

机器人手术系统在乳腺外科的应用进展

吴鑫, 刘静, 陈莉

(陆军军医大学第一附属医院乳腺中心 重庆 400038)

摘要 机器人辅助手术是乳腺外科发展的新趋势。与腔镜手术相比, 机器人手术真正意义上实现了远程化、智能化及数字化。近年来, 新型手术机器人 MUSA 的出现推动了显微外科与乳腺外科的结合。随着医疗科技的发展, 未来将会有更多术式使更多患者获益。本文将重点介绍机器人手术系统在乳腺外科领域, 尤其是在乳房重建和淋巴水肿治疗中的应用进展。

关键词 乳腺癌; 机器人手术系统; 乳房切除术; 游离皮瓣; 淋巴水肿

中图分类号 R655 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2023) 03-0186-07

Recent advances of robotic surgical system in breast surgery

WU Xin, LIU Jing, CHEN Li

(Department of Breast Center, the First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract Robot-assisted minimally invasive surgery is the new trend in breast surgery. Compared with laparoscopic surgery, robotic surgery has the advantages of remote control, intellectualization and digitalization. The new robot MUSA has promoted the combination of microsurgery and breast surgery. With the development of medical technology, more novel surgical methods will be emerged and benefit more patients in the future. Recent advances on the application of robotic surgical system in breast surgery, especially in breast reconstruction and lymphedema treatment were reviewed in this paper.

Key words Breast cancer; Robotic surgical system; Mastectomy; Free flap; Lymphedema

收稿日期: 2022-01-25 录用日期: 2022-09-07

Received Date: 2022-01-25 Accepted Date: 2022-09-07

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项 (cstc2019jscx-msxmX0191)

Foundation Item: Technology Innovation and Application Development Project of Chongqing(cstc2019jscx-msxmX0191)

通讯作者: 陈莉, Email: lichen20021522@163.com

Corresponding Author: CHEN Li, Email: lichen20021522@163.com

引用格式: 吴鑫, 刘静, 陈莉. 机器人手术系统在乳腺外科的应用进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2023, 4 (3): 186-192.

Citation: WU X, LIU J, CHEN L. Recent advances of robotic surgical system in breast surgery [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2023, 4(3): 186-192.

自 1996 年推出了第 1 代达芬奇机器人以来, 美国直觉外科公司 (Intuitive Surgical, Inc.) 目前共推出了 Da Vinci Standard、Da Vinci S、Da Vinci Si、Da Vinci Xi 和 Da Vinci SP 五代机器人。它们具有 3D 可视化、人手震颤过滤、符合人体工学、无支点效应等优点, 且其灵活的内腕系统有助于在体内缝合^[1]。其中, Da Vinci SP (Single-port) 是新一代可用于单孔操作的手术系统。最近, 荷兰 Microsure 公司研发了世界上第 1 个适用于 (超) 显微外科的 MUSA 机器人手术系统, 促进了显微外科和微创外科的结合, 从而诞生了更多有创意的、具有临床意义的术式。

目前达芬奇机器人系统在乳腺外科中的应用主要有保留乳头和乳晕的乳房切除术 (Nipple-Sparing Mastectomy, NSM) 联合假体重建、带蒂背阔肌乳房重建术、带蒂大网膜乳房重建术、游离腹壁下动脉穿支皮瓣乳房重建术、淋巴静脉吻合术等^[2-3]。本研究着重介绍机器人辅助乳腺外科手术的新进展。

1 机器人辅助保留乳头、乳晕的乳房切除术联合假体重建的新进展

机器人辅助保留乳头、乳晕的乳房切除术 (Robot-assisted Nipple-Sparing Mastectomy, RNSM) 的手术入路可分为单孔法和三孔法。Toesca A 等人^[4]于 2015 年对 RNSM 联合假体一期重建进行了报道, 为隐藏伤口, 其团队采用单孔入路, 仅在乳房外侧靠腋窝处做一个 3cm 的切口进行腺体切除; 在重建阶段, 由于气压不足以抬起胸大肌, 其通过原切口用拉钩提起肌肉, 分离胸肌间隙后直接放入假体。第 1 例手术总时间为 7h, 而最后 1 例手术时间仅需要 3h 左右, 术后住院时间为 3d 左右, 术后随访结果满意。该研究结果显示, RNSM 具有较低的中转开放率、快速的学习曲线和较低的术后并发症发生率, 此结果进一步证明了该技术的可行性。随后 Sarfati B

