

神经外科手术协作机器人系统应用进展

熊若楚 陈晓雷

【摘要】 目前常用的神经外科手术机器人系统的定位移动依靠传统光学导航,体积较大且价格昂贵,临床应用受到限制。近年来,神经外科手术机器人系统逐渐向协作机器人系统方向发展,协作机器人系统可配合术者操作,提高手术效率,确保手术操作更准确、更安全。相比监视控制系统和主从系统,协作机器人系统构造和操作更简单,成本更低,与人类感觉的联合更紧密,可直接整合入手术场景。本文综述 Evolution 1、ROVOT-m、RoboticScope、iArmS、Craniostar 原型机和基于 3D 机器视觉的新型手术协作机器人共 6 种用于稳定操作和辅助术野观察的手术协作机器人系统的构成和工作原理,以促进其在神经外科的临床应用。

【关键词】 机器人手术; 神经外科手术; 综述

Progress in the application of neurosurgical collaborative robot systems

XIONG Ruo-chu¹, CHEN Xiao-lei²

¹Grade 2019, Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China

²Department of Neurosurgery, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: CHEN Xiao-lei (Email: neurogz@foxmail.com)

【Abstract】 Currently, the common neurosurgical robot systems rely on traditional optical navigation for positioning and movement, which is large and expensive, and its clinical application is limited. In recent years, the neurosurgical robot systems have gradually developed to the direction of collaborative robot systems. Collaborative robot systems can cooperate with the surgeon to improve the efficiency of surgery and ensure more accurate and safe surgery. Compared to supervisory control system and master-slave system, collaborative robot systems are simpler to construct and operate, less costly, more closely integrated with human perception, and can be directly integrated into surgical scenarios. This article reviews the structure and working principle of Evolution 1, ROVOT-m, RoboticScope, iArmS, Craniostar prototype and a new surgical cooperative robot based on 3D machine vision, which are 6 kinds of surgical robot systems for stabilizing surgical procedures and facilitating observation of surgical field, to promote its clinical application in neurosurgery.

【Key words】 Robotic surgical procedures; Neurosurgical procedures; Review

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 82272134).

Conflicts of interest: none declared

随着医工融合技术的发展,多种类型手术机器人系统逐渐应用于临床,自首例神经外科组织活检术后^[1],应用范围逐渐扩展至普通外科^[2-3]、泌尿外科^[4-5]、妇产科^[6-7]、心胸外科^[8-9]等领域,但其在神经

外科领域的发展和应用并不尽如人意。一方面,神经外科手术受切口和骨窗限制,操作空间有限,对脑组织保护要求较高,而主从系统(master-slave system)手术机器人所需操作空间较大,不适用于神经外科手术^[10-11];另一方面,神经外科常用手术机器人系统多属于监视控制系统(supervisory control system),定位移动主要依靠传统导航系统或自带影像导航系统,其应用受限于立体定向手术,且监视控制系统机器人往往体积较大且价格昂贵,临床应用较为局限。近年神经外科手术协作机器人系统

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2023.01.008

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:82272134)

作者单位:100853 北京,解放军医学院 2019 级(熊若楚); 100853 北京,解放军总医院第一医学中心神经外科医学部(陈晓雷)

通讯作者:陈晓雷,Email:neurogz@foxmail.com

(Cobots)^[12-14]的研发与应用成为热点,堪称术中精准的机器人第一助手,可协助术者进行手术操作,提高手术效率的同时使手术操作更准确、更安全,颇具发展前景。本文介绍监视控制系统、主从系统和协作机器人系统的结构组成和工作原理,并总结协作机器人系统的临床和模拟临床应用,以期促进神经外科手术协作机器人系统的临床应用。

