

编者按 21世纪是微创外科的时代，微创心脏外科作为心脏大血管外科学的重要分支，同样面临微创时代的发展机遇和技术推广过程出现的各种挑战。

解放军总医院心血管外科于2007年初引进了世界上最先进的微创心脏外科手术系统“达芬奇S”全机器人手术系统，并建立了中国第一个全机器人心脏外科的技术团队，完成了首例不开胸心脏手术。采用全机器人系统，实现了在患者胸壁开几个小孔即可开展先天性心脏病、瓣膜病、房颤、冠心病、心包疾病、纵隔肿瘤等疾病的外科治疗。

经过十余年的发展，机器人手术系统已被成功地应用于冠心病、瓣膜病、心脏肿瘤及先天性心脏病等多个病种的微创治疗，但临床应用落后于其他外科机器人手术。鉴于此，中国人民解放军总医院王嵘主任牵头组织了本期专栏，从心脏外科手术机器人系统的国产化研发，机器人心脏手术的发展历史和现状，机器人心脏外科手术早期随访的安全性和有效性研究，机器人手术系统在心脏外科手术中的应用，机器人辅助与传统心脏搭桥手术的Meta分析等几个方面，将机器人心脏外科手术的现状和发展为学界同仁做一个展示。

由于时间紧，本期专栏在研究角度选取、数据量等方面有一定的局限性，希望能够抛砖引玉，以此推动该领域更加深入地研究，同时也希望广大学界同道通过本刊交流讨论，积极响应习近平总书记“广大科技工作者要把论文写在祖国的大地上，把科技成果应用在实现现代化的伟大事业中”的重要讲话，共同推动心脏外科机器人手术在中国的发展。

心脏外科手术机器人系统的国产化研发

王 嵘

(中国人民解放军总医院第六医学中心心血管病医学部成人心脏外科 北京 100853)

摘 要 微创是21世纪心脏外科发展的方向。达芬奇机器人手术系统实现了最新科技发展成果和心脏外科技术进步的有机结合，代表了微创心脏外科的最前沿水平。但是该系统在心脏外科的普及和应用并不理想，主要是由于其系统复杂、设备庞大笨重、机械臂缺乏力学反馈、费用昂贵、缺乏竞争力等导致技术迭代缓慢。基于此，在充分借鉴达芬奇机器人手术系统技术优势的基础上，开发系统优化、结构简洁、方便实用、成本低廉的国产化心脏外科手术机器人系统，有助于促进该技术在我国的普及和应用，从而使更多患者获益。

关键词 心脏外科；机器人手术系统；研发；国产化

中图分类号 R654 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2021)06-0411-04

收稿日期：2021-04-05 录用日期：2021-06-23

Received Date: 2021-04-05 Accepted Date: 2021-06-23

基金项目：北京市科技委“首都临床诊疗技术研究及示范应用项目”(Z191100006619013)

Foundation Item: Sepcial project for Research and Demonstration of Clinical Diagnosis and Treatment Technodgy in Beijing (Z191100006619013)

通讯作者：王嵘，Email: wangrongd@126.com

Corresponding Author: WANG Rong, wangrongd@126.com

引用格式：王嵘. 心脏外科手术机器人系统的国产化研发[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2021, 2(6): 411-414.

Citation: WANG R. Research and development of robot-assisted cardiac surgery system in China[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(6): 411-414.

Research and development of robot-assisted cardiac surgery system in China

WANG Rong

(Department of Adult Cardiac Surgery, the Sixth Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China)

Abstract Minimally invasive cardiac surgery is the development direction of cardiac surgery in the 21st century. By integrating latest achievements of science and technology and developments of cardiac surgical techniques, the Da Vinci surgical system represents the most cutting-edge level of minimally invasive cardiac surgery. However, the popularity and application of Da Vinci surgical system is limited by its complex operation system, cumbersome equipment, lacking of tactile feedback, high cost and slow technology iteration due to the monopoly position of the Intuitive company. Therefore, with learning from Da Vinci robotic surgery system, it is necessary to start the research and development robotic cardiac surgical system with optimized operation system, simplified equipment, easy operation and low cost. We believe that the new robotic system will be more efficient to accelerate the popularity and application of robotic cardiac surgery in the whole country in the future.

