

## · 标准与规范 ·

中国神经外科术中电生理监测规范  
(2017 版)

中国医师协会神经外科分会神经电生理监测专家委员会

术中神经电生理监测 (IONM) 是指应用各种神经电生理技术, 监测手术中处于危险状态的神经系统功能完整性的技术。IONM 已成为实时监测神经功能状况, 减少神经损伤, 提高手术质量的一个不可缺少的手段。现今术中神经电生理监测需要运用到多种监测手段, 这要求外科医生、麻醉医生和神经电生理监测医生协同配合来达到神经功能保护的目的, 故需要规范化的操作来保证监测目的的完成。因此, 中国医师协会神经外科分会神经电生理监测专家委员会组织撰写了《中国神经外科术中电生理监测规范 (2017 版)》。

## 一、总论

1. 术中电生理监测的意义<sup>[1,4]</sup>: 协助术中定位脑皮质功能区和重要功能传导通路, 识别颅神经、脊神经根, 鉴别不能明确的组织; 即时提供神经电生理监测结果, 协助手术医生评估神经受损害的部位、节段和程度; 避免或及早发现由于手术造成的功能区皮质、重要功能传导束及神经损伤, 并迅速纠正可逆性损害, 避免永久性神经损害; 及早发现患者在术中发生的缺氧或低血压等系统性变化, 协助麻醉深度的精确控制。

2. 术中电生理监测的方法包括: (1) 躯体感觉诱发电位 (SSEP); (2) 运动诱发电位 (MEP): 包括经颅电刺激 MEP, 直接电刺激定位运动皮质, 直接电刺激定位语言皮质, 持续经皮质电刺激 MEP, 直接皮质下电刺激定位运动、语言通路, 影像导航辅助术中神经电生理监测, 硬膜下或硬膜外直接刺激脊髓, 经棘间韧带或椎间盘间接刺激脊髓, 经椎板或棘突间接刺激脊髓; (3) 听觉诱发电位 (AEP): 包括脑

干听觉诱发电位 (BAEP)、耳蜗电图 (ECochG) 及听觉动作电位 (NAP); (4) 肌电图 (EMG): 包括半侧面肌痉挛微血管减压术中监测、颅神经监测、脑干图、神经根术中监测及 H 反射试验; (5) 闪光刺激视觉诱发电位 (VEP); (6) 脑电图 (EEG)。

3. 术中电生理监测方法的选择原则<sup>[3,4]</sup>: 外科医生、麻醉医生和神经电生理监测医生协同合作, 根据具体的手术部位、入路和方式, 针对术中易损功能区或神经传导通路, 选择合理的神经电生理监测模式和方案, 据此决定最佳的麻醉方法, 确定监测报警阈值。术中电生理监测及麻醉方案的选择见表 1<sup>[4]</sup>。

4. 术中电生理监测适应证及禁忌证<sup>[4]</sup>: (1) 适应证: 涉及运动或感觉皮质区的颅脑手术; 视神经、视通路和视觉皮质区手术; 语言皮质区手术; 脑内深部涉及语言及运动皮质下通路的手术; 颅底肿瘤手术; 颅神经显微微血管减压手术; 脑干手术及脑干旁手术; 髓内肿瘤、髓外硬膜下肿瘤及椎管内外沟通肿瘤手术; 癫痫病灶切除、DBS 刺激电极放置和脑损毁手术; 颈动脉内膜切除手术; 脑动脉瘤、动静脉畸形等脑血管病手术; 选择性神经根切除术; 脊柱侧弯矫形手术, 脊柱器械固定手术; 心脏外科手术; 五官科手术等。 (2) 禁忌证: 监测局部有感染病灶; 患者及家属拒绝; 对麻醉药物有严重过敏反应; 患者体内有相关电子装置植入物。

5. 术中电生理监测基本要求: (1) 术前基本要求: ①确认参与电生理监测的人员已经过 2~3 年的专业培训获得相应资质。②术前 1~3 d 评估患者全身情况, 评估肢体和语言功能, 告知患者监测模式和可能的风险, 并获得患者知情同意。③神经电生理监测医生、麻醉医生、外科医生等相关人员对患者的病灶及神经功能进行术前评估, 确定需要的麻醉方式 (唤醒或全麻) 及监测方案, 明确麻醉对其影响程度, 确定报警阈值; A. 唤醒麻醉的适应证<sup>[5]</sup>: 年龄一般不小于 14 岁 (取决于患者的认知与自控能力);

DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.17.002

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划 (2014BAI04B05, 2014BAI04B01); 国家高科技研究发展计划 (863 计划) (2015AA020507)

通信作者: 乔慧, 100050 首都医科大学附属北京天坛医院北京市神经外科研究所, Email: hqiao1215@sina.com

表 1 术中电生理监测及麻醉方案的选择

| 手术            | 手术风险                      | 监测方法                                       | 麻醉方案            |
|---------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| 颅脑肿瘤          | 幕上: 功能皮质、皮质下神经传导通路损伤及脑缺血; | MEP、SSEP、DCS 及 DsCS                        | 静脉              |
|               | 幕下: 脑干损伤、颅神经损伤、脑缺血        | AEP、SSEP 及 EMG                             | 静脉(听神经手术应用吸入剂)  |
| 后颅窝微血管减压      | 听觉通路损伤                    | AEP、EMG                                    | 静脉              |
| 动脉瘤、动静脉畸形     | 颈内动脉系: 脑缺血;               | EEG、SSEP 及 TceMEP                          | 静脉              |
|               | 椎基底动脉系: 脑干牵拉、脑缺血          | BAEP、SSEP 及 TceMEP                         | 静脉              |
| 颈内动脉内膜及粥样斑块切除 | 脑缺血                       | AEP、SSEP、EEG 及 TceMEP                      | 静脉              |
| C1 ~ C2 手术    | 外伤: 脊髓损伤;                 | SSEP、酌用 MEP                                | 静脉              |
|               | 肿瘤: 脊髓损伤、脑干损伤             | SSEP, 酌用 MEP, 必要时 AEP 及自由描记 EMG            | 静脉              |
| C3 ~ T1 手术    | 神经根损伤、脊髓损伤                | SSEP、MEP 及 EMG                             | 静脉              |
| 胸腰椎手术         | 神经根损伤、脊髓损伤                | SSEP、TceMEP 及 EMG (脊髓栓系综合征、下胸段及腰段加监测肛门括约肌) | 静脉<br>腰椎手术可用吸入剂 |
| 髋膝肩关节矫形       |                           | SSEP 及 EMG                                 | 吸入剂             |

注: MEP. 运动诱发电位; SSEP. 躯体感觉诱发电位; DCS. 直接皮质电刺激; DsCS. 直接皮质下电刺激; AEP. 听觉诱发电位; EMG. 肌电图; TceMEP. 经颅电刺激运动诱发电位

邻近或累及脑语言、运动等功能区;无明确的精神病史或严重精神症状;意识清醒,认知功能基本正常,术前能配合完成指定任务;自愿接受唤醒麻醉手术。  
B. 唤醒麻醉的禁忌证<sup>[5]</sup>: 年龄 < 14 岁(相对禁忌)或心理发育迟滞的患者;有明确的精神病史或现有严重精神症状;认知功能差,不能配合完成指定任务;严重心、肺、肝及肾功能障碍或其他不适合接受神经外科开颅手术的状况;严重的颅内压增高;严重肥胖、睡眠呼吸暂停综合征、无法控制的咳嗽、困难气道或难以控制的癫痫等无法耐受唤醒麻醉的状况;拒绝接受唤醒麻醉手术者。④对需要唤醒麻醉行语言区手术的患者进行唤醒训练,使患者提前熟悉术中所需的语言任务,减少患者焦虑;唤醒手术需考虑患者的意愿,评估患者配合程度,询问是否有癫痫、困难气道、睡眠呼吸暂停综合征、缺血性心脏病,是否有恶心呕吐的倾向。⑤需要进行运动和体感诱发电位监测、术中听觉诱发电位监测或视觉通路监测的患者需进行术前相应功能测定,并术前获取相应诱发电位的基准值。⑥准备好术中所需物品,并且测试设备是否处于良好功能状态。⑦准备防治癫痫措施,例如注射用丙戊酸钠、0℃冷生理盐水。  
(2)术中基本要求:①要求合理安排监测仪器放置位置,减少外部环境对监测结果的影响。②麻醉医生与外科医生和神经电生理监测医生沟通麻醉方式和麻醉药物对监测可能的影响;协助摆放舒适且便于监测的手术体位;术中及时告知患者全身状态如血压、体温、内环境及麻醉深度,方便对术中监测结果的判读。③神经电生理监测医生直接获得监测数据并进行分析,根据术前制定的报警阈值及时进行监测结果反馈;及时排查术中遇到的设备问题,减少技术操作对监测结果的影响。④神经外科医生需要根据神经电生理监测结果迅速找出可能导致监测结果变化的操作,及早辨别由于手术造成的神经损害,并迅速纠正损害原因,避免永久性神经损害;及时向神经电生理监测医生说明操作可能导致的电生理变化,方便其对监测结果变化的判读。  
(3)术后基本要求:①回访患者,记录患者功能保护情况。②记录患者术前基线数据与术中监测数据、报警阈值设定情况、患者功能保护情况等关键信息。③妥善保存患者临床信息与术中电生理监测数据。

