

2018年医用机器人研发热点回眸

刘文勇^{1,2}, 刘亚军^{3*}

1. 北京航空航天大学生物与医学工程学院, 北京 100083
2. 北京航空航天大学生物医学工程高精尖创新中心, 北京 100083
3. 北京积水潭医院脊柱外科, 北京 100035

摘要 2018年, 医用机器人研发领域呈现出宽领域、多层次发展趋势, 手术机器人应用范围和产业规模持续扩大, 康复机器人产品类型日趋多样化和层次化, 护理机器人受到越来越多的关注。人工智能和大数据技术显著提升了医用机器人的决策智能化和操作安全化程度。多学科技术融合态势得到进一步强化, 医疗环境下的人、机器人与环境之间的协作关系更为融洽。医用机器人已经成为高端医疗器械产业的代表性子领域。

关键词 医疗机器人; 手术机器人; 康复机器人; 智能假肢与矫形器; 护理机器人

过去的一年, 医用机器人的技术研究和产品开发持续推进。既有医用机器人产品的临床许可应用范围持续扩大, 中国先后批准了3种医用机器人产品注册证。数据驱动成为研发热点, 安全性和标准化被反复提及, 创新型医用机器人原型系统不断涌现。手术机器人持续保持研发热点, 康复机器人和护理机器人的关注度日渐提升。

1 手术机器人迎来新的发展转折点

手术机器人产品产业化呈现加速发展。国际上, 2018年10月, 美国TransEnterix公司的微创手术机器人Senhance(图1)获得欧洲CE认证。相比著名的达芬奇手术机器人, Senhance进一步增加了力反馈功能和眼球运动控制观察视野的功能, 提升了医生对器械操作的实时感知能力; 集成了超声手术器械, 大幅减少了对手

术区域周围组织的热损伤, 具有显著临床优势。与此同时, 美国Zimmer Biomet(捷迈邦美)公司的Rosa Knee机器人继Rosa Brain、Rosa Spine之后获得了美国FDA许可, 成功开展了机器人辅助全膝置换术(TKA), 进一步拓展了Rosa机器人的临床应用范围。在国内, 2018年4月, 北京柏惠维康科技有限公司的睿米机器人(神经外科手术导航定位系统)通过国家食品药品监督管理总局(CFDA)三类医疗器械审查, 于2018年8月完成首例国产机器人辅助的双侧DBS植入手术(图2), 并入选“第十一届健康中国论坛·十大医疗器械”。2018年9月, 国家骨科手术机器人应用中心大数据平台在2018世界机器人大会上成立, 以“天玑”机器人(该成果入选了“伟大变革——庆祝改革开放40周年大型展览”)为平台, 旨在通过教育培训和数据共享, 推动智能骨科手术常规化和医疗资源均质化。2018年12月, 华科精准(北京)医疗科技有限公司的神经外科手术机器人(神

收稿日期: 2019-01-05; 修回日期: 2019-01-10

基金项目: 北京市自然科学基金项目(Z170001)

作者简介: 刘文勇, 讲师, 研究方向为医用机器人技术, 电子信箱: wylu@buaa.edu.cn; 刘亚军(通信作者), 主任医师, 研究方向为智能骨科技术, 电子信箱: drliuyajun@163.com

引用格式: 刘文勇, 刘亚军. 2018年医用机器人研发热点回眸[J]. 科技导报, 2019, 37(1): 180-185; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.01.020

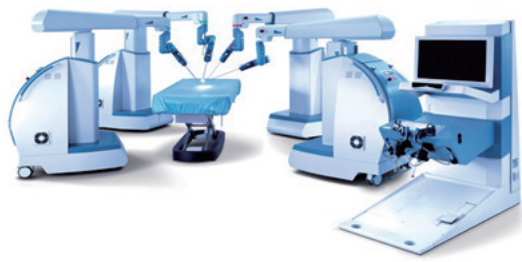


图1 Senhance 微创手术机器人

Fig. 1 Senhance robot for minimally invasive surgery



图2 神经外科手术中的睿米机器人

Fig. 2 Remebot robot in neurosurgery

经外科手术导航定位系统)通过新成立的国家药品监督管理局(NMPA)审批准产,采用的无接触视觉定位患者注册技术(基于机械臂本体定位,自动视觉扫描定位病人面部表面进行患者注册)使其可同时适用于成人和儿童患者。此外,单孔腹腔镜机器人、牙科机器人等也纷纷亮相2018年全国大众创业万众创新活动周。总体上,手术机器人产业已初具规模,影响力已逐步扩大到普通大众。

