专家论坛

手术机器人在介入治疗中的应用

游　箭[1]，周　欢[1]，魏　欣[2,3]
1.贵黔国际医院 介入科（贵阳 550018）；2.川北医学院第二临床学院（南充 637000）；3.南充市中心医院 介入科（南充 637000）

【摘　要】介入手术已经成为治疗心血管、神经、消化等多种疾病的重要方法之一，具有微创、疗效确切的特征，但有较高的技术难度和风险，需要具有相当的手术技术和经验才能胜任。而介入手术机器人发展及引申而来的介入手术机器人系统，不仅可以提高手术的安全性和成功率，减少手术风险，同时也可以提高手术医生的技能水平，缩短手术学习时间，减少放射线伤害，为患者创造更好的治疗效果。本文就介入手术机器人系统的开发过程、临床治疗中的应用和未来发展趋势做一评述，以供临床参考与借鉴。

【关键词】介入手术机器人；模拟系统；人工智能
【中图分类号】R608　　文献标志码 A　　DOI：10.3969/j.issn.2096-3351.2023.04.005

Application of Surgical Robots in Interventional Treatment

YOU Jian[1]，*ZHOU Huan*[1]，*WEI Xing*[2,3]
1.*Department of Intervention，Guiqian International Hospital, guiyang 550018, China*；2.*second Clinical College of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000，China*；3.*Department of Intervention，Nanchong Central Hospital, Nanchong 637000，China*

【**Abstract**】Interventional surgery has become one of the important methods for treating various diseases, such as cardiovascular, neurological, and digestive system, with its characteristics of minimally invasive and precise healing. However, it also involves high technical difficulty and risk, requiring considerable surgical skills and experience to be competent. The development of interventional surgery robots and interventional surgery robot systems derived from it can not only improve the safety and success rate of surgery, reduce surgical risks, but also enhance the skills of surgeons, shorten surgical learning time, and minimize radiation injury, creating better treatment results for patients. This paper will introduce the development process, clinical application, and future trends of interventional surgery systems for clinical reference.

【**Key words**】Interventional surgical robot；Simulation systems；Artificial intelligence



专家简介：游箭，贵黔国际医院介入科主任，主任医师、教授、硕士研究生导师。国务院政府特殊津贴专家、四川省卫生厅学术技术带头人、川北医学院学术技术带头人。中华医学会数字医学分会、中华医学会放射学分会骨关节介入专委会、中国医师协会介入医师分会、中国抗癌协会肿瘤介入诊疗专委会、中国非公医疗机构协会介入医师分会、中国研究型医院协会肿瘤介入专委会、CSCO肿瘤消融专家委员会委员。贵州省社会办医疗机构协会介入诊疗专委会主任委员。《中国医学影像技术》《介入放射学杂志》《中国介入影像和治疗学》《中华消化病与影像杂志》等10余本期刊编委、常务编委。获得国家自然科学基金项目、省、市课题10项，获得军队医疗成果二等奖1项，南充市科学技术进步一、三等奖2项，四川省医学科学技术进步二等奖1项。副主编专著1部、参编专著4部、发表论文80余篇。E-mail:cqjr1997@163.com

近年来，介入手术已成为传统手术程序的最有效的替代方法之一。它涉及使用微创技术治疗各种疾病，包括心血管、神经和骨骼肌肉系统疾病。介入手术要求具有高度专业化的技能和知识，手术过程的复杂性和安全性也受到广泛关注[1]。因此，开发介入手术机器人系统来为医生提供安全和真实的实践手术技能环境就变得尤为重要。那么为什么需要机器人呢?首先，意味着医务人员可以远程操作，不会受到辐射照射；其次，机器人在解剖结构复杂的操作中能提供更稳定及特殊的操作角度，其灵活性优于一般人为操作，还没有疲劳感，因此更安全[2]。

介入模拟训练机器人系统的发展是医学教育中重要的进步之一。该系统能模拟介入手术的基本特征，使受训者能够在现实和安全的环境中发展技能。与传统的训练方法相比，介入手术机器人训练系统有几个优点：①一个准确而真实的手术环境，对患者无风险的重复练习，从而减少介入手术风险[3]；②介入手术机器人训练系统可提供远程培训机会，允许来自不同部门和地点的学员参与；③为有经验和新手外科医生的同行评审和咨询提供了机会[4]。