等人^[5]提出用三孔法进行 RNSM, 3 个直径约 0.8cm 的切口均位于腋前线与腋中线之间, 第 1 个切口平乳头处, 前两个切口相距 2cm, 第 3 个切口距第 2 个切口 8cm。笔者所在团队自 2018 年开展 RNSM 联合假体植入 (如图 1)。该手术的主要特色: ①乳房内禁止注射肾上腺素, 采用非溶脂操作行 NSM 可极大程度地减少正常乳房脂肪组织的流失; ②将假体放在胸大肌前, 避免胸大肌损伤; ③采用三孔法进行 RNSM, 相较于单孔法, 三孔法能够减少机械臂撞击, 缩短手术时间。

1.1 RNSM 的适应证、禁忌证和并发症

RNSM 的适应证主要包括: ①早期乳腺癌, 中 - 小型乳房; ②无临床和影像学的证据证明肿瘤侵犯皮肤和胸大肌; ③腋窝淋巴结无转移; ④病灶距离皮肤至少 5mm 且未侵犯乳头乳晕复合体 (Nipple-Areolar Complex, NAC)。禁忌证: ①炎性乳腺癌; ②肿瘤侵犯皮肤、胸大肌或 NAC; ③乳房肥大 (乳房罩杯 > D) 或者过度下垂; ④腋窝淋巴结转移。

RNSM 常见的并发症主要有出血、感染、血清肿、皮肤或 NAC 的缺血坏死、腺体残留、机械臂击打伤。术中出血无法控制时, 需要中转开放手术止血。所以预防性止血很重要, 尤其是行进到内乳区时, 视野中出现血管就要立即凝闭。术后发生的感染与血清肿通常应用抗生素、加强换药和充分引流后能自行缓解, 若感染无法控制, 需要进行伤口清创缝合。当出现皮肤或 NAC 的缺血坏死时, 多伴有假体外露, 在清创缝合后仍无法愈合时需要二次手术, 甚至可能需要取出假体。腺体残留多发生在内乳区、乳头下方和 Trocar 周围, 在腺体切除后对整个术区进行检查, 以确保完整切除。机械臂击打伤常出现在患者的面部、眼睛和臀部。此时就需要台上的助手时刻注意机械臂的动向, 及时提醒术者调整机械臂的方向。

