中国现代普通外科进展
Chin J Curr Adv Gen Surg
2025年7月 第28卷 第7期 Jul. 2025 Vol. 28 No. 7

三维重建和吲哚菁绿荧光导航技术在精准肝切除术中的应用进展

黄云崧[1] 田虎[2] 韩绍奇[2] 王海晨[1] 李庆麟[1]

[1]山东第一医科大学(山东省医学科学院) (山东 济南 250014)
[2]山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院) 普通外科 (山东 济南 250014)

【摘要】三维重建和吲哚菁绿荧光导航技术在精准肝切除术中的应用不断增加,提高了肝胆外科手术的精准性和安全性,也改善了患者的治疗效果。精准肝切除术要求施术者既要完整切除病灶又要最小的创伤,将肝切除手术提升到了一个新的境界,是目前研究的热点方向。总结三维重建和吲哚菁绿荧光导航技术在目前肝胆外科领域中的应用现状和一些新的技术方法,并讨论了其优点和局限性。

【关键词】三维重建•吲哚菁绿•精准肝切除
【中图分类号】R657.3
【文献标识码】A DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2025.07.010
【文章编号】1009-9905(2025)07-0563-05

肝脏是人体最大的实质性器官,可呈现多样化的病变,如肝良性肿瘤、原发性肝癌、继发性肝癌、肝破裂伤等,对于需要进行手术治疗的病变,常涉及肝切除手术。最先提出“精准肝切除”理念的是董家鸿院士[1],其指出肝脏手术要求在“切除目标病变最大化、保留肝组织功能最大化以及手术创伤最小化”之间寻求平衡,即“3M(Maximizing/Minimizing)”原则[2]。“精准肝切除”要求施术者对肝实质、脉管系统及与其他器官的空间位置关系的解剖有着较高的熟悉程度。目前有较多的文献证明,三维重建与吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光导航技术为肝胆外科领域带来了革命性的改进。三维重建技术能够将二维影像学数据处理、整合,构建出肝脏的三维模型,允许施术者能够在术前观察肝脏结构、肿瘤位置及脉管分布的详细情况,提高了肝脏及各部分的可视化[3-4]。ICG荧光导航技术是通过ICG荧光染色,使施术者能够在术中识别肿瘤与正常肝组织的界限,方便进行根治性切除[5-6]。笔者通过搜索Web of Science、Pubmed和一些中文数据库,筛选符合研究方向的文献,进一步整理、分析并总结。旨在为三维重建和ICG荧光导航技术在精准肝切除术的应用提供有价值的见解。

1 三维重建技术在精准肝切除术的应用

1.1 三维重建技术的基本概念 三维重建技术是通过计算机构建三维模型并进行处理分析的技术。此技术能够准确还原物体的三维立体构造,已应用于虚拟现实、增强现实、3D建模等多个研究方向。三维重建技术应用于医学领域,通常是通过搜集高分辨率螺旋CT扫描得到的薄层影像学数据,利用专业的医学影像分析软件进行个体化三维立体模型的重建[7]。

1.2 三维重建技术应用于精准肝切除的术前规划 三维重建技术可以在术前对肝脏进行个体化的分段,还可以显示脉管的变异以及至门静脉、肝静脉等血管的3~4级分支实际分布情况,帮助规划手术路径(图1)[8]。Shindoh等[9]研究表明,在解剖性肝切除中,完全切除肿瘤的3级门静脉区域可以降低肿瘤复发、转移的风险。在重建的肝脏三维模型

