



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260399
<http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.260399>
China Journal of General Surgery, 2026, 35(8):1553-1562.

· 专题研究 ·

吲哚菁绿荧光导航联合三维可视化技术在腹腔镜肝内胆管细胞癌解剖性肝切除及区域淋巴结清扫中的应用价值

贾亚鹏, 王虞, 李永坤

(南阳医学高等专科学校第一附属医院 普通外科三病区, 河南 南阳 473000)

摘要

背景与目的: 肝内胆管细胞癌 (ICC) 恶性程度高, 根治性切除是目前获得长期生存的主要治疗手段。腹腔镜解剖性肝切除及区域淋巴结清扫对肝脏解剖结构识别和手术操作精度要求较高。三维可视化技术可辅助术前个体化手术规划, 吲哚菁绿 (ICG) 荧光导航可提供术中实时成像, 二者联合应用有望提高手术精准性。本研究探讨 ICG 荧光导航联合三维可视化技术在腹腔镜 ICC 解剖性肝切除及区域淋巴结清扫中的应用价值。

方法: 采用前瞻性、单中心、开放标签、随机对照研究设计, 纳入 2023 年 4 月—2025 年 4 月南阳医学高等专科学校第一附属医院接受腹腔镜 ICC 根治性切除的 122 例患者, 采用随机数字表法按 1:1 分为常规组和联合组, 各 61 例。常规组行腹腔镜 ICC 根治性切除, 联合组在常规手术基础上应用 ICG 荧光导航联合三维可视化技术。比较两组术中指标、术后近期恢复指标、术后并发症、肿瘤复发及生存情况。主要终点采用意向性分析 (ITT) 评价, 并以符合方案集 (PPS) 分析进行支持性验证。

结果: PPS 分析显示, 联合组肝门阻断时间、术中出血量及术中输血量均低于常规组 (均 $P<0.05$), 解剖性肝切除符合率、淋巴结清扫达标率及 R_0 切除率均高于常规组 (均 $P<0.05$); 联合组淋巴结清扫总数及阳性淋巴结数均多于常规组 (均 $P<0.05$), 且额外检出卫星灶 8 例, 而常规组未检出。联合组引流管拔除时间及住院时间均短于常规组, 术后 3 d 丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶及总胆红素水平均低于常规组 (均 $P<0.05$)。联合组术后并发症总发生率低于常规组 (5.36% vs. 19.64%, $P=0.022$)。1 年区域淋巴结复发率低于常规组 (3.57% vs. 14.29%, $P=0.047$), 而 1 年肝内复发率及远处转移率组间差异无统计学意义 (均 $P>0.05$)。生存分析显示, 联合组无进展生存时间长于常规组 (中位时间: 30 个月 vs. 26 个月, $P=0.037$), 两组总生存时间差异无统计学意义 (中位时间: 32 个月 vs. 27 个月, $P=0.215$)。ITT 分析结果与 PPS 分析总体一致。

结论: ICG 荧光导航联合三维可视化技术应用于腹腔镜 ICC 解剖性肝切除及区域淋巴结清扫, 有助于提高手术解剖定位及淋巴结清扫的精准性, 减少术中出血和肝门阻断时间, 改善术后恢复, 并可能降低区域淋巴结复发风险、延长无进展生存时间, 但其对长期总生存的影响仍需更大样本、多中心研究进一步验证。

关键词

胆管肿瘤; 胆管, 肝内; 解剖性肝切除; 淋巴结切除术; 吲哚菁绿荧光导航

中图分类号: R735.8

收稿日期: 2026-07-03; 修订日期: 2026-08-23。

作者简介: 贾亚鹏, 南阳医学高等专科学校第一附属医院主治医师, 主要从事胆囊、胆道、肝脏方面的研究。

通信作者: 李永坤, Email: qq598664190@163.com

Application value of indocyanine green fluorescence navigation combined with three-dimensional visualization technology in laparoscopic anatomical hepatectomy and regional lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma

JIA Yapeng, WANG Yu, LI Yongkun

(Ward 3, Department of General Surgery, the First Affiliated Hospital of Nanyang Medical College, Nanyang, Henan 473000, China)

Abstract

Background and Aims: Intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC) is a highly aggressive primary liver malignancy, and radical resection remains the main treatment option for achieving long-term survival. Laparoscopic anatomical hepatectomy and regional lymph node dissection require precise identification of hepatic anatomy and accurate surgical manipulation. Three-dimensional visualization technology facilitates individualized preoperative surgical planning, whereas indocyanine green (ICG) fluorescence navigation provides real-time intraoperative imaging. This study investigated the clinical value of combining ICG fluorescence navigation with three-dimensional visualization technology in laparoscopic anatomical hepatectomy and regional lymph node dissection for ICC.

Methods: This prospective, single-center, open-label, randomized controlled study included 122 patients who underwent laparoscopic radical resection for ICC between April 2023 and April 2025. Patients were randomly assigned at a 1:1 ratio to a conventional group or a combined group, with 61 patients in each group. Patients in the conventional group underwent laparoscopic radical resection alone, whereas those in the combined group received ICG fluorescence navigation combined with three-dimensional visualization in addition to the conventional procedure. Intraoperative parameters, short-term postoperative recovery, postoperative complications, tumor recurrence, and survival outcomes were compared between the groups. The primary endpoints were evaluated according to the intention-to-treat (ITT) principle, with per-protocol set (PPS) analysis performed as a supportive analysis.