一、监视控制系统

目前临床常用的神经外科手术机器人系统大多属于监视控制系统,典型的监视控制系统主要包括 ROSA 手术机器人系统(美国 Zimmer Biomet 公司)^[15-17]、Neuromate 手术机器人系统(英国 Renishaw 公司)^[18]、Remebot 手术机器人系统(北京柏惠维康科技股份有限公司)^[19]等。应用时以术前影像学为基础,在计算机上预先制定手术计划,再将手术计划导入机器人系统,术中术者监控机器人执行手术计划。但该系统功能单一,完全按照术前手术计划运行,无法根据术中实际情况自主改变,需术者全程监视运行过程,以防止出现偏差或事故,因此主要适用于穿刺活检或立体定向植入电极等术中无需多次调整的立体定向手术,不适用于显微外科手术或内镜手术^[14]。

二、主从系统

主从系统主要通过手术器械的力反馈沟通术者与机器人,术者可在手术室外的触觉界面上进行操作,机器人则实时复制并执行术者动作。以达芬奇手术机器人系统(da Vinci,美国 Intuitive Surgical 公司)为例,广泛应用于普通外科、妇产科和泌尿外科等领域,仅 2017 年全球手术量高达 87 万例次^[20],但迄今尚无该机器人系统应用于神经外科的报道。究其原因,颅内操作空间有限且脑组织十分脆弱,主从系统经术者远程控制机械臂直接在术区进行操作,所需操作空间较大,加之现有的机械臂普遍触觉反馈较差,可能导致操作过深或过浅而损伤脑组织^[21-22]。类似的主从系统还包括 NeuroArm 手术机器人系统(美国 Imris 公司)^[23],有用于皮样囊肿切除术的单中心病例报告^[14],但囿于成本和技术的限制,该机器人系统的应用市场较小,尚缺乏安全性验证,加之与术中 MRI 导航兼容推广缓慢等原因,其发展趋于停滞^[12]。

三、协作机器人系统

协作机器人系统亦称共享控制系统(shared control system)^[24-26],术中可协助术者进行手术操

作,具有操作稳定、辅助病变定位和术野观察等优势。协作机器人系统可以结合机器人稳定性与精确性的优势,以及术者经验与临场应变灵活性的优势^[27],突破主从系统、监视控制系统和人工操作的限制,相当于机器人第一助手,可代替部分人工,减轻术者工作强度,提高手术效率,确保手术操作更准确、更安全;同时,术者仍掌握手术主控权,可及时根据术中情况做出正确判断并灵活调整手术操作。与监视控制系统和主从系统相比,协作机器人系统构造和操作更简单,制造和应用成本更低,与人类感知觉的联合更紧密,从而可以更直接地整合入手术场景^[28]。其应用范围已从穿刺活检、电极植入等立体定向手术拓展至显微外科手术、内镜手术、外视镜手术等。以内镜手术机器人系统为例,内镜手术中需进行电凝、切割、分离、止血等一系列复杂操作,稳定的持镜系统或助手辅助持镜可以使术者进行双手操作^[29],这就要求持镜系统或持镜助手对术野转换做出快速响应,迅速将内镜调整至适当角度,清晰显露视野。传统手术通常为第一助手人工持镜,需较长时间的人员培训,且手术时间较长,人员易疲劳,难以维持长时间的精准操作;也可借助持镜设备,如普通内镜固定支架和气动臂等,术中需根据术者要求调整内镜视野,操作繁琐^[30]且耗时较长,进行较复杂手术时可增加术者工作强度,加之价格昂贵,其临床应用受限;内镜手术机器人系统则可解决上述难题,可以替代持镜助手或持镜设备并根据术者指令移动内镜,无需繁琐的人工操作,动作迅速、定位准确、成本较低。然而目前神经外科手术协作机器人系统的临床应用仍较少,尽管有部分学者将立体定向手术机器人系统归为协作机器人系统^[31],但笔者认为,单纯应用于立体定向手术的机器人系统主要用于辅助精准定位病变,其本质更接近导航系统;协作机器人系统的作用主要为稳定操作(如手部稳定系统等)和辅助术野观察(如持镜机器人系统等),根据笔者的文献检索结果,目前有 Evolution 1、ROVOT-m、RoboticScope、iArmS、Craniostar 原型机等用于临床或模拟临床。