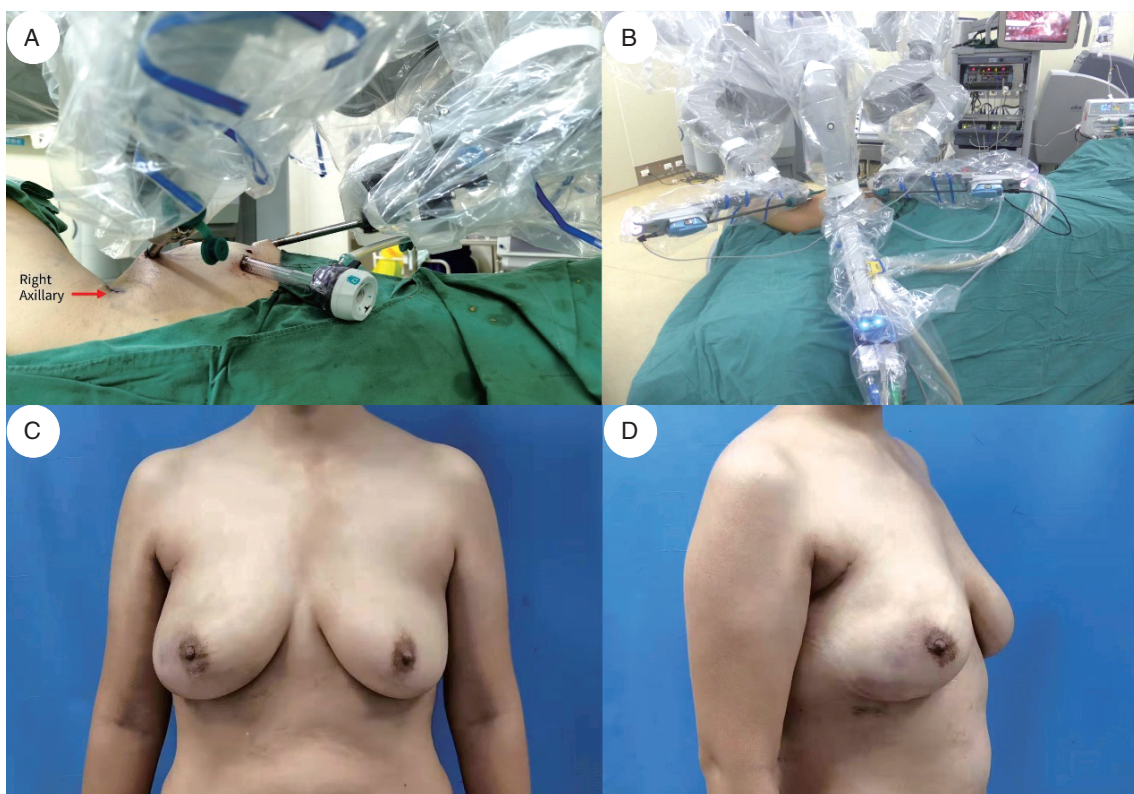


图 1 右侧乳房行 RNSM 联合假体重建术中情况和术后外观

Figure 1 Right breast reconstruction after RNSM

注：A、B. 连接机器人系统与器械臂的安装；C. 术后正面观；D. 术后侧面观

根据皮下腺体的分离方式又可将 RNSM 分为充气式和免充气式，免充气式是指先常规创造空间后，用拉钩将皮瓣提起，然后插入器械继续分离浅筋膜浅层和乳房后间隙。Lee H 等人^[6]将两种方法进行了介绍与对比，结果显示免充气式的切口比充气式长 1cm 左右，但两组在手术最终效果和术后并发症发生率方面无显著差异。

1.2 达芬奇 SP 系统在 RNSM 中的应用

达芬奇 SP 系统是将所有器械端都汇入一个端口的单孔系统，与当前机器人系统的刚性机械臂不同，其新改进的单端口设计包括了 3 个多关节可灵活转动的 6mm 器械和一个可全转腕的 6mm 镜头。通过 SP 的单臂，所有器械和镜头都穿过一个直径 25mm 的套管进入体内^[7]。近期有国外学者运用达芬奇 SP 系统进行了 RNSM。2020 年，Sarfati B 等人^[8]应用达芬奇 SP 系统在

尸体上进行了经脐旁入路 NSM，首先在脐旁建立一个皮下腔隙接入 SP 系统的端口，然后充气建立皮下气腔，并将压力维持在 10mmHg，插入镜头、双极抓钳和单极电剪并朝患侧乳房分离，最后将分离的腺体通过脐旁的切口取出。SP 系统的应用可以使 NSM 获得更好的美容效果。Sarfati B 团队在该研究中提出，在术后行一期重建中，因为脐旁的切口小而隐蔽，所以无法实现硅胶假体植入，但可以注射生理盐水假体替代硅胶假体实现经脐乳房重建。该研究还指出，SP 系统辅助 NSM 的另一个适应证是治疗男性乳房发育症。因为男性乳房缺乏乳房下皱襞，无法隐藏手术后的瘢痕，影响患者的生活，所以经脐旁入路行乳房切除术能够取得很好的效果。2019 年，Park H S 等人^[9]使用达芬奇 SP 系统对 1 例右侧导管内癌的患者行 RNSM 联合假体重建，切口在乳头平

面，位于腋前线 and 腋中线之间并平行于腋前线，切口长度约 4cm。假体植入时由整形外科医生利用脱细胞真皮基质（Acellular Dermal Matrix, ADM）包裹假体，放到胸大肌前的位置。术后无并发症出现，15d 后出院。与第 2、3、4 代机器人相比，SP 系统也有一些不足之处，如 SP 系统中抓钳力量弱、反向回缩率高，但因为第 3 臂的辅助作用，在一定程度上可以弥补这个缺陷。目前将 SP 系统应用于 NSM 中的病例仍较少，期待以后有更多的相关病例报道，以进一步评估 SP 系统与多端口系统的差异。

