

·临床研究·

睿米神经外科医疗机器人精度误差分析

王 佳, 赵全军, 史铁钧, 王 涛, 崔绍杰, 赵德鹏, 袁旭君

【摘要】目的 测量睿米神经外科医疗机器人辅助下行无框架立体定向手术的精度。**方法** 回顾性分析 26 例在睿米神经外科医疗机器人引导下无框架立体定向手术的病例资料,其中活检术 10 例,电极植入及病灶毁损术 9 例,血肿置管引流术 7 例。根据穿刺器械刚性程度分为活检毁损组(靶点 14 个)、电极植入组(靶点 13 个)与置管引流组(靶点 9 个)。通过术前计划影像资料与术后影像资料融合,测量实际靶点与规划靶点之间的三维空间距离。**结果** 活检毁损组精度误差为 (1.330 ± 0.566) mm,电极植入组精度误差 (2.404 ± 0.878) mm,置管引流组 (6.188 ± 4.103) mm。与电极植入组以及置管引流组比较,活检毁损组精度误差较小,差异均具有统计学意义(均 $P < 0.05$);电极植入组与置管引流组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 电极与引流管均为软性材质,入颅后漂移移位导致定位误差增大。活检针与毁损电极均为刚性材质,不易移位,可真实反映睿米定位精度。

【关键词】 机器人; 立体定位技术; 无框架; 精度误差

中图分类号: R651.1

文献标志码: A

doi: 10.11850/j.issn.1009-122X.2018.01.006

Analyze the accuracy error of neurosurgical medical robot Remebot

Wang Jia1, Zhao Quanjun2, Shi Tiejun2, Wang Tao2, Cui Shaojie2, Zhao Depeng3, Yuan Xujun3

1. The 306th Clinical College of PLA, Anhui Medical University, Beijing, 100101, China; 2. Stereotactic and Neurofunctional Center, the 306th Hospital of PLA, Beijing, 100101, China; 3. Beijing Baihuiweikang Technology Company, Beijing 100191, China

Abstract: Objective To measure the clinical accuracy in the frameless stereotactic neurosurgery assisted by the neurosurgical robot Remebot. Methods Clinical data of 26 patients undergoing the frameless stereotactic neurosurgery assisted by the medical robot Remebot were analyzed retrospectively, including biopsy in 10 cases, implantation of electrodes for stereo-electroencephalography (SEEG) in 9 and hematoma drainage in 7. According to the material of puncture instrument, the targets were divided into biopsy-coagulation group (n=14), SEEG implantation group (n=13) and drainage tube insertion group (n=9). The postoperative CT imaging was fused with the preoperative planning on CT or MRI imaging, and then the three-dimensional space distance between the real target and the planned target was measured. Results The accuracy error was 1.330 ± 0.566 mm in biopsy-coagulation group, 2.404 ± 0.878 mm in SEEG implantation group and 6.188 ± 4.103 mm in drainage tube insertion group. The accuracy error of biopsy-coagulation group was less than that of SEEG implantation group and drainage tube insertion group with statistics difference (all $P < 0.05$). There was no statistics difference between SEEG implantation group and drainage tube insertion group ($P > 0.05$). Conclusions The electrode and drainage-tube are made of soft material, their position might shift in brain tissue, which can cause an increment of the accuracy error. The needle applied in the biopsy and coagulation procedure is rigid, which can reflect the realistic positioning accuracy of the neurosurgical robot Remebot.

Key words: robot; stereotaxic techniques; frameless; accuracy error

随着人工智能与微创理念提出,微创技术需求推动了机器人技术发展与应用^[1]。机器人技术在跟踪、主动识别、远程控制等方面发展很快,很多神经外科中心将其应用于临床手术^[2]。本研究选取解放军 306 医院立体定向及脑功能性疾病诊治中心 2015 年 11 月-2017 年 7 月 26 例采用睿米神经外科医疗机器人引导下无框架立体定向手术病人

