

· 专家笔谈 ·

术中神经电生理监测技术在儿童神经外科手术中的应用



全文二维码

许新科 李方成

广州医科大学附属妇女儿童中心, 广东省儿童健康与疾病临床医学研究中心神经外科, 广州 510623

通信作者: 李方成, Email: sjwklfc@126.com

【摘要】 术中神经电生理监测已经成为现代微侵袭神经外科治疗不可缺少的辅助技术, 它通过各种电生理技术提供术中实时神经功能监测、协助判断切除范围以及减少神经功能损伤。儿童神经系统处于生长发育阶段, 在疾病谱、疾病电生理特点、术中神经电生理监测参数等方面与成人不同。目前术中神经电生理监测技术在成人神经外科已普遍开展, 但在儿童神经外科尚处于探索阶段, 仍然存在很多问题及争议。本文结合笔者三十余年成人及儿童神经外科工作中开展神经电生理监测的经验, 结合文献, 阐述神经电生理监测技术在儿童神经外科手术中的应用及价值。

【关键词】 神经外科手术; 神经电生理监测; 儿童

基金项目: 国家自然科学基金(81873739; 82102690)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203022-002

Application of intraoperative neurophysiological monitoring during pediatric neurosurgery

Xu Xinke, Li Fangcheng

Guangzhou Women and Children's Medical Center, Guangzhou Medical University, Guangdong Provincial Clinical Research Center for Child Health, Guangzhou 510623, China

Corresponding author: Li Fangcheng, Email: sjwklfc@126.com

【Abstract】 Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) has become an indispensable and important auxiliary technology during modern mini-invasive neurosurgery. It provides real-time intraoperative monitoring of nerve function through various technical means, helping to determine the scope of resection and minimize neurological damage. Pediatric nervous system stays within the stage of growth and development. Disease spectrum, electrophysiological characteristics and parameters of IONM are different from those of adults. Currently IONM in pediatric neurosurgery remains in exploratory stage and many outstanding problems and deficiencies persist. Over three-decade experiences of IONM were summarized during adult and pediatric neurosurgery. In conjunctions with the literature, this review focused upon the applications of IONM during pediatric neurosurgery.

【Key words】 Neurosurgical Procedures; Neurophysiological Monitoring; Child

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81873739 & 82102690)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203022-002

随着现代影像技术及显微神经外科技术的发展, 微侵袭显微神经外科逐渐成为神经外科治疗的主要方向, 手术致死率、致残率逐渐下降^[1]。神经外科手术与神经血管等重要结构关系密切, 术中有损伤神经的风险, 虽然神经导航系统及术中磁共振检查可以提供实时术中解剖定位, 但无法实时监测手术部位的神经功能是否受损。如切除脑功能区

肿瘤时, 操作牵拉、电凝等可致周围神经结构损伤而引起功能障碍; 夹闭动脉瘤时误夹穿动脉或载瘤动脉可导致脑缺血、脑梗死等严重并发症。为了手术中能实时监控神经功能, 术中神经电生理监测(intraoperative neurophysiological monitoring, IONM)技术应运而生^[2-3]。IONM是利用脑电图(electroencephalography, EEG)、肌电图(electromyography,

EMG)、诱发电位等监测技术实时监控术中可能受损的神经功能,以指导手术切除范围,避免产生不可逆的神经功能损伤^[4]。目前文献报道 IONM 在神经外科手术中的应用以成人为主,关于儿童的报道甚少^[5-6]。现笔者根据自身三十余年成人及儿童神经外科工作中应用 IONM 的经验,结合文献,就 IONM 在儿童神经外科手术中的应用阐述如下。

