

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.08.034

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2019.08.034>

术中神经电生理监测技术的应用及麻醉进展

李文鹏 综述 李恩有 审校

(哈尔滨医科大学附属第一医院麻醉科, 哈尔滨 150001)

[摘要] 近年来, 术中神经电生理监测(neurophysiologic intraoperative monitoring, IONM)在外科手术中被广泛应用, 并可以明显改善患者预后。IONM在为患者带来安全保障的同时, 也为麻醉医生的术中麻醉管理带来了挑战。在术中针对不同种类的IONM技术调整相应的麻醉管理方案, 将有助于预防手术并发症的发生。

[关键词] 术中神经电生理监测; 脑电图; 肌电图; 运动诱发电位; 体感诱发电位; 神经外科手术麻醉

New trends of utility and anesthetic implications in intraoperative neurophysiologic monitoring

LI Wenpeng, LI Enyou

(Department of Anesthesiology, First Affiliated of Harbin Medical University, Harbin 150001, China)

Abstract In recent years, intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) has been used more and more frequently in a great number of surgical procedures and has been shown to significantly improve patient recovery. IONM brings safety to patients while also challenges in intraoperative anesthesia management of anesthesiologist. Adjusting the corresponding anesthesia management program for different types of IONM technology during surgery will help prevent surgical complications.

Keywords intraoperative neurophysiologic monitoring; electroencephalography; electromyography; motor evoked potentials; somatosensory evoked potentials; neurosurgical anesthesia

术中神经电生理监测(neurophysiologic intraoperative monitoring, IONM)被广泛应用于外科手术中, 用于反映患者术中的神经系统功能状态。神经外科医生、骨科医生、血管外科医生等通常依靠IONM来指导外科手术操作, 并且在术中预防神经组织发生缺血或损伤。研究^[1]显示: IONM使行脊柱手术的患者术后截瘫的发生率降低了

60%。IONM在改善了患者的预后的基础上, 还能及时地帮助术者全面了解并判断患者在麻醉状态下的神经系统功能状态, 引导手术操作, 从而在最大程度上减少因手术操作不当引起的神经损伤, 降低医源性神经损伤的发生率, 保证患者在围术期中神经系统功能的完整性, 并可通过改变手术操作和麻醉管理来避免严重并发症的发生^[2]。

收稿日期 (Date of reception): 2018-12-19

通信作者 (Corresponding author): 李恩有, Email: enyouli@sina.com

1 IONM 与术中唤醒试验的比较

在IONM被广泛应用之前, 外科手术中常通过短暂的术中唤醒试验来检测患者是否发生神经系统损伤。但术中唤醒试验的作用是有限的, 因为其只能评估单一时刻的神经系统功能, 不能做到实时连续评估神经系统的功能状态, 且在术中唤醒试验之后发生的神经系统损伤通常要等到手术结束后才能被发现。术中唤醒试验可能只揭示几个小时前发生的神经损伤, 增加了神经系统不可逆损伤的可能性。此外, 术中唤醒试验也与术中出现的许多不良事件相关, 例如意外抽搐等。相反, 应用IONM对神经系统功能进行评估的可行性和安全性都较好, 例如体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SSEP)波幅的下降达50%~80%时出现报警, 提示神经系统功能障碍, 如果在几分钟内迅速找到引起报警的原因并及时处理, 则术后通过神经学检查所发现的神经系统并发症的发生率会大大降低^[1]。IONM人员、麻醉医生以及外科医生团队需要密切合作, 尽最大努力使降低或消失的电生理波形恢复, 这些衰退的波形是神经系统永久性损伤的标志, 会导致术后并发症的发生。目前最常用的IONM模式, 包括SSEP、运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)、脑电图(electroencephalography, EEG)、肌电图(electromyography, EMG), 上述模式在保证患者术中安全的同时, 也给麻醉医生带来了巨大的挑战。制订特定的IONM模式和麻醉管理方案将有助于产生最佳的IONM数据, 降低麻醉因素对IONM信号的干扰, 及时反映患者术中的神经系统功能状态, 使手术安全性大大提高。