为研究对象,测量电极植入、活检毁损术与血肿置管引流术的精度误差,比较三者之间的精度误差大小,进一步明确影响误差的因素,降低精度误差,实现高精度的微创外科手术。

1 对象与方法

1.1 临床资料 收集 2015 年 11 月-2017 年 7 月解放军 306 医院收治的 26 例病人手术前后影像学资料,均在睿米神经外科医疗机器人引导下无框架立体定向手术,其中癫痫 9 例,共植入颅内电极 13 枚,毁损灶 4 处;颅内占位活检 10 例,每例活检 1 处,活检术后置管引流 1 根;脑出血血肿置管引流

基金项目: 首都临床特色应用研究与成果推广(Z161100000516199)

作者单位: 100101 北京,安徽医科大学解放军 306 临床学院(王佳); 100101 北京,解放军 306 医院立体定向及脑功能性疾病诊治中心(赵全军、史铁钧、王涛、崔绍杰); 100101 北京柏惠维康科技有限公司(赵德鹏、袁旭君)

通讯作者: 赵全军,Email: docto@sina.com

术 7 例,置入引流管 8 根,其中 6 例置管 1 根,1 例置管 2 根。睿米神经外科医疗机器人由北京柏慧维康科技有限公司提供,产于中国北京。

1.2 方法

1.2.1 分组: 根据穿刺材质刚性程度分为 3 组。

- ①活检毁损组 14 个靶点,其中活检 10 处,毁损灶 4 处;
- ②电极植入组 13 个靶点,共植入 13 枚电极;
- ③置管引流组 9 个靶点,包括血肿腔置管 8 根及活检

术后置管 1 根。

1.2.2 手术方法 (图 1~3): ①病人术前行 CT 扫描定位,确定靶点。②使用睿米机器人验证靶点,验证精度达到手术要求后,进行机械臂运动轨迹模拟。③确认安全后启动机械臂,标记入颅点,常规消毒,切开入颅点头皮 2 mm,经皮钻骨孔进行电极植入、穿刺活检或置管引流术^[3-6]。

