

DOI:10.16781/j.0258-879x.2019.08.0929

• 短篇论著 •

立体定向脑电图在药物难治性癫痫术前侵袭性评估中的应用价值和安全性

陈富勇^{1,2}, 孟祥红^{1,2}, 付萌萌^{1,2}, 冯刚^{1,2}, 魏明怡^{1,2}, 李瑞麒^{1,2}, 陶蔚^{1,2*}

1. 深圳大学总医院神经外科癫痫中心, 深圳 518065

2. 深圳大学神经系统疾病临床医学研究中心, 深圳 518065

[摘要] **目的** 探讨立体定向脑电图(SEEG)在药物难治性癫痫(DRE)术前侵袭性评估中的应用价值和安全性。**方法** 回顾性分析2016年8月至2018年11月在深圳市第二人民医院和深圳大学总医院开展SEEG置入的DRE患者的临床资料。根据患者无创的评估检查,提出可疑致痫灶位置和传播路径的假设,制定SEEG置入方案,最后根据SEEG和电刺激结果,制定最终手术切除或射频热凝方案,完成外科手术。**结果** 31例DRE患者共成功置入电极359根电极,平均11.58根/人,电极置入失败13根(3.62%),无追加电极置入情况。术后出现迟发性颅内出血1例,未出现颅内感染、脑脊液漏等并发症。SEEG置入后,20例患者行致痫灶切除,8例患者行致痫网络射频热凝术,1例致痫灶位于功能区行迷走神经刺激术,2例患者未行手术治疗。31例患者随访时间为6~30个月,平均为(11.68±7.46)个月。20例行致痫灶切除术患者术后国际抗癫痫联盟(ILAE)分级I级17例(85.00%, 17/20)、II级2例(10.00%, 2/20)、III级1例(5.00%, 1/20),8例行致痫网络射频热凝术患者术后ILAE I级6例(75.00%, 6/8)、III级2例(25.00%, 2/8),2种不同治疗手段间的疗效差异无统计学意义($P=0.61$)。13例磁共振成像(MRI)阴性患者中术后ILAE I级10例(76.92%, 10/13)、II级2例(15.38%, 2/13)、III级1例(7.69%, 1/13),15例MRI阳性患者中术后ILAE I级13例(86.67%, 13/15)、III级2例(13.33%, 2/15),两者间疗效差异无统计学意义($P=0.64$)。**结论** 无论是MRI阳性还是MRI阴性的DRE病例,SEEG均可以提高致痫灶定位的精准性,SEEG指导下外科治疗DRE是安全、有效的。

[关键词] 立体定向脑电图描记术; 癫痫外科; 治疗结果; 手术后并发症

[中图分类号] R 742.1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2019)08-0929-05

Application and safety of stereoelectroencephalography in invasive preoperation evaluation of drug-refractory epilepsy

CHEN Fu-yong^{1,2}, MENG Xiang-hong^{1,2}, FU Meng-meng^{1,2}, FENG Gang^{1,2}, WEI Ming-yi^{1,2}, LI Rui-qi^{1,2}, TAO Wei^{1,2*}

1. Epilepsy Center, Department of Neurosurgery, Shenzhen University General Hospital, Shenzhen 518065, Guangdong, China

2. Clinical Research Center for Neurological Disorders, Shenzhen University, Shenzhen 518065, Guangdong, China

[Abstract] **Objective** To investigate the application and safety of stereoelectroencephalography (SEEG) in invasive preoperation evaluation of drug-refractory epilepsy (DRE). **Methods** We retrospectively analyzed the clinical data of patients with DRE who underwent SEEG implantation in Shenzhen Second People's Hospital and Shenzhen University General Hospital between Aug. 2016. and Nov. 2018. The suspicious epileptogenic focus and propagation path was proposed based on the non-invasive preoperative evaluation, and then the implantation protocol of the SEEG electrodes was designed. Finally, according to the SEEG and electrical stimulation results, the resection or thermocoagulation of suspicious epileptogenic focus was done. **Results** A total of 359 electrodes were implanted in 31 DRE patients, with an average of 11.58 per patient. There were 13 electrodes (3.62%) failed to be implanted, with no additional electrode implantation. One case of intracranial hemorrhage was noted after operation, and there was no intracranial infection or cerebrospinal fluid leakage. Twenty patients received epileptogenic zone resection, 8 received epileptic network radiofrequency thermocoagulation, 1 with epileptic foci in the eloquent cortex underwent vagus nerve stimulation, and 2 received no operation. Thirty-one DRE patients were followed up for 6-30 months, with an average of (11.68±7.46) months. Of the 20 patients who underwent epileptogenic zone resection,

[收稿日期] 2019-06-18 **[接受日期]** 2019-07-18

[基金项目] 深圳市科技计划项目(JCYJ20160428164548896, JCYJ20170412111316339), 深圳大学总医院科技人才助推计划(SUGH-301). Supported by Science and Technology Plan of Shenzhen (JCYJ20160428164548896, JCYJ20170412111316339) and Science and Technology Talent Promotion Plan of Shenzhen University General Hospital (SUGH-301).