2 机器人辅助皮瓣移植在乳腺外科中的应用新进展

在乳房重建中，利用自体皮瓣重建乳房，轮廓自然、柔软，对放疗的耐受性优于植入物重建^[10]。自体皮瓣又可分为游离皮瓣和带蒂皮瓣，目前可供选择的自体皮瓣有背阔肌皮瓣、横行腹直肌皮瓣、腹壁下动脉穿支皮瓣和腹壁浅动脉穿支皮瓣、横行上股薄肌游离皮瓣、臀上动脉穿支游离皮瓣、臀下动脉穿支游离皮瓣等^[7]。

2.1 机器人辅助带蒂皮瓣在乳房重建中的应用

背阔肌皮瓣因其充足的血供及适宜的组织量，一直是临床上最常应用于乳房重建的自体皮瓣之一，传统获取背阔肌皮瓣时在背部供区需要一个长度为 15~45cm 的切口，破坏了背部生理曲线^[11]。Selber J C 等人^[11]在 2012 年完成了 7 例机器人辅助获取背阔肌皮瓣手术，其中 5 例带蒂皮瓣用于乳房重建，术中仅在腋窝下做 3 个切口进行背阔肌皮瓣的获取和转瓣。有研究团队从 2014 年开展全腹腔镜背阔肌乳房重建，该术式的特色在于可以实现腋窝无切口、背部无瘢痕、获取肌瓣无需拉钩^[12]。随后笔者团队采用机器人取代腹腔镜进行皮瓣的获取，由于机器

人系统的机械臂和器械较腹腔镜大，故对于乳房较大、需要切取组织量较多的患者适合应用机器人系统操作，反之则应优先选择腹腔镜器械。腹腔镜手术耗时长，灵活性远不如机器人，并且机器人手术在远程化方面有着巨大的潜力。但考虑到机器人手术成本高于腹腔镜手术，患者可根据自身情况来选择合适的术式^[13]。

自 2019 年以来，笔者团队开展达芬奇机器人微创精准“皮岛式”背阔肌皮瓣乳房重建，根据乳房表面实际缺损面积和形状，精确获取相应的背阔肌皮瓣，减小供区瘢痕大小，减轻疼痛和供区正常生理结构的破坏。背阔肌的获取和转移仅在皮下隧道中进行，极大程度地提高了美观程度及患者满意度^[14]。

机器人辅助获取背阔肌行乳房重建的适应证：①早期乳腺癌，肿瘤较小；②影像学评估后可行保留皮肤的乳房切除术；③乳房大小中等，皮肤弹性好。禁忌证：①晚期乳腺癌，肿瘤较大；②过度下垂的丰满乳房；③患者职业特殊，对上肢力量有需求者（如运动员等）；④高龄、体格衰弱及伴有重大器官功能障碍无法行手术者。

2.2 机器人辅助游离皮瓣在乳房重建中的应用

腹壁下动脉穿支皮瓣（Deep Inferior Epigastric Perforator, DIEP）已成为乳房重建中最常用的穿支皮瓣^[15]。DIEP 由 Koshima I 等人^[16]在 1989 年首次提出，优点是在提供大量与乳房柔软度、韧性自然一致的组织的同时，保留腹直肌并减少对腹直肌前鞘的损伤，从而减少疝、运动无力、肿胀和慢性疼痛等腹部并发症的发生^[17]。获取 DIEP 的传统方法中，剥离腹壁下动脉分为筋膜浅面、肌肉内和肌肉下剥离 3 个阶段^[18]，获取的血管蒂长度越长，损伤的筋膜和肌肉长度也就越长，对相关的运动神经损伤也就越

大，这在弓状线以下尤其明显。Selber J C^[19]首次利用机器人在腹腔内游离出完整的腹壁下血管，分离的血管蒂全长 10~15cm，但筋膜切口长度控制在 1.5~3cm。这体现了机器人手术相较于传统开放手术的巨大优势：除了穿支附近筋膜，其余的腹直肌鞘膜及神经受损较小，术后供区并发症发生率降低，术后疼痛减轻和住院时间减少，术后恢复能力增强。Gundlapalli V S 等人^[20]的病例回顾分析结果显示，机器人辅助获取 DIEP 手术总时间为 8h 51min，其中 20min 用于机器人对接，机器人在腹腔内游离血管平均用时 40min，与传统开放手术的游离时间相似。