一、IONM 的起源与发展

据文献资料显示,IONM 最早可追溯到 1937 年,Penfield^[7]利用术中皮层脑电图(electrocorticography, ECoG)监测技术来定位及切除致痫区。20 世纪 60 年代,面部 EMG 被用于前庭神经鞘瘤切除术中面神经损伤的监测;EEG 被用于颅内动脉瘤夹闭术、颈动脉内膜剥脱术的术中监测,以早期发现脑缺血,防止引起脑梗死等严重后果^[8]。20 世纪 70 年代躯体感觉诱发电位(somatic sensory evoked potential, SSEP)被用于脊柱侧凸矫形术中感觉传导通路完整性的监测,以了解有无脊髓损伤^[9]。20 世纪 80 年代脑干听觉诱发电位(brainstem auditory evoked potential, BAEP)被用于前庭神经鞘瘤切除术、面肌痉挛及三叉神经痛微血管减压术中听觉传导通路完整性的监测。后来,随着监测技术的不断成熟,EMG 及 BAEP 被广泛应用于各种颅底手术中颅神经及脑干功能的监测^[10]。20 世纪 90 年代,运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)及术中直接皮质电刺激(direct cortical stimulation, DCS)被认为是术中功能区定位的金标准,特别是 MEP 和 SSEP 技术的联合应用,对脊髓手术的功能保护较之前的单一监测技术大大提高^[11]。随着电生理医师、麻醉医师和手术医师的不断磨合,神经外科 IONM 监测手段的选择、术中监测参数的设置、麻醉药物的选择以及给药时机等均有很大进步,IONM 已经成为现代神经外科手术中重要的辅助技术。

二、IONM 在儿童神经外科的应用

文献显示,1979 年首次报道 IONM 在儿童脊柱侧凸矫形术中的应用,利用 SSEP 监测儿童脊柱手术中是否存在感觉通路损伤,比在成人中的应用仅迟了 2 年左右^[9,12]。Kirollos 等^[13]在儿童脊髓栓系松解术中发现,SSEP 能监测脊髓感觉传导通路的完整性,有效减少术后医源性神经损伤的发生。Acharya 等^[14]研究发现,在 61 例儿童脊柱矫形手术中运用 MEP 监测脊髓功能,脊髓运动功能监测的敏感度达 100%,特异度为 96%,阳性预测值为 96%,但后续在儿童神经外科手术中的应用仍不如成人

普遍,其原因可能是:①IONM 监测技术多数依赖电刺激和神经传导,儿童神经系统发育存在髓鞘化进程,神经轴突髓鞘发育成熟一般在 3~4 岁前完成,髓鞘化不全会引起神经传导速度下降,诱发电位波幅降低,潜伏期延长,不容易引出等,影响 IONM 参数的判读,导致其在儿童患者中的应用不如成人普遍^[15]。②儿童颅骨普遍较成人薄,囟门一般到 2 岁左右才完全闭合,对囟门未闭合儿童及低龄儿童行经颅电刺激时,存在螺旋电极损伤上矢状窦或颅内结构的风险^[16]。③由于儿童神经系统发育未完全成熟,尤其是低龄儿童,对麻醉药物十分敏感,行 IONM 时必须和麻醉师进行充分沟通,确定最佳麻醉方案、具体给药类型和时机等^[17]。④由于儿童神经外科诊疗疾病谱与成人不同,故儿童 IONM 监测技术也有差异。成人 IONM 监测技术更多用于颅底肿瘤、脑血管病、微血管减压术及功能区或脊髓肿瘤切除术等。而儿童常用于症状性癫痫、功能区肿瘤、脊髓栓系综合征及脑瘫手术等。