[作者简介] 陈富勇, 博士, 副主任医师, 硕士生导师. E-mail: dr_fychen@szu.edu.cn

*通信作者(Corresponding author). Tel: 0755-21839999, E-mail: taowmail@163.com

17 patients (85.00%, 17/20) had grade I ILAE (International League Against Epilepsy), 2 (10.00%, 2/20) had grade II, and 1 (5.00%, 1/20) had grade III. For the 8 patients undergoing epileptic network radiofrequency thermocoagulation, 6 (75.00%, 6/8) had grade I ILAE and 2 (25.00%, 2/8) had grade III. There was no significant difference in outcome between the two treatments ($P=0.61$). For 13 patients with negative magnetic resonance imaging (MRI), 10 (76.92%, 10/13) had grade I ILAE, 2 (15.38%, 2/13) had grade II, and 1 (7.69%, 1/13) had grade III; for 15 MRI-positive patients, 13 (86.67%, 13/15) had grade I ILAE and 2 (13.33%, 2/15) had grade III. There was no significant difference in outcome between MRI-positive patients and MRI-negative patients ($P=0.64$). **Conclusion** Surgical treatment of DRE patient under the guidance of SEEG is safe and effective, and SEEG can improve the accuracy of epileptogenic foci localization, no matter in MRI positive or MRI negative patients.

[Key words] stereoelectroencephalography; epilepsy surgery; outcomes; postoperative complications

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2019, 40(8): 929-933]

药物难治性癫痫 (drug-refractory epilepsy, DRE) 通过术前详尽的致痫灶和功能区定位评估可精准切除致痫灶, 从而获得良好的发作控制, 因此致痫灶和功能区定位是癫痫外科的核心内容。大部分 DRE 患者可以通过非侵袭性评估手段定位致痫灶, 但仍有相当多的患者, 需要进入侵袭性评估阶段, 尤其是磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 阴性患者。颅内脑电图 (intracranial electroencephalography, IEEG) 是重要的癫痫外科侵袭性评估手段, 其可确定可疑致痫灶的位置, 通过电刺激进行功能区定位, 从而明确可疑致痫灶和功能区的空间关系。IEEG 主要包括术中皮质脑电图 (electrocorticography, ECoG) 监测、开颅颅内片状或条状电极置入 (craniotomy electroencephalography, CEEG) 和立体定向脑电图 (stereoelectroencephalography, SEEG)^[1]。怀疑致痫灶起源于外侧皮质或需明确致痫灶和功能区关系时, 是 CEEG 较好的适应证, 但其损伤严重, 对深部组织的覆盖有限, 并发症的发生率较高, 而 SEEG 创伤相对较小, 适合于可疑致痫灶起源于内侧皮质或深部结构, 如颞叶内侧结构、额底、沟底、岛叶、扣带回等, 尤其是需要双侧埋置的病例。近年来, SEEG 技术在国内外癫痫外科中的应用迎来飞速发展期^[2-3], 但术后癫痫控制的疗效差异较大。本研究回顾性分析 31 例 SEEG 电极置入 DRE 患者的临床资料, 总结分析 SEEG 在 DRE 术前侵袭性评估中的应用价值和安全性。

1 资料和方法

1.1 研究对象 回顾性连续纳入 2016 年 8 月至

2018 年 11 月在深圳市第二人民医院和深圳大学总医院完成 SEEG 电极置入定位 DRE 致痫灶和功能区患者 31 例, 占同期开展的癫痫外科手术 (77 例) 的 40.26%。

