

· 新进展 ·

立体定向脑电图在难治性癫痫患者术前评估中的应用价值

周笋¹, 董长征², 刘星¹, 曹珊²



扫描二维码
查看原文

【摘要】 癫痫是一种严重的慢性神经系统疾病, 其治疗重点在于控制患者癫痫发作。大多数患者口服抗癫痫药物即可有效缓解病情, 但对于难治性癫痫患者来说, 口服抗癫痫药物往往不能有效控制癫痫发作, 需进一步手术切除致痫区域。立体定向脑电图 (SEEG) 检查是一项安全有效的侵入性术前评估方法, 在难治性癫痫患者致痫灶的精确定位及治疗方面具有重要作用。本文简述了SEEG电极植入术、SEEG检查结果分析、SEEG电极植入术的优缺点、SEEG引导下射频热凝损毁术、SEEG电极植入方案的规划及具体应用, 以期深入、全面地了解SEEG在难治性癫痫患者术前评估中的应用价值。

【关键词】 耐药性癫痫; 难治性癫痫; 立体定向脑电图; 术前评估

【中图分类号】 R 742.1 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.121

周笋, 董长征, 刘星, 等. 立体定向脑电图在难治性癫痫患者术前评估中的应用价值 [J]. 实用心脑血管病杂志, 2022, 30 (5): 135-140. [www.syxnf.net]

ZHOU S, DONG C Z, LIU X, et al. Application value of stereoelectroencephalography in preoperative evaluation of patients with intractable epilepsy [J]. Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2022, 30 (5): 135-140.

Application Value of Stereoelectroencephalography in Preoperative Evaluation of Patients with Intractable Epilepsy

ZHOU Sun¹, DONG Changzheng², LIU Xing¹, CAO Shan²

1. Graduate Faculty, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China

2. Second Department of Neurosurgery, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, China

Corresponding author: DONG Changzheng, E-mail: sjwek2018@sina.com

【Abstract】 Epilepsy is a serious chronic disease of nervous system and the key point of treatment is to keep the epilepsy attack under control. Most patients can effectively relieve the illness by oral antiepileptic drugs, but patients with intractable epilepsy cannot be effectively controlled, who need further surgical removal of the epileptic region to reduce the seizures. Stereoelectroencephalography (SEEG) is a safe and effective invasive preoperative evaluation method, which plays an important role in the accurate localization and treatment of epileptogenic foci in patients with intractable epilepsy. This paper briefly describes SEEG electrode implantation, analysis of SEEG examination results, advantages and disadvantages of SEEG electrode implantation, SEEG-guided radio frequency thermocoagulation, planning and specific application of SEEG electrode implantation scheme, in order to deeply and comprehensively understand the application value of SEEG in preoperative evaluation of patients with intractable epilepsy.

【Key words】 Drug resistant epilepsy; Intractable epilepsy; Stereoelectroencephalography; Preoperative evaluation

癫痫作为一种严重的神经系统疾病, 影响着全球1%的人口^[1]。其中约1/3的患者对于抗癫痫药物具有耐药性, 癫痫发作不能通过药物得到有效控制, 其被称为难治性癫痫, 对此, 手术治疗是目前可行的治疗方式^[2]。有效的癫痫手术要求对癫痫发作起始区进行精确定位并完全将其切除, 同时应尽量保留必要的大脑功能区, 以免患者术后

出现神经功能缺陷。术前评估的方法中, 立体定向脑电图 (stereoelectroencephalography, SEEG) 被认为是定位癫痫发作起始区的“金标准”^[2]。本文就SEEG电极植入术、SEEG检查结果分析、SEEG电极植入术的优缺点、SEEG引导下射频热凝损毁术 (radio frequency thermocoagulation, RF-TC)、SEEG电极植入方案的规划及具体应用进行综述, 以期分析SEEG在难治性癫痫患者术前评估中的应用价值。

1 SEEG概述

SEEG是一种侵入性术前评估方法, 其相关理念最早是由法国的Talairach和Bancaud在20世纪50年代提出, 现在已经在

1.075000河北省张家口市, 河北北方学院研究生院
2.050051河北省石家庄市, 河北省人民医院神经外科
通信作者: 董长征, E-mail: sjwek2018@sina.com

全世界流行起来^[3]。致痫区 (epileptogenic zone, EZ) 即癫痫发作产生或传播的组织, 通过手术切除这一区域可使癫痫患者发作减少或消失^[4]。目前普遍认为EZ是一个具有特殊解剖关系、电信号特性以及临床表现的网络^[5]。临床上通过严格的术前评估来确定EZ的范围及其与功能区的关系, 并明确每例患者的选择性切除范围^[6]。