2 常用的 IONM 监测模式

2.1 SSEP

SSEP最初应用于20世纪70年代, 现在是脊柱外科手术中最常用的IONM模式^[1-2]。SSEP在监测神经损伤方面具有敏感性和特异性, 尤其是对监测脊髓后索内侧丘系神经通路的完整性上, 其敏感性和特异性更高。SSEP通过一定强度和频率的电刺激刺激外周神经(正中神经、尺神经、胫后神经和腓神经)产生电信号, 沿感觉传导通路上行至大脑皮层, 并通过外置电极记录包括大脑皮层在内的整个感觉上行传导通路不同区域的电反映。在不同的电刺激频率下, 经外周电刺激所产生的多个电信号会随着时间而被数字化、平均化, 从而将SSEP成

分从EEG和EMG等不需要的其他背景生物信号噪声中区分出来。手术开始时收集SSEP初始基线数值并在术中进行对照, 以了解其在术中波幅及潜伏期的动态变化, 因为这些变化可能预示即将发生的神经损伤。在进行脊柱外科手术时, 常对患者的四肢进行常规SSEP监测, 且上肢会作为下肢的对照组。SSEP术中振幅变化通常超过其初始基线数值的50%和/或其潜伏期变化超过其初始基线数值的10%时, 需引起外科医生关注, 此变化很可能预示着神经系统已经发生了潜在性的损伤^[4,3-5]。尽管引起SSEP变化的首要原因是外科手术操作不当, 但低血压、低温、麻醉方法的改变(特别是挥发性麻醉药物浓度的突然变化)或者监测技术本身的问题都可能是引起SSEP变化的原因之一。

在单个肢体上孤立出现的SSEP改变可能只表示因摆放手术体位引起的神经损伤, 并不一定与外科手术操作有关, 但必须及时处理。最近的一项研究^[5]发现: 因手术体位所导致的上肢SSEP改变的发生率为2.89%, 若在术中得以发现并及时处理, 这种SSEP的改变是可逆的, 并不会引起患者术后神经功能障碍。在此项研究^[5]中, 14例患者出现了因手术体位所导致的SSEP改变, 其中6例因尺神经损伤引起, 8例因正中神经损伤引起。这些SSEP改变都发生在摆放完手术体位后的10 min内^[5]。对上肢进行SSEP监测可预防因摆放手术体位而导致的尺神经损伤, 因为某些手术所要求的特殊体位易引起尺神经受压, 尺神经长时间受压会引起损伤, 进而导致SSEP波形改变, 该改变在患者被要求固定上肢的手术中更为常见^[2]。

SSEP监测也越来越多地被应用于神经外科的血管手术中, 以反映神经组织的灌注情况(例如动脉瘤夹放置错误时可能会引起神经组织发生缺血, 继而导致SSEP改变)。Thirumala等^[3]系统回顾了2 015名行颅内动脉瘤手术的患者, 其中一部分在术后发生了神经损伤的患者术中SSEP也发生了相应的改变; 在围术期用SSEP预测行动脉瘤夹闭术患者发生脑卒中的特异性为84%, 但其敏感性并不高, 其中仍有5.4%的患者在术后发生了神经功能改变, 但其术中SSEP波形无明显改变, 这可能是因手术或麻醉方式改变引起。

2.2 MEP

SSEP反映感觉传导通路的完整性和脊髓后柱的功能状态, 可用其判断脊髓后柱的神经损伤。但脊髓前外侧柱的损伤并不会引起SSEP的改变, 故无法用其进行评估, 而脊髓前外侧柱的损伤常

