

神经电生理监测在腰椎手术中的应用

Neurophysiological monitoring in lumbar spine surgery

高维涛, 李 放

(北京军区总医院骨科 100700 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.09.19

中图分类号: R741 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2012)-09-0861-04

随着科学技术的不断发展, 神经电生理监测技术的应用越来越受到脊柱外科医生的重视, 目前临床上常用的监测技术包括体感诱发电位(SEP)、运动诱发电位(MEP)以及肌电图(EMG), 其不仅已作为脊柱外科手术前、术后神经功能改善状况的重要评估依据和手段, 而且已逐渐地应用于颈、胸椎手术术中脊髓功能监测, 成为减少神经损伤、提高手术质量不可缺少的重要组成部分。笔者对国内外的相关研究成果及临床应用进展综述如下。

1 监测技术及临床应用

1.1 体感诱发电位(SEP)

SEP 包括短、中、长潜伏期电位。SEP 属于外源性刺激相关诱发电位, 其短潜伏期的诱发电位很少受麻醉或意识状态的影响, 且具有良好重复性的特性适合术中监测。SEP 术中监测原理是通过电刺激外周神经(如正中神经和胫后神经)本体感觉的感受器产生信号经脊髓后索(薄束、楔束)向上传递, 可在感觉通路上记录到明确的电活动。临床上诱发电位常按照极性和平均潜伏期来命名, 其中极性以 P(Positive)代表阳性波, N(Negative)代表阴性波, 后面的数字则代表为平均潜伏期(ms), 如 N20、P40 等。下肢刺激时主要观察 P37、P40、N32 等波。SEP 的观测标准: 脊柱暴露节段, 手术剥离椎旁肌及椎旁软组织, 但尚未进行减压、肿瘤切除和器械矫正前的 SEP 为基线, 此后以不同时间段的 SEP 与之比对, 比较典型波的潜伏期和波幅的变化。以往判断 SEP 异常的标准为波幅下降 50% 或潜伏期延长超过 10% (即所谓经典的 50/10 法则), 而经处理后不恢复, 提示术后将出现神经功能缺失^[1]。但后来有文献指出上述的标准主要针对皮层电位成分的变化而言, 在实际手术监测中, 皮层电位受麻醉深度的影响非常大, 如仅靠皮层电位的变化则常常出现“假阳性变化”(即 SEP 明显改变而无临床上的神经损伤)结果^[2]。相对皮层电位而言, 来自胫后神经刺激的皮层下电位受麻醉因素影响较小, 因

此, 现在有很多学者建议在解释术中 SEP 变化时应主要依靠皮层下电位的波幅和潜伏期的改变^[3-5]。

通过 SEP 监测能了解躯体感觉传导通路的功能状况, 周晖等^[3]认为, 血流改变尚未影响到细胞的代谢时, SEP 即已发生变化, 其原理可能是由于脊神经根受压同时, 导致神经根小动脉机能减退, 静脉扩张, 使神经兴奋阈值升高, 神经传导功能减退和冲动传导阻滞。已有动物实验发现^[6], 在脊髓持续缺血情况下, 血流量减少 20%~35% 时, SEP 无变化; 当血流量进一步降低时, SEP 的波幅在短时间内变小或消失, 而潜伏期则无明显变化; 若 10min 内血流量及血压恢复正常, SEP 波幅及潜伏期也可恢复正常。同时, 异常的 SEP 结果与组织形态学也具有明显相关性。感觉神经轴突对长期慢性压迫极为敏感, 损伤后轴突功能的恢复则较慢, 神经根压迫可导致神经轴突损伤及脱髓鞘改变。因此在长期椎管狭窄病例, 表现为继发性的 SEP 潜伏期延长^[7]。同时脊髓感觉束与运动束在解剖上非常接近, 运动束的损害可间接影响感觉的反应, 因此 SEP 的改变不但可以反映同侧脊髓感觉通路传导状态, 并可能间接反映同侧脊髓运动通路的状况^[8]。

脊髓术中 SEP 的异常改变常是由于牵拉、压迫脊髓或脊神经、过度的电凝以及对脊髓血管的损伤等引起^[9]。SEP 具有受肌松剂影响小, 容易操作, 不干扰手术操作, 刺激电压低及能连续监测的优点。缺点为波幅较低, 容易受外界干扰, 需要平均叠加, 因而不能实时反映, 只能间接反映神经功能状态等。因为 SEP 产生于混合神经, 而混合神经参与了多根脊髓神经根, 单根神经根感觉神经纤维的损伤可能会被其他神经纤维的有效传导所掩盖, 故而目前 SEP 多常规应用于颈、胸椎手术的脊髓功能监测预警, 对于腰椎术中的单个神经根功能状态的监测缺少敏感性和特异性^[9]。针对 SEP 在腰椎手术中神经根监测的局限性, 有学者提出应用肌皮神经节段刺激躯体感觉诱发电位(DSEP)技术可为术中神经根功能恢复作出预期判断^[10]。国内也有学者通过观察腰骶神经根压迫患者的 DSEP 术中监测结果与术后临床症状改善之间的相关性发现若术中 DSEP 波幅增高, 则术后临床症状明显改善($P<0.01$), 得出结果——脊神经根减压中 DSEP 变化与术后临床症状改