Results: In the PPS analysis, the combined group had shorter hepatic portal occlusion time, less intraoperative blood loss, and a lower intraoperative transfusion rate than the conventional group (all $P < 0.05$). The rates of compliant anatomical hepatectomy, adequate lymph node dissection, and R0 resection were higher in the combined group (all $P < 0.05$). The combined group also had a greater total number of dissected lymph nodes and positive lymph nodes (both $P < 0.05$), and eight satellite lesions were additionally detected in the combined group compared with none in the conventional group. The drainage tube removal time and hospital stay were shorter, and postoperative day 3 levels of alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, and total bilirubin were lower in the combined group (all $P < 0.05$). The overall incidence of postoperative complications was lower in the combined group than in the conventional group (5.36% vs. 19.64%, $P = 0.022$). The 1-year regional lymph node recurrence rate was also lower in the combined group (3.57% vs. 14.29%, $P = 0.047$), whereas no significant differences were observed in 1-year intrahepatic recurrence or distant metastasis rates (both $P > 0.05$). Survival analysis showed that the combined group had longer progression-free survival than the conventional group (median, 30 months vs. 26 months; $P = 0.037$), while overall survival did not differ significantly between the groups (median, 32 months vs. 27 months; $P = 0.215$). The ITT analysis yielded results generally consistent with those of the PPS analysis.

Conclusion: The combination of ICG fluorescence navigation and three-dimensional visualization

technology in laparoscopic anatomical hepatectomy and regional lymph node dissection for ICC may improve the precision of anatomical localization and lymph node dissection, reduce intraoperative blood loss and hepatic portal occlusion time, and facilitate postoperative recovery. It may also reduce regional lymph node recurrence and prolong progression-free survival; however, its effect on long-term overall survival requires confirmation in larger multicenter studies.

Key words

Bile Duct Neoplasms; Bile Ducts, Intrahepatic; Anatomical Hepatectomy; Lymph Node Excision; Indocyanine Green Fluorescence Navigation

CLC number: R735.8

肝内胆管细胞癌(intrahepatic cholangiocarcinoma, ICC)是高度恶性的肝脏原发肿瘤,全球发病率呈持续攀升态势^[1-2]。目前根治性手术切除仍是该类患者获得长期生存的最主要手段,而规范实施解剖性肝切除与区域淋巴结清扫是决定预后的核心要素^[3-4]。近年来,腹腔镜下ICC根治术凭借微创优势逐步推广,但在二维视野下无法精准确立肝段解剖边界,且对肝脏深部及肝门区淋巴结的显露与清扫存在困难,易导致切除平面偏移、淋巴结残留,制约手术的肿瘤学根治性。三维可视化技术可构建个体化模型精准规划解剖性肝切除范围、离断平面及目标淋巴引流区,为手术提供重要导航依据^[5-6]。吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光导航技术则凭借肝细胞特异性摄取、胆汁排泄特性与淋巴趋向性,可实现目标肝段边界实时显影与引流淋巴结靶向示踪,辅助在荧光模式下完成彻底清扫^[7-8]。二者联合有望实现术前规划与术中导航的无缝对接,弥补单纯腹腔镜的视觉局限。但将两者联合应用于腹腔镜解剖性肝切除联合区域淋巴结清扫的临床研究尚少,其安全性及临床价值仍有待确认。本研究通过评估ICG荧光导航联合三维可视化技术在腹腔镜下ICC根治术中的应用效能,探讨其对提升手术精准度及疗效的临床价值,以期对微创治疗策略优化提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为前瞻性、单中心、开放标签、随机对照研究。选取2023年4月—2025年4月于南阳医学高等专科学校第一附属医院行腹腔镜ICC根治术的122例患者,采用随机数字表法分为常规组、联

合组,各61例。随机分组与分配隐藏:由不参与手术及数据收集的第三方研究人员,采用SPSS 27.0软件生成随机数字序列,按1:1比例将患者分配至常规组或联合组。分组结果装入密封、不透光的连续编号信封中,由手术室专人保管,术前拆封以确定手术方案,以实现分配隐藏。盲法实施:鉴于两组手术操作方式存在本质差异,术者与患者难以设盲,本研究为开放标签设计;但负责术后肝功能指标检测的检验科人员、影像学复查评估的影像科医师、病理阅片人员、随访人员及数据统计分析人员均对分组情况不知情(即评价者盲),以减少测量偏倚。纳入标准:(1)术前临床及影像学诊断为ICC^[9],且为单发肿瘤;(2)术前影像学检查提示肿瘤局限于单一Couinaud肝段或相邻肝段,无肝外远处转移,无门静脉主干或下腔静脉癌栓;(3)肝功能Child-Pugh分级为A级或B级,且ICG 15 min滞留率<20%;(4)美国麻醉医师协会分级I~III级,心肺功能可耐受腹腔镜手术;(5)术前未接受过新辅助化疗、放疗、介入治疗或靶向治疗;(6)依从性良好,自愿参与本研究。排除标准:(1)合并肝外胆管癌、胆囊癌或其他恶性肿瘤;(2)既往有肝脏手术史、上腹部复杂手术史或严重腹腔粘连;(3)对ICG过敏或存在甲状腺功能亢进等ICG使用禁忌证;(4)预计生存期短于3个月。本研究获取南阳医学高等专科学校第一附属医院伦理委员会批准(批件号:IRB-KY-2023032202)。

1.2 手术方法

常规组行单纯腹腔镜ICC根治术。气管插管全麻,取头高足低15°~30°仰卧分腿位,常规建立CO₂气腹[12~14 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)],采用五孔法(脐下缘观察孔,双侧锁骨中线及右腋前线肋缘下、剑突下操作孔)置入Trocarr。术中先行

腹腔探查排除转移,联合组借三维可视化模型及实时荧光导航确定肝段边界。肝蒂处理采取鞘外或鞘内解剖法:前者沿肝门板浅面游离悬吊目标肝蒂,阻断后依缺血或荧光分界线标记切线;后者则游离并逐一结扎目标段的门静脉、肝动脉及胆管属支。肝实质以超声刀联合双极电凝离断,深部粗大管道以Endo-GIA或5-0 Prolene线缝闭;肝静脉主干及属支依术前规划显露保留,必要时重建;创面予氩气刀喷凝止血并覆以可吸收止血材料。同期行系统性区域淋巴结清扫,右半肝及尾状叶加扫门静脉后与胰头后上方;细小滋养血管以超声刀离断,较粗淋巴管予钛夹或聚合物夹夹闭防漏。清扫标本分组送冷冻病理,本研究仅纳入完成标准区域清扫者。

