

机器人辅助胰腺手术的应用与展望

邓侠兴 李景峰

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, 上海市胰腺肿瘤转化研究重点实验室-瑞金医院, 上海交通大学医学院胰腺疾病研究所, 癌基因与相关基因国家重点实验室, 上海交通大学转化医学研究院, 上海 200025

通信作者: 邓侠兴, Email: kejiadx@hotmai.com

【摘要】 胰腺手术风险高、操作复杂, 微创胰腺手术更是存在一系列挑战和限制。随着机器人技术的发展, 机器人辅助胰腺手术逐渐成熟, 成为胰腺手术的重要方式。笔者总结机器人辅助胰腺手术的技术特点、临床应用、手术效果及优势与局限, 探讨机器人辅助胰腺手术在现代医学中的应用, 并就其未来发展方向进行展望。

【关键词】 胰腺肿瘤; 胰腺手术; 微创; 机器人辅助手术; 进展

基金项目: 国家自然科学基金(82372865); 上海市 2021 年度“科技创新行动计划”国际科技合作项目(214307119000)

Application and prospects of robot-assisted pancreatic surgery

Deng Xiaxing, Li Jingfeng

Department of General Surgery, Pancreatic Disease Center, Shanghai Key Laboratory of Translational Research for Pancreatic Neoplasms, Research Institute of Pancreatic Diseases, Ruijin Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, State Key Laboratory of Oncogenes and Related Genes, Institute of Translational Medicine, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200025, China

Corresponding author: Deng Xiaxing, Email: kejiadx@hotmai.com

【Abstract】 Pancreatic surgery is a high-risk and highly complex procedure, and there are a series of challenges and limitations associated with minimally invasive pancreatic surgery. With the development of robotic technology, robot-assisted pancreatic surgery has gradually become an effective means, and has become an important approach in pancreatic surgeries. The authors summarize the technical characteristics, clinical applications, operation outcomes, and advantages and limitations of robot-assisted pancreatic surgery, aiming to explore the application of robot-assisted pancreatic surgery in modern medicine and to provide an outlook on its future development.

【Key words】 Pancreatic neoplasms; Pancreatic surgery; Minimally invasive; Robot-assisted surgery; Advancement

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (82372865); International Scientific and Technological Cooperation Project of 2021-year Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (214307119000)

胰腺特有的解剖结构及复杂的血管毗邻, 使得胰腺手术相较于其他腹腔内脏器手术有更高的手术风险和术后并发症发生率, 以胰十二指肠切除术为代表的胰腺手术也被誉为“外科学皇冠上的明珠”。

随着医疗技术的进步和医疗器械的创新, 微创手术的概念也在 20 世纪 80 年代开始逐步走入大众视野, 并快速地应用于外科领域。目前, 许多腹腔镜手术已成为规范化诊断与治疗的首选方式和

DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240301-00140

收稿日期 2024-03-01

引用本文: 邓侠兴, 李景峰. 机器人辅助胰腺手术的应用与展望[J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(4): 566-572. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240301-00140.



“最优解”。但是腹腔镜胰腺手术仍然因其操作难度大、学习曲线长等原因,导致其开展受到一定程度的制约。21 世纪初,手术机器人应运而生,其中机器人辅助手术在胰腺手术领域中的应用尤为突出。作为国内最早开始开展机器人胰腺手术的团队,笔者中心完成近 4 000 例各式机器人辅助胰腺手术。笔者结合团队经验,讨论机器人胰腺手术的技术特点、临床应用、手术效果及优势与局限,探讨机器人胰腺手术在现代医学中的应用,并就其未来发展方向进行展望。

一、胰腺手术的挑战与机器人手术技术的崛起

(一)胰腺手术的复杂性

胰腺手术的复杂性源于胰腺的解剖位置、生理特征以及与周围器官的紧密关系。胰腺位于腹腔深部,由胰头、胰体和胰尾 3 部分组成,与十二指肠、胃、肝脏、脾脏等器官紧密相连。由于其深居于腹腔内,外科医师对其进行手术干预时需要穿越多层次腹部组织和器官,手术操作空间受到限制,增加了手术的难度和风险^[1]。胰腺手术的复杂性不仅在于其解剖位置,还在于其丰富的血管与神经丛。胰腺周围血管网络错综复杂,主要包括腹腔干及其分支、肠系膜上动脉、肠系膜上静脉、门静脉、脾动静脉等,这些血管的位置和分布对于手术的安全性至关重要。尤其是在针对存在血管侵犯的肿瘤手术中,需仔细处理这些血管,避免术中大出血或血管损伤导致的严重术后并发症。此外,胰腺手术还常涉及到与胰腺相邻的重要器官,如胃、肠、胆道系统等。在胰腺肿瘤手术中,常需要进行除胰腺外脏器的联合切除、胰胆管空肠吻合等较为复杂的手术方式,以确保病变的完全切除和术后消化功能的恢复^[2]。因此,术后多脏器相关的并发症风险,以及吻合相关的消化道瘘风险,都使胰腺术后并发症风险远高于其他脏器手术。

