

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2024.01.003

引用格式:李啸林,胡火军,汪雷,等.机器人辅助神经内镜下颅内动脉瘤切除术[J].巴楚医学,2024,7(1):24-27.

# 机器人辅助神经内镜下颅内动脉瘤切除术



李啸林 胡火军 汪雷 高亚强 康昭 邵权

(三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院] 神经外科, 湖北 宜昌 443003)

**摘要:** 手术机器人可以在作出精准手术操作步骤的同时,帮助外科医生高效精密地执行手术任务,因此在神经外科手术中被应用推广。机器人辅助神经内镜下切除颅内动脉瘤(IA)手术不仅给神经外科医生提供更加便利、精确的手术操作过程,而且在大脑深部病灶及显微镜视野暴露不充分情况下,能明显减轻对重要神经和血管的损伤,从而让患者获得更好的手术治疗效果。本文介绍机器人辅助神经内镜下 IA 切除术的详细操作方法,为 IA 患者的临床治疗提供参考。

**关键词:** 机器人; 神经内镜; 颅内动脉瘤; 脑出血

**中图分类号:** R743.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-6113(2024)01-0024-04

**中文医学主题词(CMeSH):** D002532

## Robot-Assisted Neuroendoscopic Resection of Intracranial Aneurysm

Li Xiaolin Hu Huojun Wang Lei Gao Yaqiang Kang Zhao Shao Quan

(Department of Neurosurgery, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China)

**Abstract** Surgical robots can help surgeons perform surgical tasks efficiently and precisely while making precise surgical steps, so they are widely used in neurosurgery. Robot-assisted neuroendoscopic resection of intracranial aneurysm (IA) not only provides neurosurgeons with more convenient and accurate surgical procedures, but also significantly reduces damage to important nerves and blood vessels in the case of insufficient exposure of deep brain lesions and microscope field, so that patients can obtain better surgical treatment results. This paper will introduce the detailed operation methods of robot-assisted neuroendoscopic resection of IA to provide reference for the clinical treatment of patients with IA.

**Keywords** robot; neuroendoscopy; intracranial aneurysm; cerebral hemorrhage

颅内动脉瘤(intracranial aneurysm, IA)是发生在颅内动脉血管壁上的异常膨出,血管壁极易发生破裂。IA破裂发生率为2%~5%,是造成蛛网膜下腔出血最常见的原因<sup>[1-2]</sup>,并且首次破裂出血的致死率和致残率高达30%<sup>[3]</sup>。常规的手术治疗方式包括介入栓塞和开颅动脉瘤夹闭术,一般根据患者实际情况和病情选择治疗方案<sup>[4]</sup>。然而,对于大脑深部远端的微小动脉瘤,无论介入手术或是开颅夹闭,风险都较

大。因为大脑深部病灶存在手术视野死角,尽管有内窥镜、显微镜及有角度内镜的应用,一些重要的神经和血管往往难以避免被损伤<sup>[5]</sup>。神经外科手术机器人具有强大的辅助定位功能,机器人内置系统可以根据患者影像资料,辅以多种重建和融合技术,在选择最佳手术路径的同时有效保护正常脑组织<sup>[6]</sup>。在神经内镜的辅助下,发挥机器人精确、稳定的优势,从而以一种更为精准且损伤更小的方式来完成手术。

