

· 脑深部电刺激术 ·

基于视觉定位的国产机器人辅助脑深部电刺激电极植入的精准性研究

刘焕光 杨岸超 刘德峰 张建国

首都医科大学附属北京天坛医院神经外科 100070

通信作者:张建国, Email: zjguo73@126.com

【摘要】 目的 探讨基于视觉定位的国产神经外科手术机器人辅助脑深部电刺激术(DBS)电极植入的精准性和安全性。**方法** 回顾性分析 2018 年 10 月至 2019 年 6 月首都医科大学附属北京天坛医院神经外科收治的 15 例帕金森病患者的临床资料。所有患者均在国产手术机器人辅助下行 DBS,通过将术后头颅 CT 与术前手术规划影像融合,记录植入电极在横向(x 轴)和纵向(y 轴)的距离偏差。观察术后相关并发症的发生情况。**结果** 15 例患者共植入 30 根 DBS 电极,其中植入丘脑底核 26 根,苍白球内侧部 4 根。电极尖端与计划靶点在 x 轴上的距离偏差为 (0.60 ± 0.33) mm $(0.10 \sim 1.34)$ mm;在 y 轴上的距离偏差为 (0.45 ± 0.24) mm $(0.02 \sim 0.83)$ mm。术中、术后无一例发生电极相关出血事件,无颅内感染、手术切口愈合不良情况发生。**结论** 在国产神经外科手术机器人辅助下行 DBS,其电极植入的误差小,且无手术相关并发症。

【关键词】 深部脑刺激法; 帕金森病; 机器人; 精准性

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.10.003

Accuracy study of electrode implantation of robot-assisted deep brain stimulation based on visual registration

Liu Huangguang, Yang Anchao, Liu Defeng, Zhang Jianguo

Department of Neurosurgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

Corresponding author: Zhang Jianguo, Email: zjguo73@126.com

【Abstract】 Objective To evaluate the accuracy and safety of electrode implantation of deep brain stimulation (DBS) with visual registration-based robot assistance. **Methods** The clinical data of 15 patients with Parkinson's disease (PD) admitted to Department of Neurosurgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University from October 2018 to June 2019 were retrospectively analyzed. All those patients underwent DBS assisted with neurosurgical robot (Remebot system). The distance deviations of implanted electrodes in the lateral direction (x -axis) and longitudinal direction (y -axis) were documented according to postoperative CT fused with preoperative imaging of surgical plan. Postoperative complications were documented as well. **Results** A total of 30 DBS electrodes were successfully implanted in 15 patients. Twenty-six electrodes were implanted into the subthalamic nucleus and 4 into the globus pallidus internus. The x -axis distance deviation between the tip of electrode and planned target ranged from 0.10 mm to 1.34 mm, and the average distance deviation was 0.60 ± 0.33 mm. The y -axis distance deviation ranged from 0.02 mm to 0.83 mm, and the average distance deviation was 0.45 ± 0.24 mm. There were no electrode-related bleeding events, intracranial infection or surgical incision non-healing. **Conclusion** DBS with assistance of neurosurgical robot seems to be associated with relatively little deviation in electrode implantation and no surgery-related complications.

【Key words】 Deep brain stimulation; Parkinson disease; Robotics; Accuracy

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.10.003

脑深部电刺激术(deep brain stimulation, DBS)治疗运动障碍性疾病的效果已获得全世界的公认。DBS 的流程主要包括:术前评估,主要评价患者用药后统一帕金森病评分量表(unified Parkinson's disease rating scale, UPDRS)评分的改善率、认知和抑郁焦虑状况;术前影像定位,计算靶点坐标;术中记录神经电生理信号以确定靶点的位置;植入刺激

电极至目标靶点;体外临时电刺激,观察症状的改善程度及有无不良反置;置入并连接脉冲发生器;术后 2~4 周开启脉冲发生器,根据患者的病情和耐受程度设定刺激参数^[1]。其中,靶点定位是整个手术流程中最重要的步骤,直接决定 DBS 的治疗效果^[2]。近几十年来,神经影像、神经导航技术快速发展,机器人技术又将机械工程与前两者结合后应用于