[基金项目]济南市科学技术局临床医学科技创新计划项目(202225060)
[通信作者]田虎,E-mail: tianhu6585@163.com

里，施术者可以模拟手术过程进行虚拟肝切除[10]。根据虚拟肝切除的结果来优化手术路径，制定更精确、更安全的手术方案。

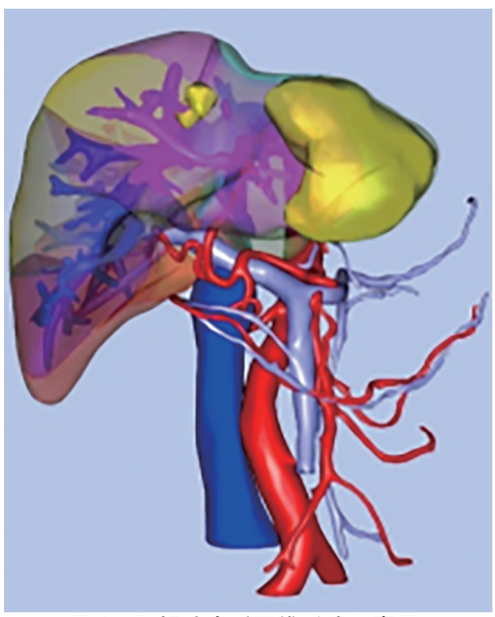


图 1　肝切除术后三维重建示意图

3D 打印技术是一种新兴的制造技术，与三维重建技术紧密相关。其以传统的三维重建技术为基础，计算机建造三维模型后再通过仪器扫描最终转换成 3D 物理实体模型[11]。有研究表明，3D 打印的物理模型有助于进一步促进肝切除手术的规划，还在促进临床教学方面有一定优势[12-13]。由于目前 3D 打印技术还在发展阶段，其打印出的模型存在较多局限性，如模拟性符合度差、造价昂贵、实用性有待商榷等，因此并未在肝胆外科领域广泛应用。尽管如此，随着医学技术的不断进步，3D 类器官打印技术可以替换和修复部分受损器官，有望广泛应用于肝胆外科领域[14]。

1.3　三维重建技术应用于评估肝脏解剖结构和脉管分布

1.3.1　三维重建技术应用于评估肝脏解剖结构　肝脏的解剖结构由英国学者 Glisson 教授最先进行了较为系统的描述[15]。他首次指出了肝脏内部的纤维鞘结构，即包裹肝动脉、门静脉和胆管的纤维组织。1954 年法国解剖学学者 Couinaud 教授基于肝静脉的分布情况提出将肝脏分为 8 个功能独立的段，是肝脏外科手术重要的解剖学基础[16]。随着对肝脏解剖研究的深入，Couinaud 分段的局限性逐渐显现，越来越多的学者提出新的更符合实际解剖的肝脏分段方法，但 Couinaud 分段方法仍然是肝脏解剖学的基石。

三维重建技术目前能够个性化地肝脏分段，满足实际的肝脏解剖需求；还能术前估算预切肝体积、预留肝脏体积、标准化肝体积、残肝比等，预测患者术后的肝脏代偿能力。特别是肝硬化或肝功能不全的患者，能有效降低术后肝衰竭的发生率和死亡率[17]。三维重建辅助技术能够对肝脏病变进行精准的定位，优于传统手术方案治疗。Shindoh 等[18]通过观察肝脏三维重建后的图像，研究了肝段间的平面解剖，并指出施术者在执行解剖性肝切除时，安全准确操作的关键在于识别和追踪标志性的静脉。Zeng 等[19]通过对 3402 例 HCC 肝切除患者的对比分析，证实 3D 组的手术时间、并发症和术后复发率都明显低于 2D 组。Santambrogio 等[20]研究表示，三维重建技术还对腹腔镜肝肿瘤射频消融术有指导意义。Banchini 等[21]对 47 篇文献进行回顾性总结，结论是肝脏三维重建技术有助于外科医师制定肝脏手术计划，提高手术切除的准确性。丁向民等[22]聚焦于三维重建技术应用于肝门部胆管癌根治术术前规划，指出基于高分辨率螺旋 CT 的肝门部胆管癌的术前三维重建，在肝门部胆管癌术前评估、治疗规划等方面均有重要作用。Boretto 等[23]研发了一项新技术，该技术利用光学跟踪系统，结合腹腔镜和超声波成像，实现对肝脏全面、实时的三维重建，旨在解决术前与术中图像之间的解剖差异问题 。但是此技术尚未在临床实践中得到应用，其实际效果有待进一步验证。

1.3.2　三维重建技术应用于评估肝脏脉管分布　三维重建技术能够清晰地展示肝静脉、肝动脉、门静脉流域范围，展示邻近肝肿瘤或侵犯肝肿瘤的脉管结构。Granieri 等[24]报道了 11 例复杂肝切除的病例，指出在三维重建的帮助下，才可能检测到肝脏脉管的变异，有助于制定最合适的手术方案。Fang 等[25]通过研究肝内静脉与肝肿瘤的位置关系，分析肝静脉系统的异质性，证实三维重建系统指导的肝切除手术是最佳选择 。肝脏脉管的变异非常常见[26]。Rhu 等[27]、Tutkuviene 等[28]对门静脉的变异进行了系统研究 ，Sureka 等[29]对肝静脉的变异进行了系统描述 。三维重建技术的特性是高度的可视化，使观察肝脏脉管及解剖变异变得更简单。完善的手术方案能最大限度地减少肝脏脉管系统的损伤，降低患者术后出血、胆漏等相关并发症的风险。