**基金项目:**湖北省自然科学基金项目(No: 2022CFB319)

**作者简介:**李啸林,男,硕士在读,研究方向为神经外科脑血管疾病。E-mail: 1335751383@qq.com

**通信作者:**胡火军,男,博士,主任医师,研究方向为神经外科脑血管疾病。E-mail: huojunhu@126.com

自 20 世纪 80 年代以来,神经外科医生首先将机器人辅助治疗运用于手术中,经过几十年的发展,神经外科手术机器人的发展趋于成熟,目前已有大量手术机器人成功辅助完成神经外科手术的病例<sup>[7]</sup>。目前国产神经外科机器人 Remebot 包含三个重要的部分:“脑”、“眼”、“手”。“脑”作为识别系统,可以自动融合 CT、MR、PET-CT 等多种影像,自动划分皮肤、骨骼、脑组织及血管并进行三维成像,可对任何三维成像模型进行叠加,规划出更为安全的手术路线;“眼”通过光学跟踪定位仪,快速精准地完成患者注册,还可以实时跟踪术中操作部位,应对各种手术突发情况;“手”为全自动化大臂展机械臂,可覆盖全脑,搭载多种手术器械,满足各种体位及手术路径需求。机器人辅助技术的加入在未来神经外科的发展中起到至关重要的作用。

## 1 手术适应症

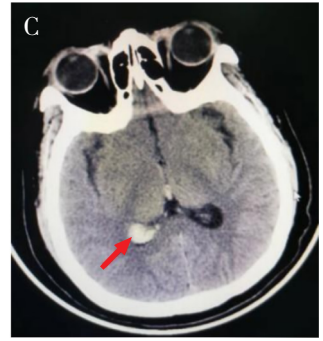
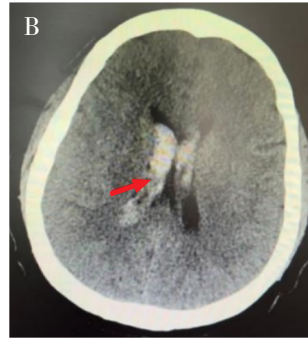
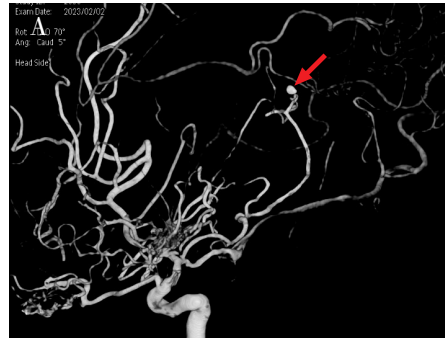
机器人辅助下的手术适应症:①脑深部电刺激术(deep brain stimulation, DBS):专用定位标志物,定位精准,自动注册几乎无误差,术中可二次验证,精度 $\leq 0.5$  mm;②立体定向脑电图技术(stereotactic electroencephalography, SEEG):模拟电极位置及路径,直观进行手术规划;③血肿抽吸引流:准确定位血肿位置及病灶范围,计算容量;④颅内活检:多模态影像融合,呈现病灶最佳靶点,通过 3 mm 骨孔抽取病理标本,有效降低颅内出血及感染风险;⑤经皮穿刺:配合介入、超声等科室,根据穿刺需求,实时机械臂定位;⑥视觉导航:可精准引导环境光下开颅手术,追踪微小病灶;⑦内镜导航定位:辅助医生持镜操作,实时定位内镜位置;⑧脊髓神经手术:光学跟踪定位仪全程监测患者呼吸节段运动,实时追踪定位手术部位。

## 2 手术过程



扫码观看视频, D002532-1)

患者,女,39 岁,因“5 天前头痛伴恶心呕吐”收入院,格拉斯哥昏迷量表(glasgow coma scale, GCS)评分 15 分,Hunt-Hess 分级 2 级。行全脑血管造影术示:脉络膜前动脉假性动脉瘤(见图 1A);头部 CT 示:侧脑室、第三脑室及第四脑室积血(见图 1B、1C)。遂于导管室行 IA 介入栓塞术,由于脉络膜前动脉近端狭窄,反复尝试后仍未进入远端血管,考虑因反复操作导致载瘤动脉损伤、出血,造成二次损伤,最终拔出各导管终止手术,拟在机器人辅助下行 IA 切除术。



注:A:全脑血管造影术示脉络膜前动脉假性动脉瘤;B:CT 示侧脑室出血灶;C:CT 示第三脑室出血灶

图 1 患者术前影像资料

### 2.1 导入患者影像资料及手术规划

术前于患者头部固定 6 枚影像定位材料,行薄层 CT 扫描( $\leq 1$  mm),将影像资料导入机器人主机,通过患者头部的定位材料对患者的影像资料进行分析处理,选择其中任意 4 个点(影像学标记),自定义排序,对患者头部骨骼、皮肤及脑组织进行三维重建(4 个点位的选择不在于同一平面)。