基金项目：四川省卫生计生委科技课题（18PJ393）
并列第一作者：周　欢，E-mail：zhouhuan1988@163.com
引用本文：游箭，周欢，魏欣. 手术机器人在介入治疗中的应用[J]. 西南医科大学学报，2023，47（4）：298-302. DOI：10.3969/j.issn.2096-3351.2023.04.005

介入手术机器人市场前景非常广阔。随着人口老龄化和慢性疾病的增加，介入手术成为医疗行业越来越重要的领域。同时，机器人技术的不断发展和创新，也为介入手术机器人市场带来了新的机遇和挑战。当然，随着市场的不断扩大，竞争也越来越激烈，市场上出现了许多不同的品牌和产品，这也加剧了市场的竞争[5]。同时，市场上还存在一些技术和成本的问题，使得采用介入手术机器人的医院和设备还不是很普遍。因此，介入手术机器人市场仍面临着一些挑战和机遇。本文就手术机器人在介入治疗中的应用及中国的介入手术机器人发展做一评述，以供临床参考与借鉴。

1 血管介入手术机器人

血管介入手术机器人（Vascular Interventional Robotic Systems, VIRS）是介入手术机器人的一个分支，专注于血管内手术领域。随着计算机技术、机械工程、控制系统技术以及材料工程技术的不断发展，血管介入手术机器人也得到了迅速的发展。其具有以下优势：

第一，具有更高精度和准确性，手术机器人具有人类手术医生难以比拟的高精度、多角度和高稳定性特点，可以帮助医生更准确地定位和操纵微小的器具和器械，减小手术难度和风险。第二，安全性更高，血管介入手术机器人有更高的控制能力和规范性，可以减小手术中的波动和不稳定性，降低手术时人为因素导致的风险，从而提高手术安全性。第三，更少的损伤和出血，手术机器人的微小器具设计和控制技术可以帮助医生精确、轻柔地操纵器具，减少创伤和出血，从而更快地康复和缩短住院时间。第四，实时影像和数据反馈，手术机器人采用先进的成像和数据分析技术，能实时提供高分辨率的3D影像和手术进展的数据反馈，帮助医生更好地了解手术进展和患者病情，更高效地做出诊断和治疗计划[6]。

早期的血管介入手术机器人大多是针对特定手术场景研发的专用机器人系统，如1995年 Institute for Robotics and Intelligent Systems（IRIS）开发的自适应机器人，主要用于大血管支架植入术的应用[7]。随着技术的不断成熟，血管介入手术机器人变得更加智能化、精准化。2003年，美国Radiation Monitoring Devices, Inc.（RMD）的LEDAS系统首次应用于医学领域，标志着血管介入手术机器人进入了商业化应用的阶段。2004年，美国领先的手术机器人研发公司Hansen Medical推出了第一款专用于心脏手术的机器人Magellan，该系统可具有3D立体视觉、灵活掌控等特点，为心脏介入手术提供了更好的解决方案。随后，Hansen Medical又先后推出了Sensei X和Sensei Robotic Catheter Systems两款手术机器人系统[8]。2009年，第三代机器人系统—Corindus Vascular Robotics的机器人系统CorPath 200 Peripheral Vascular Robot系统上市，标志着血管介入手术机器人进入了新的发展阶段。CorPath机器人可以实现远程操作和高精度控制，大大提高了手术的安全性和准确性。到现在，Corindus推出了CorPath GRX机器人和Neurovascular Robotic System等多款手术机器人系统[9]。2014年Hansen Medical Robotic System被FDA批准用于肺动脉介入治疗中，可以实现无创手术[10]。2016年CorPath GRX System被FDA批准用于冠脉介入手术中，可通过远程操纵实现手术[11]。2017年Magellan Robotic System被FDA批准用于下肢血管重建手术中，具有高精度和远程操作的优点[12]。2018年Artis pheno Robotic System被FDA批准用于颅内血管介入手术中，具有高精度和智能化的特点[13]。2018年Amadeus Robot System被FDA批准用于心脏介入手术和冠脉介入手术中[14]。2022年微软亚洲研究院的研究人员提出了一种新型的基于深度学习和计算机视觉技术的血管介入机器人控制算法。该算法可以自动地将血管影像3D化，转换为机器人操作路径，有效提高了操作效率和成功率[15]。

