

开拓创新技术,推动神经外科进入机器人辅助显微手术新时代

刘羽阳¹, 刘嘉霖¹, 陈凌¹, 刘志雄²

1. 中国人民解放军总医院第一医学中心, 北京 100853

2. 中南大学湘雅医院, 湖南 长沙 410008

摘要:神经外科是医学中最年轻且发展最快的学科之一, 历经肉眼下大体神经外科、显微神经外科以及微创神经外科3个重要时期。近年来, 随着相关领域技术的不断革新, 基于3D内镜成像及混合现实导航等相关先进技术的单孔显微手术机器人, 即主-从式神经外科辅助手术机器人系统, 有望推动神经外科进入机器人辅助显微手术新时代。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2021, 48(1): 1-3]

关键词:神经外科; 主-从式手术机器人; 机器人辅助显微手术

中图分类号: R651

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2021.01.001

机器人辅助手术首次应用是在神经外科领域, 然而, 随着相关技术的快速发展, 机器人手术在泌尿外科、妇科、胃肠外科和骨科取得了突破性进展。由于神经外科手术所涉及的精细解剖结构和有限的手术操作空间等因素, 一度限制了机器人辅助显微手术在神经外科领域的发展, 神经外科辅助手术机器人相关技术和产业的发展陷入瓶颈期。该文阐述了外科手术机器人分类、发展历史、主-从式手术机器人总体布局、应用前景和现阶段需解决的问题, 以期推动显微手术机器人相关产学研一体化稳健发展, 助力神经外科进入机器人辅助显微手术新时代。

1 外科手术机器人分类

机器人的类型决定了其所行使的功能和应用领域, 根据术者和机器人交互的程度, 手术机器人主要分以下3类: ①自主控制型(autonomous control); ②主-从控制型(master-slave control); ③共享控制型(shared control)。

自主控制型机器人通过再现已编程的计划或自主移动机械臂来完成手术操作, 该类机器人常见于神经外科立体定向手术中。在主-从控制型机器人辅助的手术中, 术者始终保持对机器人系统的完全控制, 该类型机器人允许外科医生进行远程手术(Telesurgery)。共享控制型是介于上述两种类型之间, 术者可以控制机器人的机械

臂进行操作, 机器人系统可帮助过滤术者不必要的手部动作, 例如震颤等^[1]。

2 神经外科手术机器人发展历史

1985年, Kwoh医师首次报道使用机器人(UNIMATION PUMA 200)进行脑部病变活检手术^[2], 由此拉开了神经外科手术机器人时代的新篇章。术者根据术前CT影像将病变位置转化为坐标并输入机器人程序中, 应用机器人引导穿刺针进行活检等操作。此后, 神经外科机器人系统大多与立体定向手术框架技术相结合, 主要用于引导术者完成病灶活检、取异物, 抽吸囊肿、血肿等操作^[3]。

NeuroMate^[4]是最早被FDA批准应用于临床的神经外科手术机器人, 可引导术者进行立体定向手术。NeuroMate采用术前影像学资料进行术中定位, 然而, 当术中出现脑组织移位时, 定位误差会明显增加。由此可见, 能及时探测术中变化的实时定位系统对于机器人手术至关重要, 机器人手术系统需要更好地适应术中脑组织的变形特征。Minerva^[5]为了克服术中实时定位的问题, 采用术中CT扫描进行脑组织移位校正, 但由于手术操作需在CT机下进行, 可操作性欠佳且利用率不高, 因此未被广泛应用。MARS机器人系统^[6]具有术中自动定位影像引导系统, 根据术前CT或MRI影像资料进行解剖注册以及

收稿日期: 2021-01-10; 修回日期: 2021-02-12

通信作者: 陈凌 (Email: chen_ling301@163.com) 与刘志雄 (Email: zhixiongliu@csu.edu.cn) 为共同通信作者。

术中面部特征注册,并可实现术中自动定位。

NeuroArm^[7]是卡尔加里大学于2001年开发的磁共振兼容手术机器人。它可以协助术者完成远程手术(tele-surgery),即术者可在异地通过控制操作系统,遥控位于手术现场手术机器人,进而完成手术。NeuroArm可进行显微外科操作,包括切开、烧灼、冲洗、吸引和缝合等。同时,该设备可进行术中实时磁共振成像,提高了定位的准确性。2008年,NeuroArm首次在临床上应用于脑部病变切除术,此后,多项临床测试报告显示其具有较高的安全性及可靠性^[8]。

