

# 术中神经电生理监测在神经外科中的应用

张申起 郭丽蕊 彭彬 陈谦学

【中图分类号】 R741.044 【文献标识码】 A 【文章编号】 1007-0478(2018)05-0614-06  
【DOI】 10.3969/j.issn.1007-0478.2018.05.033

手术是一种充满风险的疾病治疗手段,其有对神经系统造成损伤的潜在可能,因为这些损伤可能无法被手术者在术野中观察到,往往在医师不知不觉中发生。术中神经电生理监测是利用脑神经电生理的原理对手术操作可能影响到的神经组织对其进行监测以达到避免或减小损伤的目的,为神经外科疾病的治疗提供了新的指导方法。本研究就术中神经电生理监测的目的、内容、麻醉与术中神经电生理监测的关系以及术中神经电生理监测在不同神经外科疾病中的应用进行综述。

随着现代影像学技术不断发展,神经外科显微技术的不断进步,神经外科手术取得了巨大的进步,手术患者的致残、致死率有了很大程度的降低,术前影像学检查为术者提供了病变的定位信息,神经外科手术器械的进步为术者创造了良好的手术条件。手术操作过程中可能对神经功能造成一定的影响,为了避免神经外科手术中所产生的医源性损伤,及时了解病变以及周围结构的功能性定位,进一步提高手术效果,术中神经电生理监测技术应运而生,在一定程度上为手术者提供了实时的功能信息,为指导手术的进程和提高手术的安全性奠定了基础<sup>[1]</sup>。

术中神经电生理监测通常用于可能造成神经系统受到永久性损伤风险的手术中,以降低术后神经功能缺损的风险。尽管这是术中使用电生理技术最主要的用途,目前该技术在其他方面的应用也逐渐增加。例如,在脑深部刺激术中引导电极植入或毁损特定结构治疗运动障碍疾病和疼痛时必须使用电生理技术<sup>[2]</sup>。术中神经电生理技术还能帮助手术医师实施其他手术操作,如识别特定的神经组织,包括脑神经和脑皮质的特定区域。神经电生理监测技术在术中辅助诊断中的应用逐渐增加,在造成神经功能永久性损伤之前神经系统功能的变化通常是可以监测的。运用术中神经电生理监测技术降低神经系统部分功能缺损的风险正是基于这种观察和认识。在一定时间内停止导致神经系统功能变化的手术操作或采取相反的措施可以使神经系统功能恢复正常或基本正常,如果不采取任何干预就有引起术后神经系统功能永久性损伤的风险。在神经组织易于受损的手术中人们已经认识到应用神经电生理监测对于患者和外科医师的重要性及优势所在,而且在很多医院的相关手术中已广泛应用<sup>[3-4]</sup>。

## 1 研究背景

手术有对神经系统造成损害的潜在可能,因为这些损害可能无法被手术者在术野中观察到,往往在医师不知不觉中发生,例如牵拉、挤压或者使用电凝产生的热量是导致神经组织损伤的创伤因素<sup>[5]</sup>。若手术操作损伤血供或有意夹闭动脉而导致缺血,有可能造成神经结构永久性损伤,从而引起显著的术后神经功能缺损的风险<sup>[6]</sup>。术中神经电生理监测涉及的内容就是监测术中神经系统损害引起的神经电生理学改变。

术中神经电生理监测技术的基本原理是先对神经进行刺激,然后记录存在受损风险的神经传导通路中特定神经结构的电反应。可以在术中暴露的特定神经结构放置记录电极,记录近场诱发电位;也可在头皮表面放置记录电极,记录远场诱发电位。运用术中神经电生理监测技术的目的是降低术后神经功能缺损的风险,目前已有相对标准和成熟的电刺激和记录神经系统电活动的技术。许多术中神经电生理监测技术与神经电生理实验室以及临床诊断实验室使用多年的技术相似<sup>[7]</sup>。

