

机器人辅助胃癌手术在争议中前行

闫永嘉¹ 张文欣² 张墨雄² 刘刚¹ 刘健¹ 付蔚华¹

¹天津医科大学总医院普通外科,天津 300052;²天津医科大学研究生院,天津 300070

通信作者:付蔚华,Email:tjmughgs_fwh@163.com

【摘要】 胃癌是我国目前发病率和病死率均位列第3的恶性肿瘤,手术是提高患者预后的重要治疗手段。机器人辅助手术作为微创技术之一,近几十年在我国经历飞速发展,同时也伴随争议。近年来以中国、日本、韩国为主的亚洲国家开展大量高质量临床研究,旨在评估机器人手术系统辅助胃癌手术的安全性和有效性。笔者总结上述研究结果及团队实践经验,相信随着技术的不断进步,机器人手术系统在胃癌治疗中将会得到广泛应用。

【关键词】 胃肿瘤; 根治术; 微创; 外科手术; 机器人辅助手术

基金项目:天津市教委科研计划项目(2020KJ165);天津市自然科学基金京津冀基础研究合作专项(22JCZXJC00140);天津市科技重大专项与工程“揭榜挂帅”重大项目(21ZXJBSY00110)

Robot-assisted gastric cancer surgery move forward in controversy

Yan Yongjia¹, Zhang Wenxin², Zhang Zhaoxiong², Liu Gang¹, Liu Jian¹, Fu Weihua¹

¹Department of General Surgery, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China;

²Graduate School, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China

Corresponding author: Fu Weihua, Email: tjmughgs_fwh@163.com

【Abstract】 Gastric cancer is a malignant tumor with morbidity and mortality ranking the third in China. Surgical treatment is an important therapy to improve the prognosis of patients. Robot-assisted surgery, as a minimally invasive technique, has experienced rapid development in China in recent decades, but has also caused a lot of controversy. In recent years, a large number of high-quality clinical studies have been carried out in Asian countries, mainly in China, Japan and South Korea, to evaluate the safety and effectiveness of robot-assisted gastric cancer surgery. The authors summarize the above research results and their work experience with robot-assisted gastric cancer surgery. We believe that robotic surgery will be widely used in the treatment of gastric cancer with the continuous progress of technology.

【Key words】 Stomach neoplasms; Radical surgery; Minimally invasiveness; Surgical procedures, operative; Robot-assisted surgery

Fund programs: Scientific Research Project of Tianjin Municipal Education Commission (2020 KJ165); Fundamental Research Cooperation Program of Beijing-Tianjin-Hebei Region of Natural Science Foundation of Tianjin(22JCZXJC00140);Tianjin Major Science and Technology Project (21ZXJBSY00110)

胃癌是全世界发病率第5、病死率第4的恶性肿瘤^[1]。根据我国国家癌症中心发布的2016年统计数据,胃癌的发病率和病死率均位列第3^[2]。手术为主的综合治疗是延长患者生存时间的重要手

段。目前不论是早期胃癌还是进展期胃癌,腹腔镜手术由于其微创性质带来的围手术期获益以及安全的肿瘤根治性,得到广泛认可。但是腹腔镜器械操作端的灵活性仍然是进展期胃癌D₂淋巴结清扫

DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240202-00062

收稿日期 2024-02-02

引用本文:闫永嘉,张文欣,张墨雄,等. 机器人辅助胃癌手术在争议中前行[J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(3): 354-359. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240202-00062.



