

# 全身麻醉下运动诱发电位对邻近运动功能区胶质瘤手术后运动障碍的预测价值

宗轶烜 沈琦 肖明 方媛 毛庆

**【摘要】 目的** 探讨全身麻醉状态下邻近运动功能区胶质瘤手术中运动诱发电位(MEP)监测对术后新发/加重运动障碍的预测价值。**方法** 以2019年10月至2020年3月接受邻近运动功能区胶质瘤手术的49例患者为研究对象,术中采取经颅电刺激(TES)、直接皮质电刺激(DCS)或皮质下电刺激(SCS),记录对侧肢体和面部肌肉的运动诱发电位,以定位大脑运动皮质和皮质脊髓束。运动诱发电位的预警标准为TES-MEP波幅降低 $\geq 50\%$ 或DCS-MEP波幅降低 $\geq 50\%$ ;以英国医学研究学会(MRC)肌力分级为“金标准”,计算TES-MEP、DCS-MEP和SCS-MEP预测术后新发/加重运动障碍的灵敏度与特异度、阳性预测值与阴性预测值。**结果** 49例患者均诱发出TES-MEP,真阳性2例、真阴性44例、假阴性3例;有11例诱发出DCS-MEP,真阳性1例、真阴性10例;TES-MEP预测术后新发/加重运动障碍灵敏度为2/5、特异度100%(44/44)、阳性预测值为2/2、阴性预测值93.62%(44/47);DCS-MEP预测灵敏度为1/1、特异度10/10,阳性预测值为1/1、阴性预测值10/10。共5例(10.20%)患者术后出现新发/加重运动障碍,随访至术后3个月,1例肌力恢复正常;TES-MEP预测灵敏度为2/4、特异度100%(45/45),阳性预测值为2/2、阴性预测值95.74%(45/47);DCS-MEP预测灵敏度为1/1、特异度10/10,阳性预测值为1/1、阴性预测值10/10。**结论** 术中TES-MEP监测假阴性率较高,DCS-MEP与术后运动功能预后一致性较高,但是由于无法显露中央前回皮质使其应用率较低。推荐联合应用TES-MEP、DCS-MEP和SCS-MEP判断运动传导通路完整性,效果更佳。

**【关键词】** 麻醉,全身; 诱发电位,运动; 电刺激; 神经胶质瘤; 神经外科手术

## Dyskinesia predictive value of motor - evoked potential in gliomas surgery close to motor area under general anesthesia

ZONG Yi-xuan<sup>1</sup>, SHEN Qi<sup>2</sup>, XIAO Ming<sup>3</sup>, FANG Yuan<sup>1</sup>, MAO Qing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Neurosurgery, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China

<sup>2</sup>Department of Neurosurgery, Chengdu Shangjin Nanfu Hospital, Chengdu 611743, Sichuan, China

<sup>3</sup>Department of Neurosurgery, The First People's Hospital of Longquanyi District, Chengdu 610100, Sichuan, China

Corresponding author: FANG Yuan (Email: israel\_yuan@163.com)

**【Abstract】 Objective** To determine the predictive value of intraoperative motor-evoked potential (MEP) on the muscle strength of patients undergoing glioma close to motor area under general anesthesia. **Methods** A total of 49 patients were included in this study from October 2019 to March 2020. The transcranial electrical stimulation (TES), direct cortical stimulation (DCS) and subcortical stimulation (SCS) were used to locate the motor cortex and corticospinal tract (CST), and to assess the functional integrity of motor system. A decrease of  $\geq 50\%$  of the baseline amplitude of TES or DCS was regarded as an alarm criteria. Muscle strength was evaluated with "gold standard" the Medical Research Council (MRC) scale before and after operation. **Results** Combined application of TES-MEP, DCS-MEP and SCS-MEP had better results in judging the integrity of motor conduction pathway. The sensitivity and specificity of TES-

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2020.11.006

基金项目:四川省科技计划项目(项目编号:2017SZ0142)

作者单位:610041 成都,四川大学华西医院神经外科(宗轶烜,方媛,毛庆);611743 四川省成都市锦南府医院神经外科(沈琦);610100 四川省成都市龙泉驿区第一人民医院神经外科(肖明)

通讯作者:方媛,Email:israel\_yuan@163.com

MEP were 2/5 and 100% (44/44), the positive predictive value and negative predictive value were 2/2 and 93.62% (44/47), respectively. The sensitivity and specificity of DCS-MEP were 1/1 and 10/10, the positive predictive value and negative predictive value were 1/1 and 10/10, respectively. There were 5 cases (10.20%) with new dyskinesia after operation. After 3 months of follow-up, muscle strength of one case returned to normal. The sensitivity and specificity of TES-MEP were 2/4 and 100% (45/45), the positive predictive value and negative predictive value were 2/2 and 95.74% (45/47), respectively. The sensitivity and specificity of DCS-MEP were 1/1 and 10/10, the positive predictive value and negative predictive value were 1/1 and 10/10, respectively. **Conclusions** This study indicates a high false negative rate after TES-MEP, DCS-MEP results were more consistent with postoperative motor function results, but the utilization rate was low due to the lack of exposure to the precentral gyrus cortex. Combined application of TES-MEP, DCS-MEP and SCS-MEP are more effective in judging the integrity of motor conduction pathway.

**【Key words】** Anesthesia, general; Evoked potentials, motor; Electric stimulation; Glioma; Neurosurgical procedures

This study was supported by the Project of Sichuan Science and Technology Bureau (No. 2017SZ0142).

