

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.10.1277

• 技术方法 •

# 脑动脉瘤锁孔手术中经颅骨内电极阈值刺激模式下运动诱发电位监测的应用

吴赞艺<sup>1</sup>, 洪岳禅<sup>1</sup>, 王丰<sup>1</sup>, 黄小芬<sup>1</sup>, 余良宏<sup>1</sup>, 林元相<sup>1</sup>, 康德智<sup>1</sup>, 黄景峰<sup>2</sup>, 林章雅<sup>1\*</sup>

1. 福建医科大学附属第一医院神经外科, 福州 350005

2. 福建医科大学附属第一医院麻醉科, 福州 350005

**[摘要]** **目的** 探讨在脑动脉瘤锁孔手术中采用经颅骨内电极(cranial peg-screw electrode, CPSE)阈值刺激模式下激发运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)对监测术后运动功能损伤的优势。**方法** 选取大脑前循环动脉瘤患者31例,行锁孔入路显微夹闭手术。手术侧采用CPSE在阈值刺激下监测MEP,非手术侧在相同刺激阈值下采用经颅电刺激(transcranial electric stimulation, TES)监测MEP,观察术中监测所需的最小刺激电压变化,并将术中MEP监测结果与术后运动功能进行前瞻性观察研究。**结果** 手术侧28例患者在阈值刺激下成功诱发MEP,3例未引出。所有病例均未出现与MEP监测相关的并发症。术中MEP变化达到警报标准者3例,其中2例术后出现暂时性偏瘫;未达到警报标准25例,术后均未出现新的运动功能障碍,敏感性为100%(2/2),特异性为96.30%(26/27)。**结论** 脑动脉瘤手术中采用CPSE阈值刺激模式进行MEP监测是可行的、安全可靠的,对脑缺血所致运动功能损伤具有良好的敏感性和特异性,可作为常规MEP监测的一种替代方法。

**[关键词]** 颅内动脉瘤;运动诱发电位;电极;手术中监测**[中图分类号]** R 743.9**[文献标志码]** A**[文章编号]** 0258-879X(2016)10-1277-06

## Application of motor evoked potential monitoring under threshold-level electrical stimulation using cranial peg-screw electrode during cerebral aneurysm keyhole approach surgery

WU Zan-yi<sup>1</sup>, HONG Yue-chan<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>1</sup>, HUANG Xiao-fen<sup>1</sup>, YU Liang-hong<sup>1</sup>, LIN Yuan-xiang<sup>1</sup>, KANG De-zhi<sup>1</sup>, HUANG Jing-feng<sup>2</sup>, LIN Zhang-ya<sup>1\*</sup>

1. Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, Fujian, China

2. Department of Anesthesia, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, Fujian, China

**[Abstract]** **Objective** To explore the advantage of motor evoked potentials (MEPs) monitoring for postoperative motor deficit evaluation under threshold-level electrical stimulation using cranial peg-screw electrode (CPSE) during cerebral aneurysm keyhole approach microsurgery. **Methods** A total of 31 patients who underwent anterior circulation aneurysm microsurgery through keyhole approach were selected in this study. MEPs monitoring of the operation side was conducted with threshold-level electrical stimulation using CPSE, and that of the non-operation side was conducted with transcranial electric stimulation using the same stimulation threshold. The change of minimum voltage required for MEPs monitoring was observed and recorded. The intraoperative MEPs monitoring results and postoperative neurological functions were analyzed by prospective observational study. **Results** MEPs of the operation side was successfully induced in 28 cases. No complications related to MEPs monitoring were observed. Intraoperative MEPs abnormalities were monitored in 3 cases, and 2 of them had postoperative transient hemiplegia, showing a sensitivity of 100% (2/2). No motor dysfunction was observed in the other 26 cases who were not presented with intraoperative MEPs abnormalities in 25 cases, showing a specificity of 96.30% (26/27). **Conclusion** MEPs monitoring with threshold-level electrical stimulation using CPSE is a feasible and reliable method and it has satisfactory sensitivity and specificity for predicting motor dysfunction induced by cerebral ischemia, indicating that this method can be an