术的制约因素^[3]。机器人辅助手术能够较好地解决直线型器械自由弯转的问题,且其三维视野和滤颤系统能更好地支持复杂手术操作。然而,机器人辅助进展期胃癌手术能否使患者获益仍然存在较大争议,机器人辅助胃癌根治术的有效性和安全性尚未得到充分评估,已有的证据大多数都是回顾性倾向评分匹配分析,少有大规模、多中心 RCT,且机器人手术费用一直是我国医患关注的问题。伴随着争议,全世界机器人辅助胃癌手术数量显著增加。我国自 2006 年引进首台达芬奇手术机器人,截至 2023 年 12 月,我国达芬奇机器人的装机量已达 367 台,2023 年达芬奇机器人手术系统胃癌手术达 3 500 余台,全年累计各种手术达 18 700 余台。同时目前大量国产手术机器人正在进行临床试验,机器人辅助胃癌根治术在争议中经历高速发展。笔者总结国内外研究结果及团队实践经验,相信随着技术的不断进步,机器人手术在胃癌治疗中将会得到广泛应用。

一、机器人胃癌手术的适应证

第六版日本《胃癌治疗指南》指出,2018 年起日本诊疗报酬体系纳入机器人辅助胃癌手术,其后的回顾性研究结果显示:机器人辅助胃癌手术后并发症发生率低于腹腔镜胃癌手术,但仍缺乏前瞻性大规模临床研究数据^[4]。因此,对于临床分期 I 期胃癌患者,在具有丰富经验术者的单位进行弱推荐。目前日本正在进行针对 cT1~4aN0~3 期胃癌的多中心 III 期 RCT(JCOG1907、MONA LISA study),探讨进展期胃癌患者机器人与腹腔镜手术的长期预后差异^[5]。2023 年版《NCCN 胃癌治疗指南》将腹腔镜和机器人手术均视为微创手术范围,对早期和局部进展期胃癌均可考虑微创手术,但对于 T4b 期或有融合成团淋巴结转移的患者不推荐行微创手术^[6]。《中国临床肿瘤学会(CSCO)胃癌诊疗指南》提出,机器人胃癌手术优势仍需更多临床研究证据^[7]。从各个指南的不同描述可以看出,欧美国家目前将机器人手术视为微创技术之一,与腹腔镜并无本质区别,并且对于适应证的把握较宽松,进展期胃癌亦可开展。而日本指南更注重临床研究的结果作为证据支持,适应证限定为早期胃癌,且推荐级别为弱推荐。但这是机器人手术首次作为胃癌根治术推荐的手术方式被写入指南,由第 5 版“未做推荐”到第 6 版仅 3 年时间。我国指南则更加谨慎,尚未作出明确推荐或不推荐的表述。

二、机器人辅助胃癌手术参数

腹腔镜辅助手术治疗早期和局部进展期胃癌的安全性和有效性已得到大量验证,目前已成为胃癌手术治疗的标准方式之一。机器人手术作为微创手术的另一种形式,国内外研究重点仍以腹腔镜手术作为参照。机器人手术的部分操作消耗了额外时间,例如装机、更换器械、控制摄像头时器械无法移动等,比腹腔镜手术时间更长,有 RCT 结果显示:手术延长时间可达 50 min,且与腹腔镜手术比较,差异有统计学意义^[8-9]。由于机器人手术机械臂的灵活程度和操作的稳定性,理论上单纯的手术操作时间应短于腹腔镜手术。随着带有激光辅助定位系统的达芬奇 Xi 的应用,以及手术团队配合熟练程度的提高,机器人手术的手术时间将会进一步缩短。近期已有研究结果显示:机器人与腹腔镜手术的手术时间比较,差异无统计学意义^[10]。甚至有研究结果显示:机器人手术时间短于腹腔镜手术^[11]。

由于机器人手术系统的器械灵活性和视野放大作用,术中解剖的精细程度较腹腔镜有较大提升,减少术中出血量。日本回顾性研究结果显示:机器人辅助胃癌手术出血量平均减少 15~20 mL^[4,12-13]。我国 1 项多中心、大样本量真实世界研究结果显示:机器人手术较腹腔镜手术能显著减少术中出血量(126.8 mL 比 142.5 mL, $P<0.000 1$)^[14]。虽然有小样本研究得出相反结论,但 1 项 Meta 研究结果显示:机器人辅助手术较腹腔镜手术能显著减少术中出血量(98.77 mL 比 115.02 mL, $P<0.001$)^[15-16]。虽然机器人手术的术中出血量平均减少约 20 mL,但是随着手术难度加大,机器人手术系统放大细小血管、灵活手腕转动的技术优势将会被放大,尤其是在胃癌 D₂根治术和高 BMI 患者手术中,减少出血量可 >100 mL^[17-18]。

