

AI 时代三维可视化联合荧光显影在肝胆外科实习教学中的随机对照研究

林泽宇¹ 龚佳英² 林泽锦³ 李 婕⁴ 黄潇越¹ 李国林¹ (通讯作者)

1. 中山大学附属第六医院肝胆胰脾外科, 广东 广州 510655

2. 中山大学附属第六医院放射诊断科, 广东 广州 510655

3. 上海交通大学医学院附属同仁医院普外科, 上海 200336

4. 中山大学附属第六医院教务处, 广东 广州 510655

摘要: 目的 评价术前三维可视化影像联合术中吲哚菁绿 (ICG) 荧光显影的多模态可视化教学在肝胆外科本科实习生外科思维培养中的效果与学习体验。方法 纳入 2020 年 9 月至 2021 年 3 月在中山大学附属第六医院肝胆外科实习的本科实习生 30 名, 随机分为经典教学组与三维联合荧光组各 15 名。两组均采用肝胆外科手术图谱及人民卫生出版社《外科学》教材教学; 经典组结合无荧光手术视频; 三维联合荧光组增加术前三维可视化讲解、结合术中 ICG 荧光显影的手术视频及现场手术演示。教学 2 周, 共 6 学时。结局指标为闭卷考试成绩及 Likert 5 级量表满意度问卷 (学习积极性与自主学习、三维空间理解与应用、应用解剖指导术中决策理解、职业兴趣及总体满意度)。结果 两组均完成教学干预。三维联合荧光组闭卷考试成绩高于经典组 [(90.2 ± 3.8) 分 vs (84.8 ± 2.8) 分, $P < 0.001$]。满意度问卷显示, 三维联合荧光组上述各维度评分均高于经典组 (均 $P < 0.001$)。结论 术前三维可视化影像联合术中 ICG 荧光显影的多模态可视化教学可显著提升肝胆外科本科实习生知识考核成绩与学习体验, 促进由理论解剖向应用解剖转化并强化外科思维与术中决策理解, 具有推广价值。

关键词: 肝胆外科; 三维可视化; 荧光显影; 外科思维; 医学教育

0 引言

外科学强调在真实情境中将理论知识转化为临床操作与决策能力, 其中人体解剖学是连接知识、技能与决策的关键纽带。

然而, 传统以教材与经验传授为主的教学方式, 往往更侧重识记性解剖, 难以帮助实习生形成可用于手术规划与术中判断的应用解剖框架。与此同时, 医院亚专科分工日益精细, 本科实习生在单一专科的轮转时间被进一步压缩, 如何在有限时段内提升其对肝胆外科的兴趣与理解, 并建立基于解剖信息开展临床推理与决策的外科思维模式, 成为带教工作面临的现实挑战。

肝胆系统解剖结构复杂、变异多见, 充分掌握患者个体化的血管与胆道解剖信息, 对术前规划与术中决策至关重要。临床带教中常见的情况是: 实习生虽能借助术前 CT/MRI 描述解剖关系, 但在面对切除范围、离断结构与风险控制等具体手术问题时, 仍难以完成从影像信息到手术策略的推理闭环。近年来, 三维可视化数字影像在肝胆血管、胆管等结构重建中的应用不断拓展^[1-4]; 同时, 腹腔镜技术发展使高质量手术视频与术中成像更易于教学。尤其是吲哚菁绿 (ICG) 荧光显影可在术中增强关键解剖结构的可视化, 有助于将看到的结构与拟行

的决策进行关联^[5-8]。基于此, 本研究构建术前三维可视化影像联合术中 ICG 荧光显影的多模态可视化教学模式, 评价其对肝胆外科本科实习生外科思维培养的效果。

1 方法

1.1 一般资料

选取中山大学附属第六医院 2020 年 9 月至 2021 年 3 月在肝胆外科实习的本科生 30 名作为研究对象, 采用随机分组方法分为经典教学组与三维联合荧光组, 每组 15 名。经典教学组平均年龄 (22.3 ± 0.8) 岁, 三维联合荧光组平均年龄 (22.9 ± 1.2) 岁; 两组男女比例均为 1:1。两组实习生在年龄、性别及平时学习成绩等方面差异无统计学意义。