1. Evolution 1 手术机器人系统 Evolution 1 手术机器人系统(德国 Universal Robot Systems 公司)主要用于内镜手术中辅助持镜。该机器人系统效应端可连接内镜及高速钻头等多种手术器械,但需在传统光学导航系统的协助下定位移动。Zimmermann 等^[32]报告 3 例(中脑导水管狭窄、孤立

侧脑室额角、孤立侧脑室)采用 Evolution 1 手术机器人系统辅助内镜手术,均顺利完成手术,机器人系统设置及导航注册时间自 60 分钟降至 30 分钟,内镜操作时间为 17~65 分钟,均未见机器人系统操作相关不良事件。Vougioukas 等^[33]报告 2 例采用 Evolution 1 手术机器人系统辅助内镜下囊肿造瘘术,手术均获得成功且安全性良好。但该机器人系统作为最早的持镜机器人系统,灵活性较差,操作空间受限。Nimsky 等^[34]对其器械效应端进行改进并用于 2 例内镜下经蝶窦入路垂体大腺瘤切除术,均顺利完成手术且未发生手术相关并发症。2003 年, Nimsky 教授团队基于 Evolution 1(已停产)的经验又研发出 A73 手术机器人系统,经头部模型验证该机器人系统更轻便且更易操作,定位精准性、灵活性和安全性更高^[35]。

2. ROVOT-m 手术机器人系统 2017 年, Gonen 等^[36]研发出一款新型显微外视镜机器人系统 ROVOT-m(加拿大 Synaptive Medical 公司),其基本构造类似 Evolution 1、A73,不同的是,该机器人系统机械臂效应端负载电视显微镜即外视镜,为系统所专有,并可实现外视镜、机械臂、导航系统和计划工作站一体化。Gonen 等^[36]总结 200 例 ROVOT-m 手术机器人系统辅助神经外科手术病例(包括穿刺抽吸、病变切除、微血管减压、脑室内操作等),术后神经系统并发症发生率为 1.50%(3/200);6 例(3%)术后 30 天内死亡,其中 4 例术前诊断为脑出血,1 例为前颅底脑膜瘤,既往接受手术治疗并长期服用抗血小板药物,同时合并基础心肺疾病,术后出现颅内多发缺血及心力衰竭致死亡,1 例为动脉瘤破裂,夹闭后出现难治性颅内高压致死亡;无一例发生机器人系统操作相关并发症;进一步的学习曲线显示,晚期队列的临床医师进行复杂手术比例显著高于早期队列,且手术时间缩短,提示临床医师通过学习可以较好地掌握该机器人系统。然而该机器人系统整合外视镜与神经导航系统,组件较多、设备较大,且价格高达 120 万美元,严重限制其在基层医院及经济欠发达地区的推广应用。

3. RoboticScope 手术机器人系统 意大利圣拉斐尔生命健康大学 Piloni 等^[30]报告的 RoboticScope 手术机器人系统(奥地利 BHS Technologies 公司)是一款外视镜机器人系统,其机械臂头端为外视镜摄像头。应用时术者佩戴头戴式显示设备以显示外视镜视野,头戴式设备中的虚拟光标可随头部转动

而移动,术者选择不同功能对机械臂进行控制。有文献报道该机器人系统在 3 例额叶肿瘤手术中的应用反馈,可提高术者舒适度,无需切换传统显微外视镜,亦未见机器人系统操作相关不良事件^[30]。