DBS,从而使其具备了微创、高效、精准等优势,应用越来越为广泛^[3]。基于视觉定位的睿米机器人(Remebot)为第一个获中国食品药品监督管理局批准的国产神经外科手术机器人,现将其辅助 DBS 电极植入的精准性和安全性进行初步总结。

资料与方法

1. 一般资料:回顾性分析 2018 年 10 月至 2019 年 6 月首都医科大学附属北京天坛医院神经外科收治的 15 例帕金森病患者的临床资料,均行睿米机器人辅助 DBS。其中男 8 例,女 7 例;年龄为(55.6 ± 8.9)岁(45~65 岁);病程为(8.9 ± 2.3)年(6~15 年)。纳入标准:患者的药物改善率 > 30% (以 UPDRS 评分为评估标准),无认知障碍,无明确手术禁忌证^[4]。所有患者及家属均知情同意并签署知情同意书。本研究获得首都医科大学附属北京天坛医院伦理委员会批准(批准号:QX201600-706)。

2. 术前准备:术前 1~2 d,患者行 3.0 T MRI (德国 Siemens 公司)扫描,扫描序列包括 T1 加权成像(T1WI)矢状位和轴位(层厚为 1 mm)、T2 加权成像(T2WI)轴位和冠状位(层厚为 2 mm)、T1-液体衰减反转恢复序列 (FLAIR) 矢状位和轴位(层厚为 1 mm)。手术当日,将 Leksell 框架固定于患者头部,并安装适配于框架的定位标记,然后行头颅 CT 扫描(层厚为 0.625 mm),图像数据传输至睿米机器人工作站(北京柏惠维康科技有限公司)后进行图像融合,设计刺激靶点和入颅点,手术路径应避开脑沟和脑室(图 1A)。

3. 手术过程和术后处理:患者取仰卧位,以 Leksell 框架连接睿米机械臂。三目摄像头固定于专

用支架并摆位于患者头部上方特定高度,确保正确识别头部标记,通过视觉定位法自动完成患者注册(注册误差 < 0.30 mm)。机械臂摆位自动完成机械臂注册(注册误差 < 0.08 mm)。注册完成后,在机械臂引导下按手术计划设计手术切口,常规消毒,以特制无菌塑料巾覆盖头部和特制支架,机械臂和台车套特制无菌套。切开头皮,颅骨钻孔后行第 2 次术中注册,然后以定位标记顶端开孔(直径为 2 mm)为靶点进行精准度的验证。验证通过后,切开硬脑膜,机械臂定位靶点和入颅点。将微电极电生理记录系统的微推进器连接至机械臂,置入套管针,并植入微电极。如记录到典型核团信号且记录长度满意,则拔出微电极,植入 DBS 电极并给予临时刺激,测试患者的症状缓解情况,增加电压观察有无不良反应出现。手术后患者均复查头颅 CT(层厚为 0.625 mm),观察有无颅内出血。

4. 电极植入的精准度和手术安全性评价:将术后 CT 图像导入睿米机器人工作站,并与术前手术规划相融合(图 1B)。计算每根植入电极的尖端与手术规划中靶点在 x 轴和 y 轴上的距离。术后随访时记录电极植入相关出血事件、颅内感染、切口愈合不良等并发症。

结 果

15 例患者共植入 30 根电极,其中植入丘脑底核 26 根,苍白球内侧部 4 根。15 例患者的术后 CT 结果显示,电极植入位置满意,与术前规划图像融合后,可见 DBS 电极尖端位置和植入路径与术前规划基本一致。电极尖端与计划靶点在 x 轴上的距离偏差为(0.60 ± 0.33)mm(0.10~1.34 mm);在 y 轴上的距离偏差为(0.45 ± 0.24)mm(0.02~0.83 mm)。本组术后无死亡病例,无电极相关出血事件、颅内感