**Conflicts of interest:** none declared

胶质瘤的手术治疗原则是最大程度安全切除肿瘤<sup>[1]</sup>,术中通过运动诱发电位(MEP)准确定位大脑运动皮质和皮质脊髓束(CST),并监测运动传导通路的完整性,以达到最大程度安全切除肿瘤并预防术后运动障碍之目的。运动诱发电位系经颅电刺激(TES)、经颅磁刺激(TMS)或直接电刺激(DES)中央前回运动皮质及其下行传导束(包括皮质脑干束和皮质脊髓束),获得的脊髓直接反应波(即D波)和肌肉运动诱发电位(mMEP)<sup>[2-3]</sup>。1937年, Penfield和 Boldrey<sup>[4]</sup>采用 50~60 Hz 双极电刺激大脑皮质,首次尝试在癫痫手术中通过清醒开颅联合电刺激技术定位大脑皮质感觉和运动功能区;至 1993 年, Taniguchi<sup>[5]</sup>利用高频(300~500 Hz)成串直接皮质电刺激(DCS),才于全身麻醉状态下成功记录到肌肉运动诱发电位,此后运动诱发电位逐渐应用于术中神经电生理监测。由于磁刺激在术中易受麻醉药物的影响,因此目前常用的术中运动诱发电位监测技术主要为经颅电刺激、直接皮质电刺激和皮质下电刺激(SCS)。多项研究显示,术中监测运动诱发电位可以显著降低术后运动障碍发生率<sup>[6-7]</sup>。本研究拟对 TES-MEP、DCS-MEP 和 SCS-MEP 联合监测在邻近运动功能区胶质瘤切除术中的施用效果进行分析,以探讨运动诱发电位对术后运动功能预后的预测价值。

## 对象与方法

### 一、研究对象

1. 纳入与排除标准 (1)术前头部 MRI 显示,中央前回及其周围或皮质脊髓束传导通路周围占位

性病变,于全身麻醉下行上述邻近运动功能区占位性病变切除术,术后经病理证实胶质瘤诊断。(2)排除以下情况:脑干、脊髓、周围神经病变导致的运动障碍;存在 TES-MEP 监测相对禁忌证,如植入心脏起搏器或其他生物电设备;需术中唤醒以评估运动功能和语言功能者。

2. 一般资料 选择 2019 年 10 月至 2020 年 3 月在四川大学华西医院神经外科住院治疗的邻近运动功能区胶质瘤患者共 49 例,其中,男性 27 例,女性 22 例;年龄 16~77 岁,平均(45.83±14.43)岁。术前 MRI 显示,左侧邻近运动功能区病变 23 例(46.94%)、右侧 26 例(53.06%);病变位于中央沟前部 19 例(38.78%)、中央沟后部 10 例(20.41%)、脑深部 20 例(40.82%)。所有患者均根据病变部位制定手术入路和手术方案,于全身麻醉下完成手术,并于术后经病理证实为胶质瘤,其中 WHO II 级 16 例(32.65%)、III 级 10 例(20.41%)、IV 级 23 例(46.94%)。

### 二、治疗方法

1. 麻醉方案 患者呈仰卧位,气管插管全身麻醉,纱布裹成软牙垫以保护气管插管和避免舌咬伤。麻醉诱导采取靶控输注(TCI)异丙酚 3.50~4.50 μg/ml 和舒芬太尼 0.30~0.40 μg/kg;麻醉维持采用全凭静脉麻醉(TIVA),麻醉药物为异丙酚 3~4 μg/ml、瑞芬太尼 0.15~0.20 μg/(kg·min)和舒芬太尼 5 μg/h;除诱导插管外,不应用肌松药。

2. 术中运动诱发电位监测 采用日本光电株式会社生产的术中神经功能测试系统 MEE-1232,联合行 TES-MEP、DCS-MEP 和 SCS-MEP 运动诱发电位

监测。(1)TES-MEP:参照国际 10-20 系统安置电极,刺激电极为皮下一次性针电极,刺激部位为 C3、C4,采取 5~7 个串的脉冲刺激,脉冲波宽 300~500 ms、脉冲间隔 2~4 ms,刺激强度 60~200 mA,刺激频率 1~5 Hz。TES-MEP 波幅 > 50  $\mu$ V,定义为诱发成功即诱发出运动诱发电位;若术中 TES-MEP 波幅显著下降,则需逐渐增加刺激串数、提高刺激强度和刺激频率。参照 2013 年美国神经生理监测学会(ASNM)公布的《术中运动诱发电位监测指南》<sup>[3]</sup>,将可重复测量的 TES-MEP 波幅降低  $\geq 50\%$  作为术后运动障碍预警标准。(2)DCS-MEP:术中通过刺激电极在大脑皮质进行直接电刺激,刺激电极为单极刺激器,采取 5~7 个串的脉冲刺激,脉冲波宽 300~500 ms、脉冲间隔 2~4 ms,刺激强度 4~20 mA,刺激频率 1 Hz。以 300~500 Hz 的高频成串直接皮质电刺激,于全身麻醉状态下成功记录到肌肉运动诱发电位,定义为诱发成功。如果术中 DCS-MEP 波幅显著下降,需逐渐提高刺激强度但不超过 25 mA;参照 Neuloh 等<sup>[8]</sup>的标准,将 DCS-MEP 波幅降低  $\geq 50\%$  作为术后运动障碍预警标准。(3)SCS-MEP:术中通过单极刺激器在大脑皮质下进行直接电刺激,采取高频单极刺激法,刺激电极为单极电极,采取 5~7 个串的脉冲刺激,脉冲波宽 300~500 ms、脉冲间隔 2~4 ms,刺激强度 5~30 mA,刺激频率 1 Hz。(4)临床应用:3 种监测技术的记录电极均为皮下针电极,以患侧鱼际肌作为对照,记录对侧口轮匝肌、前臂肌肉、鱼际肌、胫骨前肌和足底肌运动诱发电位,记录时间窗为 100 ms、滤波范围 30~3000 Hz。术中去骨瓣后,实时记录 TES-MEP 阈值和波幅作为基线;然后通过 DCS-MEP 寻找皮质阳性刺激点以定位运动功能区,实时记录 DCS-MEP 阈值和波幅,以指导手术入路的选择。肿瘤切除过程中通过 SCS-MEP 定位肿瘤与皮质脊髓束之间的距离,辅助确定切除范围,SCS-MEP 最小阈值即为肿瘤切除边界与皮质脊髓束的最小安全距离,距离越小、手术损伤风险越高。肿瘤切除后,联合应用 TES-MEP 和 DCS-MEP 并记录术后阈值和波幅,与切除前对比分析以预测术后运动功能;如果术中出现双侧运动诱发电位波幅改变,则考虑为非手术原因,需排除麻醉药、血压过低、气颅以及电生理监测技术故障等原因。