6. 麻醉基本要求:尽量保证患者生理指标保持在正常范围,减少非手术操作因素对电生理监测结果的影响;尽可能在安全范围内使用较少的麻醉药,降低麻醉药对患者认知的影响;使用静脉内全麻醉维持稳定的麻醉深度;使用不干扰电生理监测的麻醉药物;有条件可使用唤醒麻醉。  
7. 电生理监测结果的综合分析:电生理监测结果的变化要综合考虑多方面因素的影响。生理因素包括术中体温、血压、氧含量及血液的改变;麻醉因素包括麻醉药物及麻醉剂量的影响;技术因素主要来自手术室电、声音等干扰;手术因素,包括直接损伤或继发手术操作造成的神经通路损伤。尽可能减少除手术因素外的影响因素的干扰。  
二、运动诱发电位(MEP)  
MEP 术中监测需要电或磁刺激运动皮质产生下行电反应,通过皮质脊髓束,最终以复合肌肉动作电位(CMAP)的形式产生可以测量的电生理信号。临床上常使用 CMAP 的潜伏期和波幅作为监测指

标<sup>[6-8]</sup>。颅内肿瘤手术时直接 MEP 皮质刺激可以标记运动功能区,明确肿瘤与正常组织间的界限,降低术后永久性运动功能障碍发生的同时增加了肿瘤全切率<sup>[9]</sup>。

1. MEP 术中监测适应证:邻近运动皮质和皮质下运动通路的颅内占位手术中定位大脑运动皮质和皮质下运动通路,监测运动神经通路的完整性,预测术后运动功能状况;监测颈动脉内膜剥脱或颅内动脉瘤手术时的皮质及皮质下缺血。

2. MEP 术中监测指标:观察相关肌群的肌肉收缩运动、肌电图活动。CMAP 判定标准为波形清晰、波幅≥100 μV、能辨别潜伏期、拇短展肌和小指展肌的潜伏期范围为 15~35 ms、伪迹干扰小。

3. MEP 术中监测的报警标准:即使在清醒状态仍需考虑大量变量对 MEP 的影响<sup>[10]</sup>,全麻时困难更是加大<sup>[11]</sup>,故 MEP 术中监测的报警阈值尚无统一标准。因大量研究发现术后运动障碍与 CMAP 并非线性关系,CMAP 完全消失时才会出现运动障碍,故在脊髓手术时可以将 CMAP 的消失作为提醒手术医生的惟一标准。这一标准允许在麻醉过程中使用肌松药物,但这一标准也仅适用于脊髓手术<sup>[12]</sup>。推荐当 CMAP 波幅下降 20%~30% 时神经电生理医生就应提高警惕,必要时暂停手术查找原因;当波幅下降>50% 或潜伏期延长>10% 时应立即报警<sup>[13]</sup>。如在术中多次调整刺激参数后 CMAP 仍消失表明运动神经通路完整性可能受损。

4. MEP 术中监测的麻醉要求:患者术中的一系列生理学因素变化会导致监测结果的异常,包括术中体温、缺氧、低血压、缺血、高二氧化碳和低二氧化碳血症等,故需密切监测患者生理学因素,便于监测结果的判读。经颅刺激、皮质刺激以及皮质下刺激 MEP 时吸入麻醉药有较强的抑制作用,应用浓度不宜超过 0.5 MAC,一般不推荐应用。建议采用全凭静脉麻醉,可选用氯胺酮、异丙酚及依托咪酯等,可复合低剂量或持续输注阿片类镇痛药<sup>[11]</sup>。刺激脊髓所产生的诱发电位受麻醉影响较小。不同麻醉药物对 MEP 的影响见表 2<sup>[4,14-15]</sup>。禁用肌松药或在严格 4 次成串刺激(train-of-four stimulation, TOF)肌松监测下应用<sup>[11]</sup>。

TOF 肌松监测仪:将 TOF 监测仪固定于患者腕部和拇指近端,以四个刺激波的串刺激方式刺激尺神经,参数设定为电流强度>15 mA、波宽 0.2 ms,频率为 2 Hz,维持 TOF=4,并根据此值来调整患者肌松剂的输注量及速度,以保证每例患者术中肌松

程度基本一致。

表 2 吸入和静脉麻醉药对 MEP 的影响

| 麻醉药物  | MEP 潜伏期 | MEP 波幅 |
|-------|---------|--------|
| 地氟烷   | ↑       | ↓      |
| 恩氟烷   | ↑       | ↓      |
| 氟烷    | ↑       | ↓      |
| 异氟烷   | ↑       | ↓      |
| 七氟烷   | ↑       | ↓      |
| 笑气    | ↑       | ↓      |
| 巴比妥类  | ↑       | N      |
| 苯二氮草类 | ↑       | ↓      |
| 阿片类   | ↑       | ↓      |
| 依托咪酯  | N       | ↓      |
| 异丙酚   | N       | ↓      |
| 氯胺酮   | ↑       | ↑      |
| 右美托咪啶 | N       | ↓      |

注:N. 该麻醉药对此监测项基本无影响

5. 癫痫防治:MEP 常见并发症有兴奋性中毒、热损伤、心律不齐、后放电及癫痫等<sup>[16]</sup>,其中较严重又会影响手术进程的是术中癫痫发作。为防治癫痫发作,手术开始时可静推丙戊酸钠预防;刺激频率不能过快,刺激持续时间一般<5 s,刺激电流不宜过大尤其是电刺激后,术中脑电图记录到后放电时,应停止该部位刺激,并给予 0℃ 生理盐水冲洗;当局部电刺激诱发癫痫发作时,应立即终止刺激,给予 0℃ 冷生理盐水冲洗并观察发作情况,如发作未停止,或由部分发作进展为全面性发作时应根据手术性质和发作严重程度,给予抗癫痫药及肌松药等处理。

6. 各种运动诱发电位监测方法的介绍:(1)经颅电刺激运动诱发电位(Tce-MEP):Tce-MEP 广泛应用于脑运动区肿瘤手术,监测运动传导通路的完整性,从而达到最大限度切除病灶并保护运动功能。Neuloh 等<sup>[17]</sup>在 182 例脑运动区肿瘤手术中,监测 MEP 电位变化,证实术中可逆性电位变化预示一过性的运动功能损害,而不可逆性电位变化则可能意味着新发及永久性瘫痪。用 MEP 监测颅内动脉瘤手术中皮质及皮质下缺血时发现,幕上动脉瘤夹闭时 MEP 不发生改变就不会发生运动障碍<sup>[18-19]</sup>。①刺激参数:刺激电极固定于头皮 C1、C2 或 C3、C4 前方 2~2.5 cm,即手和上肢代表区的头皮简易定位;当手术切口范围较大时,可适当置于 C3、C4 后方 2 cm,亦可获得较好的四肢 CMAP。刺激波为单相方波或双相方波,刺激强度为 100~800 V,刺激间歇时间为 2 ms(1~10 ms),刺激间期为 0.1 ms(0.05~0.5 ms),串刺激 5(3~8)个/次。现通常采