**[收稿日期]** 2016-01-31 **[接受日期]** 2016-04-01**[基金项目]** 福建省卫生厅青年科研基金(2011-1-17),福建省科技重大专项(2014YZ0003/2014YZ0003-1),福建省临床重点专科项目。Supported by the Youth Research Foundation of Health Department of Fujian (2011-1-17), Major Science and Technology Project of Fujian (2014YZ0003/2014YZ0003-1), and Key Clinical Specialty Discipline Construction Program of Fujian.**[作者简介]** 吴赞艺, 硕士, 主治医师。E-mail: kirby98@sina.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 0591-87982122, E-mail: 13799321745@139.com

alternative for routine MEPs monitoring with conventional transcranial electrical stimulation in cerebral aneurysm microsurgery.

[Key words] intracranial aneurysm; motor evoked potentials; electrode; intraoperative monitoring

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(10): 1277-1282]

脑动脉瘤锁孔手术中应用肌源性运动诱发电位 (motor evoked potential, MEP) 监测在降低运动功能损伤中的作用已得到证实。直接大脑皮质电刺激 (direct cortical stimulation, DCS) 和经颅电刺激 (transcranial electric stimulation, TES) 是目前术中 MEP 监测最常采用的刺激技术。DCS 具有局部皮质刺激、刺激电量小、减少体动等优点<sup>[1-2]</sup>, 但其锁孔手术骨窗小, 难以应用。与 DCS 相比, TES 不需暴露大脑运动皮质和中断手术操作, 并可连续监测运动传导通路的完整性; 但由于颅骨电阻较大, 其所需的刺激电量较大, 有可能导致皮质下运动传导通路直接激活<sup>[3-4]</sup>, 出现假阴性的结果。本研究将 31 例前循环动脉瘤锁孔入路显微夹闭手术患者以经颅骨内电极 (cranial peg-screw electrode, CPSE) 阈值刺激模式进行术中 MEP 监测, 取得了良好的监测效果, 现将初步研究结果报告如下。

## 1 资料和方法

1.1 一般资料 选取 2012 年 1 月至 2014 年 3 月在福建医科大学附属第一医院神经外科确诊为大脑前循环动脉瘤患者 31 例, 行锁孔入路显微夹闭手术。经医院伦理委员会批准后, 在患者知情同意情况下, 术中行肌源性 MEP、体感诱发电位 (somatosensory evoked potentials, SEP) 监测。31 例患者术前均无运动功能障碍及意识障碍, 其中男性 14 例、女性 17 例, 平均年龄 (51.00 ± 10.63) 岁 (31~70); 未破裂 2 例, 第 1 次出血 28 例, 第 2 次出血 1 例。Hunt-Hess 分级 I 级 2 例, II 级 29 例。29 例行 CT 检查, 发现蛛网膜下隙出血。26 例术前经全脑数字减影血管造影 (digital subtraction angiography, DSA) 明确诊断, 5 例经计算机断层扫描血管造影术 (computed tomographic angiography, CTA) 确诊。31 例患者共有脑动脉瘤 36 个, 其中后交通动脉动脉瘤 12 个、前交通动脉动脉瘤 11 个、大脑中动脉动脉瘤 6 个、脉络膜前动脉动脉瘤 4 个、颈内动脉动脉瘤 3 个。本研究排除术前有植入心脏起搏器、电子耳蜗等生物电子装置, 或癫痫发作、颅骨缺损和严重心肺肝肾疾病等病史的

患者。

1.2 手术及麻醉方法 31 例患者均经翼点锁孔入路行动脉瘤显微夹闭手术。所有患者均采用异丙酚 1.5~2.5 mg/kg、芬太尼 3~4 μg/kg、顺阿曲库铵 0.2~0.4 mg/kg 静脉注射行麻醉诱导, 3~4 min 后进行气管插管。麻醉维持全静脉麻醉联合部分神经肌肉阻滞方案, 采用靶控输注技术 (target controlled infusion, TCI) 静脉持续输注异丙酚 2~4 mg/(kg·h)、瑞芬太尼 4~8 μg/(kg·h)、顺阿曲库铵 0.05~0.10 mg/(kg·h), 避免额外单次给予麻醉药物。采用四联刺激肌肉收缩试验 (train of four twitch test, TOF) 监测所有患者的神经肌肉阻滞程度。术中连续监测患者有创动脉血压、心率、脉搏血氧饱和度、呼气末二氧化碳分压及体温。必要时适当提高手术室温度以防止患者体温过低。