Key words Cardiac surgery; Robot-assisted surgical system; Research and development; Localization

21 世纪是微创外科的时代，微创心脏外科作为心脏大血管外科学的重要分支，同样面临微创时代的发展机遇和技术推广过程中出现的各种挑战。与各类小切口手术和胸腔镜手术相比，机器人手术系统实现了科技发展最新成果和心脏外科技术进步的有机结合，已被成功应用于冠心病、瓣膜病、心脏肿瘤及先天性心脏病等多个病种的微创治疗^[1-4]。已有研究表明，针对符合适应证的患者，机器人手术系统辅助下的微创心脏手术在安全性及有效性方面均已达到常规正中开胸手术的水平^[5-6]，代表了微创心脏外科重要的发展方向。

1 达芬奇机器人手术系统的技术优势及应用现状

与传统的腔镜手术系统相比，以达芬奇机器人手术系统为代表的通用型主从复合式手术机器人主要在以下几个方面取得了突破性的技术创新，并促进了该技术在全球范围内多个外

科领域的快速普及应用：①成像系统实现了革命性的飞跃。其镜头不仅能够实现 10 倍放大和三维立体成像，呈现“所见即所得”的手术环境，而且术者可完全操控镜头的移动，使手术操作更加紧凑连贯。因此，无论是在成像效果还是使用效率方面均具备显著的优势；②更加灵活的操作手臂。7 个自由度的 Endowrist 操作手臂可以实现人手都无法完成的技术动作，在深部狭窄空间的精准操作方面为外科医生提供了极大的助力；③坐姿操作。外科医生可以远离手术台坐在控制台旁进行手术，无论是面对耗时较长的大手术还是连续多台的中等手术，均可显著缓解外科医生的疲劳。

自 1999 年进入市场以来，达芬奇机器人手术系统的应用范围已涵盖泌尿外科、妇产科、普外科、心外科、胸外科等 7 个学科，有操作资质的外科医生实现了井喷式增长，医院、医生和患者层面均对其广泛认可，成功实现了对腔镜技术的迭代和全面超越。

2 达芬奇手术机器人系统在心脏外科应用中存在的问题

然而，机器人手术系统研发的初衷是为了应对心脏外科等高难度外科手术，一个相对尴尬的现实是，心脏外科反而成为机器人手术系统推广应用过程中普及度最低、受欢迎程度最具争议的外科领域。截至目前，手术机器人在与胸腔镜和小切口微创心脏手术的竞争中并未表现出显著的优势。全球心脏外科年手术量长期保持在4 000~5 000例，直至近三年才出现了逐步增长，达到6 000例，与心脏移植的手术量基本持平^[1-7]。这一现状与心血管疾病在全球的发病率以及心脏外科手术的总体数量无法匹配，提示我们必须深入剖析达芬奇通用型主从复合式手术机器人系统在心脏外科应用受阻所存在的深层次问题。

本院从2007年1月在国内率先使用达芬奇机器人手术系统开展机器人心脏手术，历经14年发展和1 100例各类心脏手术的积累，让我们对通用型主从复合式手术机器人在心脏外科应用的局限性有了深刻的认识，概括来说，主要包括以下五个方面：①在技术操作层面，尽管深部狭窄区域操作是机器人手术系统的优势，但与腹部和胸部手术相比，心脏手术的操作空间更小，视野和操作受影响程度显著增高。非体外循环冠脉搭桥手术不仅受到胸腔空间小和心脏跳动的影响，而且血管吻合精细程度高，技术难度大。二尖瓣成形等体外循环心内直视手术涉及缝合打结操作多，而自动打结以及切口闭合等辅助器材少。此外，心内直视手术对时间要求高，心脏不能耐受长时间停跳缺血；②在工程层面，现有的手术系统较为笨重，占用空间大，准备及移动过程耗时费力；机械手臂缺乏负反馈，影响心脏大血管操作的安全性；

