

荧光导航腹腔镜胃癌根治术中淋巴结示踪效率的影响因素及临床应用价值评估

邹林蔓

中国人民解放军第三〇二医院 100039

【摘要】：吲哚菁绿（ICG）荧光导航技术是腹腔镜胃癌根治术中的重要辅助手段，通过近红外荧光成像实时显影淋巴引流路径，旨在提高淋巴结清扫的精准性与彻底性。本文系统综述了影响 ICG 淋巴结示踪效率的关键因素，包括示踪剂的注射方案（浓度、剂量、时间、部位）、肿瘤相关因素（分期、部位、新辅助治疗）、成像设备性能及术者经验等。临床证据表明，该技术能显著增加淋巴结清扫总数，尤其是胰腺上区等复杂区域的淋巴结获取，降低淋巴结清扫不符合率，并可能提高阳性淋巴结的检出能力，且不增加围手术期并发症。其在早期胃癌前哨淋巴结活检及进展期胃癌系统性清扫中均展现出应用潜力。然而，示踪方案尚未统一，对患者长期生存的获益仍需更多高级别循证医学证据支持。未来需通过标准化操作流程、开发新型靶向示踪剂及开展多中心长期随访研究，以进一步明确和拓展其临床应用价值。

【关键词】：胃癌；腹腔镜根治术；吲哚菁绿；荧光成像；淋巴结示踪；影响因素；临床应用

引言

胃癌是全球常见的恶性肿瘤之一，根治性手术联合淋巴结清扫是治愈性治疗的核心。腹腔镜胃癌根治术因其微创优势已广泛开展，但术中淋巴结清扫的彻底性与精准性仍是影响患者预后的关键。传统腹腔镜手术依赖术者经验在“白光”视野下辨别淋巴结与脂肪组织，存在遗漏微小淋巴结或转移灶的风险。实现术中淋巴结的可视化导航成为胃癌微创外科的重要发展方向。

吲哚菁绿（Indocyanine Green, ICG）荧光导航技术应运而生。ICG 是一种经美国食品药品监督管理局（FDA）批准使用的近红外荧光染料，其激发波长约为 750-810 nm，发射波长约为 840 nm。当 ICG 被注射至肿瘤周围组织后，可被淋巴系统摄取并随淋巴液引流，在近红外荧光腹腔镜系统下显影为亮绿色，从而实现淋巴管和淋巴结的实时、动态可视化。该技术为外科医生提供了超越肉眼观察的“第二视野”，有望使淋巴结清扫从依赖经验的“盲扫”迈向精准引导的“靶向清扫”。

自本世纪初探索性应用以来，ICG 荧光导航技术在胃癌手术中的价值日益受到关注。既有研究证实其能提高淋巴结检出数目，但也有研究对其普遍有效性提出争议。这种差异提示，ICG 的示踪效率受到多种因素影响。同时，其临床应用价值不仅体现在增加淋巴结数量，更关乎手术质量、病理分期准确性乃至患者长期生存。因此，系统分析影响 ICG 淋巴结示踪效率的因素，并全面评估其临床应用价值，对于推动该技术的规范化与个体化应用具有重要意义。

1. 荧光导航淋巴结示踪效率的影响因素

ICG 荧光导航的示踪效率，即其在术中清晰、准确、稳定地显影目标淋巴结的能力，受多重因素制约。这些因素可归纳为技术因素、患者与肿瘤因素以及设备与操作者因素。

1.1 技术因素：示踪剂注射方案

注射方案是影响示踪效果最直接且可调控的关键因素。

注射浓度与剂量：浓度过高可能导致荧光过强、背景弥散，影响对深部或微小淋巴结的辨别；浓度过低则显影信号弱，易被遗漏。目前临床常用浓度为 0.5-2.5 mg/mL，单点注射剂量多为 0.1-0.5 mL，总剂量通常不超过 5 mg。一项专家共识推荐使用 2.5 mg/mL 的 ICG，采用四象限黏膜下注射法，每点注射 0.5 mL。然而，最佳浓度与剂量尚未达成国际统一标准，是导致不同研究结果异质性的的重要原因之一。

注射时间：注射与手术之间的间隔时间决定了 ICG 在淋巴系统中的分布状态。术前 24 小时内注射是常见选择，可使 ICG 有充分时间被淋巴管吸收并引流至区域淋巴结，同时避免因时间过长导致荧光过度弥散或消退。有研究采用术前 1 天注射的方案。术中注射虽能即时显影，但可能无法完整显示整个淋巴引流路径。

注射部位与方式：注射部位通常选择肿瘤周围的黏膜下层或浆膜下层。黏膜下注射（常通过术前胃镜完成）更便于 ICG 被毛细淋巴管吸收，是目前主流方式。注射点位多采用肿瘤周围 3、6、9、12 点位的四象限环形注射，以确保对各个方向淋巴引流的全面示踪。精准的黏膜下注射是保证淋巴系统有效摄取示踪剂的前提。