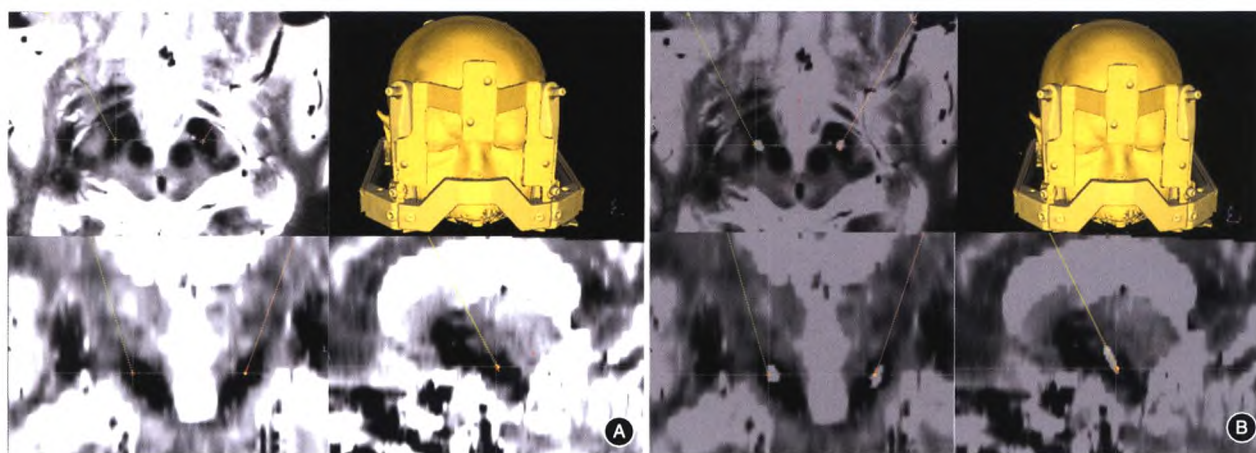


图 1 帕金森病患者应用睿米机器人辅助脑深部电刺激电极植入前、后的影像学图片 A.将术前头颅 MRI 与 CT 定位图像融合,设计靶点及手术路径;B.术后 CT 与术前规划影像融合结果,可见术后电极的位置与手术计划相符

染、手术切口愈合不良情况发生。

讨 论

目前,国际上应用的机器人主要有机器人立体定向手术辅助系统(robot of stereotactic assistant, ROSA)^[5]和 Neuromate 机器人^[6],其他机器人包括 Puma 200^[7]、Renaissance^[8]、Minerva^[9]、MKM^[10]、Surgiscope^[11]、iSYS1^[12]、RONNA G3 机器人^[13]。机器人辅助神经外科手术包括活组织检查、电极植入、电极毁损、立体定向抽吸、神经导航以及放疗等。国内神经外科应用的自动臂机器人系统主要为 ROSA 机器人^[14]、睿米机器人^[15]以及华科精准机器人。Remebot 系统具有机械臂工作空间大、注册流程简单、摆位灵活、定位精度高等特点,其在首都医科大学附属北京天坛医院神经外科的年使用量已达 300 台次以上(数据待发表)。

1. 机器人辅助电极植入的精准性: Vakharia 等^[16]在立体脑电图(stereoencephalography, SEEG)深部电极植入术的研究中发现,入颅点的平均误差为 1.17 mm,靶点的平均误差为 1.71 mm。Lefranc 等^[17]在 ROSA 机器人辅助下行 SEEG 脑深部电极植入术,采用表面注册法植入 31 根电极,平均偏差为 1.22 mm,最大偏差为 2.17 mm,其中使用头皮标记注册法植入 24 根电极,平均偏差为 0.72 mm,偏差范围为 0.50 ~ 1.46 mm;采用颅骨标记注册法植入 7 根电极,平均偏差为 0.42 mm,偏差范围为 0.30 ~ 0.72 mm。由此可见,颅骨标记注册法可能更加精准。在 DBS 电极植入方面,国内外以 ROSA 系统应用最为广泛。Neudorfer 等^[18]在针对 DBS 电极植入的研究中发现,机器人辅助和常规框架植入的精度分别为 (0.76 ± 0.37) mm(范围为 0.17 ~ 1.52 mm)和 (1.11 ± 0.59) mm(范围为 0.10 ~ 2.90 mm),两组的差异有统计学意义($P < 0.001$);当研究两组偏差超过 2.00 mm 的比例时发现,常规框架植入组中,有 8.75% ($n = 7$) 的电极植入偏差 > 2.0 mm;而机器人引导的 DBS 植入电极偏差均未达到此阈值。此外,该研究还对手术耗时进行了比较,机器人引导的 DBS [(325.1 ± 81.6) min] 与框架植入方法 [(394.8 ± 66.6) min] 比较,DBS 手术的耗时明显减少($P < 0.001$)。国内杨兴旺等^[19]的相关研究结果显示,电极尖端距靶点的偏差在 x 轴上为 (0.68 ± 0.43) mm ($0.09 \sim 2.13$ mm),在 y 轴上为 (0.63 ± 0.29) mm ($0.21 \sim 1.50$ mm)。本研究为睿米机器人在 DBS 手术中的首次应用,30 根电极的位置和植入路径与术