导致患者术后运动功能障碍。相反地, MEP则能直接监测脊髓前外侧柱的功能, 反映运动传导通路的完整性, 因此在术中有助于发现因脊髓前外侧柱受压或缺血所引起的脊髓前外侧柱损伤。MEP是指用电或磁刺激中枢运动神经(脑功能区或脊髓), 在刺激点下方的传出路径或效应器、肌肉记录到的电反应。刺激中枢运动神经主要有经脊髓和经颅刺激两种方法。电刺激脊髓或运动皮质后, 在外周肌肉记录到的电位称为复合肌肉运动电位(compound muscular activity potentials, CAMP), 是广泛使用的测量MEP的方法。由于麻醉药物会抑制MEP, 因此需在不同的刺激间期内进行多次的脉冲刺激来获得准确的MEP数据^[6]。其他因素(如神经损伤、低血压或麻醉方式)的改变都会使MEP发生相应改变^[2,6]。在对低位脊髓进行手术操作时, 上肢可用作下肢的对照组, 从而帮助外科医生对仅因手术操作引起的下肢MEP信号改变和因麻醉药物引起的上肢MEP信号改变进行区分, 排除麻醉因素对MEP信号的干扰, 减少神经损伤的机会, 提高手术的安全性。在患者进行开颅手术或脊髓手术时, 将MEP振幅下降超过50%用作神经系统发生潜在损伤的诊断标准^[6]。

2.3 EEG

EEG可反映脑灌注和麻醉深度。EEG是监测脑功能的最基本方法, 是对脑自发性生物电放大进行记录而获得的波形图, 它反映了大脑皮层锥体细胞产生的突触后电位和树突电位的整合, 包括原始EEG、计算机处理后的EEG和双频谱分析。术中进行EEG监测是一个非常有效的评估脑功能活动的手段, 给神经外科医生和麻醉医生以极大帮助。EEG信号幅值的变化范围为10~100 μV , 全麻可能导致EEG频率减慢或出现爆发性抑制^[7]。许多麻醉剂, 包括苯二氮卓类药物可使 β 波增强^[7]。此外使用大剂量丙泊酚, 在全麻诱导时可使EEG发生抑制。由于EEG有助于对癫痫的原发灶进行定位和清除, 在癫痫手术中经常得到应用^[8]。

颈动脉内膜剥脱术(carotid endarterectomy, CEA)脑卒中的发生率极高。Thirumala等^[9]最近研究出了用EEG预防CEA患者术后发生脑卒中的方法, 在行CEA手术期间使用EEG来监测脑血流灌注情况, 从而帮助外科医生决定是否使用颈动脉分流术来缓解脑灌注不足, 但此方法在术中能否有效预防脑卒中直到现在还未得到完全证实。该项研究发现: 相比术后未出现脑卒中的患者, 术后发生脑卒中的患者在手术期间出现EEG改变的发生

率要高出6倍; 此外, 在围手术期中EEG诊断脑卒中的敏感性较高, 达到99%。尽管该项临床回顾性研究专门针对CEA手术而言, 但EEG也可以被应用于其他神经外科手术, 以预测患者术中发生脑卒中的风险。EEG的动态改变可以帮助外科医生发现术中出现的潜在隐患, 并实施相关的神经保护措施预防术后脑血管意外的发生。

2.4 EMG

SSEP不能有效地评估单个神经根的功能, 因为其反映的是多个神经根同时发生电活动的综合结果。然而, 在EMG中单个神经根的损伤程度可以通过该神经根所支配特定肌群的肌电信号来评估。EMG的信号强度改变可能是由神经根损伤、牵拉或受冲洗液冲洗引起。在脊柱外科手术中植入椎弓根螺钉时可参考EMG信号引导椎弓根螺钉的植入, 这不仅降低了损伤神经根的风险, 而且也减少了患者受电离辐射暴露的机会^[10]。肌电信号的“爆发”表示肌细胞发生去极化, 提示支配该肌细胞的神经受到牵拉或已发生潜在损伤。与EMG监测相关的麻醉问题主要是神经肌肉阻滞药会通过阻止肌肉收缩进而阻止EMG信号的产生。