1.2 治疗方法 I 期非侵袭性评估流程: SEEG 电极置入是建立在术前非侵袭性评估资料详尽分析的基础上, 提出可疑致痫灶起源位置和传播通路的假设后进行的。因此, 所有患者均有详细的发作症状学描述, 癫痫颅脑 MRI 检查序列 [包括矢状位 3D-T₁、矢状位 3D-T₂-FLAIR、轴位和垂直海马长轴的冠状位 3 mm 零间距 T₂ 和 FLAIR、相位对比血管成像 (phase contrast angiography, PCA)、双倍剂量造影剂薄层 T₁ 增强序列等], 癫痫发作间期正电子发射型计算机断层显像 (positron emission tomography-computed tomography, PET-CT), 发作间期和发作期视频脑电图监测 (均有 3 次以上的惯常发作), 以及成套的癫痫神经心理评估资料。当所有非侵袭性评估检查完成后, 经本中心的癫痫多学科团队病例讨论后, 对无法精确定位致痫灶、评估资料存在矛盾信息、需要明确致痫灶切除范围和 (或) 功能区三维关系者, 提出可疑致痫灶和可能传播路径假设, 制定电极置入计划。

SEEG 电极置入流程: 将患者颅脑 3D-T₁、3D-T₂-FLAIR、PET-CT、PCA、双倍剂量造影剂薄层 T₁ 增强 MRI 检查数据导入 SinoPlan 系统 [华科精准 (北京) 医疗科技有限公司], 通过图像融合配准, 重建颅脑三维和血管模型, 设计 SEEG 置入靶点和路径。采用的颅内电极有 2 种, 一种为华科精准 (北京) 医疗科技有限公司恒生深部电极, 外径 0.8 mm, 电极触点长 2 mm, 间隔 1.5 mm,

有 8、10、12、14、16 和分段 16 触点; 另一种为法国 ALCIS 电极, 外径 0.8 mm, 有不同的触点和触点间隔选择。采用 LEKSELL 立体定向头架和在 SINOVIATION 神经外科手术机器人引导下将电极置入预定区域并固定。术后行颅脑薄层计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 检查, 导入计划系统与术前计划融合, 确认电极位置。

发作期颅内 SEEG 阅读分析和电刺激: 行 SEEG 置入术后回病房行颅内高导联视频脑电图监测 (日本光电, 192/256 导), 所有患者均捕捉 3 次以上惯常发作的颅内电极脑电图资料。然后行颅内电极电刺激, 刺激参数分别行 1 Hz 单刺激和 50 Hz 5~7 s 的串刺激。综合分析以上资料, 确定发作起始区、最早播散的电极位点和功能区, 最终制定切除方案或 SEEG 引导下致痫网络热凝毁损术。

1.3 评估指标 手术疗效采用国际抗癫痫联盟 (International League Against Epilepsy, ILAE) 分级标准^[4]。I 级: 术后完全无发作; II 级: 术后仅有先兆发作; III 级: 术后发作改善, 但每年仍有 1~3 d 发作; IV 级: 发作明显改善, 但每年仍有 4 d 发作到发作减少 50%; V 级: 术后发作减少 < 50%。

1.4 统计学处理 应用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 计数资料以例数和百分数表示, 两组间疗效的比较采用 χ^2 检验。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 患者一般资料 共纳入 DRE 患者 31 例, 年龄为 15~55 岁, 平均年龄为 (31.23 ± 9.77) 岁; 男 18 例, 女 13 例; 病程为 2~34 年, 平均为 (17.39 ± 8.53) 年; 发作次数为 2~4 次/月至 5~10 次/d; 术前服用抗癫痫药物 1~4 种, 平均 (2.06 ± 0.84) 种; MRI 阳性 16 例, MRI 阴性 15 例。

2.2 电极置入情况与并发症分析 所有患者均一次性完成电极置入, 共成功置入电极 359 根, 平均 11.58 根/人, 电极置入失败 13 根, 占 3.62%, 无追加电极置入情况。9 例为双侧置入, 22 例为单侧置入。1 例电极置入患者麻醉清醒后神志不清, 急诊复查颅脑 CT 提示左侧额颞顶硬膜下血肿, 再次紧急手术清除血肿, 术中发现为皮质小动脉损伤出血, 结合患者术前评估资料, 行左侧前颞叶切

除术, 目前随访半年暂无发作, 遗留左侧肢体轻偏瘫。1 例电极置入患者行 SEEG 视频脑电监测期间, 因发作癫痫动作幅度较大, 导致电极线脱出, 但无电极遗留在脑内。术后 SEEG 监测 2~4 周, 所有患者均无感染、脑脊液漏、切口愈合不良等并发症。