一般认为神经电生理监测始于20世纪70年代晚期,但在此之前电生理方法即应用于术中以减少术中永久性神经损害<sup>[8]</sup>。20世纪60年代早期术中监测主要用于监测面神经,以降低前庭神经鞘瘤术后导致面瘫的风险。在20世纪70年代晚期和80年代早期术中神经电生理监测方法仅主要集中在大的研究中心和少数大医院中<sup>[9-10]</sup>。很快,术中神经电生理监测技术就被应用到手术室内,用于减少不可逆的神经损伤,从而减少永久性神经功能损害。这种标准实验室技术的新应用就是术中神经电生理监测。20世纪70年代神经电生理学家 Richard Brown 博士<sup>[11]</sup>通过在脊柱侧凸手术中记录体感诱发电位的方法减少了脊髓的损伤。监测听觉脑干诱发反应(ABRs)也是最早的术中神经电生理监测应用之一,用于单侧面肌痉挛和三叉神经痛的微血管减压术,最早由 Grundy 和 Raudzens 与20世纪80年代早期开始应用<sup>[12-13]</sup>。20世纪80年代术中神经电生理监测被用于颅底肿瘤手术,并随后应用于其他研究。在这些手术中神经电生理监测应用的范围包括颅脑运动神经如第Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ对脑神经,特别是侵及海绵窦的肿瘤,也用于监测第Ⅴ对脑神经的运动部分。20世纪90年代随着运动皮层磁刺激和电刺激技术及脊髓刺激技术的发展,监测脊髓运动系统的方法得以提高。满意的麻醉方法也使得刺激运动皮层激活运动系统的技术得以发展。当前,我们正面临着一个医疗新时代的到

基金项目:湖北省自然科学基金面上项目(ZRMS2016001156)

作者单位:430060 武汉大学人民医院神经外科[张申起 郭丽蕊 陈谦学(通信作者)],神经内科(彭彬)

来,术中神经电生理监测将越来越广泛地应用于神经外科各类手术治理中。

## 2 术中神经电生理监测的目的

术中进行神经电生理监测的目的:(1)帮助术者定位脑皮质功能区及帮助鉴定不明确的组织;(2)为术者提供神经电生理监测的即时结果,帮助术者明确正在进行的操作是否会造成神经损伤;(3)帮助术者鉴别神经受损害的部位、节段,并检查其是否还具有功能;(4)及时发现由于手术造成的神经损伤,并迅速纠正损伤原因,避免造成永久性的神经损伤;(5)及时发现患者在输送的系统性变化;(6)在心理上给术者一个明确的手术安全感以及患者和家属一种安全感。恰当地应用术中监测,记录不同类型的神经电位,使得术中持续监测神经系统特定部位的功能成为可能,而且检测到的功能变化几乎没有时间延迟。及早地监测到这些功能变化可以减少医源性术后功能缺损的风险。这些方法也使得外科医师有可能确定究竟是哪些操作步骤出现了问题,因此可以在损害没有严重到产生永久性神经功能缺损时改变手术操作步骤。

## 3 术中神经电生理监测的内容

### 3.1 脑电图(EEG)

脑电图检查是将脑细胞的自发放电活动通过放大器放大并描记出来的一种客观记录大脑机能状态的检测方法。神经外科术中脑电图监测,包括两种方式:(1)将电极直接放置在硬膜外或脑皮层上记录的脑电波称之为皮层脑电图(Electrocorticography);(2)将电极埋在皮层或埋入脑的深部结构(深部电极)如杏仁核、丘脑核团等处以记录脑深部电活动,称之为脑深部电图。术中脑电图可以帮助术者对病灶进行定位,为术者提供更加准确的病灶及保护大脑半球皮层的最佳手术方案,降低术后并发症。

### 3.2 肌电图(EMG)

肌电图检查时记录神经肌肉的生物电活动,藉以判定神经肌肉所处的机能状态。随着手术技术的进步,听神经瘤面神经的保留率也在提高,但是面神经轻瘫或麻痹依然是手术重要的危险因素,也是术后常见并发症。术中监测技术是面神经保留率得到提高。术中通过对可疑组织进行刺激,观察电生理变化,来判断是否为神经结构,进而明确神经的位置,避免医源性损伤的产生。

### 3.3 脑干听觉诱发电位(BAEP)

脑干听觉诱发电位也称之为听觉脑干反应(ABR),是来源于脑干及耳蜗神经的听觉传导通路。正常人可记录到 I-VII 波,脑干听觉诱发电位的 I、III、V 波最容易辨认,几乎 100% 出现<sup>[14]</sup>。脑干听觉诱发电位主要用于监测听觉通路的功能完整性,适宜监测的手术有听神经瘤、微血管减压术、迷路后前庭神经切断术、颅底和脑干手术、后颅窝的血管手术等。术中引起 BAEP 变化的可能原因包括(1)切断听神经;(2)压迫内听动脉;(3)牵拉听神经;(4)解剖、分离听神经;(5)脑干受压、移位和缺血;(6)吸入性麻醉药浓度过高;