达芬奇手术系统(da Vinci Surgical System)是一种在泌尿外科、妇科、肝胆外科等广泛应用的手术机器人系统。该系统有4个机械臂,每个臂有7个自由度,由2个工作臂对机械臂进行操控。该系统可呈现三维立体视野,并支持远程手术。在神经外科领域,该系统已被尝试用于经口齿状突切除术、脊髓脊膜膨出宫内修补术和脊髓神经鞘瘤切除术等^[9]。然而,尽管该系统在各个领域都取得了进展,但由于适配的器械有限、系统所需端口较多、机器人本身占地以及所需手术空间等多方面因素限制了其在神经外科领域的应用^[10]。

手部稳定系统(steady hand system)是共享控制型显微外科手术机器人^[11]的关键。该系统可过滤术者手部震颤,使手术过程既保留了术者的正常操作,又保证了机器人的精准性,在一定程度上提高了机器人手术的安全性和可靠性,并有利于缓解术者疲劳。该系统目前主要用于视网膜显微外科手术^[12]。

现阶段,临床上应用的大多数神经外科手术机器人仍主要进行立体定向外科手术^[13]。真正意义上的神经外科手术机器人系统,应能够完成精细的显微神经外科手术操作,需要具有更强的可视化配套设备,更灵敏的力反馈体系,更多元化的手术器械装备,以及更迅捷的信息传输途径。适应5G网络等低延迟通信手段的远程神经外科显微手术机器人操作系统具有良好的发展前景。

3 主-从式手术机器人总体布局及应用前景

随着机器人技术的发展,神经外科手术机器人蓬勃发展,目前已经有多家产品获得了产品注册证,如ROSA、睿米和华科精准等厂家品牌。尽管各种机器人都有创新技术应用,但是这些机器人通常用于导航定位用途,尚未有能实现显微神经外科手术操作的手术机器人推广使用。

3.1 主-从式手术机器人特点

以da Vinci系列手术机器人为代表的主-从式手术机器人,由于其如下特点在泌尿外科、普外科、胸外科、妇科和心脏外科等诸多科室得到了广泛应用,得到了临床医生的高度评价:①可提供清晰放大的3D视野,有效手术视野范围大,并具有荧光显影技术,画质的改善有助于提

高手术质量和保障患者安全;②机器人操作臂较人手小,具有7个自由度且可转腕的手术器械,可过滤直接操作时的手部颤动,在狭窄腔体内的操作更加灵活、精准,操控范围大;③操作者可以坐着完成手术,不易疲劳,完成时间长、高难度的复杂手术更加轻松。

但是,由于da Vinci系列手术机器人最初设计并没有考虑应用于显微神经外科手术,目前在显微神经外科手术领域仍然没有机器人产品推出。

3.2 主-从式手术机器人应用到显微神经外科所需要的技术突破

随着相关技术的进步,针对显微神经外科手术机器人指日可待。为达到显微神经外科手术的临床需求,可在如下方面对现有技术进行突破:

3.2.1 整体系统设计 结合神经外科手术的特点,以小型化、集成化、专用化作为切入点,开发符合需求的神经外科辅助手术机器人系统。从整体系统结构布局、核心部件开发、接口集成、实时遥操作和控制技术优化等方面进行突破,将这些技术有机结合,完成整体系统的设计。

3.2.2 高灵活性微小手术器械研发 当前手术机器人的手术器械是针对腔镜手术进行设计,由于神经外科手术动作与腔镜类手术不尽相同,这些手术器械并不能完全适应神经外科手术的需求。神经外科显微手术的特点决定了手术必须进行精准定位和操作,因此手术器械必须能准确复制医学专家在神外手术过程中的精细动作。需设计出结构紧凑、高度灵活和高度精密的神经外科专用手术器械。

3.2.3 高清立体显微内镜系统开发 普通的平面显示图像,由于缺乏深度信息而使手术操作无立体感,医学专家无法获得直觉操作感受。采用双目视觉原理所开发的显微内镜,可以为医学专家提供立体视觉和抵近观察感受,提供手术操作的深度信息,使手术操作更为精准。

3.2.4 立体显微内镜小型化低延时技术开发 受神经外科手术工作环境限制,前置内模块对集成设计要求较高,外径尺寸需尽可能缩小,散热温度需有效控制。同时,图像延时会严重影响机器人系统操作的实时性和安全性。因此,需解决高清立体电子内镜微型化和高速显示问题。

3.3 主-从式手术机器人潜在的应用前景

主从操作式手术机器人的应用对手术产生了深远的影响,也可以借此开发新的临床应用场景,潜在的应用前景包括:

3.3.1 实现空间分离 主从操作式手术机器人改变了传统手术中医生必须在患者身边的现状。结合通信技术,利用遥操作技术,主端和从端可以分布在不同的地域,实现医生和患者的空间分离。主-从式手术机器人(master-slave surgical robot)是实现远程手术(telesurgery)

的核心组分,该系统允许术者在异地通过遥控操作系统控制手术现场的机器人完成手术,有望将高水平的外科服务送到全世界^[14],实现远程医疗。

3.3.2 多人合作的可能性 传统的显微神经外科手术中,由于空间的限制,通常只有1名医生进行手术操作。采用辅助机器人技术后,可以实现多微型器械同时手术。

3.3.3 图像融合 与现有的显微神经外科手术不同,由于高清立体内镜的使用,意味着手术操作区域的图像是通过电子图像处理系统而非光学系统呈现给医生的。电子图像处理系统的使用,为图像融合提供了可能性,比如在手术过程中同时呈现CT、MRI影像图像、混合现实融合技术乃至基于AI技术的图像融合。

4 神经外科显微手术机器人培训、应用及评价体系规范建设

现阶段,我国的机器人辅助手术相关技术正高速发展,大量原始创新科研成果不断涌现,机器人相关科研成果的临床转化正如火如荼的进行。然而,目前尚缺乏科学有效的评价及管理体系。该领域的持续健康发展需要相关产学研单位建立一套系统、规范的手术机器人全手术过程的安全性及有效性评价规范,通过安全技术性检验,对手术机器人的安全性、可靠性及有效性进行全面评估,基于评价结果,指导研发单位、企业及时对相关技术及核心部件进行改造升级,以占领手术机器人自主知识产权及核心关键技术制高点,实现医疗装备领域弯道超车,从根本上提高医疗器械的原始创新能力、产业化水平及科技成果转化。

参 考 文 献

- [1] Doulgeris J, Gonzalez-Blohm S, Filis A, et al. Robotics in neurosurgery: evolution, current challenges, and compromises[J]. Cancer control, 2015, 22(3): 352-359.
- [2] Kwoh YS, Hou J, Jonchheere EA, et al. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1988, 35(2): 153-160.
- [3] Cleary K, Nguyen C. State of the art in surgical robotics: clinical applications and technology challenges[J]. Computer Aided Surgery, 2001, 6(6): 312-328.
- [4] Yasin H, Hoff H, Blümcke I, et al. Experience with 102 frameless stereotactic biopsies using the neuromate robotic device[J]. World Neurosurgery, 2019(123): e450-e456.
- [5] McBeth P, Louw D, Rizun P, et al. Robotics in neurosurgery[J]. American Journal of Surgery, 2004(188): 68-75.
- [6] Joskowicz L, Shamir R, Freiman M, et al. Image-guided system with miniature robot for precise positioning and targeting in keyhole neurosurgery[J]. Computer Aided Surgery, 2006, 11(4): 181-193.
- [7] Sutherland G, Lama S, Gan L, et al. Merging machines with microsurgery: clinical experience with neuroArm[J]. Journal of Neurosurgery, 2013, 118(3): 521-529.
- [8] Pandya S, Motkoski J, Serrano-Almeida C, et al. Advancing neurosurgery with image-guided robotics[J]. Journal of Neurosurgery, 2009, 111(6): 1141-1149.
- [9] Perez-Cruet M, Welsh R, Hussain N, et al. Use of the da Vinci minimally invasive robotic system for resection of a complicated paraspinal schwannoma with thoracic extension: case report[J]. Neurosurgery, 2012(71): 209-214.
- [10] Hong W, Tsai J, Chang S, et al. Robotic skull base surgery via supraorbital keyhole approach: a cadaveric study[J]. Neurosurgery, 2013(Suppl 1): 33-38.
- [11] Marcus H, Seneci C, Payne C, et al. Robotics in keyhole transcranial endoscope-assisted microsurgery: a critical review of existing systems and proposed specifications for new robotic platforms[J]. Neurosurgery, 2014(Suppl 1): 84-95.
- [12] Uneri A, Balicki M, Handa J, et al. New steady-hand eye robot with micro-force sensing for vitreoretinal surgery[J]. Proc IEEE RAS EMBS Int Conf Biomed Robot Biomechatron, 2010, 2010 (26-29): 814-819.
- [13] Varma T, Eldridge P, Forster A, et al. Use of the neuromate stereotactic robot in a frameless mode for movement disorder surgery[J]. Stereotactic Functional Neurosurgery, 2003, 80(1-4): 132-135.
- [14] Mendez I, Hill R, Clarke D, et al. Robotic long-distance telementoring in neurosurgery[J]. Neurosurgery, 2005, 56(3): 434-440.

责任编辑:王荣兵