对于胃癌根治术这类涉及解剖较复杂的手术,腹腔镜操作的学习难度较大,医师克服学习曲线的练习例数较多,尤其是完全腹腔镜手术。机器人手术的学习曲线较短。这可能与以下几个因素有关:(1)双操作台的手把手带教和触摸显示屏的指示作用。(2)手术模拟软件可帮助提前熟悉手术操作。(3)直觉控制系统可以较为直观地反映手部动作。(4)我国的机器人手术医师具有丰富的胃癌微创手术经验。1 项回顾性研究分析了 2 位具有腹腔镜胃癌根治术经验医师学习机器人手术,分别经过 12 例和 14 例即可熟练掌握^[19]。韩国 1 项相似研究结果

显示:腹腔镜手术经验丰富的3位医师掌握机器人手术分别需要9.6、18.1、6.0例^[20]。Huang等^[21]分析机器人手术助手的学习例数,结果显示:经过25例后机器人接入时间可达到稳定。年轻外科医师虽无丰富的腹腔镜手术经验,但作为机器人手术助手开始接触胃癌根治术,他们掌握机器人胃癌根治术的速度更快。1项回顾性研究分析5位年轻的机器人手术助手,结果显示:他们成为主刀医师后度过学习曲线的例数分别为5、7、7、8、11例(平均为7例)^[22]。目前大多数研究结果显示:腹腔镜胃癌根治术需要40~60例才能度过学习曲线^[23-24]。对于刚接触胃癌手术就作为机器人手术助手的年轻一代外科医师,机器人手术的学习难度极大降低。

三、机器人辅助胃癌手术的安全性

大量多中心、回顾性研究结果显示:机器人手术和腹腔镜手术围手术期死亡率均<1%,两者比较,差异无统计学意义^[14,25-26]。Guerrini等^[16]的1项Meta分析结果显示:腹腔镜手术的围手术期死亡率为0.30%,机器人手术为0.36%,两者比较,差异无统计学意义($OR=1.43$,95%CI为0.77~2.65, $P=0.25$)。在术后并发症方面,1项日本RCT结果显示:机器人手术组术后并发症发生率显著低于腹腔镜组(5.3%比16.2%, $P=0.01$)。但该研究尚未达到减少腹腔内感染相关并发症(包括吻合口漏、胰漏和腹腔脓肿)的主要终点^[9]。对于Clavien-Dindo II级并发症,我国Lu等^[8]和日本Ojima等^[9]的研究分别证实机器人手术的优势(7.7%比16.9%, $P=0.006$;8.8%比19.7%, $P=0.02$)。对于Clavien-Dindo分级≥III a级的并发症,1项日本单中心前瞻性单臂研究结果显示:机器人手术的并发症发生率为2.45%,显著低于历史对照腹腔镜组的6.4%^[12]。理论上机器人手术能降低术后并发症的发生率,这得益于灵活转动的器械能够在复杂区域进行淋巴结清扫而不造成误损伤,例如胰腺周围和脾门。但这些研究均未证实机器人手术可降低胰漏发生率。因此,有研究聚焦于术后引流液淀粉酶,结果显示:机器人手术组术后引流液淀粉酶升高的发生率显著低于腹腔镜组(10%比22.5%)^[27]。1项Meta分析统计两种手术方式Clavien-Dindo分级≤III a级的并发症发生率,结果显示:机器人手术组显著低于腹腔镜手术组[4.13%(150/3 631)比6.44%(498/7 727), $OR=0.66$,95%CI为0.49~0.88, $P=0.005$]^[16]。综上,机器人手术在胃癌围手术期并发症方面优于腹腔镜手术尚未达成广泛共识,但

尚无研究结果显示机器人手术劣于腹腔镜手术。因此,机器人胃癌手术的安全性可以保障。考虑到特定条件,特定手术方式机器人操作的优点,笔者认为:术后并发症的研究方向可集中在特殊的病例,例如位置较高的Siewert II型食管胃结合部肿瘤、高BMI患者、胰腺上缘有肿大淋巴结的患者等。