3 麻醉药物对 IONM 的影响

3.1 挥发性麻醉药

挥发性麻醉药能够降低SSEP和MEP的振幅并延长其潜伏期^[2]。挥发性麻醉药对IONM的影响会随最低肺泡有效浓度(minimum alveolar concentration, MAC)值的升高而增强。文献[2]表明: 挥发性麻醉药MAC值控制在0.5以内时, 对IONM信号的影响程度最小, 且这种影响在可接受范围内。

Martin等^[11]对接受脊柱侧凹手术的青少年患者进行了一项全凭静脉麻醉与吸入麻醉的随机对照试验, 30例患者随机接受丙泊酚复合瑞芬太尼全凭静脉麻醉或地氟烷0.6~0.8 MAC复合瑞芬太尼吸入麻醉。虽然在两组间SSEP的潜伏期有统计学差异, 但仍可获得可信的SSEP数据。此外在接受挥发性麻醉药的患者中, 还需设置更强的电刺激参数来确保产生足够可信的MEP数据。在以上随机对照试验中, 有1%的患者在吸入麻醉下无法获得可信的MEP数据, 在术中更换了麻醉方法, 并将吸入麻醉改为全凭静脉麻醉后得到了可信的MEP数据。Martin等^[11]认为避免丙泊酚输注换以挥发性麻醉药能够降低发生丙泊酚输注综合征的风险, 并能预防因输注丙泊酚时其时量相关半衰期所导致的苏醒延迟。Sloan

等^[12]在不同手术中比较了使用3%地氟烷吸入麻醉和丙泊酚全凭静脉麻醉的IONM效果, 得出了与Martin等^[11]研究结果相类似的结论。在其对156个临床病例进行回顾性研究^[12]时, 有3例患者在使用0.5 MAC地氟烷进行吸入麻醉时未能获得有效的IONM数据而不得不将麻醉方式更改为全凭静脉麻醉, 因此未被纳入研究范围中, 其中2例在改为全凭静脉麻醉后产生了可信的IONM的数据。

3.2 静脉麻醉药

3.2.1 阿片类药物

阿片类药物可用于IONM中, 因为阿片类药物只会轻微地影响诱发电位的振幅和潜伏期^[2]。瑞芬太尼是一种超短效的阿片类麻醉镇痛药, 在进行IONM时可作为全凭静脉麻醉的一部分发挥镇痛作用, 且瑞芬太尼停药后能使患者术后快速苏醒, 方便医生在术后对患者进行及时的神经功能学检查。瑞芬太尼的主要缺点是阿片类药物所引起的痛觉过敏。一项对接受瑞芬太尼与安慰剂的志愿者的研究^[13]表明: 减少瑞芬太尼用量, 可能会降低患者术后发生痛觉过敏的风险。芬太尼和舒芬太尼也可作为全凭静脉麻醉的一部分, 但因为它们的半衰期相对较长, 应在手术结束前适时停止使用, 以避免术后患者发生苏醒延迟。理论上, 尽管舒芬太尼相对于其他阿片类药物有更好的药代动力学特性, 但使用舒芬太尼可能会延长患者术后的拔管时间^[14]。在该项研究中, 男性与大剂量的丙泊酚都与拔管时间延长有关。

3.2.2 氯胺酮

氯胺酮与大多数麻醉药不同, 它能增加MEP与SSEP振幅^[2]。虽然氯胺酮发生精神错乱和解离性幻觉等的不良反应限制了其在神经外科手术中的使用。但小剂量的氯胺酮在脊柱外科手术中仍是一种很有用的辅助用药, 不仅可以减轻患者的术后疼痛, 而且还能最大程度上减少不良反应的发生^[15]。最近有学者^[16]主张在进行IONM时, 将氯胺酮重新引入到临床麻醉中。

3.2.3 右美托咪啶

右美托咪啶是一种 α_2 受体激动剂, 具有镇静镇痛双重作用。相对于其他静脉麻醉药而言, 其产生轻微呼吸抑制, 所提供的镇静效应类似于正常的生理睡眠状态^[8,15]。Rozet等^[17]最近进行了一项随机对照试验以评估右美托咪啶在IONM中的疗效, 将40例患者随机分为2组(每组各20例), 2组均在开始时使用丙泊酚复合瑞芬太尼做全凭静脉麻醉, 记录好初始基线数据后, 实验组加之以右美