以最经典的胰十二指肠切除术为例,该手术不仅需要切除位于胰头部或钩突部位的肿块,还需要联合切除包括十二指肠、远端胃、胆囊、胆总管、近端空肠在内的多个脏器,并完成胰管-空肠、胆管-空肠及胃-空肠 3 个吻合口;若考虑恶性肿瘤患者还需完成复杂的腹腔淋巴结清扫。胰十二指肠切除术最早的尝试开始于 1898 年,由意大利外科医师 Alessandro Codivilla 针对 1 例胰头部肿瘤患者施行手术。但这例患者没有顺利度过术后恢复期,由于严重胰瘘导致腹腔严重感染死亡^[3]。直到 1935 年,由 Allen Oldfather Whipple 医师在美国外科协会年

会上介绍其完成的第一例现代原型的胰十二指肠切除术^[4]。他在后续 10 余年通过不断尝试与改良,向世界分享该手术方式的流程、经验及安全性。他的研究奠定了胰十二指肠切除术的基础,以他命名的手术至今还闪耀在普外科手术的最高峰^[5]。

胰腺手术的复杂性,决定了胰腺外科医师不仅需要长时间的练习和操作积累足够的手术经验以保证手术安全性,还需要对围手术期患者的管理和术后并发症的处理有丰富的经验。

(二)机器人手术技术的应用

微创手术技术的发展标志着外科手术领域的革命性变化,为患者提供了更小的创伤、更快的康复和更高的手术成功率。20 世纪 70 年代初,法国外科医师 Mouret 首次成功施行 LC,标志着微创外科手术的雏形诞生^[6]。随着手术技术和医疗设备的不断进步,微创手术在外科各领域得到广泛应用。胰腺手术方面,1994 年 Gagner 医师首次开展腹腔镜胰十二指肠切除术(laparoscopic pancreaticoduodenectomy, LPD)^[7]。同年 Cuschieri 医师开展第 1 例腹腔镜胰体尾切除术(laparoscopic distal pancreatectomy, LDP),自此开启胰腺手术的微创时代^[8]。然而相较于其他外科手术,腹腔镜胰腺手术仍然受限于手术视野空间控制不佳、单轴转向的手术器械无法满足多角度精密操作等原因,使腹腔镜中转开腹率高、医师学习曲线长,仅能由少数经验丰富的外科医师实施。

因此,20 世纪 90 年代机器人辅助手术技术的出现进一步推动微创外科手术的发展^[9]。2002 年 Melvin 医师报道首例机器人胰体尾切除术(robotic distal pancreatectomy, RDP),开启机器人手术治疗胰腺肿瘤的新时代^[10]。机器人手术系统通过高精度、稳定的机械臂和先进的影像学技术,可以为医师提供更清晰、更精准的手术视野,从而帮助他们在狭小且复杂的手术场景中进行精准操作。尤其是在胰腺外科手术中,机器人辅助手术显示出巨大潜力:(1)机器人手术系统具有高精度的操作特点,对于解剖环境极为复杂的胰腺手术,如手腕般灵活的器械为精细的组织分离和切除提供了基础,且缝合、打结等一系列复杂操作更易完成,能够降低中转开腹率和围手术期并发症发生率。(2)机器人手术系统的机械臂通过过滤震动技术,能够减少术中器械的颤动和不稳定因素,提高手术的安全性和稳定性。(3)机器人手术系统提供的三维立体视野比传统手术和腹腔镜手术更清晰、准确,结合不断发展的影像学技术,更有助于医师在术中完成精准解剖定

位,手眼协同操作模式可降低操作失误概率^[11-16]。

以达芬奇机器人手术系统为例,机器人辅助手术系统通常由手术机器人本体、外科手术台和控制台组成。手术机器人本体包括机械臂和末端执行器,负责实际的手术操作;外科手术台用于支撑者并为手术提供舒适的操作环境;医师可以通过控制台对机械臂进行精细控制。相较于传统手术或腹腔镜手术,机器人辅助手术常仅需 1 名主刀和 1 名助手医师,极大减少了手术医师的人员需求,释放了医疗人力资源。同时,机器人手术系统的设计可为外科医师创造舒适的手术环境,有效地延长外科医师的手术寿命。

二、机器人胰腺手术的临床应用

(一)机器人胰十二指肠切除术(robot-assisted pancreaticoduodenectomy, RPD)