1.2.3 精度测量 (图 1~3): ①活检毁损组:打开

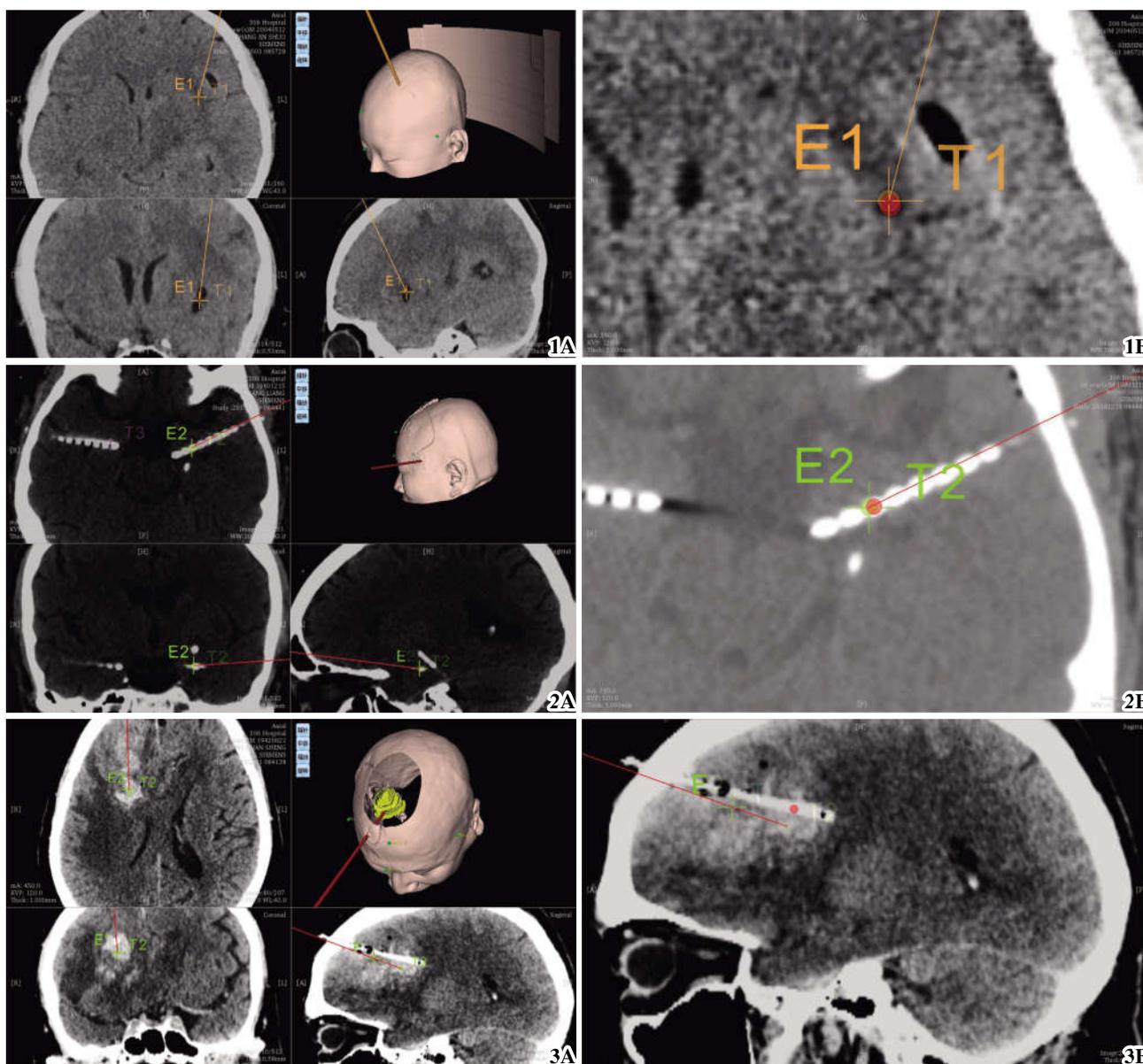


图 1 活检毁损组精度误差测量 1A 术前及术后影像资料融合;手术规划路径及术前规划靶点(T1) 1B 测量实际靶点与规划靶点之间的三维空间距离:通过软件点取活检痕迹的中心作为实际靶点与术前规划靶点(T1)之间的距离(红圆与黄圆圆心的三维距离),如图示参考点至靶点的距离 **图 2 电极植入精度误差测量** 2A 术前及术后影像资料融合;手术规划路径及术前规划靶点(T2) 2B 测量实际靶点与规划靶点之间的三维空间距离:电极植入靶下 10 mm 电极轮廓的中心与术前规划靶点(T2)之间的距离(红圆与绿圆圆心的三维距离),如图示参考点至靶点的距离 **图 3 置管引流精度误差测量** 3A 术前及术后影像资料融合;手术规划路径及术前规划靶点(T2) 3B 测量实际靶点与规划靶点之间的三维空间距离:通过软件点取引流管口轮廓的中心作为实际靶点与术前规划靶点(T2)之间的距离(红圆与绿圆圆心的三维距离),如图示参考点靶点的距离

睿米神经外科医疗机器人主控计算机融合软件的手术规划,导入术后CT影像学资料。先进行术前计划图像与术后影像学资料融合(图1A),点击活检痕迹中心作为实际靶点,软件自动计算实际靶点与规划靶点之间的三维空间距离(即精度误差,图1B)。

②电极植入组:方法同活检毁损组,进行术前计划影像和术后影像学资料融合(图2A),通过软件点取电极轮廓(电极点在CT成像)中心作为实际靶点,软件自动计算此点对应规划靶点的精度误差(图2B)。

③置管引流组:方法同活检毁损组,先进行术前计划图像与术后影像学资料融合(图3A),依据实际手术情况,点取引流管轮廓(引流管在CT成像)中心作为实际靶点(图3B),软件自动计算此点对应规划靶点的精度误差。

1.3 统计学处理 采用SPSS20.0统计软件,本研究数据为正态分布,计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,由于三组数据方差不齐,采用单因素方差分析中Welch检验进行总体比较,组间两两比较采用Dunnnett T3检验;方差齐的两组定量样本比较采用独立样本t检验;以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

睿米神经外科医疗机器人辅助下无框架定位精度误差由小到大依次为:活检毁损组 (1.330 ± 0.566) mm、电极植入组 (2.404 ± 0.878) mm、置管引流组 (6.188 ± 4.103) mm。