1.2 教学方法

1.2.1 经典教学组

经典教学组采用肝胆外科手术图谱与人民卫生出版社相关教材 (如《外科学》、《局部解剖学》和《肝胆胰外科手术图谱》等) 进行教学, 以 PPT 理论讲授、影像阅片与常规手术录像学习为主, 结合组内讨论与总结归纳完成教学。

1.2.2 三维联合荧光组

三维联合荧光组除接受与经典教学组相同的基础教学外,还结合患者术前三维影像、ICG 荧光手术视频及现场手术观摩开展教学。相关病例和影像资料均来自中山大学附属第六医院肝胆胰脾外科。实施流程如下:

(1) 带教过程中,教师选择 2-3 例具有代表性的病例,由实习生了解病史后完成病例汇报。随后结合患者术前 CT 或 MRI 资料,对病变部位、周围血管和胆道关系以及拟采取的手术方式进行讨论,使学生在病例分析阶段即开始关注解剖特点与手术处理之间的联系。

(2) 在二维影像分析基础上,进一步调取患者肝胆系统三维重建模型。教师通过旋转、缩放和选择性显示不同结构,讲解肝内血管、胆道走行及 Couinaud 肝脏分段,并结合病灶位置帮助学生建立较为直观的空间概念(图 1)。

(3) 之后利用三维模型演示肝部分切除、胆囊切除等手术过程,重点讨论切除范围及术中可能涉及的血管和胆管,再结合对应病例的 ICG 荧光手术录像和现场手术观摩,让学生比较术前模型与真实手术视野中解剖结构的异同,从而理解影像解剖信息在手术判断中的实际作用(图 2)。

(4) 课程结束后,将三维影像及相关手术视频提供给实习生进行复盘。学生可在课后反复查看,对存在疑问的内容在组内交流,并由带教教师进行补充和总结。

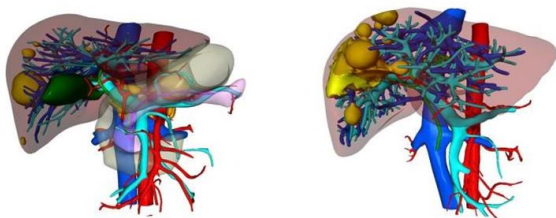


图 1 术前三维可视化影像用于多角度理解肝胆系统解剖及病灶空间关系



图 2 术中 ICG 荧光显影在肝切除与胆囊切除教学中的应用示例

1.3 观察指标

两组均完成 2 周、共 6 学时的教学。课程结束后,通过闭卷考试和问卷调查评价教学效果。

(1) 闭卷考试:采用百分制,70 分及以上为及格。考核内容涉及肝门解剖、肝内血管和胆道走行、肝脏分段、病灶定位,以及肝叶或肝段切除范围、胆囊切除相关要点等。

(2) 满意度问卷:采用 Likert 5 级评分,主要了解实习生对教学方式的实际感受,包括学习积极性和自主学习意愿、肝胆系统三维空间理解及应用、应用解剖与手术决策之间关系的理解、未来从事肝胆外科工作的兴趣以及对教学方式的总体满意程度。

1.4 统计方法

采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。闭卷考试成绩均以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验。满意度问卷为 Likert 5 级有序等级资料,以中位数(P25, P75)表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。所有检验均为双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 闭卷考试成绩

两组实习生均完成教学干预。三维联合荧光组闭卷考试成绩(90.2 ± 3.8)分,高于经典教学组(84.8 ± 2.8)分,差异有统计学意义($P < 0.001$)(表 1)。

表 1 两组闭卷考试成绩比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均成绩	P
经典教学组	15	84.8 ± 2.8	
三维联合荧光组	15	90.2 ± 3.8	< 0.001

注:数据以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示; P 值采用独立样本 t 检验(双侧)计算。