托咪啶进行复合麻醉; 对照组则应用生理盐水作为对照, 结果表明两组中SSEP和MEP的波幅与潜伏期无明显的差异。

Chaitanya等^[8]研究了右美托咪啶在癫痫手术中对EEG的影响, 结果显示: 在挥发性麻醉药呼气末浓度降为0后, 给予1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的右美托咪啶并在5 min内输完。对比右美托咪啶输注前、输注时、输注完毕后的EEG, 超过20%的患者在使用右美托咪啶时EEG的峰值增加; 同时超过20%的患者EEG峰值下降, 下降程度达25%以上。对右美托咪啶的应用还需进一步研究, 它可能对某种类型的癫痫手术有很大的用途。

3.2.4 丙泊酚

丙泊酚常被用于全凭静脉麻醉中, 在神经外科手术中使用丙泊酚可减少强效挥发性麻醉药的使用量。丙泊酚能降低SSEP和MEP的振幅, 并延长其潜伏期, 但其影响不如挥发性麻醉药强^[18]。使用丙泊酚的全凭静脉麻醉对于进行MEP监测的CEA患者是理想选择, 因为其对MEP信号波幅的抑制程度要远远小于地氟烷^[18]。然而, 最近发表的一项研究^[19]表明: 在行脊柱畸形矫正术的儿童患者中单独使用地氟烷也可产生可信的MEP数据。

4 麻醉方法对IONM的影响

在选择麻醉方法时, 除考虑对IONM的干扰降低到最小程度外, 还要考虑在术中最大程度上降低患者发生体动、术中知晓及血流动力学不稳定等的风险。目前常用的麻醉方法为0.5 MAC的挥发性麻醉药(七氟烷或地氟烷)结合右美托咪啶和瑞芬太尼输注。根据血流动力学情况滴定后两种药物。如果SSEP或MEP信号发生衰减, 挥发性麻醉药剂量可以减少或者停用代之以丙泊酚。这种麻醉方法除适用于SSEP, MEP, EEG或EMG监测外, 还可以大大缩短患者的术后清醒时间, 为神经外科医生在术后进行及时的神经功能学检查提供了有利条件。由于右美托咪啶是通过作用于蓝斑核受体发挥药理作用, 与常规麻醉药物的作用方式不同, 因此在贯穿手术的整个过程中都可以使用。右美托咪啶不仅能在术中预防突发的紧急情况, 而且在需要进行术中唤醒时可马上停用, 帮助患者迅速清醒。虽然在IONM中增加强效挥发性麻醉药的浓度是可接受的^[11], 但鉴于此时获得MEP时所需的刺激电压增加, 从而增加术中不良事件的发生率, 以及诱发电位潜伏期会随挥发性麻醉药浓度的增加而延长, 所以不推荐此

种方法。此外, Sloan等^[12]也提出: 为获得可信的IONM数据, 在用0.5 MAC地氟烷进行吸入麻醉的情况下, 有3例患者无法获得满意的IONM数据, 而不得不更换为全凭静脉麻醉。

5 结语

IONM可用于多种不同类型的手术之中以实时反映患者的神经系统功能, 并可明显改善患者预后, 减少术中神经损伤的发生率。针对IONM及时调整麻醉方案, 使之与相应的电生理监测技术相匹配, 将有助于将麻醉因素对IONM的干扰降到最低, 防止术中不良事件的发生。随着IONM在预防围手术期的不良事件中的作用越来越重要, 该领域的相关问题也将得到进一步的深入研究。

