

## 机器人手术在肝胆胰外科中的应用与进展

钱剑锋, 秦凯, 金佳斌, 彭承宏

(上海交通大学医学院附属瑞金医院普外科·胰腺疾病诊疗中心 上海 200025)

**摘要** 机器人手术自 21 世纪问世以来已成为微创手术的代表, 并得到迅速发展。肝胆胰手术难度大, 往往涉及复杂的解剖、消化道重建及精细的血管吻合, 这导致其微创手术的发展相对缓慢, 而机器人手术则可打破这一局面。如何拓宽机器人手术的适应证并进一步发展机器人手术技术则是未来外科发展的重要方向。本综述针对机器人手术在肝胆胰外科中的应用现状及未来发展前景进行总结及展望。

**关键词** 肝切除术; 胰腺手术; 胆道手术; 机器人辅助手术; 微创外科

**中图分类号** R608 R656 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2023) 01-0012-06

## Application and progress of robotic hepatobiliary and pancreatic surgery

QIAN Jianfeng, QIN Kai, JIN Jiabin, PENG Chenghong

(Department of General Surgery, Pancreatic Disease Center, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China)

**Abstract** Robotic surgery has become a representative of minimally invasive surgery and developed rapidly since its emergence in the 21st century. For hepatobiliary and pancreatic surgery, the development of minimally invasive surgery is relatively slow due to its difficulty to perform, which often involves complex anatomy, reconstruction of digestive tract and fine vascular anastomosis. However, robotic surgical system breaks this situation. How to expand the indications of robotic surgery and develop robotic technology in surgery is an important direction for the future development of surgery. In this paper, the application status and future development of robotic hepatobiliary and pancreatic surgery were discussed.

**Key words** Hepatectomy; Pancreatic surgery; Biliary surgery; Robot-assisted surgery; Minimally invasive surgery

收稿日期: 2021-06-10 录用日期: 2022-01-17

Received Date: 2021-06-10 Accepted Date: 2022-01-17

基金项目: 上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金(YG2019QNB26); 上海理工大学医工交叉创新中心项目(1020308402)

Foundation Item: Interdisciplinary Program of Shanghai Jiao Tong University(YG2019QNB26); Program of Medical-Engineering Interdisciplinary Innovation Center of University of Shanghai for Science and Technology(1020308402)

通讯作者: 彭承宏, Email: chhpeng@188.com

Corresponding Author: PENG Chenghong, Email: chhpeng@188.com

引用格式: 钱剑锋, 秦凯, 金佳斌, 等. 机器人手术在肝胆胰外科中的应用与进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2023, 4(1): 12-17.

Citation: QIAN J F, QIN K, JIN J B, et al. Application and progress of robotic hepatobiliary and pancreatic surgery [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2023, 4(1): 12-17.

在过去的三十年中，微创手术（Minimally Invasive Surgery, MIS）由于能减轻术后疼痛、减少手术创伤、缩短住院时间并利于快速康复，已成为当代外科发展的主旋律，而机器人手术的问世则开启了微创手术的新篇章。目前，临床应用最广泛的微创系统是美国 Intuitive Surgical 公司研发的达芬奇机器人手术系统，因其拥有高清的三维立体视觉，7 个自由度的机械臂，可过滤术者自身不能控制的自然颤动，利于狭小空间的精细操作等优势，克服了腹腔镜手术的缺陷，被越来越多地应用于各外科领域。肝胆胰手术往往涉及较深且狭窄的手术空间、复杂的解剖结构，需要精密的止血与精细的吻合，这导致微创手术的开展在该领域一度踌躇不前，而机器人手术系统的出现打破了这一局面，实现了肝胆胰微创手术的飞跃。本综述针对机器人手术在肝胆胰外科中的应用与进展进行总结。

