

• 临床研究 •

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

陈宣羽, 朱 陈, 林思颖, 江志伟, 邓正明*

南京中医药大学附属医院普外科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的: 探讨在达芬奇机器人胃癌根治术中应用吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)近红外光成像示踪技术引导D2淋巴结清扫的安全性和有效性。方法: 回顾性纳入2021年1月—2024年1月在南京中医药大学附属医院普外科行达芬奇机器人胃癌根治术的患者, 其中60例术中采用ICG荧光导航进行淋巴结清扫(ICG组), 117例进行常规淋巴结清扫(非ICG组), 通过倾向性评分匹配(1:1)平衡基线特征。比较两组淋巴结清扫数量、手术相关指标、术后并发症发生率、住院时间及术后康复数据。结果: 匹配后ICG组和非ICG组各60例, 两组的年龄、性别、体重指数、营养评分、肿瘤直径、肿瘤部位、分化程度、脉管侵犯、Lauren分型均衡可比(P 均 >0.05)。所有患者均完成规定范围的淋巴结清扫, 术后无荧光淋巴结残留。ICG组淋巴结平均清扫数量为 (33.73 ± 12.66) 枚, 显著高于非ICG组 (26.15 ± 6.31) 枚($P < 0.05$); 但两组术后病理检出的阳性淋巴结数量差异无统计学意义[1(0, 6)枚 vs. 0(0, 4)枚, $P > 0.05$]。ICG组D1和D2区域的淋巴结清扫数量均显著高于非ICG组(P 均 <0.05); 且在3、4d、6、7、8a、12a站淋巴结清扫中显示出优势。两组的手术时间、术中出血量、术后住院时间、术后并发症发生率及术后第3天C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、白细胞计数(white blood cell, WBC)、白蛋白(albumin, Alb)、天门冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)/丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)差异均无统计学意义(P 均 >0.05); 而ICG组的通气时间短于非ICG组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论: ICG近红外光成像示踪技术在机器人胃癌根治术中的应用能够提高淋巴结清扫的精确性和彻底性, 且不影响围手术期安全性。

[关键词] 吲哚菁绿; 近红外光成像; 达芬奇机器人手术; 胃癌根治术; 淋巴结清扫

[中图分类号] R735.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2025)10-1455-12

doi: 10.7655/NYDXBNSN250316

Safety and efficacy of indocyanine green near - infrared fluorescence imaging tracer technology in the application of D2 lymph node dissection in da Vinci robotic gastrectomy

CHEN Xuanyu, ZHU Chen, LIN Siying, JIANG Zhiwei, DENG Zhengming*

Department of General Surgery, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** This study aims to explore the safety and efficacy of utilizing indocyanine green near-infrared (ICG-NIR) fluorescence imaging to guide lymph node (LN) dissection during Da Vinci robotic gastrectomy (RG). **Methods:** The patients who underwent RG at the General Surgery Department of Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine from January 2021 to January 2024 were retrospectively analyzed. Among them, 60 patients underwent ICG fluorescence navigation - guided lymphadenectomy (ICG group), while 117 received conventional LN dissection (non-ICG group). Propensity score matching (1:1) was performed to balance baseline characteristics. The number of retrieved LNs, surgical outcomes, postoperative complications, hospital stay, and recovery data were compared between two groups. **Results:** After matching, each group comprised 60 patients with comparable baseline characteristics, including age, sex, body mass index, nutritional risk screening scores, tumor diameter, tumor location, differentiation, vascular invasion, and Lauren type (all $P > 0.05$). All patients completed D2 lymphadenectomy, and there were no fluorescent LNs remaining after surgery. The ICG group had a significantly higher mean number of retrieved LNs (33.73 ± 12.66) than the non-ICG group (26.15 ± 6.31 , $P < 0.05$). Nevertheless, there was no significant difference in the number of positive LNs

[基金项目] 江苏省医学重点学科(ZDXK202251); 江苏省中医药领军人才培养项目(SLJ0311)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: dengzhengming@sohu.com. (ORCID: 0009-0009-3752-8638)

detected by postoperative pathology between two groups [1 (0, 6) vs. 0 (0, 4), $P > 0.05$]. The ICG group demonstrated superior LN retrieval in both D1 and D2 regions (all $P < 0.05$), particularly at stations 3, 4d, 6, 7, 8a, and 12a. No significant differences were found in operative time, intraoperative blood loss, postoperative hospital stay, complication rates, or postoperative inflammatory indicators on day 3 (including CRP, WBC, Alb, AST/ALT) (all $P > 0.05$). A statistically significant difference in postoperative ventilation time was observed between the two groups ($P < 0.05$), the ventilation time in the ICG group was found to be superior to the non-ICG group.

Conclusion: ICG-NIR fluorescence imaging significantly improves the precision and completeness of LN dissection in RG without compromising perioperative safety.

[Key words] indocyanine green; near-infrared fluorescence imaging; da Vinci robotic surgery; radical gastrectomy; lymph node dissection

[J Nanjing Med Univ, 2025, 45(10): 1455-1466]

胃癌是常见的消化道恶性肿瘤之一,其全球发病率和死亡率均位居第5^[1]。根治性手术仍是治愈胃癌唯一的方式,其标准术式包括至少2/3胃切除联合D2淋巴结清扫,其中D2区域淋巴结清扫是手术的难点。多项临床研究已证实,在规定的清扫范围内,淋巴结获取数量与胃癌分期的准确性和远期生存率呈正相关^[2-4]。近年来,机器人胃切除术(robotic gastrectomy, RG)已迅速成为微创外科的重要组成部分^[5]。达芬奇机器人手术系统凭借其裸眼3D立体视觉、高倍放大视野、增强的操作自由度及震颤过滤等优势^[6],为精准手术提供了新的技术平台。Shibaskai等^[7]回顾性研究显示,机器人手术相比传统腹腔镜具有术中出血少及术后住院时间短的优势,且不增加手术死亡率。国内一项随机对照试验进一步证实, RG在降低并发症发生率、减轻炎症反应、增加淋巴结清扫数量及促进术后恢复等方面具有显著优势^[8]。Liu等^[9]回顾性对比了进展期胃癌患者行机器人与腹腔镜根治术的临床结局,结果显示机器人手术在减少术中出血,促进术后康复方面表现突出,且不增加术后并发症风险。现有证据表明,机器人手术在安全性和疗效与传统手术保持相当的同时,在淋巴结清扫质量方面也展现出了优势。

然而,由于胃周围复杂的血管解剖和淋巴引流,如何在保证手术安全性的前提下实现淋巴结的精准彻底清扫是一个巨大的挑战。吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)近红外光(near-infrared, NIR)作为新兴的手术导航技术,比其他染料具有更好的组织穿透性和信号稳定性,在淋巴结示踪方面展现出显著优势^[10-11]。机器人手术不仅在淋巴结清扫数量方面优于腹腔镜,而且能够改善胃周关键淋巴结站(7、8a、9、11)的显露和清扫质量^[12]。本研究通过系统性回顾分析,旨在全面评估ICG-NIR成像技术在