采用单因素方差分析Welch检验进行总体比较,三组总体精度误差比较,差异具有统计学意义($F = 26.94, P = 0.001$);采用Dunnnett T3检验进行组间两两比较,活检毁损组分别与电极植入组和置管引流组比较,差异具有统计学意义(P 分别为0.004和0.021);置管引流组和电极植入组比较,差异无统计学意义($P = 0.068$)。

由于置管引流组精度误差较大,考虑引流管为软性材质,入颅后可自行漂移,并随着部分血肿排空而明显移位,导致与术前规划的误差增大,本研究按相同方法增测了置管引流组入颅点精度误差,数值为 (1.412 ± 0.415) mm,再次与活检毁损组靶点精度误差进行比较,经方差齐性检验,两组方差齐,采用独立样本t检验,无明显差异($t = -0.400, P = 0.713$)。

3 讨论

立体定向手术以精准、微创为特点,既可作为局部治疗手段,又能诊断颅内病变性质^[7],可根据病

变形态与部位进行手术规划,显著减少病人手术创伤。应用无框架立体定向系统,机器人辅助立体定向活检术^[8]、置管引流术等^[9]具有精准性、简易性、有效性及微创性等特点。

睿米神经外科机器人将计算机手术规划平台、视觉手术跟踪平台与机器人操作平台融为一体^[10],机械臂在视觉引导下完成对手术器械的定位和跟踪,又能作为实际定向手术操作平台,简化了手术操作步骤,提高了手术精确度,同时明显提高工作效率。睿米神经外科机器人采用6度机械臂^[11],可在三维空间里精准移动器械,可搭载各种不同直径的电极、活检针、引流管等,在狭小手术空间进行操作,可准确到达头颅各个位置,现已广泛应用于各种类型的神经外科手术,如顽固性癫痫电极植入术^[3]、脑囊虫摘除术^[12]、颅内占位活检术^[4,13]与颅内血肿置管引流术等^[5-6]。

毛之奇等^[14]在ROSA机器人辅助下行脑深部电极植入术,共植入电极37根,电极尖端最大偏差距离为8.79 mm、最小偏差距离为1.14 mm,平均 (3.65 ± 1.82) mm。CARDINALE等^[15]在Neuromate机器人辅助下行脑深部电极植入术,共植入电极1567根,植入靶点偏差0.08~15.40 mm,平均2.02 mm。前期临床实验显示:睿米神经外科机器人在活检术定位误差为 (1.48 ± 0.62) mm^[4]。随着操作者对睿米机器人操作熟练度增加,定位与操作均更精准,精度误差较前有所改善,本研究入颅点定位误差已减小至 (1.412 ± 0.415) mm,活检毁损组误差已减小至 (1.330 ± 0.566) mm。

本团队对睿米神经外科机器人辅助下行无框架立体定向手术的精度进行研究,对误差来源分析如下。三种术式均存在误差:①定位后头部移动产生的误差。无框架立体定向设备要求定位后病人头部不能相对设备基准发生位移,本研究26例病人仅使用塑形枕固定头部,并未直接与“睿米”机械臂建立固定的相对位置关系,头部受外力易发生位移,导致机械臂按原相对位置关系定位失准。②手术器械适配误差。为满足手术操作需求,机械臂末端适配器与颅骨钻针、活检针、电极和引流管之间存在一定间隙,导致同轴误差,尤其是角度偏差会使得器械远端误差远大于近端偏差。③病人注册误差。病人注册依靠体外特征点建立虚拟颅脑模型与真实颅脑的空间对应关系,其误差来源主要包括特征点的影像识别误差和特征点漂移。④由于手术器械刚性不同,其入颅后受脑组织阻力会有不同程度偏移,导致路径贴合度变差,从而影响靶点精度。