2　ICG 荧光导航技术在精准肝切除术的应用

2.1　ICG 荧光技术的基本概念　荧光技术是通过使用荧光团标记的抗体直接检测抗原，使其显示荧光反应[30]。ICG 在肝胆外科领域的应用可追溯至 20 世纪 80 年代。2009 年，Ishizawa 等[31]首次将近红外荧光技术应用于 HCC 肝切除术。此后，近红外荧光

成像技术在肝胆外科的使用频率呈现出逐年上升的趋势。ICG能被近红外光谱（约820 nm）中特定波长的光或激光束激发，形成荧光[32-33]。随着腹腔镜技术的发展及ICG自身的安全性和效果可靠性，ICG荧光导航技术广泛应用于肝胆外科腹腔镜手术中，包括HCC的术中识别、引导肝肿瘤切除及判断胆管损伤等[34]。

2.2　ICG荧光导航技术应用于肝肿瘤的切除　根据ICG由肝细胞吸收的原理，可以将肝肿瘤大致分为肝细胞癌（hepatocellular carcinoma, HCC）和其他肿瘤两大类。HCC结合ICG，表现出持续的荧光信号[35]，并经胆道系统随胆汁排出。一部分HCC或低分化HCC可能表现为荧光缺失或环形荧光，可能与肿瘤的分化程度或病理类型有关[36]。对于其他肿瘤，如肝转移癌、肝血管瘤等，肿瘤自身不摄取ICG，但正常肝细胞摄取ICG后经胆道排泄过程因肿瘤压迫受阻，表现为“环形荧光”或“无荧光”带[37]。见图2。

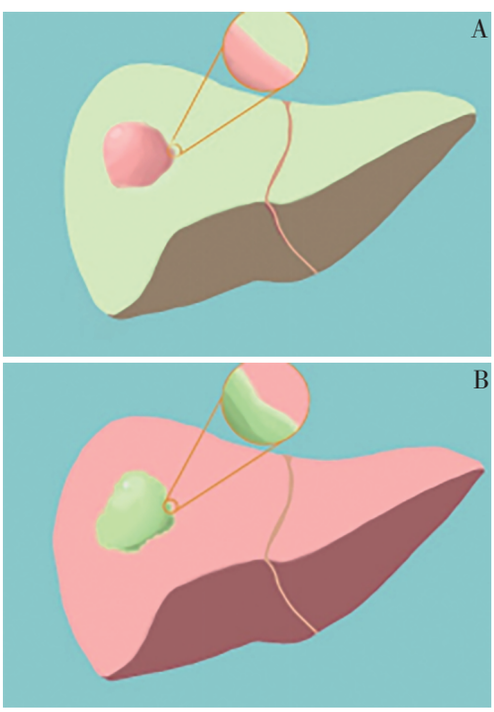


图2　ICG染色示意图

A：非HCC ICG染色；B：HCC ICG染色

注：圆圈内为荧光边界示意图。

大多数ICG给药的时间和剂量为术前14 d内给予0.5 mg/kg静脉注射，但没有最佳的注射剂量和时间[38]。Kobayashi等[39]研究认为，对于肝脏病变，术前1 d注射2.5 mg ICG也可以达到相似的效果。对于合并肝功能受损的肝硬化患者，ICG的代谢和清除速度较慢。Wakabayash等[38]研究表明，ICG给药与手术之间的间隔时间超过7 d，可获得不错的成像效果，但需要进一步研究以确定获得更高特异性的ICG-荧光成像的最佳间隔。针对不同患者情况，实现个体化给药剂量及给药时间，以呈现最佳的手术效果，也是未来的研究方向。