胰十二指肠切除术是最复杂的外科手术之一,由于其复杂的操作步骤和较高的术后并发症发生率,腹腔镜手术一直未能成为胰十二指肠切除术的常规手术方式。甚至欧洲的临床研究(LEOPARD-2)中发现 LPD 较开腹手术有更高的术后出血发生率和 90 d 内死亡率而宣告提前终结^[17]。而 RPD 的出现,似乎解决了这样的困境。2001 年,Guilianotti 团队完成了第 1 例 RPD,并在 2003 年发表了 RPD 临床研究,证明了其安全性与可行性^[18]。2010 年,周宁新^[19]也在国内首次报道 RPD。此后,越来越多研究证明 RPD 的优越性。笔者中心自 2010 年起开展 RPD,至今已完成 >900 例 RPD。2021 年,笔者所在中心首次在国际上发表了包含 450 例 RPD 大样本的临床研究,确定了 100 例及 250 例 2 个重要的 RPD 学习曲线节点^[20]。同时后续研究结果也显示:临床医师渡过学习曲线后,RPD 在手术时间、术中出血量、术后快速康复等方面均较开腹手术有显著优势,且机器人手术并未增加术后并发症发生风险^[21]。Yan 等^[22]的 1 项 Meta 分析结果显示:尽管 RPD 手术时间较长,但是开腹胰十二指肠切除术比较,前者术中出血量更少、术后住院时间更短、术后感染发生率更低,且两者淋巴结清扫数目、二次手术率、再入院率和死亡率方面比较,差异均无统计学意义。Kamarajah 等^[23]的 Meta 分析结果显示:与 LPD 比较,RPD 中转开腹率和术中输血量均显著降低,且两者术中出血量和手术时间比较,差异均无统计学意义。2019 年国际机器人胰腺手术共识声明中指出:对于恶性肿瘤,RPD 有更高 R₀切除率和相同淋巴结清扫数目^[24]。而对于肿瘤患者的远期预后,也

有研究结果显示:RPD 与开腹胰十二指肠切除术的肿瘤学远期效果相当^[25-27]。2020 年笔者中心也发表了关于 RPD 手术流程的研究,制订了模块化十步法,为进一步推进手术操作的标准化和安全性提供支持^[28]。目前,笔者中心正在开展 1 项比较 RPD 和开腹胰十二指肠切除术的前瞻性临床研究,期待研究结果能为后续的临床路径开展提供支持和帮助。

对于如胰十二指肠切除术的复杂手术,机器人手术系统的优势主要体现在局部解剖的精准性和操作的灵活与稳定性。三维立体成像系统使放大的手术视野更加清晰,加上能够过滤手部震动的机械臂,因此进行精细解剖操作更加稳定、不易出错。胰十二指肠切除术有较多高难度步骤,例如肝门部解剖、钩突离断、淋巴结清扫,包括对交界可切除的恶性肿瘤行动脉血管的鞘内清扫。这些高难度高风险的手术操作都能得益于机器人手术系统的稳定性与精准性等优势。

(二)RDP

由于不需要完成消化道吻合重建,胰体尾切除术是微创技术应用最广泛的胰腺手术方式。自 2002 年 Melvin 等^[10]报道第 1 例 RDP 的成功实施之后,越来越多的研究结果都证实该手术的可行性与显著疗效。机器人手术系统在胰体尾切除术中的优势主要体现在手术视野的充分暴露和精密操作的稳定性。手术医师利用第三臂灵活且充分地暴露操作空间,加上手术台对于患者体位的调节,使包括脾窝在内的手术区域都能得到充分暴露。因此,无论是联合脾脏及血管切除,或是否对后腹膜淋巴结进行清扫,都提供了有力的支持。Kang 等^[29]的研究结果显示:RDP 较 LDP 有更高的保脾成功率。Daouadi 等^[30]的研究结果显示:RDP 较 LDP 恶性疾病比例更高,但中转开腹率更低,且两者手术安全性比较,差异无统计学意义。Gavrilidis 等^[31]的 1 项 Meta 分析结果显示:与 LDP 比较,行 RDP 患者住院时间更短、R₀切除率更高。Hu 等^[32]的 Meta 分析结果也显示:RDP 较 LDP 有更高的保脾成功率、更短的住院时间和更低的中转开腹率。此外,RPD 在肿瘤学结果上也更具优势,RPD 的切缘阳性率通常为 0,淋巴结清扫数目为 5~19 枚,而 LDP 的非 R₀切除率可高达 20%,淋巴结清扫数目为 6~14 枚^[30-31,33-41]。因此,国际机器人胰腺手术专家共识中也指出:RDP 与 LDP 均安全、可行^[24]。

(三) 机器人全胰切除术(robot-assisted total pancreatectomy, RTP)

全胰切除术手术范围大、难度高、风险大,相当于胰十二指肠切除术和胰体尾切除术的总和,且患者常面临术后生命质量严重下降。但随着手术经验的不断积累、内外分泌治疗药物的不断优化,该手术方式开始逐步推广应用。RTP 可以左右兼顾,仅需要主刀医师的一步切换,即可以在胰头和胰尾的手术区域自由切换。目前,关于 RTP 的研究和报道较少。Giulianotti 等^[42]和 Zureikat 等^[43]在早期对于 RTP 的开展过程中,都证实了该手术方式的可行性。Boggi 等^[44]的研究结果显示:RTP 较开腹全胰切除术手术时间更长,但术中出血量和术后多项恢复指标均优于传统手术。笔者中心的研究结果则显示:与开腹全胰切除术比较,RTP 手术时间更短,且对于良性或低度恶性肿瘤患者,RTP 保脾率更高^[45]。