癫痫术前评估第一阶段为非侵入性检查, 主要包括: 高分辨率MRI、正电子发射型计算机断层显像 (positron emission computed tomography, PET-CT)、头皮视频脑电图 (video-electroencephalogram, VEEG)、神经心理评估及发作时临床症状等。患者首先进行颅脑MRI、PET-CT、VEEG检查及详细的神经心理评估等辅助检查, 若这些检查对于EZ的精确定位具有高度一致性, 并且能够为术后相关并发症提供证据支持, 则患者可以直接转入外科手术治疗^[2, 7-8]。相关的术后并发症也可以通过其他非侵入性检查进一步明确, 如功能MRI检查和WADA试验可用于明确患者语言功能区的偏侧化并预测术后记忆减退的风险^[9]; 迈耶环束成像和视野测试可用于评估患者术后视野缺损的风险^[8]; 功能MRI检查和锥体束的跟踪成像可用于评估患者术后运动功能障碍的风险^[10]。如果非侵入性技术对EZ的指向不一致, 或考虑EZ位于重要的功能区附近, 且患者无明显手术禁忌证, 则可以在第二阶段进行侵入性检查。侵入性术前评估主要为颅内脑电图 (intracranial EEG, iEEG), 包括硬膜下电极脑电图 (subdural electrodes EEG, SDEG) 和SEEG^[11]。

通过第一阶段的非侵入性检查对EZ提出初步假设, 建立“解剖-电-临床分析”假说, 为SEEG深部电极植入的个体化规划提供参考。通过个体化规划进一步确定电极的植入数量及位置, 其应尽可能包括假说所涉及的组织区域以精确EZ的范围。手术采用立体定向的方法将多触点颅内深部电极植入计划区域并进行编号, 术后应用VEEG记录脑电活动。记录结果由至少1名脑电图技师及1名临床医生共同查看, 并结合临床症状、非侵入性检查共同确定癫痫病灶范围, 继而制定个体化手术方案。值得注意的是, 所需颅内深部电极的数量不是绝对固定的, 通常为6~15根; 除了特殊情况 (SEEG补充或计划热凝), 当计划放置的电极数量<6根或>15根时, 则有必要考虑进一步检查, 重新规划植入电极的数量^[12]。

SEEG的常见指征是^[13-14]: (1) 影像学检查未见明显的解剖学病变, 发作期或发作间期的VEEG检查结果与发作期临床症状不完全一致。(2) “解剖-电-临床分析”不一致: 不论影像学检查结果如何, 发作期VEEG定位的结果与发作期临床症状不一致。(3) 影像学检查提示明显的脑结构异常, 发作期或发作间期的VEEG检查结果或发作期临床症状表明EZ比病变区域范围更广。(4) 病变范围广泛, 涉及功能区, 但有临床症状或电生理学证据表明切除部分病变组织可能有效。其中功能区与癫痫病灶的关系须进一步明确, 并且需要做功能映射来明确手术的预后及风险。(5) 临床症状或电生理学证据怀疑累及功能区深层结构。(6) 非侵入性检查提示双侧半球受累可能。

本研究局限性:

(1) 本文依据引用文献及本科室经验对手术操作进行描述, 具有一定局限性, 不同机构手术流程及电极植入计算方式等可能存在差异。(2) 本文参照的临床回顾性研究大部分来自国外, 缺乏国内大样本、多中心的随机对照研究。(3) 部分文献对立体定向脑电图 (SEEG) 电极植入术要求的描述不完全统一, 缺乏权威性标准化方案。(4) SEEG具体应用的相关研究大部分仅涉及靶点位置的指导, 缺乏其内部作用机制的研究。

2 SEEG电极植入术

SEEG电极是在全身麻醉下植入的, 目前多使用基于框架或无框架的植入术, 相比使用导航系统的无框架植入术, 基于框架的植入术更为准确和精确, 并且能够产生更多有效的接触^[7]。

患者术前常规行VEEG、颅脑MRA、颅脑MRI检查。手术当天局麻下采用固定头钉辅助定位, 之后行0.5~1.0 mm的薄层增强CT扫描。术前通过机器人软件自动完成MRI图像和CT扫描的融合, 以便术中注册和重建轨迹。根据术前设计的方案, 系统自动生成靶点坐标 (靶点的三维坐标X、Y、Z和 α 、 β 角数值)^[15-16]。

电极植入一般在全麻下进行, 融合MRI图像和CT扫描, 确认每条植入路径的目标插入点坐标和轨迹, 按照设计方案依次植入电极。具体操作如下: 备皮后, 全麻下将患者头部固定于C型床头架, 常规消毒铺巾后, 用直径为2 mm的手持钻进行颅骨钻孔, 然后使用绝缘的硬脑膜穿孔器打开硬膜, 并用单极电刀电凝穿孔器烧灼硬脑膜以防止出血, 安装导向螺栓 (可根据皮瓣厚度选择导向螺栓长短), 采用导向针制造穿刺通道, 电极植入的深度 (参照点至目标靶点的长度, 参照点通常为皮肤、颅骨内板、导向螺栓接口处等)=导向针的长度 (本院应用导向针长度为190 mm) 或机械臂至目标靶点的长度 (本院设置为190 mm)-导向针的长度/机械臂至目标靶点的长度。将电极置入颅内深部并用螺帽固定。使用碘伏纱布缠绕导向螺栓, 固定包扎^[13, 15, 17-20]。