4. iArmS 手术机器人系统 2012 年,日本信州大学、早稻田大学、东京女子医科大学多学科合作团队设计出机器人原型机 EXPERT,该设备可自动感应并跟随术者前臂固定于适当位置,充当手臂支持和稳定系统。体外模拟测试显示,该机器人系统可以缩短操作时间,减少术者疲劳感,减轻手部细微震颤,提高手术效率;应用于临床后亦未见机器人系统操作相关不良事件^[37]。iArmS 手术机器人系统(日本 Denso Corporation 公司)系 EXPERT 基础上改进的新一代稳定手部操作的机器人系统,其基本结构和运行模式与 EXPERT 相同,并增加警报及紧急制动装置以保证其安全性。首次应用于临床为内镜下经鼻蝶入路手术,术后仅术者报告主观体会:手部移动不受限且移动时无沉重感,无需繁琐耗时调整内镜,可减轻疲劳感,减少手部震颤,舒适度较高^[38]。此后,该机器人系统应用于临床共进行 108 例手术,87 例为颅内肿瘤,21 例为脑血管病(包括 7 例动脉瘤夹闭术、8 例微血管减压术、4 例颈动脉内膜切除术、1 例动静脉畸形、1 例血管搭桥术),采用根据视觉模拟评分(VAS)自行设计的量表评估机器人系统的有效性和安全性,结果显示,该机器人系统可以减轻术者疲劳感,减少手部震颤,且无机器人系统操作相关不良事件^[39]。亦有研究显示,该机器人系统辅助鼻内镜手术可以延长内镜擦拭时间间隔,提供更连续、清晰的内镜视野^[40]。

5. Craniostar 原型机 2009 年,德国海德堡大学和卡尔斯鲁厄大学研究小组共同研发出一款手持开颅机器人原型机 Craniostar,属于稳定手部操作的协作机器人系统^[41]。该机器人系统可接受导航定位信息、脚踏速度信息和钻头力反馈,及时纠正术者不安全操作;还可根据术前手术计划,驱动钻头钻颅,引导术者完成开颅。由于该机器人系统体积较小,可手持操作,从而较好地整合入手术室,且不影响手术流程。体外模拟测试其运行误差不足 1 毫米,应用于猪颅骨的安全性测试显示,该机器人系统不损伤颅骨且操作稳定^[41]。

6. 基于 3D 机器视觉的新型手术协作机器人 2022 年,解放军总医院第一医学中心陈晓雷教授团队研发出一款基于 3D 机器视觉的新型手术协作

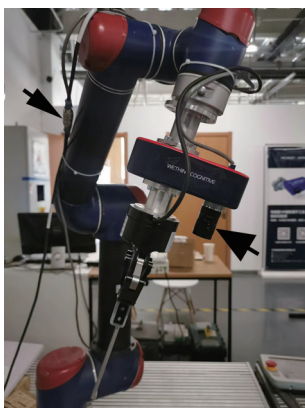


图 1 基于 3D 机器视觉的新型手术协作机器人 (粗箭头示视觉相机, 细箭头示机械臂)

Figure 1 A new surgical cooperative robot based on 3D machine vision (thick arrow indicates visual camera, thin arrow indicates robotic arm).

机器人^[42]。该机器人不依赖传统光学导航,而是通过 3D 视觉相机利用人工智能(AI)算法识别位于导引器工作鞘尾端的特定标记,自动计算工作鞘的最佳拟合角度,将固定于机械臂头端的内镜或外视镜移动至拟合导引器的最佳角度,保持与术野距离和镜头焦距不变,以便快速获得最佳观察角度和清晰术野(图 1)。体外模拟测试显示,该机器人具有较高定位精度,平均误差仅 1.14~1.60 毫米,工作效率较高,外视镜调整仅需 1 分钟,且视野清晰稳定^[42]。因无需整合传统光学导航系统,该新型手术协作机器人体积较小,重量较轻,方便移动,硬件成本仅为 ROBOT-m 的 1/30,相信其未来应用于临床手术中可用于内镜持镜,解放术者双手进行手术操作,从而显著提高手术效率。