用双相方波,增加刺激多脉冲串速率至 100 ~ 500 P/S和增加刺激间期,可在低电流、低电压强度下获得较好的波形,明显减少肢体运动的发生,可在不干扰手术操作的情况下进行 MEP 监测<sup>[16]</sup>。②记录参数:皮下针电极以肌腱、肌腹的方式置于需要监测的相应肌肉处:头面部监测眼轮匝肌、颞肌、口轮匝肌及咀嚼肌;上肢监测三角肌、肱二头肌、肱三头肌、前臂屈肌群、拇短展肌及小指展肌;下肢监测股四头肌、胫骨前肌、腓肠肌、趾短屈肌及拇收肌。记录所获 CMAP 的波幅和潜伏期。记录时带通滤波范围为 30 ~ 1 500 Hz,关闭 50 Hz 或者 60 Hz 陷波滤波器,信号平均次数为 1 次,信号分析时间为 100 ms。

(2)直接皮质电刺激(DCS)和直接皮质下电刺激(DsCS):运用术中直接电刺激技术,既可行术中皮质功能定位,又可行皮质下神经传导通路的功能监测与追踪,是目前脑功能区定位的金标准。该技术在提高肿瘤全切率的同时降低远期神经功能障碍<sup>[11]</sup>。DCS 定位大脑运动皮质适用于位于功能区或附近的半球胶质瘤手术。DsCS 定位运动传导通路常用于术中确定病变切除后的边缘、白质区域、内囊及皮质放射,定位锥体束的边界,明确肿瘤与锥体束的关系和切除范围<sup>[20-21]</sup>,据此指导手术切除范围使手术更加安全。

①直接电刺激定位运动皮质:A. 一般有两种刺激模式:低频刺激刺激波为双相方波脉冲,脉冲频率 60 Hz,波宽 1 ms,刺激强度根据麻醉方式设置,全麻一般 3 mA 起始,唤醒麻醉一般 1.5 mA 起始,刺激时间为 1 s、0.5 mA 递增(等同于单相波的 1 mA)。当同步 ECoG 记录到后放电或者癫痫发作前的脑电图背景改变时,表明该部位刺激强度已过大,以不诱发出后放电的最大电流或诱发出运动反应的最小电流进行电刺激,在整个监测过程中保持该刺激强度。运动皮质直接电刺激以引出患者对侧肢体预期的运动反应或记录到相应的 CMAP 为阳性。由于不同个体敏感性、电传导及电流溢出的不同,引起脑电图后放电的刺激强度变异较大,但刺激强度不宜超过 8 ~ 10 mA,以免癫痫发作。具体刺激强度以不引发癫痫、脑电图记录到后放电、肌电图记录到肌肉活动为准。高频短串刺激使用与经颅 MEP 相似的非连续短刺激,低强度电流或串刺激相对较少诱发癫痫和引发较小的肢体动作,设定刺激间歇时间为 2 ~ 4 ms,刺激间期为 0.05 ~ 0.5 ms,串刺激为 3 ~ 8 个/次,电流强度 < 20 mA。

B. 记录参数:记录采用一对针式电极插于需要监测的相应肌肉处,放置部位同 Tce-MEP。C. 注

意事项:使用 SSEP 定位运动-感觉区后行直接皮质电刺激;按照 5 mm × 5 mm 逐一刺激功能区;同一部位不可以连续刺激 2 次以上。

②直接电刺激定位语言皮质:对于语言皮质电刺激,须采用唤醒麻醉方式,监测过程中患者需完成语言评估任务。

A. 刺激模式同直接电刺激定位运动皮质。刺激参数:以引出刺激部位附近出现后放电的刺激强度阈值,再以此阈值下 1 mA 为标准刺激强度进行刺激,或以引出运动反应的最小强度为刺激阈值,一般为 1.5 ~ 6 mA 左右。余刺激参数同直接电刺激定位运动皮质。

B. 记录参数:使用语言任务模式可为自发语言、图片命名、计数及文字阅读、理解和转换任务、Token 试验等。语言皮质直接电刺激主要表现为负性抑制,刺激过程中出现命名中断、延迟或混乱、言语或计数中断、构音障碍、发音错误、理解障碍、表达错误、机械重复及断续言语等均提示阳性,此处即标记为语言皮质功能区。

C. 注意事项:在执行图片命名任务中,至少 2 次出现同一幅图片中有 1 次不刺激;同一部位间隔刺激 3 次,判断刺激结果;注意让患者休息及恢复,避免假阴性及刺激疲劳。

③直接电刺激定位皮质下运动通路:运用单极或双极刺激器进行皮质下直接电刺激识别运动通路成为了常用的术中电生理监测技术,在胶质瘤手术中表现出显著有效性<sup>[22-23]</sup>。皮质下电刺激可以较可靠得提示重要的白质传导束,并提示其距刺激点的距离,但是无法精确表述传导束的具体位置和走向,故一般将皮质下直接电刺激与 DTI 成像联合使用<sup>[23-25]</sup>。

A. 刺激模式同直接电刺激定位运动皮质。低频刺激刺激强度 2 ~ 10 mA。电流通常同皮质电刺激诱发出运动反应的电流,并通过皮质脑电图记录有无后放电,以引出患者对侧肢体预期的运动反应或记录到相应的 CMAP 为阳性;高频短串刺激刺激间期 0.05 ~ 0.5 ms,刺激间歇时间为 2 ~ 4 ms,串刺激为 3 ~ 8 个/次。刺激强度与距传导束距离存在 1 mm/1 mA 的关系,即 1 mA 刺激阳性则离锥体束距离约为 1 mm<sup>[26]</sup>。

B. 记录参数:记录采用一对针式电极插于需要监测的相应肌肉处,具体位置同 Tce-MEP。

C. 注意事项:在合理控制刺激参数前提下,应用高达 16 ~ 20 mA 的刺激强度的皮质下电刺激一般也不易导致患者术中癫痫,高电流皮质下电刺激在一定程度上提高了发现阳性位点的概率,为手术提供更多的锥体束空间位置的信息,但过大电流会传导到更远的地方,可能引起刺激假阳性;皮质下电刺激的脑组织应避免过多血液和其他液体蓄积

周围,导致电流分流或短路,使得监测获得假阴性结果。(3)经皮质电刺激运动诱发电位的连续监测(持续 MEP):持续 MEP 主要用于涉及运动区以及运动传导通路的肿瘤手术,实时监测运动通路的完整性<sup>[17]</sup>。①刺激参数:刺激波为双相方波脉冲,刺激参数同经颅电刺激运动诱发电位。②刺激强度:在手术区域邻近的功能皮质表面贴敷固定条形硬膜下电极,或直接应用 SSEP 定位中央沟的条形硬膜下电极。以直接接触功能皮质表面的 2 点盘形电极为刺激阴、阳极,刺激强度 20 ~ 100 mA。电流自 10 mA 开始,5 mA 递增,以引出患者对侧肢体肌肉稳定的 CMAP 为基线,在肿瘤切除过程中持续行频率为 1 次/min 的经皮质电刺激,所获得的 CMAP 与基线比较。在颅内深部邻近脑干及接近锥体束手术操作时可增加刺激频率至 5 ~ 10 次/min。③注意事项:推荐用条形硬膜下电极作为记录电极定位运动感觉区,然后再利用原电极片作为刺激电极行持续的经皮质电刺激 MEP;双极电凝使用时会影响 CMAP 的波形,可设置 FSI/artifact 进行排除干扰波形或在叠加图形中直接删除干扰波;因超声刀对监测无任何干扰因素,建议在接近锥体束的手术操作中使用超声刀,方便即时行 5 ~ 10 次/min 的 CMAP 叠加;当监测出现阳性结果时可先暂停手术,检查是否有导致假阳性的因素;当监测出现阳性结果时,可配合皮质下电刺激进行验证;以 2 个盘形电极作为刺激回路,激发兴奋的皮质范围有所限定;根据手术切除范围调整电极位置,多半以对侧手臂肌肉能够获得稳定 CMAP 基线为标准。(4)影像导航辅助术中神经电生理监测:①操作步骤:根据影像导航设计手术切口,开颅后暴露脑皮质,SSEP 位相倒置技术定位中央沟以及相应的感觉-运动皮质。将导航反射球固定于双极刺激器上并注册导航参考架,在功能神经导航下,以 fMRI 皮质激活区或颅内电极置入后电刺激定位的脑功能区作为直接皮质电刺激排查脑功能的重点区域,逐一定位相关功能皮质后,以消毒标签标识,然后使患者处于麻醉状态。距离阳性刺激区域  $\geq 1$  cm 处切开皮质,导航辅助下行手术操作。当切除至 DTI Fiber Tracking 导航显示手术切缘距离相应功能传导束 2 cm 范围内时,唤醒患者,重复执行皮质下电刺激,以监测传导通路的完整性。当诱发出靶肌群 CMAP、相应肌群预期的运动反应或诱发言语中断、计数错误时终止进一步切除,加深麻醉,止血完成手术。②注意事项:iMRI 与术中神经电生理监测联合应用存在产生 MRI 成像伪影、影