临床应用又反向刺激了手术机器人的改进和创新发展。在设计方法上,英国巴斯大学和帝国理工学院提出了一种以用户为中心的V型设计模型^[1],并据此开发了一种长骨骨折复位机器人系统,制定了详细的安全设计准则(图3)。

在系统架构上,位于英国剑桥的CMR Surgical公司的Versius 机器人采用机器人功能模块化的思想,将单一基座上的多臂协作布局(如:达芬奇机器人)延展为多个独立的小型机器人的功能协作^[2];手术时可以根据适应证来具体选配和布局各个机器人,由多机器人联动完成手术任务(图4)。

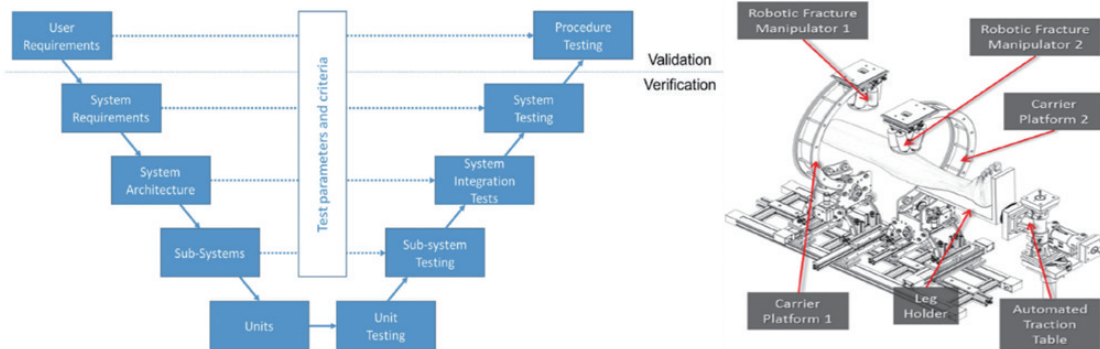


图3 V型设计模型及骨折复位机器人设计案例

Fig. 3 V-model of design for surgical robot and a case of robot for fracture reduction



图4 Versius系统的多机器人布局示意

Fig. 4 Robots deployment of Versius system in operating room

目前, Versius 机器人已经在英国 70 余家医院开展了临床试验。

在新型机构方面,上海交通大学开发了基于多耦合对偶连续体的RCM机构(远程运动中心机构)原理样机,可用于单孔腹腔镜手术机器人的受限空间灵巧操作^[3];美国约翰霍普金斯大学开发了一种基于RCM机构的四自由度探针操作器^[4],将其装夹于固定支架上,实现了高灵活性、高精度(亚毫米级)的机器人辅助经直肠超声引导前列腺活检术。在术区状态感知方面,南开大学针对机器人椎板磨削手术,采用人工神经网络技术,研究了基于多模信息(力触觉、声音振动)的解剖

组织自动识别(皮质骨、松质骨和肌肉),为监测机器人安全操作提供了智能化的实时反馈保障^[5]。在远程手术的主从安全控制方面,帝国理工大学哈姆雷机器人手术中心^[6]提出一种能够动态调整手术动作缩放比例的方法,以提升远程手术中的医生操作的代入感。该方法将手术机器人控制体系划分为3个感知模块:态势感知(situation awareness)、技巧层感知(skill level awareness)和任务感知(task awareness),可以根据不同的手术任务(打结、缝合、穿刺等),结合手术端(从端)环境的视觉信息、从端机器人运动数据、医生技巧以及先验知识,自适应地调整动作缩放比例。该方法已经在达芬奇手术机器人硬件开源代码库 dVRK(da Vinci Research Kit)上完成了验证,任务完成度和主从控制效