肝肿瘤切除术包括解剖性肝切除术和非解剖性肝切除术。解剖性肝切除术是按照肝脏的功能性分段切除病变累及的肝段，实现最大限度地肿瘤根治性切除，降低术后复发风险。Ishizawa等[40]最先提出了正染与负染技术，正染技术是术中找到目标肝段后，通过将ICG注入肝肿瘤节段的门静脉分支使目标肝段充分显影，特定肝段的荧光染色便于施术者实现精准肝段切除术；负染技术是术中阻断目标肝段的肝蒂根部后，通过外周静脉注射ICG使周围肝段显影。最近研究显示，Kanda等[41]使用两种剂量的ICG建立ICG荧光强度梯度，其有效地识别了肝右后和右前部分以及左叶。肝肿瘤剥除术属于非解剖性肝切除术，是在不切除整个肝段或肝叶的情况下，仅将肿瘤及其周围少量正常肝组织一并切除。目前主要应用于大部分肝脏的良性肿瘤或预估残肝体积不足的肝脏恶性肿瘤，其核心内容是降低手术创伤并最大限度地保留肝脏的正常组织。ICG的应用可以显示肝肿瘤与正常肝组织之间的界线，结合术中超声技术，施术者仅需沿着界线剥除肝肿瘤即可，极大降低了手术难度。ICG荧光技术也存在一定的局限性，其中包括ICG成像无法清楚识别肝脏节段间的平面，因其有时呈现复杂的3D形状；还包括ICG在当前成像系统发射的近红外光下组织穿透有限[42]。如何进一步优化以实现更精确的术中辅助导航，也是急需解决的问题。

2.3　ICG荧光技术应用于肝切除术后胆漏预防　胆漏一直是肝胆外科术后严重的并发症之一，其主要原因是术中检查不充分，未能及时修补受损胆管。Yamamoto等[43]研究并指出术后并发症中胆漏是唯一影响预后的因素。Kaibori等[44]证实ICG的使用明显降低了患者术后胆漏的发生率。ICG荧光为肝切除术中胆管的精准识别和术后胆漏的预防提供了新的技术手段，其精准识别胆管、实时动态监测的优势显著降低了术后胆漏及其他并发症的发生。

3　三维重建技术联合ICG荧光导航在精准肝切除术中的应用

近年来，三维重建技术联合ICG荧光导航在精准肝切除术中展现出巨大的应用潜力。两种技术同时使用可以实现优势互补，为精准肝切除术提供更强大的技术支持。Ni等[45]对11例行术前三维重建技术联合ICG荧光导航的患者进行回顾性研究，通过收集手术时间、术中出血量等临床资料，认为两种技术的联合使用显著缩短了肝脏缺血时间，同

时还能更安全、微创地完成手术，并不会增加患者的经济负担 。Dupré 等[46]也表示：微创、三维重建和 ICG 荧光是进入术中肝脏导航时代的完美组合。

三维重建联合 ICG 荧光导航在复杂肝脏外科手术中具有更大的应用潜力，尤其是对于肿瘤体积巨大或复杂肝段（如肝尾状叶、肝门区等）的肝切除手术[47]。这类手术往往解剖关系复杂，可视化程度较低及肿瘤邻近重要脉管。通过三维重建技术，施术者在术前精准制定个体化的手术方案；结合 ICG 荧光导航，能够在术中实时暴露肿瘤边界。手术的直观性大大提高，进而显著降低了手术难度、提高了手术的安全性。Wei 等[48]报道了 1 例肝脏尾状叶巨大肿瘤的手术患者，指出术前三维重建结合术中 ICG 荧光导航技术，具有手术时间短及失血量少的优点。由于目前缺少高质量的临床证据，期待有更多临床实践和研究，进一步验证其在复杂肝脏手术中的应用潜力。

三维重建联合 ICG 荧光导航技术除了目前在肝胆外科领域的应用，还有应用于肺解剖性节段切除术[49]、肾上腺切除术[50]、结直肠切除术[51]等的报道，并有着不错的手术效果。未来有望应用在更多临床领域中，展示出更大的应用价值。

4　结语

三维重建和 ICG 荧光导航技术为精准肝切除术提供了新的辅助手段，极大提高了手术的精准性、安全性和有效性，为患者提供了更精确、更有效、更个体化的手术实施。ICG 个体化的用量及用法、三维重建的标准等需要临床指南指导技术实施，并且需要更多的高质量证据证明其优秀的实用性。未来，随着手术技术的不断发展，三维重建和 ICG 荧光导航技术将在精准肝切除术中发挥更重要的作用，为患者带来更好的疗效。

参　考　文　献

[1] Chen H, He Y, Jia W. Precise hepatectomy in the intelligent digital era[J]. Int J Biol Sci, 2020, 16 (3): 365-373. DOI: 10.7150/ijbs.39387.