患者在术后再次行薄层CT扫描, 通过神经导航系统将信息与术前MRI数据混合, 重建电极位置, 确认电极位置是否符合术前规划。确认无误后, 通常在植入术后2 d开始行程SEEG监测 (仪器购自美国尼高力仪器公司, 选用128导放大器, 采样率为1 024 Hz), 前3 d使用抗生素预防感染, 3 d后开始电刺激。分析发作期和发作间期放电特点, 结合术前相关检查, 尽可能精确定位EZ及其传播路径。确认EZ后可选择射频热凝治疗或拔除电极后再行EZ切除术^[12, 16, 20]。

3 SEEG检查结果分析

癫痫患者的大脑节律常发生改变, 电生理变化的研究在癫痫的诊治过程中尤为重要^[21]。由于不同区域的脑电背景活动存在差异, 在对SEEG检查结果进行分析之前, 应明确患者电极探索区域的解剖位置及正常脑电模式。此外, 对SEEG活动和节律的分析需要考虑不同激活过程 (如间歇性光刺激、

过度换气、闭眼、运动等)的影响,另一方面应考虑药物的干扰,特别是在记录的前24 h内,部分患者可能受麻醉药物的影响或面临停用抗癫痫药物带来的不良反应^[22]。

脑电背景活动的减慢并不是癫痫的特异性表现,大多数脑部病变,无论是否引起癫痫,都可以表现出病变部分的背景活动减慢,但背景活动减慢可能提示了致病网络病变区域的存在^[23]。与VEEG一样,尖峰、慢波、快速活动是SEEG检查期间典型的发作间期癫痫活动。一些发作间期的癫痫活动还具有病理特异性:持续的节律性癫痫样放电是局灶性皮质发育不良的标志;频繁低幅度尖峰与低压快速活动混合是结节性异位的特征^[7]。癫痫发作必须从发作模式及其动态和空间变化两个方面进行分析。在SEEG检查期间可以观察到多种发作模式,其中低压快速放电(low voltage fast discharge, LFD)是发作模式中最常见的一种。LFD之前可能会出现发作前棘波、棘波串或慢波复合波形式的脑电图改变。LFD的频率范围可以从低伽马范围(15~30 Hz,如在颞叶中段发作)到高伽马范围(30~100 Hz,通常在新皮质发作中观察到)。空间变化也是一个重要的参数,EZ可能非常集中,但更多分布在几个相互连接的解剖区域,这也反映了致病网络的概念^[22]。

除此之外,还可以通过致癫痫指数对SEEG检查结果进行定量分析。致癫痫指数用于评估癫痫发作开始时快速活动的发生频率。致癫痫指数具备从发作前到发作期活动的两个重要特征:(1)信号能量从较低频带(θ , α)向较高频带(β , γ)的重新分配;(2)高频的出现延迟。组织结构越早参与癫痫发作,其致癫痫指数越高,其中0表示无致癫痫性,1表示最大致癫痫性。相关研究依据致癫痫指数将癫痫发作期脑电图分为三个区域:致癫痫区、传播区和非受累区。其中致癫痫区定义致癫痫指数 ≥ 0.3 的脑区;传播区定义为致癫痫指数 < 0.3 ,但在癫痫发作过程中持续放电(包括传播延迟或低频节律性放电)的脑区;非受累区定义为其他所有大脑区域^[1]。

4 SEEG电极植入术的优缺点

SEEG电极植入术应用的多触点深部电极能够精确定每个电极触点的位置,直接客观地获得皮质表面、脑沟、脑回以及深部组织的脑电图数据^[18]。因此,SEEG更适用于多个病灶的检查,同时记录深部和浅部组织的脑电活动,而SDEG或iEEG很难对此进行评估^[24]。

SEEG电极植入术是一种相对微创的操作方法,侵袭性较小,因此能明显减少术中麻醉药物的使用及术后镇痛治疗,术后不需要常规的ICU治疗,在手术效率和疼痛控制方面展示了优越性^[18]。

尽管各研究中心使用的SEEG电极植入术不同,但普遍认为SEEG电极植入术是一种安全有效的操作方法^[25]。一项研究对接受SEEG检查(48例)和接受SDEG检查(52例)的患者进行回顾性分析,比较了两种侵入性检查的并发症发生率,结果显示,接受SEEG检查的患者总并发症发生率(8/48, 16.7%)低于接受SDEG检查的患者(13/52, 25.0%),指出SEEG是一种安全的侵入性检查,相关并发症较少,尤其在出血和感染发生率方面明显低于其他侵入性检查^[11]。另一项回顾性研究结果显示,549例患者植入SEEG电