三、儿童神经外科常用的 IONM 监测技术

(一) SSEP

SSEP 是指刺激上下肢外周神经支配的肌肉时,电刺激通过感觉传导通路传导到初级感觉皮层所记录到的电位变化。SSEP 按记录电极部位的不同,分为头皮 SSEP 和皮层 SSEP 两种。SSEP 波源确切,潜伏期相对稳定,对神经损伤具有较高的敏感性,能实时反映感觉传导通路的完整性,被广泛应用于儿童脊柱脊髓肿瘤、先天性脊髓栓系综合征、脑干肿瘤及功能区肿瘤切除。文海韬等^[18]报道多模式 IONM 监测技术治疗儿童脊髓栓系综合征,有利于术中及时发现脊髓损伤以及鉴别神经组织,在保护神经功能的前提下最大程度切除脂肪瘤,降低髓/囊比值(CORD/SAC 值)。由于 SSEP 具有在中央区位相倒置的特点,因而更多学者利用其在术中定位中央沟,辨认中央前后回,常用于中央区肿瘤及癫痫病灶的切除等^[19]。文献指出,儿童 SSEP 成功定位中央沟的比例与患儿年龄有关,大龄儿童更能引出稳定典型的位相倒置电位^[20]。

(二) MEP

MEP 是指电刺激运动皮层时,电刺激通过下行传导通路,在体表记录到电位变化。MEP 可分为经颅电刺激或磁刺激、术中直接皮层电刺激等。MEP 能实时监测运动皮层及下行运动神经传导通路的完整性,主要用于功能区及累及锥体束的肿瘤切除^[21]。与 SSEP 相比,MEP 波幅不稳定,变异较大,

目前仍缺乏统一的报警阈值标准。一般认为,波幅下降 50% 或潜伏期延长 10%,存在神经损伤的可能,应予报警,分析原因,必要时终止操作^[22]。

麻醉对 MEP 的影响较大,一般建议采用连续静脉全身麻醉,仅在诱导插管时使用短效肌松药,而在 IONM 过程中应全程禁用肌松药^[23]。Jonathan 等^[24]总结 57 例儿童幕上脑肿瘤切除术中使用 IONM 的经验指出,MEP 的引出与年龄相关,经皮层电刺激比经颅电刺激更敏感,IONM 能指导术中切除范围及避免运动功能损伤。

(三)EMG

EMG 通过记录外周肌群的电活动情况,了解支配肌肉的周围神经、神经元、神经肌肉接头及肌肉本身功能。EMG 简单易行,可重复性强,分为自由描记 EMG 及激发 EMG。原则上所有可能引起肌肉收缩的手术均可监测 EMG,因此,EMG 联合 SSEP、MEP 等监测技术被广泛应用于神经外科手术。小儿神经外科领域常用 EMG 的手术有功能区肿瘤切除、脊髓栓系松解、痉挛性脑瘫选择性脊神经后根切断术(selective dorsal rhizotomy,SDR)等。和 MEP 一样,术中 EMG 监测要求禁用肌松药^[23]。

(四)EEG

EEG 通过电极及放大器记录脑神经元放电情况,根据电极放置位置的不同可分为头皮、皮层、深部 EEG 等。EEG 可以反映大脑功能,临床广泛用于癫痫患儿术前及术中的评估,判断致病范围,鉴别发作性事件是否为癫痫,评价出血、炎症、缺血等情况下的脑功能^[25]。儿童术中 EEG 最常用是 ECoG,通过 ECoG 了解皮层放电情况,协助判断切除范围、判断皮层是否为功能区以及切除致病病灶后了解周围皮层放电情况。ECoG 能反映麻醉深度,同时行术中 ECoG 时麻醉不宜过深,以免影响电位捕捉^[26]。目前对于术中 ECoG 指导癫痫手术的意义仍存在争议,有学者认为术中 ECoG 存在监测时间短、受麻醉药物影响大、电极分布仅限于皮层等因素,难以准确判断致病区范围。更多学者认为术中 ECoG 能指导癫痫手术中致病区及切除范围的判断,尤其是颞叶外新皮层癫痫、皮层发育不良及海绵状血管瘤继发癫痫等,能明显提高术后癫痫发作控制率^[27]。儿童患者常因颅骨较薄、神经网络发育不成熟等原因,限制了立体定向 EEG 的应用;且儿童术前发作期脑电图定位价值有限,术前发作间期 EEG 及术中 ECoG 在儿童癫痫手术中起重要作用。