2.2 满意度问卷结果

共发放问卷 30 份,回收 30 份,回收率 100%。与经典教学组相比,三维联合荧光组在学习积极性与自主学习、三维空间理解与应用、应用解剖指导术中决策理解、职业兴趣及总体满意度等维度评分均更高,差异均具有统计学意义(均 $P < 0.001$)(表 2、图 3)。

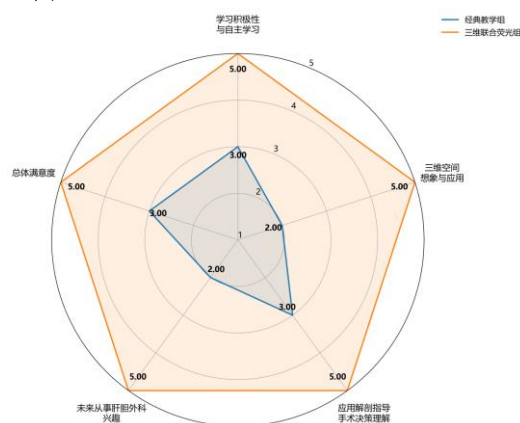


图 3 教学满意度调查各维度评分雷达图(中位数)

表2 两组教学满意度各维度评分比较 [中位数 (P25, P75)]

维度	经典教学组	三维联合荧光组	P
①调动学习积极性和自主学习的兴趣	3.00 (2.50, 3.00)	5.00 (4.00, 5.00)	<0.001
②提高对肝胆系统解剖的三维空间想象和应用能力	2.00 (2.00, 3.00)	5.00 (4.50, 5.00)	<0.001
③更易理解和掌握应用解剖指导手术决策的作用	3.00 (2.00, 3.00)	5.00 (4.50, 5.00)	<0.001
④激发未来拟从事肝胆外科工作的兴趣	2.00 (1.00, 3.00)	5.00 (4.00, 5.00)	<0.001
⑤对教学方法满意度	3.00 (2.50, 3.00)	5.00 (5.00, 5.00)	<0.001

注：问卷采用 Likert 5 级量表评分 (1=非常不同意, 5=非常同意)；数据以中位数 (P25, P75) 表示；两组比较采用 Mann-Whitney U 检验 (双侧), $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 讨论

《中国本科医学教育标准——临床医学专业 (2016 版)》强调本科临床训练应具备基于证据进行临床判断与决策的能力^[9]。对肝胆外科实习生而言, 掌握解剖学知识并不等同于能够将其应用于临床决策; 带教的关键在于促进其将影像所见转化为手术情境下的结构识别、风险评估与策略选择。

手术视频教学因其直观性和临场感已成为外科教学的重要载体^[10-14], 能够帮助学习者理解手术流程与操作要点。但在肝胆外科场景中, 单纯依赖常规视频往往难以完整呈现肝静脉、门静脉与胆管分支等关键结构, 初学者容易停留在看懂步骤的层面, 而难以理解相应手术操作所依据的解剖学逻辑。对此, 本研究将术前三维可视化影像作为结构化空间认知的支撑工具: 三维模型可按需求显示/隐藏、放大/缩小关键解剖结构, 从多平面、多角度强化个体化解剖教学^[15-17], 并通过虚拟模拟将解剖结构与切除范围、离断策略进行显性关联, 从而降低由二维影像到三维空间理解的门槛。

此外, ICG 荧光显影能在术中增强脉管结构或肝实质边界的可视化^[18-21], 使抽象的解剖概念获得动态、直观的验证通道。将荧光视频与现场演示纳入教学, 有助于学习者把模型所见与术中所见对照, 形成更稳定的空间表征与决策逻辑。与此同时, 三维可视化和虚拟现实技术已逐步应用于医学教育及肝脏手术

训练^[22-24], 人工智能在肝胆胰外科中的应用也不断拓展^[25-26], 实时荧光成像则为术中解剖识别和临床决策提供了新的技术支持^[27-28]。本研究结果显示, 三维联合荧光组在知识考核与满意度多维度评价中均优于经典教学组, 提示多模态可视化教学能在短周期内改善学习效果与学习体验, 促进从理论解剖到应用解剖的转化, 并支持外科思维的建立。