极后,105例(19.1%)复查CT显示出血(93例患者出血后无症状,12例患者出血后有症状;大部分出血后有症状的患者表现为一过性功能障碍,但仍有3例患者发生永久性缺陷甚至死亡)。该研究同时对SEEG电极植入术中不同类型出血相关的危险因素进行分析,结果表明,男性、电极数量增加和年龄增加与SEEG电极植入术后出血风险增加有关^[25]。SEEG电极植入术对于患儿来说同样具有安全性,一项荟萃分析研究回顾了277例接受SEEG电极植入术的患儿和697例接受SDEG监测的患儿的医疗并发症、神经系统病变发生率及癫痫无发作率,结果显示,接受SEEG电极植入术患儿医疗并发症(脑脊液漏、颅内血肿和感染)的发生率低于接受SDEG监测患儿;此外,接受SEEG电极植入术的患儿进一步接受手术治疗后,癫痫无发作率更高^[26]。

SEEG电极植入术的缺点在于SEEG记录连续皮质区域的能力有限,功能映射较差^[27]。

5 SEEG引导下RF-TC

除了确定EZ外,SEEG电极还可用于:(1)皮质电刺激,以划定EZ并确定与EZ相关的有效区域^[28];(2)RF-TC,以治疗深层EZ(或致病病变)或损毁放电网络的关键节点^[7]。RF-TC的原理是通过射频电流的传播,在电场的每个给定点产生震荡,诱导目标区域的带电离子发生高频移动,进而引起周围组织摩擦产生热能,脑组织产热变性以达到治疗效果^[28]。SEEG电极植入术后,进行长程视频脑电监测,记录间歇期及发作期颅内放电情况,结合患者临床表现、术前非侵入性检查结果等明确癫痫发作的起始区和传播网络、是否涉及功能区以及致痫灶和功能区的范围,连接颅内电极与射频发射器,通过颅内电极触点为目标区域进行RF-TC,破坏致痫灶及关键节点,阻断异常放电的产生及传播^[29]。

RF-TC可用于癫痫患者的治疗及预后的预测,一些患者需进行SEEG监测来判断其是否具有手术的可能性,有文献表明,即使RF-TC不能够完全破坏致痫灶,但其对癫痫状态的改善可能提高进一步手术的效果,其阳性预测值高达93%^[28, 30]。一项研究跟踪调查了接受SEEG引导下RF-TC的162例耐药性局灶性癫痫患者,结果表明,SEEG引导下RF-TC是一种安全有效的手术,其中超过2/3的患者临床表现短期改善,术后1年的随访中,近50%的患者是应答者(癫痫发作频率至少降低50%的患者)^[30]。值得强调的是,这种临床表现的改善往往是一过性的^[31]。一些患者经非侵入性术前评估发现存在手术禁忌证,但仍可以从治疗角度接受SEEG引导下RF-TC以破坏EZ及传播网络,如手术无法进入的小而深的EZ和大型癫痫网络的关键节点^[28]。多项研究指出,SEEG引导下RF-TC是脑室周围结节异位(periventricular nodular heterotopia, PNH)的一线治疗方法,治疗效果良好^[28]。

RF-TC具有以下优点:(1)热凝可以直接作用于SEEG检查描绘的癫痫起始区;(2)SEEG电极植入术通常植入多根电极且电极有多处触点,因此可以进行多靶点热凝损毁;(3)该技术通过早前植入的SEEG电极进行热凝,因此热凝本身不会增加SEEG电极植入相关的手术风险;(4)在实施热凝之前,可以通过皮质刺激进行功能定位,从而防止

RF-TC后神经功能障碍的发生；(5)不需要麻醉,对患者而言更安全；(6)术后可再次行VEEG监测以观察热凝效果,可多次进行热凝以达到理想效果^[28, 31]。

该手术对于成年人和儿童均有较高的安全性,一项研究评估了RF-TC对46例患儿的疗效和安全性,结果表明,RF-TC对于患儿同样是一项安全有效的手术方法,且症状改善率、应答率与阳性预测值均与成年人无明显差异^[31]。

6 SEEG电极植入方案的规划及具体应用

SEEG电极植入术是在“解剖-电-临床分析”假说的基础上进行颅内深部电极立体定向植入。电极轨迹的合理规划是手术成功的重要前提,其植入策略必须满足以下目标:

(1)在神经生理学水平上界定EZ;(2)明确EZ与功能区的关系;(3)明确EZ与功能区 and 病因病变的关系;(4)评估手术治疗的可能性^[15]。植入方案的设计是SEEG电极植入术顺利进行的基础,需要依据每例患者的临床特点、“解剖-电-临床分析”假设、影像学检查、血管情况和颅骨厚度等一系列信息设计个性化方案。通过评估患者临床病史、癫痫症状、VEEG检查结果、结构和功能成像以及神经心理学和神经精神病学等来确定电极的植入靶点及目标插入点^[32]。术中应注意避免损伤硬膜下和脑组织中走行的血管,随着科学技术的发展,结构和功能成像能够帮助操作者规划最佳路径以避免血管而到达目标插入点^[33]。