参考文献

1. Martin DP, Bhalla T, Thung A, et al. Somatosensory-evoked potential monitoring//Kaye AD, Davis SF. Principles of neurophysiological assessment, mapping, and monitoring[M]. New York: Springer Science Business Media, 2014.
2. Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, et al. The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 1): S105-S114.
3. Thirumala PD, Udesch R, Muralidharan A, et al. Diagnostic value of somatosensory-evoked potential monitoring during cerebral aneurysm clipping: a systematic review[J]. World Neurosurg, 2016, 89: 672-680.
4. Slotty PJ, Abdulazim A, Kodama K, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during resection of intratentorial lesions: the surgeon's view[J]. J Neurosurg, 2017, 126(1): 281-288.
5. Ying T, Wang X, Sun H, et al. Clinical usefulness of somatosensory evoked potentials for detection of peripheral nerve and brachial plexus injury secondary to malpositioning in microvascular decompression[J]. J Clin Neurophysiol, 2015, 32: 512-515.
6. Rabai F, Sessions R, Seubert CN. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2016, 30: 53-68.
7. Miyake W, Oda Y, Ikeda Y, et al. Electroencephalographic response following midazolam-induced general anesthesia: relationship to plasma and effect-site midazolam concentrations[J]. J Anesth, 2010, 24: 386-393.
8. Chaitanya G, Arivazhagan A, Sinha S, et al. Dexmedetomidine anesthesia enhances spike generation during intra-operative electrocorticography: a promising adjunct for epilepsy surgery[J]. Epilepsy Res, 2015, 109: 65-71.
9. 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.
10. Kassis SZ, Abukwedat LK, Msaddi AK, et al. Combining pedicle screw stimulation with spinal navigation, a protocol to maximize the safety of neural elements and minimize radiation exposure in thoracolumbar spine instrumentation[J]. Eur Spine J, 2016, 25: 1724-1728.
11. Martin DP, Bhalla T, Thung A, et al. A preliminary study of volatile agents or total intravenous anesthesia for neurophysiological monitoring during posterior spinal fusion in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39: E1318-E1324.
12. Sloan TB, Toleikis JR, Toleikis SC, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery with total intravenous anesthesia or balanced anesthesia with 3% desflurane[J]. J Clin Monit Comput, 2015, 29: 77-85.
13. Comelon M, Raeder J, Stubhaug A, et al. Gradual withdrawal of remifentanyl infusion may prevent opioid-induced hyperalgesia[J]. Br J Anaesth, 2016, 116: 524-530.
14. Subramanian A, Wanta BT, Fogelson JL, et al. Time to extubation during propofol anesthesia for spine surgery with sufentanil compared with fentanyl: a retrospective cohort study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39: 1758-1764.
15. Garg N, Panda NB, Gandhi KA, et al. Comparison of small dose ketamine and dexmedetomidine infusion for postoperative analgesia in spine surgery—a prospective randomized double-blind placebo controlled study[J]. J Neurosurg Anesthesiol, 2016, 28: 27-31.
16. Stoicea N, Versteeg G, Florescu D, et al. Ketamine-based anesthetic protocols and evoked potential monitoring: a risk/benefit overview[J]. Front Neurosci, 2016, 10: 37.
17. Rozet I, Metzner J, Brown M, et al. Dexmedetomidine does not affect evoked potentials during spine surgery[J]. Anesth Analg, 2015, 121: 492-501.
18. Malcharek MJ, Loeffler S, Schiefer D, et al. Transcranial motor evoked potentials during anesthesia with desflurane versus propofol—a prospective randomized trial[J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126: 1825-1832.
19. Holdefer RN, Anderson C, Furman M, et al. A comparison of the effects of desflurane versus propofol on transcranial motor-evoked potentials in pediatric patients[J]. Childs Nerv Syst, 2014, 30: 2103-2108.

本文引用: 李文鹏, 李恩有. 术中神经电生理监测技术的应用及麻醉进展[J]. 临床与病理杂志, 2019, 39(8): 1831-1835. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.08.034

Cite this article as: LI Wenpeng, LI Enyou. New trends of utility and anesthetic implications in intraoperative neurophysiological monitoring[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2019, 39(8): 1831-1835. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.08.034