第一作者简介: 男(1979-), 在读硕士, 研究方向: 脊柱外科手术中神经电生理监测

电话: (010)66721629-8001 E-mail: gaoweitao@sohu.com

善呈正相关^[9]。作为对立面,也有学者指出因为术中刺激电极的位置选择较难、目前对周围神经皮节分布尚存在分歧、DSEP 记录的是多次反复刺激的叠加结果,反映的仅仅是平均电位,无法代表神经根功能的完整性,并且它仅仅能评价感觉神经,存在较高的假阴性率和假阳性率,术中监测具有局限性^[11,12]。Storm 等^[13]对腰椎管狭窄患者进行 DSEP 研究发现,DSEP 异常和 MRI 显示的狭窄节段不完全相符,认为导致这样结果的原因是脊椎节段并非由单一神经根支配。此外,其他学者^[13,14]研究发现,脊神经后支自神经根分支后的走行与横突存在密切的解剖节段关系,因而脊神经后支的体感诱发电位具有脊髓病变定位价值。但是,传统的椎旁体感诱发电位(SSEP)为经皮电刺激和磁刺激,刺激范围较广,包括上下相邻节段的脊神经后支。Chang^[15]报道用椎旁针电刺激神经根的方法来进行脊髓病变的定位,证明它对神经根病的定位具有较高的敏感性。国内陈文钧等^[16]对腰椎神经根病患者进行术前、术后椎旁 SSEP 检查发现术前、术后 P30(皮层电位)潜伏期差异明显($P<0.05$),术后较术前缩短,而波幅无明显差异,结果提示 SSEP 在神经根病变的定位上具有参考价值。然而因为有可能影响手术操作,且术中若剥离椎旁肌则无法保留刺激电极,导致其术中应用受限。通过文献回顾,目前临床上可以应用于腰椎术中监测特别是神经根减压效果评价的是 DSEP,但应同时结合其它神经电生理监测方法以减少假阳性和假阴性结果。

1.2 运动诱发电位(MEP)

MEP 是最常用的脊髓前索监测方法。1980 年, Merton 等^[17]首次应用头皮电刺激(TES)记录到运动诱发电位以评价中枢神经系统运动功能;1985 年, Barker 等^[18]通过安全无痛性经颅磁刺激(TMS)记录 MEP。此两项技术所采用的记录方法均是通过头骨刺激运动皮层,在躯体远端效应器肌肉记录到相对应的复合肌肉动作电位(CAMP),这种肌肉反应波幅高,容易记录到,不需进行信号平均叠加。经颅磁刺激后,首先兴奋的是直径较大、兴奋阈值较低的下行性运动神经纤维,产生运动诱发电位 D1 波(单个正相波),随刺激强度增加,皮质深部兴奋后产生 D2 波,同时 D1 波潜伏期延长。D 波波幅反映参与兴奋的脊髓运动神经元的数量,潜伏期则反映脊髓运动神经纤维的传导速度^[19]。恒定的刺激强度和刺激频率不会引起波形、波幅和潜伏期的变化,任何原因导致的运动神经元或运动传导束损伤,均可引起脊髓运动诱发电位波幅降低,潜伏期延长^[19]。目前 MEP 术中监测的预警标准是波幅降低 50%、80%或波幅的有或无,还有的学者把刺激阈值的变化作为警报标准^[20]。应用 TES 记录到的脊髓 MEP D1 波受外界因素影响较小,连续短脉冲刺激后即可记录到满意的 D1 波,可及时、客观地反映皮质脊髓侧束及前束的传导功能,可对脊髓缺血做出快速反应,与反映脊髓后束传导功能的 SEP 互补、共同发挥作用^[21]。

术中 MEP 的监测应注意几个问题:(1)药物的影响:

麻醉药可以影响到运动传导通路的各个部分,从而引起 MEP 波幅的降低,影响对全麻患者脊髓功能的判断,研究认为应用多脉冲刺激模式可部分对抗此作用^[18]。从目前资料看,氯胺酮对 MEP 几乎没有影响,而异丙酚、氧化亚氮等常用麻醉药物对 MEP 具有潜在的抑制作用;吸入性麻药(醚类)和巴比妥类药物会以剂量依赖的形式对 MEP 产生抑制作用;此外术中应用肌松药可明显的对 MEP 产生干扰作用甚至无法完成监测^[19]。(2)手术器械的影响:术中手术器械的应用对 MEP 的波幅产生很大的影响,例如超声吸引器常造成 MEP 波幅的降低,而普通双极电凝器干扰 MEP 的记录结果^[20]。(3)温度:术中术野冲洗水或体温降低可造成神经传导速度减慢、潜伏期延长^[19]。