目前多数癫痫中心应用机器人系统辅助规划深部电极植入方案及术中导航,多项研究证实使用机器人辅助可以提高SEEG电极植入的准确性、缩短手术时间、改善预后以及提高三维空间上的勘探能力^[34-36]。相关文献指出了在设计电极轨迹时的植入要求:(1)避免损伤血管;(2)避开皮质表面的脑沟;(3)最大限度地取大脑灰质样本;(4)颅骨的钻孔角度 $<30^\circ$;(5)缩短脑内植入电极长度;(6)避开关键结构;(7)避免重复覆盖;(8)避免电极在颅内发生碰撞^[32, 37-38]。机器人自动规划SEEG电极植入方案后尚需人工审查以确定对可能的EZ和癫痫网络以及相邻功能皮质达到良好的覆盖效果,同时为确保轨迹的安全性和实用性,进一步调整植入电极的长度、进入角度、灰白质比等^[37]。

尽管SEEG电极植入方案的规划有着明确的要求,但其在各个脑叶中的具体应用仍有不同的特点。

6.1 颞叶癫痫(temporal lobe epilepsy, TLE) TLE是一种起源于颞叶结构的单侧或双侧癫痫,是最常见的难治性癫痫,其根据发作起始区可以分为颞叶内侧癫痫(mesial temporal lobe epilepsy, MTLE)和颞叶外侧癫痫(lateral temporal lobe epilepsy, LTLE)^[39]。多数患者通过无创检查即能够明确致痫灶,并通过手术切除可以获得良好预后。然而,当涉及以下情况时,应当考虑SEEG电极植入术:(1)无创评估提示致痫灶可能位于双侧颞叶,无法明确发作侧别;(2)涉及MTLE及LTLE的区分,特别是在需要局限性切除的情况下;(3)无创评估提示颞叶癫痫附加症(temporal plus epilepsy, TPE)可能,TPE为一种特殊形式的多脑叶癫痫;(4)无创评估提示致痫灶位于颞叶外侧而临床症状表现为MTLE发作的假性TLE^[17, 27]。

对于MTLE,植入深部电极的靶点应包括内侧颞叶结构

(海马和杏仁核)、内嗅皮质、颞上回(superior temporal gyrus, STG)、颞中回(middle temporal gyrus, MTG),如有可能,还包括颞极和岛叶皮质。对于LTLE,植入深部电极的靶点包括颞叶外侧区(STG和MTG)的前部和后部。在癫痫放电向前传播的情况下,还应探查颞极、颞下回(inferior temporal gyrus, ITG)、额颞交界处和岛叶前部,可以在这些区域放置多个电极,以确保更好的覆盖范围。如果癫痫放电向后方传播,则靶点范围包括颞平面、缘上回、岛后回、梭形回和颞枕交界处。由于癫痫发作模式不同,标准的前颞叶切除术对MTLE的治疗效果优于LTLE^[40]。

对于TPE,除上述颞区外,植入深部电极的靶点还应涉及眶额叶皮质、岛叶前部、中央前盖皮质和前扣带回;如考虑来源于后部,植入深部电极的靶点应包括颞横回、岛叶后部和中央后盖皮质、颞顶枕交界处和后扣带回。

对于假性TLE,放电优先扩散到颞-岛-前周区、颞-岛-眶前区、颞-岛-眶额区、颞-岛后区、颞-基底区、顶区和后扣带回。因此,颞外边缘区植入深部电极的靶点范围必须足够宽,以提供更多脑电信息来识别癫痫发作可能的颞外起源。

对于双侧颞叶癫痫,偏向性较大的一侧依照MTLE的植入方案植入电极,另一侧确保至少有一根电极(通常置于海马的前部)。目前尚没有证据表明一根与多根对侧电极效果哪个更好,通常根据患者无创评估的结果规划是否植入多根电极,若植入多根电极,两侧电极应尽可能对称^[15]。

6.2 额叶癫痫(frontal lobe epilepsy, FLE) 由于额叶范围较大,涉及FLE发作的功能网络比较复杂且临床发作模式常缺乏明确信息,因此,SEEG适用于确定FLE侧别或定位EZ^[27]。为了局限性切除病灶,术前评估应尽可能将FLE划分为额叶前部癫痫、额叶后部癫痫以及额叶背外侧癫痫^[41]。