综上所述,IONM 在神经外科手术中起到非常

重要的作用,能实时监测术中神经功能,减少神经损伤及术后并发症。由于儿童神经系统特殊的生长发育过程,儿童 IONM 与成人明显不同,存在临床应用经验少、缺乏儿童术中监测参数标准、对其影响因素了解不足等问题,需要进一步探讨解决。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 文献检索和论文撰写为许新科,论文指导为李方成

参 考 文 献

- [1] Peruzzi P,Valdes PQ,Aghi MK,et al. The evolving role of neurosurgical intervention for central nervous system tumors[J]. Hematol Oncol Clin North Am,2022,36(1):63-75. DOI:10.1016/j.hoc.2021.08.003.
- [2] Calancie B,Molano MR. Alarm criteria for motor-evoked potentials: what's wrong with the "presence-or-absence" approach? [J]. Spine (Phila Pa 1976),2008,33(4):406-414. DOI:10.1097/BRS.0b013e3181642a2f.
- [3] Szélenyi 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.
- [4] Nuwer MR. Intraoperative monitoring of neural function[J]. Amsterdam;Elsevier,2008,(8):15-18.
- [5] Deletis V,Fernández-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.
- [6] Barzilai O,Lidar Z,Constantini S,et al. Continuous mapping of the corticospinal tracts in intramedullary spinal cord tumor surgery using an electrified ultrasonic aspirator[J]. J Neurosurg Spine,2017,27(2):161-168. DOI:10.3171/2016.12.SPINE.16985.
- [7] Penfield W,Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex as studied by electrical stimulation[J]. Brain,1937,15(4):389-443 DOI:10.1093/brain/60.4.389.
- [8] Page EH. A cluster of acoustic neuromas in fish hatchery workers [J]. Ear Nose Throat J,2000,79(1):34-37,41.
- [9] Skinner SA,Nagib M,Bergman TA,et al. The initial use of free-running electromyography to detect early motor tract injury during resection of intramedullary spinal cord lesions[J]. Neurosurgery,2005,56(2 Suppl):299-314. DOI:10.1227/01.neu.0000156545.33814.8d.
- [10] Samii M,Matthies C. Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): the facial nerve-preservation and restitution of function [J]. Neurosurgery,1997,40(4):684-694. DOI:10.1097/00006123-199704000-00006.
- [11] Sala F,Krzan MJ,Deletis V. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? [J]. Childs Nerv Syst,2002,18(6-7):264-287. DOI:10.1007/s00381-002-0582-3.
- [12] Nash CL Jr,Lorig RA,Schatzinger LA,et al. Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine[J]. Clin Orthop Relat Res,1977,(126):100-105.
- [13] Kirolos RW, Van Hille PT. Evaluation of surgery for the tethered cord syndrome using a new grading system[J]. Br J Neurosurg,