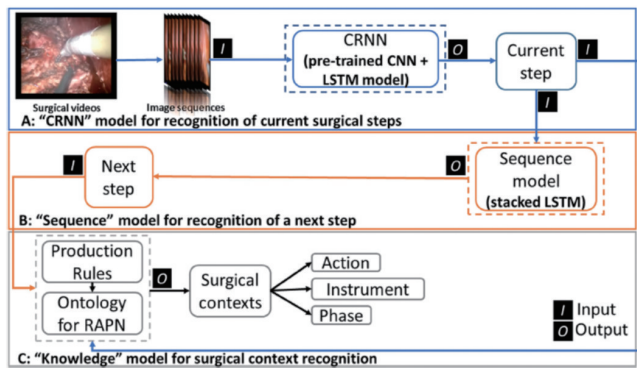


图5 用于手术任务识别的“Deep-Onto”网络
Fig. 5 Schematic of "Deep-Onto" network for identification of surgical entities

率均显著提升。在应用人工智能技术方面,意大利米兰理工大学提出了“Deep-Onto”网络(包含了卷积循环神经网络 CRNN 模型和知识模型,如图 5 所示,能够从术区视频中实时识别出具体的手术任务,并在机器人辅助肾部分切除术中进行了成功试验^[7]。此外,来自帝国理工、慕尼黑理工、约翰霍普金斯等著名研究机构的 28 位知名专家于 2018 年 6 月联合发表了《手术数据科学:共识观点》的白皮书^[8],给出了手术数据科学的技术框架图(图 6),进一步强化了数据驱动在智能医疗中的核心作用,也为手术机器人的未来发展提供了借鉴。

综合来看,临床需求牵引、数据驱动和人工智能技术正在成为手术机器人研发的显著特色。

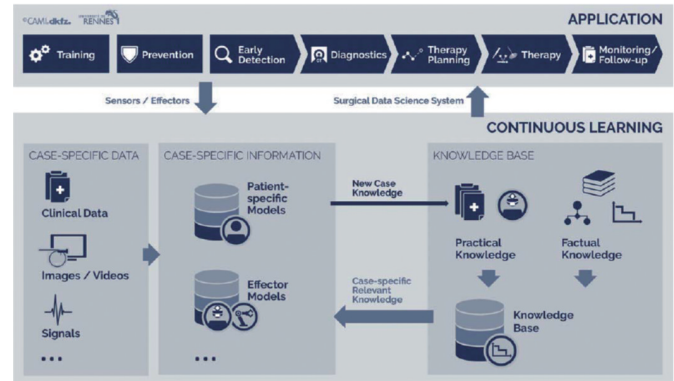


图6 手术数据科学的技术架构
Fig. 6 Technical view on the surgical data science

2 康复机器人创新系统不断涌现

2018年6月26日,北京大艾机器人科技有限公司的下肢外骨骼机器人(下肢步行机器辅助训练装置)在北京获得医疗器械注册证,成为中国首个通过CFDA认证的下肢外骨骼机器人,标志着国内下肢外骨骼机器人已经从研发阶段开始进入产业发展阶段。该装置由北京航空航天大学团队研发,已经在国家康复辅具研究中心、北京积水潭医院等单位完成了百余例临床实验,并于2018年11月15—23日在国内4个城市(新疆克州、喀什、西安、北京)完成了“穿戴外骨骼机器人挑战马拉松”活动,检验了外骨骼机器人在不同环境下的稳定性和人机协作效能(图7)。

外骨骼机器人是康复机器人的代表性系统,除下肢外骨骼之外,还包括上肢、手、髌、膝、足踝等外骨骼

装置,其中手外骨骼受到了更多关注^[9]。美国莱斯大学开发了一种刚柔混合型手外骨骼手套 SPAR(图8)^[10],融合了肌电控制等技术,既可用于患者手部功能恢复的主动训练,也可用于日常生活的助力增强。加州大学圣克鲁兹分校开发了软外骨骼服 CRUX(图9)^[11],可用于中风患者的上肢功能恢复和日常活动。宾夕法尼亚大学开发了躯干外骨骼 RoSE(图10)^[12],可用于脊柱畸形矫正。考虑到目前的康复外骨骼多是针对成年人设计的,佐治亚理工专门发表了一篇综述,探讨康复外骨骼在儿童群体中的应用可能性及需求特点(图11)^[13]。定制化已成为目前的康复外骨骼产品发展的主要途径。