RG中的应用价值,重点探讨淋巴结清扫效果和围手术期安全性,为该技术的规范化应用提供初步依据,并为未来开展前瞻性研究奠定基础。

1 对象和方法

1.1 对象

本研究采用回顾性队列研究设计,纳入2021年1月—2024年1月在南京中医药大学附属医院普外科接受达芬奇机器人胃癌根治术的186例患者。排除4例残胃复发及5例术中广泛转移病例,最终纳入177例。根据术中是否使用ICG标记将患者分为ICG组($n=60$)和非ICG组($n=117$)。本研究方案经南京中医药大学附属医院医疗技术临床应用委员会批准(批件号:2023NL-CAMT-013),患者知情同意。

纳入标准:病理证实为原发性胃腺癌;接受标准机器人胃切除联合D2淋巴结清扫术;美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification, ASA)评级为I~III级。排除标准:术中发现广泛浸润或远处转移而无法行根治性手术;残胃癌或局部复发需二次手术;对ICG或碘化物过敏。

1.2 方法

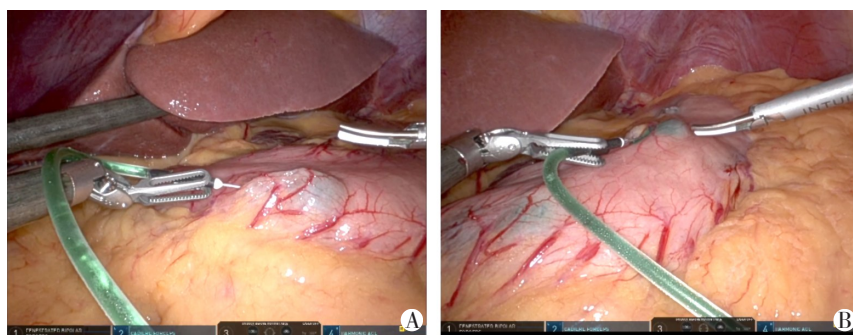
1.2.1 ICG配制和注射

参照ICG-NIR成像技术在腹腔镜胃癌根治术中应用中国专家共识(2023版)^[13]。将ICG粉末溶于无菌注射用水中,配制浓度为0.5 mg/mL的标准溶液,将1.5 mL制备的溶液沿胃小弯和大弯各3个点注入浆膜下层(注射点选择见表1),共计4.5 mg ICG。所有注射操作均在机器人手术系统辅助下完成,确保注射深度及剂量的精确性(图1)。ICG注射后至清扫开始间隔时间为15 min,此时淋巴结显影最清晰、稳定,保证清扫的完整和彻底。

表1 不同胃切除范围的注射点选择

Table 1 Injection point selection for different gastrectomy ranges

Injection point	Different gastrectomy ranges	
	Proximal gastrectomy	Distal gastrectomy
Lesser curvature	First branch of the right gastric artery	First branch of the right gastric artery
	Gastric angle	Gastric angle
	Between the first and second gastric wall branches of the left gastric artery	Between the first and second gastric wall branches of the left gastric artery
Greater curvature	Terminal gastric branch of the right gastroepiploic artery	First gastric branch of the right gastroepiploic artery
	First gastric branch of the left gastroepiploic artery	First gastric branch of the left gastroepiploic artery
	Greater curvature at the fundus-body junction of the stomach	Midpoint between two injection sites



A: Greater curvature injection. B: Lesser curvature injection.

图1 机器人系统辅助下行ICG浆膜下注射

Figure 1 Robotic system-assisted subplasma injection of ICG

1.2.2 手术管理

使用配备 Firefly 荧光显影技术的达芬奇 Xi 手术系统, 通过 805 nm 近红外激发光源激活 ICG 分子, 实现精准淋巴结导航。手术过程中可以实现自然光和 NIR 荧光模式的随时切换, 在近红外荧光模式下可以实时、清晰地显示胃周淋巴结的轮廓及界限, 从而有助于指导术者完整、彻底清扫规定范围的淋巴结。所有手术均由同一团队完成。

1.2.2.1 手术操作

手术方式根据肿瘤位置确定, 包括近端胃、远端胃及全胃切除, 切除后进行消化道重建(具体参照日本胃癌治疗指南^[14])。手术操作参照《机器人胃癌手术中国专家共识(2021版)》^[15]和《腹腔镜胃癌手术操作指南(2023版)》^[16], D2 淋巴结清扫操作依据江志伟教授提出“斯诺克路径”^[17], 采用“由远及近、由浅入深”顺序, 遵循“整块切除”原则, 保持解剖层次的完整性。

1.2.2.2 淋巴结清扫及分捡

淋巴结清扫范围参照胃癌处理规约^[18]和《局部进展期胃癌规范化淋巴结清扫范围中国专家共识(2022版)》^[19]。在 ICG 组中, 完成所有淋巴结清扫

后, 对手术区域进行荧光成像, 确保无任何残留的淋巴结。根据日本胃癌分类指南^[18]对淋巴结站的定义, 对切除下的标本中分离出含淋巴结的软组织, 标明所有淋巴结所属站别(图2)。最后统一送检病理科进行标准检验。

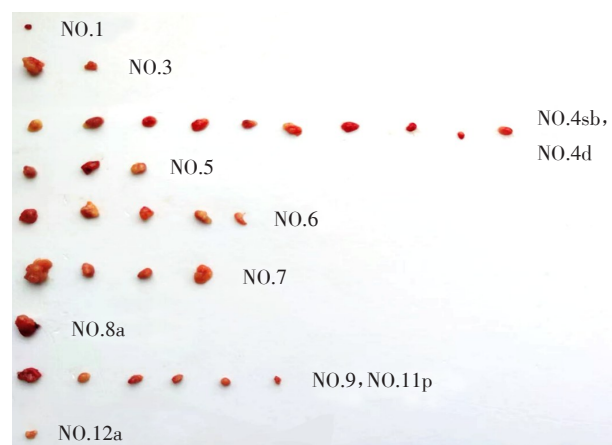


图2 远端胃切除后淋巴结分捡

Figure 2 Postoperative lymph node harvesting after distal gastrectomy

1.2.3 观察指标

一般资料: 性别、年龄、体重指数(body mass index,

BMI)、营养风险筛查评分(nutritional risk screening scores, NRS)2002、肿瘤直径、肿瘤部位、分化程度、脉管侵犯、Lauren分型。

手术资料:手术方式、消化道重建方式、手术时间、术中出血量、病理分期(pTNM)。

淋巴结清扫评价:淋巴结清扫总数、阳性淋巴结清扫数量、D1、D2区域清扫数量、各淋巴结站清扫数量。

术后指标:首次排气时间、术后住院时间、C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、白细胞计数(white blood cell, WBC)、白蛋白(albumin, Alb)、天门冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)与丙氨酸氨基转移酶(alanine transaminase, ALT)的比值、术后并发症、Clavien-Dindo并发症分级^[20]。