进行手术规划,分别在冠状位、矢状位及横断位上选定病灶所在的精确位置,使病灶处于三维立体图形中,然后选择合适的入颅点,手术机器人即可自动规划手术路径并显示入颅点至病灶的深度,保存手术规划路径。

### 2.2 注册患者与机械臂

患者取平卧位,头架固定头部,机器人主机与头架固定,保证机器人与头架的相对位置不变(见图 2)。

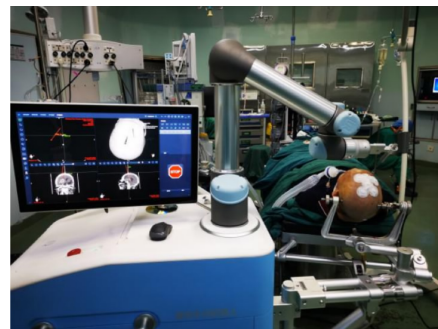
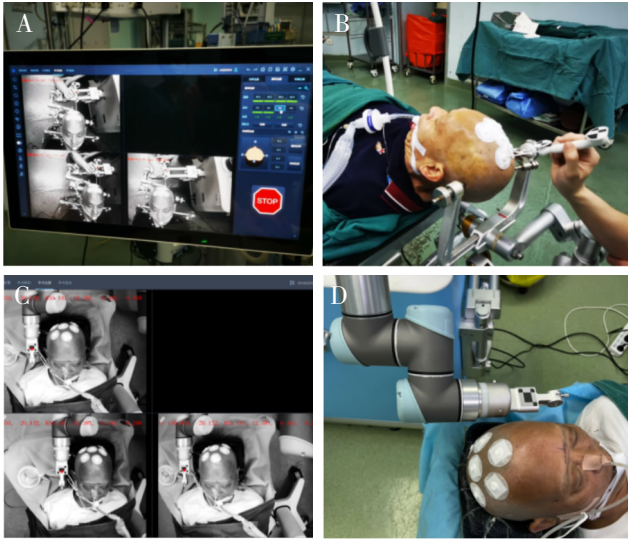


图 2 机器人与头架之间摆放位置  
连接光学定位追踪仪,利用探针和标记分别进行

患者注册和机械臂注册。患者注册:将探针针尖按自定义顺序,依次放在 4 个影像学标记上的凹陷位置,即可对患者进行注册(见图 3A、3B);机械臂注册:在机械臂末端插入标记,将机械臂分别放在患者右、左、上、前,即可进行机械臂注册(见图 3C、3D)。启动机械臂,测试机械臂运行轨迹,机械臂到达手术规划路线即为成功,在患者头部标记入颅点位,还原机械臂。