综上所述,随着医学与工程学的不断融合发展,各种新型手术协作机器人系统逐渐突显优势并应用于临床。但现有研究多停滞于单纯定性评估定位精确性,而对临床疗效和术后并发症的定量评估较少。尽管多项体外模拟测试取得令人鼓舞的结果,但仍需大样本随机对照试验进一步证实神经外科手术协作机器人的临床价值。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Ball T, González-Martínez J, Zemmar A, Sweid A, Chandra S, VanSickle D, Neimat JS, Jabbour P, Wu C. Robotic applications in cranial neurosurgery: current and future[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 21:371-379.
- [2] Becker F, Morgül H, Katou S, Juratli M, Hölzen JP, Pascher A, Struecker B. Robotic liver surgery: current standards and future perspectives[J]. *Z Gastroenterol*, 2021, 59:56-62.
- [3] Wong SW, Ang ZH, Yang PF, Crowe P. Robotic colorectal surgery and ergonomics[J]. *J Robot Surg*, 2022, 16:241-246.
- [4] Davis M, Egan J, Marhamati S, Galfano A, Kowalczyk KJ, Retzius - sparing robot - assisted robotic prostatectomy: past, present, and future[J]. *Urol Clin North Am*, 2021, 48:11-23.
- [5] Fernandez-Pello S, Verma N, Kuusk T, Berezowska A, Mumtaz F, Patki P, Tran M, Barod R, Bex A. Perioperative impact of body mass index on upper urinary tract and renal robot-assisted surgery: a single high-volume centre experience[J]. *J Robot Surg*, 2022, 16:611-619.
- [6] Bankar GR, Keoliya A. Robot-assisted surgery in gynecology[J]. *Cureus*, 2022, 14:e29190.
- [7] Han ES, Advincula AP. Robotic surgery: advancements and inflection points in the field of gynecology[J]. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 2021, 48:759-776.
- [8] Lazar JF, Hwalek AE. A review of robotic thoracic surgery adoption and future innovations[J]. *Thorac Surg Clin*, 2023, 33: 1-10.
- [9] Jiao J, Guo J, Zhao J, Li X, Du M. A universal incision for robot-assisted thoracic surgery[J]. *Front Surg*, 2022, 9:965453.
- [10] Stumpo V, Staartjes VE, Klukowska AM, Golahmadi AK, Gadraj PS, Schröder ML, Veeravagu A, Stienen MN, Serra C, Regli L. Global adoption of robotic technology into neurosurgical practice and research[J]. *Neurosurg Rev*, 2021, 44:2675-2687.
- [11] Marcus HJ, Hughes-Hallett A, Cundy TP, Yang GZ, Darzi A, Nandi D. da Vinci robot - assisted keyhole neurosurgery: a cadaver study on feasibility and safety[J]. *Neurosurg Rev*, 2015, 38:367-371.
- [12] Bagga V, Bhattacharyya D. Robotics in neurosurgery[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2018, 100(6_sup):19-22.
- [13] Bravo J, Wali AR, Hirshman BR, Gopesh T, Steinberg JA, Yan B, Pannell JS, Norbash A, Friend J, Khalessi AA, Santiago-Dieppa D. Robotics and artificial intelligence in endovascular neurosurgery[J]. *Cureus*, 2022, 14:e23662.
- [14] Elsabeh R, Singh S, Shasho J, Saltzman Y, Abrahams JM. Cranial neurosurgical robotics[J]. *Br J Neurosurg*, 2021, 35:532-540.
- [15] Alan N, Patel A, Abou-Al-Shaar H, Agarwal N, Zenonos GA, Jankowitz BT, Gross BA. Intraparenchymal hematoma and intraventricular catheter placement using robotic stereotactic assistance (ROSA): a single center preliminary experience[J]. *J Clin Neurosci*, 2021, 91:391-395.
- [16] Wu L, Sun YW, Lu B, Zhou ZJ, Li FB, Li L. Clinical application of Rosa robot-assisted stereotactic intracranial biopsy[J]. *Zhongguo Lin Chuang Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2021, 26: 584-586.[鄒立, 孙允伟, 陆斌, 周子健, 李方宝, 李洛. Rosa 机器人辅助立体定向颅内活检术的临床应用[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2021, 26:584-586.]
- [17] Doddamani RS, Meena R, Sawarkar D, Singh P, Agrawal D, Singh M, Chandra PS. Robot-guided ventriculoperitoneal shunt in slit-like ventricles[J]. *Neurol India*, 2021, 69:446-450.
- [18] Peciu-Florianu I, Legrand V, Monfiliotte-Djelad A, Maurage CA, Vannod-Michel Q, Blond S, Touzet G, Reyns N. Frameless robot-assisted stereotactic biopsies for lesions of the brainstem: a series of 103 consecutive biopsies[J]. *J Neurooncol*, 2022, 157:109-119.
- [19] Wu S, Wang J, Gao P, Liu W, Hu F, Jiang W, Lei T, Shu K. A comparison of the efficacy, safety, and duration of frame-based and Remobot robot-assisted frameless stereotactic biopsy[J]. *Br J Neurosurg*, 2021, 35:319-323.
- [20] Azizian M, Liu M, Khalaji I, Sorger J, Oh D, Daimios S. The da Vinci Surgical System[M]//Abedin-Nasab MH. Handbook of robotic and image-guided surgery. Amsterdam: Elsevier, 2020: 3-28.
- [21] Marinho MM, Harada K, Morita A, Mitsuishi M. SmartArm: integration and validation of a versatile surgical robotic system for constrained workspaces[J]. *Int J Med Robot*, 2020, 16:

- e2053.
- [22] Pangal DJ, Cote DJ, Ruzevick J, Yarovinsky B, Kugener G, Wrobel B, Ference EH, Swanson M, Hung AJ, Donoho DA, Giannotta S, Zada G. Robotic and robot-assisted skull base neurosurgery: systematic review of current applications and future directions[J]. *Neurosurg Focus*, 2022, 52:E15.
- [23] Sutherland GR, Lama S, Gan LS, Wolfsberger S, Zareinia K. Merging machines with microsurgery: clinical experience with neuroArm[J]. *J Neurosurg*, 2013, 118:521-529.
- [24] Bader KB, Hendley SA, Bollen V. Assessment of Collaborative Robot (Cobot)-assisted histotripsy for venous clot ablation[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2021, 68:1220-1228.
- [25] Papanagiotou D, Senteri G, Manitsaris S. Egocentric gesture recognition using 3D convolutional neural networks for the spatiotemporal adaptation of collaborative robots[J]. *Front Neurobot*, 2021, 15:703545.
- [26] Ding D, Styler B, Chung CS, Houriet A. Development of a vision-guided shared-control system for assistive robotic manipulators[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22:4351.
- [27] Zhang W, Li H, Cui L, Li H, Zhang X, Fang S, Zhang Q. Research progress and development trend of surgical robot and surgical instrument arm[J]. *Int J Med Robot*, 2021, 17:e2309.
- [28] Taylor R, Jensen P, Whitcomb L, Barnes A, Kumar R, Stoianovici D, Gupta P, Wang Z, Dejuan E, Kavoussi L. A steady-hand robotic system for microsurgical augmentation[J]. *Int J Robot Res*, 1999, 18:1201-1210.
- [29] Liu J, Yao Y. The evolution of skull base surgery[J]. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2021, 21:621-626. [刘杰, 姚勇. 神经外科颅底手术进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2021, 21:621-626.]
- [30] Piloni M, Bailo M, Gagliardi F, Mortini P. Resection of intracranial tumors with a robotic-assisted digital microscope: a preliminary experience with robotic scope[J]. *World Neurosurg*, 2021, 152:e205-211.
- [31] Ahmed SI, Javed G, Mubeen B, Bareeqa SB, Rasheed H, Rehman A, Phulpoto MM, Samar SS, Aziz K. Robotics in neurosurgery: a literature review[J]. *J Pak Med Assoc*, 2018, 68:258-263.
- [32] Zimmermann M, Krishnan R, Raabe A, Seifert V. Robot-assisted navigated neuroendoscopy[J]. *Neurosurgery*, 2002, 51:1446-1451.
- [33] Vougioukas VI, Hubbe U, Hochmuth A, Gellrich NC, van Velthoven V. Perspectives and limitations of image-guided neurosurgery in pediatric patients[J]. *Childs Nerv Syst*, 2003, 19:783-791.
- [34] Nimsy CH, Rachinger J, Iro H, Fahlbusch R. Adaptation of a hexapod-based robotic system for extended endoscope-assisted transsphenoidal skull base surgery[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2004, 47:41-46.
- [35] Rachinger J, Bumm K, Wurm J, Bohr C, Nissen U, Dannenmann T, Buchfelder M, Iro H, Nimsy C. A new mechatronic assistance system for the neurosurgical operating theatre: implementation, assessment of accuracy and application concepts[J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2007, 85:249-255.
- [36] Gonen L, Chakravarthi SS, Monroy-Sosa A, Celix JM, Kojis N, Singh M, Jennings J, Fukui MB, Rovin RA, Kassam AB. Initial experience with a robotically operated video optical telescopic-microscope in cranial neurosurgery: feasibility, safety, and clinical applications[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42:E9.
- [37] Goto T, Hongo K, Yako T, Hara Y, Okamoto J, Toyoda K, Fujie MG, Iseki H. The concept and feasibility of EXPERT: intelligent armrest using robotics technology[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72 Suppl 1:39-42.
- [38] Ogiwara T, Goto T, Nagm A, Hongo K. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery using the iArmS operation support robot: initial experience in 43 patients[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42:E10.
- [39] Goto T, Hongo K, Ogiwara T, Nagm A, Okamoto J, Muragaki Y, Lawton M, McDermott M, Berger M. Intelligent surgeon's arm supporting system iArmS in microscopic neurosurgery utilizing robotic technology[J]. *World Neurosurg*, 2018, 119:e661-665.
- [40] Okuda H, Okamoto J, Takumi Y, Kakehata S, Muragaki Y. The iArmS robotic armrest prolongs endoscope lens-wiping intervals in endoscopic sinus surgery[J]. *Surg Innov*, 2020, 27:515-522.
- [41] Kane G, Eggers G, Boesecke R, Raczowsky J, Wörn H, Marmulla R, Mühling J. System design of a hand-held mobile robot for craniotomy[J]. *Med Image Comput Comput Assist Interv*, 2009, 12(Pt 1):402-409.
- [42] Xiong R, Zhang S, Gan Z, Qi Z, Liu M, Xu X, Wang Q, Zhang J, Li F, Chen X. A novel 3D-vision-based collaborative robot as a scope holding system for port surgery: a technical feasibility study[J]. *Neurosurg Focus*, 2022, 52:E13.