(四) 机器人胰腺功能保留的胰腺切除术

胰腺功能保留的胰腺切除术,是一种旨在治疗胰腺疾病同时尽可能保留胰腺功能的手术方式,适用于胰腺良性或低度恶性肿瘤及慢性胰腺炎患者。因此对于在达成疾病治愈同时对生命质量有更高要求的患者,机器人微创手术是更加合适的选择。不仅由于机器人手术的创伤小、恢复快,机器人手术系统提供更好的手术视野和更灵活、精准的操作,保证手术的安全性。胰腺功能保留的胰腺切除术包括多种类型,常见的有机器人胰中段切除术、机器人胰腺肿瘤剝除术和机器人保留十二指肠胰头切除术等。

1. 机器人胰中段切除术

机器人胰中段切除术主要针对位于胰腺颈体部的良性或低度恶性肿瘤。最早的胰中段切除术在 1957 年由 Guillemin 和 Bessot 医师完成,而最早的腹腔镜胰中段切除术和机器人胰中段切除术则分别由 Baca、Bokan 医师在 2003 年和 Giulianotti 团队在 2010 年完成^[46-48]。尽管该手术方式不涉及其他脏器血管的联合切除,能够很大程度保留胰腺本身的功能,但由于存在胰腺残端和远端胰管吻合口,术后胰瘘发生率高于胰十二指肠切除术和胰体尾切除术,因此,其开展仍受到一定限制。笔者中心早在 2010 年起开始尝试机器人胰中段切除术,并且使用远端胰管-胃吻合方式,以减少消化道结构的影响和降低胰瘘发生率^[49]。2016 年笔者中心开展机器人胰中段切除术与开腹胰中段切除术的前瞻性对照研究,结果显示:机器人胰中段切除术术后住

院时间更短、胰瘘发生率更低、饮食恢复更快^[50]。2019 年,笔者中心发表的机器人胰中段切除术学习曲线研究结果显示:关键的手术学习例数分别为 12 例和 44 例^[51]。笔者团队回顾性研究结果显示:机器人胰中段切除术能够取得更短的手术时间和更少的术中出血量,尽管胰瘘仍然是最大的术后并发症问题,但是严重并发症的发生率低于胰十二指肠切除术和胰体尾切除术,且术后患者长期生命质量较高,这为特定患者人群手术方式的选择提供了有力证据支持^[52]。2017 年,刘荣团队完成首例胰管成型合并胰腺端端吻合术的机器人胰中段切除术,证实其可行性^[53]。但该手术方式的应用尚处于起步阶段,其远期疗效有待随访结果和 RCT 的验证。

2. 机器人胰腺肿瘤剝除术

对于一些体积较小的胰腺良性或低度恶性肿瘤,尤其是外生性的、不接触主胰管的肿瘤,肿瘤剝除术是更好的选择。相比于机器人胰中段切除术,机器人胰腺肿瘤剝除术甚至无需离断胰腺和重建吻合口,并能在最大程度上保留胰腺实质,因此,患者对于该种手术的需求日益增长。Tian 等^[54]在 2016 年报道有关 <2 cm 的胰腺神经内分泌瘤行机器人胰腺肿瘤剝除术与开腹手术的回顾性研究,结果显示:机器人胰腺肿瘤剝除术可有效缩短手术时间及减少术中出血量,同时并未增加术后胰瘘或其他并发症发生率。同年,笔者中心也报道 1 项关于机器人胰腺肿瘤剝除术对比开腹手术的回顾性研究,结果也显示:机器人胰腺肿瘤剝除术能有效缩短手术时间、减少术中出血量,但不会增加术后并发症发生率,证实其安全性和可行性^[55]。但由于肿瘤生长位置的多样性,该手术方式个体差异极大。如肿瘤生长于胰腺钩突后侧方,或肿瘤距离主胰管距离非常近,这些都将导致手术难度增大、并发症风险增加。机器人手术有助于更好地暴露手术区域,且结合术前胰管支架置入或术中胆管荧光显示等新技术,能够更安全地完成手术,降低围手术期并发症发生率。

3. 机器人保留十二指肠胰头切除术

目前关于机器人保留十二指肠胰头切除术的研究还较少,但已有初步临床研究表明其安全性和有效性。1 项针对机器人保留十二指肠胰头切除术的前瞻性研究结果显示:机器人保留十二指肠胰头切除术可有效切除胰头肿瘤,术后并发症发生率较低,且术后十二指肠功能恢复良好^[56]。另 1 项研

究比较机器人保留十二指肠胰头切除术和传统开腹胰头切除术的临床效果,结果显示:与传统开腹手术组比较,机器人保留十二指肠胰头切除术组患者术后住院时间更短、术后并发症的发生率更低^[57]。笔者中心 2012 年首次报道 4 例机器人保留十二指肠胰头切除术,证明该手术方式的安全性和可行性^[58]。2018 年再次发表的回顾性研究结果显示:机器人保留十二指肠胰头切除术较 RPD 手术时间更短、术中出血量更少、术后胰腺外分泌功能不足比例更低,但前者胰痿发生率略高^[59]。机器人保留十二指肠胰头切除术具有诸多优势,但其也面临挑战和限制。如机器人保留十二指肠胰头切除术需要外科医师具有丰富的经验和熟练的技术,以确保手术的安全性和有效性。此外,术前准确评估和术中精确操作也对手术的成功至关重要。