对于额叶前部癫痫,植入深部电极的靶点涉及眶额回、额极、前扣带回、额上回、岛叶前部,通常还有前颞区(杏仁核、颞极)。对于额叶后部癫痫,植入深部电极的靶点需要涉及初级运动皮质(第4区)、运动前区(第6区)以及中央后回皮质。对于额叶背外侧癫痫,植入深部电极的靶点包括额下回、眶额回、额叶外侧皮质(额中回和额上回),额盖、前扣带回和岛叶至少放置一根电极^[15]。

6.3 后头部癫痫 与FLE一样,来自后部新皮质(后颞枕交界处、枕叶和顶叶)的癫痫发作具有多种多样的临床表现,其内在的高度连通性促进了癫痫放电的快速和广泛传播,甚至超过了后象限皮质^[27]。枕叶癫痫植入深部电极的典型靶点位于距状沟及其周围皮质;顶叶癫痫植入深部电极的靶点包括顶上小叶、顶下小叶(角回和缘上回)和后扣带回。大多数后头部癫痫患者在枕叶以外有广泛的致痫组织,因此,这些患者通常需要多脑叶和双侧植入深部电极^[15]。

6.4 岛叶癫痫 早期由于解剖位置较深且被覆密集的血管,岛叶癫痫难以通过手术进行治疗。随着立体定向技术的发展,岛叶癫痫作为SEEG电极植入术的最佳适应证之一重回大众视野^[27]。解剖上岛叶位于外侧裂的深部,被额顶颞叶包围和覆盖。在探测岛叶癫痫时,必须区分两种情况:(1)癫痫发作在扩散到其他皮质区(包括对侧脑岛)之前,可能起源

于脑岛,因此模拟了颞叶、额叶甚至顶叶癫痫;(2)脑岛是一个更为弥漫的癫痫网络的一部分,如颞-岛叶癫痫,这也是颞叶癫痫最常见的形式^[42-44]。

由于岛叶位于外侧裂之下,Talairach提出的经典方法是采用垂直于脑岛的侧方经穹窿入路植入深部电极,这种方法已经相关研究证明有效,但由于侧裂血管的终末分支穿过岛叶表面,因此存在潜在的血管损伤风险^[19, 44]。一项文献提出了新的路径,即在矢状面旁平行于岛叶皮质植入电极,植入点在顶枕交界处皮质,这项技术完全基于颅脑MRI,避免穿过穹窿和侧裂血管,与Talairach提出的经典方法相比,实际位于岛叶附近的触点数量最佳,同样,此方法植入的电极也可以探测到杏仁核、顶盖和额盖区域的电活动^[44]。

7 小结

SEEG电极植入术作为一种安全有效的侵入性操作,能够更加直接地监测、记录大脑中深部组织的放电活动,描绘致痫网络及其传播途径,为难治性癫痫患者进一步手术提供证据。同时,可以借助SEEG植入的深部电极进行RF-TC以达到治疗及评估患者预后的目的。靶点的选择和路径规划是SEEG电极植入术的关键,临床上常用机器人系统辅助规划深部电极植入方案,以进一步提高手术效率,同时降低手术风险。未来SEEG电极植入术仍需要进一步完善靶点选择及路径规划的具体方案以及比较和验证不同入路所获得的预后。