联合组在常规组基础上应用ICG荧光导航联合三维可视化技术。三维可视化术前规划:术前行上腹部增强CT(层厚0.625 mm, 120 kV, 自动管电流调制),以DICOM 3.0格式导入海信计算机辅助手术系统(Hisense CAS),半自动分割加人工修正,重建肝脏、肿瘤、肝动脉、门静脉、肝静脉及胆管树,脉管分支显示至3级;由2名副高级职称以上医师与原始CT逐层比对并交叉核对,体积测量误差 $\leq 5\%$ 。术前规划步骤:(1)肝段切除范围:依据门静脉流域(Couinaud分段校正)界定肿瘤所在流域边界,跨段生长者按切缘 ≥ 1 cm扩大切除;(2)离断平面:沿流域边界虚拟切割,测算剩余肝体积/标准肝体积比值(future liver remnant to standard liver volume ratio, FLR/SLV) $>40\%$ (肝硬化者FLR/SLV $>50\%$),据此确定切肝平面;(3)关键脉管走行:逐一辨识门静脉、肝静脉、胆管变异,测量肿瘤与主要脉管最短距离,标注需保护、离断或重建的结构;(4)在模型上预演肝蒂解剖路径、切肝平面及淋巴结清扫范围,生成三维报告供术中调阅。ICG荧光导航技术:采用ICG(辽宁济世制药有限公司)荧光导航辅助术中定位。给药途径与时机:(1)静脉注射。所有联合组患者于术前24~48 h经外周静脉注射ICG 0.5 mg/kg,用于肿瘤病灶及区域淋巴结的术前标记;(2)间质注射。完成腹腔探查后,于肿瘤周围肝实质内行多点注射ICG(2.5 mg/mL,每点0.1~0.2 mL,共4~6点),注射后5~10 min观察淋巴引流区显影。靶向示踪机制:间质注射后,ICG与组织白蛋白结合经毛细淋巴管进入淋巴系统,随淋巴液引流至区域淋巴结;

因淋巴系统转运缓慢、清除延迟,ICG在淋巴管及淋巴结内滞留数小时形成明亮荧光信号,术者可沿显影淋巴管追踪至肝十二指肠韧带、肝总动脉旁、门静脉后方及胰头后上方等引流区域,逐一确认并骨骼化清扫荧光阳性淋巴结。此外,经外周静脉注射的ICG可通过肿瘤组织“增强渗透性和滞留性”效应在转移淋巴结内异常聚集,辅助识别隐匿阳性淋巴结。荧光成像设备:采用德国KARL STORZ IMAGE1 S™ Rubina™ 4K荧光腹腔镜系统,激发波长780~805 nm,接收波长830~850 nm,白光与荧光模式可实时切换;荧光强度以肉眼可辨的明亮绿色为阳性显影标准。

淋巴结清扫达标判定标准:参照《原发性肝癌诊疗指南之肝内胆管癌诊疗中国专家共识(2022版)》^[10],清扫范围需覆盖规范组别(左肝:第12、1、3、7、8组;右肝:第12、8、13组),且术后病理检出淋巴结总数 ≥ 6 枚,两项均满足者判定为达标。

1.3 观察指标

(1)基线资料:性别、年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、合并黄疸、肝硬化、肿瘤位置、肿瘤直径、肝功能分级、术前癌胚抗原(carcinoembryonic antigen, CEA)、术前糖类抗原19-9(carbohydrate antigen 19-9, CA19-9);(2)术中指标:肝门阻断时间、手术时间、术中出血量、术中输血率、中转开腹、解剖性肝切除符合率、淋巴结清扫总数、阳性淋巴结数、淋巴结清扫达标率、 R_0 切除率、额外检出卫星灶率;(3)术后近期恢复指标:引流管拔除时间、住院时间、术后3 d丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、术后3 d天冬氨酸氨基转移酶(aspartate transaminase, AST)、术后3 d总胆红素(total bilirubin, TBIL)。于术后第3天清晨空腹状态下采集患者静脉血,离心分离血清,ALT与AST均采用连续监测法测定,TBIL采用钼酸盐氧化法测定;(4)术后并发症:统计胆汁漏(引流液中胆红素水平 >3 倍血清胆红素水平,且持续 >3 d或需介入/手术处理)、肝衰竭、腹腔感染等发生率;(5)短期疗效:肝内复发率、区域淋巴结复发率、远处转移率;(6)生存情况:随访至2026年4月,以死亡或截止随访日期为随访终点,统计患者无进展生存(progression-free survival, PFS)率、总生存(overall survival, OS)率。

1.4 统计学处理

应用SPSS 27.0统计软件分析,计数资料表示为例数(百分比)[$n(\%)$],用 χ^2 检验,当理论频数 <5 时,采用校正 χ^2 检验,当理论频数为0时采用Fisher确切概率法;用Kolmogorov-Smirnov检验计量资料是否符合正态分布, $P>0.05$ 时符合正态分布,以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,用独立样本 t 检验;不符合时以中位数(四分位间距)[$M(IQR)$]表示,用Mann-Whitney U 检验。采用Kaplan-Meier法绘制两组PFS曲线及OS曲线,组间生存曲线比较采用Log-rank检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。分析集与缺失数据处理:主要终点(1年复发率、PFS及OS)遵循意向性分析(intention-to-treat, ITT)原则,将全部随机入组的122例(常规组、联合组各61例)均纳入原分配组分析;10例失访者的缺失结局采用多重插补法填补(以性别、年龄、肿瘤直径、肝功能分级、术前CA19-9及组别为预测变量,插补5次并按Rubin法则合并),并分别以“无事件”及“事件发生”结