(7)血压下降、缺氧;(8)技术性因素。

### 3.4 体感诱发电位(SEP)

体感诱发电位是指当外周神经受到刺激后沿其传导通路所产生的电位变化。脊髓、脑干、幕上不同阶段的感觉通路的传入神经元的突触改变皆可影响体感诱发电位,导致潜伏期延长,波幅降低。因此,体感诱发电位不仅可以监测特殊的感觉通路,而且对远处的神经结构的改变也非常敏感。通过电刺激由特定脊神经节段和脊神经根支配的皮肤特定区域(皮节)产生 SEP 的方法随后被应用到临床中,以监测特定的脊髓节段和脊神经背根的功能<sup>[15]</sup>。术中记录 SEP 也被应用于监测周围神经的功能。使用 SEP 的术中监测作为脑组织缺血的指标在动脉瘤手术中有很大的价值,因为这类手术中大脑前循环可能受到干扰,通常使用从腕部正中神经诱发的上肢 SEP。记录到的 SEP 中由主要躯体感觉皮层激发的组成部分(N20)通常被用作缺血的指标<sup>[16]</sup>。

SEP 特定峰值的幅度的改变是手术引起损伤的重要标志,但同样重要的指标还有这些峰值的时延<sup>[17]</sup>。一些研究表明,SEP 幅度的降低对于损伤的检测比时延的改变更加敏感。Jones<sup>[18]</sup>的研究表明,如果下肢 SEP 的最早组分和第 2 组分的幅度下降超过 40%,则可能会发生永久性的术后神经功能缺失。60% 的幅度下降伴随着 50% 的术后并发症的风险。

### 3.5 运动诱发电位(MEP)

研究发现对脊髓刺激诱发的神经源性磁刺激运动诱发电位(MEPs)可在外周神经被记录到<sup>[19]</sup>。这种记录电位包含有高振幅的运动成分,其潜伏期比低振幅的多相感觉电位的潜伏期短。这些相关的报道促进了这些反应记录在实用性方面的改进。通过对侧运动通路阳性激活,采用经颅多脉冲电刺激技术,运动性脑神经的核团和神经束被激活,运动诱发 EMG 反应可被记录。MEP 在整个手术过程以及在神经暴露之前都可以进行。MEP 监测的优点<sup>[20-21]</sup>:(1)在神经未暴露情况下 MEP 记录可以进行;(2)MEP 可提示占位病变的存在;(3)MEP 是判断预后的 1 个有用指标。

## 4 麻醉与术中神经电生理监测

麻醉可以影响术中神经电生理监测,所以熟悉麻醉的基本原则对于术中神经电生理监测非常重要。术中应该与麻醉医师进行交流,从而获得有关麻醉方法和术中麻醉方式是否改变以及如果改变会用何种药物等信息。这样更有利于术中神经电生理监测。

术中常用的麻醉药物可以分为吸入麻醉药和静脉麻醉药。这两类药物经常联合应用,近年来全静脉麻醉(TIVA)很受欢迎。在现代麻醉方式中吸入麻醉一般包括至少两种麻醉药物,例如氧化亚氮和吸入性麻醉药,与纯氧混合给予。吸入麻醉药的相对强度通过 MAC 值来描述<sup>[22]</sup>。吸入麻醉药如安氟醚、异氟醚等会增加体感诱发电位(SEP)的中枢传导时间(CCT),使单脉冲(经颅磁刺激或电刺激)刺激运动皮层不能引出运动诱发电位<sup>[23]</sup>;甚至在低浓度情况下这些不利影响也会发生。一些静脉麻醉药几乎一直与吸入麻醉药同时应用,但是近来 TIVA 越来越流行。其中 1 个原因是吸

入麻醉药包括氧化亚氮对经颅电刺激运动皮层时的 EMG 反应有影响<sup>[24]</sup>。在这方面静脉麻醉药的作用机制与吸入麻醉药不同,表现出有利于监测 EMG 和 MEP 的优点。