1.3 统计学方法

数据分析和分组采用SPSS 25.0软件和R 4.4.2 (MatchIt包)完成。采用倾向性评分匹配(propensity score matching, PSM)法控制混杂因素,以是否使用ICG为分组变量,以性别、年龄、BMI、NRS 2002、肿瘤直径、肿瘤部位、分化程度、脉管侵犯及Lauren分型为匹配变量,卡钳值设置为0.2,采用最优匹配法进

行1:1配对,最大限度保留完整样本量。计算标准化均值差(standardized mean difference, SMD)评估匹配效果,SMD<0.2认为匹配后组间均衡性较好。

正态分布的计量资料用均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,非正态分布的计量资料用中位数(四分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示,组间比较分别采用t检验和Mann-Whitney U检验。分类变量用频数(百分比)[$n(\%)$]表示,组间比较采用 χ^2 或Fisher确切概率法检验。所有统计分析均采用双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基本资料的比较

采用最优匹配法以1:1对非ICG组($n=117$)与ICG组($n=60$)进行PSM,匹配前后两组基线资料均无显著差异。匹配后两组样本量均为60例,所有协变量的SMD均控制在0.2以下。匹配后两组在性别、年龄、BMI、NRS 2002、肿瘤直径、肿瘤部位、分化程度、脉管侵犯及Lauren分型等基线特征上均达到良好平衡($P > 0.05$),匹配有效消除了组间混杂因素的影响(表2)。

表2 两组基本资料匹配前后的比较

Table 2 Comparison of basic data between two groups before and after propensity score matching

Variable	Before matching				After matching			
	non-ICG group ($n=117$)	ICG group ($n=60$)	$t/\chi^2/Z$ 0.814	P 0.416	non-ICG group ($n=60$)	ICG group ($n=60$)	$t/\chi^2/Z$	P
Age[years, $M(P_{25}, P_{75})$]	64(54, 71)	62(55, 68)	-0.706	0.481	64(54, 70)	62(55, 68)	0.297	0.767
BMI($\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x} \pm s$)	23.4 ± 3.5	23.8 ± 3.5	2.995	0.084	23.6 ± 3.7	23.8 ± 3.5	-0.315	0.753
Sex[$n(\%)$]							0.037	0.847
Male	92(78.6)	40(66.7)			39(65.0)	40(66.7)		
Female	25(21.4)	20(33.3)	0.000	1.000	21(35.0)	20(33.3)		
NRS2002 score[$n(\%)$]							0.000	1.000
< 3	109(93.2)	56(93.3)			57(95.0)	56(93.3)		
≥3	8(6.8)	4(6.7)	-1.457	0.145	3(5.0)	4(6.7)		
Tumor diameter[cm, $M(P_{25}, P_{75})$]	2.5(1.8, 4.0)	3.0(2.1, 4.0)	0.375	0.829	3.0(2.0, 4.2)	3.0(2.2, 4.0)	-0.326	0.744
Tumor location[$n(\%)$]							0.177	0.915
Upper	21(17.9)	13(21.7)			13(21.7)	13(21.7)		
Middle	38(32.5)	18(30.0)			20(33.3)	18(30.0)		
Lower	58(49.6)	29(48.3)	2.303	0.316	27(45.0)	29(48.3)		
Differentiation[$n(\%)$]							1.402	0.496
High	14(12.0)	3(5.0)			1(1.7)	3(5.0)		
Middle	20(17.1)	10(16.7)			13(21.7)	10(16.7)		
Low	83(70.9)	47(78.3)	0.257	0.612	46(76.7)	47(78.3)		
Vascular invasion[$n(\%)$]							0.307	0.580
Negative	69(59.0)	33(55.0)			36(60.0)	33(55.0)		

(续表2)

Variable	Before matching			After matching			
	non-ICG group (n=117)	ICG group (n=60)	<i>P</i>	non-ICG group (n=60)	ICG group (n=60)	<i>t/χ²/Z</i>	<i>P</i>
Positive	48(41.0)	27(45.0)	3.902 0.142	24(40.0)	27(45.0)	0.342	0.843
Lauren typing[n(%)]							
Intestinal	53(45.3)	18(30.0)		21(35.0)	18(30.0)		
Diffuse	24(20.5)	15(25.0)		14(23.3)	15(25.0)		
Mixed	40(34.2)	27(45.0)		25(41.7)	27(45.0)		

2.2 两组手术情况的比较

匹配后手术数据显示, 两组的手术方式和消化道重建方式均无统计学差异($P > 0.05$)。ICG组手术时间为(259.5 ± 67.2) min, 非ICG组为(257.5 ± 63.9) min, 差异无统计学意义($P=0.867$)。ICG组和非ICG组术中出血量分别为50(50, 85)mL、50(50, 70)mL, 差异无统计学意义($P=0.846$)。术后病理评估发现58例(48.3%)患者存在淋巴结

转移(pN1-3)。病理分期为I、II、III、IV期的患者分别有43例(35.8%)、31例(25.8%)、39例(32.5%)、7例(5.8%), 两组间病理分期分布无差异($P=0.881$, 表3)。

2.3 两组淋巴结清扫数量的比较

术中切换至NIR荧光成像模式, 可清晰观察到目标区域的荧光淋巴结(图3)。表4展示了淋巴结清扫结果, ICG组的共检出2 024枚淋巴结[平均每

表3 两组手术资料匹配后的比较

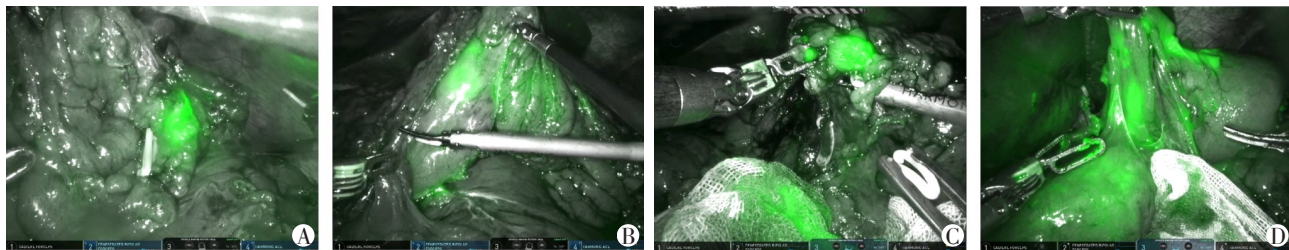
Table 3 Comparison of operative data between two groups after propensity score matching