## 1 机器人手术在肝脏外科中的应用

Giulianotti P C 等人<sup>[1]</sup>于 2003 年报道了首例机器人辅助肝切除术，自此关于机器人肝切除术的文献报道逐渐增多。2018 年国际机器人肝切除专家小组发布了第一份关于机器人肝切除术的国际共识声明<sup>[2]</sup>，该手术的适应证也从早期的各种经典术式延伸到了机器人联合肝脏及其他脏器切除术、机器人供体肝切除术、机器人联合肝脏分割和门静脉结扎的分阶段肝切除术（Associating Liver Partition and Portal Vein Ligation for Staged Hepatectomy, ALPPS）等，其优势表现为肝门解剖更为方便、安全，利于缝合，控制出血更有效，胆道及血管吻合重建更方便等，特别是相较于腹腔镜手术而言，机器人技术在肝脏 Couinaud I、IV a、VII、VIII 段等位于后上段或困难部位的肿瘤切除中的优势已得到共识<sup>[3]</sup>。

目前大量研究已验证了机器人肝脏切除手术的安全性与有效性，但其较传统开腹手术和腹腔镜手术的优势仍缺少高质量循证依据，且相关报道多为单一中心、样本量较少的回顾性研究。一项 Meta 分析比较了机器人和传统开腹肝切除术的短期结局<sup>[4]</sup>，结果显示两组患者在术中输血率、失血量方面无明显差异；术后机器人组的术后并发症发生率显著降低（15.5% Vs 22.2%， $P=0.006$ ）。与其他研究结果相似，对于大肝切除和常规位置的肝段切除，机器人手术的优势尚不明显，Melstrom L G 等人<sup>[5]</sup>对此提出了一种“切口主导”的新理念，即对于位置难以在腔镜下探及、往往需要大切口才能切除、术后恢复主要受切口影响的患者，机器人为更优选择，且采用此理念后实现了 90% 的机器人成功率，66% 的患者能够在不到 3d 的时间内出院（包括 3 例半肝切除术），甚至有 14 例患者在手术当天出院。在肿瘤学结局上，CHEN P D 等人<sup>[6]</sup>对肝细胞癌患者进行了一项倾向性匹配分析，每组纳入 81 例患者，结果显示机器人手术和开腹手术均能达到 R<sub>0</sub> 切除，并且具有相似的肿瘤分期，两组患者的病理结果和组织学分级也无显著性差异。在随访期间，机器人组和开腹组的无病生存期（第 3 年：72.2% Vs 58.0%， $P=0.062$ ）及总生存期（第 3 年：92.6% Vs 93.7%， $P=0.431$ ）相似，但机器人组有更好的无病生存趋势。作为微创手术的新趋势，从早期的研究到最新的 Meta 分析，总体显示机器人肝脏切除术较传统腹腔镜手术在短期结局（术中失血量、手术时间、住院时间）方面差别不大，而随着手术经验的积累，机器人手术的中转率逐渐降低<sup>[7-8]</sup>。当前，学术界的关注点更多集中在机器人手术作为腹腔镜的延伸，且在复杂的手术中逐渐显示出优势。以大肝切除（三个或更多连续 Couinaud 段的肝脏切除）和后上段的肝脏肿瘤为例，腹腔镜手术所

需手术时间远远超过开腹手术，且术中失血量大、中转率高，而机器人灵活的机械臂控制使微创肝脏切除的适用性得以延伸，其可获得与开腹手术同样的手术结局，且住院时间更短<sup>[3]</sup>。德国的一项大型回顾性研究显示，与腹腔镜相比，机器人手术可以切除的肿瘤更大，并获得相同甚至更好的 R<sub>0</sub> 切缘<sup>[9]</sup>。一项关于微创肝脏切除术的学习曲线分析显示，机器人手术只需腹腔镜手术一半的病例数即可达到后上段肝脏肿瘤同样的切除率，由此可推断机器人肝脏切除术的学习曲线比腹腔镜更短<sup>[10]</sup>。这些研究均为机器人手术可以尝试更具挑战性的操作提供了合理依据。目前，机器人肝脏手术发展的阻碍主要是设备相对集中在大的中心且推广不足，以及医生普遍缺乏手术经验，而且医院的装机费用高昂。然而，随着机器人手术的推广和多家机器人公司特别是国产医疗机器人的上市，其必将拥有更广阔的应用前景。