(五) 机器人胰腺手术中的血管重建

胰腺血管毗邻关系复杂,在胰腺恶性肿瘤或胰腺炎症较重的手术过程中常涉及血管处理,尤其是联合血管切除,这对胰腺外科医师充满挑战。随着机器人技术的成熟和手术技术的进步,机器人胰腺手术联合血管切除重建的手术适应证也不断扩大。2011 年,Giulianotti 等^[60]首次报道针对局部进展期胰腺癌患者开展联合血管切除重建的机器人胰腺手术,包括 2 例 R-Appleby 手术、2 例合并门静脉切除重建的 RPD 和 1 例联合门静脉切除重建的 RDP,术后恢复情况均良好。笔者中心于 2018 年回顾性分析 59 例联合血管切除重建的胰腺恶性肿瘤手术,其中包含 20 例机器人手术,结果显示:在同类型的机器人手术与开腹手术中,手术情况和术后并发症情况比较,差异均无统计学意义^[61]。Beane 等^[62]2019 年报道 380 例(50 例联合血管切除重建) RPD,进一步证实其安全性与可行性,并计算 RPD 联合血管切除手术的学习曲线。得益于机器人手术系统,血管切除及重建手术的安全性和可行性得到巨大提升,也为局部进展期肿瘤患者的手术治疗提供更多机会。但机器人胰腺手术联合血管切除仍需要丰富的手术经验,仍然极具挑战性,也是未来手术技术和器械水平进步发展的重要方向。

三、机器人胰腺手术的局限性与未来展望

尽管机器人胰腺手术的安全性与可行性已经得到广泛证实,但其仍存在一定的局限性与不足:(1) 由于机器人手术自身特性,术者在手术过程中缺乏力反馈,仅依靠视觉反馈,尤其是缺乏手术经验的术者容易对组织造成不必要的损伤。而随着

技术的发展进步,柔性关节和触觉反馈技术可能会在将来被引入机器人手术系统中,能够极大地帮助术者解决缺乏力反馈的难题。(2) 手术机器人高昂的使用成本和手术费用也是制约其发展的重要因素。以达芬奇手术机器人为例,1 套机器人手术系统的落地成本就需要 2 000 万~3 000 万,此外还有高额的运营维护成本和维修费用,并非每家医疗机构都能承受。而机器人手术过程中产生的额外费用,也令部分患者难以承受,而错失更理想的治疗结局。因此,机器人手术系统国产化也成为近年医疗行业发展的重点。2021 年国家出台多项有关政策大力支持相关产业及单位,为技术研发、产品审批、医保支付等多方面提供便利,被称为“国产手术机器人元年”^[63]。目前,我国已有 3 家公司研发生产的机器人手术系统得到我国国家药品监督管理局的批准应用,并在多省市医院开展多学科临床试验,以检测国产机器人手术系统的可行性与安全性。笔者相信:在不久的将来,国产机器人手术系统有望成为主流,进一步降低医疗成本的同时,惠及更多患者。

单孔微创手术的概念也在近年来崭露头角,更加美观的手术切口、更少的术后疼痛和更快的术后康复都使其成为新的热点。与单孔腹腔镜手术比较,单孔机器人手术可以弥补其狭窄的视野缺陷和不便的操作体验,更适合于复杂的胰腺外科手术。2018 年,Intuitive Surgical 公司推出达芬奇单孔机器人手术平台。2023 年 5 月,上海交通大学医学院附属瑞金医院胰腺外科沈柏用教授在海南分院完成全世界首例单孔 RDP,标志着首个多学科单孔机器人手术真实世界临床研究的开启。随着影像学技术的不断进步,未来机器人手术系统上搭载图像引导技术可能实现。最新的达芬奇 XI 机器人手术系统可以进行荧光图像的切换显示,用于术中对胆管及肝脏来源的肿瘤定位,也可在胰腺肿瘤剜除术过程中提示胆管位置与走行,减少损伤风险。笔者期待:未来的机器人手术系统可以结合更多影像学数据,如显示血管分布图像或结合 CT 检查图像的增强现实投影等技术。远程手术技术也一直是外科领域追求的目标,随着 5G 通讯时代的到来,这个目标似乎不再遥不可及。图迈国产机器人手术系统已经有报道成功完成>5 000 km 的远程手术案例。随着科技力量的发展,人工智能技术、机器人学习技术、虚拟现实技术等都将有望参与手术机器人的快速发展。