转进行极端情况敏感性分析。时间至事件终点采用Kaplan-Meier法,失访者于末次随访日期删失。术中及术后近期指标两组均完整获得(失访均发生于术后随访阶段),以符合方案集(per-protocol set, PPS, $n=112$)作支持性分析。

2 结果

2.1 基线资料

随访期间常规组和联合组各有5例患者失访,失访率均为8.20%,最终各56例患者完成随访并纳入PPS分析。ITT集包括全部122例随机入组患者,两组各61例;PPS集包括112例完成随访患者,两组各56例。PPS分析显示,两组患者性别、年龄、BMI、合并黄疸、肝硬化、肿瘤位置、肿瘤直径、肝功能Child-Pugh分级及术前CEA、CA19-9水平等基线资料比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),具有可比性(表1)。

表1 两组基线资料比较
Table 1 Comparison of baseline characteristics between the two groups

资料	常规组($n=56$)	联合组($n=56$)	χ^2/t	P
性别[$n(\%)$]				
男	31(55.36)	34(60.71)	0.330	0.566
女	25(44.64)	22(39.29)		
年龄(岁)	58.32 $\pm$ 9.45	59.14 $\pm$ 8.76	0.476	0.635
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	24.11 $\pm$ 3.85	23.95 $\pm$ 3.42	0.233	0.817
合并黄疸[$n(\%)$]	11(19.64)	8(14.29)	0.570	0.450
肝硬化[$n(\%)$]	17(30.36)	14(25.00)	0.401	0.526
肿瘤位置[$n(\%)$]				
左肝	24(42.86)	26(46.43)	0.145	0.704
右肝	32(57.14)	30(53.57)		
肿瘤直径(cm, $\bar{x} \pm s$)	3.85 $\pm$ 1.42	3.92 $\pm$ 1.35	0.267	0.790
肝功能Child-Pugh分级[$n(\%)$]				
A	43(76.79)	47(83.93)	0.905	0.341
B	13(23.21)	9(16.07)		
术前CEA(ng/mL, $\bar{x} \pm s$)	5.32 $\pm$ 1.15	5.68 $\pm$ 1.61	1.362	0.176
术前CA19-9(U/mL, $\bar{x} \pm s$)	85.64 $\pm$ 21.32	90.02 $\pm$ 18.54	1.160	0.249

2.2 术中指标比较

联合组肝门阻断时间和术中出血量均少于常规组,术中输血量亦低于常规组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组手术时间及中转开腹率比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。与常规组相比,联合组解剖性肝切除符合率、淋巴结

清扫达标率及R₀切除率均较高,淋巴结清扫总数及阳性淋巴结数均较多,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。此外,联合组额外检出8例卫星灶,常规组未检出,组间差异有统计学意义($P=0.010$)(表2)。

表 2 两组术中指标比较

Table 2 Comparison of intraoperative variables between the two groups

指标	常规组(n=56)	联合组(n=56)	$t/\chi^2/Z$	P
肝门阻断时间(min, $\bar{x}\pm s$)	35.45±9.36	28.62±7.45	4.272	<0.001
手术时间(min, $\bar{x}\pm s$)	245.63±65.42	265.32±70.15	1.536	0.127
术中出血量(mL, $\bar{x}\pm s$)	350.25±98.44	200.15±72.41	9.192	<0.001
术中输血[n(%)]	12(21.43)	4(7.14)	4.667	0.031
中转开腹[n(%)]	6(10.71)	1(1.79)	2.438	0.118
解剖性肝切除[n(%)]	42(75.00)	54(96.43)	10.500	0.001
淋巴结清扫总数[枚,M(IQR)]	7.00(5.00~10.00)	12.00(8.00~15.00)	6.734	<0.001
阳性淋巴结数[枚,M(IQR)]	1.00(0~2.00)	2.00(1.00~3.00)	3.215	<0.001
淋巴结清扫达标[n(%)]	38(67.86)	52(92.86)	11.087	0.001
R ₀ 切除[n(%)]	44(78.57)	53(94.64)	6.235	0.013
额外检出卫星灶[n(%)]	0(0.00)	8(14.29)	—	0.010

2.3 术后近期恢复指标

联合组引流管拔除时间和住院时间均短于常规组，差异均有统计学意义（均 $P<0.001$ ）。术后 3 d，联合组 ALT、AST 及 TBIL 水平均低于常规组，差异均有统计学意义（均 $P<0.001$ ）（表 3）。

表 3 两组术后近期恢复指标比较（ $\bar{x}\pm s$ ）

Table 3 Comparison of short-term postoperative recovery parameters between the two groups（ $\bar{x}\pm s$ ）

指标	常规组 (n=56)	联合组 (n=56)	t	P
引流管拔除时间(d)	5.62±2.14	3.85±1.62	4.935	<0.001
住院时间(d)	9.52±3.45	6.85±2.35	4.787	<0.001
术后 3 d ALT(U/L)	258.63±65.42	185.26±43.35	6.996	<0.001
术后 3 d AST(U/L)	220.45±63.36	165.32±45.41	5.292	<0.001
术后 3 d TBIL(μmol/L)	32.65±8.24	24.18±7.52	5.682	<0.001

2.4 术后并发症

两组术后胆汁漏、肝衰竭及腹腔感染发生率比较，差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ）。常规组总体并发症发生率为 19.64%（11/56），联合组为 5.36%（3/56），联合组低于常规组，差异有统计学意义（ $\chi^2=5.224$ ， $P=0.022$ ）（表 4）。

表 4 两组术后并发症比较[n（%）]

Table 4 Comparison of postoperative complications between the two groups [n（%）]

并发症	常规组 (n=56)	联合组 (n=56)	χ^2	P
胆汁漏	5(8.93)	2(3.57)	0.610	0.435
肝衰竭	2(3.57)	0(0.00)	—	0.476
腹腔感染	4(7.14)	1(1.79)	0.837	0.360
总发生率	11(19.64)	3(5.36)	5.224	0.022