- 1996,10(3)253-260. DOI:10.1080/02688699650040106.
- [14] Acharya S, Palukuri N, Gupta P, et al. Transcranial motor evoked potentials during spinal deformity corrections-safety, efficacy, limitations, and the role of a checklist [J]. *Front Surg*, 2017, 4; 8. DOI:10.3389/fsurg.2017.00008.
- [15] Busso VO, McAuliffe JJ. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery [J]. *Paediatr Anaesth*, 2014, 24 (7): 690-697. DOI:10.1111/pan.12431.
- [16] Deletis V, Shils J. Neurophysiology in neurosurgery: a modern intraoperative approach [J]. Elsevier, 2002.
- [17] Mahmoud M, Sadhasivam S, Salisbury S, et al. Susceptibility of transcranial electric motor-evoked potentials to varying targeted blood levels of dexmedetomidine during spine surgery [J]. *Anesthesiology*, 2010, 112 (6): 1364-1373. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181d74f55.
- [18] 文海韬, 王潜阳, 陈小燕, 等. 多模式神经电生理监测在儿童脊髓栓系松解术中的应用价值研究 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2020, 19(9): 830-836. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.09.014.
- Wen HT, Wang QY, Chen XY, et al. Application value of multi-mode neuroelectrophysiological monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children [J]. *J Clin Ped Sur*, 2020, 19(9): 830-836. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.09.014.
- [19] Cedzich C, Taniguchi M, Schäfer 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.
- [20] Roth J, Korn A, Sala F, et al. Intraoperative neurophysiology in pediatric supratentorial surgery: experience with 57 cases [J]. *Childs Nerv Syst*, 2020, 36(2): 315-324. DOI:10.1007/s00381-019-04356-0.
- [21] Plans G, Fernández-Conejero I, Rifà-Ros X, et al. 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(4): 585-594. DOI: 10.1093/neuros/nyw087.
- [22] 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.
- Wu JS, Xu G, Mao Y, et al. Clinical practice of intraoperative neurophysiological monitoring at Shanghai Huashan Hospital [J]. *Chin J Contemp Neurol Neurosurg*, 2012, 12(6): 660-668. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.007.
- [23] 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.
- [24] Roth J, Korn A, Sala F, et al. Intraoperative neurophysiology in pediatric supratentorial surgery: experience with 57 cases [J]. *Childs Nerv Syst*, 2020, 36(2): 315-324. DOI:10.1007/s00381-019-04356-0.
- [25] 张申起, 郭丽蕊, 彭彬, 等. 术中神经电生理监测在神经外科中的应用 [J]. *卒中与神经疾病*, 2018, 25(5): 614-619. DOI: 10.3969/j.issn.1007-0478.2018.05.033.
- Zhang SQ, Guo LR, Peng B, et al. Application of intraoperative neuroelectrophysiological monitoring in neurosurgery [J]. *Stroke and Nervous Diseases*, 2018, 25(5): 614-619. DOI:10.3969/j.issn.1007-0478.2018.05.033.
- [26] Keene DL, Whiting S, Ventureyra EC. Electroconvulsive therapy [J]. *Epileptic Disord*, 2000, 2(1): 57-63.
- [27] Roessler K, Heynold E, Buchfelder M, et al. Current value of intraoperative electrocorticography (iopECOG) [J]. *Epilepsy Behav*, 2019, 91(2): 20-24. DOI:10.1016/j.yebeh.2018.06.053.
- (收稿日期: 2022-03-09)

本文引用格式: 许新科, 李方成. 术中神经电生理监测技术在儿童神经外科手术中的应用 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2022, 21(10): 907-910. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203022-002.

Citing this article as: Xu XK, Li FC. Application of intraoperative neurophysiological monitoring during pediatric neurosurgery [J]. *J Clin Ped Sur*, 2022, 21(10): 907-910. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202203022-002.

本刊关于表格、统计学符号、统计结果的书写要求

一、表格

表格采用三线表, 三线表中底线为反线(粗线), 与中华人民共和国新闻出版行业标准 CY/T171-2019(学术出版规范表格)保持一致。

二、统计学符号及描述

定量资料呈偏态分布时用 $M(Q_1, Q_3)$ 或 $M(IQR)$ 表示, 其中 M 、 Q 为斜体, 数字为下标正体。中文期刊的均数±标准差用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 英文期刊或中文期刊英文摘要的均数±标准差可用 $\text{Mean} \pm \text{SD}$ 表示。

三、统计结果的表述涉及统计学分析时, 应说明统计学检验方法。正文中统计量(如: $t = 3.45$, $\chi^2 = 4.68$, $F = 6.79$ 等)和 P 值应给出具体值, P 值精确到小数点后 3 位, 统计量精确到小数点后 2 位; P 值为 0.000 时应写为 $P < 0.001$ 而不写 $P = 0.000$ 。当涉及总体参数估计(如总体均数、总体率、RR 值、OR 值、HR 值等)时, 在给出显著性检验结果(统计量、 P 值)的同时, 给出 95% 置信区间。