腹腔镜手术和机器人手术同属于微创手术范畴,两种技术都具有减轻疼痛、腹腔内干扰轻微的优势,因此,理论上两者在术后胃肠功能恢复速度方面应无显著区别。目前评估术后胃肠功能恢复指标通常是术后经口进食时间、术后首次肛门排气时间、术后住院时间等。1项日本Meta分析结果显示:机器人组首次经口进食时间显著短于腹腔镜组^[28]。但大多数研究结果表明两种手术方式的术后住院时间相似^[29-30]。目前加速康复外科理念广泛应用于胃癌微创术后的患者管理,很多医学中心患者微创胃癌根治术后住院时间已经较短,有Meta分析结果显示:机器人手术住院时间短于腹腔镜手术,但两者比较差异无统计学意义(8.67 d比9.29 d, $P=0.11$)^[16]。有回顾性研究结果显示:两种手术患者的住院时间绝对值差异为1 d^[25,31]。

四、机器人辅助胃癌手术的有效性

关于肿瘤病理学参数(术后病理学远近切缘和淋巴结清扫数量),有研究结果显示:两种手术方式比较,差异无统计学意义^[32]。理论上,机器人手术系统操作灵活的优势应体现于淋巴结清扫数目,但已有研究结果显示:两种方式比较,差异无统计学意义^[33]。具体到特定区域,这种优势才能体现出来。有研究结果显示:机器人手术在保留脾脏的脾门淋巴结清扫中和胰腺上缘区域淋巴结清扫中收获更多淋巴结^[34]。还有研究结果显示:高BMI患者行D₂淋巴结清扫时,机器人手术可清扫更多淋巴结^[17]。

近期进展期胃癌的腹腔镜手术通过大量多中心RCT验证终于被广泛接受^[35-37]。比较机器人和腹腔镜手术长期预后的前瞻性研究正在进行中。Hikage等^[38]的单中心、前瞻性II期临床研究入组120例患者并进行长期随访,结果显示:机器人辅助手术治疗早期胃癌患者5年总生存率为96.7%,与开放手术和腹腔镜手术相当。Li等^[14]的1项多中心倾向评分匹配回顾性分析入组共3 552例患者,结果显示:机器人与腹腔镜手术患者的5年总生存率和无病生存率比较,差异均无统计学意义。

Suda 等^[39]的 1 项回顾性分析纳入 1 127 例早期胃癌患者,其中机器人组 326 例,腹腔镜组 752 例。机器人组 3 年总生存率优于腹腔镜组(96.3% 比 89.6%, $P=0.009$),但两组 3 年无复发生存率比较,差异无统计学意义(92.3% 比 87.2%, $P=0.073$)。进一步亚组分析结果显示:病理学分期为 IA 期的患者中,机器人组的 3 年总生存率(99.7% 比 94.4%, $P=0.004$)和无复发生存率(99.7% 比 93.7%, $P=0.003$)均优于腹腔镜组。Nakauchi 等^[40]的 1 项针对病理学分期为 II 期或 III 期进展期胃癌患者的回顾性倾向匹配分析结果显示:与腹腔镜组比较,机器人手术能显著提高 5 年总生存率(70.4% 比 50.2%, $P=0.039$)和无复发生存率(74.1% 比 44.5%, $P=0.005$)。

五、机器人辅助胃癌手术费用

目前制约机器人手术发展的主要因素为费用上升,但随着国产机器人的大量使用,这一问题有望得到解决。下述腹腔镜和机器人手术费用比较均基于达芬奇机器人手术系统数据。韩国 Kim 等^[41]的研究结果显示:机器人和腹腔镜手术费用的差异约为 4 500 美元(13 470 美元比 8 980 美元)。日本 Uyama 等^[12]的统计结果显示:两者差距约为 73.5 万日元(1 799 628 日元比 1 063 800 日元)。Li 等^[14]统计我国多中心的数据,结果显示:机器人和腹腔镜手术费用差异约为 3 500 美元(14 185 美元比 10 637 美元)。Guerrini 等^[16]的 1 项 Meta 分析结果显示:机器人手术较腹腔镜手术费用高约 4 000 美元(12 224.5 美元比 8 292.8 美元)。