2.5 术后 1 年肿瘤复发及转移情况

PPS 分析显示，联合组 1 年区域淋巴结复发率低于常规组[3.57%（2/56） vs. 14.29%（8/56）， $P=0.047$]；两组 1 年肝内复发率和远处转移率比较，差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ）（表 5）。为评价失访对研究结果的影响，进一步按照 ITT 原则对全部 122 例随机入组患者进行分析。ITT 分析显示，联合组 1 年区域淋巴结复发率仍低于常规组[4.92%（3/61） vs. 16.39%（10/61）， $P=0.039$]，而两组 1 年肝内复发率及远处转移率比较，差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ），与 PPS 分析结果总体一致（表 6）。

表 5 两组术后 1 年肿瘤复发及远处转移情况比较[n（%）]

Table 5 Comparison of 1-year tumor recurrence and distant metastasis between the two groups [n（%）]

指标	常规组 (n=56)	联合组 (n=56)	χ^2	P
肝内复发	18(32.14)	10(17.86)	3.048	0.081
区域淋巴结复发	8(14.29)	2(3.57)	3.953	0.047
远处转移	6(10.71)	4(7.14)	0.439	0.508

表 6 ITT 集两组术后 1 年肿瘤复发及远处转移情况比较[n（%）]

Table 6 Comparison of 1-year tumor recurrence and distant metastasis between the two groups in the ITT set [n（%）]

指标	常规组 (n=61)	联合组 (n=61)	χ^2	P
肝内复发	20(32.79)	11(18.03)	3.503	0.061
区域淋巴结复发	10(16.39)	3(4.92)	4.256	0.039
远处转移	7(11.48)	4(6.56)	0.899	0.343

2.6 生存分析

随访时间为12~36个月,中位随访时间为28个月。PPS分析显示,常规组和联合组的中位PFS分别为26个月和30个月,联合组PFS长于常规组,差异有统计学意义($P=0.037$);两组中位OS分别为27个月和32个月,生存曲线比较差异无

统计学意义($P=0.215$) (图1)。进一步按照ITT原则进行生存分析,联合组中位PFS仍为30个月,常规组为26个月,两组PFS曲线比较差异有统计学意义($P=0.033$);两组中位OS分别为27个月和32个月,OS曲线比较差异无统计学意义($P=0.204$)。ITT分析结果与PPS分析总体一致。

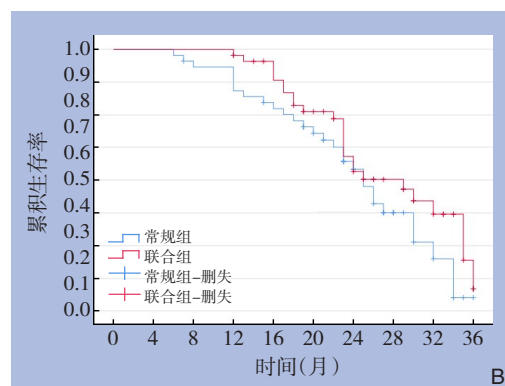
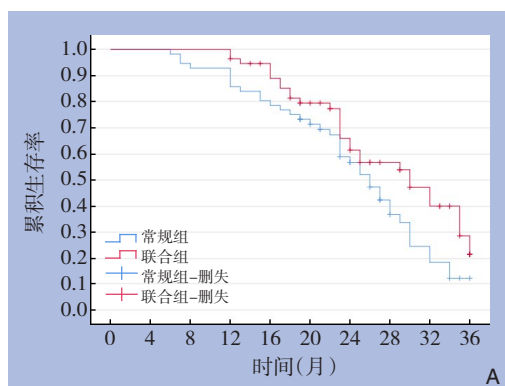


图1 两组患者的生存曲线 A: PFS; B: OS
Figure 1 Survival curves A: PFS; B: OS

3 讨论

ICC具有沿胆管周围神经丛及脉管间隙浸润性生长、早期易发区域淋巴结转移及肝内卫星灶播散等高度侵袭性生物学特性,加之肝内脉管系统构型复杂、变异率高,手术根治性难度高^[11-12]。传统腹腔镜受限于二维视野难以精准界定肝段流域边界、识别微小转移灶及变异脉管,易致切缘阳性、脉管误伤或淋巴结廓清不全。目前临床多依赖术者经验与术中腹腔镜超声(laparoscopic ultrasound, LUS),但LUS对直径<10 mm的微小病灶及早期淋巴结转移检出效能有限,且缺乏客观的脉管三维空间辅助,导致术前规划与术中验证脱节^[13]。因此,整合术前精准规划与术中实时导航的新型方案,对突破腹腔镜局限、提升 R_0 切除率与淋巴结清扫彻底性至关重要。

本研究结果显示,与常规组相比,联合组术中出血量更少、肝门阻断时间更短、输血率更低,且解剖性肝切除符合率与 R_0 切除率更高,术后肝功能损伤更轻,引流管拔除及住院时间缩短,并发症发生率更低。传统腹腔镜手术受限于二维视野,肝段边界界定困难。三维可视化技术可于术前基于门静脉流域精确划定肿瘤边界与离断平面,确保剩余功能性肝体积^[14-16]。术中ICG荧光导航则

通过正染或反染,将规划边界实时转化为肝表面荧光分界线,引导精准离断,避免切缘不足或过多切除正常肝组织^[17-19]。此外,荧光导航对微小卫星灶的额外检出进一步提升了 R_0 切除率。精准的解剖与实时导航缩短了无效操作与肝门阻断时间,降低出血与输血需求,并最大程度保护残肝功能,从而加快术后康复并减少并发症。