四、结语

机器人胰腺手术作为一种新兴的外科技术,经过 20 余年的经验积累和实践验证,已经向世人展现其安全性、可行性和优越性,并且应用涵盖绝大多数胰腺手术方式。笔者预测:尽管目前仍存在挑战 and 局限,但随着科学技术的不断进步和医疗水平的不断提高,机器人胰腺手术将成为胰腺手术的主流方式,为患者带来更安全、更有效的治疗方案。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Lillemoe KD, Kaushal S, Cameron JL, et al. Distal pancreatectomy: indications and outcomes in 235 patients[J]. *Ann Surg*, 1999, 229(5): 693-700. DOI: 10.1097/0000658-199905000-00012.
- [2] Strasberg SM, Drebin JA, Linehan D. Radical antegrade modular pancreateosplenectomy[J]. *Surgery*, 2003, 133(5): 521-527. DOI: 10.1067/msy.2003.146.
- [3] Codivilla A. Rendiconto statistico della sezione chirurgica dell'ospedale di Imola [M]. Imola: Italy, 1898.
- [4] Whipple AO, Parsons WB, Mullins CR. Treatment of carcinoma of the ampulla of vater[J]. *Ann Surg*, 1935, 102(4): 763-779. DOI: 10.1097/0000658-193510000-00023.
- [5] Whipple AO. A reminiscence: pancreaticoduodenectomy[J]. *Rev Surg*, 1963, 20: 221-225.
- [6] Mouret P. How I developed laparoscopic cholecystectomy [J]. *Ann Acad Med Singap*, 1996, 25(5): 744-747.
- [7] Gagner M, Pomp A. Laparoscopic pylorus-preserving pancreaticoduodenectomy[J]. *Surg Endosc*, 1994, 8(5): 408-410. DOI: 10.1007/BF00642443.
- [8] Cuschieri A. Laparoscopic surgery of the pancreas[J]. *J R Coll Surg Edinb*, 1994, 39(3): 178-184.
- [9] Jacobsen G, Elli F, Horgan S. Robotic surgery update[J]. *Surg Endosc*, 2004, 18(8): 1186-1191. DOI: 10.1007/s00464-003-8281-z.
- [10] Melvin WS, Needleman BJ, Krause KR, et al. Computer-enhanced robotic telesurgery. Initial experience in foregut surgery[J]. *Surg Endosc*, 2002, 16(12): 1790-1792. DOI: 10.1007/s00464-001-8192-9.
- [11] Zureikat AH, Moser AJ, Boone BA, et al. 250 robotic pancreatic resections: safety and feasibility[J]. *Ann Surg*, 2013, 258(4): 554-562. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182a4e87c.
- [12] Barkun JS, Aronson JK, Feldman LS, et al. Evaluation and stages of surgical innovations[J]. *Lancet*, 2009, 374(9695): 1089-1096. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61083-7.
- [13] Gagner M, Palermo M. Laparoscopic Whipple procedure: review of the literature[J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 2009, 16(6): 726-730. DOI: 10.1007/s00534-009-0142-2.
- [14] Sohn W, Lee HJ, Ahlering TE. Robotic surgery: review of prostate and bladder cancer[J]. *Cancer J*, 2013, 19(2): 133-139. DOI: 10.1097/PP0.0b013e318289dbd5.
- [15] Orady M, Hrynewych A, Nawfal AK, et al. Comparison of robotic-assisted hysterectomy to other minimally invasive approaches[J]. *JSLs*, 2012, 16(4): 542-548. DOI: 10.4293/108680812X13462882736899.
- [16] Memeo R, Sangiulio F, de Blasi V, et al. Robotic pancreaticoduodenectomy and distal pancreatectomy: state of the art[J]. *J Visc Surg*, 2016, 153(5): 353-359. DOI: 10.1016/j.jviscsurg.2016.04.001.
- [17] van Hilst J, de Rooij T, Bosscha K, et al. Laparoscopic versus open pancreaticoduodenectomy for pancreatic or periampullary tumours (LEOPARD-2): a multicentre, patient-blinded, randomised controlled phase 2/3 trial[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2019, 4(3): 199-207. DOI: 10.1016/S2468-1253(19)30004-4.
- [18] Giulianotti PC, 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. DOI: 10.1001/archsurg.138.7.777.
- [19] 周宁新. 达芬奇机器人胰十二指肠切除手术要点[J/CD]. *中华普外科手术学杂志: 电子版*, 2010, 4(3): 240-245. DOI: 10.3969/cma.j.issn.1674-3946.2010.03.003.
- [20] 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*, 2021, 274(6): e1277-e1283. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003664.
- [21] 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. DOI: 10.1001/jamasurg.2020.0021.
- [22] Yan Q, Xu LB, Ren ZF, et al. Robotic versus open pancreaticoduodenectomy: a meta-analysis of short-term outcomes [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(2): 501-509. DOI: 10.1007/s00464-019-07084-3.
- [23] Kamarajah SK, Bundred J, Marc OS, et al. Robotic versus conventional laparoscopic pancreaticoduodenectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2020, 46(1): 6-14. DOI: 10.1016/j.ejso.2019.08.007.
- [24] Liu R, Wakabayashi G, Palanivelu C, et al. International consensus statement on robotic pancreatic surgery[J]. *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2019, 8(4): 345-360. DOI: 10.21037/hbsn.2019.07.08.
- [25] Nassour I, Winters SB, Hoehn R, et al. Long-term oncologic outcomes of robotic and open pancreatectomy in a national cohort of pancreatic adenocarcinoma[J]. *J Surg Oncol*, 2020, 122(2): 234-242. DOI: 10.1002/jso.25958.
- [26] Chalikhonda S, Aguilar-Saavedra JR, Walsh RM. Laparoscopic robotic-assisted pancreaticoduodenectomy: a case-matched comparison with open resection[J]. *Surg Endosc*, 2012, 26(9): 2397-2402. DOI: 10.1007/s00464-012-2207-6.
- [27] Zeh HJ, Zureikat AH, Secrest A, et al. Outcomes after robot-assisted pancreaticoduodenectomy for periampullary lesions [J]. *Ann Surg Oncol*, 2012, 19(3): 864-870. DOI: 10.1245/s10434-011-2045-0.
- [28] 赵诗藏, 金佳斌, 施昱晟, 等. 机器人辅助胰十二指肠切除术手术流程[J]. *机器人外科学杂志: 中英文*, 2020, (1): 61-69. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2020.01.009.
- [29] Kang CM, Kim DH, Lee WJ, et al. Conventional laparoscopic and robot-assisted spleen-preserving pancreatectomy: does da Vinci have clinical advantages? [J]. *Surg Endosc*, 2011, 25(6): 2004-2009. DOI: 10.1007/s00464-010-1504-1.
- [30] Daouadi M, Zureikat AH, Zenati MS, et al. Robot-assisted minimally invasive distal pancreatectomy is superior to the laparoscopic technique[J]. *Ann Surg*, 2013, 257(1): 128-132. DOI: 10.1097/SLA.0b013e31825fff08.
- [31] Gavrilidis P, Lim C, Menahem B, et al. Robotic versus laparoscopic distal pancreatectomy—the first meta-analysis[J]. *HPB (Oxford)*, 2016, 18(7): 567-574. DOI: 10.1016/j.hpb.