3. 运动功能评价 采用英国医学研究学会(MRC)量表分别于术前和术后第 1~3 天评价患者肌力:V 级,可抗重力和最大阻力,完成全关节活动

范围的运动;IV 级,可抗重力和中等阻力,完成全关节活动范围的运动;III 级,不施加阻力,可抗重力,完成全关节活动范围的活动;II 级,排除重力影响,可完成全关节活动范围的运动;I 级,可触及肌肉收缩,但不能引起关节活动;0 级,无法触及肌肉收缩。若术后 MRC 肌力分级较术前下降,定义为新发/加重运动障碍;对新发/加重运动障碍的患者需连续随访至术后 3 个月。

4. 运动诱发电位灵敏度与特异度、阳性预测值与阴性预测值定义 根据术中运动诱发电位和术后运动功能评价结果,定义真阴性为无永久性运动诱发电位下降且无术后新发/加重运动障碍;真阳性为术中运动诱发电位波幅下降  $\geq 50\%$ ,相应肢体出现术后新发/加重运动障碍;假阴性为术中运动诱发电位无变化,但术后出现运动诱发电位且远期内未恢复;假阳性为术中运动诱发电位下降  $\geq 50\%$ ,但相应肢体未出现术后新发/加重运动障碍。以术后近期(第 1~3 天)和远期(3 个月)MRC 肌力分级为“金标准”,分别计算 TES-MEP 和 DCS-MEP 灵敏度与特异度、阳性预测值与阴性预测值:灵敏度 = 真阳性例数 / (真阳性例数 + 假阴性例数)  $\times 100\%$ ;特异度 = 真阴性例数 / (真阴性例数 + 假阳性例数)  $\times 100\%$ ;阳性预测值 = 真阳性例数 / (真阳性例数 + 假阳性例数)  $\times 100\%$ ;阴性预测值 = 真阴性例数 / (假阴性例数 + 真阴性例数)  $\times 100\%$ 。

## 结 果

本组患者术中均行 TES-MEP 监测,刺激阈值为 80~150 mA,平均(120.00  $\pm$  5.50) mA;其中有 2 例 TES-MEP 波幅显著下降,术后出现上肢、下肢或单侧肢体新发/加重运动障碍,3 例术中 TES-MEP 波幅无显著变化,但术后出现上肢、下肢或单侧肢体新发/加重运动障碍;其余 44 例 TES-MEP 波幅无显著下降,术后亦无新发/加重运动障碍。有 11 例患者术中行 DCS-MEP 监测,刺激阈值 10~20 mA,平均(15.00  $\pm$  3.60) mA,1 例术中 DCS-MEP 波幅显著下降,术后出现对侧上肢运动障碍;其余 10 例患者术中 DCS-MEP 波幅和阈值无显著变化,术后亦无新发/加重运动障碍。TES-MEP 预测术后新发/加重运动障碍灵敏度为 2/5、特异度 100%(44/44)、阳性预测值为 2/2、阴性预测值 93.62%(44/47);DCS-MEP 预测灵敏度为 1/1、特异度 10/10,阳性预测值为 1/1、阴性预测值 10/10(表 1)。本研究 49 例患者中 28 例

行 SCS-MEP 监测,刺激阈值 5~25 mA、平均(15.00 ± 2.30) mA,其中 15 例为 5~20 mA、13 例 > 20 mA,最小阈值(肿瘤切除边界与皮质脊髓束的安全距离)为 5 mA,即手术切除边界与皮质脊髓束之间距离 ≥ 5 mm。

本组有 3 例术前即存在对侧肢体运动障碍, MRC 肌力分级为 II~III 级,手术前后 MRC 肌力分级无显著变化。5 例(10.20%)患者术后出现新发/加重运动障碍(表 2),其中 2 例术中 TES-MEP 波幅显著下降且术后出现新发/加重运动障碍;3 例术中 TES-MEP 波幅无显著变化,但有 1 例 DCS-MEP 波幅显著下降,3 例术后出现新发/加重运动障碍。5 例患者按照术后神经功能评价要求均随访至术后 3 个月,1 例肌力恢复, MRC 肌力分级达 V 级,其余 4 例肌力无明显改善;术后 3 个月, TES-MEP 预测术后新发/加重运动障碍灵敏度为 2/4、特异度 100%(45/45),阳性预测值为 2/2、阴性预测值 95.74%(45/47); DCS-MEP 预测灵敏度为 1/1、特异度 10/10,阳性预测值为 1/1、阴性预测值 10/10(表 1)。