与其他麻醉药物可能抑制此类监测反应相比,氯胺酮是一个有价值的麻醉药物。氯胺酮可以提高突触功能而不是抑制突触功能(可能通过 NMDA 受体),它可以诱发癫痫患者的癫痫发作,对正常个体无此作用。有报道指出,氯胺酮可增加皮层体感诱发电位(SSEP)的幅度,加强脊髓刺激后的肌肉和脊髓的反应并加强 H 反应。氯胺酮对经颅皮层刺激诱发的肌肉反应影响最小<sup>[25]</sup>。因此,氯胺酮联合阿片类药物已经成为一些监测肌肉反应的 TIVA 技术的有益补充。氯胺酮可以导致术后幻觉并升高颅内压,这些不利因素限制了其在麻醉中的应用。常用于全身麻醉诱导的苯巴比妥类药物,在对诱发电位的影响方面与吸入麻醉药相似。

使用肌肉松弛剂如用于气管插管或手术中的罗库溴铵或维库溴铵也可以影响整个神经肌肉接头信号传输,因此可以减少神经电位的幅度<sup>[26]</sup>。通过 2 个测试可用于评估肌肉松弛剂对神经肌肉阻断的程度:(1)是通过比较对周围运动神经的刺激获得的,通过比较喷射的肌肉松弛剂前后复合肌肉动作电位的振幅;(2)第二,通过常用的 TOF 系统在 TOF 系统以 2 Hz 的频率提供超强电刺激的末梢神经,可以记录到 MEP,然而当给予肌肉松弛剂时 MEP 的生成降低。重要的是,那些术前有明显运动无力的,不能生成的 MEP,在使用肌松剂的情况下不能记录到肌肉的反应(EMG 电位或机械反应)。气管插管时肌松剂通常是必需的。当需要术中记录 EMG 时,适合的方法是在气管插管时联合应用琥珀胆碱和 3mg d-筒箭毒碱(箭毒)或短效非去极化肌松剂例如阿曲库铵或维库溴铵,这样可以保证单次使用最小所需剂量的肌松剂进行气管插管后 30~45 min 可进行肌肉电位的监测<sup>[27]</sup>。

包括肌肉 EMG 在内的术中监测在复杂神经外科手术中的应用越来越普遍,因此对恰当麻醉方案的要求越来越高。麻醉医师与进行术中神经电生理监测的手术医师密切合作,通常可以解决这些问题。

## 5 术中神经电生理监测的应用

### 5.1 癫痫手术

癫痫手术中进行脑电图监测,包括两种方式:(1)将电极直接放置在硬膜外或脑皮层上;(2)将电极埋在皮层或埋入脑的深部结构(深部电极)如杏仁核、丘脑核团等处以记录脑深部电活动。

深部电极是一种纤细的电缆,其末端沿长轴分布有圆柱形的导电接触面,可植入脑实质内部,用于怀疑有深部致痫灶的患者,深部电极植入的感染风险为 1%~4%<sup>[28]</sup>,发生脑出现的风险为 1%~3%<sup>[29]</sup>,双侧海马内电极植入术后有可能出现语言的记忆功能下降<sup>[30]</sup>。所以,临床上常用的是脑皮层电极,脑皮层电极可用于脑表面功能区的定位,确定癫痫发作在皮层的起始区域。这些电极为精细的铂金或不锈钢盘片,镶嵌在非薄的条形或片状塑料表面,术中使其与脑实质密切接触。皮层电极监测的不足之处是其能够分析的

皮层区域较为局限,且皮层电极可能使其下方脑皮层的癫痫性电活动增强或减低;术中可直接记录到发作间期的癫痫样活动(皮层脑电图),这种皮层脑电图监测是术中确定致痫灶必不可少的手段,确定致痫灶后撤除电极,行局部脑皮质切除之后,再次利用皮层电极确定该部位有无残留的癫痫样电活动。癫痫手术中行脑电图监测,可以帮助术者对病灶进行定位,为术者提供更加准确的病灶及保护大脑半球皮层的最佳手术方案,降低术后并发症。

### 5.2 后颅窝手术

术中神经电生理监测技术在后颅窝手术特别是听神经瘤手术中的广泛应用取得了良好的效果。在切除听神经瘤的手术中使用术中面神经功能监测目前被认为是正规的手术辅助措施。因此,NIH 共识发布会议<sup>[31]</sup>制订的“共识”:在听神经瘤手术中使用神经电生理实时监测技术已经达成共识,即监测可以改善手术治疗的预后,包括保留面神经功能以及使用术中听觉脑干诱发电位(BAEP)监测而实现的听力保护。新的监测听神经功能的技术可以给术者提供更快速的反馈,从而增强了其有效性。