- 2016.04.008.
- [32] Hu YH, Qin YF, Yu DD, et al. Meta-analysis of short-term outcomes comparing robot-assisted and laparoscopic distal pancreatectomy[J]. *J Comp Eff Res*, 2020, 9(3): 201-218. DOI:10.2217/ce-2019-0124.
 - [33] Butturini G, Damoli I, Crepaz L, et al. A prospective non-randomised single-center study comparing laparoscopic and robotic distal pancreatectomy[J]. *Surg Endosc*, 2015, 29(11):3163-3170. DOI:10.1007/s00464-014-4043-3.
 - [34] Waters JA, Canal DF, Wiebke EA, et al. Robotic distal pancreatectomy: cost effective? [J]. *Surgery*, 2010, 148(4):814-823. DOI:10.1016/j.surg.2010.07.027.
 - [35] Zhan Q, Deng XX, Han B, et al. Robotic-assisted pancreatic resection: a report of 47 cases[J]. *Int J Med Robot*, 2013, 9(1):44-51. DOI:10.1002/rcs.1475.
 - [36] Limongelli P, Belli A, Russo G, et al. Laparoscopic and open surgical treatment of left-sided pancreatic lesions: clinical outcomes and cost-effectiveness analysis[J]. *Surg Endosc*, 2012, 26(7):1830-1836. DOI:10.1007/s00464-011-2141-z.
 - [37] Abu Hilal M, Hamdan M, Di Fabio F, et al. Laparoscopic versus open distal pancreatectomy: a clinical and cost-effectiveness study[J]. *Surg Endosc*, 2012, 26(6):1670-1674. DOI:10.1007/s00464-011-2090-6.
 - [38] Kooby DA, Hawkins WG, Schmidt CM, et al. A multicenter analysis of distal pancreatectomy for adenocarcinoma: is laparoscopic resection appropriate? [J]. *J Am Coll Surg*, 2010, 210(5):779-787. DOI:10.1016/j.jamcollsurg.2009.12.033.
 - [39] DiNorcia J, Schroepe BA, Lee MK, et al. Laparoscopic distal pancreatectomy offers shorter hospital stays with fewer complications[J]. *J Gastrointest Surg*, 2010, 14(11):1804-1812. DOI:10.1007/s11605-010-1264-1.
 - [40] Bassi C, Dervenis C, Butturini G, et al. Postoperative pancreatic fistula: an international study group (ISGPF) definition[J]. *Surgery*, 2005, 138(1):8-13. DOI:10.1016/j.surg.2005.05.001.
 - [41] Jayaraman S, Gonen M, Brennan MF, et al. Laparoscopic distal pancreatectomy: evolution of a technique at a single institution[J]. *J Am Coll Surg*, 2010, 211(4):503-509. DOI:10.1016/j.jamcollsurg.2010.06.010.
 - [42] Giulianotti PC, Addeo P, Buchs NC, et al. Early experience with robotic total pancreatectomy[J]. *Pancreas*, 2011, 40(2): 311-313. DOI:10.1097/MPA.0b013e3181f7e303.
 - [43] Zureikat AH, Moser AJ, Boone BA, et al. 250 robotic pancreatic resections: safety and feasibility[J]. *Ann Surg*, 2013, 258(4):554-562. DOI:10.1097/SLA.0b013e3182a4e87c.
 - [44] Boggi U, Palladino S, Massimetti G, et al. Laparoscopic robot-assisted versus open total pancreatectomy: a case-matched study[J]. *Surg Endosc*, 2015, 29(6):1425-1432. DOI:10.1007/s00464-014-3819-9.
 - [45] Weng Y, Chen M, Gemenetzi G, et al. Robotic-assisted versus open total pancreatectomy: a propensity score-matched study[J]. *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2020, 9(6):759-770. DOI:10.21037/hbsn.2020.03.19.
 - [46] Guillemin P, Bessot M. Chronic calcifying pancreatitis in renal tuberculosis: pancreatojejunostomy using an original technic[J]. *Mem Acad Chir (Paris)*, 1957, 83(27/28):869-871.
 - [47] Baca I, Bokan I. [Laparoscopic segmental pancreas resection and pancreatic cystadenoma] [J]. *Chirurg*, 2003, 74(10): 961-965. DOI:10.1007/s00104-003-0690-y.