本研究还发现,联合组淋巴结清扫总数及阳性淋巴结数均多于常规组,淋巴结清扫达标率更高,且PFS显著高于常规组,区域淋巴结复发率显著低于常规组。ICC具有早期易发区域淋巴结转移的生物学特性,规范的区域淋巴结清扫是决定患者预后的关键^[20]。然而腹腔镜手术缺乏触觉反馈,肝门及胰头后等区域位置深在、解剖复杂,二维视野下极易发生清扫不全。联合组利用ICG的淋巴趋向性,经局部注射后在荧光模式下清晰显影淋巴管引流路径及微小淋巴结,弥补了腔镜下视觉与触觉的双重局限,实现了目标淋巴结的靶向示踪与清扫^[21-22]。如吕陈彬等^[23]研究认为,ICG荧光导航可显著提高腹腔镜胃癌根治术中淋巴结的检出率,尤其是微小淋巴结的识别能力。朱恒立等^[24]基于倾向性评分匹配纳入334例复杂部位肝癌行腹腔镜解剖性肝切除的患者,结果显示三维可视化联合ICG荧光染色组较传统腹腔镜组术中出

血量更少、肝门阻断时间更短、 R_0 切除率更高、术后并发症发生率更低（均 $P<0.05$ ），与本研究所得结论高度一致。胡伟建等^[25]亦报道，三维可视化联合 ICG 荧光实时导航可显著提高腹腔镜右肝精准解剖性肝切除的切肝准确度与安全性，本组联合组结果与上述文献报道水平相当，进一步印证该联合技术在 ICC 肝切除中的价值。此外，ICG 荧光导航结合三维模型对肿大淋巴结及危险区域的术前预警，确保骨骼化清扫的安全与彻底^[26]。更彻底的淋巴结清扫可提高阳性检出率，消除微小残留灶，进而降低区域淋巴结复发率并改善近期 PFS。

从卫生经济学角度看，联合技术存在一定增量成本（ICG 试剂费、术前三维重建软件费、荧光腹腔镜设备折旧），但本研究联合组输血率更低（7.14% vs. 21.43%）、总并发症发生率更低（5.36% vs. 19.64%）、住院时间缩短约 2.67 d，可直接对冲新增支出；更高的 R_0 切除率与更低的 1 年区域淋巴结复发率亦可减少复发后二次手术及靶向治疗等高额后续费用。III 期随机对照试验的成本效用分析^[27]显示，ICG 荧光引导腹腔镜淋巴结清扫的增量成本效果比（ICER）仅 886.30 美元/质量调整生命年（QALY），具有成本效益的概率达 99.3%；国内结直肠癌根治术研究^[28]亦证实，ICG 荧光组住院总费用反而低于常规组。故本联合技术具有良好的成本效益前景，但其卫生经济学价值尚需正式的药物经济学研究量化验证。尽管联合技术可能增加 ICG 使用、三维重建及荧光设备相关成本，但其可能通过减少术中出血、降低并发症发生率及缩短住院时间，降低部分围术期资源消耗。本研究未收集完整卫生经济学指标，因此其成本效益仍有待进一步研究评价。

综上所述，ICG 荧光导航联合三维可视化技术应用于腹腔镜 ICC 解剖性肝切除及区域淋巴结清扫，可降低术中出血量和肝门阻断时间，提高 R_0 切除率与淋巴结清扫彻底性，减轻术后肝功能损伤，缩短住院时间并减少并发症的发生，同时改善近期 PFS 并降低区域淋巴结复发率。本研究尚存在一些局限性。其一，样本量有限，部分次要终点虽显示联合组有更优趋势，但未达统计学差异，不能排除检验效能不足的可能；受样本量所限，亦难以按肿瘤位置、肝功能分级等进行亚组分析，效应量估计的置信区间较宽，结论外推需谨慎。

其二，本研究为单中心试验，虽采用了规范的随机与盲法设计，但病例来源、术者经验及设备平台相对集中，结果推广至不同层级医院或其他成像平台时仍需验证。其三，ICG 荧光导航本身存在固有局限：炎性增生淋巴结同样可摄取 ICG 而显影，易造成假阳性；近红外光穿透深度有限（约 2~10 mm），深部或被脂肪包裹的淋巴结显影困难；而完全被肿瘤替代的淋巴结因淋巴引流结构破坏反而不显影。因此术中不应单纯依赖荧光信号，仍需结合白光视野、术中超声及解剖层次综合判断。其四，总体失访率为 8.20%，在极端不利结转假设下主要终点的组间差异有所缩小，提示缺失数据对统计效能仍有一定影响。此外，本研究未纳入住院费用等卫生经济学指标，也未单独设置两种技术的单用干预组，故无法区分三维可视化与 ICG 导航各自的贡献及两者的交互作用。目前仅能证明联合方案的整体优势。已有研究^[29-30]提示单纯三维可视化可改善术前规划精度、单纯 ICG 荧光导航可提高术中淋巴结检出率，二者可能分别通过术前精准规划与术中实时示踪产生协同效应。后续研究可从以下方面展开：开展多中心、大样本随机对照试验，在不同层级医疗中心和设备平台下验证该联合技术的可重复性，并通过预设亚组分析识别获益最大的人群；采用析因设计纳入三维可视化、ICG 导航单用及联合各组，以量化两种技术的独立效应与交互作用；探索新技术如多光谱荧光融合，改善组织穿透深度与淋巴结鉴别的特异性；将住院费用、ICER、QALY 等纳入观察指标，开展正式的成本-效果分析；并借助电子化随访平台降低失访率、优化缺失数据处理，为该联合技术在 ICC 微创治疗中的规范化推广提供更高级别的循证依据。

作者贡献声明：贾亚鹏负责酝酿和设计实验、实施研究、起草文章，对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析；李永坤负责分析/解释数据、统计分析、指导；王虞负责采集数据、行政、技术或材料支持，指导支持性贡献。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Qurashi M, Vithayathil M, Khan SA. Epidemiology of