手术在胃癌全程管理中起到举足轻重的作用,为手术付出 2 万余元人民币的额外费用对于我国医患双方是一笔较大支出。但我国 1 项研究结果显示:晚期胃癌的三线或后线的靶向治疗,生命质量调整后的每年治疗支出可达 90 154 美元^[42]。而后线治疗对于生存时间的延长远不如根治性手术。目前日本、韩国已经将机器人手术纳入医保范围,可见通过现有临床研究的数据,部分国家已经认可这部分支出的提升可能为患者带来益处并愿意为此付费。同时,机器人手术比腹腔镜手术节省 1 名扶镜手,助手从机械的固定牵拉操作中解放出来,进行更加灵活的暴露工作,这降低了治疗过程中的人力成本。机器人手术费用较高另一大原因是技术垄断,但目前已有大量国产手术机器人进入临床试验阶段,笔者相信:随着竞争的加大,机器人手术费用会逐渐下降。

六、结语

笔者分析目前临床研究结果,机器人辅助胃癌手术的优势主要是术中出血量更少(平均每台手术出血量减少 10~40 mL),复杂患者淋巴结清扫数目更多,手术相关并发症与腹腔镜相似(仅日本的大宗、单臂前瞻性研究结果证实了机器人手术更优),远期预后两者比较,差异并不明显。但机器人胃癌手术也存在较大缺点,如手术时间延长、费用增加等。因此,这就带来明显争议:机器人胃癌手术增加治疗成本(时间和金钱),并未带来明显获益。但该争议让学者产生似曾相识的感觉。20 世纪 90 年代腹腔镜手术刚进入胃肠外科领域时也产生同样争论。腹腔镜胃癌根治术在发展早期阶段,其手术时间平均可达 6 h,同时由于学习曲线较长,胃周毗邻器官较重要,手术中误损伤和中转开放手术比例较高,同时与开放手术比较,腹腔镜手术费用明显增加,且在后续大量 RCT 结果公布之前,腹腔镜手术一直被认为有可能造成肿瘤播散和种植。得益于技术优势,机器人手术在发展早期就已经展现出缩短学习曲线、降低精细灵活操作带来的误损伤和中转开放率等优势,外科医师更愿意采用机器人手术系统施行复杂手术,如高 BMI 患者、低位直肠癌或高位食管胃结合部癌患者。同时机器人手术系统进化速度十分迅速,我国从达芬奇 Si 系统到 Xi 系统应用不到 5 年,平台的进化带来了接入方式、机械臂灵活更换、能量平台的自由转弯、进场红外激发荧光技术等便利性。笔者相信:机器人手术平台器械和灵活度必定会进一步发展,技术进步可使患者和手术医师共同受益。1 项调查问卷研究结果显示:有 68% 的外科医师经常感觉周身疼痛,而微创外科医师疼痛、疲劳、麻木等不适的比例更高^[43]。这些肌肉骨骼的症状与工作能力下降,工作倦怠和提前结束手术生涯直接相关^[44]。机器人手术可极大减轻术者疲劳,1 项研究结果显示:在进行相同的模拟手术情况下,机器人比腹腔镜术者的认知疲劳程度和物理疲劳程度均显著降低^[45]。

随着机器人技术的发展和大量多中心、前瞻性 RCT 的推进,机器人辅助手术可能成为胃癌的一种标准手术方式。未来人工智能、远程通讯技术等等的引入,也对机器人辅助手术产生良好影响。目前满足适应证的患者,由经验丰富的医学中心施行机器人胃癌根治术安全、有效。同时随着国产机器人等的引入,笔者相信:机器人胃癌根治术