#### 5.2.1 听神经监测

20 世纪 70 年代最早提出术中神经生理监测听力功能,80 年代开始用于 CPA 区手术时听力保留<sup>[32]</sup>。术中监测听神经功能能够及时判断听神经的走行,从而避免其损伤以及避免由此导致的听力丧失。运用近乎实时的神经电生理技术可以及早发现损伤,提醒手术者及时改变显微手术策略,终止对神经的破坏,使电波恢复正常,听力功能得以保留。脑干听觉诱发电位(BAEP)以其高敏感性、可靠性在术中听神经功能神经电生理监测运用最广泛。BAEP 的缺点是需要 30 s~4 min 监测反映电波的稳定变化,在这个潜伏期内发生的听神经损伤则难以被术者发现并避免<sup>[33]</sup>。听神经直接操作、小脑回缩、内听道钻孔都会使 BAEP 产生变化,并且最终影响术后听力功能。术中 BAEP 监测可记录到 3 种变化:潜伏期延长、波幅下降和波消失。潜伏期延长和波幅下降是波消失的前驱改变。

对于何时需要引起警惕,仍存在争议。以下是几个电生理小组的几种经验性观点<sup>[34]</sup>:①潜伏期延长 0.3 ms 或波幅下降 50%;② V 波潜伏期延长 0.5 ms;③ V 波潜伏期以 0.07 ms/min 延长或绝对值 > 1.5 ms;④ V 波潜伏期延长 1.0 ms,同时波幅下降 50%。

目前使用最广泛的标准是 V 波潜伏期延长 1.0 ms,同时波幅下降 50%<sup>[35]</sup>。但是行 CPA 区肿瘤手术时,当 V 波潜伏期延长低于 1.0 ms,伴或不伴波幅下降 < 50% 时,也能发生听力损害。说明此标准用于这组患者的“报警”作用过于宽松。相反,CPA 区非肿瘤性疾病如神经血管受压(三叉神经痛、面肌痉挛),则过于严格。因为这类患者并没有出现 V 波潜伏期延长 1.0 ms、波幅下降 50%,甚至是 V 波消失。

因此,选择何种标准取决于疾病类型。对于 CPA 区肿瘤,则应采用较严格的标准。采用的是潜伏期延长超过 0.3 ms 或波幅下降超过 50%。

Matthies 和 Samii 报道,暂时性或永久性 I、Ⅲ或 V 波消失,提示耳聋的危险性<sup>[36]</sup>。I、Ⅲ、V 波消失,耳聋的危险

性分别为 65%、65%、78%。无论这 3 个波的消失是否同时发生,永久性 I、III、V 波消失或 B5 型术后耳聋的概率为 96%<sup>[37]</sup>。III 波消失是预测术后听力丧失最敏感的征象,V 波的消失则最具可靠性。也有学者侧重于观察 I 波、V 波单独或联合消失的相关性对听力保留的价值。

CPA 区肿瘤切除术中 BAEP 稳定性提示较高的听力保留率,同时术前分型为 B1 和 B2 者听力保留率更高(达 80%)。但是,B4 和 B5 型听力保留的机会则明显下降(分别为 12%、17%)。

所有 B1-B4 的患者均采用术中 BAEP 监测。当 BAEP 的变化提示手术操作会影响术后听力时术者将及时进行调整。

### 5.2.2 面神经监测

随着手术技术的进步,听神经瘤面神经的保留率也在提高,但是面神经轻瘫或麻痹依然是手术重要的危险因素,也是术后常见并发症。术中监测技术是面神经保留率得到提高。也有学者认为术中检测仅仅加快了神经分离速度,使手术时间缩短。处理复杂的颅底病变时可以有多种监测技术:直接电刺激、连续肌电图以及面神经动作诱发电位(fMEP)均可用于 CPA 区手术。

直接电刺激使用单电极刺激探针,针式记录电极置于一侧眼轮匝肌和口轮匝肌真皮下。电刺激可以直接确定肿瘤表面的面神经,在保持扁平纤维束的完整性下分离面神经。此外,还可间断给予刺激,提醒手术者刺激点远端的完整。联合分别在脑干、内听道刺激后记录到的面肌动作电位,则可以达到面神经功能保留。最小刺激 0.05 mA 或更小,使波幅电位改变 240  $\mu$ V 或更大,可预测 85% 的患者术后 1 年面神经功能为 I~II。此技术不足之处就是其间断性以及对于脑干大型肿瘤面神经定位困难。