[2] Dong JH, Yang SZ, Zeng JP, et al. Precision in liver surgery[J]. Semin Liver Dis, 2013, 33(3): 189-203. DOI: 10.1055/s-0033-1351781.

[3] Liu Y, Wang Q, Du B, et al. A meta-analysis of the three-dimensional reconstruction visualization technology for hepatectomy [J]. Asian J Surg. 2023, 46 (2): 669-676. DOI: 10.1016/j. asjsur.2022.07.006.

[4] 王丹璞，赫嵘，贾哲，等. 腹腔镜超声联合 CT 三维重建引导腹腔镜肝切除术[J]. 中国医学影像技术，2024，40（2）：172-176. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2024.02.003.

[5] Gon H, Omiya S, Komatsu S, et al. Efficacy and safety of indocyanine green-fluorescence imaging guided liver resection: a single-arm prospective cohort study[J]. Langenbecks Arch Surg, 2025, 410(1): 34. DOI: 10.1007/s00423-024-03602-7.

[6] 王晓颖. 吲哚菁绿荧光成像技术在肝脏外科应用中国专家共识（2023 版）[J]. 中国实用外科杂志，2023，43（4）：371-383. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.04.02.

[7] Fang C, An J, Bruno A, et al. Consensus recommendations of three-dimensional visualization for diagnosis and management of liver diseases[J]. Hepatol Int. 2020, 14(4): 437-453. DOI: 10.1007/s12072-020-10052-y.

[8] 范应方，向飞，蔡伟，等. 基于三维可视化技术的右半肝门静脉 3D 分型及分段[J]. 南方医科大学学报，2016，36（1）：26-31. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4254.2016.01.05.

[9] Shindoh J, Makuuchi M, Matsuyama Y, et al. Complete removal of the tumor-bearing portal territory decreases local tumor recurrence and improves disease-specific survival of patients with hepatocellular carcinoma[J]. J Hepatol, 2016, 64 (3): 594-600. DOI: 10.1016/j.jhep.2015.10.015.

[10] Zhao Y, Chen T, Wang H, et al. Influence of three-dimensional visual reconstruction tTechnology combined with virtual surgical planning of CTA images on precise resection of liver cancer in hepatobiliary surgery[J]. Comput Math Methods Med, 2022, 2022: 4376654. DOI: 10.1155/2022/4376654.

[11] 孙元，魏丰贤，高超峰，等. 3D 打印技术在肝脏手术中的应用进展[J]. 实用临床医药杂志，2024，28（17）：131-136. DOI: 10.7619/jcmp.20241647.

[12] Jin Z, Li Y, Yu K, et al. 3D printing of physical organ models: Recent developments and challenges[J]. Adv Sci (Weinh), 2021, 8 (17): e2101394. DOI: 10.1002/advs.202101394.

[13] Bastawrous S, Wake N, Levin D, et al. Principles of three-dimensional printing and clinical applications within the abdomen and pelvis[J]. Abdom Radiol(NY), 2018, 43(10): 2809-2822. DOI: 10.1007/s00261-018-1554-8.

[14] 程玮璐，王泽华，张译丹，等. 类器官技术在医疗领域的应用和监管挑战[J]. 中国组织工程研究，2025，29（1）：202-210. DOI: 10.12307/2025.001.

[15] van Gulik TM. Liver anatomy by Francis Glisson[J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2022, 11(4): 502-503. DOI:10.21037/hbsn-2022-17.

[16] Juza RM, Pauli EM. Clinical and surgical anatomy of the liver: a review for clinicians[J]. Clin Anat, 2014, 27 (5): 764-769. DOI: 10.1002/ca.22350.

[17] 龚文锋，陆战，张志远，等. 标准残肝体积预测肝癌合并肝硬化患者半肝切除术后肝功能衰竭的临床研究[J]. 中国肿瘤临床，2018，45(5)：232-236. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8179.2018.05.500.

[18] Shindoh J, Mise Y, Satou S, et al. The intersegmental plane of the liver is not always flat--tricks for anatomical liver resection[J]. Ann Surg, 2010, 251(5): 917-922. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181d773ae.