Characteristic	non-ICG group(n=60)	ICG group(n=60)	Total(n=120)	<i>t/χ²/Z</i>	<i>P</i>
Operative time(min, $\bar{x} \pm s$)	257.5 ± 63.9	259.5 ± 67.2	258.5 ± 65.3	-0.168	0.867
Blood loss[mL, $M(P_{25}, P_{75})$]	50(50, 70)	50(50, 85)	50(50, 85)	-0.194	0.846
Surgical procedure[n(%)]				0.068	0.967
Proximal gastrectomy	12(20.0)	11(18.3)	23(19.2)		
Distal gastrectomy	28(46.7)	28(46.7)	56(46.7)		
Total gastrectomy	20(33.3)	21(35.0)	41(34.2)		
Reconstruction method[n(%)]				3.055	0.383
Esophago-gastric anastomosis	12(20.0)	11(18.3)	23(19.2)		
Billroth- I	5(8.3)	1(1.7)	6(5.0)		
Billroth- II	23(38.3)	27(45.0)	50(41.7)		
Roux-en-Y	20(33.3)	21(35.0)	41(34.2)		
pT staging[n(%)]				0.836	0.841
T1	24(40.0)	21(35.0)	45(37.5)		
T2	3(5.0)	5(8.3)	8(6.7)		
T3	23(38.3)	25(41.7)	48(40.0)		
T4	10(16.7)	9(15.0)	19(15.8)		
pN staging[n(%)]				1.322	0.724
N0	34(56.7)	28(46.7)	62(51.7)		
N1	5(8.3)	7(11.7)	12(10.0)		
N2	10(16.7)	11(18.3)	21(17.5)		
N3	11(18.3)	14(23.3)	25(20.8)		
pTNM staging[n(%)]				0.668	0.881
I	23(38.3)	20(33.3)	43(35.8)		
II	14(23.3)	17(28.3)	31(25.8)		
III	20(33.3)	19(31.7)	39(32.5)		
IV	3(5.0)	4(6.7)	7(5.8)		

例(33.73±12.66)枚],显著高于非 ICG 组的 1 569 枚 [平均每例(26.15±6.31)枚, $P < 0.001$]。但两组在阳性淋巴结检出量方面未见统计学差异[1(0,6)枚 vs. 0(0,4)枚, $P=0.192$]。进一步亚组分析显示, ICG 组在 D1 区域淋巴结清扫数量显著高于非 ICG 组 [(25.80±9.87)枚 vs. (19.45±5.05)枚, $P < 0.001$]; D2 区域清扫数量同样具有显著优势[(7.92±3.24)枚 vs. (6.73±2.05)枚, $P=0.019$]。在相同淋巴结站别分析中, ICG 组的淋巴结清扫数量优势集中在 3、4d、6、7、8a、12a 站(图 4)。

不同手术方式中 ICG 荧光导航的淋巴结清扫效果存在差异。近端胃切除术患者中, ICG 组的平均淋巴结清扫数量为(25.91±8.85)枚, 与非 ICG 组

(25.83±5.72)枚相当, 差异无统计学意义($P=0.981$)。远端胃切除术患者中, ICG 组的淋巴结清扫数量显著增加[(32.71±12.2)枚 vs. (25.43±6.56)枚, $P=0.008$]。全胃切除术患者中, ICG 显著提高了淋巴结检出数量[(39.19±12.89)枚 vs. (27.35±6.41)枚, $P=0.001$]。此外, 根据肿瘤分期进行的亚组分析显示, ICG 在不同 T 分期、N 分期亚组中均展示出显著清扫优势($P < 0.05$)。早期(I 期)胃癌中, ICG 能够显著提高淋巴结清扫数量[(31.20±11.24)枚 vs. (25.09±6.37)枚, $P=0.040$]。进展期(II~III 期)胃癌中, ICG 组平均淋巴结清扫数量为(35.00±13.27)枚, 仍显著高于非 ICG 组[(26.81±6.26)枚, $P=0.001$, 表 4]。



A: NO.12 lymph node imaging. B: NO.6 lymph node imaging. C: NO.4sb lymph node imaging. D: NO.7 lymph node imaging.

图 3 吲哚菁绿近红外光成像下淋巴结的显影

Figure 3 Indocyanine green near-infrared fluorescence imaging of lymph nodes

表 4 两组淋巴结清扫数量匹配后的比较

Table 4 Comparison of the number of retrieved LNs between two groups after propensity score matching

Characteristic	Number of retrieved LNs			$t/\chi^2/Z$	P
	non-ICG group($n=60$)	ICG group($n=60$)	Total		
Total retrieved LNs($\bar{x} \pm s$)	26.15 ± 6.31	33.73 ± 12.66	29.94 ± 10.66	-4.153	< 0.001
Positive retrieved LNs[$M(P_{25}, P_{75})$]	1(0,6)	0(0,4)	0(0,5)	-1.315	0.192
D1 retrieved LNs($\bar{x} \pm s$)	19.45 ± 5.05	25.8 ± 9.87	22.62 ± 8.43	-4.438	< 0.001
D2 retrieved LNs($\bar{x} \pm s$)	6.73 ± 2.05	7.92 ± 3.24	7.32 ± 2.77	-2.389	0.019
Surgical procedure($\bar{x} \pm s$)					
Proximal gastrectomy	25.83 ± 5.72	25.91 ± 8.85	25.87 ± 7.21	-0.025	0.981
Distal gastrectomy	25.43 ± 6.56	32.71 ± 12.20	29.07 ± 10.38	-2.783	0.008
Total gastrectomy	27.35 ± 6.41	39.19 ± 12.89	33.41 ± 11.77	-3.750	0.001
pT staging($\bar{x} \pm s$)					
T1	25.54 ± 6.83	31.48 ± 11.09	28.31 ± 9.45	-2.125	0.041
T2-3	27.04 ± 6.16	33.17 ± 13.29	30.32 ± 10.95	-2.261	0.029
T4	25.30 ± 5.66	40.89 ± 12.72	32.68 ± 12.33	-3.387	0.006
pN staging($\bar{x} \pm s$)					
N0	25.24 ± 6.55	31.11 ± 11.57	27.89 ± 9.55	-2.388	0.022
N+	27.35 ± 5.89	36.03 ± 13.29	32.14 ± 11.41	-3.318	0.002
pTNM staging($\bar{x} \pm s$)					
I	25.09 ± 6.37	31.20 ± 11.24	27.93 ± 9.38	-2.151	0.040
II-III	26.81 ± 6.26	35.00 ± 13.27	31.06 ± 11.22	-3.505	0.001

D1: 1、2、3、4sb、4d、5、6、7; D2: 8a、9、11p、11d、12a. LNs: lymph nodes.

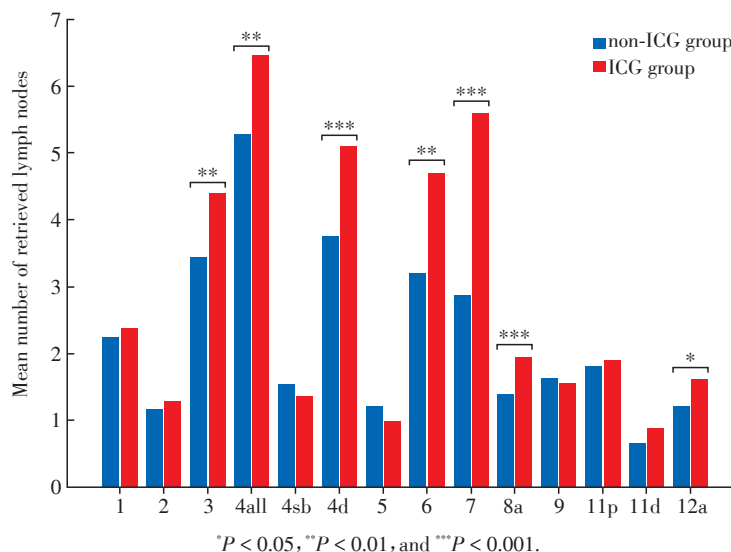


图4 两组患者各站淋巴结清扫数量的比较

Figure 4 Comparison of the number of retrieved lymph nodes at each station between the two groups