2 非血管介入手术机器人

非血管介入手术机器人是一种广泛应用于体内病灶活检切除、消化道检查和手术复杂度较高的骨科和神经外科手术等各种手术中的机器人。它可以帮助医生在操作手术器具和器械时，实现高精度、高准确性和高稳定性的控制，从而大大提高了手术效果和安全性。多由各种高精度机械臂、超清摄像头、影像后处理系统和手术器械等部分组成。医生可以通过控制台上的按钮、操纵杆、脚踏板等控制机器人的手臂和器具进行操作。机器人器械可以利用先进的传感技术和编程技术，对手术器械进行高精度和高稳定度的控制和操纵[16]。与传统的手术方式相比，非血管介入手术机器人的优点特别突出。它不仅能提高医生的手术效率和准确性，减小风险和损伤，还可以降低医生在手术时的精神和生理负荷。非血管介入手术机器人正逐渐成为医院手术中必不可少的辅助工具，逐渐扩展到更多的外科手术领域。

非血管介入手术机器人的技术不断进步，不断取得新的进展。已成功应用于更多类型的手术：包括腹腔镜手术、经皮穿刺深部组织活检和脊柱手术等。通过机器人技术，医生可以进行更准确、更精细的手术操作，大大减少手术风险，同时也可以达到更好的治疗效果。同时在机器人辅助下可以大幅缩短手术时间，提高手术效率，更快地为病人提供有效治疗。

久负盛名的Da Vinci Surgical System（Intuitive Sur-

gical）机器人被FDA批准用于多种手术，例如前列腺切除术、子宫切除术等，具有高精度、无血、微创等优点，应用已超过20年[17]。2007年Sterotaxis Epoch System（Sterotaxis Inc.）机器人被FDA批准用于心脏介入手术中，包括心房肌切除术等，具有高精度、无创、低辐射等特点[18]。2012年Amadeus Robot（Galen Surgical）被用于腹腔镜手术中，具有更灵活、更准确的特点，可以帮助医生实现高精度手术[19]。2013年iARM Robotic System（Medical High Technologies）机器人被FDA批准用于经皮肝穿刺介入手术中，可以进行高精度、无创、复杂的手术操作[20]。2016年ROSA Spine Robot（Zimmer Biomet）机器人被FDA批准用于脊柱手术中，可以帮助医生实现高精度的手术操作[21]。2018年ROBOTICARM（Auris Health）机器人被FDA批准用于呼吸道介入手术中，可以实现高精度、无创操作[22]。

3 介入手术模拟训练系统

通过机器人仿真模拟手术过程，在介入手术教学及培训上能极大的提高临床医师对疾病认识、处理及手术应用的能力。随着计算机和视觉技术的发展，介入手术机器人系统受到了越来越多的关注。虚拟现实、增强现实、人工智能等技术得到了广泛应用，在医疗细分领域也不例外[23]。

常见的介入手术模拟培训包括3D成像引导下微创手术模拟、动态血管造影导引下血管内手术模拟、血浆静脉引导下插管模拟等[24]。

基于计算机图象处理和视觉技术的深度学习算法，运用AI技术，实现了介入操作医师对三维医疗图像的动态显示和处理[25]，由于物理学数学模型能够呈现更加真实的医疗场景[26]，介入手术机器人系统的表现得到了大幅度的改善。

介入手术模拟培训的优点主要体现在以下几个方面：一是可以减少患者的风险和医疗事故的发生率。由于模拟教育的实验室研究环境和生物试验环境不同，不存在实际患者的保密信息和隐私泄漏问题，医生可以安全地学习和操作；二是可以提高医生的操作技能和学习效率。通过虚拟现实和互动操作，医生将不断体验、反思、实践，从而减少错误操作，提高精细化的外科操作技能；三是可以节省医疗资源。由于模拟教育不需要动用实物器械等设备，既省时又省力，又有效避免了一些不必要的操作和费用[27]。