连续肌电图比单独使用直接电刺激能够更有效地提高颅底手术时面神经的保留率。通过 EMG 的 5 种典型波形可以记录到自发面神经活动:波峰、脉冲串、A、B 和 C 段。A 段为持续周期性 EMG,其特征为大声说话产生高频声后呈现正弦波。临近面神经、脑干处肿瘤分离、或内听道减压时可以出现 A 段。A 段预测术后面神经功能敏感性为 86%、特异性为 89%。

在颅底手术时为了评价面神经功能完整性,有学者<sup>[38]</sup>利用术中 fMEP 进行监测。经颅给予刺激,在手术对侧用 EMG 中相同的电极进行记录,结果显示 88% 的听神经瘤患者的面神经功能得到较满意保留。fMEP 可以根据术者的要求在手术全程进行,也可在 EMG 所记录到神经元放电或面神经广泛切除后进行监测。

目前有研究者正对 fMEP 的功能进行研究,以进一步证实其在颅底手术中的应用价值。正如对耳蜗神经监测一样,如果监测到的面神经变化提示术后面神经功能会恶化,则需要对手术操作进行调整甚至终止。

### 5.3 颅内动脉瘤手术

术中 EEG、SEP、BAEP 以及 MEP 监测可以及时发现动脉瘤手术过程中因血管的误夹或是栓塞造成的缺血神经功能障碍。Symon 及其同事<sup>[39]</sup>在人体中进行的试验证明在

动脉瘤手术中从夹闭动脉到 N20 峰值消失所需要的时间与发生永久性神经功能缺失的风险之间存在一定的关系。在夹闭大脑中动脉(MCA)的 1 个分支后 SEP 消失所需要的时间被证明对于手术预后十分重要。所需时间越短,则发生永久性缺失的风险越高。如果所需时间短于 2 min,则发生永久性缺失的风险非常高。SEP 消失所需时间越长,则表明血管夹闭引起的缺血程度越轻。当使用 SEP 作为缺血的指标时需要注意存在影响 CCT 的其他因素如麻醉水平、脑组织牵拉、低体温和低血压。如果脑组织牵拉仅影响一侧大脑,则可在不受影响的一侧记录 SEP,而低血压、低体温和麻醉对两侧的影响是对等的,这就需要同时记录两侧 SEP 的原因。在动脉瘤手术中通常要降低血液温度,这可能会影响 SEP,需要监测小组密切观察。夹闭前交通动脉有时可影响两侧大脑半球供血,因此在分别刺激两侧正中神经获得的 SEP 中均会发生改变。某些监测设备可以实现轮替刺激两侧正中神经,并将记录到的电位分列于 2 个独立的通道中。这种系统对于使用 SEP 进行脑缺血监测较为理想。

### 5.4 脊髓手术

目前经颅电刺激已常规用于脊髓手术的监测如脊髓外伤和脊髓畸形矫正术(如脊柱侧弯)等。从脊髓上可记录到 D 波,由低于手术部位平面的脊神经前根支配的肌肉产生 EMG。EMG 电位通常记录的是肢体远端肌肉如手和脚的电位,这个电位取决于脊髓手术的位置。手术过程中至少保留术前 D 波波幅的 50%,这个原则很重要。但是 EMG 电位的丧失也并不像以往我们认为是那么严重,它不是终止手术或改变术式的理由。

Katayama 等<sup>[40]</sup>利用放置在脊髓的电极记录脊髓电位,观察电刺激大脑皮质表面时脊髓的反应以识别运动皮质。实验中记录电极放置于脊神经背根的硬膜外处,当用刺激电极刺激皮质表面时记录运动传导通路的诱发电位。来自脊髓的 D 波被看作是运动皮质兴奋的标志,且有研究发现产生 D 波的反应不受外科麻醉或肌松药的影响。

放置椎弓根螺钉意味着存在损伤脊神经根的风险。因此,插入椎弓根螺钉时必须注意螺钉尖端的位置。如果没有监测,由放置椎弓根螺钉引起的神经功能障碍发生率很高。在术中运用电生理监测技术监测椎弓根螺钉远端放置的方法有 2 种。一种方法是记录由存在损伤风险的脊神经根所支配肌肉产生的 EMG 电位,并且电刺激也可用于椎弓根螺钉(引起电传导);另一种方法是监测自发的运动神经活动。