人机互动及远程操控仍不够完善，操作手臂的功能整合不足，手术中需频繁更换器械，严重影响手术的连贯性和时效性。以上因素使得本就复杂的的心脏手术变得更为复杂；③在费用层面，设备及相关耗材价格昂贵，设备损耗维护及人员培训等持续投入的成本较高。手术时间长使得整体费用增加，而全球多数国家未将其纳入医疗报销体系，使得患者的医疗负担明显加重；④在研究层面，受限于技术普及程度及手术数量，目前的研究仅停留在单中心观察性研究层面，缺乏高质量的多中心大样本研究，因此对手术结果尚缺乏科学严谨的研究证据；⑤在技术更新迭代方面，由于在相当长的时间内通用型主从复合式手术机器人均被Intuitive Surgical公司独家垄断，技术壁垒和投资效益导致其在心脏外科领域的技术革新和进步极为缓慢，进一步阻碍了该技术在心脏外科的应用和发展。鉴于此，坚持微创技术的发展必须与科技进步保持一致这一根本方向，充分吸收达芬奇机器人手术系统在关键技术方面的优势，同时针对其在心脏外科领域应用中表现出的主要问题进行技术革新，从中国国情出发，实现心脏外科手术机器人系统的国产化研发，成为当前迫在眉睫、需要集中力量进行技术攻关的重要课题。

3 国产化心脏外科手术机器人系统研发的方向

冠心病和二尖瓣疾病是国人罹患的主要心血管疾病，机器人辅助下乳内动脉获取以及全机器人二尖瓣成形术或置换术是当前以及未来相当长一段时间内主要的机器人微创手术方式。因此，国产化心脏外科手术机器人系统的研发应该紧密围绕以上两种术式，在机器人手术系统的总体设计、机械臂研制、新型能量器械的

开发以及国人胸部解剖特点的分析等方面开展充分的研究,形成适合国人心脏手术使用的专科化手术机器人系统。

国产化心脏外科手术机器人系统研发的方向主要包括以下几个方面:①在系统设计方面,可充分利用手术台上方空间进行操作系统及机械臂的设计整合,实现悬挂式系统设计,使得手术台周边环境更为简洁、人员站位更为方便、机械臂的插入及撤出更为便捷,有利于突发情况出现时能够迅速中转为常规开胸手术;②在机械臂的研制方面,根据国人胸部解剖特点和达芬奇机器人心脏手术操作方式,分析并模拟机械臂的入路以及运动轨迹,设计研制符合心脏外科手术条件下的机械臂,研究其自由度布局、外观结构特征分布以及本体操作时的稳定性要求,在保留其多自由度操作功能的前提下,降低术中碰撞概率,提高手术操作的安全性和效率;③在心脏外科专用手术器械开发方面,以临床最为常用的机器人乳内动脉获取以及二尖瓣成形手术为主要应用场景,研发适合以上术式的心脏外科专用能量器械以及多功能手术器械,提高手术效率和流畅性。

4 结语

尽管以达芬奇机器人手术系统为代表的通用型手术机器人在心脏外科的推广应用还存在各种问题,但并不能因此否定以人工智能为核心的机器人技术引领微创心脏外科发展的方向。

从心脏外科流行病学角度出发,充分借鉴达芬奇机器人手术系统的技术优势,围绕主要的机器人微创心脏术式开发出系统优化、结构简洁、方便实用、成本低廉的国产化心脏外科手术机器人系统,对于推动高端医疗装备制造的国产化和造福广大心血管疾病患者,具有极为重要的科技价值和现实意义。

参考文献

- [1] Hemli J M, Patel N C. Robotic Cardiac Surgery[J]. Surg Clin North Am, 2020, 100(2): 219-236.
- [2] Doulamis I P, Spartalis E, Machairas N, et al. The role of robotics in cardiac surgery: a systematic review[J]. J Robot Surg, 2019, 13(1): 41-52.
- [3] Hawkins R B, Mehaffey J H, Mullen M G, et al. Initiative investigators for the Virginia cardiac services quality. A propensity matched analysis of robotic, minimally invasive, and conventional mitral valve surgery[J]. Heart, 2018, 104(23): 1970-1975.
- [4] Gaudino M, Bakaeen F, Davierwala P, et al. New strategies for surgical myocardial revascularization[J]. Circulation, 2018, 138(19): 2160-2168.
- [5] 杨昌, 穆祉锷, 胡义杰. 机器人心脏手术进展和未来趋势 [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2019, 26(10): 1014-1020.
- [6] Giambruno V, Chu M W, Fox S, et al. Robotic-assisted coronary artery bypass surgery: an 18-year single-centre experience[J]. Int J Med Robot, 2018, 14(3): e1891.
- [7] Jacobs J P, Pruitt E Y, Badhwar V. Robotic Surgery for pediatric and congenital cardiac disease[J]. Ann Thorac Surg, 2021. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2020.11.062.

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎指导