2002年MIST-VR（Medical Education Technologies）系统被用于内窥镜手术的模拟训练[28]。2004年LapSim（Surgical Science Sweden AB）系统被用于腹腔镜手术的模拟训练[29]。2006年Simulab AirwayMan（Simulab Corporation）系统被用于气道管理的模拟训练[30]。2011年Vimedix（CAE Healthcare）系统被用于超声诊断和操作的模拟训练[31]。2012年Simbionix ANGIO Mentor（3D Systems）系统被用于血管介入手术的模拟训练[32]。2015年SurgTrac（Mentice AB）系统使用仿真技术，帮助医生进行心脏介入手术模拟训练[33]。2016年EndoSim（VirtaMed AG）系统被用于腹腔镜手术的模拟训练[34]。2019年MIT-Skywalker（MIT）系统使用机器学习和运动捕捉技术，帮助医生进行步态分析和训练[35]。2020年Rapid Intervention Crew（RIC）Simulator System by IngMar Medical系统使用仿真技术，提供紧急情况下的呼吸道管理培训[36]。以上手术模拟训练系统可以模拟真实的手术环境和相关手术器械使用，帮助医生形成手术中的空间感和时间感同时提高手术技能和精准度。

4 中国的介入手术机器人发展

中国作为世界上最大的制造业国家之一，自然也积极推进介入手术机器人的研究和应用。据2019年中国医师协会介入医学分会介绍，中国已经拥有30余家介入手术机器人中心，累计完成手术量超过5万台[37]。

目前，国内的介入手术机器人已经可以实现较为精准的手术操作，并且有了一定的智能化水平。国内的介入手术机器人厂商在不断研发新的产品，不断提高产品的性能和可靠性。例如，北京安图医疗科技有限公司研发的“安图1号”介入手术机器人具有独立自主的操作能力，能够进行多种手术，操作精度高、准确性好。另外，紫光国微医疗也研发了一款名为“紫光i科”的介入手术机器人，其拥有可拆卸的机械臂、智能化系统等先进技术，具备多项国际领先技术的特点。清华大学智能机器人实验室的研究人员利用机器学习技术，提出了一种基于深度强化学习的介入手术机器人自主控制方法，实现了对血管模型的精细切割和血管内部直径的精准测量[38]。魏欣等[39]学者还通过VR模拟体内血管分布及介入手术路径，可更好地在术前熟悉操作，极大减少了手术风险及时间。

随着中国的医疗水平不断提高，介入手术机器人市场也将迎来更广阔的发展前景。据统计，中国介入手术机器人市场规模在2019年已经达到了32.9亿元，预计2024年将达到112亿元。其中，泌尿外科、心血管外科、胸外科等领域的介入手术机器人市场份额较大[40]。

除了国内市场，中国的介入手术机器人厂商也在不断拓展海外市场。比如，北京安图医疗科技有限公司已经在美国获得了FDA的认证，并且在美国市场上已经开始销售其产品。此外，紫光国微医疗也在日本、

欧洲等地进行了销售和推广。

总的来说，中国介入手术机器人市场的前景是非常广阔的。随着国内厂商技术不断创新和成熟，介入手术机器人将会在更多的医学领域中得到应用，为患者提供更加精准、安全、有效的手术服务。

5 小结与展望

介入手术机器人系统的发展预计在未来几年研发中会侧重于人工智能、虚拟现实和高精度机器人技术。介入手术机器人系统的发展经历了多个版本。当前系统基于先进的计算机模拟技术，能够让医生在高度逼真的虚拟环境中模拟手术过程。这些系统使用先进的图形处理、增强现实技术、触觉反馈和其他功能，以创建高度逼真的手术场景，使医生可以执行模拟的手术程序，并增强他们的手术技能。但同时也存在一些挑战：一是模拟平台和设备本身的质量和性能不够成熟，尽管虚拟现实技术已经非常成熟，但与影像设备相互配合仍欠缺进展；二是难以适应不同患者个体的特殊情况和病理变化，尤其是在疑难病和罕见病的诊断和治疗方面，模拟教育难以真实还原疾病情况；三是人工智能算法在精度和逼真度上仍有提升空间，在目前的技术支撑下，模拟教育往往难以达到真实的操作效果。四是介入手术机器人的高昂价格也限制了其在一些地区的普及。此外，介入手术机器人的运营和维护成本也比较高，需要专业的技术人员进行维修和保养。这些因素都制约了介入手术机器人的普及和应用。