此外,智能假肢和智能轮椅也在2018年出现了一些新系统,如北京大学开发的PKU-RoboTPro-II型智能动力小腿假肢(图12)^[14]、英国林肯大学和帝国理工学院开发的轮椅机器人 ARTA(图13)^[15]等。



图7 大艾外骨骼 AiLegs
Fig. 7 AiLegs: An exoskeleton for lower extremity rehabilitation



图8 刚柔混合型手外骨骼手套 SPAR
Fig. 8 SPAR glove with rigid-soft exoskeleton

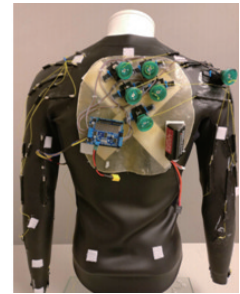


图9 软外骨骼服 CRUX
Fig. 9 A soft, lightweight exosuit CRUX



图10 用于脊柱畸形矫正的躯干外骨骼 RoSE
Fig. 10 Robotic Spine Exoskeleton (RoSE) for human torso



图11 用于儿童的下肢外骨骼
Fig. 11 A robotic exoskeleton for children



图12 PKU-RoboTPro-II型智能动力小腿假肢
Fig. 12 Intelligent powered trans-tibial prosthesis PKU-RoboTPro-II

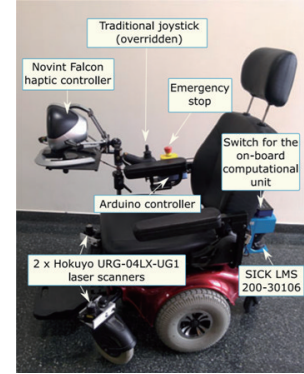


图13 触觉控制的动力轮椅机器人 ARTA
Fig. 13 Haptics-enabled powered wheelchair platform ARTA

康复外骨骼的技术研发在2018年主要集中在了机构仿生及安全控制方面。日本筑波大学将动作协同控制(synergy-based)方法引入外骨骼^[16],用于偏瘫康复训练,实现患病腿和健侧腿之间的协同运动。美国范德堡大学开发了基于速度场的控制器,并在下肢双侧外骨骼的腿部运动控制中完成了实验^[17]。此外,基于阻抗控制、脑机控制的控制策略也备受关注。

3 护理机器人受到越来越多的重视

人口加速老龄化和现代生活质量的提升,持续推动了护理机器人的研发。护理机器人的主要用途包括日常护理(起居与行动)、健康检测、情感交流等。此类机器人更注重人机自然互动^[18]。日本在护理机器人研究方面具有长期优势。日本国立研究开发法人产业技术综合研究所编订了《机器人护理设备开发指南》,于2018年9月10日开始通过护理机器人门户网站(<http://robotcare.jp/>)免费发布,系统地汇总了开发机器人护理

设备的安全设计和测试方法,以及包括被护理者和护理者生活指标在内的设计方法等。

2018年,护理机器人的研发工作主要集中在人机自然互动方面。为了让机器人在与人交流时更加自然,在欧盟与日本联合项目 CARESSES (Culture-Aware Robots and Environmental Sensor Systems for Elderly Support) 支持下,瑞士日内瓦大学与软银公司合作研究了人机语言交互中的文化差异(culture-aware),以便让 Pepper 机器人能够自主适合不同地区人群的文化、习惯和礼节,提升照护过程中的自然交互能力(图14)^[19]。为了实现智能家庭环境中的人的行为监测与健康评估,华盛顿州立大学开发了 RAS (robot activity support) 系统(图15)^[20],将机器人集成进智能环境,通过环境感知、对象识别与映射、机器人交互等技术手段,实现对智能环境的安全监控与人的状态识别。此外,针对医院护理资源不足的问题,在德国 SeRoDi (Service Robotics for Personal Services) 项目支持下, Fraunhofer 生产技术和自动化研究所 (Fraunhofer IPA) 开发了护理服务机器

人“智能护理车”(intelligent care cart)(图16)^[21],医护人员可以通过智能手机将护理车召唤到所需的房间;护理车采用了模块化设计,可以根据不同的应用场景进行快速配置。目前,该机器人已经在一家医院和两家护理机构进行了试用。