## 6 结束语

随着神经外科的不断发展,术中神经电生理监测在神经外科中的应用越来越广泛,通过术中神经电生理监测,及早地监测到这些功能变化,有效地减少医源性术后功能缺损的风险。这些方法也使得外科医师有可能确定究竟是哪些操作步骤出现了问题,因此可以在损害没有严重到产生永久性神经功能缺损时改变手术操作步骤。通过术中多种神经电生理监测的联合应用,患者术后生活质量有了很大的提高,为神经外科的更进一步发展奠定了良好的基础。

## 参 考 文 献

- [1] Nuwer MR. Intraoperative monitoring of neural function. Amsterdam; Elsevier, 2008(8): 15-18.
- [2] Greiner A, Mess WH, Schmidli J, et al. Cyber medicine enables remote neuromonitoring during aortic surgery[J]. J Vasc Surg, 2012, 55(5): 1227-1232.
- [3] Rohde V, Krombach GA, Baumert JH, et al. Measurement of motor evoked potentials following repetitive magnetic motor cortex stimulation during isoflurane or propofol anaesthesia [J]. Br J Anaesth, 2003, 91: 487-492.
- [4] Raimund Helbok<sup>1</sup>, Alois Josef Schiefecker<sup>1</sup>, Ronny Beer<sup>1</sup>, et al. Early brain injury after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a multimodal neuromonitoring study[J]. Critical Care, 2015, 19(1): 75-84.
- [5] Calancie B, Molano MR. Alarm criteria for motor-evoked potentials: what's wrong with the "presence-or-absence" approach? [J]. Spine, 2008, 33(4): 406-414.
- [6] Szelényi 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.
- [7] Kim SM, Yang H, Park SB, et al. Pattern-specific changes and discordant prognostic values of individual leg-muscle motor evoked potentials during spinal surgery[J]. Clin Neurophysiol, 2012, 123(7): 1465-1470.
- [8] Jankowska E, Padel Y, Tanaka R. Projections of pyramidal tract cells to alpha-motoneurons innervating hind-limb muscles in the monkey[J]. J Physiol, 1975, 249(3): 637-667.
- [9] Page EH. A cluster of acoustic neuromas in fish hatchery workers[J]. J Ear Nose Throat, 2000, 79(1): 34-37.
- [10] Sampath P, Rini D, Long DM. Microanatomical variations in the cerebellopontine angle as associated with vestibular schwannomas (acoustic neuromas): a retrospective study of 1006 consecutive cases [J]. J Neurosurgery, 2000, 92(1): 70-78.
- [11] Richard B, Kondziolka D, Pollock BE, et al. Evolution in technique for vestibular schwannoma radiosurgery and effect on outcome[J]. J Int Radiat Oncol Biol Phys, 1996, 36(2): 275-280.
- [12] Joseph LL, Jamal Shillingford, Comron Saifi. The Unprecedented Increase in Neuromonitoring Utilization over a Recent Decade[J]. The Spine Journal, 2017, 7(10): 232-233.
- [13] Sasaki T, Itakura T, Suzuki K, et al. Intraoperative monitoring of visual evoked potential: introduction of a clinically useful method[J]. J Neurosurg, 2010, 112(2): 273-284.
- [14] Matthies C, Samii M. Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): clinical presentation [J]. J Neurosurgery, 1997, 40(1): 1-10.
- [15] Amano M, Kohno M, Nagata O, et al. Intraoperative continuous monitoring of evoked facial nerve electromyograms in acoustic neuroma surgery [J]. Acta Neurochir, 2011, 153(5): 1059-1067.
- [16] Aioli MA, Liebsch M, Carvalho CH. Transcranial electrocortical stimulation to monitor the facial nerve motor function during cerebellopontine angle surgery[J]. Neurosurgery, 2010, 66 (6 Suppl Operative): 354-361.
- [17] Torres CV, Pastor J, Rocio E, et al. Continuous monitoring of cortical visual evoked potentials by means of subdural electrodes in surgery on the posterior optic pathway: a case report and review of the literature[J]. Rev Neurol, 2012, 55(6): 343-348.
- [18] Jones M, Konturek A, Cichoń S. Randomized clinical trial of visualization versus neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy[J]. Br J Surg, 2009, 96(3): 240-246.
- [19] Ojemann RJ. Suboccipital transmastoid approach to vestibular schwannoma [A]. in Schmidek HH. Schmidek & Sweet operative neurosurgical techniques: indications, methods and results [M]. New York: W. B. Saunders Company, 2000: 1009-1020.
- [20] Duffau H. Lessons from brain mapping in surgery for low-grade glioma: insights into associations between tumour and brain plasticity[J]. Lancet Neurol, 2005, 4(8): 476-486.
- [21] Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al. Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement [J]. Laryngoscope, 2011, 121(Suppl 1): S1-16.
- [22] Prasad S, Hirsch BE, Kamerer DB, et al. Facial nerve function following cerebellopontine angle surgery: prognostic value of intraoperative thresholds [J]. Am J Otol, 1993, 14(4): 330-333.
- [23] Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, et al. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society[J]. Neurology, 2012, 78(8): 585-589.
- [24] Ovadia D, Korn A, Fishkin M, et al. The contribution of an electronic conductivity device to the safety of pedicle screw insertion in scoliosis surgery[J]. Spine, 2011, 36(20): E1314-1321.
- [25] Basant kumar. Facial nerve monitoring during surgery of cerebellopontine angle and skull base surgery[J]. World Neurosurgery, 2013, 80(6): 195-196.
- [26] Zhong D, Zhou Y, Li Y, et al. Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring: a useful method for patients with esophageal cancer[J]. Dis Esophagus, 2014, 27(5): 444-451.
- [27] Zaouche S, Ionescu E, Dubreuil C, et al. Pre- and intraoperative predictive factors of facial palsy in vestibular schwannoma surgery[J]. Acta Otolaryngol, 2005, 125(4): 363-369.
- [28] McElveen JT Jr, Belmonte RG, Fukushima T, et al. A review of facial nerve outcome in 100 consecutive cases of acoustic tumor surgery[J]. Laryngoscope, 2000, 110(10 Pt 1): 1667-1672.
- [29] Esquia-Medina GN, Grayeli AB, Ferrary E, et al. Do facial nerve displacement pattern and tumor adhesion influence the facial nerve outcome in vestibular schwannoma surgery? [J]. Otol Neurotol, 2009, 30(3): 392-397.
- [30] Lyon R, Feiner J, Lieberman JA. Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia: the phenomenon of "anesthetic fade"[J]. J Neurosurg Anesthesiol, 2005, 17(1): 13-19.
- [31] Wilkinson MF, Kaufmann AM. Monitoring of facial muscle