1.3 阈值刺激模式和 CPSE-MEP 监测方法 阈值刺激即运用最小的刺激电压且术中至少能在 1 块目标肌肉上引出肌源性 MEP, 波幅大于 20 μV。以麻醉后 40 min 的 MEP 波形为基线, 警报标准为刺激阈值高于基础阈值 100 V 以上 (提示运动传导通路即将发生不可逆的损伤<sup>[5]</sup>)。手术过程中连续监测 MEP 的变化, 当 MEP 变化达警报标准时报告术者, 术者根据术中具体情况采取相应的干预措施。采用 EpochXP 术中监护系统 (美国 Axon 公司) 记录诱发电位信号, 电刺激采用外接电刺激器 (D-185; Digitimer, Welwyn, Garden City, UK)。麻醉诱导插管后, 摆放患者的体位, 放置刺激和记录电极。按国际脑电学会制定 10/20 系统, 阳极刺激电极放在 C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> 或 C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 前 1~2 cm, 阴极放在对侧相应部位。手术侧刺激电极选用颅骨内螺钉电极<sup>[6]</sup> (图 1), 消毒铺巾后, 用灭菌手摇钻在颅骨上钻一直径约 3 mm、深约 6 mm 的小孔, 置入螺钉电极。非手术侧刺激电极选用颅骨外螺旋塞电极。刺激采用恒压经颅连续短串电刺激: 5~7 个单相方波, 阳极刺激, 持续时间 300 μs, 刺激间隔 2 ms (重复频率 500 Hz), 最大刺激电压 100~400 V。使用皮下针电极记录电极, 同时记录从双侧肱二头肌、拇短展肌、胫前肌和拇展肌诱发的肌源性 MEP。

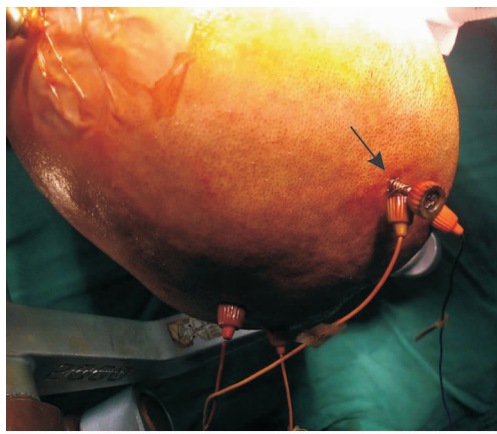


图 1 颅骨内螺丝钉电极(箭头所示)的放置

Fig 1 Placement of CPSE (arrow)

CPSE: Cranial peg-screw electrode

1.4 TOF 监测 监测神经肌肉反应活动,排除肌松剂对肌源性 MEP 的影响。用每间隔 0.5 s 的连续 4 个 2 Hz 电刺激刺激左侧正中神经,记录电极置于左侧拇短展肌。术中至少要能引出 2 个反应波形。

1.5 术中患者体动和术后神经功能结果判定 若患者术中出现 MEP 刺激引起的暂时性、反射性肢体活动,或明显的头部运动(头部活动大于 1 mm,通过手术视频来量化和测量),均认为是不可接受的体动<sup>[7]</sup>。术前和术后当天、次日、第 3 天和 1 周时分别检查患者的意识水平、感觉和肢体肌力。术后第 2 天仍有单个或多个肢体肌力与术前相比肌力评定(manual muscle testing, MMT)下降 $\geq 2$ 级则定义为新的运动功能障碍,1 周内有恢复为暂时性,2 个月内未恢复为永久性<sup>[8]</sup>;术后当天肢体肌力恢复,而后由于其他原因导致肢体肌力下降的病例除外。

1.6 数据分析 术中电生理监测数据和重要事件均被记录并保存。将上述数据与患者术后运动功能状况的相关性及并发症等进行前瞻性研究,分析在部分神经肌肉阻滞下 CPSE-MEP 对神经功能监测的可行性、安全性、敏感性、特异性,以及对其手术策略的影响。