## 2 机器人手术在胰腺外科中的应用

胰腺手术被公认为难度最大的普外科手术，这是由于胰腺的解剖位置特殊，其位于腹膜后，周围血管丰富，术野暴露困难，因此微创胰腺手术的发展起初相对缓慢，而机器人手术的出现改变了这一局面。2003年 Giulianotti P C 等人<sup>[11]</sup>报道了第 1 例机器人辅助胰体尾切除术（Robot-assisted Distal Pancreatectomy, RDP），随后关于机器人辅助胰腺手术的报道越来越多，传统的胰腺切除术根据肿瘤位置的不同可大致分为胰十二指肠切除术（Pancreaticoduodenectomy, PD）和胰体尾切除术，均可通过机器人实现，且大量研究证明其手术结果与开腹手术无明显统计学差异<sup>[11-12]</sup>。至此，机器人胰腺手术的安全性及可行性已得到广泛认可，并逐渐展现出相对优势。PD 包括复杂的切除和消化道重建，

而机器人手术系统的机械臂在模拟人手灵活操作的同时可过滤手部颤动，从而提高操作的流畅度和缝合的精确度，进而减少术中出血，这也是机器人胰腺手术的学习曲线短于腹腔镜手术的原因之一。Boone B A 等人<sup>[13]</sup>在 2015 年发表的一项研究中表明，机器人胰十二指肠切除术（Robot-assisted PD, RPD）的学习曲线拐点为 80 例和 140 例<sup>[13]</sup>。本中心在连续完成 450 例 RPD 手术后确定了学习曲线，研究结果显示，100 例和 250 例为其拐点，在 100 例后胰瘘率明显降低，而在 250 例后手术时间和术中失血量将大大改善。通过倾向匹配分析，证明在通过学习曲线后 RPD 手术的效果优于开腹手术<sup>[14-15]</sup>。在一些微创中心，腹腔镜仍然是治疗胰腺体尾部低度恶性肿瘤的首选方法。近年来，多项回顾性研究表明，RDP 手术的效果可以与腹腔镜手术相当，而对于良性和交界性肿瘤而言，两种手术方式的脾脏保留率没有显著差异，但 RDP 手术具有较高的脾脏血管保留率<sup>[16]</sup>，也就是所谓的 Kimura 法保脾，这可能与机器人易于沿着脾脏血管进行细致解剖、术中出血减少有关。

胰腺节段性切除术由于可保留正常的胰腺组织和周围脏器，从而使得患者，尤其是年轻患者明显获益。越来越多的研究提示机器人系统在该类手术中的优势，如机器人胰腺剜除术（Robotic Pancreatic Enucleation, RPE）、机器人胰中段切除术（Robotic Middle Pancreatectomy, RMP）、保留十二指肠的胰头切除术（Duodenum-preserving Pancreatic Head Resection, DPPHR）等。对于大多数有中段切除指征的患者，RMP 已成为本团队首选的手术方式。最近，本团队发表了一篇迄今病例数最大的 RMP 研究，包含了 110 例 RMP 手术，长期随访结果显示 RMP 组无外分泌功能不全，仅 1.8% 患者出现了新发糖尿病，且与开腹组相比，术中出血和术后胰

瘘 (Postoperative Pancreatic Fistula, POPF) 率减少, 手术时间和住院时间缩短, 证实了机器人辅助胰腺中段手术效果优于开腹手术<sup>[17]</sup>。对于肿瘤体积较小且符合指征的良性和交界性肿瘤, 尤其是胰岛瘤, 多可尝试行胰腺肿瘤剜除, 虽然在机器人手术中手术医生无法直接接触肿瘤, 但可借助腔镜超声寻找肿瘤, 并判断出肿瘤的界限和胰管的位置, 从而安全地切除肿瘤, 最大程度上减小手术创面和切口, 并且更多地保留胰腺实质。