像畸变、监测不成功、顺磁性材料电极移位以及医疗器械的损坏等潜在风险;进行 iMRI 扫描时,拆除刺激器及前置放大器,切断导电线与控制器的电流通路;不扫描时,磁体应放置在床头下(低场强 iMRI)或者移出手术区域(高场强 iMRI);刺激器、前置放大器尽可能地远离 iMRI 磁体;避免导电线缠绕成弧形;根据手术部位选择监护模式,尽可能减少头部电极植入数量;当局部“伪影”影响观察区域,移动电极位置、拆除电极或者更换线圈;如有条件,选择铂金等磁安全性电极。(5)硬膜下或硬膜外直接刺激脊髓:将刺激电极和记录电极放置在硬膜外或硬膜下,刺激手术部位以上脊髓,记录手术部位以下的脊髓的诱发电位反应,以此来估计脊髓功能的完整性。因监测是在术野中进行,现已很少用。(6)间接刺激脊髓记录外周神经和肌肉的反应电位:①经棘间韧带或椎间盘间接刺激脊髓:A. 刺激部位:针形刺激电极,上正下负。后入路时刺入相邻的 2 个棘间韧带,接近黄韧带;前侧入路时刺入相邻的 2 个椎间盘,接近后纵韧带。记录部位常为双侧腓窝胫神经、上下肢复合肌肉动作电位。B. 刺激和记录参数:电流强度 20 ~ 40 mA,刺激频率 0.3 ~ 0.5 Hz,刺激间期 0.50 ~ 1 ms。记录时带通滤波范围 30 ~ 2 000 Hz,关闭 50 或 60 Hz 陷波滤波器,信号平均次数神经记录平均 10 ~ 30 次,肌肉记录不需平均,信号分析时间 100 ms。②经椎板或棘突间接刺激脊髓:A. 刺激部位:针尖裸露式刺激电极,上正下负;经椎板-经颈部皮肤刺至相邻的 2 个椎板;经棘突刺入相邻的已部分切除的棘突。记录部位位于双侧胫神经或上下肢肌肉复合肌肉动作电位。B. 刺激和记录参数:刺激强度 50 ~ 100 mA 或  $< 400$  V,刺激频率 0.3 ~ 0.5 Hz,刺激间期 0.50 ~ 1 ms。记录参数同经棘间韧带或椎间盘间接刺激。

### 三、体感诱发电位(SSEP)

SSEP 指刺激周围神经在大脑皮质区记录到的电位,它在一定程度上反映了特异性躯体感觉传入通路、脑干网状结构及大脑皮质的机能状态。SSEP 广泛用于动脉瘤、脑动静脉畸形及颈动脉内膜剥脱术等脑血管病及幕上、幕下肿瘤的术中监测;也常用于脊柱如脊柱矫形,脊柱退行性疾病等的手术治疗。SSEP 具有连续性、可重复性和可识别的波形,在解剖部位监测功能及其技术方面有一定优势。在电刺激外周神经后在中央前回可以记录到一个双相的负-正诱发电位(N20,P30),在中央前回记录到 1 个相位完全倒置、双相的正-负诱发电位(P22,

N33)<sup>[27]</sup>, 基于 SSEP 在中央区位相倒置的特性, 在手术中辨别感觉和运动皮质区边界实用可靠<sup>[28]</sup>。

1. SSEP 术中监测适应证: 术前利用诱发电位的位相倒置特点确定中央沟, 鉴别大脑半球功能区, 术中监测经过脑干和大脑皮质的感觉通路的完整性。

2. SSEP 术中监测指标: 术中体感诱发电位的变化, 主要观察波幅和潜伏期变化。

3. SSEP 术中监测的报警标准: 常用的预警标准为波幅降低超过 50% 或潜伏期延长 10% 以上<sup>[29]</sup>。

4. SSEP 术中监测的麻醉要求: 需要注意影响 SSEP 监测结果的生理学因素包括体温、组织灌注、血氧水平与通气及颅内压等。静脉麻醉剂对 SSEP 影响较小, 常用异丙酚全静脉麻醉。吸入麻醉药对皮质下和外周 SSEP 的影响轻微, 但是因为 SSEP 常与 MEP 联合运用, MEP 对吸入麻醉敏感, 故通常还是应用全凭静脉麻醉。典型的推荐药物为丙泊酚与瑞芬太尼组合使用, 建议不要使用肌松药。不同麻醉药物对 SSEP 的影响见表 3<sup>[4, 14-15]</sup>。

表 3 吸入和静脉麻醉药对 SSEP 的影响

| 麻醉药物  | SSEP 潜伏期 | SSEP 波幅 |
|-------|----------|---------|
| 地氟烷   | ↑        | ↓       |
| 恩氟烷   | ↑        | ↓       |
| 氟烷    | ↑        | ↓       |
| 异氟烷   | ↑        | ↓       |
| 七氟烷   | ↑        | ↓       |
| 笑气    | ↑        | ↓       |
| 巴比妥类  | ↑        | N       |
| 苯二氮革类 | ↑        | ↓       |
| 阿片类   | N        | ↓       |
| 依托咪酯  | N        | ↑       |
| 异丙酚   | ↑        | ↓       |
| 氯胺酮   | N        | ↑       |
| 右美托咪啶 | N        | N       |

注: N. 该麻醉药对此监测项基本无影响

5. 刺激参数: 刺激部位上肢腕部正中神经(腕横纹正中上 2 cm)或尺神经(尺侧腕屈肌腕横纹处或肘部尺神经沟处), 下肢内踝部胫后神经(内踝后 2 cm)或腓骨头的腓神经; 刺激波为恒流单相脉冲, 刺激强度 15 ~ 25 mA, 在下肢胫后神经刺激时可能适当增加, 刺激间期 0.1 ~ 0.3 ms, 刺激频率 2.1 ~ 4.7 Hz。

6. 记录参数: 记录部位原则为位于记录点下方, 位于手术危险区域, 以确保监测通路通过位于危险状态下的神经区域; 上肢为锁骨上窝处的 Erbs 点, 颈 2 ~ 5 椎体水平放置颈部电极, 头皮电极记录

点为 C3'、C4'; 下肢为腓窝电极, 腰电位位于 T12 或 L1 水平, 颈 2 ~ 5 椎体水平放置颈部电极, 头皮电极 CZ。直接皮质记录时常使用条形或网格状阵列电极, 带通滤波范围 30 ~ 3 000 Hz, 关闭 50 或者 60 Hz 陷波滤波器, 重复信号平均次数 300 ~ 500 次, 信号分析时间上肢为 50 ms、下肢为 100 ms。

#### 四、听觉诱发电位(AEP)

后颅窝或后颅窝附近的手术极易损害听觉通路, 在这类手术过程中, 对听觉系统的监测可以帮助确定关键的解剖结构, 提供即时预警, 防止永久性神经损伤。听觉诱发电位(AEP)包括脑干听觉诱发电位(BAEP)、耳蜗电图(ECochG)和听觉动作电位(NAP)。