的应用会迎来较大发展,而对于机器人手术操作的规范迫在眉睫。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2021,71(3):209-249. DOI:10.3322/caac.21660.
- [2] 郑荣寿,张思维,孙可欣,等.2016 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. *中华肿瘤杂志*,2023,45(3):212-220. DOI:10.3760/cma.j.cn112152-20220922-00647.
- [3] Kim HI, Park MS, Song KJ, et al. Rapid and safe learning of robotic gastrectomy for gastric cancer: multidimensional analysis in a comparison with laparoscopic gastrectomy [J]. *Eur J Surg Oncol*,2014,40(10):1346-1354. DOI:10.1016/j.ejso.2013.09.011.
- [4] Tokunaga M, Makuuchi R, Miki Y, et al. Late phase II study of robot-assisted gastrectomy with nodal dissection for clinical stage I gastric cancer[J]. *Surg Endosc*,2016,30(8):3362-3367. DOI:10.1007/s00464-015-4613-z.
- [5] Makuuchi R, Terashima M, Terada M, et al. Randomized controlled phase III trial to investigate superiority of robot-assisted gastrectomy over laparoscopic gastrectomy for clinical stage T1-4aN0-3 gastric cancer patients (JCOG1907, MONA LISA study): a study protocol[J]. *BMC Cancer*,2023,23(1):987. DOI:10.1186/s12885-023-11481-2.
- [6] National Comprehensive Cancer Network. NCCN clinical practice guidelines in oncology: gastric cancer (2023 version 1) [EB/OL]. [2024-02-02]. https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/gastric.pdf.
- [7] 中国临床肿瘤学会指南工作委员会.中国临床肿瘤学会(CSCO)胃癌诊疗指南[M].北京:人民卫生出版社,2023.
- [8] Lu J, Zheng CH, Xu BB, et al. Assessment of robotic versus laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*,2021,273(5):858-867. DOI:10.1097/SLA.0000000000004466.
- [9] Ojima T, Nakamura M, Hayata K, et al. Short-term outcomes of robotic gastrectomy vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Surg*,2021,156(10):954-963. DOI:10.1001/jamasurg.2021.3182.
- [10] Wang WJ, Li HT, Yu JP, et al. Severity and incidence of complications assessed by the Clavien-Dindo classification following robotic and laparoscopic gastrectomy for advanced gastric cancer: a retrospective and propensity score-matched study[J]. *Surg Endosc*,2019,33(10):3341-3354. DOI:10.1007/s00464-018-06624-7.
- [11] Omori T, Yamamoto K, Hara H, et al. Comparison of robotic gastrectomy and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a propensity score-matched analysis[J]. *Surg Endosc*, 2022,36(8):6223-6234. DOI:10.1007/s00464-022-09125-w.
- [12] Uyama I, Suda K, Nakauchi M, et al. Clinical advantages of robotic gastrectomy for clinical stage I / II gastric cancer: a multi-institutional prospective single-arm study[J]. *Gastric Cancer*,2019,22(2):377-385. DOI:10.1007/s10120-018-00906-8.
- [13] Okabe H, Obama K, Tsunoda S, et al. Feasibility of robotic radical gastrectomy using a monopolar device for gastric cancer[J]. *Surg Today*,2019,49(10):820-827. DOI:10.1007/s00595-019-01802-z.