- cholangiocarcinoma[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2025, 51(2):107064. doi: [10.1016/j.ejso.2023.107064](https://doi.org/10.1016/j.ejso.2023.107064).
- [2] Chan SL, Sun HC, Xu Y, et al. The Lancet Commission on addressing the global hepatocellular carcinoma burden: comprehensive strategies from prevention to treatment[J]. *Lancet*, 2025, 406(10504):731–778. doi: [10.1016/S0140-6736\(25\)01042-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01042-6).
- [3] Zhang R, Cao D, Yang M, et al. Should lymphadenectomy be recommended in radical surgery of intrahepatic cholangiocarcinoma patients? A retrospective study[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2025, 151(3): 107. doi: [10.1007/s00432-025-06148-3](https://doi.org/10.1007/s00432-025-06148-3).
- [4] Jiang C, Hou GM, Zhang ZH, et al. Anatomic versus nonanatomic resection for intrahepatic cholangiocarcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Surg*, 2025, 111(1): 1440–1453. doi: [10.1097/js9.0000000000002134](https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002134).
- [5] Conci S, Calderone G, Ruzzenente A. ASO authors reflections: could robotics, 3D imaging, and liver venous deprivation potentially redefine surgical standards for perihilar cholangiocarcinoma? [J]. *Ann Surg Oncol*, 2026, 33(1): 642–643. doi: [10.1245/s10434-025-18478-0](https://doi.org/10.1245/s10434-025-18478-0).
- [6] Lan T, Mao W, Lan Z, et al. Right trisegmentectomy and caudate lobectomy with portal vein (PV) and inferior vena cava (IVC) reconstruction for intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC): more preoperation 3D-simulated details and more safety[J]. *Ann Surg Oncol*, 2025, 32(10): 7243–7244. doi: [10.1245/s10434-025-17737-4](https://doi.org/10.1245/s10434-025-17737-4).
- [7] Delgado-Miguel C, Arredondo-Montero J, Moreno-Alfonso JC, et al. Indocyanine green fluorescence navigation in pediatric hepatobiliary surgery: systematic review[J]. *Children (Basel)*, 2025, 12(7):950. doi: [10.3390/children12070950](https://doi.org/10.3390/children12070950).
- [8] Coco D, Leanza S, Viola MG. Indocyanine green fluorescence navigation in robotic liver segmentectomies: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Robot Surg*, 2025, 19(1):603. doi: [10.1007/s11701-025-02687-6](https://doi.org/10.1007/s11701-025-02687-6).
- [9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南(2024年版)[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(4):475–530. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001).
Department of Medical Administration, National Health Commission of the People's Republic of China. Guidelines for the diagnosis and treatment of primary liver cancer (2024 edition)[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(4): 475–530. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.04.001).
- [10] 中国抗癌协会肝癌专业委员会胆管癌协作组. 原发性肝癌诊疗指南之肝内胆管癌诊疗中国专家共识(2022版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(10): 1269–1301. doi: [10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476).
Chinese Society of Liver Cancer Cholangiocarcinoma Cooperative Group. Chinese expert consensus on management of intrahepatic cholangiocarcinoma (2022 edition)[J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2022, 21(10): 1269–1301. doi: [10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476).
- [11] Zhang R, Tan Y, Liu M, et al. Lymph node metastasis of intrahepatic cholangiocarcinoma: the present and prospect of detection and dissection[J]. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 2024, 36(12):1359–1369. doi: [10.1097/MEG.0000000000002856](https://doi.org/10.1097/MEG.0000000000002856).
- [12] Ma ZJ, Xiang JX, Weiss M, et al. Long-term survivors after curative-intent resection for intrahepatic cholangiocarcinoma[J]. *J Surg Oncol*, 2024, 130(3):443–452. doi: [10.1002/jso.27739](https://doi.org/10.1002/jso.27739).
- [13] Tzedakis S, Belle A, Berzan D, et al. Preoperative endoscopic ultrasound-guided hepaticogastrostomy for definite biliary drainage in hilar cholangiocarcinoma laparoscopic resection: a hybrid minimal-invasive technique[J]. *Surg Innov*, 2024, 31(1):11–15. doi: [10.1177/15533506231223916](https://doi.org/10.1177/15533506231223916).
- [14] Lin J, Tao H, Yuan X, et al. Laparoscopic radical resection after neoadjuvant therapy for intrahepatic cholangiocarcinoma with hepatic hilus involvement[J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(10):6564–6565. doi: [10.1245/s10434-024-15772-1](https://doi.org/10.1245/s10434-024-15772-1).
- [15] 杨俊, 刘承利, 李浩铭, 等. 基于三维可视化技术的肝右前叶段间静脉的解剖分型研究[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2025, 30(5):289–295. doi: [10.3760/cma.j.cn101202-20241022-00307](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn101202-20241022-00307).
Yang J, Liu CL, Li HM, et al. Study of the intersegmental veins of the right anterior based on three-dimensional visualization techniques[J]. *Chinese Journal of Anatomy and Clinics*, 2025, 30(5):289–295. doi: [10.3760/cma.j.cn101202-20241022-00307](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn101202-20241022-00307).
- [16] 闫加艳, 王佳艺, 冯浩, 等. 三维可视化技术在肝脏主要脉管空间构型与肝叶体积分布评估中的临床应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2026, 35(1):124–140. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250635](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250635).
Yan JY, Wang JY, Feng H, et al. Clinical application of three-dimensional visualization technology in assessing the spatial configuration of major hepatic vessels and liver lobar volume distribution[J]. *China Journal of General Surgery*, 2026, 35(1):124–140. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250635](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250635).
- [17] Hao J, Cheng D, Jiang J, et al. Real-time indocyanine green fluorescence imaging and navigation for cone unit laparoscopic hepatic resection of intrahepatic duct stone: a case series study[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2024, 33(6): 351–357. doi: [10.1080/13645706.2024.2410369](https://doi.org/10.1080/13645706.2024.2410369).
- [18] Wang X, Xie F, Wang H, et al. Laparoscopic tracer technique for liver lymphatic drainage by injecting indocyanine green into the glisson pedicle[J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(6):4019–4021. doi: [10.1245/s10434-024-15161-8](https://doi.org/10.1245/s10434-024-15161-8).
- [19] Li X, Zeng X, Zhu W, et al. Laparoscopic right hemi-hepatectomy