1. 脑干听觉诱发电位(BAEP): 脑干听觉诱发电位的波峰可以记录到 I ~ VII 的波, 各波与解剖位置有大致对应关系: I 为听神经颅外部分, II 为听神经颅内部分、耳蜗神经核, III 为耳蜗神经核, IV 为外侧丘系、上橄榄核复合体, V 为下丘脑、对侧的外侧丘系, VI 为内侧膝状核, VII 为丘脑辐射。大部分波峰是多个发生器累积的结果, 尽管不是所有的发生器都获得了证实, 但是它们仍可以指出损伤发生的大致位置, 因此有重要临床意义。术中监测一般使用 I、III、V 来指导手术。(1) 脑干听觉诱发电位适应证: 监测听神经和脑干的功能, 可用于桥小脑角手术及其他后颅窝手术中, 如听神经瘤、斜坡肿瘤及三叉神经微血管减压术等。后循环动脉瘤、动静脉畸形等手术中经常联合 BAEP 和 SSEP 监测。(2) 监测指标: 诱发电位的潜伏期延长、波幅降低有重要意义。(3) 脑干听觉诱发电位报警标准: 经典报警标准是 V 波波幅下降超过 50%, 潜伏期延长 0.80 ms 以上<sup>[30]</sup>。常规记录 I、III 及 V 波形的反应潜伏期和 I、V 波形的波幅以及 I ~ III、III ~ V、I ~ V 的峰间潜伏期, 任何 > 基线 1.5 ms 的潜伏期延长或波幅变化 > 50% 都需查找原因。(4) 脑干听觉诱发电位麻醉要求: 很少受到麻醉剂的影响, 故麻醉方式中可使用静脉麻醉药物、吸入麻醉剂和肌松药。(5) 刺激参数: 刺激类型为刺激声音为宽带咔嗒音, 刺激频率为 5 ~ 12 次/s, 常用 11.9 次减少伪差, 为快速得到结果可使用 50 次/s。刺激极性为一般使用交替性咔嗒音, 但对于严重高频听力丧失的患者, 使用稀疏或压缩咔嗒音效果较好。刺激强度声压水平为 100 dB pe SPL、听力水平为 60 ~ 70 dB HL, 非声音刺激侧 60 dB pe SPL (30 ~ 35 dB HL) 空白干扰音。(6) 记录参数: 记录部位 3 个记录电极, 头顶阳性电

极 (Cz), 两侧乳突阴性电极 (M1, M2) 或者耳垂 (A1, A2), 系统带通低通为 10 ~ 30 Hz, 高通为 2 500 ~ 3 000 Hz, 信号分析时间为 10 ~ 15 ms, 信号平均次数为 1 000 ~ 4 000 次。(7) 注意事项: 骨钻引起的噪声对耳蜗造成影响进而影响脑干听觉诱发电位记录; 液体或灌洗液进入中耳会导致中耳传导减弱, 应及时清除。

2. 耳蜗电图 (ECochG): 在听神经瘤手术中当 BAEP 难以鉴别时, ECochG 可以被作为 BAEP 监测的替代方法。ECochG 为客观检查法, 不依赖患者的反应, ECochG 采用一个从骨膜插入到覆盖在中耳岬骨部软组织上的针电极来记录, 参考电极置于同侧乳突。ECochG 产生的动作电位包括 N1、N2、N3, 其中 N1 同步放电神经元量最多, 波幅最高, 故常用 N1 的波幅和潜伏期作为 ECochG 的动作电位。N1 代表产生于听神经外侧部分的电活动, 保留 N1 电位可至少保留最低听力的需求。

3. 听觉动作电位 (NAP): NAP 是由直接放在听神经上或脑干附近的电极来记录的, 可直接记录颅内段蜗神经的复合动作电位, 且其信号处理基本无延迟, 听觉损伤反馈及时, 可提供对听神经功能敏感的实时监测。当记录电极置于内耳道附近时, 它代表产生于听神经外侧部分的电活动; 当电极放在内侧脑干附近时, 代表的是产生于内侧听神经和耳蜗神经核的电活动。

## 五、肌电图 (EMG)

通过记录肌电图的情况可以了解支配肌肉的神经功能状态, 并可在术中有目的地刺激神经以评价运动神经通路的完整性或在术野确定神经的位置。肌电图分为自由描记肌电图和激发肌电图。理论上肌电图记录可以用来监测任何带有运动成分的神

1. 肌电图适应证: 最常用于桥小脑角手术中监测面神经功能和微血管减压手术, 在脊柱、脊髓、神经根手术等可能造成运动神经损伤的手术中也可应用。

2. 监测指标: 肌群收缩反应、复合肌肉动作电位、自由描记肌电图。

3. 激发肌电图刺激参数: 刺激方式为恒流刺激, 刺激间期为 0.1 ~ 0.2 ms, 刺激频率 1 ~ 10 Hz, 正常神经刺激反应阈值 0.05 ~ 0.2 A, 记录部位串联设置在目标神经支配的肌肉。

4. 肌电图报警标准<sup>[31]</sup>: 自由描记肌电图出现任何形式的肌电反应都说明神经受到一定程度的激

惹或损伤。激发肌电图为直接刺激运动神经元轴突产生的肌电反应。单个爆发的肌肉收缩反应通常与直接的神经受激惹有关, 连续爆发的肌肉收缩反应通常与持续牵拉、压迫有关, 手术中出现这两种肌肉收缩反应尤其是后者时要及时查找原因。

5. 麻醉要求: 除了神经肌肉阻滞剂外, 麻醉药物及术中其他生理学变化对 EMG 影响极小<sup>[14]</sup>。

6. 肌电图监测的应用: (1) 半侧面肌痉挛微血管减压术中监测: 刺激面神经颞支或颧支的同时从颞肌记录 EMG, 即可得到异常肌肉反应, 也可在刺激下颌缘支的同时在眼轮匝肌记录 EMG。异常肌肉反应于面神经和责任血管之间置入绝缘片之后消失。①刺激参数: 刺激波为方波脉冲, 脉冲频率 1 ~ 2 Hz, 50 Hz, 刺激持续时间 100 ~ 150  $\mu$ s。刺激电极置于面神经颞支 (外耳道与眼角连线的中点), 用 5 ~ 10 Hz 的刺激频率, 5 mA 的刺激强度, 同时观察面肌的抽搐来确定刺激电极的位置。在所有电极放置好后, 刺激强度可调低以确定激发异常肌肉反应的最低阈值, 通常为 < 1.5 mA。在异常肌肉反应的监测中, 以 1 ~ 2 Hz 的频率和高于阈值 20% ~ 30% 的强度重复刺激可产生稳定的异常肌肉反应。②记录参数: 记录采用两对针式电极分别插于眼轮匝肌和颞肌, 滤波设置为 10 ~ 3 000 Hz。③注意事项: 如果第 1 次刺激开始时异常肌肉反应不存在, 可增加刺激频率值至 50 Hz 并持续数秒, 之后使用常规频率 1 ~ 5 Hz, 可以激发异常肌肉反应; 若还不能获得异常肌肉反应可用 TOF 监测肌松水平; 如果异常肌肉反应在硬膜或蛛网膜切开时即完全消失且通过应用短时间 50 Hz 的刺激不能重新激发异常肌肉反应, 则责任血管往往是一个宽松的动脉袢; 术中已从面神经移离一根血管, 但并不能终止异常肌肉反应, 则应继续探查面神经根部至脑干发出端。(2) 颅神经监测: ①颅神经监测适应证: 常用于幕下肿瘤及涉及颅神经操作的监测, 如听神经瘤、颅底后外侧肿瘤及后组颅神经神经鞘瘤。根据具体手术入路及部位选择。②刺激参数: 恒流刺激或恒压刺激, 相应刺激间期 0.1 ~ 0.2 ms 和 0.2 ms, 对应正常神经刺激反应阈值 0.05 ~ 0.5 mA 和 0.05 ~ 0.2 V, 刺激频率 1 ~ 10 Hz。③动眼神经、滑车神经及外展神经监测: 动眼神经记录电极放在同侧眼外肌上; 滑车神经记录电极放在同侧上斜外肌上; 外展神经记录电极放在同侧外直肌上。④三叉神经监测: 记录电极放在同侧咀嚼肌上, 观察肌肉收缩及记录肌肉动作电位。手术监测时可能会出现口轮匝肌和咬肌互相干扰,