前规划基本一致, x 轴上的距离偏差为 (0.60 ± 0.33) mm ($0.10 \sim 1.34$ mm), y 轴上的距离偏差为 (0.45 ± 0.24) mm ($0.02 \sim 0.83$ mm)。该结果与既往 ROSA 机器人的相关研究结果类似。

2. 睿米机器人辅助 DBS 电极植入的特点:(1)头架安装相对简单,虽然该方法未能完全摆脱头架,但框架仅起到固定作用,相较于传统框架系统,应用睿米机器人降低了对临床医生安装头架的技术要求。(2)传统框架系统的电极植入误差可能来源于影像融合及硬件系统固有误差、框架形变误差、人工读数误差等,而睿米机器人误差仅来自于影像融合及硬件系统固有误差,精准性可能更高。(3)术中更换 DBS 靶点便捷,靶点更改后,机械臂可自动到达所需位置。(4)术中机械臂可严格按照术前规划路径到达规划靶点,故入点更精确,硬膜上的开口小,脑脊液流失和颅内积气更少,可在一定程度上提高电极植入的准确性。术后 CT 与术前规划图像融合后,实际电极植入路径可与规划路径基本重合,可更精准地判断电极偏差。(5)术中可通过标记物验证点对电极植入偏差进行预先评估,使电极植入更加精准。(6)无需额外作颅骨标记,相较于 ROSA 系统,创伤更小。(7)睿米机器人基于视觉定位注册,其注册过程可实现自动化,较 ROSA 系统用时更少。(8)机器人辅助手术的术前准备过程稍复杂,包括摄像头和机器人的摆位、机器人注册等。(9)ROSA 系统可于术前 1 d 固定颅骨标记,行定位 CT 扫描以及手术规划,Remebot 系统仍需手术当日行定位 CT 扫描并进行手术规划。

综上所述,Remebot 系统辅助 DBS 电极植入的整体定位精度高,具有良好的精准性、安全性以及稳定性,可基本满足临床定位的需求,值得临床推广应用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 孟凡刚,王乔. 脑深部电刺激治疗帕金森病的现状及展望[J]. 中华神经医学杂志,2019,18(1):12-16. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2019.01.002.
- [2] 耿肇佚,何江弘,王守岩. 脑深部电刺激靶点定位方法的现状及进展[J]. 中华神经外科杂志,2015,31(9):964-967. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2015.09.026.
- [3] 刘德峰,王秀,张勇,等. Tirobot Cranial 立体定向手术机器人辅助脑深部电极植入定位精度的研究[J]. 临床神经外科杂志,2018,15(2):81-84. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7770.2018.02.001.
- [4] 中国帕金森病脑深部电刺激疗法专家组. 中国帕金森病脑深部电刺激疗法专家共识[J]. 中华神经外科杂志,2012,28(8):855-857. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2012.08.037.
- [5] De Benedictis A, Trezza A, Carai A, et al. Robot-assisted procedures in pediatric neurosurgery[J]. Neurosurg Focus, 2017, 42(5):E7. DOI: 10.3171/2017.2.FOCUS16579.
- [6] Cardinale F, Cossu M, Castana L, et al. Stereoelectroen-