### 典型病例

患者 男性,68 岁。因发作性右手抽动 1 月余,于 2019 年 10 月 23 日入院。患者入院前 1 个月无诱因出现右手活动时发作性抽动,无法控制,约持续 1 分钟自行缓解,病程中不伴头痛、恶心呕吐,意识丧失等症状与体征。入院后查体无神经系统阳性体征。头部 MRI 显示,左侧顶叶中央前回前部占位性病变,增强扫描病灶呈强化征象(图 1)。临床诊断为左侧顶叶占位性病变,遂于 2019 年 10 月 25 日行病变切除术。患者仰卧位,气管插管全身麻醉,根据术前标记皮瓣与肿瘤体表投影设计手术切口(图 2),术中进行运动诱发电位监测, TES-MEP 刺激电极置于 C3 和 C4(图 3),采用单极刺激器(刺激阈值 15 mA)直接电刺激皮质,记录到右侧鱼际肌 DCS-MEP 波形(图 4),进而定位中央前回手部运动皮质;以单极刺激器(刺激阈值 10 mA)电刺激皮质下,记录到右侧上肢 SCS-MEP 波形(图 5),进而确定刺激点与皮质脊髓束距离约为 1 cm;肿瘤切除前后 TES-MEP 波幅无明显变化,刺激阈值增至 80 mA。术后病理诊断为间变型星形细胞瘤(WHO III 级)。术后第 1 天右侧上肢肌力 V 级,其余肢体肌力均为 V 级,术后 3 天出院。肿瘤科门诊予同步放射治疗和替莫唑胺化疗(具体方案不详)。出院后随访至

**表 1** TES-MEP 和 DCS-MEP 预测术后新发/加重运动障碍的灵敏度与特异度、阳性预测值与阴性预测值(例)

**Table 1.** Sensitivity and specificity, positive predictive value and negative predictive value of TES-MEP and DCS-MEP for predicting new/aggravated dyskinesia (case)

术中监测	术后第 1~3 天运动功能			术后 3 个月运动功能		
	下降	无变化	合计	下降	无变化	合计
<b>TES-MEP</b>						
下降	2	0	2	2	0	2
无变化	3	44	47	2	45	47
合计	5	44	49	4	45	49
<b>DCS-MEP</b>						
下降	1	0	1	1	0	1
无变化	0	10	10	0	10	10
合计	1	10	11	1	10	11

术后第 1~3 天: TES-MEP 的灵敏度 = 2/5, 特异度 = 44/44 × 100% = 100%, 阳性预测值 = 2/2, 阴性预测值 = 44/47 × 100% = 93.62%; DCS-MEP 的灵敏度 = 1/1, 特异度 = 10/10, 阳性预测值 = 1/1, 阴性预测值 = 10/10。术后 3 个月: TES-MEP 的灵敏度 = 2/4, 特异度 = 45/45 × 100% = 100%, 阳性预测值 = 2/2, 阴性预测值 = 45/47 × 100% = 95.74%; DCS-MEP 的灵敏度 = 1/1, 特异度 = 10/10, 阳性预测值 = 1/1, 阴性预测值 = 10/10。TES-MEP, transcranial electrical stimulation motor-evoked potential, 经颅电刺激运动诱发电位; DCS-MEP, direct cortical stimulation motor-evoked potential, 直接皮质电刺激运动诱发电位

术后 3 个月,未发生新发/加重运动障碍。

### 讨论

目前胶质瘤手术中运动诱发电位监测的研究较多,其中以皮质下连续电刺激术中监测相关研究为主<sup>[6]</sup>,而关于术中联合应用 TES-MEP、DCS-MEP 和 SCS-MEP 监测运动功能的文献报道较少。研究显示,联合应用上述 3 种监测技术,可以在全身麻醉下精确定位运动皮质和皮质脊髓束,并监测运动传导通路的完整性,使术后远期运动障碍发生率低于 3.5%<sup>[9-11]</sup>。本研究结果显示,术后短期(第 1~3 天)新发/加重运动障碍发生率为 10.20%(5/49),远期(3 个月)约 8.16%(4/49),分析远期新发/加重运动障碍发生率较高的原因,可能与本研究所纳入的脑深部病变病例较多[40.82%(20/49)]以及 TES-MEP 假阴性率较高(3/5 例)有关联。笔者认为,本研究 TES-MEP 假阴性结果主要与以下 3 种原因有关,而且这 3 种原因可能并存:(1)增加 TES-MEP 刺激强度可能越过病变组织刺激到较深部位,从而出现假阴性结果<sup>[12]</sup>。本研究有 3 例术前即存在运动障碍的患者成功诱发出 TES-MEP 也证实,很可能是术前刺激

表 2 5 例新发/加重运动障碍患者术中运动诱发电位监测和术后运动功能评价

Table 2. Intraoperative MEP monitoring and postoperative motor function in 5 cases with new/aggravated motor dysfunction