1.2 患者与肿瘤因素

肿瘤分期与生物学特性：早期胃癌与进展期胃癌的淋巴引流模式可能不同。早期胃癌淋巴转移率较低，ICG主要用于前哨淋巴结（SLN）的精准定位与活检。而对于进展期胃癌，肿瘤可能阻塞淋巴管，导致ICG引流不畅或出现异常引流路径，影响示踪的完整性和准确性。研究显示，ICG对T3-4期、III期胃癌患者的淋巴结清扫数量提升作用更为显著。

肿瘤部位：胃不同部位的淋巴引流方向各异（如胃窦部主要流向幽门下区，胃体部流向脾门区等）。注射点若未能覆盖主要引流方向，可能导致相应区域淋巴结显影不佳。

新辅助治疗的影响：新辅助化疗可能导致淋巴结纤维化、坏死或淋巴管闭塞，从而改变ICG的分布与摄取。有研究指出，在新辅助治疗后，ICG提升淋巴结清扫数量的效果可能受限，仅对部分淋巴结站别（如第7、8、12a组）有显著作用。这提示对于接受新辅助治疗的患者，ICG的示踪效率和应用策略可能需要重新评估。

1.3 设备与操作者因素

成像系统性能：荧光腹腔镜系统的灵敏度、分辨率、信噪比以及荧光与白光图像的融合质量，直接影响术中荧光信号的识别。高性能设备能更清晰地显示深部组织内的微弱荧光信号。

术者经验与学习曲线：外科医生对荧光图像的理解、对ICG引流模式的认知以及根据荧光导航调整手术策略的能力，需要通过一定的病例积累来培养。经验丰富的术者能更有效地利用荧光信息，区分真正的淋巴结荧光与背景组织或弥散荧光，从而提高清扫的针对性和效率。

2. 荧光导航技术的临床应用价值评估

2.1 提高淋巴结清扫的彻底性与质量

多项高质量临床研究证实，ICG荧光导航能显著增加腹腔镜胃癌根治术的淋巴结清扫总数。一项前瞻性随机对照试验（FUGES-012研究）结果显示，ICG组平均获取淋巴结50.5枚，显著高于非ICG组的42.0枚。类似的回顾性研究也支持这一结论，ICG组淋巴结清扫数量可达48.6枚，而非ICG组为37.2枚。更重要的是，该技术能有效降低淋巴结清扫不符合率（即未按指南要求完成标准范围清扫），从57.4%降至31.8%。这表明ICG不仅增加了淋巴结数量，更提升了清扫的规范性和完整性，尤其在胰腺上区（第7、8、9、11组淋巴结）等解剖复杂、易遗漏的区域，其优势更为明显。

2.2 增强阳性淋巴结的识别能力

ICG荧光导航可能有助于识别转移淋巴结。研究表明，显影淋巴结中阳性淋巴结的检出数量和比例均高于未显影淋巴结。ICG对转移淋巴结的诊断灵敏度约为68.4%，而对非显影淋巴结的阴性预测值高达94.6%。这意味着，若某一淋巴引流区域内未见荧光显影，则该区域存在转移淋巴结的可能性极低。这一特性对于早期胃癌的前哨淋巴结导航手术（SNNS）尤为重要，有望在保证肿瘤学安全的前提下，为选择性缩小淋巴结清扫范围（如行D1或D1+清扫）提供依据，从而实现个体化、功能保留性手术。最新的专家共识也推荐将ICG作为早期胃癌双镜联合前哨淋巴结导航手术的示踪剂。

2.3 改善手术安全性与围手术期结局

现有的循证医学证据表明，吲哚菁绿（ICG）荧光导航技术在显著提升淋巴结检出数的同时，并未对手术效率造成负面影响。多项回顾性研究及Meta分析显示，与传统肉眼观察相比，ICG组在手术时长、术中出血量以及术后总体并发症发生率方面均无统计学差异，证实了其良好的操作兼容性与安全性。ICG作为一种经美国FDA批准的水溶性染料，其分子结构中不含碘元素，极少引发过敏反应，且主要通过肝胆系统代谢，对肝肾功能影响甚微，具有极高的药理安全性。

更为重要的是，该技术凭借其实时血管造影与淋巴管示踪功能，能够清晰界定淋巴结与周围脉管、神经及脏器的解剖边界。这不仅有助于术者精准辨识并保留重要功能结构（如避免输尿管损伤或神经损伤），从而有效降低手术副损伤风险，还可能通过减轻术中应激反应，促进术后肠道功能的早期恢复（如缩短排气排便时间），进而加速患者康复（ERAS）进程。

2.4 对肿瘤分期与预后判断的潜在价值

在肿瘤外科中，“清扫彻底”与“分期准确”互为因果。ICG荧光导航通过提高微小及隐匿淋巴结的检出率，显著降低了病理N分期（pN分期）的低估风险。准确的pN分期是制定术后辅助治疗方案（如化疗、免疫治疗指征）的决策基石，避免因分期偏差导致的过度治疗或治疗不足。