可根据刺激神经后出现肌肉收缩的反应潜伏期鉴别:面神经反应潜伏期大约为 7 ms,三叉神经一般 <5 ms。⑤面神经监测:肌电图常用于监测术前面神经功能完整性,指导鉴别面神经与周围组织的关系,肿瘤切除后用于评估面神经功能保留情况。记录导联设置在术侧眼轮匝肌和口轮匝肌或额肌,肿瘤切除后,在脑干端以 0.05 ~ 0.2 mA 的强度刺激面神经得到诱发电位提示面神经功能保护良好。⑥听神经监测:听觉诱发电位的方式来术中监测听神经功能。详见前述。⑦舌咽神经监测:一对针电极插在手术侧的软腭上来间接记录颈突咽肌的肌电活动。⑧迷走神经:记录电极可贴附在气管插管上。⑨副神经监测:记录电极放在同侧斜方肌或胸锁乳突肌上。⑩舌下神经监测:记录电极放在舌头上。

(3)脑干图:脑干图是一种定位四脑室底脑神经核团的神经电生理监测方法,这项技术可以预防脑干或其他临近部位肿瘤切除术对脑神经运动核团的损伤<sup>[32]</sup>。当手术部位接近第四脑室底时,使用手持刺激器对四脑室底不同部位进行刺激可以导致不同肌群的肌电反应,这些肌电反应可以帮助定位脑神经运动核团以及寻找接近脑干的最佳手术入路。然而这项技术只是一种定位技术而不是实时监测技术,只能在肿瘤切除间歇使用,不能持续使用以判断运动通路完整性,因此使用这项技术并不能完全预防肿瘤切除术过程中的神经损伤,但可指导外科医生选择最安全的接近低位脑干的方法。①脑干图适应证:定位第四脑室底神经运动核团。②刺激参数:刺激间期为 0.2 ms,刺激频率 4 Hz,正常神经刺激反应阈值 0.3 ~ 2 mA。③监测指标:自发或诱发的肌群收缩反应或出现复合肌肉动作电位。具体记录电极放置位置同颅神经监测,详见前述。(4)神经根监测:①评估椎弓根螺钉位置和神经根功能的术中监测:由于骨骼的电阻远高于周围组织,当椎弓根壁完整时可限制一定范围的电流通过椎弓根,从而不能从相应的肌肉中记录到动作电位;相反,如果椎弓根壁被穿通,其电阻明显降低,低强度的电流即可形成通路从而诱发动作电位,根据刺激阈值的变化可以评估椎弓根螺钉位置和神经根功能<sup>[33]</sup>。当刺激阈值 < 10 mA 意味着椎弓根螺钉在椎弓根外,刺激阈值 10 ~ 15 mA 意味着椎弓根螺钉位置基本到位,刺激阈值 > 15 mA 意味着椎弓根螺钉位置准确率为 99%<sup>[34]</sup>。A. 刺激参数:刺激间期 0.05 ~ 0.3 ms,刺激频刺激间期 0.05 ~ 0.3 ms,刺激频率 1 ~ 5 Hz;记录位置见表 4。B. 报警阈值:正常神经刺激反应阈

值获取从 0 mA 开始逐渐增加至 1 个或多个监测肌群出现 CMAP;正常神经根的平均刺激阈值大约是 2 ~ 4 mA;间接刺激的阈值达到 10 mA 就可警示螺钉的位置错误。②在脑瘫患儿行选择性神经根切断术中监测:A. 刺激参数:刺激间期 0.2 ms,刺激频率 10 Hz。B. 记录部位:监测下肢肌群如内收肌、股四头肌、胫前肌、腓长伸肌、腓绳肌、腓骨肌、腓肠肌及肛门括约肌。C. 监测指标:分离出神经根,刺激从 0 mA 开始逐渐增加至 1 个或多个监测肌群出现 CMAP,设定该值为阈值强度。然后将运动神经根分为 3 束,用阈值强度分别刺激这 3 束,观察目标肌群的 CMAP。将目标肌群的 CMAP 结果分为 1 ~ 4 级 4 个级别,1 ~ 2 为同侧肌群获得 CMAP,3 ~ 4 为对侧肌群获得 CMAP。手术医生选择性切断 3 ~ 4 级的神经束。每一个脊髓运动神经根依次进行阈值刺激的分束操作并选择性切断。(5)H 反射试验:H 反射是由电刺激形成的单突触发射,在肌肉处可以记录到 CMAP。H 反射反映脊髓运动性神经元在脊髓灰质所占的比例,因脊髓灰质比白质对缺血反应更敏感,H 反射比 SSEP 监测在脊髓缺血方面更有优势,与患者运动功能预后也有密切关系<sup>[35]</sup>。上运动神经元病变时,H 反射亢进,潜伏期缩短、波峰增高,H/M 比值升高,这是上运动神经元病变时的重要电生理指标之一。①参数:刺激间期 0.1 ms,刺激频率 0.1 ~ 0.5 Hz,刺激部位为腓窝。②记录部位:腓肠肌内侧头。③监测指标:H 反射为低阈值反射,因 IA 传入纤维是最粗也是兴奋性最高的纤维,故用弱电流刺激胫后神经,先出现 H 波,刺激逐渐增强时 H 波波幅逐渐增大,达一定水平后再增加刺

表 4 椎弓根螺钉植入术中需要监测的肌群

| 脊椎区域 | 支配的神经根     | 肌群         |
|------|------------|------------|
| 颈椎   | C2、C3、C4   | 斜方肌、胸锁乳突肌  |
|      | C5、C6      | 肱二头肌、三角肌   |
|      | C6、C7      | 肱三头肌、桡侧腕屈肌 |
| 胸椎   | C8、T1      | 拇短展肌、外展小指肌 |
|      | T5、T6      | 上腹直肌、肋间肌   |
|      | T7、T8      | 中腹直肌、肋间肌   |
|      | T9、T10、T11 | 下腹直肌、肋间肌   |
| 腰椎   | T12        | 横腹直肌、肋间肌   |
|      | L1         | 腰肌         |
|      | L2、L3      | 腰大收肌       |
|      | L3、L4      | 股内侧肌       |
| 骶椎   | L4、L5      | 胫骨前肌       |
|      | L5、S1      | 腓骨长肌       |
|      | S1、S2      | 内侧腓肠肌      |
|      | S3、S4、S5   | 肛门外括约肌     |

激量 H 波波幅开始减低而 M 波逐渐增大,达超强刺激时 H 波消失 M 波波幅达到最高。监测时从 0 mA 开始逐渐增加,确定 H 反射反应的波幅超过 M 波。正常 H/M 比值 0.65 ~ 0.75,比值升高意味着上神经元损害。

六、闪光刺激视觉诱发电位(VEP)

视觉通路手术的目的是在切除肿瘤的同时最大限度地保护视觉功能和改善已经存在的视力损害,运用视觉诱发电位监测可以指导手术路径的确定。当肿瘤组织包绕视神经时,有助于区分肿瘤组织与正常视神经组织,在肿瘤或病灶切除过程中监测视觉通路的完整性。

1. 闪光刺激视觉诱发电位适应证:适用于术中监测视网膜、视神经、视交叉、视束到视皮质的视觉通路完整性,常应用于鞍区手术、视神经管减压手术、枕叶视皮质区手术等视觉通路上的手术操作。

2. 麻醉要求:吸入麻醉剂对 VEP 有影响,全凭静脉麻醉也并不增加 VEP 的稳定性。麻醉药物对视觉诱发电位的影响见表 5<sup>[15]</sup>。

3. 闪光刺激视觉诱发电位刺激器:一般采用发光二极管眼罩,红色高频闪光透过眼睑刺激患者眼睛。

4. 记录参数:参考位置为 FZ 或 CZ,记录位置为 OZ 或 O1、O2;滤波范围为低通 5 Hz、高通 500 Hz 和 P100;分析时间为 200 ~ 500 ms,平均次数 100 ~ 500 次。一般认为视觉诱发电位的 P100 成分与第一视区相关,故记录 P100 成分的潜伏期和波幅。