虽然机器人胰腺手术的使用范围逐渐扩大, 但其适用病例多需筛选, 目前主流观点仍认为良性和低度恶性肿瘤是机器人手术的首选。新辅助化疗是当前胰腺癌的研究热点, NCCN 指南于 2016 年便将其纳入交界性可切除和局部进展期胰腺癌的一线治疗标准, 建议所有患者术前进行新辅助治疗从而获得更多的手术机会, 而对此类肿瘤患者行机器人手术是否能安全切除肿瘤并达到开腹手术相同的根治效果仍存在疑问。2020 年匹兹堡大学发表的一篇回顾性研究比较了新辅助化疗后的 RPD 手术与传统开腹 PD 手术的安全性和肿瘤学结局, 结果显示 RPD 手术的淋巴结清扫率更高, 住院时间更短, 从而能及时接受后续的辅助化疗, 机器人组与开腹组的中位生存期相似 (23.6 个月 Vs 27.5 个月,  $P=0.879$ ), 表明即使在新辅助化疗后, 机器人手术仍然是安全、可行的, 且可以达到开腹手术相同的效果<sup>[18]</sup>。同时, 其他研究中心也发表了机器人辅助下对局部进展期胰腺癌进行切除并行血管重建的病例报道, 主要为门静脉-肠系膜上静脉 (PV-SMV) 受侵, 证实了机器人手术系统在血管吻合中的优势及该类手术的可行性<sup>[19]</sup>。本中心也已开展数例联合血管切除的胰十二指肠切除手术, 但由于病例数较少, 故而其能否改变肿瘤学结局仍缺少循证依据。目前,

该类复杂的手术仅集中在一些大容量胰腺诊疗中心, 且缺少大样本随机试验, 所以机器人手术在胰腺癌中的推广仍需要时间。

### 3 机器人手术在胆道外科中的应用

腹腔镜辅助胆囊切除术是微创胆道外科起步的里程碑, 随后 1997 年 Himpens J 等人<sup>[20]</sup>完成了第 1 例达芬奇机器人辅助胆囊切除术 (Robotic Cholecystectomy, RC), 这象征着微创胆道外科进入了新的阶段。虽然 RC 手术已在一些中心开展, 但随着手术病例数的增加, 多数研究均显示 RC 虽与腹腔镜手术具有相似的安全性和手术效果, 但是手术时间相对较长, 手术成本相对过高, 而且机器人手术在国内尚未完全纳入医保, 故手术费用较高且难以普及。目前, 腹腔镜辅助胆囊切除术仍是治疗良性胆囊疾病的金标准。但也有研究表明, 对于慢性胆囊炎、Mirizzi 综合征或多次手术的胆囊疾病而言, 机器人手术具有一定优势<sup>[21-22]</sup>。近年来, 一些学者发现, 对于胆囊术后的严重并发症即医源性胆道损伤, 机器人手术可能是最佳选择, 以往的手术方式多选择开腹行 Roux-en-Y 肝管空肠吻合, 而机器人手术则在肝门解剖、精细吻合方面展现了优势<sup>[23]</sup>。2018 年, Giulianotti P C 等人<sup>[22]</sup>发表了首例关于机器人手术系统在医源性胆道损伤中的应用报道, 该研究共纳入 14 例患者, 平均手术时间和住院时间分别为 280.6min 和 8.4d, 手术中转率为 0, 有 2 例患者在长期随访期间出现了胆道狭窄的并发症, 但均通过经皮肝穿刺胆道引流得到了解决, 结果提示机器人辅助胆道损伤修补的手术效果和预后与开放手术相似, 但存在切口小、恢复快的优势。对于其他的良性胆道疾病, 机器人手术正逐渐成为主流趋势, 其中较常见的是胆总管囊肿, 手术机器人的优势在于可以完整切除胆总管囊肿,