- cephalography: surgical methodology, safety, and stereotactic application accuracy in 500 procedures[J]. Neurosurgery, 2013, 72 (3): 353-366; discussion 366. DOI: 10. 1227/NEU.0b013e31827d1161.
- [7] Slim K, Nini E, Forestier D, et al. Methodological index for non-randomized studies (minors): development and validation of a new instrument[J]. ANZ J Surg, 2003, 73(9):712-716.
- [8] Grimm F, Naros G, Gutenberg A, et al. Blurring the boundaries between frame-based and frameless stereotaxy: feasibility study for brain biopsies performed with the use of a head-mounted robot[J]. J Neurosurg, 2015, 123 (3): 737-742. DOI: 10. 3171/2014.12.JNS141781.
- [9] Glauser D, Fankhauser H, Epitoux M, et al. Neurosurgical robot Minerva: first results and current developments[J]. J Image Guid Surg, 1995, 1 (5): 266-272. DOI: 10. 1002/(SICI)1522-712X(1995)1:5<266::AID-IGS2>3.0.CO;2-8.
- [10] Willems PW, Noordmans HJ, Ramos LM, et al. Clinical evaluation of stereotactic brain biopsies with an MKM-mounted instrument holder[J]. Acta Neurochir (Wien), 2003, 145(10): 889-897; discussion 897. DOI: 10. 1007/s00701-003-0112-4.
- [11] Bekelis K, Radwan TA, Desai A, et al. Frameless robotically targeted stereotactic brain biopsy: feasibility, diagnostic yield, and safety[J]. J Neurosurg, 2012, 116 (5): 1002-1006. DOI: 10. 3171/2012.1.JNS111746.
- [12] Minchev G, Kronreif G, Martínez-Moreno M, et al. A novel miniature robotic guidance device for stereotactic neurosurgical interventions: preliminary experience with the iSYS1 robot[J]. J Neurosurg, 2017, 126 (3): 985-996. DOI: 10. 3171/2016.1.JNS152005.
- [13] Dlaka D, Švaco M, Chudy D, et al. Brain biopsy performed with the RONNA G3 system: a case study on using a novel robotic navigation device for stereotactic neurosurgery [J]. Int J Med Robot, 2018, 14(1). DOI: 10. 1002/rcs. 1884.
- [14] 许峰, 杨兴旺, 孙霄, 等. ROSA 机器人骨性标记点矫正注册法在脑深部电刺激术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(1): 56-58. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1001-2346. 2019. 01. 014.
- [15] 王佳, 赵全军, 史铁钧, 等. 睿米神经外科医疗机器人精度误差分析[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2019, 24(5): 216-219. DOI: 10. 11850/j. issn. 1009-122X. 2019. 05. 007.
- [16] Vakharia VN, Sparks R, O'Keeffe AG, et al. Accuracy of intracranial electrode placement for stereocephalography: A systematic review and meta-analysis[J]. Epilepsia, 2017, 58(6): 921-932. DOI: 10. 1111/epi. 13713.
- [17] Lefranc M, Capel C, Pruvot AS, et al. The impact of the reference imaging modality, registration method and intraoperative flat-panel computed tomography on the accuracy of the ROSA® stereotactic robot[J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2014, 92(4): 242-250. DOI: 10. 1159/000362936.
- [18] Neudorfer C, Hunsche S, Hellmich M, et al. Comparative Study of Robot-Assisted versus Conventional Frame-Based Deep Brain Stimulation Stereotactic Neurosurgery [J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2018, 96(5): 327-334. DOI: 10. 1159/000494736.
- [19] 杨兴旺, 陶英群, 金海, 等. ROSA 辅助脑深部电刺激术的精准性研究[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2017, 22(2): 60-62. DOI: 10. 11850/j. issn. 1009-122X. 2017. 02. 005.

(收稿:2019-08-10 修回:2019-08-28)

(本文编辑:孙丽娜)

· 启事 ·

欢迎微信订阅中华神经外科杂志

本刊已经开通微信公众号,推介最新的期刊内容和重点文章,以方便作者和读者与编辑部建立快捷的联系渠道,从而更好地发挥学术传播作用。

欢迎广大读者订阅!

中华神经外科杂志编辑部

扫描下方二维码关注微信公众号,直接微店订阅



中华神经外科编辑部
微信公众号: zhsjwkzz