2021 年，Choi J H 等人^[21]采用单端口机器人达芬奇 SP 对 17 例患者行完全腹膜外入路获取 DIEP 皮瓣。相较于传统入路，完全腹膜外入路可进一步缩短筋膜切口并减少对肌肉和神经的损伤。采用 SP 系统获取皮瓣的适应证中，肌肉血管走行的长度是重要的标准之一，其长度 <5cm 时更有利于手术的开展。但在创建腹膜前间隙时，可能会影响到患者的呼吸、体循环和酸碱平衡。该研究还指出，第 2、3、4 代机器人在建立腹膜前间隙时需要多孔进入，这可能会导致周围组织损伤和漏气。相比之下，单孔机器人可以减少上述损伤，但是在使用单孔机器人时，可能会出现腹膜穿孔、出血、血管蒂损伤等术中并发症。单孔机器人采集皮瓣过程的平均用时 (65 ± 33) min，平均手术时间 (487 ± 93) min。

2.3 机器人辅助治疗乳腺癌术后上肢淋巴水肿

上肢淋巴水肿是乳腺癌术后常见的并发症之一，发生率为 11%~65%，主要是放疗和腋窝淋巴结清扫后淋巴回流障碍所致^[22]。目前主要治疗方式为保守治疗和手术治疗，保守治疗主要以综合消肿治疗（Complex Decongestive Therapy, CDT）为主，手术治疗包括淋巴静脉吻合术、血管化淋

巴移植术和吸脂术等。随着机器人在显微外科中的应用，手术治疗的优势逐渐扩大。

2.3.1 游离大网膜血管淋巴移植

在显微外科治疗淋巴水肿中，自体血管淋巴移植越来越受到重视。大网膜含有丰富的血管、淋巴结，现已成为血管淋巴移植的重要供区之一^[23]。开放获取大网膜容易导致腹腔感染、腹壁疝、肠梗阻等并发症，这限制了其在临床中的广泛应用。Ciudad P 等人^[24]首次利用达芬奇 Si 系统辅助游离胃右侧大网膜治疗下肢淋巴水肿。随后，Felmerer G 等人^[25]选取 10 例乳腺癌术后上肢淋巴水肿的患者，并利用机器人进行大网膜血管淋巴移植，其中有 3 例在术后第 1d 出现腹部和胸部的牵涉痛，考虑为暂时形成的气腹所导致，其余患者无特殊不适。Özkan Ö 等人^[26]应用达芬奇 Xi 机器人辅助游离大网膜皮瓣治疗 1 例下肢骨髓炎患者，手术的总时间为 2.5h，其中机器人辅助获取皮瓣用时 1h，术后无并发症发生。2021 年，Teven C M 等人^[27]首次利用达芬奇 SP 机器人进行大网膜移植，既往 2、3、4 代机器人通常需要 4~6 个切口，而 SP 系统仅需 1 个切口，并且切口长度仅为 2.5cm，这是迄今为止报道的最小切口，此切口大小适用于血管化大网膜淋巴移植，而切除较大或柔韧性较差的皮瓣时可能需要延长。目前所报道的机器人辅助获取大网膜进行血管淋巴移植的病例中，皮瓣获取成功率高，对组织及周围脏器损伤小，且术后并发症发生率低。在乳腺外科中，大网膜也应用于乳房重建。张毅等人^[28]应用达芬奇机器人辅助获取带蒂大网膜行乳房重建术，术后无并发症发生，美容效果好、手感自然、患者满意度高。相信在不久的将来，达芬奇 SP 系统将以最小的创伤获取游离大网膜瓣，不仅可以用于淋巴水肿的治疗，还可以用于乳房重建和保乳手术。

2.3.2 超显微外科机器人辅助淋巴静脉吻合

超显微手术是指对直径 0.3~0.8mm 的血管和单个神经束施行的显微神经血管吻合术，目前已应用于神经重建、断肢再植和淋巴水肿的治疗^[29]。机器人在血管吻合方面有显著优势，可以减轻外科医生主观因素（人手的灵活性和精确性）对超显微外科手术的影响^[30]。MUSA 系统是一种可以安装在手术台上和显微镜上的小型机器人系统，其主要特点是应用运动缩放和震颤过滤来提高显微手术性能。它由主操作臂、悬挂环、从臂和脚踏板组成，操作者通过操作主臂来控制从臂进行手术，此系统可以使术者在传统的人手吻合和机械臂辅助吻合之间快速切换，甚至可以只在高精度吻合阶段使用机器人^[31]。常规和机器人辅助淋巴静脉吻合术的总手术时间保持在 115min 内。2020 年，van Mulken T J M 等人^[31]首次报道了关于 MUSA 系统的临床研究，该研究选取了 20 例女性随机接受机器人辅助和常规人手淋巴静脉吻合，证实使用 MUSA 系统辅助淋巴静脉吻合治疗乳腺癌相关淋巴水肿是可行的，但因病例数有限，MUSA 系统是否存在优势还需要进一步的临床研究和随访资料证明。