序号	性别	年龄(岁)	肿瘤部位	肿瘤分型(分级)	术中 TES-MEP	术中 DCS-MEP	术中 SCS-MEP	肌力(上肢/下肢)			TES-MEP 预测结果
								术前	术后第 1~3 天	术后 3 个月	
1	女性	70	左侧基底节区	GBM (WHO IV 级)	上肢波幅无变化, 下肢波幅降低 70%, 阈值 80~180 mA	—	15~20 mA 诱发右侧肢体	V 级/V 级	0 级/0 级	I 级/I 级	上肢假阴性, 下肢真阳性
2	女性	36	左侧颞岛叶、基底节区	GBM (WHO IV 级)	下肢波幅无变化, 上肢降低 90%, 阈值 90~200 mA	—	15 mA 诱发右侧肢体	V 级/V 级	0 级/III 级	II 级/II 级	上肢真阳性, 下肢假阴性
3	男性	55	右侧中央区	GBM (WHO IV 级)	上下肢波幅无变化, 阈值 80~120 mA	病灶切除前阈值 10 mA 病灶切除后波幅显著下降	20 mA 诱发左下肢	II 级/II 级	0 级/III 级	I 级/IV 级	上肢假阴性
4	男性	35	右侧胼胝体	GBM (WHO IV 级)	上下肢波幅无变化, 阈值 80 mA	—	—	V 级/V 级	V 级/I 级	V 级/V 级	下肢假阴性
5	女性	43	右侧额叶、侧脑室	AA (WHO III 级)	上下肢波幅无变化, 阈值 80 mA	—	—	V 级/V 级	0 级/0 级	II 级/II 级	上下肢假阴性(颅内出血)

—, not done, 未监测。TES-MEP, transcranial electrical stimulation motor-evoked potential, 经颅电刺激运动诱发电位; DCS-MEP, direct cortical stimulation motor-evoked potential, 直接皮质电刺激运动诱发电位; SCS-MEP, subcortical stimulation motor-evoked potential, 皮质下电刺激运动诱发电位; GBM, glioblastoma, 胶质母细胞瘤; AA, anaplastic astrocytoma, 间变性星形细胞瘤

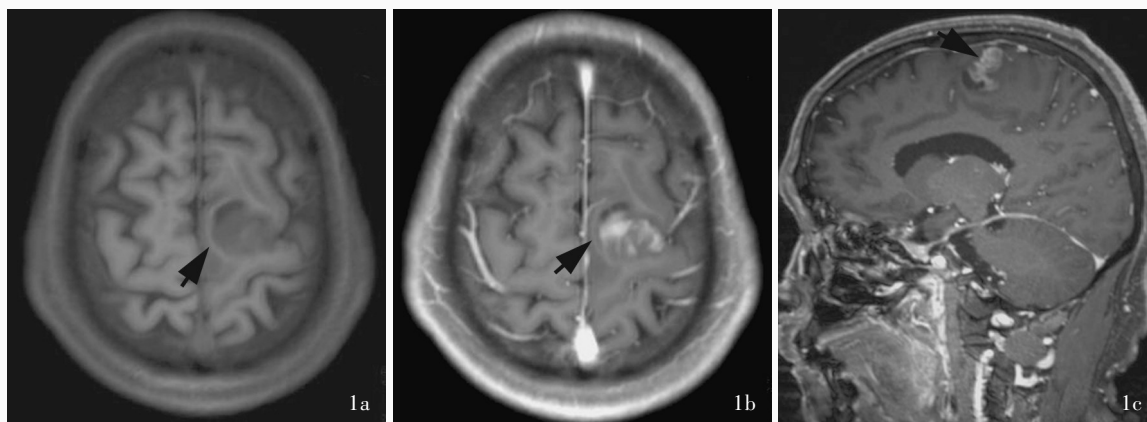


图 1 术前 MRI 检查所见 1a 横断面 T<sub>1</sub>WI 显示, 左侧额顶叶交界处占位性病变(箭头所示) 1b 横断面增强 T<sub>1</sub>WI 显示左侧额顶叶交界处病变呈不均匀强化征象(箭头所示) 1c 矢状位增强 T<sub>1</sub>WI 显示病变呈不均匀强化征象(箭头所示)

Figure 1 Preoperative MRI findings Axial T<sub>1</sub>WI showed lesion in the junction of left parietal lobe and frontal lobe (arrow indicates, Panel 1a). Axial enhanced T<sub>1</sub>WI showed inhomogeneous enhancement in the junction of left parietal lobe and frontal lobe (arrow indicates, Panel 1b). Sagittal enhanced T<sub>1</sub>WI showed inhomogeneous enhancement (arrow indicates, Panel 1c).

强度过大, 电流越过运动皮质而刺激到脑深部运动传导纤维束所致。尽管有学者认为, 刺激强度 ≤ 160 mA 不会产生假阴性结果<sup>[13]</sup>, 但本组有 3 例出现假阴性结果的患者刺激阈值均明显增高, 其肿瘤切除前后刺激阈值分别为 80 和 120、80 和 180、90 和 200 mA。因此有学者提出, 采用阈值法而非目前普遍所用的 50% 波幅降低法进行运动诱发电位预警, 刺激阈值提高 20% 即可作为预警标准<sup>[14-15]</sup>。(2) 手术区域水肿所引起的术后短暂性运动障碍, 亦可导致假阴性结果, 但随着随访时间延长, 水肿消退, 患者运动功能障碍可逐渐恢复。(3) 手术并发症如颅内出血等情况亦可产生 TES-MEP 假阴性结果, 本研究有 1 例术后颅内出血而结果为假阴性的患者。

DCS-MEP 监测的局限性在于: (1) 由于受肿瘤部位的影响, 有时术区无法充分显露中央前回皮质而行直接电刺激, 例如, 位于脑深部的肿瘤或距运动功能皮质区较远的肿瘤, 术中骨瓣均不能很好地显露皮质运动功能区, 本研究即有 11 例 (22.45%) 患者行 DCS-MEP 监测。术中可将皮质电极置于术区外的硬脑膜下替代刺激器进行刺激, 但电极安置过程中可能损伤血管或脑组织, 且用于直接皮质电刺激的条状皮质电极价格昂贵。(2) DCS-MEP 预警标准目前尚未统一, 有学者建议将波幅降低 50%~80% 作为预警标准<sup>[16]</sup>, 亦有学者推荐以刺激强度增至 4 mA 作为预警标准<sup>[17]</sup>。