[19] Zeng X, Tao H, Dong Y, et al. Impact of three-dimensional reconstruction visualization technology on short-term and long-term outcomes after hepatectomy in patients with hepatocellular carcinoma: a propensity-score-matched and inverse probability of treatment-weighted multicenter study[J]. Int J Surg, 2024, 110 (3): 1663-1676. DOI: 10.1097/JS9.0000000000001047.

[20] Santambrogio R, Vertemati M, Barabino M, et al. Laparoscopic microwave ablation: Which technologies improve the results[J]. Cancers (Basel), 2023, 15(6): 1814. DOI: 10.3390/cancers15061814.

[21] Banchini F, Capelli P, Hasnaoui A, et al. 3-D reconstruction in liver

surgery: a systematic review[J]. HPB (Oxford), 26(10): 1205-1215. DOI: 10.1016/j.hpb.2024.06.006.

[22] 丁向民，柏斗胜，蒋国庆，等.聚焦胆管可切除性评估——医学影像技术和三维重建在肝门部胆管癌根治术术前规划中的应用[J].中国现代普通外科进展，2024，27(10)：789-793. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2024.10.007.

[23] Boretto L, Pelanis E, Regensburger A, et al. Intraoperative patient-specific volumetric reconstruction and 3D visualization for laparoscopic liver surgery[J]. Healthc Technol Lett, 2024, 11(6): 374-383. DOI: 10.1049/htl2.12106.

[24] Granieri S, Bassetto S, Bonomi A, et al. Three-dimensional reconstruction technology in the preoperative workup of complex hepatic resections. Our experience on 11 consecutive cases[J]. Updates Surg, 2024, 76(6): 2221-2228. DOI: 10.1007/s13304-024-01921-4.

[25] Fang C, Zhang Y, Fan Y, et al. Three-dimensional reconstruction of individual hepatic veins and portal veins system in hepatectomy[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2014, 52(1): 45-49. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2014.01.011.

[26] Layton BM, Lapsia SK. The Portal Vein: A Comprehensive Review[J]. Radiographics. 2023, 43(11): e230058. DOI: 10.1148/rg.230058.

[27] Rhu J, Kim MS, Choi GS, et al. Laparoscopic living donor right hepatectomy regarding the anatomical variation of the portal vein: A propensity score-matched analysis[J]. Liver Transpl, 2021, 27(7): 984-996. DOI: 10.1002/lt.26050.

[28] Tutkuviene J, Navakauskaite A, Narutyte R, et al. Hepatic portal vein branching patterns according to different liver assessment methods and classifications of branching type[J]. Ann Anat, 2024, 252: 152204. DOI: 10.1016/j.aanat.2023.152204.

[29] Sureka B, Sharma N, Khera PS, et al. Hepatic vein variations in 500 patients: surgical and radiological significance[J]. Br J Radiol, 2019, 92(1102): 20190487. DOI: 10.1259/bjr.20190487.

[30] Stewart HL, Birch DJS. Fluorescence guided surgery[J]. Methods Appl Fluoresc, 2021, 9(4): 1-26. DOI: 10.1088/2050-6120/ac1dbb.

[31] Ishizawa T, Fukushima N, Shibahara J, et al. Real-time identification of liver cancers by using indocyanine green fluorescent imaging[J]. Cancer. 2009, 115(11): 2491-2504. DOI: 10.1002/cncr.24291.

[32] Luo S, Zhang E, Su Y, et al. A review of NIR dyes in cancer targeting and imaging[J]. Biomaterials, 2011, 32(29): 7127-7138. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.024.

[33] Pardo Aranda F, Gené škrabec C, López-Sánchez J, et al. Indocyanine green (ICG) fluorescent cholangiography in laparoscopic cholecystectomy: Simplifying time and dose[J]. Dig Liver Dis, 2023, 55(2): 249-253. DOI: 10.1016/j.dld.2022.10.023.

[34] Kaneko J, Kokudo T, Inagaki Y, et al. Innovative treatment for hepatocellular carcinoma (HCC)[J]. Transl Gastroenterol Hepatol, 2018, 3: 78. DOI: 10.21037/tgh.2018.10.04.

[35] Allaire M, Goumard C, Lim C, et al. New frontiers in liver resection for hepatocellular carcinoma[J]. JHEP Rep, 2020, 2(4): 100134. DOI: 10.1016/j.jhepr.2020.100134.

[36] 曾思略，曾宁，祝文，等.三维可视化联合吲哚菁绿荧光影像技术在原发性肝癌诊治中的价值[J].南方医科大学学报，2019，39(12)：1402-1408. DOI: 10.12122/j.issn.1673-4254.2019.12.03.