2.3 致痫灶定位、治疗方案与手术并发症 SEEG 置入术后治疗方式见表 1。2 例患者行 SEEG 术后未进一步行手术切除或热凝治疗, 其中 1 例考虑右侧杏仁核起源患者, 术后 2 年未再发作; 1 例因右侧颞后顶枕叶大面积软化灶所致癫痫患者, SEEG 定位后选择放弃手术。1 例患者 SEEG 评估致痫灶和功能区后, 发现致痫灶位于左侧额下回中后部, 与语言区、运动区重叠, 选择迷走神经刺激治疗, 术后未再发作。8 例患者 SEEG 评估后选择行致痫网络射频热凝术 (radiofrequency thermocoagulation, RFTC), 其中 1 例为下丘脑错构瘤所致。20 例患者行致痫灶切除术, 其中 13 例为标准前颞叶切除术, 4 例为额叶致痫灶切除术, 2 例为颞叶+岛叶致痫灶切除术, 1 例为顶叶致痫灶切除术。并发症: 行致痫灶切除术的 20 例患者中, 1 例术后出现迟发性颅内血肿, 予以清除血肿后未遗留神经功能缺损, 1 例中央盖部致痫灶切除术患者术后 3 个月内短暂性流涎, 无肢体活动障碍; 行 SEEG 引导下致痫网络 RFTC 的 8 例患者, 1 例出现发作形式的改变, 为部分性发作持续状态, 考虑为顶盖毁损灶水肿所致, 经脱水、抗癫痫药物治疗后目前未再发作。

表 1 SEEG 术后治疗方式的选择

治疗方式	n	
	MRI 阴性 N=15	MRI 阳性 N=16
等待手术	1	1
迷走神经刺激	1	0
致痫灶切除术	8	12
致痫网络 RFTC	5	3

SEEG: 立体定向脑电图; MRI: 磁共振成像; RFTC: 射频热凝术

2.4 手术疗效 所有患者随访 6~30 个月, 平均 (11.68 ± 7.46) 个月。根据 ILAE 分级标准, 28 例行外科手术的患者中 23 例 (82.14%) 达到 ILAE I 级。13 例行外科手术的 MRI 阴性患者

中 ILAE I 级 10 例 (76.92%, 10/13)、II 级 2 例 (15.38%, 2/13)、III 级 1 例 (7.69%, 1/13), 15 例行外科手术的 MRI 阳性患者中 ILAE I 级 13 例 (86.67%, 13/15)、III 级 2 例 (13.33%, 2/15), 两者间疗效差异无统计学意义 ($P=0.64$)。20 例行致痫灶切除术的患者中 ILAE I 级 17 例 (85.00%, 17/20)、II 级 2 例 (10.00%, 2/20)、III 级 1 例 (5.00%, 1/20), 8 例行致痫网络 RFTC 的患者中 ILAE I 级 6 例 (75.00%, 6/8)、III 级 2 例 (25.00%, 2/8), 两种不同治疗手段间的疗效差异无统计学意义 ($P=0.61$)。

3 讨论

SEEG 是 20 世纪 50 年代, 由 Talairach 和 Bancaud^[5] 在法国圣-安娜医院发展起来的, 目前在北美地区癫痫中心的应用也越来越广泛^[6-7]。相比 CEEG, SEEG 微创、不需开颅手术, 尤其适用于非侵袭性手段无法定位、可疑致痫灶位于大脑内侧内面结构、岛叶、灰质异位以及脑沟沟底的病例。

本研究显示, SEEG 在 DRE 外科侵袭性评估中能够准确定位致痫灶, 并指导行致痫灶切除或致痫网络 RFTC, 其中 46.43% (13/28) 的患者为 MRI 阴性病例。在本组病例中, SEEG 置入术后 20 例行致痫灶切除术的患者, 术后完全不发作率高达 85.00% (17/20); 而 8 例行致痫网络 RFTC 的患者, 术后完全不发作率达 75.00% (6/8)。我们选择使用更严格的 ILAE 分级标准评价术后疗效, 更加注重 ILAE I 级所占比例, 也就是术后完全不发作患者的占比。本组病例术后 ILAE I 级患者占比较高, 可能和以下两方面的因素有关: 一是随访时间较短, 虽然最长随访时间已达 30 个月, 但本组病例随访时间适于 1 年的病例数较多, 随着随访时间的延长疗效可能会有变化; 二是本中心多学科团队 (癫痫外科、癫痫内科、神经电生理、神经影像和神经心理) 对每一例患者严谨细致的术前评估, 重视综合评估手段的定位价值。理想的电极置入需覆盖可疑致痫灶的起始位置、可能的传播路径和拟切除范围的边界, 这也是 SEEG 电极的置入原则。SEEG 的放置准确与否, 取决于 I 期非侵袭性评估手段的综合分析, 只有在详尽的 I 期评估基础上, 对可疑致痫灶位置和传播路径提出合理的假