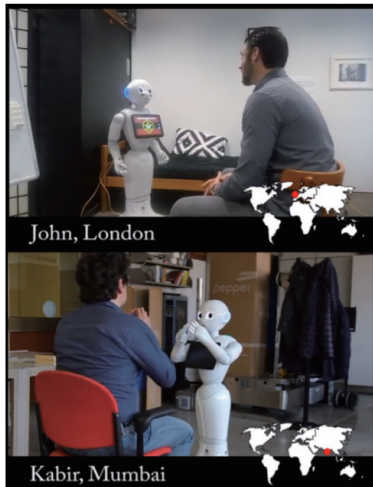


图14 软银的Pepper能够与不同文化背景的人进行自然交流

Fig. 14 SoftBank Robotics' Pepper and John: Talking about Christmas; Pepper and Kabir: Greeting with Namaste

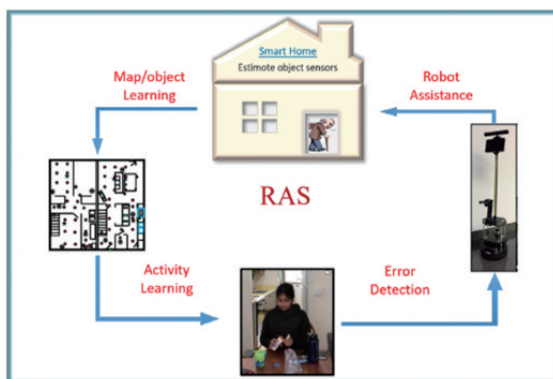


图15 华盛顿州立大学RAS系统示意

Fig. 15 Overview of the RAS system from Washington State University



图16 德国Fraunhofer IPA的智能护理车

Fig. 16 Intelligent care cart from Fraunhofer IPA

人工智能和大数据技术让护理机器人与人的关系更接近自然互动,5G通信技术使得网络时延不再是问题,但必须相应地处理好涉及的伦理与法律问题。罗定生等从人格尊严和社会正义两个角度进行了详细分析^[22]。研发涉及网络通信的护理机器人时,必须考虑到技术交叉带来的安全漏洞、不同用户群体的安全管控需求,这需要政策管理者建立明确的监管措施^[23]。

4 结论

2018年,尽管康复机器人和护理机器人发展加速,但由于既有体量较小,医用机器人产业仍以手术机器人为主。人工智能技术与机器人系统的集成度日益增强,并已经在机器人手术、机器人康复训练过程中得到了应用。应用过程中积累的大量医学基础数据和医疗过程数据,又将进一步提升数据驱动在医用机器人研发过程中的作用。

参考文献(References)

- [1] Georgilas I, Dagnino G, Tarassoli P, et al. Robot-assisted fracture surgery: Surgical requirements and system design[J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2018, 46(10): 1637-1649.
- [2] Leprince-Ringuet G. Meet Versius, the surgical robot about to take aim at your organs[EB/OL]. [2018-09-04][2019-01-05]. <https://www.wired.co.uk/article/surgical-robot-uk-versius>.
- [3] 徐凯, 刘欢. 多杆连续体机构: 构型与应用[J]. *机械工程学报*, 2018, 54(13): 25-33.
Xu Kai, Liu Huan. Multi-backbone continuum mechanisms: Forms and applications[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2018, 54(13): 25-33.
- [4] Lim S, Jun C, Chang D, et al. Robotic transrectal ultrasound-guided prostate biopsy[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2019, doi: 10.1109/TBME.2019.2891240.
- [5] Dai Y, Xue Y, Zhang J X. Bioinspired integration of auditory and haptic perception in bone milling surgery[J]. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2018, 23(2): 614-623.
- [6] Zhang D D, Xiao B, Huang B R, et al. A self-adaptive motion scaling framework for surgical robot remote control[J]. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2019, 4(2): 359-366.
- [7] Nakawala H, Bianchi R, Pescatori L E, et al. "Deep-Onto" network for surgical workflow and context recognition[J]. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2018, doi: 10.1007/s11548-018-1882-8.
- [8] Maier-Hein L, Eisenmann M, Feldmann C, et al. Surgical data science: A consensus perspective[J]. arXiv:1806.03184v1, 2018.