手术穿刺器械材质问题, 尚未得到有效解决。本研究数据统计结果发现:活检毁损组精度误差明显小于电极植入组与置管引流组。活检针及毁损电极均为刚性材质,入颅后受力不会发生偏折,不影响精度;而植入电极和引流管为柔性和软性材质,入颅后极易产生漂移,尤其是高血压脑出血置管引流术,置入引流管为软性材质,置管成功后均需排空部分血肿,以达到即时减压的目的^[5-6],然后再行CT扫描复查,由于血肿腔体积缩小,引流管出现不同程度移位属于正常现象,且测得置管流入点误差为 (1.412 ± 0.415) mm,与活检毁损组靶点精度误差无显著差异。因此,置管引流组的误差主要为穿刺材质入颅后漂移所致,并非“睿米”机器人系统误差。对柔性穿刺材质如颅内电极等,需研发与其匹配的刚性套管针,减小入颅后漂移带来的误差。

“睿米”神经外科机器人定位系统是国内首家正式获批的神经外科手术机器人,不仅可实施立体定向深部电极植入手术与置管引流术,也可实施致痫灶毁损等精准功能神经外科手术。该系统针对误差产生原因所做的改进,已明显降低活检毁损术的精度误差,最终将发挥定位准确、操作简便、自动化程度高等优势,值得大力推广。

【参考文献】

- [1] 庞贝. 无微不至, 医见倾心——机器人 Remebot 的 18 年破冰之路 [J]. 科技创新与品牌, 2016, 12: 40-43.
- [2] 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.
- [3] 赵全军, 王涛, 吴朝晖, 等. 国产机器人 Remebot 定位植入颅内深部电极并实施海马杏仁复合体射频热凝毁损术治疗顽固性癫痫 1 例 [J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2016, 29(2): 77-81.
- [4] 王佳, 赵全军, 王涛, 等. 国产神经外科医疗机器人 Remebot 行无框架立体定向活检术的应用研究 [J]. 中华神经医学杂志, 2017, 16(3): 291-295.
- [5] 赵全军, 刘达, 王涛, 等. 国产神经外科医疗机器人 Remebot 治疗高血压性脑出血 [J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2017, 22(7): 315-318.
- [6] 王涛, 史铁钧, 崔绍杰, 等. 机器人辅助立体定向微创治疗高血压脑出血 17 例临床分析 [J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2017, 30(1): 38-42.
- [7] MESHKINI A, SHAHZADI S, ALIKHAH H, et al. Role of stereotactic biopsy in histological diagnosis of multiple brain lesions [J]. *Asian J Neurosurg*, 2013, 8(2): 69-73.
- [8] LEFRANC M, CAPEL C, PRUVOT-OCCEAN A S, et al. Frameless robotic stereotactic biopsies: a consecutive series of 100 cases [J]. *J Neurosurg*, 2015, 122(2): 342-352.
- [9] CHANG Y H, HWANG S K. Frameless stereotactic aspiration for spontaneous intracerebral hemorrhage and subsequent fibrinolysis using urokinase [J]. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg*, 2014, 16(1): 5-10.
- [10] 刘钰鹏, 田增民, 惠瑞, 等. Remebot 无框架脑立体定向手术系统的临床应用研究 [J]. 中华外科杂志, 2016, 54(5): 389-390.
- [11] 杨海峰, 田增民, 孙跃春, 等. Remebot 第六代神经外科机器人的临床应用 [J]. 中国临床医生杂志, 2017, 45(3): 86-88.
- [12] 赵全军, 王涛, 刘文鹏, 等. 机器人导航定位摘除脑囊虫治愈癫痫 1 例报告 [J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2017, 30(2): 119-121.
- [13] 吴世强, 焦利武, 肖群根, 等. Remebot 机器人辅助下立体定向活检术的临床应用 [J]. 中国临床神经外科杂志, 2017, 22(11): 751-753.
- [14] 毛之奇, 余新光, 凌至培, 等. ROSA 机器人辅助下脑深部电极植入术研究 [J]. 中国现代神经疾病杂志, 2015, 15(9): 712-715.
- [15] CARDINALE F, COSSU M, CASTANA L, et al. Stereoelectroencephalography: surgical methodology, safety, and stereotactic application accuracy in 500 procedures [J]. *Neurosurgery*, 2013, 72(3): 353-366.

(收稿日期:2019-01-02; 修回日期:2019-03-25)