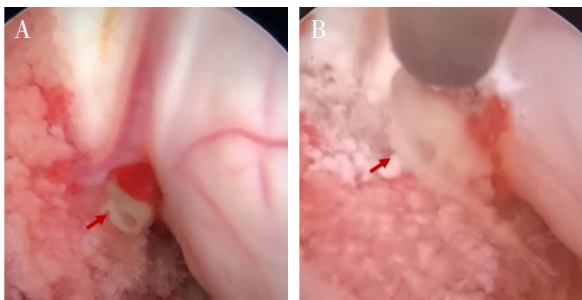


注:A、B:利用探针为患者注册; C、D:机械臂注册

图 3 患者注册与机械臂注册

### 2.3 机器人辅助神经内镜下 IA 切除术

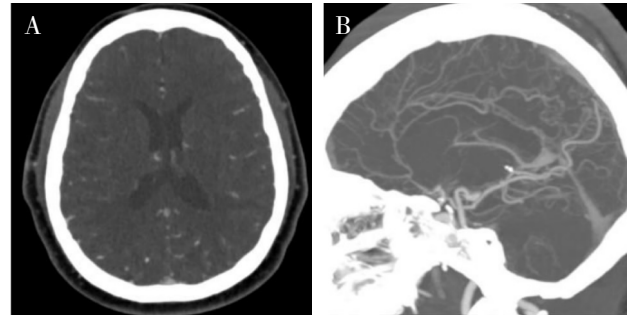
常规消毒铺巾,机械臂套无菌罩,再次启动机械臂,待机械臂到达手术规划位置后,于已标记的入颅点行头皮切开钻孔,接光源、显示器、脑室镜,根据 Remebot 定位的入颅位置及角度,分离血管和脑组织,置入脑室镜,探查侧脑室,于侧脑室后角可见一红色小结节,壁薄,与脉络膜前动脉分支相连,即为假性动脉瘤(见图 4A)。双极电凝电灼脉络膜前动脉分支,瘤体塌陷,在电灼瘤体后,取瘤钳取出,彻底止血(图 4B)。反复冲洗,清理血凝块,至冲洗液清亮,脑室无出血。脑室放置引流管一根,缝合硬膜,人工脑膜贴敷缺损处,还纳骨瓣,修补骨质缺损处,分层缝合头皮,机器人复位。



注:A:假性动脉瘤切除前; B:假性动脉瘤切除后

图 4 神经内镜下切除假性动脉瘤

术后常规抗感染及营养支持,患者恢复良好,术后复查头部 CT 脑室无出血,无积水,2 天后拔出引流管。出院时 GCS 评分 15 分,术后一月再次复查 CT 示:脑沟、脑裂及脑池无增宽,中线居中,双侧大脑半球血灌注无明显差异(见图 5A);CT 血管造影(CT angiography, CTA)示:动脉瘤不显影(见图 5B)。患者头痛头晕症状好转,语言流利,无特殊不适。



注:A:患者术后 CT 示脑沟、脑裂及脑池无明显增宽与出血; B:患者 CTA 示动脉瘤无显影

图 5 患者术后一月复查情况

### 3 讨论

脉络膜前动脉细长,此处 IA 瘤体形态较小,易发生破裂<sup>[8]</sup>。开颅夹闭术对脑组织和血管损伤范围大,且因供血动脉管壁薄、管腔细及血管迂曲,微导管插入到位较困难。机器人辅助神经内镜下行 IA 切除术,能获得更好的手术视野范围及更高的精准度(手术定位精度可达 0.5 mm),有效提高手术效果,并缩短患者住院时间。

神经内镜手术损伤小,成角内镜的特性进一步拓宽了手术视野,不仅可以观察动脉瘤及载瘤动脉的全貌,还可观察到瘤体背侧的情况,最大程度暴露这些重要结构<sup>[9]</sup>。神经内镜的小骨窗避免需要充分暴露动脉瘤所带来的神经损伤及出血,从而缩短手术时间,特别是对于 IA 伴严重基础疾病的患者,麻醉风险大大降低,患者术后恢复快、卧床时间短且感染风险低<sup>[10]</sup>。

机器人在神经外科疾病治疗中广泛应用,尤其对于颅内病理活检、SEEG、DBS 和肿瘤切除等复杂手术中有重要价值<sup>[11]</sup>。机器人定位系统通过融合患者影像,计算最佳手术入颅位置,简化人工操作步骤,避免因人为误差降低手术的精确性。目前大范围推广手术机器人还涉及一些问题,如:如何创建新的手术流程、外科医生的系统培训及机器人费用高昂等,同时仍需优化患者和机器人的注册过程,减少术前准备时间,进一步提高机器人辅助的手术效率。尽管还有