## 2 结果

2.1 阈值刺激模式下 CPSE-MEP 监测的刺激阈值分布 31 例患者术中手术侧与非手术侧均行 MEP 监测。手术侧采用 CPSE,28 例能成功引出 MEP,基础刺激阈值为 100~380 V,平均(194.71 $\pm$ 70.71) V,见

图 2。其余 3 例提高刺激电压至 400 V 以上,双侧目标肌肉 MEP 仍未能引出,其中 2 例术中持续静脉推注顺阿曲库铵 $>0.1$  mg/(kg $\cdot$ h),TOF 未见反应波形,考虑神经肌肉阻滞程度较深所致;另 1 例术中 TOF 可见 2 个反应波形,排除麻醉因素,手术结束后发现为手术侧刺激电极脱落所致。非手术侧采用 TES,在相同刺激强度下仅有 21 例能成功引出 MEP。所有患者均未出现 MEP 监测引起的癫痫发作、心律失常、术中知晓等不良事件,亦未见刺激电极装置引起的头皮灼伤、头皮感染、脑膜炎、电极断裂、硬膜外或硬膜下血肿等并发症。

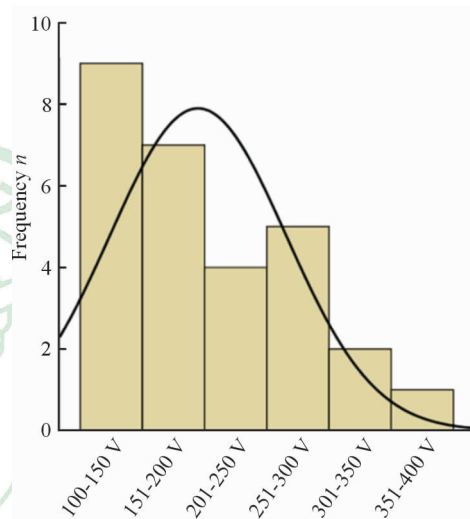


图 2 28 例患者的 CPSE-MEP 监测刺激阈值分布

Fig 2 Basic stimulation threshold distributions for CPSE-MEP in 28 patients

CPSE: Cranial peg-screw electrode; MEP: Motor evoked potential

2.2 阈值刺激模式 CPSE-MEP 监测的体动 本研究采用异丙酚和瑞芬太尼静脉麻醉维持术中全身麻醉,加用少量非去极化肌松剂顺阿曲库铵,按常规颅脑手术标准剂量的 1/3 持续静脉推注,神经肌肉阻滞控制 TOF 值为 2~3。本研究加用靶控输注技术、TOF 监测及监测双侧电位来保持麻醉稳定。28 例患者术中 MEP 分化良好,刺激阈值稳定,监测期间生命征平稳,未见咬管、咬舌或全身抽动等体动事件;仅 1 例予电刺激同时出现肉眼可见的颞肌收缩,但不干扰手术操作。

2.3 阈值刺激模式 CPSE-MEP 监测运动功能的敏感性和特异性 排除仪器故障及麻醉影响,28 例患者中有 5 例术中 CPSE-MEP 出现异常,其中 2 例为可逆性的阈值上升,术后无新的运动功能障碍;3 例动脉瘤夹闭后出现不可逆的阈值上升