七、脑电图(EEG)

脑电图监测是记录探测电极附近皮质神经元自发活动的平均细胞外电位。EEG 数据可用来评估麻醉深度和脑灌注水平,但局部或全脑的 EEG 变化并不完全是特异性。绝大多数静脉麻醉药物对脑电图都呈剂量依赖性抑制,甚至会导致爆发性抑制,故可用 EEG 监测麻醉深度。EEG 对中枢神经系统的缺氧缺血的高敏感性使得其广泛用于颈动脉手术的监测<sup>[36]</sup>。特征性的棘波等异常变化可以用于癫痫的诊断,现今也可用于术中癫痫灶的定位。

1. 脑电图适应证:麻醉深度监测;全脑多导监测,记录脑缺血的变化用于颈内动脉斑块剥脱术;硬膜下电极或深部柱状电极记录脑电图,记录刺激皮质后放电现象;癫痫病灶定位手术。

2. 麻醉要求:绝大多数术前镇静药物在低剂量时对脑电抑制小,脑电波以快波为主,镇静剂量时脑电与嗜睡时类似,睡眠纺锤波在中度睡眠时可见,宽

表 5 不同麻醉药对视觉诱发电位的影响

| 麻醉药物               | 剂量或浓度                                                              | P-100 的潜伏期 | 波幅         |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| 氟烷                 | 1MAC                                                               | ≈10% ↑     | 不一致        |
| 异氟烷                | 0.5MAC                                                             | 10% ↑      | 40% ↓      |
|                    | 1.0MAC                                                             | 20% ↑      | 66% ↓      |
|                    | 1.5MAC                                                             | 30% ↑      | 80% ↓      |
|                    | 1.0MAC + 70% 氧化亚氮                                                  | 消失         | 消失         |
| 七氟烷                | 1.5MAC + 70% 氧化亚氮                                                  | 消失         | 消失         |
|                    | 0.5MAC + 70% 氧化亚氮                                                  | 5% ~ 10% ↑ | 20% ↓      |
|                    | 1.0MAC + 70% 氧化亚氮                                                  | 消失         | 消失         |
|                    | 1.5MAC + 70% 氧化亚氮                                                  | 消失         | 消失         |
| 氧化亚氮               | 1.4 ~ 1.7MAC                                                       | 消失         | 消失         |
|                    | 10% ~ 50%                                                          | 无效应        | 25 ~ 80% ↓ |
| 丙泊酚                | 2 mg/kg + 10 mg <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> | 微小变化       | ≈20% ↓     |
| 硫喷托纳               | 3 mg/kg                                                            | <10% ↑     | 无变化        |
|                    | 6 mg/kg                                                            | 消失         | 消失         |
| 依托咪酯               | 0.3 mg/kg                                                          | <10% ↑     | 无变化 ↓      |
| 芬太尼                | 10 ~ 60 μg/kg                                                      | <10% ↑     | 30% ↓      |
| 氯胺酮                | 1 mg/kg + 2 mg <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>  | 微小变化       | ≈60% ↓     |
| 吗啡东莨菪碱(术前药)        | 吗啡 1 mg/kg<br>东莨菪碱 0.4 mg                                          | 无变化        | ≈20% ↓     |
| 安定镇痛术芬太尼、氟哌利多、氧化亚氮 |                                                                    | <10% ↑     | 无变化        |

大深波在深睡状态时为主。吸入麻醉时全脑为慢波,尤其 N<sub>2</sub>O 影响最大,应避免使用,推荐使用异氟烷或七氟烷。除了氯胺酮外,绝大多数静脉麻醉药物对脑电图都呈剂量依赖性抑制,并可引起爆发性抑制。

3. EEG 信号采集:用于电极放置的方法和命名方式有很多,最常用的是国际 10-20 系统。采集大多使用 >16 通道的监测,现有多达 256 导的监测通道,可以获得更多的数据用于信号处理和认知研究。

4. 信号处理:EEG 信号处理是基于计算机分析电压信号。伪迹处理后的数据根据监测需要用多种方式进一步处理分析,包括时阈分析、频阈分析、频谱列阵、脑电双频谱、事件诱发电位分析及小波分析等。

中国医师协会神经外科分会神经电生理监测专家委员会名单(按姓氏笔画排序):马羽(清华大学玉泉医院神经外科)、白红民(广州军区广州总医院神经外科)、乔慧(首都医科大学附属天坛医院 北京市神经外科研究所)、吴劲松(复

旦大学附属华山医院神经外科)、刘献增(北京大学人民医院神经内科)、庄平(北京宣武医院北京功能神经外科研究所)、齐华光(西安交通大学附属红会医院功能检查科)、李六一(河南省人民医院,河南省脑血管病医院神经电生理科)、李晓嵩(贵州省人民医院神经电生理中心)、孙海峰(宁夏医科大学总院神经电生理中心)、姚一(解放军第一七四医院暨厦门大学成功医院医学中心)、袁辉胜(湖北省新华医院神经外科)、常鹏飞(解放军总参谋部总医院)、梁树立(解放军总医院第一附属医院神经外科)、熊南翔(华中科技大学同济医学院附属协和医院)