关于其对生存预后的直接影响，目前的临床证据尚存争议。多数短期随访研究尚未观察到ICG导航能带来显著的总生存期（OS）或无病生存期（DFS）获益。然而，从肿瘤生物学角度看，更彻底的系统性清扫理论上能够清除潜在的微转移灶，从而降低局部复发率。特别是针对局部晚期胃癌患者，部分研究提示ICG引导下的精细化清扫可能改善无病生存率并减少区域复发。未来，仍需通过设计

严谨的大样本、多中心、长期随访的前瞻性随机对照试验（RCT），以确证该技术对患者远期生存的实质性贡献。

2.5 在不同手术平台的应用拓展与普适性

ICG 荧光导航技术的价值不仅限于单一术式，其在不同微创手术平台间展现出了卓越的兼容性与普适性。除了传统多孔腹腔镜中广泛应用外，该技术已无缝整合至以“达芬奇（da Vinci）”为代表的机器人手术系统中。

研究证实，在机器人辅助胃癌根治术中应用 ICG 荧光成像，同样能显著提高 D1 及 D2 清扫区域内淋巴结的检出数量，且未增加额外的围手术期风险（如中转开腹率或吻合口瘘发生率）。这一发现具有重要意义：它表明无论手术器械的操作自由度如何变化，ICG 所提供的“分子级”视觉增强功能始终是提升手术质量的有效辅助。这种跨平台的适应能力，极大地拓展了 ICG 技术在精准微创外科领域的应用边界，为不同资源配置的医疗中心提供了标准化的质控工具。

3. 当前局限性与未来展望

尽管 ICG 荧光导航技术前景广阔，但仍存在局限。首先，ICG 是一种非特异性示踪剂，它仅显示淋巴引流路径，无法区分淋巴结的良恶性。显影的淋巴结包含反应性增生淋巴结，而部分微小转移灶或完全被肿瘤取代的淋巴结可能因淋巴引流中断而不显影，导致假阴性。其次，如前所述，

技术操作尚未标准化，影响了结果的一致性与可比性。最后，该技术增加了一定的医疗成本。

未来发展方向包括：1) 制定标准化操作指南：通过多中心合作研究，明确最佳的 ICG 注射参数（浓度、剂量、时机、部位）和成像设置。2) 开发靶向性示踪剂：研究能够特异性结合肿瘤细胞或转移淋巴结的荧光探针，实现真正意义上的“肿瘤靶向导航”。3) 开展长期疗效研究：设计严谨的前瞻性随机对照试验，重点评估该技术对患者长期生存率的影响。4) 探索个体化应用场景：根据肿瘤分期、部位、是否接受新辅助治疗等因素，制定差异化的 ICG 导航策略，实现精准医疗。

结论

吲哚菁绿荧光导航技术为腹腔镜胃癌根治术的淋巴结清扫带来了革命性的辅助工具。其示踪效率受到示踪剂注射方案、肿瘤特性及手术设备等多因素影响。当前充分的临床证据表明，该技术能安全、有效地提高淋巴结清扫的彻底性和规范性，提升阳性淋巴结检出潜力，并有助于实现早期胃癌的精准个体化治疗。虽然其对患者长期生存的最终影响有待进一步证实，且操作流程有待规范，但毋庸置疑，ICG 荧光导航已成为胃癌微创外科迈向精准化、可视化的重要阶梯，具有广阔的临床应用价值和深化研究空间。

参考文献

- [1] 黄昌明, 林国生, 黄泽宁, 等. 吲哚菁绿标记荧光示踪技术在腹腔镜胃癌根治术中的应用 [J]. 中华胃肠外科杂志, 2022, 25(9): 785-792.
- [2] 李国新. 胃癌微创外科研究新进展 [J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(3): 201-207.
- [3] 黄昌明, 郑华龙, 王福海, 等. 胃癌微创外科的研究与技术进展 [J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(1): 65-69.
- [4] 燕速, 刘云荣, 屠霖. 局部晚期胃癌转化治疗中是否推荐使用吲哚菁绿荧光示踪技术 [J]. 中华胃肠外科杂志, 2024, 27(7): 654-659.
- [5] 陈宣羽, 朱陈, 林思颖, 等. 吲哚菁绿近红外光成像示踪技术应用于达芬奇机器人胃癌根治术中 D2 淋巴结清扫的安全性和有效性 [J]. 南京医科大学学报 (自然科学版), 2025, 45(10): 1-7.
- [6] 赵群, 田园, 杨沛刚, 等. 淋巴导航技术在胃癌微创手术中的研究进展 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2022, 29(22): 1888-1894.
- [7] 蔡天翼, 刘凤林. 荧光腹腔镜在胃癌淋巴结清扫中的应用价值及难点剖析 [J]. 中华胃肠外科杂志, 2022, 25(4): 289-294.