当然, 本研究仍存在局限: 样本量较小、为单中心研究; 评价指标以闭卷考试与主观量表为主, 尚缺乏 OSCE 等更贴近真实任务的能力考核; 随访时间较短, 未能评估长期保持与迁移效应。后续可扩大样本并引入多站式能力评估、标准化情境任务与更客观的操作/决策指标, 以进一步验证该教学模式的稳定性与推广价值。

4 结论

本研究表明, 术前三维可视化影像联合术中 ICG 荧光显影的多模态可视化教学, 能够在较短的实习周期内显著提升肝胆外科本科实习生的学习成效与体验。该模式通过可视化呈现、情境化对照与反复复盘的教学路径, 促进学生将传统的解剖学记忆转化为面向临床问题的应用解剖理解, 进而增强外科思维与手术决策意识, 具有良好的可操作性与可推广性。

参考文献:

- [1] 郝惠惠, 陈闯, 丁志龙, 等. 三维可视化教学在肝脏外科学临床实习带教中的应用研究[J]. 中华医学教育杂志, 2017, 37(2):243-246, 316.
- [2] 林科灿, 曾永毅, 黎蕴通, 等. 三维重建虚拟手术规划在肝门部胆管癌手术中的应用价值[J]. 中华消化外科杂志, 2018, 17(4):383-388.
- [3] 林泽宇, 林泽锦, 俞建东, 等. 三维影像联合手术录像编辑在提升住院医师外科技能中的应用研究[J]. 中国医学教育技术, 2024, 38(06):773-777.
- [4] 印佳可, 吴旭莎, 李艳, 等. 三维可视化技术在影像诊断及教学中的应用价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2025, 36(05):365-367.
- [5] Yusuke Yanagi, Koichiro Yoshimaru, Toshiharu Matsuura, et al. The outcome of real-time evaluation of biliary flow using near-infrared fluorescence cholangiography with Indocyanine green in biliary atresia surgery[J]. Journal of Pediatric Surgery, 2019, 54(12):2574-2578.
- [6] Hideki Shibata, Takeshi Aoki, Tomotake Koizumi, et al. The Efficacy of Intraoperative Fluorescent Imaging Using