本研究有 28 例 (57.14%) 患者术中行 SCS-MEP

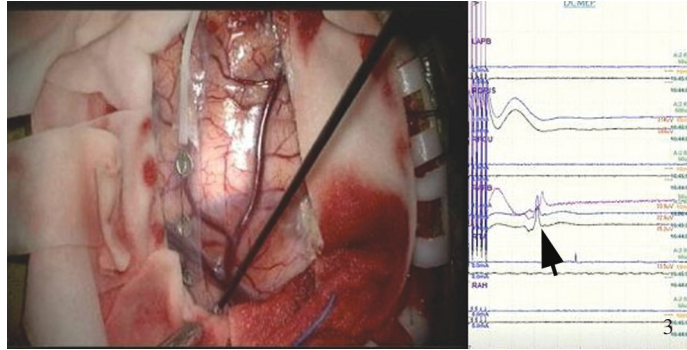


图2 术前标记皮瓣与肿瘤体表投影 图3 术中采用单极刺激器(刺激阈值 15 mA)直接电刺激皮质,记录到右侧鱼际肌DCS-MEP波形(箭头所示)

Figure 2 Preoperative marked flaps and surface projection of tumors. Figure 3 The DCS-MEP waveform (arrow indicates) of the right thenar muscle was recorded by DCS with monopolar stimulation (15 mA) during the operation.

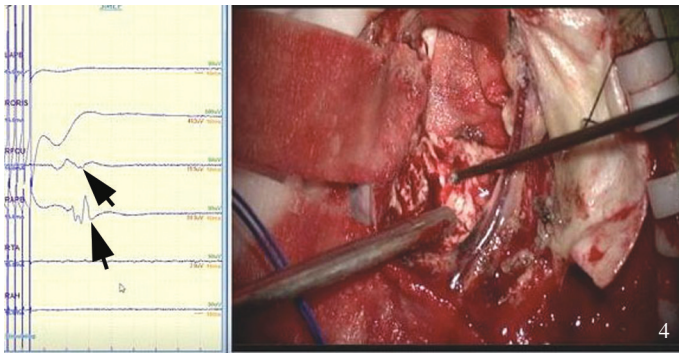
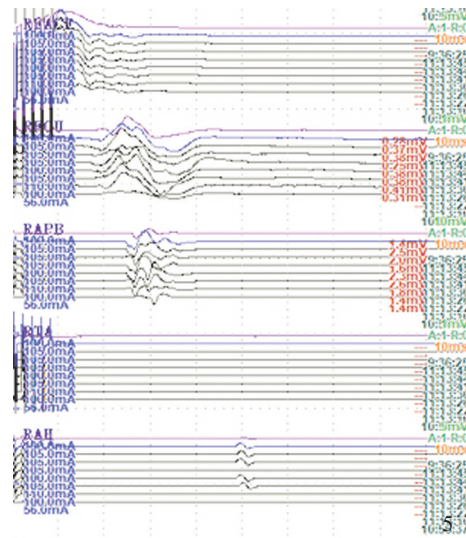


图4 术中采用单极刺激器(刺激阈值 10 mA)电刺激皮下,记录到右侧上肢SCS-MEP波形(箭头所示) 图5 肿瘤切除前后TES-MEP波幅无显著变化

Figure 4 The SCS-MEP waveform (arrows indicate) of the right upper limb was recorded by SCS with monopolar stimulation (10 mA) during the operation. Figure 5 There was no significant change in TES-MEP amplitude before and after tumor resection.



监测,刺激阈值 5~25 mA,平均(15.00±2.30) mA,最小阈值(即肿瘤切除边界与皮质脊髓束的安全距离)为 5 mA。SCS-MEP监测的局限性在于:(1)皮质下刺激主要用于判断刺激点与皮质脊髓束的距离,刺激强度 1 mA 约为距离 1 mm<sup>[6,18]</sup>,但无法判断整个运动传导通路的完整性。在本组 5 例术后新发/加重运动障碍患者中,3 例皮质下电刺激均诱发出对侧肌肉复合动作电位亦证实这一观点。(2)SCS-MEP安全距离的预警标准尚存争议。根据 Plans 等<sup>[19]</sup>报告,不同研究所设定的安全阈值存在一定差异,一般为 2~10 mA,该作者认为安全阈值大多与患者年

龄、病变性质、瘤周水肿等因素有关。

TES-MEP 是一项被动监测技术,需与 DCS-MEP 和 SCS-MEP 监测技术联合应用方能形成主动监测策略,从而降低其假阴性率;亦可与体感诱发电位(SEP)联合,达到降低 TES-MEP 假阴性的目的。

尽管,本研究采取全身麻醉下运动功能区定位技术,但传统意义的功能区定位“金标准”仍是唤醒手术下的低频双极电刺激,然而受患者年龄、术前神经功能和术中配合程度的影响,许多患者无法进行唤醒手术。关于运动功能区定位是否需行唤醒手术,目前仍未达成共识,部分学者认为两种方式