- [14] Li ZY, Zhou YB, Li TY, et al. Robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a multicenter cohort study of 5402 patients in China[J]. *Ann Surg*,2023,277(1):e87-e95. DOI:10.1097/SLA.0000000000005046.
- [15] Shibasaki S, Suda K, Nakauchi M, et al. Non-robotic minimally invasive gastrectomy as an independent risk factor for postoperative intra-abdominal infectious complications: a single-center, retrospective and propensity score-matched analysis[J]. *World J Gastroenterol*,2020,26(11):1172-1184. DOI:10.3748/wjg.v26.i11.1172.
- [16] Guerrini GP, Esposito G, Magistri P, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: the largest meta-analysis[J]. *Int J Surg*,2020,82:210-228. DOI:10.1016/j.ijsu.2020.07.053.
- [17] Lee J, Kim YM, Woo Y, et al. Robotic distal subtotal gastrectomy with D2 lymphadenectomy for gastric cancer patients with high body mass index: comparison with conventional laparoscopic distal subtotal gastrectomy with D2 lymphadenectomy[J]. *Surg Endosc*,2015,29(11):3251-3260. DOI:10.1007/s00464-015-4069-1.
- [18] Park JM, Kim HI, Han SU, et al. Who may benefit from robotic gastrectomy?: A subgroup analysis of multicenter prospective comparative study data on robotic versus laparoscopic gastrectomy[J]. *Eur J Surg Oncol*,2016,42(12):1944-1949. DOI:10.1016/j.ejso.2016.07.012.
- [19] Zhou J, Shi Y, Qian F, et al. Cumulative summation analysis of learning curve for robot-assisted gastrectomy in gastric cancer[J]. *J Surg Oncol*,2015,111(6):760-767. DOI:10.1002/jso.23876.
- [20] Park SS, Kim MC, Park MS, et al. Rapid adaptation of robotic gastrectomy for gastric cancer by experienced laparoscopic surgeons[J]. *Surg Endosc*, 2012,26(1):60-67. DOI:10.1007/s00464-011-1828-5.
- [21] Huang KH, Lan YT, Fang WL, et al. Comparison of the operative outcomes and learning curves between laparoscopic and robotic gastrectomy for gastric cancer[J]. *PLoS One*, 2014,9(10):e111499. DOI:10.1371/journal.pone.0111499.
- [22] Shibasaki S, Suda K, Kadoya S, et al. The safe performance of robotic gastrectomy by second-generation surgeons meeting the operating surgeon's criteria in the Japan Society for Endoscopic Surgery guidelines[J]. *Asian J Endosc Surg*,2022,15(1):70-81. DOI:10.1111/ases.12967.
- [23] Suda K, Nakauchi M, Inaba K, et al. Minimally invasive surgery for upper gastrointestinal cancer: our experience and review of the literature[J]. *World J Gastroenterol*,2016,22(19):4626-4637. DOI:10.3748/wjg.v22.i19.4626.
- [24] Son T, Hyung WJ. Robotic gastrectomy for gastric cancer[J]. *J Surg Oncol*,2015,112(3):271-278. DOI:10.1002/jso.23926.
- [25] Suda K, Yamamoto H, Nishigori T, et al. Safe implementation of robotic gastrectomy for gastric cancer under the requirements for universal health insurance coverage: a