- Indocyanine Green for Cholangiography During Cholecystectomy and Hepatectomy[J]. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 2021, 14 :149-150.
- [7] 徐泽康,王剑明. 吲哚菁绿荧光显影技术在胆道解剖变异识别中的应用进展[J/OL]. *临床外科杂志*, 1-3[2025-06-06].
- [8] 彭雅松. 吲哚菁绿荧光显影导航技术在胆囊切除术中的应用价值[J]. *中外医药研究*, 2024, 3(20):48-50.
- [9] 教育部临床医学专业认证工作委员会秘书处. 中国本科医学教育标准——临床医学专业(2016 版)[M]. 北京:北京大学医学出版社有限公司, 2017:12.
- [10] Zandi R, Alexander A, Chen L, et al. Standardized Surgical Video Curriculum for Teaching Residents Principles of Abdominal Hysterectomy. *South Med J*. 2021 Jun;114(6):344-349.
- [11] Boecker AH, Bank C, Kim BS, et al. Video-Assisted Peer Teaching for Surgical Skills Training-Innovative Potential for the Medical Curriculum and Beyond: A Randomized Controlled Trial. *J Surg Educ*. 2022 Mar-Apr;79(2):441-451.
- [12] Johar A, Brush T, Collins B, et al. Novel process for three-dimensional anatomy and surgical video production: a potential pedagogical tool. *J Robot Surg*. 2022 Dec;16(6):1493-1496.
- [13] Grüter AAJ, Van Lieshout AS, van Oostendorp SE, et al. Video-based tools for surgical quality assessment of technical skills in laparoscopic procedures: a systematic review. *Surg Endosc*. 2023 Jun;37(6):4279-4297.
- [14] Axelrod C, Walker M, Swift B, et al. What is the Role of Video-Based Assessment of Laparoscopic Surgical Skill in Residency Training? A Qualitative Study of Trainee and Faculty Perspectives. *J Obstet Gynaecol Can*. 2023 Jul;45(7):486-488.
- [15] 王巍,王天一,杨涛,等. CT 三维重建技术在肝胆外科教学中的应用[J]. *中国继续医学教育*, 2019, 11(18):48-51.
- [16] Anurup Ganguli, Gelson J Pagan-Diaz, Lauren Grant, et al. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review[J]. *Biomed Microdevices*, 2018, 20(3): 65.
- [17] Luigi Pugliese, Stefania Marconi, Erika Negrello, et al. The clinical use of 3D printing in surgery[J]. *Updates in Surgery*, 2018 Sep; 70(3): 381-388.
- [18] Di Wu, Dingwei Xue, Jing Zhou, et al. Extrahepatic cholangiography in near-infrared II window with the clinically approved fluorescence agent indocyanine green: a promising imaging technology for intraoperative diagnosis[J]. *Theranostics*, 2020 Feb 19; 10(8): 3636-3651.
- [19] Sioh Huang Lim, Hui Ting Alyssa Tan, et al. Comparison of indocyanine green dye fluorescent cholangiography with intra-operative cholangiography in laparoscopic cholecystectomy: a meta-analysis[J]. *Surg Endosc*, 2021 Apr; 35(4): 1511-1520.
- [20] 李鑫,李乐,陈金明,等. 吲哚菁绿荧光显影技术在腹腔镜胆囊切除术中应用效果的 Meta 分析[J]. *赤峰学院学报(自然科学版)*, 2024, 40(06):15-20.
- [21] 刘磊,汪润泽,刘付宝,等. 荧光显影技术在肝胆胰疾病中的应用进展[J]. *肝胆外科杂志*, 2024, 32(02):157-159.
- [22] Vatankhah R, Etezzad Razavi M, Nekooei S, et al. Three-dimensional (3D) Visualization Educational Modeling for Ophthalmology Residents' Training: Viewpoints. *Med J Islam Repub Iran*. 2022 Oct 5;36:115.
- [23] Ahmed F, Jahagirdar V, Gudapati S, et al. Three-dimensional visualization and virtual reality simulation role in hepatic surgery: Further research warranted. *World J Gastrointest Surg*. 2022 Jul 27;14(7):723-726.
- [24] Kenngott HG, Pfeiffer M, Preukschas AA, et al. IMHOTEP: cross-professional evaluation of a three-dimensional virtual reality system for interactive surgical operation planning, tumor board discussion and immersive training for complex liver surgery in a head-mounted display. *Surg Endosc* 2022; 36: 126-134.
- [25] Bari H, Wadhvani S, Dasari BVM. Role of artificial intelligence in hepatobiliary and pancreatic surgery. *World J Gastrointest Surg* 2021; 13: 7-18.
- [26] Schlanger D, Graur F, Popa C, et al. The role of artificial intelligence in pancreatic surgery: a systematic review.

Updates Surg 2022; 74: 417-429.

[27] Lauwerends LJ, van Driel PBAA, Baatenburg de Jong RJ, et al. Real-time fluorescence imaging in intraoperative decision making for cancer surgery. Lancet Oncol. 2021 May;22(5):e186-e195.

[28] Wang Q, Li X, Qian B, et al. Fluorescence imaging in the surgical management of liver cancers: Current status and future perspectives. Asian J Surg. 2022 Jul;45(7):1375-1382.

作者简介: 林泽宇 (1987—), 男, 中山大学附属第六医院肝胆胰脾外科, 三级甲等, 副主任医师, 教学秘书, 肠癌肝转移外科治疗及肝胆胰脾疾病的微创治疗。

通讯作者: 李国林 (1983—), 男, 中山大学附属第六医院肝胆胰脾外科, 三级甲等, 主任医师, 教学主任, 肠癌肝转移外科治疗及肝胆胰脾疾病的微创治疗。

基金项目: 中山大学教学质量工程项目——基于学科整合的数字信息化医学影像学教学模式的改革与探索(编号: 88000-12220011)。