未来，介入手术机器人系统的发展方向主要包括以下几个方面：一是更加注重实践与实际。虚拟教育和真实培训相结合，这将是未来介入手术模拟训练的重要发展方向。模拟教育要更贴近真实临床情况，更好地进行顺畅的转化。二是加强人工智能技术的应用。目前绝大多数的虚拟教育均采用预设程序，未来人工智能将进一步提高学习者个体化需求，提高反馈的准确性和及时性。三是不断优化技术平台。技术的不断优化和升级，对于提高介入手术模拟培训的质量和效益将产生突出的影响。

6 参考文献

[1] 郝迎学,张荣杰.机器人手术系统在血管外科中的应用与展望[J]. 第三军医大学学报2019, 41(24):2366-2369.

[2] PIETRABISSA A, VINCI A, PUGLIESE L, *et al*. Robotic Surgery: current controversies and future expectations[J]. Cir Esp, 2013,91(2):67-71.

[3] ABAZA R. The robotic surgery era and the role of laparoscopy training[J]. Ther Adv Urol,2009,1(3): 161-165.

[4] WILLIAMSON T, SONG S-E. Robotic Surgery Techniques to Improve Traditional Laparoscopy[J].JSLS,2022,26(2): e2022.00002.

[5] Medical Robots Market by Product & Service [EB/ OL]. [2021-11-10]. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/medicalrobotic-systems-market-2916860.

[6] AMABILE A, RAGNARSSON S, KRANE M, *et al*. State of the art and new frontiers in robotic mitral valve surgery[J]. Artificial Intelligence Surgery,2023,3(1):64-68.

[7] Corindus Vascular Robotics. CorPath GRX [EB/ OL]. [2022-07-09]. https://www. siemens-healthineers. com/endovascular-robotics.

[8] MENAKER S A, SHAH S S, SNELLING B M, *et al*. Current applications and future perspectives of robotics in cerebrovascular and endovascular neurosurgery[J]. J Neurointerv Surg,2018,10(1): 78-82.

[9] QAISER K N, TONELLI A R. Novel Treatment Pathways in Pulmonary Arterial Hypertension[J]. Methodist Debakey Cardiovasc J,2021,17(2): 106-114.

[10] CHAKRAVARTTI J, RAO S V. Robotic Assisted Percutaneous Coronary Intervention: Hype or Hope?[J].Journal of the American Heart Association,2019,8(13):e012743.

[11] MAHMUD E, NAGHI J, ANG L, *et al*. Demonstration of the Safety and Feasibility of Robotically Assisted Percutaneous Coronary Intervention in Complex Coronary Lesions: Results of the CORA-PCI Study (Complex Robotically Assisted Percutaneous Coronary Intervention)[J]. JACC Cardiovasc Interv,2017,10(13): 1320-1327.

[12] PÜSCHEL A, SCHAFMAYER C, GROß J. Robot-assisted techniques in vascular and endovascular surgery[J]. Langenbecks Arch Surg,2022,407(5): 1789-1795.

[13] TRIPATHI B, SHARMA P, ARORA S, *et al*. Safety and feasibility of robotic assisted percutaneous coronary intervention compared to standard percutaneous coronary intervention- a systematic review and meta-analysis[J]. Indian Heart J,2021,73(5):549-554.

[14] HALT L, MESSMER F, HERMANN M, *et al*. AMADEUS - A robotic multipurpose solution for intralogistics[C]//Robotics Robotik, German Conference on.VDE,2012.

[15] LOUW D F, FIELDING T, MCBETH P B, *et al*. Surgical robotics: a review and neurosurgical prototype development[J]. Neurosurgery,2004,54(3):525-536.

[16] SINHA A, WEST A, VASDEV N, *et al*. Current practises and the future of robotic surgical training[J]. Surgeon, 2023: S1479-666X(23)00034-3.

[17] ZHENG J, WANG M, TANG Q F, *et al*. Atrial Fibrillation Ablation Using Robotic Magnetic Navigation Reduces the Incidence of Silent Cerebral Embolism[J]. Front Cardiovasc Med, 2021,8: 777355.