或波形消失,立即采用调整动脉瘤夹及脑压板位置等干预措施后未恢复,其中2例术后出现永久性轻瘫(典型病例见图3),1例术后未见新的神

经功能障碍。阈值刺激模式下 CPSE-MEP 监测运动功能的敏感性为 100% (2/2),特异性为 96.30% (26/27)。见表 1。

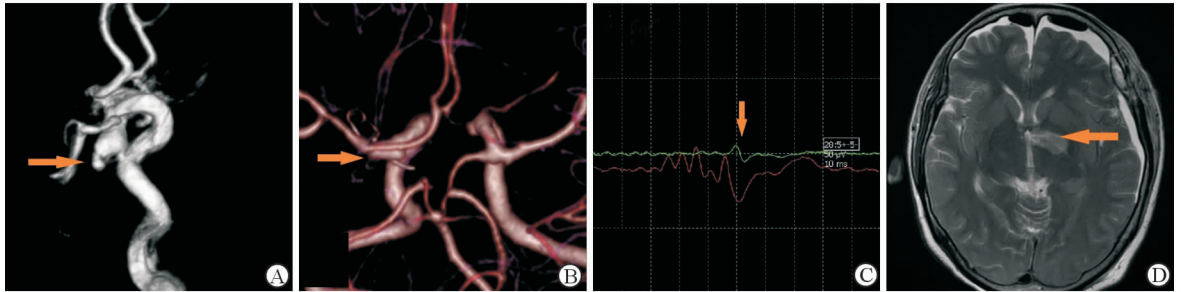


图3 典型病例影像图及 CPSE-MEP 监测

Fig 3 A typical case: imaging and CPSE-MEP

A: Preoperative DSA showing left posterior communicating artery aneurysm (arrow); B: Postoperative CTA showing the aneurysm was clipped (arrow); C: Irreversible stimulating threshold of MEPs of right abductor pollicis brevis was 100 V higher than the base threshold (arrow); D: Postoperative MRI showing acute cerebral infarction of left thalamus (arrow). The patient developed permanent paresis of the right limbs after operation. CPSE: Cranial peg-screw electrode; MEP: Motor evoked potential; DSA: Digital subtraction angiography; CTA: Computed tomographic angiography; MRI: Magnetic resonance imaging

表 1 28 例患者术中 CPSE-MEP 变化与术后运动功能的关联性

Tab 1 Relevance of intraoperative CPSE-MEP variation with postoperative motor function in 28 patients

Motor function	Irreversible disappearance	Irreversible threshold rise ( $\geq 100$ V)	Reversible threshold rise ( $< 100$ V)	Stable threshold	<i>n</i>
Permanent new motor dysfunction	1	1	0	0	
Temporary new motor dysfunction	0	0	0	0	
No motor dysfunction	0	1	2	23	

CPSE: Cranial peg-screw electrode; MEP: Motor evoked potential

### 3 讨论

脑动脉瘤锁孔手术中联合应用肌源性 MEP 及 SEP 监测在降低载瘤动脉的临时阻断、载瘤及邻近重要血管的误夹、过度脑牵拉、血管痉挛或小穿支血管损害等原因导致的永久性神经功能损伤中的作用已得到证实,并且 MEP 对在监测皮质下由缺血导致的运动功能损伤的敏感性优于 SEP<sup>[8-10]</sup>。然而 TES-MEP 监测时需较高的电刺激强度(仅有约 20% 的电流可进入颅内,甚至头皮和颅内之间电流密度的衰减可达 30 倍<sup>[3]</sup>),可能出现深部皮质下运动传导通路直接激活,出现假阴性结果<sup>[1,11]</sup>。

Watanabe 等<sup>[6]</sup>提出以 CPSE 的刺激方式在脑和脊髓肿瘤手术中进行 MEP 监测。颅骨内螺钉电极更靠近皮质表面,电阻小,可使刺激电流有效穿过颅骨,所需刺激电流更少,刺激更集中,在复合麻醉下也能够安全、有效地进行 MEP 监测;随后 Goto

等<sup>[12]</sup>也将该技术成功应用于后颅窝肿瘤术中面神经 MEP 监测,证实其可行性和安全性良好。本研究中 CPSE-MEP 监测基础刺激阈值为 100~380 V,平均(194.71±70.71)V,多数病例在 100~150 V 时即可成功诱发出 MEP 波形,非手术侧 TES 能成功引出 MEP 波形的有 21 例。CPSE-MEP 监测刺激成功率明显高于 TES-MEP 监测,刺激强度也低于文献报道的刺激阈值 300~400 V;本组病例未见由螺钉电极装置引起的脑脊液漏、电极断裂、出血和感染等并发症,证实其可行性和安全性良好。

MEP 监测的特异性和敏感性与术中 MEP 警报标准的应用有关<sup>[8]</sup>。现采用的 MEP 警报标准主要有 2 种:(1)MEP 波幅降低大于基线的 50% 或者 80%;(2)以 MEP 波形的“有或无”作为损伤的指标。然而由于波形的变异性、易受麻醉剂影响及高度敏感性,术中肌源性 MEP 的警报标准仍存在争议<sup>[5]</sup>。Calancie 等<sup>[13-14]</sup>对采用 TES-MEP 行术中神经电生