2.4 两组术后资料的比较

ICG组的总体并发症发生率为8.3%(5/60),包括胃排空障碍1例,淋巴漏2例,肺部感染1例,肺栓塞1例;非ICG组的并发症发生率为1.7%,仅胃排空障碍1例,两组差异无统计学意义($P=0.365$)。对比两组术后康复指标,ICG组术后首次通气时间为50(43, 68)min,显著短于非ICG组的62(45, 92)min($P=0.030$)。术后第3天炎症指标(CRP、WBC、

Alb、AST/ALT)检测结果显示,两组间差异均无统计学意义(P 均 >0.05);且ICG的应用未对术后住院时间产生显著影响($P=0.842$,表5)。

3 讨论

淋巴结清扫作为胃癌根治术的关键步骤,其完整性和彻底性直接影响肿瘤的准确分期和后续治疗方案的制定。无论肿瘤位于任何部位、临床处于

表5 两组术后资料匹配后的比较

Table 5 Comparison of postoperative data between the two groups after propensity score matching

Characteristic	non-ICG group($n=117$)	ICG group($n=60$)	Total($n=120$)	$t/\chi^2/Z$	P
Surgical complication[$n(\%)$]				-	0.365
No	59(98.3)	55(91.7)	114(95)		
Gastric emptying disorder	1(1.7)	1(1.7)	2(1.7)		
Lymphatic leakage	0(0)	2(3.3)	2(1.7)		
Lung infection	0(0)	1(1.7)	1(0.8)		
Pulmonary embolism	0(0)	1(1.7)	1(0.8)		
Clavien-Dindo[$n(\%)$]				-	0.238
0	59(98.3)	55(91.7)	114(95)		
1	1(1.7)	3(5.0)	4(3.3)		
2	0(0)	1(1.7)	1(0.8)		
3	0(0)	0(0)	0(0)		
4	0(0)	1(1.7)	1(0.8)		
Hospital stay[d, $M(P_{25}, P_{75})$]	7(6, 10)	7(6, 9)	7(6, 10)	-0.199	0.842
Ventilation time[h, $M(P_{25}, P_{75})$]	62(45, 92)	50(43, 68)	52(44, 70)	2.169	0.030
CRP[mg/L, $M(P_{25}, P_{75})$]	25.44(10.71, 39.00)	29.14(14.81, 40.30)	27.05(13.56, 39.30)	-1.102	0.270
WBC[$\times 10^9/L$, $M(P_{25}, P_{75})$]	11.12(9.55, 13.01)	11.95(9.75, 14.30)	11.73(9.66, 13.85)	-1.320	0.187
AST/ALT[$M(P_{25}, P_{75})$]	0.93(0.81, 1.16)	0.95(0.80, 1.24)	0.94(0.81, 1.18)	0.184	0.854
Alb(g/L, $\bar{x} \pm s$)	40.02 \pm 3.42	39.31 \pm 4.29	39.66 \pm 3.88	1.000	0.319

任何分期或者是否接受新辅助化疗,这些存在的淋巴结均有可能转移到每个单独的淋巴结站,因此在保证手术安全性的前提下,不应降低标准D2淋巴结清扫的范围,以确保肿瘤的根治和分期的准确性^[21]。尽管机器人手术系统在淋巴结清扫方面展示出显著优势,但其缺乏触觉反馈,这可能影响淋巴结的精准定位^[8,22]。ICG引导的荧光淋巴造影技术通过其内成像和实时成像的特性弥补了这一缺陷,实现了淋巴结的精准可视化导航^[23]。本研究回顾性纳入了各个分期的胃癌患者,主要观察指标是淋巴结清扫数量,旨在评估ICG-NIR荧光成像技术在RG中引导淋巴结清扫的有效性和安全性,结果显示ICG组的淋巴结清扫数量较非ICG组显著增加。

目前,已有多项研究证实了ICG荧光成像技术在腹腔镜胃癌根治术中的临床价值。黄昌明教授团队开展的FUGES-012研究表明,ICG组的淋巴结检出量(50.5±15.9)枚显著高于非ICG组(40.0±10.3)枚,且清扫不达标率显著低于非ICG组(31.8% vs. 57.4%)^[24]。然而,随着微创外科技术进步,RG相比传统腹腔镜在淋巴结清扫数量、清扫合格率、解剖完整性及清扫时间上均能展现出显著优势,尤其适用于一些深部和复杂解剖区域的清扫^[25]。在这一技术背景下,ICG-NIR成像技术与RG的结合应用成为研究热点。韩国一项前瞻性研究结果表明近红外组在D2范围内,淋巴结清扫数量显著多于非近红外组(48.9枚 vs. 35.2枚)^[26]。Tian等^[27]研究结果同样支持这一结论,ICG组平均淋巴结清扫数量显著高于对照组(39.19枚 vs. 35.28枚)。Romanzi等^[28]前瞻性纳入了10例术中使用了ICG的患者,结果发现ICG组的整体淋巴结清扫数量显著多于对照组(40枚 vs. 24枚)。本研究的结果与上述发现高度吻合,进一步证实了该技术在RG中的应用前景。

值得注意的是,虽然多数研究证实ICG荧光导航技术可显著提高淋巴结清扫数量,但其对转移性淋巴结的识别却未展现出显著优势^[29-30]。这一现象可能与肿瘤转移的生物学特性密切相关。淋巴结转移涉及肿瘤细胞迁移、淋巴管生成及转移前微环境形成等多个生物学过程^[31]。肿瘤细胞通过上皮-间质转化获得迁移能力时,伴随基底膜完整性破坏,淋巴管内异常沉积的胶原纤维阻塞了淋巴管^[33],显著阻碍ICG分子向区域淋巴结的扩散。此外,研究证明,近红外荧光造影剂可通过全身血液循环分布至靶组织^[32]。淋巴结转移的过程中,血管内皮生长因子-C的高表达会显著促进淋巴管生成,转移灶内病

理性血管的异常增生可能引发淋巴管-血管系统混合显影现象,导致ICG荧光信号混杂,特异性降低,显影不清。因此,术中在淋巴结清扫决策时,应避免单一依赖荧光显影特征判断转移状态。