3 困境与展望

机器人系统自从应用到临床以来，一直存在着价格昂贵、缺乏力反馈、器械安装时间长、学习周期长等问题^[32]。另外，手术机器人的智能化还有很大的提升空间，尤其是在术中遇到重要血管和神经时无法提前预警，仍需主刀医生拥有丰富的手术经验和熟练的操作技能。RNSM 属于远程手术，对乳腺解剖层次感的把握更需要术者的经验，术中应精准保留皮肤的厚度，并避免皮瓣烫伤或乳头坏死等并发症发生。由于乳房是实质性器官，缺乏方向感，在术前对 Trocar 位置的规划也很重要，既要保证手术范围

全覆盖，又要避免机械臂在移动过程中相撞或对患者的其他身体部位造成损伤。

虽然有以上的缺点，但不可否认机器人手术系统在真正意义上实现了远程操控，让远程手术成为可能。在科技高速发展的这个时代，将会有更多的机器人手术系统应运而生，例如我国自主研发的“图迈”机器人系统、应用于骨科的“鸿鹄”机器人系统和低成本、紧凑型机器人手术系统——“妙手”S 系统^[33]。腔镜手术机器人国产化将会让一直困扰我们的机器人手术费用高昂问题迎刃而解。据报道，青岛大学附属医院牛海涛教授带领团队成功跨越 3000km 的障碍，利用“妙手”机器人给贵州安顺 1 例 71 岁男性膀胱癌患者成功实施了手术，并通过 5G 网络技术为远程手术提供信号传输保障，使术者、助手和患者在零延时的环境下进行实时互动。随着机器人系统的不断改良和创新，相信在不久的将来一定会出现与乳房及其周围组织解剖相匹配的专科机器人系统，从而减少因器械过大对乳腺周围组织的影响，并缩短器械安装时间。

参考文献

- [1] Yu H Y, Friedlander D F, Patel S, et al. The current status of robotic oncologic surgery[J]. CA Cancer J Clin, 2013, 63(1): 45-56.
- [2] 桂余, 陈莉. 达芬奇机器人在乳腺外科中的应用及进展[J]. 临床外科杂志, 2021, 29(3): 292-294.
- [3] Bishop S N, Selber J C. Minimally invasive robotic breast reconstruction surgery[J]. Gland Surg, 2021, 10(1): 469-478.
- [4] Toesca A, Peradze N, Galimberti V, et al. Robotic nipple-sparing mastectomy and immediate breast reconstruction with implant: first report of surgical technique[J]. Ann Surg, 2017, 266(2): e28-e30.
- [5] Sarfati B, Honart J F, Leymarie N, et al. Robotic da Vinci Xi-assisted nipple-sparing mastectomy: first clinical report[J]. Breast J, 2018, 24(3): 373-376.
- [6] Lee H, Lee J, Lee K, et al. Comparison between gasless and gas-inflated robot-assisted nipple-sparing mastectomy[J]. J Breast Cancer, 2021, 24(2): 183-195.