 - [48] Giulianotti PC, Sbrana F, Bianco FM, et al. Robot-assisted laparoscopic middle pancreatectomy[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2010, 20(2):135-139. DOI:10.1089/lap.2009.0296.
 - [49] Zhang T, Wang X, Huo Z, et al. Robot-assisted middle pancreatectomy for elderly patients: our initial experience[J]. *Med Sci Monit*, 2015, 21:2851-2860. DOI:10.12659/MSM.895477.
 - [50] Chen S, Zhan Q, Jin JB, et al. Robot-assisted laparoscopic versus open middle pancreatectomy: short-term results of a randomized controlled trial[J]. *Surg Endosc*, 2017, 31(2): 962-971. DOI:10.1007/s00464-016-5046-z.
 - [51] Shi Y, Wang Y, Wang J, et al. Learning curve of robot-assisted middle pancreatectomy (RMP): experience of the first 100 cases from a high-volume pancreatic center in China [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(8):3513-3520. DOI:10.1007/s00464-019-07133-x.
 - [52] Shi Y, Jin J, 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. DOI:10.1016/j.surg.2019.09.002.
 - [53] 刘荣,王子政,高元兴,等. 机器人"荣氏"胰腺中段切除术一例报道[J/CD]. *中华腔镜外科杂志:电子版*, 2017, 10(5):319-320. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2017.05.023.
 - [54] Tian F, Hong XF, Wu WM, et al. Propensity score-matched analysis of robotic versus open surgical enucleation for small pancreatic neuroendocrine tumours[J]. *Br J Surg*, 2016, 103(10):1358-1364. DOI:10.1002/bjs.10220.
 - [55] Jin JB, Qin K, Li H, et al. Robotic enucleation for benign or borderline tumours of the pancreas: a retrospective analysis and comparison from a high-volume centre in Asia[J]. *World J Surg*, 2016, 40(12):3009-3020. DOI:10.1007/s00268-016-3655-2.
 - [56] Kwon J, Lee S, Lee W, et al. Robot-assisted duodenum-preserving pancreatic head resection for non-invasive or minimally invasive intraductal papillary mucinous neoplasm: a prospective study[J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(8):3450-3459.
 - [57] Qin C, Hu J, Yuan H, et al. Robot-assisted duodenum-preserving pancreatic head resection versus pancreaticoduodenectomy for the treatment of pancreatic head tumors: a propensity score-matched study[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(1):145-154.
 - [58] Peng CH, Shen BY, Deng XX, et al. Early experience for the robotic duodenum-preserving pancreatic head resection [J]. *World J Surg*, 2012, 36(5):1136-1141. DOI:10.1007/s00268-012-1503-6.
 - [59] Jiang Y, Jin JB, Zhan Q, et al. Robot-assisted duodenum-preserving pancreatic head resection with pancreaticogastrostomy for benign or premalignant pancreatic head lesions: a single-centre experience[J]. *Int J Med Robot*, 2018, 14(4):e1903. DOI:10.1002/rcs.1903.
 - [60] Giulianotti PC, Addeo P, Buchs NC, et al. Robotic extended pancreatectomy with vascular resection for locally advanced pancreatic tumors[J]. *Pancreas*, 2011, 40(8):1264-1270. DOI:10.1097/MPA.0b013e318220e3a4.
 - [61] 赵舒霖,沈柏用,邓侠兴,等. 联合血管切除重建的机器人胰腺切除术治疗局部进展期胰腺癌[J]. *外科理论与实践*, 2018, 23(4):352-357. DOI:10.16139/j.1007-9610.2018.04.016.
 - [62] Beane JD, Zenati M, Hamad A, et al. Robotic pancreatoduodenectomy with vascular resection: outcomes and learning curve[J]. *Surgery*, 2019, 166(1):8-14. DOI:10.1016/j.surg.2019.01.037.
 - [63] 杨丽晓,侯正松,唐伟,等. 近年手术机器人的发展[J]. *中国医疗器械杂志*, 2023, 47(1):1-12. DOI:10.3969/j.issn.1671-7104.2023.01.001