 949–952.
- [61] Quiroz H J, Perez E A, Franklin K N, et al. Pull-through procedure in children with Hirschsprung disease: A nationwide analysis on postoperative outcomes [J]. J Pediatr Surg, 2020, 55(5): 899–903.
- [62] Rentea R M, Halleran D R, Ahmad H, et al. Preliminary use of indocyanine green fluorescence angiography and value in predicting the vascular supply of tissues needed to perform cloacal, anorectal malformation, and hirschsprung reconstructions [J]. Eur J Pediatr Surg, 2020, 30(6): 505–511.
- [63] Tang Shaotao, Wang Guobin, Cao Guoping, et al. 10 years of experience with laparoscopic-assisted endorectal Soave pull-through procedure for Hirschsprung's disease in China[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2012, 22(3): 280–284.
- [64] Peng Chunhui, Chen Yajun, Pang Wenbo, et al. STROBE –anastomotic leakage after pull –through procedure for Hirschsprung disease [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(46): e13140.
- [65] Lu Changgui, Hou Guangjun, Liu Chunyi, et al. Single-stage transanal endorectal pull-through procedure for correction of Hirschsprung disease in neonates and nonneonates: a multicenter study [J]. J Pediatr Surg, 2017, 52(7): 1102–1107.
- [66] 中国抗癌协会胃癌专业委员会, 中华医学会外科学分会胃肠外科学组, 中国医师协会外科医师分会精准医疗专业委员会. 吲哚菁绿标记荧光腹腔镜技术在腹腔镜胃癌根治术中的应用专家共识 [J/CD]. 消化肿瘤杂志(电子版), 2020, 12(4): 271–275.

收稿日期:2026-07-06