- [7] Orosco R K, Tam K, Nakayama M, et al. Transoral supraglottic laryngectomy using a next-generation single-port robotic surgical system[J]. *Head Neck*, 2019, 41(7): 2143–2147.
- [8] Sarfati B, Toesca A, Roulot A, et al. Transumbilical single-port robotically assisted nipple-sparing mastectomy: a cadaveric study[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2020, 8(5): e2778.
- [9] Park H S, Song S Y, Toesca A, et al. Development of robotic mastectomy using a single-port surgical robot system[J]. *J Breast Cancer*, 2019, 23(1): 107–112.
- [10] 李妍霜, 蒋宏传. 乳腺癌术后乳房重建的现状及技术选择[J]. *中国癌症防治杂志*, 2020, 12(5): 521–526.
- [11] Selber J C, Baumann D P, Holsinger F C. Robotic latissimus dorsi muscle harvest: a case series[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 129(6): 1305–1312.
- [12] XU S M, TANG P, CHEN X C, et al. Novel technique for laparoscopic harvesting of latissimus dorsi flap with prosthesis implantation for breast reconstruction: a preliminary study with 2 case reports[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(46): e5428.
- [13] 陈莉. 机器人和腔镜背阔肌乳房重建技术[J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40(10): 1149–1152.
- [14] 陈莉. 达芬奇机器人在乳房重建中的应用及未来发展新趋势[J]. *中华乳腺病杂志*, 2020, 14(3): 131–133.
- [15] Manrique O J, Bustos S S, Mohan A T, et al. Robotic-assisted DIEP flap harvest for autologous breast reconstruction: a comparative feasibility study on a cadaveric model[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2020, 36(5): 362–368.
- [16] Koshima I, Soeda S. Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle[J]. *Br J Plast Surg*, 1989, 42(6): 645–648.
- [17] Chang E I, Chang E I, Soto-Miranda M A, et al. Comprehensive analysis of donor-site morbidity in abdominally based free flap breast reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2013, 132(6): 1383–1391.
- [18] Grotting J C. 麦卡锡整形外科学: 乳房分卷(第三版)[M]. 范巨峰, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 381–384.
- [19] Selber J C. The robotic DIEP flap[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2020, 145(2): 340–343.
- [20] Gundlapalli V S, Ogunleye A A, Scott K, et al. Robotic-assisted deep inferior epigastric artery perforator flap abdominal harvest for breast reconstruction: a case report[J]. *Microsurgery*, 2018, 38(6): 702–705.
- [21] Choi J H, Song S Y, Park H S, et al. Robotic DIEP flap harvest through a totally extraperitoneal approach using a single-port surgical robotic system[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 148(2): 304–307.
- [22] Monleon S, Murta-Nascimento C, Bascuas I, et al. Lymphedema predictor factors after breast cancer surgery: a survival analysis[J]. *Lymphat Res Biol*, 2015, 13(4): 268–274.
- [23] Agko M, Ciudad P, Chen H C. Histo-anatomical basis of the gastroepiploic vascularized lymph node flap: the overlooked “micro” lymph nodes[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2018, 71(1): 118–120.
- [24] Ciudad P, Date S, Lee M H, et al. Robotic Harvest of a Right Gastroepiploic Lymph Node Flap[J]. *Arch Plast Surg*, 2016, 43(2): 210–212.
- [25] Felmerer G, Behringer D, Emmerich N, et al. Donor defects after lymph vessel transplantation and free vascularized lymph node transfer: a comparison and evaluation of complications[J]. *World J Transplant*, 2021, 11(4): 129–137.
- [26] Özkan Ö, Özkan Ö, Çinpolat A, et al. Robotic harvesting of the omental flap: a case report and mini-review of the use of robots in reconstructive surgery[J]. *J Robot Surg*, 2019, 13(4): 539–543.
- [27] Teven C M, Yi J, Hammond J B, et al. Expanding the horizon: single-port robotic vascularized omentum lymphatic transplant[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2021, 9(2): e3414.
- [28] 张毅, 陈显春, 阎文婷, 等. 达芬奇机器人辅助下乳腺癌蒂带蒂大网膜乳房填充重建术[J]. *局解手术学杂志*, 2017, 26(11): 823–826.
- [29] Masia J, Olivares L, Koshima I, et al. Barcelona consensus on supermicrosurgery[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2014, 30(1): 53–58.
- [30] WANG P, SU Y J, JIA C Y. Current surgical practices of robotic-assisted tissue repair and reconstruction[J]. *Chin J Traumatol*, 2019, 22(2): 88–92.
- [31] van Mulken T J M, Schols R M, Scharnga A M J, et al. First-in-human robotic supermicrosurgery using a dedicated microsurgical robot for treating breast cancer-related lymphedema: a randomized pilot trial[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 757.
- [32] Tan Y P A, Liverneaux P, Wong J K F. Current limitations of surgical robotics in reconstructive plastic microsurgery[J]. *Front Surg*, 2018. DOI: 10.3389/fsurg.2018.00022.
- [33] 李爱民, 李进华, 李建民, 等. 国产手术机器人妙手S系统手术实验研究[J]. *腹部外科*, 2016, 29(6): 473–477.