- [9] Stephens-Fripp B, Alici G, Mutlu R. A review of non-invasive sensory feedback methods for transradial prosthetic hands[J]. *IEEE Access*, 2018, 6: 6878–6899.
- [10] Rose C G, O'Malley M K. Hybrid rigid-soft hand exoskeleton to assist functional dexterity[J]. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2019, 4(1): 73–80.
- [11] Lessard S, Pansodtee P, Robbins A, et al. A soft exosuit for flexible upper-extremity rehabilitation[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2018, 26(8): 1604–1617.
- [12] Park J H, Stegall P R, Roye D P. Robotic spine exoskeleton (RoSE): Characterizing the 3-D stiffness of the human torso in the treatment of spine deformity[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2018, 26(5): 1026–1035.
- [13] Borenstein J, Wagner A R, Howard A. Overtrust of pediatric health-care robots: A preliminary survey of parent perspectives[J]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2018, 25(1): 46–54.
- [14] 许东方, 冯仰刚, 麦金耿, 等. 面向速度适应的动力小腿假肢蹬地时刻在线识别[J]. *中国科学(技术科学)*, 2018, 46(12): 1321–1330.
Xu Dongfang, Feng Yangyang, Mai Jingeng, et al. On-line recognition of push-off for powered transtibial prosthesis towards speed adaptation[J]. *Scientia Sinica Technologica*, 2018, 46(12): 1321–1330.
- [15] Kucukyilmaz A, Demiris Y. Learning shared control by demonstration for personalized wheelchair assistance[J]. *IEEE Transactions on Haptics*, 2018, 11(3): 431–442.
- [16] Hassan M, Kadone H, Ueno T, et al. Feasibility of synergy-based exoskeleton robot control in hemiplegia[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2018, 26(6): 1233–1242.
- [17] Martinez A, Lawson B, Durrough C, et al. A velocity-field-based controller for assisting leg movement during walking with a bilateral hip and knee lower limb exoskeleton[J]. *IEEE Transactions on Robotics*, 2019, doi: 10.1109/TRO.2018.288-3819.
- [18] 何瑛, 李伦. 机器人在护理领域中的应用进展[J]. *中华护理杂志*, 2018, 53(9): 1140–1143.
He Ying, Li Lun. Research progress on application of robots in nursing[J]. *Chinese Journal of Nursing*, 2018, 53(9): 1140–1143.
- [19] Bruno B, Menicatti R, Recchiuto C T, et al. Culturally-competent human-robot verbal interaction[C]//Proceedings of the 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR). Piscataway: IEEE, 2018: 388–395.
- [20] Wilson G, Pereyda C, Raghunath N, et al. Robot-enabled support of daily activities in smart home environments[J]. *Cognitive Systems Research*, 2019, 54: 258–272.
- [21] Fraunhofer IPA. Two new robots for the nursing sector[EB/OL]. (2018-10-30) [2019-01-05]. <https://robohub.org/two-new-robots-for-the-nursing-sector>.
- [22] 吴玺宏. 浅谈智能护理机器人的伦理问题[J]. *科学与社会*, 2018, 39(1): 25–39.
Wu Xihong. Ethical challenges in servicing elderly people with intelligent caring robots[J]. *Science and Society*, 2018, 39(1): 25–39.
- [23] Fosch-Villaronga E, Felzmann H, Ramos-Montero M. Cloud services for robotic nurses? Assessing legal and ethical issues in the use of cloud services for healthcare robots[C]//Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Piscataway: IEEE, 2018: 290–296.

Review on hot topics of medical robots in 2018

LIU Wenyong^{1,2}, LIU Yajun^{3*}

1. School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China
2. Beijing Advanced Innovation Center for Biomedical Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China
3. Department of Spine Surgery, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China

Abstract In 2018, medical robots made consistent progress at various clinical fields from researches to applications. Surgical robot application fields and the industry were consistently expanded. More and more prototypes of rehabilitation robots emerged and entered into clinical trials. Key technologies for nursing robots received much attention. Introduction of artificial intelligence and big data technologies into medical robots improved the intelligent medical decision-making and the safety of robot motion. Collaboration among surgeon, robot and environment in medical procedure was dramatically improved. Medical robot has been regarded as one of representative sub-field in the advanced medical device industry.

Keywords medical robotics; surgical robotics; rehabilitation robotics; intelligent prosthesis and orthosis; nursing robotics ●



(责任编辑 刘志远)