motor evoked potentials during microvascular decompression for hemifacial spasm; evidence of changes in motor neuron excitability[J]. J Neurosurg, 2005, 103(1): 64-69.

- [32] Raudzens F, Manganotti P, Tramontano V, et al. Monitoring of motor pathways during brain stem surgery; what we have achieved and what we still miss? [J]. Neurophysiol Clin, 2007, 37(6): 399-406.
- [33] Chen X, Sterio D, Ming X, et al. Success rate of motor evoked potentials for intraoperative neurophysiologic monitoring; effects of age, lesion location, and preoperative neurologic deficits[J]. J Clin Neurophysiol, 2007, 24(3): 281-285.
- [34] Acioly MA, Liebsch M, Carvalho CH, et al. Transcranial electrocortical stimulation to monitor the facial nerve motor function during cerebellopontine angle surgery[J]. Neurosurgery, 2010, 66(6, Suppl Operative): 354-361.
- [35] Mitsuka H, Arai H, Tsunoda A, et al. Microanatomy of the cerebellopontine angle and internal auditory canal; study with new magnetic resonance imaging technique using three-dimensional fast spin echo[J]. J Neurosurgery, 1999, 44(3): 561-566.
- [36] Sammi M, Gerganov V, Samii A. Improved preservation of

hearing and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid approach in a series of 200 patients [J]. J Neurosurg, 2006, 105(4): 527-535.

- [37] Wedekind C, Klug N. Facial F wave recording; a novel and effective technique for extra- and intraoperative diagnosis of facial nerve function in acoustic tumor disease [J]. J Otolaryngol Head & Neck Surg, 2003, 129(1): 114-120.
- [38] Wedekind C, Klug N. Recording nasal muscle F waves and electromyographic activity of the facial muscles; a comparison of two methods used for intraoperative monitoring of facial nerve function[J]. J Neurosurgery, 2001, 95(6): 974-978.
- [39] Symon YA, Jackler RK, Pitts LH. Intraoperative electrophysiologic identification of the nervus intermedius[J]. Otol Neurotol, 2005, 26(2): 274-279.
- [40] Katayama GA, Kalamirides M, Frayssé B, et al. Comparison between intraoperative observations and electromyographic monitoring data for facial nerve outcome after vestibular schwannoma surgery[J]. Acta Otolaryngol, 2005, 125(10): 1069-1074.

(2018-06-09 收稿)