虽然ICG技术未能显著提高阳性淋巴结检出数量,但其在增加淋巴结清扫总数方面具有明确优势。越来越多的研究支持一个共识,充分的淋巴结清扫与改善患者预后密切相关。Zhao等^[34]证实淋巴结检出数量≥30枚与更长的无病生存期(disease free survival, DFS)显著相关。Ji等^[35]研究发现,对于pN0期患者,淋巴结清扫数量≥22枚有助于延长总生存期(overall survival, OS)。黄昌明团队基于FUGES-012研究的长期随访数据揭示,ICG引导的淋巴结清扫术是DFS、OS的独立保护因素(HR=0.51, P=0.014; HR=0.49, P=0.023),两组累积复发率也存在显著差异(17.8% vs. 31.0%, P=0.020),突显了该技术的肿瘤学获益^[36]。此外,微转移淋巴结的检出始终是手术清扫的技术难点。这些含有活性肿瘤细胞的微转移淋巴结可能成为局部复发或远处转移的潜在来源^[37]。当淋巴结清扫不足时,部分实际存在微转移的患者被误判为pN0,导致分期迁移。Smith等^[38]基于美国胃癌人群数据库分析证实,患者生存率与淋巴结检出数量呈显著正相关,这一结论在不同肿瘤分期亚组中均得到验证。因此,通过ICG导航技术提高淋巴结检出数量具有重要临床价值,通过最大限度地清除潜在微转移病灶,有效降低淋巴结转移负荷,从而减少复发风险并改善长期生存预后。

ICG-NIR技术在淋巴结清扫中也展现了全方位的解剖学优势。一项国内多中心回顾性研究显示,ICG能显著增加包括5、8a、9和12a组淋巴结清扫数量^[39]。FUGES-020试验数据说明,无论是全胃切除术(7、8和12a组)还是远端胃切除术(4d、6和12a组),ICG组的淋巴结清扫数量均显著增加^[40]。本研究通过淋巴结站亚组分析,发现ICG组在D1和D2站的清扫数量上均高于非ICG组,尤其在3、4d、6、7、8a、12a站的清扫效果显著提升,这些区域对应胃周主要血管区的淋巴引流路径。机器人技术的三维立体视野可以清晰识别血管、淋巴管走行,ICG的荧光显影实时标记淋巴结引流路径,这种“解剖精准+光学导航”的协同效应优势,使D2区域淋巴结清扫的完整性和安全性得到显著提升。

本研究发现,ICG组的淋巴结清扫数量与其他研究团队报道的结果存在较大差异,进一步进行亚

组分析,结果显示ICG技术在不同术式中展现出差异化的清扫效果。在远端胃和全胃切除术中,ICG组按照D2标准清扫的淋巴结数量均显著优于非ICG组,这一发现与黄昌明团队的研究结果高度一致^[24],进一步证实了ICG荧光示踪技术在远端和全胃切除术中的临床价值。在近端胃切除术中,关于是否清扫远端胃周淋巴结(4d、5、6组)仍存在争议。日本一项研究显示,近端胃癌的远端胃周淋巴结转移发生率不足1%,预防性清扫不一定能使患者受益^[41]。本研究中,所有近端胃切除术患者未进行远端胃周淋巴结清扫,结果提示两组淋巴结清扫数量上无显著差异,未来需通过更大样本量的前瞻性研究验证ICG在近端胃切除术中的应用价值。此外,肿瘤分期亚组分析揭示了ICG技术的广泛适用性。无论在早期还是进展期胃癌中,ICG均展现出显著的淋巴结获取优势。尤其对于T4和N+期的患者来说,ICG技术能够优化淋巴结清扫的完整性。

良好的ICG成像应表现为图像清晰、定位准确、无渗漏以及清扫范围外无显影^[28]。研究表明,荧光成像的质量与注射方法和剂量显著相关,ICG的注射方法包括术前黏膜下和术中浆膜下注射,黏膜下注射需要患者在术前再次行胃镜检查,这就可能存在穿孔风险^[42]。相比之下,浆膜下注射在淋巴结获取总数、不合格率、手术时间及术后并发症发生率等方面与黏膜下注射ICG相当,但具有患者满意度更高和成本效益更优的优势^[43]。本研究采用术中浆膜下注射方案,利用机器人手术系统高自由度的机械臂进行精准注射,与传统腹腔镜手持器械相比能够降低荧光剂渗漏风险,有效保护手术操作视野。本研究中ICG组患者均未发生荧光剂渗漏,且按照共识推荐注射剂量,每个注射点使用1 mL,获得了最佳荧光显影效果。此外,本研究在数据分析时未能考虑到术者经验、医院资源等混杂因素,但得益于同一手术团队,手术质量一致性较高,具有可分析性。随着手术的操作时长曲线增加,术者对于手术的操作熟练度也会有提升,对于后期纳入的患者可能存在一定影响,本研究也是对ICG在机器人中应用的初步探索,未来应着重制定标准化的手术操作流程,并通过严格的培训体系减少术者间差异,从而更准确地评估ICG导航技术的临床价值。

本研究结果显示两组的手术时间和术中出血量方面无显著差异,这与Kwon等^[26]和Lan等^[44]的研究结果一致。值得注意的是,尽管ICG荧光导航需要额外注射时间,但通过标准化操作流程,其应用

并未对手术效率产生负影响。在术后短期疗效评价中,ICG的应用并未对住院时间和并发症发生率产生负影响。本研究还观察到ICG组的术后通气时间显著早于非ICG组,这一发现提示ICG的应用可能促进术后早期康复。本研究在术中充分利用机器人手术平台的三维高清视野,结合ICG介导的淋巴显影系统,通过显影的淋巴结间接定位伴行的自主神经丛,减少了术中神经纤维束的损伤,有效保护了胃肠动力调控功能。胃肠功能的早期恢复不仅缩短患者通气时间,更快过渡到正常饮食,还能有效避免营养不良导致的切口愈合延迟。ICG的应用可能推动加速康复外科理念在胃癌中的深度实践。术后炎症指标可以反映术后创伤应激的程度并提示预后情况^[45-47],比较两组术后CRP、WBC、Alb以及AST/ALT,结果提示无显著差异,表明ICG的应用不会加重术后创伤应激反应。此外,在术后住院期间内,未观察到患者出现与ICG相关的过敏反应或肝肾损伤等不良事件,这些结果初步验证了ICG在RG中应用的短期安全性。分析可能与ICG快速代谢特性(半衰期3~5 min)、高效排泄率(24 h>97%)和剂量安全性(远低于毒性阈值)相关。然而,仍需加强对ICG毒性的长期监测,以进一步完善其安全性的循证依据。

本研究还存在一些局限性。首先,作为单中心回顾性研究,病例筛选依赖历史医疗记录,存在选择偏倚,虽然采用PSM对已知的基线特征进行平衡,但仍存在潜在混杂因素,如术者经验积累、手术系统更新等。第二,匹配后样本量有限,研究结果仅能提供初步证据支持,尤其在亚组分析中效能进一步降低。第三,缺乏长期随访数据,无法评估ICG技术对DFS和OS的潜在影响。最后,淋巴结分检过程中未使用NIR成像系统进行逐站检测,无法量化分析各站淋巴结的荧光显影特征。未来希望开展多中心前瞻性随机对照研究,建立标准化荧光评估体系,完善长期随访机制,为ICG技术在RG中的规范化应用提供高级别的循证医学证据。

综上所述,ICG-NIR荧光成像示踪技术在RG中的应用具有可靠的安全性和有效性。该技术通过实时淋巴结荧光显影显著提高了淋巴结清扫数量,为精准病理分期、术后辅助治疗决策和预后评估提供了重要依据。同时,ICG的应用不仅未影响手术时间、术中出血量、术后住院时间和并发症发生率等围手术期风险指标,反而能显著缩短术后通气时间。这些发现为ICG-NIR示踪技术纳入机器人胃癌

手术标准化流程提供了初步证据。

利益冲突声明:

所有作者声明无利益冲突。

Conflict of Interests:

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

作者贡献声明:

陈宣羽负责研究设计、数据分析和文章撰写;朱陈、林思颖负责数据整理;江志伟、邓正明负责研究指导、论文审阅和经费支持。

Author's Contributions:

CHEN Xuanyu was responsible for research design, data analysis and manuscript writing; ZHU Chen and LIN Siyin were responsible for data organization; JIANG Zhiwei and DENG Zhengming were responsible for research guidance, paper review, and funding support.