设, 设定电极置入方案, 才能提高致痫灶定位的准确性。在本中心, 术前非侵袭性评估中, 基本上每一例患者都需要完成发作症状学分析、癫痫序列的 MRI 检查和影像学后处理分析、PET-MRI 融合、发作间期和发作期长程视频脑电图监测, 以及本中心规范开展的癫痫神经心理评估检查^[8]。

SEEG 对于 MRI 阴性的病例也能精确定位致痫灶, 能获得与 MRI 阳性患者同样的疗效^[9], 本组病例显示 MRI 阴性和 MRI 阳性的术后 ILAE I 级所占比例分别为 76.92% (10/13) 和 86.67% (13/15), 两者结果的差异提示 MRI 阴性的致痫灶定位更加困难, 但由于两组纳入患者例数不多, 差异并无统计学意义。最近, Thorsteinsdottir 等^[10] 分析了 70 例行 SEEG 置入后行致痫灶切除患者, 83% 的患者达到术后不发作 (Engel I A~I C 级、ILAE I~II 级), MRI 阴性和 MRI 阳性比例分别为 79% 和 86%, 颞叶和颞叶外分别为 80% 和 84%, 结果和本研究结果相近。

SEEG 置入方法有以下几种: (1) 基于立体定向头架系统^[11], 如国内常用的 LEKSELL 头架; (2) 基于无框架导航系统^[12], 如美敦力导航配合 Vertek 装置可完成置入; (3) 基于神经外科手术机器人系统^[13], 如法国的 ROSA 机器人、NEUROMATE 机器人和最近国内新上市的华科精准 (北京) 医疗科技有限公司研发的 SINOVIATION 手术机器人系统。一项 meta 分析结果显示, 框架系统入点误差平均为 1.43 mm [95% 置信区间 (confidence interval, CI) 为 1.35~1.51 mm], 靶点误差平均为 1.93 mm (95% CI 为 1.05~2.81 mm); 无框架神经导航系统的入点误差平均为 2.45 mm (95% CI 为 0.39~4.51 mm), 靶点误差平均为 2.89 mm (95% CI 为 2.34~3.44 mm); 而神经外科手术机器人系统入点误差平均为 1.17 mm (95% CI 为 0.80~1.53 mm), 靶点误差平均为 1.71 mm (95% CI 为 1.66~1.75 mm)^[14]。采用立体定向框架系统的电极置入, 固定某一头位时由于框架本身的限制, 部分电极无法置入, 尤其是双侧置入时左侧头部正交置入电极受到很大影响。本组在早期用 LEKSELL 头架置入电极, 1 例仰卧位左侧置入电极的患者, 6 根电极置入失败, 这种情况采用侧卧位可以解决; 而手术机器人系统大大缩短了手术操作时间, 尤其

适用于双侧置入的病例,能完成很多框架系统难以完成的电极置入。但手术机器人电极置入的精准性取决于注册误差、头部固定和机器人的连接稳定性等。本组后期使用 SINOVIATION 手术机器人完成电极置入,采用骨性 Marker 钉和头架头钉联合注册,减少注册误差,提高置入电极的精度,达到满意的电极置入。

SEEG 置入的手术并发症主要是出血和感染。Mullin 等^[15]关于 SEEG 并发症的 meta 分析显示,SEEG 术后颅内出血的发生率为 1%,而术后感染的发生率为 0.3%。本组 31 例患者共成功置入 359 根电极,1 例出现左侧额颞顶硬膜下血肿的患者经紧急开颅清除血肿,术后恢复良好。虽然 SEEG 置入出血的发生率不高,但一旦发生,可能引起严重后果。如何减少 SEEG 置入出血的发生率,是癫痫外科医师必须考虑的问题。在本中心,早期采用 PCA 显示血管,目前常规采用 PCA 联合双倍造影剂增强薄层 T₁ 加权像,尤其对于前联合-后联合平面上脑组织脑沟内的血管显示更好。本组病例术后 SEEG 监测 2~4 周,均未出现颅内或头皮感染。

总之,SEEG 在 DRE 侵袭性评估阶段发挥了重要作用,无论是 MRI 阳性还是 MRI 阴性的病例,SEEG 均可以提高致痫灶定位的精准性,表明 SEEG 指导下外科治疗 DRE 是安全、有效的。