并且可以精细地将囊肿向下剥离至胰腺段离断，并最大程度地切除囊肿组织<sup>[9]</sup>。

肝门胆管癌的机器人手术也是当下的研究热点。目前为止，关于肝门胆管癌的微创手术仍鲜有报道，复杂的手术操作是限制其发展的主要因素。因肝门胆管癌易侵犯胆管、肝动脉和门静脉，故现广泛认为根治性切除还应包括肝十二指肠韧带内血管骨骼化，彻底清扫淋巴结，Ⅲ、Ⅳ型患者还需切除一侧肝叶并行胆管空肠吻合，当肿瘤侵犯了左、右肝管时均应联合尾状叶切除，必要时还需联合门静脉和肝动脉切除<sup>[24]</sup>。LIU J等人报道了至今样本量最大的机器人辅助肝门胆管癌根治性切除术，共纳入48例患者，与常规开腹组相比，两组的手术时间（294.5min Vs 265.0min， $P=0.965$ ）和失血量（200ml Vs 125ml， $P=0.527$ ）无明显差异<sup>[25]</sup>。该研究表明，机器人辅助肝门胆管癌切除术是可行的，其与手术医生的手术技巧及熟练程度有直接关系。目前，该手术仍处于开展期，对于肝门胆管癌来说，机器人手术是否有潜力作为开腹手术的替代方式仍需一定时间的探索和大样本量的长期随访研究。

#### 4 不足和展望

机器人手术在传统腹腔镜手术的基础上大大扩展了微创肝胆胰手术的应用范围，其安全性和手术效果已得到广泛认可，且在复杂的消化道重建和血管重建中也逐渐显示优势。肝胆胰手术往往涉及复杂的解剖和精细的操作，而机器人辅助手术在这些方面更有优势。但目前的机器人手术系统尚不能完全替代开腹和腹腔镜手术，尽管新一代的达芬奇 Xi 系统已经引入方便切换和体位变换的镜头孔功能，但距离实际普及仍在一定程度上受限。机器人在大范围的视野转移和操作方面存在困难，且缺乏力反

馈，克服这些难点也是未来机器人系统需要升级的方向和目标。目前国内机器人手术系统的研究正处于热潮，相信国产化的推进可以逐步降低机器人手术的价格，造福更多的患者。随着信息技术的日益更新，远程机器人手术也有望得到开展，我们有理由相信，机器人手术有着广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] Giulianotti P C, Coratti A, Angelini M, et al. Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital[J]. *Arch Surg*, 2003, 138(7): 777-784.
- [2] Liu R, Wakabayashi G, Kim H, et al. International consensus statement on robotic hepatectomy surgery in 2018[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(12): 1432-1444.
- [3] Nota C L, Woo Y, Raoof M, et al. Robotic versus open minor liver resections of the posterosuperior segments: a multinational, propensity score-matched study[J]. *Ann Surg Oncology*, 2019, 26(2): 583-590.
- [4] Machairas N, Papaconstantinou D, Tsilimigras D I, et al. Comparison between robotic and open liver resection: a systematic review and meta-analysis of short-term outcomes[J]. *Updates Surg*, 2019, 71(1): 39-48.
- [5] Melstrom L G, Warner S G, Woo Y, et al. Selecting incision-dominant cases for robotic liver resection: towards outpatient hepatectomy with rapid recovery[J]. *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2018, 7(2): 77-84.
- [6] CHEN P D, WU C Y, HU R H, et al. Robotic versus open hepatectomy for hepatocellular carcinoma: a matched comparison[J]. *Ann Surg Oncol*, 2017, 24(4): 1021-1028.
- [7] Berber E, Akyildiz H Y, Aucejo F, et al. Robotic versus laparoscopic resection of liver tumours[J]. *HPB(Oxford)*, 2010, 12(8): 583-586.
- [8] Ziogas I A, Giannis D, Esagian S M, et al. Laparoscopic versus robotic major hepatectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(2): 524-535.