作者贡献:周笋进行文章构思、论文撰写;刘星、曹姗进行相关资料搜集、整理;董长征负责文章的质量控制与审核,对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] LAGARDE S, ROEHRI N, LAMBERT I, et al. Interictal stereotactic-EEG functional connectivity in refractory focal epilepsies [J]. *Brain*, 2018, 141 (10): 2966-2980. DOI: 10.1093/brain/awy214.
- [2] ZHANG M, LIU W, HUANG P, et al. Utility of hybrid PET/MRI multiparametric imaging in navigating SEEG placement in refractory epilepsy [J]. *Seizure*, 2020, 81: 295-303. DOI: 10.1016/j.seizure.2020.08.027.
- [3] PHI J H, CHO B K. Epilepsy surgery in 2019: a time to change [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2019, 62 (3): 361-365. DOI: 10.3340/jkns.2019.0078.
- [4] JUÁREZ-MARTINEZ E L, NISSEN I A, IDEMA S, et al. Virtual localization of the seizure onset zone: using non-invasive MEG virtual electrodes at stereo-EEG electrode locations in refractory epilepsy patients [J]. *Neuroimage Clin*, 2018, 19: 758-766. DOI: 10.1016/j.nicl.2018.06.001.
- [5] GEORGE D D, OJEMANN S G, DREES C, et al. Stimulation mapping using stereoelectroencephalography: current and future directions [J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 320. DOI: 10.3389/fneur.2020.00320.
- [6] SHETH R D. Epilepsy surgery. Presurgical evaluation [J]. *Neurol Clin*, 2002, 20 (4): 1195-215. DOI: 10.1016/s0733-8619(02)00013-0.
- [7] KHOO H M, HALL J A, DUBEAU F, et al. Technical aspects of SEEG and its interpretation in the delineation of the epileptogenic zone [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2020, 60 (12): 565-580. DOI: 10.2176/nmc.st.2020-0176.
- [8] HILL C E, RAAB J, ROBERTS D, et al. Addressing barriers to surgical evaluation for patients with epilepsy [J]. *Epilepsy Behav*, 2018, 86: 1-5. DOI: 10.1016/j.yebeh.2018.07.003.
- [9] KUNDU B, ROLSTON J D, GRANDHI R. Mapping language dominance through the lens of the Wada test [J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 47 (3): E5. DOI: 10.3171/2019.6.FOCUS19346.
- [10] INOUE T, SHIMIZU H, YOSHIMOTO T. Imaging the pyramidal tract in patients with brain tumors [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 1999, 101 (1): 4-10. DOI: 10.1016/s0303-8467(98)00069-9.
- [11] YANG M H, MA Y S, LI W, et al. A retrospective analysis of stereoelectroencephalography and subdural electroencephalography for preoperative evaluation of intractable epilepsy [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2017, 95 (1): 13-20. DOI: 10.1159/000453275.
- [12] ISNARD J, TAUSSIG D, BARTOLOMEI F, et al. French guidelines on stereoelectroencephalography (SEEG) [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 48 (1): 5-13. DOI: 10.1016/j.neucli.2017.11.005.
- [13] MÉREAUX J L, GILARD V, LE GOFF F, et al. Practice of stereoelectroencephalography (sEEG) in drug-resistant epilepsy: retrospective series with surgery and thermocoagulation outcomes [J]. *Neurochirurgie*, 2020, 66 (3): 139-143. DOI: 10.1016/j.neuchi.2019.12.014.
- [14] COSSU M, CARDINALE F, CASTANA L, et al. Stereoelectroencephalography in the presurgical evaluation of focal epilepsy: a retrospective analysis of 215 procedures [J]. *Neurosurgery*, 2005, 57 (4): 706-718.
- [15] CHASSOUX F, NAVARRO V, CATENOIX H, et al. Planning and management of SEEG [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 48 (1): 25-37. DOI: 10.1016/j.neucli.2017.11.007.
- [16] GONZALEZ-MARTINEZ J, MULLIN J, VADERA S, et al. Stereotactic placement of depth electrodes in medically intractable epilepsy [J]. *J Neurosurg*, 2014, 120 (3): 639-644. DOI: 10.3171/2013.11.JNS13635.
- [17] GONZALEZ-MARTINEZ J A. The stereo-electroencephalography: the epileptogenic zone [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2016, 33 (6): 522-529. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000327.
- [18] KIM L H, PARKER J J, HO A L, et al. Contemporaneous evaluation of patient experience, surgical strategy, and seizure outcomes in patients undergoing stereoelectroencephalography or subdural electrode monitoring [J]. *Epilepsia*, 2021, 62 (1): 74-84. DOI: 10.1111/epi.16762.
- [19] DE BARROS A, ZALDIVAR-JOLISSAINT J F, HOFFMANN D, et al. Indications, techniques, and outcomes of robot-assisted