- of the bile duct-obstructed area guided by real-time fluorescence imaging[J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(12):7894–7895. doi:10.1245/s10434-024-16040-y.
- [20] Yoshino J, Nara S, Yokoyama M, et al. Prognostic impact of lymph node dissection in intrahepatic cholangiocarcinoma: a propensity score analysis[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2024, 410(1): 3. doi: 10.1007/s00423-024-03564-w.
- [21] 俞帆, 金丽明, 刘杰, 等. 吲哚菁绿荧光导航在日间腹腔镜胆囊切除术中的临床应用价值[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(2):236–243. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.02.010.
- Yu F, Jin LM, Liu J, et al. Clinical application value of indocyanine green fluorescence navigation in day-surgery of laparoscopic cholecystectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(2): 236–243. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.02.010.
- [22] 陈姜, 王春荣, 曹家洪, 等. ICG 荧光导航联合 Laennec 膜入路在腹腔镜左半肝切除术中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(1): 88–95. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240673.
- Chen J, Wang CR, Cao JH, et al. Application of ICG fluorescence navigation combined with the Laennec's capsule approach in laparoscopic left hepatectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(1):88–95. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240673.
- [23] 吕陈彬, 童林燕, 孙玉钦, 等. 吲哚菁绿荧光导航在腹腔镜胃癌根治术中应用价值[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(6):1228–1237. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250022.
- Lü CB, Tong LY, Sun YQ, et al. Clinical value of indocyanine green fluorescence navigation in laparoscopic radical gastrectomy for gastric cancer[J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(6): 1228–1237. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250022.
- [24] 朱恒立, 唐昌乾, 蔡驰宇, 等. 肝脏三维可视化联合吲哚菁绿荧光染色在复杂部位肝癌患者腹腔镜手术切除中应用的倾向性评分匹配研究[J]. *中华肝胆外科杂志*, 2025, 31(5):326–331. doi: 10.3760/cma.j.cn113884-20241219-00383.
- Zhu HL, Tang CQ, Cai CY, et al. Evaluation of the application of three-dimensional visualization combined with ICG fluorescence technology in laparoscopic hepatectomy in complex locations based on propensity score method[J]. *Chinese Journal of Hepatobiliary Surgery*, 2025, 31(5): 326–331. doi: 10.3760/cma.j.cn113884-20241219-00383.
- [25] 胡伟建, 李仓, 吴晓康, 等. 三维可视化联合吲哚菁绿荧光影像实时导航在腹腔镜右肝精准解剖性肝切除中的应用[J]. *中华普通外科杂志*, 2024, 39(8):626–628. doi: 10.3760/cma.j.cn113855-20230630-00344.
- Hu WJ, Li C, Wu XK, et al. Application of three-dimensional visualization combined with real-time indocyanine green fluorescence navigation in laparoscopic precise anatomical right hepatectomy[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2024, 39(8): 626–628. doi:10.3760/cma.j.cn113855-20230630-00344.
- [26] Wei J, Tan W, Chen Y, et al. Laparoscopic anatomic segmentectomy of segments VIII and IVa with middle hepatic vein excision using ultrasound-guided ICG positive staining[J]. *Ann Surg Oncol*, 2026, 33(9): 7907–7908. doi: 10.1245/s10434-026-19953-y.
- [27] Shi J, Sun Y, Liu Q, et al. Cost-effectiveness analysis of indocyanine green fluorescence imaging-guided laparoscopic lymphadenectomy for gastric cancer in China[J]. *Surg Endosc*, 2026, 40(2):1388–1400. doi:10.1007/s00464-025-12395-9.
- [28] 熊海波, 李叔强, 曾云龙, 等. 吲哚菁绿荧光腹腔镜结直肠癌根治术的应用价值[J]. *腹腔镜外科杂志*, 2025, 30(7):495–499. doi: 10.13499/j.cnki.fqjwkzz.2025.07.495.
- Xiong HB, Li SQ, Zeng YL, et al. Clinical value of indocyanine green fluorescence laparoscopic radical resection of colorectal cancer[J]. *Journal of Laparoscopic Surgery*, 2025, 30(7):495–499. doi:10.13499/j.cnki.fqjwkzz.2025.07.495.
- [29] Yu ZN, Li L, Wang L, et al. Indocyanine green fluorescence navigation versus conventional laparoscopic hepatectomy for hepatic hemangioma: a propensity score matched study[J]. *Surg Endosc*, 2026, 40(1):255–266. doi:10.1007/s00464-025-12270-7.
- [30] 盛海涛, 窦明睿, 王俊杰, 等. 基于 CT 三维可视化技术的个体化肝分段在解剖性肝切除术中的应用[J]. *中华普外科手术学杂志: 电子版*, 2025, 19(3): 258–261. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2025.03.008.
- Sheng HT, Dou MR, Wang JJ, et al. Application of individualized hepatic segmentation based on CT three-dimensional visualization technology in anatomical hepatectomy[J]. *Chinese Journal of Operative Procedures of General Surgery:Electronic Edition*, 2025, 19(3):258–261. doi:10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2025.03.008.

(本文编辑 姜晖)

本文引用格式: 贾亚鹏, 王虞, 李永坤. 吲哚菁绿荧光导航联合三维可视化技术在腹腔镜肝胆管细胞癌解剖性肝切除及区域淋巴结清扫中的应用价值[J]. *中国普通外科杂志*, 2026, 35(8):1553–1562. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260399

Cite this article as: Jia YP, Wang Y, Li YK. Application value of indocyanine green fluorescence navigation combined with three-dimensional visualization technology in laparoscopic anatomical hepatectomy and regional lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma[J]. *Chin J Gen Surg*, 2026, 35(8):1553–1562. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.260399