- [9] Han J H, Lee J H, Hwang D W, et al. Robot resection of a choledochal cyst with Roux-en-y hepaticojejunostomy in adults: initial experiences with 22 cases and a comparison with laparoscopic approaches[J]. *Ann hepatobiliary Pancreat Surgery*, 2018, 22(4): 359–366.
- [10] Efanov M, Alikhanov R, Tsvirkun V, et al. Comparative analysis of learning curve in complex robot-assisted and laparoscopic liver resection[J]. *HPB(Oxford)*, 2017, 19(9): 818–824.
- [11] Zureikat A H, Moser A J, Boone B A, et al. 250 robotic pancreatic resections: safety and feasibility[J]. *Ann Surg*, 2013, 258(4): 554–562.
- [12] Xourafas D, Ashley S W, Clancy T E. Comparison of perioperative outcomes between open, laparoscopic, and robotic distal pancreatectomy: an analysis of 1815 patients from the ACS-NSQIP procedure-targeted pancreatectomy database[J]. *J Gastrointest Surg*, 2017, 21(9): 1442–1452.
- [13] Boone B A, Zenati M, Hogg M E, et al. Assessment of quality outcomes for robotic pancreaticoduodenectomy: identification of the learning curve[J]. *JAMA Surg*, 2015, 150(5): 416–422.
- [14] SHI Y, WANG W, QIU W, et al. Learning curve from 450 cases of robot-assisted pancreaticoduodenectomy in a high-volume pancreatic center: optimization of operative procedure and a retrospective study[J]. *Ann Surg*, 2019. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003664.
- [15] SHI Y, JIN J, QIU W, et al. Short-term outcomes after robot-assisted vs open pancreaticoduodenectomy after the learning curve[J]. *JAMA Surg*, 2020, 155(5): 389–394.
- [16] Liu R, Wakabayashi G, Palanivelu C, et al. International consensus statement on robotic pancreatic surgery[J]. *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2019, 8(4): 345–360.
- [17] SHI Y S, JIN J B, HUO Z, et al. An 8-year single-center study: 170 cases of middle pancreatectomy, including 110 cases of robot-assisted middle pancreatectomy[J]. *Surgery*, 2020, 167(2): 436–441.
- [18] Nassour I, Tohme S, Hoehn R, et al. Safety and oncologic efficacy of robotic compared to open pancreaticoduodenectomy after neoadjuvant chemotherapy for pancreatic cancer[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(5): 2248–2254.
- [19] Kauffmann E F, Napoli N, Menonna F, et al. Robotic pancreatoduodenectomy with vascular resection[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2016, 401(8): 1111–1122.
- [20] Himpens J, Leman G, Cadiere G B. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy[J]. *Surg Endosc*, 1998, 12(8): 1091.
- [21] Magge D, Steve J, Novak S, et al. Performing the difficult cholecystectomy using combined endoscopic and robotic techniques: how I do it[J]. *J Gastrointest Surg*, 2017, 21(3): 583–589.
- [22] Giulianotti P C, Quadri P, Durgam S, et al. Reconstruction/repair of iatrogenic biliary injuries: is the robot offering a new option? Short clinical report[J]. *Annals of Surgery*, 2018, 267(1): e7–e9.
- [23] Chang K, Gokcal F, Kudsi O Y. Robotic biliary surgery[J]. *Surg Clin North Am*, 2020, 100(2): 283–302.
- [24] 刘永强, 王伯胜, 郭玉林, 等. III、IV型肝门胆管癌的治疗现状 [J]. *中国现代普通外科进展*, 2020, 23(2): 164–168.
- [25] LI J, TAN X, ZHANG X, et al. Robotic radical surgery for hilar cholangiocarcinoma: a single-centre case series[J]. *Int J Med Robot*, 2020, 16(2): e2076.

欢迎投稿      欢迎订阅      欢迎指导