[参 考 文 献]

- [1] JAYAKAR P, GOTMAN J, HARVEY A S, PALMINI A, TASSI L, SCHOMER D, et al. Diagnostic utility of invasive EEG for epilepsy surgery: indications, modalities, and techniques[J]. *Epilepsia*, 2016, 57: 1735-1747.
- [2] 周健,关宇光,鲍民,翟锋,赵萌,滕鹏飞,等. 立体定向辅助系统引导颅内电极置入术在致痫灶定位中的作用[J]. *中华神经外科杂志*, 2015, 31: 173-176.
- [3] 郭强,朱丹,张玮,华刚,陈俊喜,胡湘蜀,等. 立体脑电图在药物难治性癫痫患者术前评估中的应用[J]. *中华神经外科杂志*, 2016, 32: 261-265.
- [4] WIESER H G, BLUME W T, FISH D, GOLDENSOHN E, HUFNAGEL A, KING D, et al; Commission on Neurosurgery of the International League Against Epilepsy (ILAE). ILAE Commission Report. Proposal for a new classification of outcome with respect to epileptic seizures following epilepsy surgery[J]. *Epilepsia*, 2001, 42: 282-286.
- [5] TALAIRACH J, BANCAUD J. Stereotaxic approach to epilepsy. Methodology of anatomo-functional stereotaxic investigations[J]. *Progr Neurol Surg*, 1973, 5: 297-354.
- [6] GONZALEZ-MARTINEZ J, BULACIO J, ALEXOPOULOS A, JEHI L, BINGAMAN W, NAJM I. Stereoelectroencephalography in the "difficult to localize" refractory focal epilepsy: early experience from a North American epilepsy center[J]. *Epilepsia*, 2013, 54: 323-330.
- [7] CUELLO-ODERIZ C, VON ELLENRIEDER N, SANKHE R, OLIVIER A, HALL J, DUBEAU F, et al. Value of ictal and interictal epileptiform discharges and high frequency oscillations for delineating the epileptogenic zone in patients with focal cortical dysplasia[J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 129: 1311-1319.
- [8] 孟祥红,陶蔚,王玉平,张国君,李瑞麒,冯刚,等. 中国版神经心理评估在癫痫外科手术前评估中的应用[J]. *立体定向和功能神经外科杂志*, 2018, 31: 211-217.
- [9] MCGONIGAL A, BARTOLOMEI F, RÉGIS J, GUYE M, GAVARET M, TRÉBUCHON-DA FONSECA A, et al. Stereoelectroencephalography in presurgical assessment of MRI-negative epilepsy[J]. *Brain*, 2007, 130(Pt 12): 3169-3183.
- [10] THORSTEINSDOTTIR J, VOLLMAR C, TONN J C, KRETH F W, NOACHTAR S, PERAUD A. Outcome after individualized stereoelectroencephalography (sEEG) implantation and navigated resection in patients with lesional and non-lesional focal epilepsy[J]. *J Neurol*, 2019, 266: 910-920.
- [11] ZHANG G, CHEN G, MENG D, LIU Y, CHEN J, SHU L, et al. Stereoelectroencephalography based on the Leksell stereotactic frame and Neurotech operation planning software[J/OL]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96: e7106. doi: 10.1097/MD.00000000000007106.
- [12] NOWELL M, RODIONOV R, DIEHL B, WEHNER T, ZOMBORI G, KINGHORN J, et al. A novel method for implementation of frameless StereoEEG in epilepsy surgery[J]. *Neurosurgery*, 2014, 10(Suppl 4): 525-534.
- [13] GONZÁLEZ-MARTÍNEZ J, BULACIO J, THOMPSON S, GALE J, SMITHASON S, NAJM I, et al. Technique, results, and complications related to robot-assisted stereoelectroencephalography[J]. *Neurosurgery*, 2016, 78: 169-180.
- [14] VAKHARIA V N, SPARKS R, O'KEEFFE A G, RODIONOV R, MISEROCCHI A, MCEVOY A, et al. Accuracy of intracranial electrode placement for stereoelectroencephalography: a systematic review and meta-analysis[J]. *Epilepsia*, 2017, 58: 921-932.
- [15] MULLIN J P, SHRIVER M, ALOMAR S, NAJM I, BULACIO J, CHAUVEL P, et al. Is SEEG safe? A systematic review and meta-analysis of stereoelectroencephalography-related complications[J]. *Epilepsia*, 2016, 57: 386-401.