(收稿日期:2023-01-14)

(本文编辑:袁云)

欢迎订阅 2023 年《中国现代神经疾病杂志》

《中国现代神经疾病杂志》为国家卫生健康委员会主管、中国医师协会主办的神经病学类专业期刊。办刊宗旨为:理论与实践相结合、普及与提高相结合,充分反映我国神经内外科临床科研工作重大进展,促进国内外学术交流。所设栏目包括述评、专论、论著、临床病理报告、应用神经解剖学、神经影像学、循证神经病学、流行病学调查研究、基础研究、临床研究、综述、临床医学图像、病例报告、临床病理(例)讨论、新技术新方法等。

《中国现代神经疾病杂志》为北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2017年版(即第8版)和2020年版(即第9版)核心期刊以及国家科技部中国科技论文统计源期刊,国内外公开发行。中国标准连续出版物号:ISSN 1672-6731, CN 12-1363/R。国际大16开型,彩色插图,48页,月刊,每月25日出版。每期定价15元,全年12册共计180元。2023年仍由邮政局发行,邮发代号:6-182。请向全国各地邮政局订阅,亦可直接向编辑部订阅(免邮寄费)。

编辑部地址:天津市津南区吉兆路6号天津市环湖医院C座二楼,邮政编码:300350。

联系电话:(022)59065611, 59065612;传真:(022)59065631。网址:www.xdjb.org(中文), www.cjenn.org(英文)。