一些问题尚未解决,但随着人工智能在医学领域的不断发展,手术机器人的临床应用将会越来越普遍<sup>[12]</sup>。

手术机器人因其精准的识别、强大的处理和分析能力,可以优化和辅助手术医生的许多操作步骤。到目前为止,大多数手术机器人在不需要人工干预的情况下,自动执行手术和做出决定的能力非常有限<sup>[13]</sup>。机器人技术的应用为智能手术室的发展提供了基础,在人工智能处理信息的情况下,手术医生以最小的人工干预,达到最优治疗效果<sup>[14]</sup>。在这种情况下,机器人不仅能按照人为设定的固定模式进行操作,而且智能评估手术环境及患者情况及时作出调整来降低手术风险。手术机器人可以帮助神经外科医生执行高精度的复杂任务,特别是术前或术中结合 MR、CT 等影像学资料的导航定位,精准定位病变部位,可以真正做到术中实时追踪<sup>[15]</sup>,以最大限度保护神经组织的同时精准切除病变组织。

在未来,神经外科手术机器人结合先进的图像融合技术、机器人算法的学习和自主功能,能有望更加精准地显示完整的解剖结构,辅助定位,提高手术精度。有关神经外科手术机器人的研究方兴未艾,其临床应用前景也越来越广泛,必将在神经外科发展中扮演重要角色。

#### 参考文献:

- [1] Huang C, Hu D, Li K S. Identification of biomarkers in intracranial aneurysm and their immune infiltration characteristics[J]. *World Neurosurg*, 2022, 166: e199-e214.
- [2] Texakalidis P, Sweid A, Mouchtouris N, et al. Aneurysm formation, growth, and rupture: the biology and physics of cerebral aneurysms[J]. *World Neurosurg*, 2019, 130: 277-284.
- [3] Pontes F G B, da Silva E M, Baptista-Silva J C, et al. Treatments for unruptured intracranial aneurysms[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 5(5): CD013312.
- [4] 张彤宇, 刘 鹏, 向思诗, 等. 中国颅内破裂动脉瘤诊疗指南 2021[J]. *中国脑血管病杂志*, 2021, 18(8): 546-574.
- [5] Cinalli G, Cappabianca P, de Falco R, et al. Current state and future development of intracranial neuroendoscopic surgery[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2005, 2(3): 351-373.
- [6] Beaman C B, Kaneko N, Meyers P M, et al. A review of robotic interventional neuroradiology[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(5): 808-814.
- [7] Machetanz K, Grimm F, Wang S, et al. Patient-to-robot registration: the fate of robot-assisted stereotaxy[J]. *Int J Med Robot*, 2021, 17(5): e2288.
- [8] Lu C L, Feng Y G, Li H T, et al. Microsurgical treatment of 86 anterior choroidal artery aneurysms: analysis of factors influencing the prognosis[J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2020, 81(6): 501-507.
- [9] 周勤伟, 陈俊杰, 奚少东, 等. 神经内镜在破裂后交通动脉瘤锁孔入路手术中的应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2022, 45(3): 304-309.
- [10] Belavadi R, Gudigopuram S V R, Raguthu C C, et al. Surgical clipping versus endovascular coiling in the management of intracranial aneurysms[J]. *Cureus*, 2021, 13(12): e20478.
- [11] Khanna O, Beasley R, Franco D, et al. The path to surgical robotics in neurosurgery[J]. *Oper Neurosurg*, 2021, 20(6): 514-520.
- [12] Yeung E H L, Piper K, Farooq J, et al. Robotic arm-protected microsurgical pericallosal and middle cerebral artery aneurysm clipping: a technical note and case series[J]. *Oper Neurosurg*, 2023, 24(1): 88-93.
- [13] Kogkas A A, Darzi A, Mylonas G P. Gaze-contingent perceptually enabled interactions in the operating theatre[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, 12(7): 1131-1140.
- [14] Doulgeris J J, Gonzalez-Blohm S A, Filis A K, et al. Robotics in neurosurgery: evolution, current challenges, and compromises[J]. *Cancer Control*, 2015, 22(3): 352-359.
- [15] Beaman C B, Kaneko N, Meyers P M, et al. A review of robotic interventional neuroradiology[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(5): 808-814.

[收稿日期 2023-07-21]