无显著差异<sup>[20]</sup>;而另一部分学者则认为,全身麻醉下定位运动功能区无法保护负性运动区<sup>[21]</sup>和辅助运动区<sup>[22]</sup>。晚近研究显示,唤醒手术低频双极电刺激联合单极高频 DCS-MEP 监测运动传导通路完整性的效果更佳<sup>[23]</sup>。全身麻醉下直接皮质电刺激和皮质下电刺激定位运动功能区和脊髓皮质束主要有两种刺激方式:(1)低频(50~60 Hz)双极刺激法,采用经典 Ojemman 刺激器,于全身麻醉下刺激运动皮质或脊髓皮质束,可见相应支配肌肉区域肌电反应。(2)高频(250~500 Hz)单极刺激法,多用于全身麻醉手术,本研究即采用此种方法,刺激相应运动皮质或皮质下,可见相应支配肌肉区域运动诱发电位。Szelényi 等<sup>[24]</sup>对比分析上述两种刺激方式,发现高频单极刺激的刺激范围更大,直接皮质电刺激的刺激阈值更低,皮质下电刺激可大致定位刺激点与皮质脊髓束之间的距离,从而更有效地定位皮质脊髓束。Suarez-Meade 等<sup>[20]</sup>亦认为,高频电刺激诱发癫痫发作的风险低于低频电刺激。

本研究为单中心、小样本回顾性研究,且术中 DCS-MEP 和 SCS-MEP 的联合应用率偏低,导致研究结果存在一定局限性,尚待更大样本量的前瞻性研究,进一步采用皮质电极直接刺激运动皮质以监测运动传导通路的完整性,同时与术者紧密配合,更好地应用于邻近运动功能区肿瘤手术。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] National Health Commission Medical Administration and Hospital Authority. Diagnosis and treatment of gliomas (2018 Edition)[J]. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2019, 35:217-239.[ 国家卫生健康委员会医政医管局. 脑胶质瘤诊疗规范(2018版)[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35:217-239.]
- [2] Macdonald DB. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update [J]. J Clin Monit Comput, 2006, 20:347-377.
- [3] Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C; American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring [J]. Clin Neurophysiol, 2013, 124:2291-2316.
- [4] Penfield W, Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation[J]. Brain, 1937, 60:389-443.
- [5] Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description[J]. Neurosurgery, 1993, 32:219-226.
- [6] Schucht P, Seidel K, Jilch A, Beck J, Raabe A. A review of monopolar motor mapping and a comprehensive guide to continuous dynamic motor mapping for resection of motor eloquent brain tumors[J]. Neurochirurgie, 2017, 63:175-180.
- [7] De Witt Hamer PC, Robles SG, Zwinderman AH, Duffau H, Berger MS. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis[J]. J Clin Oncol, 2012, 30:2559-2565.
- [8] Neuloh G, Pechstein U, Cedzich C, Schramm J. Motor evoked potential monitoring with supratentorial surgery [J]. Neurosurgery, 2007, 61(1 Suppl):337-346.
- [9] Moiyadi A, Velayutham P, Shetty P, Seidel K, Janu A, Madhugiri V, Singh VK, Patil A, John R. Combined motor evoked potential monitoring and subcortical dynamic mapping in motor eloquent tumors allows safer and extended resections [J]. World Neurosurg, 2018, 120:e259-268.
- [10] Gogos AJ, Young JS, Morshed RA, Avalos LN, Noss RS, Villanueva-Meyer JE, Hervey-Jumper SL, Berger MS. Triple motor mapping: transcranial, bipolar, and monopolar mapping for supratentorial glioma resection adjacent to motor pathways [J]. J Neurosurg, 2020.[Epub ahead of print]
- [11] Boex C, Haemmerli J, Momjian S, Schaller K. Prognostic values of motor evoked potentials in insular, precentral, or postcentral resections[J]. J Clin Neurophysiol, 2016, 33:51-59.
- [12] Rothwell J, Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Transcranial electrical stimulation of the motor cortex in man: further evidence for the site of activation[J]. J Physiol, 1994, 481:243-250.
- [13] Zhou HH, Kelly PJ. Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection[J]. Neurosurgery, 2001, 48:1075-1081.
- [14] Abboud T, Schaper M, Dührsen L, Schwarz C, Schmidt NO, Westphal M, Martens T. A novel threshold criterion in transcranial motor evoked potentials during surgery for gliomas close to the motor pathway[J]. J Neurosurg, 2016, 125:795-802.
- [15] Seidel K, Beck J, Stieglitz L, Schucht P, Raabe A. The warning-sign hierarchy between quantitative subcortical motor mapping and continuous motor evoked potential monitoring during resection of supratentorial brain tumors[J]. J Neurosurg, 2013, 118:287-296.
- [16] Krieg SM, Schäffner M, Shiban E, Droese D, Obermüller T, Gempt J, Meyer B, Ringel F. Reliability of intraoperative neurophysiological monitoring using motor evoked potentials during resection of metastases in motor-eloquent brain regions: clinical article[J]. J Neurosurg, 2013, 118:1269-1278.
- [17] Okamoto E, Ishikawa E, Yamamoto T, Matsuda M, Nakai K, Matsushita A, Masuda Y, Akutsu H, Ayuzawa S, Sakamaki F, Matsumoto Y, Matsumura A. Variability in amplitude and stimulation threshold values in motor evoked potential (MEP) monitoring during the resection of brain lesions [J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126:1271-1278.
- [18] Javadi SA, Nabavi A, Giordano M, Faghizadeh E, Samii A. Evaluation of diffusion tensor imaging-based tractography of the corticospinal tract: a correlative study with intraoperative magnetic resonance imaging and direct electrical subcortical stimulation[J]. Neurosurgery, 2017, 80:287-299.
- [19] Plans G, Fernández-Conejero I, Rifà-Ros X, Fernández-Coello A, Rosselló A, Gabarrós A. Evaluation of the high-frequency monopolar stimulation technique for mapping and monitoring the corticospinal tract in patients with supratentorial gliomas: a proposal for intraoperative management based on neurophysiological data analysis in a series of 92 patients [J]. Neurosurgery, 2017, 81:585-594.
- [20] Suarez-Meade P, Marengo-Hillebrand L, Prevatt C, Murguía-Fuentes R, Mohamed A, Alsaed T, Lehrer EJ, Brigham T, Ruiz-García H, Sabsevitz D, Middlebrooks EH, Bechtle PS, Quinones-Hinojosa A, Chaichana KL. Awake vs. asleep motor mapping for