**本文执笔者名单:**复旦大学附属华山医院神经外科:尼加提·库都来提、许耿、庄冬晓、路俊锋、吴劲松;首都医科大学附属北京天坛医院 北京市神经外科研究所:乔慧

### 参 考 文 献

- [1] Holdefer RN, Skinner SA. Commentary : The value of intraoperative neurophysiological monitoring: evidence, equipoise and outcomes[J]. J Clin Monit Comput, 2017, 31(4): 657-664. DOI: 10.1007/s10877-016-9910-0.
- [2] Howick J, Cohen BA, McCulloch P, et al. Foundations for evidence-based intraoperative neurophysiological monitoring[J]. Clin Neurophysiol, 2016, 127(1): 81-90. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.05.033.
- [3] Skinner SA, Cohen BA, Morledge DE, et al. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring[J]. J Clin Monit Comput, 2014, 28(2): 103-111. DOI: 10.1007/s10877-013-9496-8.
- [4] 吴劲松, 许耿, 毛颖, 等. 华山医院术中神经电生理监测临床实践规范介绍[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12(6): 660-668. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.007.
- [5] 中国脑胶质瘤协作组. 唤醒状态下切除脑功能区胶质瘤手术技术指南(2014 版)[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2014, 19(10): 479-485. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2014.10.018.
- [6] MacDonald DB. Overview on Criteria for MEP Monitoring[J]. J Clin Neurophysiol, 2017, 34(1): 4-11. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000302.
- [7] Journee HL, Berends HI, Kruyt MC. The Percentage of Amplitude Decrease Warning Criteria for Transcranial MEP Monitoring[J]. J Clin Neurophysiol, 2017, 34(1): 22-31. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000338.
- [8] Calancie B. Intraoperative Neuromonitoring and Alarm Criteria for Judging MEP Responses to Transcranial Electric Stimulation: The Threshold-Level Method[J]. J Clin Neurophysiol, 2017, 34(1): 12-21. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000339.
- [9] Bertani G, Fava E, Casaceli G, et al. Intraoperative mapping and monitoring of brain functions for the resection of low-grade gliomas: technical considerations[J]. Neurosurg Focus, 2009, 27(4): E4. DOI: 10.3171/2009.8.FOCUS09137.
- [10] Wassermann EM. Variation in the response to transcranial magnetic brain stimulation in the general population[J]. Clin Neurophysiol, 2002, 113(7): 1165-1171. DOI: 10.1016/S1388-2457(02)00144-X.
- [11] Sloan TB, Heyer EJ. Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord[J]. J Clin Neurophysiol, 2002, 19(5): 430-443. DOI: 10.1097/00004691-200210000-00006.
- [12] Macdonald DB, Al Zayed Z, Al Saddigi A. Four-limb muscle motor evoked potential and optimized somatosensory evoked potential monitoring with decussation assessment: results in 206 thoracolumbar spine surgeries[J]. Eur Spine J, 2007, 16 Suppl 2: S171-187. DOI: 10.1007/s00586-007-0426-7.
- [13] Szelenyi A, Hattingen E, Weidauer S, et al. Intraoperative motor evoked potential alteration in intracranial tumor surgery and its relation to signal alteration in postoperative magnetic resonance imaging[J]. Neurosurgery, 2010, 67(2): 302-313. DOI: 10.1227/01.NEU.0000371973.46234.46.
- [14] Shils JL, Sloan TB. Intraoperative neuromonitoring[J]. Int Anesthesiol Clin, 2015, 53(1): 53-73. DOI: 10.1097/AIA.0000000000000043.
- [15] Banoub M, Tetzlaff JE, Schubert A. Pharmacologic and physiologic influences affecting sensory evoked potentials: implications for perioperative monitoring[J]. Anesthesiology, 2003, 99(3): 716-737. DOI: 10.1097/0000542-200309000-00029.
- [16] Macdonald DB, Skinner S, Shils J, et al. Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring[J]. Clin Neurophysiol, 2013, 124(12): 2291-2316. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.07.025.
- [17] Neuloh G, Pechstein U, Cedzich C, et al. Motor evoked potential monitoring with supratentorial surgery[J]. Neurosurgery, 2007, 61(1 Suppl): 337-346. DOI: 10.1227/01.neu.0000279227.50826.6c.
- [18] Szelenyi A, Langer D, Kothbauer K, et al. Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome[J]. J Neurosurg, 2006, 105(5): 675-681. DOI: 10.3171/jns.2006.105.5.675.
- [19] 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(3): 389-399. DOI: 10.3171/jns.2004.100.3.0389.
- [20] Berger MS, Hadjipanayis CG. Surgery of intrinsic cerebral tumors[J]. Neurosurgery, 2007, 61(1 Suppl): 279-304. DOI: 10.1227/01.NEU.0000255489.88321.18.
- [21] Duffau H. Contribution of cortical and subcortical electrostimulation in brain glioma surgery: methodological and functional considerations[J]. Neurophysiol Clin, 2007, 37(6): 373-382. DOI: 10.1016/j.neucli.2007.09.003.
- [22] Berman JI, Berger MS, Chung SW, et al. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging tractography assessed using intraoperative subcortical stimulation mapping and magnetic source imaging[J]. J Neurosurg, 2007, 107(3): 488-494. DOI: 10.3171/JNS-07/09/0488.
- [23] Ohue S, Kohno S, Inoue A, et al. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging-based tractography for surgery of gliomas near the pyramidal tract: a significant correlation between subcortical electrical stimulation and postoperative tractography[J]. Neurosurgery, 2012, 70(2): 283-293. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823020e6.
- [24] Mikuni N, Okada T, Enatsu R, et al. Clinical impact of integrated functional neuronavigation and subcortical electrical stimulation to preserve motor function during resection of brain tumors[J]. J Neurosurg, 2007, 106(4): 593-598. DOI: 10.3171/jns.2007.106.4.593.
- [25] Kamada K, Todo T, Ota T, et al. The motor-evoked potential threshold evaluated by tractography and electrical stimulation[J]. J Neurosurg, 2009, 111(4): 785-795. DOI: 10.3171/2008.9.JNS08414.
- [26] Nossek E, Korn A, Shahar T, et al. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation. Clinical article[J]. J Neurosurg, 2011, 114(3): 738-746.

- DOI: 10.3171/2010.8.JNS10639.
- [27] Cedzich C, Taniguchi M, Schafer S, et al. Somatosensory evoked potential phase reversal and direct motor cortex stimulation during surgery in and around the central region[J]. Neurosurgery, 1996, 38(5): 962-970. DOI: 10.1097/00006123-199605000-00023.
- [28] Kombos T, Suess O, Funk T, et al. Intra-operative mapping of the motor cortex during surgery in and around the motor cortex[J]. Acta Neurochir, 2000, 142(3): 263-268. DOI: 10.1007/s007010050034.
- [29] Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, et al. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1995, 96(1): 6-11. DOI: 10.1016/0013-4694(94)00235-D.
- [30] Watanabe E, Schramm J, Strauss C, et al. Neurophysiologic monitoring in posterior fossa surgery. II. BAEP-waves I and V and preservation of hearing[J]. Acta Neurochir, 1989, 98(3-4): 118-128. DOI: 10.1007/bf01407337.
- [31] Nair DG. Intraoperative mapping of roots, plexuses, and nerves[J]. J Clin Neurophysiol, 2013, 30(6): 613-619. DOI: 10.1097/01.wnp.0000436893.23587.35.
- [32] Deletis V, Fernandez-Conejero I. Intraoperative Monitoring and Mapping of the Functional Integrity of the Brainstem[J]. J Clin Neurol, 2016, 12(3): 262-273. DOI: 10.3988/jcn.2016.12.3.262.
- [33] Glassman SD, Dimar JR, Puno RM, et al. A prospective analysis of intraoperative electromyographic monitoring of pedicle screw placement with computed tomographic scan confirmation[J]. Spine, 1995, 20(12): 1375-1379. DOI: 10.1097/00007632-199520120-00008.
- [34] Djurasovic M, Dimar JR, Glassman SD, et al. A prospective analysis of intraoperative electromyographic monitoring of posterior cervical screw fixation[J]. J Spinal Disord Tech, 2005, 18(6): 515-518. DOI: 10.1097/01.bsd.0000173315.06025.c6.
- [35] Deletis V, Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts[J]. Clin Neurophysiol, 2008, 119(2): 248-264. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.09.135.
- [36] Thirumala PD, Thiagarajan K, Gedela S, et al. Diagnostic accuracy of EEG changes during carotid endarterectomy in predicting perioperative strokes[J]. J Clin Neurosci, 2016, 25: 1-9. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.08.014.

(收稿日期:2017-11-25)

(本文编辑:刘小梅)

## · 书讯 ·

## 《皮肤真菌病学——实验室实用诊断手册》 中译本出版发行

《皮肤真菌病学——实验室实用诊断手册》中译本于 2017 年 3 月由北京大学医学出版社出版发行。该书由北京大学博士、荷兰皇家科学院 CBS 真菌生物多样性中心博士后、北京大学第三医院皮肤科教授及其课题组成员进行翻译,由北京大学第一医院皮肤科李若瑜教授撰写了序言。

病原真菌中译名一直存在与普通真菌学领域译名不统一现象,给学术交流造成了不便,以至于很多学者主张在中文中直接使用拉丁名,给初学者学习病原真菌带来了困难。本书经中国科学院微生物所姚一建先生审校,使医学真菌名称采用了与普通真菌学一致的规范译名,如 *Trichophyton rubrum* 译为“红色癣菌”,*Microsporum canis* 译为“狗小孢霉”等。这种译名的统一将有助于学术界的沟通交流。形态学鉴定方法一直是真菌病诊断的基础,是医学真菌学家所必备的知识。随着分子生物学技术的发展,特别是 DNA 序列鉴定和质谱鉴定技术迅速应用于临床,形态学似乎淡出了人们的视野。但是,确定所分离的真菌是否为致病菌,其生长是否对人体产生了病理损害,仅仅依靠分子学诊断还远远不

够,这既是原著者撰写该书的初衷,也是译注作者倾力翻译的主旨所在。然而,由于致病菌种类繁多,特征复杂,形态学鉴定方法往往使初学者望而生畏。该书以简洁的语言、从大体菌落特征到镜下的微观形态变化等形象地展示了皮肤真菌的鉴定方法。有助于读者掌握要点,快速入门,并可触类旁通。建立实验室是真菌检测的基本条件,往往使非专科医师无从下手。本书从建立皮肤科真菌实验室所需的器械到制剂、从取材到镜检、从接种到鉴定等简洁地介绍了真菌检测的方法和流程。

当然,作为感染性疾病,其传染途径及其易感染人群是另外两个重要因素。本书简明扼要地介绍了皮肤真菌生态学及其宿主选择等特征,及其所致疾病的流行病学等发病因素。

鉴于该书中所含的丰富内容和实际操作指导,此书将成为皮肤科医生必备的工具书,也是不可多得的真菌实验室工具书。在我国皮肤科真菌实验室构建及标准化建设的进程中,该书将发挥其应有的作用。