[18] GÓMEZ-DE-GABRIEL J M, HARWIN W. Evaluation of Sensor Configurations for Robotic Surgical Instruments[J]. Sensors (Basel),2015,15(10): 27341-27358.

[19] GUADAGNI S, FURBETTA N, FRANCO G D, *et al*. Robotic-assisted surgery for colorectal liver metastasis: A single-centre experience[J]. J Minim Access Surg,2020,16(2): 160-165.

[20] ONG V, SWAN A R, SHEPPARD J P, *et al*. A Comparison of Spinal Robotic Systems and Pedicle Screw Accuracy Rates: Review of Literature and Meta-Analysis[J].Asian Journal of Neurosurgery,2022,17(4):547-556.

[21] LU M, NATH S, SEMAAN R W. A Review of Robotic-Assisted Bronchoscopy Platforms in the Sampling of Peripheral Pulmonary Lesions[J]. J Clin Med,2021,10(23): 5678.

[22] SUN Z H. Clinical Applications of Patient-Specific 3D Printed Models in Cardiovascular Disease: Current Status and Future Directions[J]. Biomolecules,2020, 10(11):1577.

[23] MAY-NEWMAN K. A Mathematical Model of Artificial Pulse Synchronization for the HeartMate3 Left Ventricular Assist Device [J].ASAIO J,2023,69(3):284-289.

[24] PEZEL T, COISNE A, BONNET G, *et al*. Simulation-based

training in cardiology: State-of-the-art review from the French Commission of Simulation Teaching (Commission d'enseignement par simulation-COMSI) of the French Society of Cardiology[J].Archives of cardiovascular diseases, 2021, 114 (1):73-84.
[25] NARDO M D, DAVID P, STOPPA F, *et al*. The introduction of a high-fidelity simulation program for training pediatric critical care personnel reduces the times to manage extracorporeal membrane oxygenation emergencies and improves teamwork[J]. J Thorac Dis,2018,10(6): 3409-3417.
[26] NATALIZI F, PIRAS F, VECCHIO D, *et al*. Preoperative Navigated Transcranial Magnetic Stimulation: New Insight for Brain Tumor-Related Language Mapping[J]. J Pers Med,2022, 12 (10):1589.
[27] OHTAKE S, MAKIYAMA K, YAMASHITA D, *et al*. Training on a virtual reality laparoscopic simulator improves performance of live laparoscopic surgery[J]. Asian J Endosc Surg, 2022, 15(2): 313-319.
[28] SCOTT D, BERGEN P, REGE R, *et al*. Laparoscopic training on bench models: better and more cost effective than operating room experience? [J]. Journal of the American College of Surgeons, 2000,191(3): 272-283.
[29] PEDDLE M, MCKENNA L, BEARMAN B. *et al*. Development of non-technical skills through virtual patients for undergraduate nursing students: An exploratory study[J]. Nurse Education Today,2019,73:94-101.
[30] MITCHELL L, FLIN R. Non-technical skills of the operating theatre scrub nurse: literature review[J]. J Adv Nurs, 2008, 63(1): 15-24.
[31] MASHARI A, MONTEALEGRE-GALLEGOS M, JEGANATHAN J, *et al*. Low-cost three-dimensional printed phantom for neuraxial anesthesia training: Development and comparison to a commercial model[J].PLoS One,2018,13(6):e0191664.
[32] POPOVIC B, VARLOT J, GIRARD-BERTRAND B, *et al*. Impact of Simulation-Based Training on Radiation Exposure of Young Interventional Cardiologists[J]. The American Journal of Cardiology,2022;181:25-31.
[33] BAKER C J, SINHA R, SULLIVAN M E, *et al*. Development of a cardiac surgery simulation curriculum: from needs assessment results to practical implementation[J]. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery,2012,144(1):7-16.
[34] LAM C K, SUNDARAJ K, SULAIMAN M N. A Review of Computer-Generated Simulation in the Pedagogy of Cataract Surgery Training and Assessment[J]. International Journal of Human-Computer Interaction,2013,29(10-12):661-669.
[35] SAYOUR M H, KOZHAYA S E, SAAB S S. Autonomous Robotic Manipulation: Real-Time, Deep-Learning Approach for Grasping of Unknown Objects[J]. Journal of Robotics, 2022, 4 (30): 2585656.
[36] KREEFTENBERG H G, POUWELS S, BINDELS A J G H, *et al*. Impact of the Advanced Practice Provider in Adult Critical Care: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Crit Care Med, 2019,47(5):722-730.
[37] 何昊,叶子健,舒畅.血管介入手术机器人系统关键技术及研发现状[J].中国普通外科杂志,2021, 30(12):1477-1484.
[38] 李娜,贺建安,陈阳,等.计算机辅助血管介入技术进展综述[J].计算机辅助设计与图形学报,2022,34(7):985-1010.
[39] 魏欣, 胡鸿, 钟立明, 等.术前模拟在经颈静脉肝内门体静脉分流术治疗中的价值[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2019,26 (12): 1424-1428.
[40] 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.