[参考文献]

- [1] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229-263
- [2] SONGUN I, PUTTER H, KRANENBARG E M K, et al. Surgical treatment of gastric cancer: 15-year follow-up results of the randomised nationwide Dutch D1D2 trial[J]. *Lancet Oncol*, 2010, 11(5): 439-449
- [3] SEEVARATNAM R, BOCICARIU A, CARDOSO R, et al. A meta-analysis of D1 versus D2 lymph node dissection[J]. *Gastric Cancer*, 2012, 15(S1): 60-69
- [4] MOCELLIN S, NITTI D. Lymphadenectomy extent and survival of patients with gastric carcinoma: a systematic review and meta-analysis of time-to-event data from randomized trials[J]. *Cancer Treat Rev*, 2015, 41(5): 448-454
- [5] 姚子豪, 钟情, 吴栋, 等. 局部进展期胃癌微创外科进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2024, 51(13): 690-694
- YAO Z H, ZHONG Q, WU D, et al. Advances in minimally invasive surgery for locally advanced gastric cancer[J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2024, 51(13): 690-694
- [6] 李楨民, 张强, 李临川, 等. 机器人辅助胃切除术的研究进展及相关讨论[J]. *腹腔镜外科杂志*, 2023, 28(9): 712-715
- LI Z M, ZHANG Q, LI L C, et al. Research progress and critical perspectives on robotic-assisted gastrectomy: a comprehensive review[J]. *Journal of Laparoscopic Surgery*, 2023, 28(9): 712-715
- [7] SHIBASAKI S, SUDA K, HISAMORI S, et al. Robotic gastrectomy for gastric cancer: systematic review and future directions[J]. *Gastric Cancer*, 2023, 26(3): 325-338
- [8] LU J, ZHENG C H, XU B B, et al. Assessment of robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*, 2021, 273(5): 858-867
- [9] 刘丰铭, 张群耀, 方云达, 等. 新辅助化疗联合达芬奇机器人手术治疗进展期胃癌的安全性及短期疗效的临床研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(03): 349-356
- LIU F M, ZHANG Q Y, FANG Y D, et al. Safety and short-term efficacy of Da Vinci robotic surgery after neoadjuvant chemotherapy for locally advanced gastric cancer[J]. *Journal of Nanjing Medical University(Natural Sciences)*, 2023, 43(3): 349-356
- [10] SCHAAFSMA B E, MIEOG J S D, HUTTEMAN M, et al. The clinical use of indocyanine green as a near-infrared fluorescent contrast agent for image-guided oncologic surgery[J]. *J Surg Oncol*, 2011, 104(3): 323-332
- [11] GIOUX S, CHOI H S, FRANGIONI J V. Image-guided surgery using invisible near-infrared light: fundamentals of clinical translation[J]. *Mol Imaging*, 2010, 9(5): 237-255
- [12] CARUSO S, PATRITI A, ROVIELLO F, et al. Laparoscopic and robot-assisted gastrectomy for gastric cancer: current considerations[J]. *World J Gastroenterol*, 2016, 22(25): 5694
- [13] 中华医学会外科学分会胃肠外科学组. 吲哚菁绿近红外光成像技术在腹腔镜胃癌根治术中应用中国专家共识(2023版)[J]. *中华普通外科学文献(电子版)*, 2023, 17(3): 161-168
- Chinese Society of Gastrointestinal Surgery, Chinese Society of Surgery. Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on the application of indocyanine green near-infrared imaging in laparoscopic radical gastrectomy for gastric cancer(2023 edition)[J]. *Chinese Archives of General Surgery(Electronic Edition)*, 2023, 17(3): 161-168
- [14] Japanese Gastric Cancer Association. Japanese gastric cancer treatment guidelines 2021(6th edition)[J]. *Gastric Cancer*, 2023, 26(1): 1-25
- [15] 中国研究型医院学会机器人与腹腔镜外科专业委员会, 中国抗癌协会胃癌专业委员会. 机器人胃癌手术中国专家共识(2021版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(1): 1-9
- Robotic and Laparoscopic Surgery Committee of Chinese Research Hospital Association, Chinese Gastric Cancer