[37] 张哲，张云梅，杨润波，等.吲哚菁绿荧光显像技术在腹腔镜肝细胞癌切除术中应用的研究进展[J].现代肿瘤医学，2024，32(6)：1158-1162. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2024.06.032.

[38] Wakabayashi T, Cacciaguerra AB, 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. DOI: 10.1097/SLA.0000000000005406.

[39] Kobayashi K, Kawaguchi Y, Kobayashi Y, et al. Identification of liver lesions using fluorescence imaging: comparison of methods for administering indocyanine green[J]. HPB (Oxford), 2021, 23(2): 262-269. DOI: 10.1016/j.hpb.2020.06.006.

[40] Ishizawa T, Zuker NB, Kokudo N, et al. Positive and negative staining of hepatic segments by use of fluorescent imaging techniques during laparoscopic hepatectomy[J]. Arch Surg, 2012, 147(4): 393-394. DOI: 10.1001/archsurg.2012.59.

[41] Kanda S, Nishino H, Nishio T, et al. Novel technique for liver segmentation by fluorescence intensity gradient using two different doses of indocyanine green[J]. Ann Surg Oncol, 2025, 32(4): 2479-2480. DOI: 10.1245/s10434-024-16736-1.

[42] Urade T, Sawa H, Iwatani Y, et al. Laparoscopic anatomical liver resection using indocyanine green fluorescence imaging[J]. Asian J Surg, 2020, 43(1): 362-368. DOI: 10.1016/j.asjsur.2019.04.008.

[43] Yamamoto M, Kobayashi T, Kuroda S, et al. Impact of postoperative bile leakage on long-term outcome in patients following liver resection for hepatocellular carcinoma[J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 2020, 27(12): 931-941. DOI: 10.1002/jhbp.750.

[44] Kaibori M, Ishizaki M, Matsui K, et al. Intraoperative indocyanine green fluorescent imaging for prevention of bile leakage after hepatic resection[J]. Surgery, 2011, 150(1): 91-98. DOI: 10.1016/j.surg.2011.02.011.

[45] Ni ZK, Lin D, Wang ZQ, et al. Precision liver resection: Three-dimensional reconstruction combined with fluorescence laparoscopic imaging[J]. Surg Innov, 2021, 28(1): 71-78. DOI: 10.1177/1553350620954581.

[46] Dupré A, Come P, Buiron C, et al. ASO Author reflections: minimally invasive surgery, three-dimensional(3D) reconstruction and indocyanine green fluorescence: The perfect combo to enter the era of intraoperative liver navigation[J]. Ann Surg Oncol, 2024, 31(13): 9247. DOI: 10.1245/s10434-024-16017-x.

[47] 赖子森，吕嘉晖，刘广文，等.超声引导下经皮经肝门静脉穿刺注射吲哚菁绿在腹腔镜解剖性肝切除术中的应用价值[J].中华消化外科杂志，2024，23(12)：1544-1549. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20241120-00500.

[48] Wei F, Jin L, Zhang C. Pure laparoscopic resection of a large caudate-lobe mass guided by three-dimensional reconstruction and green fluorescence navigation[J]. Asian J Surg, 2023, 46(2): 1111-1112. DOI: 10.1016/j.asjsur.2022.07.140.

[49] Mun M, Okumura S, Nakao M, et al. Indocyanine green fluorescence-navigated thoracoscopic anatomical segmentectomy[J]. J Vis Surg, 2017, 3: 80. DOI: 10.21037/jovs.2017.05.06.

[50] Palomba G, Dinuzzi VP, Pegoraro F, et al. The role of intraoperative indocyanine green(ICG) and preoperative 3-dimensional (3D) reconstruction in laparoscopic adrenalectomy: A propensity score-matched analysis[J]. Surg Laparosc Endosc Percutan Tech, 2022, 32(6): 643-649. DOI: 10.1097/SLE.0000000000001105.

[51] Sacchi M, Foppa C, Carrano FM, et al. Laparoscopic right colectomy after previous colonic resection-the importance of three-dimensional CT angiography reconstruction and indocyanine green fluorescence-a video vignette[J]. Colorectal Dis, 2020, 22(11): 1778-1779. DOI: 10.1111/codi.15182.

（收稿日期：2025-01-25）