(利益冲突:无)

(收稿日期:2023-05-05;修回日期:2023-06-13)

(上接第292页)

[51] PANCHAL A, KYVERNITAKIS A, MIKOLICH J R, *et al*. Contemporary use of cardiac imaging for COVID-19 patients: a three center experience defining a potential role for cardiac MRI[J]. The International Journal of Cardiovascular Imaging, 2021, 37 (5): 1721-1733.
[52] OJHA V, VERMA M, PANDEY N N, *et al*. Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review of Cardiac Magnetic Resonance Imaging Findings in 199 Patients [J]. J Thorac Imaging, 2021, 36 (2): 73-83.
[53] KATO S, AZUMA M, FUKUI K, *et al*. Cardiac involvement in coronavirus disease 2019 assessed by cardiac magnetic resonance imaging: a meta-analysis[J]. Heart and Vessels, 2022, 37 (9): 1570-1582.
[54] COMMITTEE W, GLUCKMAN T J, BHAVE N M, *et al*.2022 ACC expert consensus decision pathway on cardiovascular sequelae of COVID-19 in adults: myocarditis and other myocardial involvement, post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection, and return to play: a report of the American college of cardiology solution set oversight committee[J]. Journal of the American College of Cardiology, 2022,79(17): 1717-1756.
[55] WANG H, LI R, ZHOU Z, *et al*. Cardiac involvement in COVID-19 patients: mid-term follow up by cardiovascular magnetic resonance [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):14.
[56] FRONZA M, THAVENDIRANATHAN P, CHAN V, *et al*. Myocardial injury pattern at MRI in COVID-19 vaccine-associated myocarditis[J]. Radiology, 2022,304(3): 553-562.
[57] SAEED M, VAN T A, KRUG R, *et al*. Cardiac MR imaging: current status and future direction[J]. Cardiovascular Diagnosis and Therapy, 2015,5(4): 290-310.
[58] KELLE S, BUCCIARELLI-DUCCI C, JUDD R M, *et al*. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) recommended CMR protocols for scanning patients with active or convalescent phase COVID-19 infection [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2020, 22(1):61.
[59] AGRICOLA E, BENEDUCE A, ESPOSITO A, *et al*. Heart and Lung Multimodality Imaging in COVID-19 [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13(8):1792-1808.
[60] SKALI H, MURTHY V L, AL-MALLAH M H, *et al*. Guidance and Best Practices for Nuclear Cardiology Laboratories During the COVID-19 Pandemic: An Information Statement From ASNC and SNMMI [J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020, 13(9): e011761.
[61] YILMAZ A, KLINGEL K, KANDOLF R, *et al*. Imaging in inflammatory heart disease: from the past to current clinical practice[J]. Hellenic J Cardiol, 2009, 50(6):449-460.
[62] VLACHOPOULOS C, TERENTES-PRINTZIOS D, KATSAOUNOU P, *et al*. Time-related aortic inflammatory response, as assessed with ^{18}F-FDG PET/CT, in patients hospitalized with severely or critical COVID-19: the COVAIR study[J]. Journal of Nuclear Cardiology, 2023,30(1): 74-82.

(利益冲突:无)

(收稿日期:2023-03-24;修回日期:2023-05-09)