- glioma resection: a systematic review and meta-analysis[J]. Acta Neurochir (Wien), 2020, 162:1709-1720.
- [21] Rech F, Herbet G, Gaudeau Y, Mézières S, Moureau JM, Moritz-Gasser S, Duffau H. A probabilistic map of negative motor areas of the upper limb and face: a brain stimulation study[J]. Brain, 2019, 142:952-965.
- [22] Shirota Y, Hanajima R, Ohminami S, Tsutsumi R, Ugawa Y, Terao Y. Supplementary motor area plays a causal role in automatic inhibition of motor responses[J]. Brain Stimul, 2019, 12:1020-1026.
- [23] Saito T, Muragaki Y, Tamura M, Maruyama T, Nitta M, Tsuzuki S, Fukuchi S, Ohashi M, Kawamata T. Awake craniotomy with transcortical motor evoked potential monitoring for resection of gliomas in the precentral gyrus: utility for predicting motor function[J]. J Neurosurg, 2019.[Epub ahead of print]
- [24] Szelényi A, Senft C, Jordan M, Forster MT, Franz K, Seifert V, Vatter H. Intra - operative subcortical electrical stimulation: a comparison of two methods[J]. Clin Neurophysiol, 2011, 122: 1470-1475.

(收稿日期:2020-11-16)

(本文编辑:彭一帆)

## · 读者 · 作者 · 编者 ·

### 《中国现代神经疾病杂志》编辑部关于稿件参考文献的要求

《中国现代神经疾病杂志》编辑部对来稿的参考文献一律按照 GB/T 7714-2005《文后参考文献著录规则》采用顺序编码制著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字加方括号标出。尽量避免引用摘要作为参考文献。内部刊物、未发表资料、个人通信等请勿作为文献引用。每条参考文献著录项目应齐全,不得用“同上”或“ibid”表示。参考文献中的主要责任者(专著作者、论文集主编、学位申报人、专利申请人、报告撰写人、期刊文章作者、析出文章作者)均全部列出。外文期刊名称用缩写,以 *Index Medicus* 中的格式为准,中文期刊用全名。每条参考文献均须著录起止页码。中英文双语形式著录时,文献序号后先列出完整的中文文献英译文,再列出中文文献。作者姓名的英译文采用汉语拼音形式表示,姓大写,名用缩写形式,取每个字的首字母,大写。期刊名称以汉语拼音注录。

(1) 期刊著录格式:主要责任者. 题名[文献类型标志/文献载体标志]. 刊名, 年, 卷:起页-止页.

举例:[1]Gao S. Ten-year advance of transcranial Doppler ultrasonography[J]. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2010, 10:127-136.[高山. 经颅多普勒超声十年进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2010, 10:127-136.]

(2) 著作或编著著录格式:主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志]. 其他责任者(例如翻译者). 版本项(第1版不著录). 出版地:出版者, 出版年:引文起页-止页.

举例:[2]Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, Cavenee WK. WHO classification of tumours of the central nervous system[M]. 4th ed. Li Q, Xu QZ, Trans. Beijing: Editorial Office of Chinese Journal of Diagnostic Pathology, 2011: 249-252.[Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, Cavenee WK. 中枢神经系统肿瘤 WHO 分类[M]. 4 版. 李青, 徐庆中, 译. 北京: 诊断病理学杂志社, 2011: 249-252.]

(3) 析出文献著录格式:析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志/文献载体标志]//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第1版不著录). 出版地:出版者, 出版年:析出文献起页-止页.

举例:[3]吕传真. 肌肉疾病[M]//史玉泉. 实用神经病学. 3 版. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 564-576.

(4) 电子文献著录格式:必须于题名后著录[文献类型标志/文献载体标志],一般同时于起页-止页后著录[引用日期]以及获取和访问路径.

举例:[4]陈彪. 帕金森 [M/CD]//贾建平, 张新卿. 神经系统疾病诊治进展[J/OL]. 北京: 中华医学电子音像出版社, 2005.

[5]Abood S. Quality improvement initiative in nursing homes: the ANA acts in an advisory role [J/OL]. Am J Nurs, 2002, 102(6):23[2002-08-12]. <http://www.nursingword.org/AJN/2002/june/Wawatch.htm>.

[6]Foley KM, Gelband H. Improving palliative care for cancer[M/OL]. Washington: National Academy Press, 2001 [2002-07-09]. <http://www.nap.edu/books/0309074029/html>.

(5) 会议文献著录格式:主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志], 会议地点, 年份. 出版地:出版者, 出版年:引文起页-止页.

举例:[7]中国科技期刊编辑学会医学分会, 中华医学会杂志社. 第一届全国医药卫生期刊管理和学术研讨会资料汇编[C], 北戴河, 2002. 北京: 中国科技期刊编辑学会医学分会, 2002.