- retrospective cohort study using a nationwide registry database in Japan[J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25(2):438-449. DOI:10.1007/s10120-021-01257-7.
- [26] Shimoike N, Nishigori T, Yamashita Y, et al. Safety assessment of robotic gastrectomy and analysis of surgical learning process: a multicenter cohort study[J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25(4):817-826. DOI:10.1007/s10120-022-01289-7.
- [27] Seo HS, Shim JH, Jeon HM, et al. Postoperative pancreatic fistula after robot distal gastrectomy[J]. *J Surg Res*, 2015, 194(2):361-366. DOI:10.1016/j.jss.2014.10.022.
- [28] Hoshino N, Murakami K, Hida K, et al. Robotic versus laparoscopic surgery for gastric cancer: an overview of systematic reviews with quality assessment of current evidence[J]. *Updates Surg*, 2020, 72(3):573-582. DOI:10.1007/s13304-020-00793-8.
- [29] Pan HF, Wang G, Liu J, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for locally advanced gastric cancer[J]. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 2017, 27(6):428-433. DOI: 10.1097/SLE.0000000000000469.
- [30] Wang G, Jiang Z, Zhao J, et al. Assessing the safety and efficacy of full robotic gastrectomy with intracorporeal robot-sewn anastomosis for gastric cancer: A randomized clinical trial[J]. *J Surg Oncol*, 2016, 113(4):397-404. DOI:10.1002/jso.24146.
- [31] Ryan S, Tameron A, Murphy A, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric adenocarcinoma: propensity-matched analysis[J]. *Surg Innov*, 2020, 27(1):26-31. DOI:10.1177/1553350619868113.
- [32] Bobo Z, Xin W, Jiang L, et al. Robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: meta-analysis and trial sequential analysis of prospective observational studies[J]. *Surg Endosc*, 2019, 33(4):1033-1048. DOI: 10.1007/s00464-018-06648-z.
- [33] Hyun MH, Lee CH, Kwon YJ, et al. Robot versus laparoscopic gastrectomy for cancer by an experienced surgeon: comparisons of surgery, complications, and surgical stress [J]. *Ann Surg Oncol*, 2013, 20(4):1258-1265. DOI:10.1245/s10434-012-2679-6.
- [34] Son T, Lee JH, Kim YM, et al. Robotic spleen-preserving total gastrectomy for gastric cancer: comparison with conventional laparoscopic procedure[J]. *Surg Endosc*, 2014, 28(9):2606-2615. DOI:10.1007/s00464-014-3511-0.
- [35] Yu J, Huang C, Sun Y, et al. Effect of laparoscopic vs open distal gastrectomy on 3-year disease-free survival in patients with locally advanced gastric cancer: the CLASS-01 randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2019, 321(20):1983-1992. DOI:10.1001/jama.2019.5359.
- [36] Kim HH, Han SU, Kim MC, et al. Effect of laparoscopic distal gastrectomy vs open distal gastrectomy on long-term survival among patients with stage I gastric cancer: the KCLASS-01 randomized clinical trial[J]. *JAMA Oncol*, 2019, 5(4):506-513. DOI:10.1001/jamaoncol.2018.6727.
- [37] Katai H, Mizusawa J, Katayama H, et al. Survival outcomes after laparoscopy-assisted distal gastrectomy versus open distal gastrectomy with nodal dissection for clinical stage IA or IB gastric cancer (JCOG0912): a multicentre, non-inferiority, phase 3 randomised controlled trial[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2020, 5(2):142-151. DOI:10.1016/S2468-1253(19)30332-2.
- [38] Hikage M, Tokunaga M, Furukawa K, et al. Long-term outcomes of robotic gastrectomy for clinical stage I gastric cancer: a single-center prospective phase II study[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(8):4160-4166. DOI:10.1007/s00464-020-07895-9.
- [39] Suda K, Sakai M, Obama K, et al. Three-year outcomes of robotic gastrectomy versus laparoscopic gastrectomy for the treatment of clinical stage I/II gastric cancer: a multi-institutional retrospective comparative study[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(4):2858-2872. DOI:10.1007/s00464-022-09802-w.
- [40] Nakauchi M, Suda K, Shibasaki S, et al. Prognostic factors of minimally invasive surgery for gastric cancer: does robotic gastrectomy bring oncological benefit? [J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(39):6659-6672. DOI:10.3748/wjg.v27.i39.6659.
- [41] Kim HI, Han SU, Yang HK, et al. Multicenter prospective comparative study of robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric adenocarcinoma[J]. *Ann Surg*, 2016, 263(1):103-109. DOI:10.1097/SLA.0000000000001249.
- [42] Chen HD, Zhou J, Wen F, et al. Cost-effectiveness analysis of apatinib treatment for chemotherapy-refractory advanced gastric cancer[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2017, 143(2):361-368. DOI:10.1007/s00432-016-2296-z.
- [43] Stucky CH, Cromwell KD, Voss RK, et al. Surgeon symptoms, strain, and selections: systematic review and meta-analysis of surgical ergonomics[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2018, 27:1-8. DOI:10.1016/j.amsu.2017.12.013.
- [44] Davila VJ, Meltzer AJ, Hallbeck MS, et al. Physical discomfort, professional satisfaction, and burnout in vascular surgeons[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(3):913-920.e2. DOI: 10.1016/j.jvs.2018.11.026.
- [45] van der Schatte Olivier RH, Van't Hullenaar CD, Ruurda JP, et al. Ergonomics, user comfort, and performance in standard and robot-assisted laparoscopic surgery[J]. *Surg Endosc*, 2009, 23(6):1365-1371. DOI:10.1007/s00464-008-0184-6.