理监测的大样本脊髓手术患者进行研究,发现反复电刺激 MEP 阈值逐渐升高者,往往出现在目标肌肉信号完全消失前的数分钟至数小时内,而这些患者术后伴有轻度肢体偏瘫。Irie 等<sup>[9]</sup>报道在行 TES-MEP 监测时使用 500 V 的刺激强度出现了 6 例假阴性。而降低刺激电量,使用接近于阈值的刺激能够预防深部皮质脊髓纤维激活,使经颅 MEP 监测更准确,因此推荐使用最低的刺激强度<sup>[1, 10]</sup>。本研究由此提出第 3 种阈值模式警报标准,认为阈值模式对中枢运动系统功能完整性的判读有很好的敏感性和特异性,也能尽早地提醒术者予以适当干预。

本研究采用阈值模式作为术中 CPSE-MEP 的警报标准。28 例患者中有 5 例术中 MEP 出现异常,采取干预措施后,2 例为可逆性的阈值上升,术后无新的运动功能障碍;3 例为不可逆的阈值上升或波形消失,其中 2 例术后出现永久性轻瘫,1 例术后未见新的神经功能障碍。由此可得阈值刺激模式 CPSE-MEP 监测运动功能的敏感性为 100%(2/2),特异性为 96.30%(26/27),未见假阴性结果。提示术中 MEP 刺激阈值变化与术后运动功能之间具有强关联性,能有效降低皮质下运动传导通路泛化的发生,降低假阴性率。

TES-MEP 监测时成串电刺激可能诱发患者肌肉颤动而引起体动<sup>[7]</sup>。2013 年美国神经电生理监测协会发表的术中 MEP 监测共识指出:对多脉冲刺激引起的体动可能造成损伤的担心在手术中是公认的、广泛存在的;出现明显体动时,只能通过选择合适的时机或与术者沟通并暂停手术再行 MEP 监测<sup>[5]</sup>。大约 1%~10% 的患者由于强烈的肌肉颤动导致其在动脉瘤分离或夹闭时无法连续进行 MEP 监测<sup>[10, 15-18]</sup>。这种体动将干扰手术操作,使术者分心,尤其在脑血管手术中使保护性监测受到限制<sup>[19-20]</sup>。因此,如何在不影响监测成功率及敏感性的前提下降低体动的发生,将有助于 MEP 监测的广泛开展。

本研究采用阈值刺激模式下 CPSE-MEP 监测,多数患者刺激强度在 100~150 V 之间,最大限度地避免了刺激强度大对患者体动的影响。28 例患者术中 MEP 分化良好,刺激阈值稳定,监测期间生命体征平稳,未见咬管、咬舌或全身抽搐等体动事件;

仅 1 例予电刺激同时出现肉眼可见的颞肌收缩,但并不干扰手术操作。表明在以全静脉麻醉为基础、加用部分神经肌肉阻滞剂的麻醉维持方案下行 CPSE-MEP 监测可减少 MEP 监测的体动,减少对手术操作的干扰。

综上所述,在脑动脉瘤手术中采用阈值刺激模式进行 CPSE-MEP 监测是可行、安全可靠的,对脑缺血所致运动功能损伤具有良好的敏感性和特异性,可作为常规 TES-MEP 监测的一种替代方法。