- Association. Chinese expert consensus on robotic surgery for gastric cancer (2021 edition) [J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2022, 21(1): 1-9
- [16] 中华医学会外科学分会腹腔镜与内镜外科学组, 中国研究型医院学会机器人与腹腔镜外科专业委员会, 中国抗癌协会内镜与机器人外科分会, 等. 腹腔镜胃癌手术操作指南(2023版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2023, 22(4): 425-436
- Chinese Society of Laparoscopic and Endoscopic Surgery, Chinese Surgical Society, Chinese Medical Association; Robotic and Laparoscopic Surgery Committee of Chinese Research Hospital Association; Endoscopic and Robotic Surgical Society, China Anti-Cancer Association, et al. Guideline for laparoscopic gastrectomy for gastric cancer (2023 edition) [J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2023, 22(4): 425-436
- [17] 赵 坤, 潘华峰, 王 刚, 等. 达芬奇手术机器人与腹腔镜行远端胃癌根治术近期疗效对照研究[J]. *中国实用外科杂志*, 2013, 33(4): 325-327
- ZHAO K, PAN H F, WANG G, et al. Short-term outcomes of robot-assisted versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer [J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2013, 33(4): 325-327
- [18] Japanese Gastric Cancer Association. Japanese classification of gastric carcinoma: 3rd English edition [J]. *Gastric Cancer*, 2011, 14(2): 101-112
- [19] 中国抗癌协会胃癌专业委员会. 局部进展期胃癌规范化淋巴清扫范围中国专家共识(2022版)[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2022, 25(4): 277-283
- Gastric Cancer Association, China Anti Cancer Association. Chinese expert consensus on extent of standardized lymphadenectomy for locally advanced gastric cancer (2022 edition) [J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2022, 25(4): 277-283
- [20] DINDO D, DEMARTINES N, CLAVIEN P A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey [J]. *Ann Surg*, 2004, 240(2): 205-213
- [21] DE JONGH C, TRIEMSTRA L, VAN DER VEEN A, et al. Pattern of lymph node metastases in gastric cancer: a side-study of the multicenter LOGICA-trial [J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25(6): 1060-1072
- [22] GONG S, LI X, TIAN H, et al. Clinical efficacy and safety of robotic distal gastrectomy for gastric cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(5): 2734-2748
- [23] 黄昌明, 梁 寒, 郑朝辉, 等. 吲哚菁绿导航腹腔镜胃癌根治术的应用实践[J]. *中国肿瘤临床*, 2024, 51(13): 663-669
- HUANG C M, LIANG H, ZHENG Z H, et al. Application and practice of indocyanine green-guided laparoscopic radical gastrectomy for gastric cancer [J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2024, 51(13): 663-669
- [24] CHEN Q Y, XIE J W, ZHONG Q, 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
- [25] LU J, XU B B, ZHENG H L, et al. Robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for resectable gastric cancer: a randomized phase 2 trial [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 4668
- [26] KWON I G, SON T, KIM H I, et al. Fluorescent lymphography-guided lymphadenectomy during robotic radical gastrectomy for gastric cancer [J]. *JAMA Surgery*, 2019, 154(2): 150-158
- [27] TIAN Y, LIN Y, GUO H, et al. Safety and efficacy of carbon nanoparticle suspension injection and indocyanine green tracer-guided lymph node dissection during robotic distal gastrectomy in patients with gastric cancer [J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(5): 3209-3216
- [28] 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
- [29] 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
- [30] 魏 猛, 陈 成, 王立梅, 等. 吲哚菁绿标记近红外荧光腹腔镜胃癌根治术的应用价值评估[J]. *腹腔镜外科杂志*, 2019, 24(3): 185-192
- WEI M, CHEN C, WANG L M, et al. Clinical application near-infrared camera imaging with indocyanine green-enhanced fluorescence technique in laparoscopic radical gastrectomy [J]. *Journal of Laparoscopic Surgery*, 2019, 24(3): 185-192
- [31] JI H, HU C, YANG X, et al. Lymph node metastasis in cancer progression: molecular mechanisms, clinical significance and therapeutic interventions [J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2023, 8(1): 367
- [32] ASHITATE Y, HYUN H, KIM S H, et al. Simultaneous mapping of pan and sentinel lymph nodes for real-time image-guided surgery [J]. *Theranostics*, 2014, 4(7): 693-700
- [33] PASTUSHENKO I, MAURI F, SONG Y, et al. Fat1 dele-

- tion promotes hybrid EMT state, tumour stemness and metastasis[J]. *Nature*, 2021, 589(7842):448-455
- [34] ZHAO L, HAN W, YANG X, et al. Exceeding 30 ELNs is strongly recommended for pT3-4N0 patients with gastric cancer: a multicenter study of survival, recurrence, and prediction model[J]. *Cancer Sci*, 2021, 112(8): 3266-3277.
- [35] JI X, BU Z D, LI Z Y, et al. Prognostic significance of the total number of harvested lymph nodes for lymph node-negative gastric cancer patients[J]. *BMC Cancer*, 2017, 17(1):558
- [36] CHEN Q Y, ZHONG Q, LIU Z Y, et al. Indocyanine green fluorescence imaging-guided versus conventional laparoscopic lymphadenectomy for gastric cancer: long-term outcomes of a phase 3 randomized clinical trial[J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1):7413
- [37] CAI J, IKEGUCHI M, TSUJITANI S, et al. Significant correlation between micrometastasis in the lymph nodes and reduced expression of E-cadherin in early gastric cancer[J]. *Gastric Cancer*, 2001, 4(2):66-74
- [38] SMITH D D, SCHWARZ R R, SCHWARZ R E. Impact of total lymph node count on staging and survival after gastrectomy for gastric cancer: data from a large US-population database[J]. *J Clin Oncol*, 2005, 23(28): 7114-7124
- [39] HUANG Z N, SU Y, QIU W W, et al. Assessment of indocyanine green tracer-guided lymphadenectomy in laparoscopic gastrectomy after neoadjuvant chemotherapy for locally advanced gastric cancer: results from a multicenter analysis based on propensity matching[J]. *Gastric Cancer*, 2021, 24(6): 1355-1364
- [40] HUANG Z N, TANG Y H, ZHONG Q, et al. Assessment of laparoscopic indocyanine green tracer-guided lymphadenectomy after neoadjuvant chemotherapy for locally advanced gastric cancer: a randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*, 2024, 279(6):923-931
- [41] YAMASHITA H, SETO Y, SANO T, et al. Results of a nation-wide retrospective study of lymphadenectomy for esophagogastric junction carcinoma[J]. *Gastric Cancer*, 2017, 20(Suppl 1):69-83
- [42] 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):295-299
- CAI T Y, LIU F L. Application value and difficulty analysis of fluorescence laparoscopy in lymphadenectomy of gastric cancer [J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2022, 25(4):295-299
- [43] CHEN Q Y, ZHONG Q, LI P, et al. Comparison of submucosal and subserosal approaches toward optimized indocyanine green tracer-guided laparoscopic lymphadenectomy for patients with gastric cancer(FUGES-019): a randomized controlled trial[J]. *BMC Med*, 2021, 19(1):276
- [44] 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: 2050312117727444
- [45] 罗亮, 陈汇, 吴宸, 等. 胰十二指肠切除术后腹腔感染病原菌分布及炎症指标的诊断价值[J]. *中华医院感染学杂志*, 2025, 35(2):230-234
- LUO L, CHEN H, WU C, et al. Distribution of pathogens isolated from pancreaticoduodenectomy patients with post-operative intra-abdominal infection and diagnostic values of inflammatory indexes[J]. *Chinese Journal of Hospital Infection*, 2025, 35(2):230-234
- [46] 付玉茹, 孙振康, 刘成, 等. C反应蛋白/白蛋白比值与重症肺炎患者病情严重程度的关系及其对28d死亡风险的预测价值[J]. *解放军医学杂志*, 2025, 50(3):309-317
- FU Y R, SUN Z K, LIU C, et al. Relationship between C-reactive protein/albumin ratio and severity in patients with severe pneumonia and its predictive value for 28-day mortality risk [J]. *Medical Journal of Chinese People's Liberation Army*, 2025, 50(3):309-317
- [47] ZANETTO A, PELIZZARO F, CAMPELLO E, et al. Severity of systemic inflammation is the main predictor of ACLF and bleeding in individuals with acutely decompensated cirrhosis[J]. *J Hepatol*, 2023, 78(2):301-311
- [收稿日期] 2025-03-17
(本文编辑:戴王娟)

(上接第1426页)

- via DNA Methylation and may predispose to obesity and obesity-related disorders[J]. *Lipids Health Dis*, 2019, 18(1):230
- [39] 周子欣, 杨旭乐, 张许, 等. 去泛素化酶YOD1调控肝脏脂代谢的初步研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2021, 41(12):1735-1740
- ZHOU Z X, YANG X L, ZHANG X, et al. Study on YOD1 in regulating liver lipid metabolism[J]. *Journal of Nanjing Medical University (Natural Sciences)*, 2021, 41(12):1735-1740
- [收稿日期] 2025-05-15
(本文编辑:蒋莉)