- insular stereo-electro-encephalography: a review [J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 1033.DOI: 10.3389/fneur.2020.01033.
- [20] JONES J C, ALOMAR S, MCGOVERN R A, et al. Techniques for placement of stereotactic electroencephalographic depth electrodes: comparison of implantation and tracking accuracies in a cadaveric human study [J]. *Epilepsia*, 2018, 59 (9): 1667–1675.DOI: 10.1111/epi.14538.
- [21] BARTOLOMEI F, LAGARDE S, WENDLING F, et al. Defining epileptogenic networks: contribution of SEEG and signal analysis [J]. *Epilepsia*, 2017, 58 (7): 1131–1147.DOI: 10.1111/epi.13791.
- [22] BARTOLOMEI F, NICA A, VALENTI-HIRSCH M P, et al. Interpretation of SEEG recordings [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 48 (1): 53–57.DOI: 10.1016/j.neucli.2017.11.010.
- [23] KALAMANGALAM G P. Extracranial interictal and ictal EEG in sEEG planning [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2020, 31 (3): 345–371.DOI: 10.1016/j.nec.2020.03.008.
- [24] MINOTTI L, MONTAVONT A, SCHOLLY J, et al. Indications and limits of stereoelectroencephalography (SEEG) [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 48 (1): 15–24.
- [25] MCGOVERN R A, RUGGIERI P, BULACIO J, et al. Risk analysis of hemorrhage in stereo-electroencephalography procedures [J]. *Epilepsia*, 2019, 60 (3): 571–580.DOI: 10.1111/epi.14668.
- [26] SACINO M F, HUANG S S, SCHREIBER J, et al. Is the use of stereotactic electroencephalography safe and effective in children? A meta-analysis of the use of stereotactic electroencephalography in comparison to subdural grids for invasive epilepsy monitoring in pediatric subjects [J]. *Neurosurgery*, 2019, 84 (6): 1190–1200.DOI: 10.1093/neuros/nyy466.
- [27] IIDA K, OTSUBO H. Stereoelectroencephalography: indication and efficacy [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2017, 57 (8): 375–385.DOI: 10.2176/nmc.ra.2017-0008.
- [28] BOURDILLON P, RHEIMS S, CATENOIX H, et al. Surgical techniques: stereoelectroencephalography-guided radiofrequency-thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC) [J]. *Seizure*, 2020, 77: 64–68.DOI: 10.1016/j.seizure.2019.01.021.
- [29] GUÉNOT M, ISNARD J, CATENOIX H, et al. SEEG-guided RF-thermocoagulation of epileptic foci: a therapeutic alternative for drug-resistant non-operable partial epilepsies [J]. *Adv Tech Stand Neurosurg*, 2011, 36: 61–78.
- [30] BOURDILLON P, ISNARD J, CATENOIX H, et al. Stereo-electroencephalography-guided radiofrequency thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC) in drug-resistant focal epilepsy: results from a 10-year experience [J]. *Epilepsia*, 2017, 58 (1): 85–93.DOI: 10.1111/epi.13616.
- [31] BOURDILLON P, DEVAUX B, JOB-CHAPRON A S, et al. SEEG-guided radiofrequency thermocoagulation [J]. *Clin Neurophysiol*, 2018, 48 (1): 59–64.DOI: 10.1016/j.neucli.2017.11.011.
- [32] VAKHARIA V N, DUNCAN J S. Automation advances in stereoelectroencephalography planning [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2020, 31 (3): 407–419.DOI: 10.1016/j.nec.2020.03.005.
- [33] INADA T, KIKUCHI T, KOBAYASHI K, et al. Initial experience of stereotactic EEG insertion with anchor bolt: problem extraction and improvement of insertion accuracy [J]. *No Shinkei Geka*, 2018, 46 (10): 917–924.DOI: 10.11477/mf.1436203839.
- [34] SCORZA D, DE MOMI E, PLAINO L, et al. Retrospective evaluation and SEEG trajectory analysis for interactive multi-trajectory planner assistant [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, 12 (10): 1727–1738.DOI: 10.1007/s11548-017-1641-2.
- [35] OLLIVIER I, BEHR C, CEBULA H, et al. Efficacy and safety in frameless robot-assisted stereo-electroencephalography (SEEG) for drug-resistant epilepsy [J]. *Neurochirurgie*, 2017, 63 (4): 286–290.DOI: 10.1016/j.neuchi.2017.03.002.
- [36] KONDYLIS E, WHITING A C, HARASIMCHUK S P, et al. Robot-assisted stereoelectroencephalography: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 21 (4): E371–372.DOI: 10.1093/ons/opab207.
- [37] NOWELL M, SPARKS R, ZOMBORI G, et al. Comparison of computer-assisted planning and manual planning for depth electrode implantations in epilepsy [J]. *J Neurosurg*, 2016, 124 (6): 1820–1828.DOI: 10.3171/2015.6.JNS15487.
- [38] SCORZA D, AMOROSO G, CORTÉS C, et al. Experience-based SEEG planning: from retrospective data to automated electrode trajectories suggestions [J]. *Healthc Technol Lett*, 2018, 5 (5): 167–171.DOI: 10.1049/htl.2018.5075.
- [39] JOBST B C, CASCINO G D. Resective epilepsy surgery for drug-resistant focal epilepsy: a review [J]. *JAMA*, 2015, 313 (3): 285–293.DOI: 10.1001/jama.2014.17426.
- [40] YAN X M, XU C P, WANG Y P, et al. A study of medial and lateral temporal lobe epilepsy based on stereoelectroencephalography [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2020, 134 (1): 68–72.DOI: 10.1097/CM9.0000000000001256.
- [41] BELEZA P, PINHO J. Frontal lobe epilepsy [J]. *J Clin Neurosci*, 2011, 18 (5): 593–600.DOI: 10.1016/j.joen.2010.08.018.
- [42] ISNARD J, HAGIWARA K, MONTAVONT A, et al. Semiology of insular lobe seizures [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2019, 175 (3): 144–149.DOI: 10.1016/j.neurol.2018.12.002.
- [43] BARBA C, MINOTTI L, JOB A S, et al. The Insula in temporal plus epilepsy [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2017, 34 (4): 324–327.DOI: 10.1097/wnp.0000000000000389.
- [44] ROBLES S G, GELISSE P, EL FERTIT H, et al. Parasagittal transinsular electrodes for stereo-EEG in temporal and insular lobe epilepsies [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2009, 87 (6): 368–378.DOI: 10.1159/000249818.

(收稿日期: 2021-12-22; 修回日期: 2022-03-25)

(本文编辑: 张浩)