## [参考文献]

- [1] SZELENYI A, LANGER D, BECK J, RAABE A, FLAMM E S, SEIFERT V, et al. Transcranial and direct cortical stimulation for motor evoked potential monitoring in intracerebral aneurysm surgery[J]. *Clin Neurophysiol*, 2007, 37: 391-398.
- [2] YEON J Y, SEO D W, HONG S C, KIM J S. Transcranial motor evoked potential monitoring during the surgical clipping of unruptured intracranial aneurysms[J]. *J Neurol Sci*, 2010, 15: 29-34.
- [3] LEVY W J, YORK D H, MCCAFFREY M, TANZER F. Motor evoked potentials from transcranial stimulation of the motor cortex in humans[J]. *Neurosurgery*, 1984, 15: 287-302.
- [4] BARTLEY K, WOODFORTH I J, STEPHEN J P, BURKE D. Corticospinal volleys and compound muscle action potentials produced by repetitive transcranial stimulation during spinal surgery [J]. *Clin Neurophysiol*, 2002, 113: 78-90.
- [5] MACDONALD D B, SKINNER S, SHILS J, YINGLING C. Intraoperative motor evoked potential monitoring—a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring [J]. *Clin Neurophysiol*, 2013, 124: 2291-2316.
- [6] WATANABE K, WATANABE T, TAKAHASHI A, SAITO N, HIRATO M, SASAKI T. Transcranial electrical stimulation through screw electrodes for intraoperative monitoring of motor evoked potentials. Technical note[J]. *J Neurosurg*, 2004, 100: 155-160.
- [7] HEMMER L B, ZEENI C, BEBAWY J F, BENDOK B R, COTTON M A, SHAH N B, et al. The incidence of unacceptable movement with motor evoked potentials during craniotomy for aneurysm clipping[J]. *World Neurosurgery*, 2012, 5: 1-6.

- [8] GUO L, GELB A W. The use of motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery to predict pure motor deficits due to subcortical ischemia[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122: 648-655.
- [9] IRIE T, YOSHITANI K, OHNISHI Y, SHINZAWA M, MIURA N, KUSAKA Y, et al. The efficacy of motor-evoked potentials on cerebral aneurysm surgery and new-onset postoperative motor deficits [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2010, 22: 247-251.
- [10] NEULOH G, SCHRAMM J. Monitoring of motor evoked potentials compared with somatosensory evoked potentials and microvascular Doppler ultrasonography in cerebral aneurysm surgery[J]. *J Neurosurg*, 2004, 100: 389-399.
- [11] BARTLEY K, WOODFORTH I J, STEPHEN J P, BURKE D. Corticospinal volleys and compound muscle action potentials produced by repetitive transcranial stimulation during spinal surgery [ J ]. *Clin Neurophysiol*, 2002, 113: 78-90.
- [12] GOTO T, MURAOKA H, KODAMA K, HARA Y, YAKO T, HONGO K, et al. Intraoperative monitoring of motor evoked potential for the facial nerve using a cranial peg-screw electrode and a “threshold-level” stimulation method[J]. *Skull Base*, 2010, 20: 429-433.
- [13] CALANCIE B, MOLANO M R. Alarm criteria for motor-evoked potentials: what’s wrong with the “presence-or-absence” approach? [J]. *Spine*, 2008, 33: 406-414.
- [14] CALANCIE B, HARRIS W, BRINDLE G F, GREEN B A, LANDY H J. Threshold-level repetitive transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of central motor conduction [ J ]. *J Neurosurg*, 2001, 95: 161-168.
- [15] HISHINUMA N, TANAKA S, KAWAMATA M, KAWAGUCHI M, YOSHITANI K, UCHINO H, et al. Current status of intraoperative motor evoked potential monitoring: a questionnaire study[J]. *Masui*, 2012, 61: 1291-1298.
- [16] SLOAN T B. Muscle relaxant use during intraoperative neurophysiologic monitoring[J]. *J Clin Monit Comput*, 2013, 27: 35-46.
- [17] KAN Q, HAN R Q. Effects of muscle relaxants on motor evoked potentials monitoring during intracranial surgery in functional area[J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2009, 15: 279-280.
- [18] MOTOYAMA Y, KAWAGUCHI M, YAMADA S, NAKAGAWA I, NISHIMURA F, HIRONAKA Y, et al. Evaluation of combined use of transcranial and direct cortical motor evoked potential monitoring during unruptured aneurysm surgery[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2011, 51: 15-22.
- [19] SLOAN T B, JANIK D, JAMESON L. Multimodality monitoring of the central nervous system using motor-evoked potentials[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2008, 21: 560-564.
- [20] SZELÉNYI A, LANGER D, KOTHBAUER K, DE CAMARGO A B, FLAMM E S, DELETIS V. Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome[J]. *J Neurosurg*, 2006, 105: 675-681.

[本文编辑] 曾奇峰