目前 MEP 多用于髓内肿瘤切除的术中监测,临床证明其用于术中监测可增加手术的安全性和有效性从而改善术后脊髓的功能状态^[21]。有文献报道 MEP 对术后神经功能缺陷的敏感性是 100%,特异性是 90%,在髓内肿瘤切除术中 MEP 完全消失,术后患者会出现严重的运动功能障碍^[22]。在脊柱外科,MEP 监测可应用于脊柱侧凸矫形术中对脊髓的保护作用^[23,24]。在脊柱侧凸矫形术中,通过监测 SEP 和 MEP 可预防术中由于操作不当、矫枉过正或局部缺血而引起的神经功能损害^[25]。周晖等^[26]通过对 8 例脊柱侧凸和 10 例脊髓肿瘤术中采用刺激频率为 3~5 次/s、刺激强度为 90~160mA 连续短脉冲头皮电刺激,应用硬膜外电极于脊髓记录 MEP,发现脊柱侧凸患者术中 MEP 波幅和潜伏期均无异常变化,脊髓肿瘤患者术中 MEP 出现波形改变、波幅降低,但改变手术方向或经短暂休息后恢复正常,术后所有患者感觉和运动功能均较术前明显改善,从而认为脊柱脊髓手术特别是脊髓肿瘤切除术中 MEP 监测具有安全可靠、操作简便、记录波形稳定等优点。

1.3 肌电图(EMG)

EMG 监测可分为自发 EMG 和诱发 EMG。自发 EMG 是指在术中神经受刺激后在该神经所支配的肌肉上记录到的电活动。诱发 EMG 是在手术静态期,使用微量电流刺激器直接刺激神经,在该神经支配的肌肉上诱发出的电活动。正常情况下,记录的肌肉静息电位,图形为直线,当神经根受到牵拉、机械性刺激时,在相应神经根支配的肌肉产生动作电位而收缩,在肌电图上可记录到肌电活动(自发 EMG),通过扬声器可提醒术者注意。肌电图波形出现时间越长,神经根损伤的可能性就越大,术中应及时去除刺激因素^[27]。因此,术中自发连续性 EMG 监测有助于了解脊髓的皮质-脊髓传导通路(CST)的功能^[28],是神经功能重要的预警监测手段。齐宗华等^[29]研究术中应用自发 EMG 监测腰椎手术神经根功能,发现在严格控制肌松剂使用下,腰椎手术采用自发 EMG 肌电监测,可准确及时地反应神经根的功能,避免神经根损伤;同时该研究表明肌肉松弛剂对腰神经根自发 EMG 影响较大,术中肌肉完全松弛后,即使神经根受到刺激,也不能记录任何肌电反应。因而提示监测人员在监护的关键时段,应及时与麻醉师沟通,

减少阻断神经肌肉接头药物应用,保持合适的肌肉收缩,避免监护假阴性的发生^[30]。

另外自发 EMG 监测还可应用于椎弓根螺钉置入手术和腰椎滑脱复位手术。在椎弓根钻孔、探子探查以及放置椎弓根钉,单纯追求滑脱的解剖复位时,均有可能造成神经根激惹及神经根损伤可能^[31],刺激螺钉时如出现刺激阈值过低,则说明螺钉过于靠近神经根或螺钉部分侵入椎管。齐宗华等^[32]监测腰椎滑脱 25 例患者复位过程中发现有 4 例出现肌电反应,提示发生率较高,应引起注意。有学者认为术中肌电图对神经根功能监护的有效性高于术中 X 线透视和手术医生的直视^[33]。目前 S1 神经根的功能也可用 H 反射来监测。H 反射即为电刺激胫后神经引起脊髓单突触反射,从而导致其所支配的腓肠肌收缩。H 反射既能反应 S1 神经根的感觉功能又能反映神经根的运动功能,可补充单纯 EMG 检查仅反映运动功能的不足,从而可及时反映神经根的功能变化^[33]。单侧 H 波消失或双侧潜伏期差异是发现 S1 神经根损伤最敏感的指标。因而,有学者提出在应用 EMG 进行 S1 神经根监护时有必要加用 H 反射^[34]。EMG 监测的要点是术前要确定与神经根相适应的肌肉,避免术中更换电极位置影响监测结果。由于多数肌肉受相邻两个或多个神经根支配,一个神经根也可以支配几块相邻的肌肉,因此术前正确选择定位神经肌肉尤为重要。目前临床常用的 EMG 监测的腰椎神经根及其所支配的相关肌肉详见表 1^[35]。

2 腰椎术中神经根监测的方法

目前术中神经电生理监测多用于监测脊髓及神经根功能的完整性,作为神经损伤预警性指标在术中应用。有文献^[11-25]指出术后急性期的神经根损伤比脊髓损伤更常见。混合神经的 SEP 广泛用于脊髓手术的监测,但术中监测其电位的变化没有一个绝对的界限来确定神经是否已受到损伤^[36],因为其包含有 SEP、MEP,并非单根神经传导信号,所以认为它不能应用于监测特定神经根功能。由于脊髓大多终止在 L1~L2 水平, L2 水平以下为马尾神经,因此大部分腰椎术中监测都以监测神经根功能为主。对于监测神经根来讲, DSEP 比混合神经 SEP 敏感,有作者已将其用于腰神经根监测^[25,34,36]。有学者认为 EMG 比 DSEP 对神经根的监测敏感,特别是多道自发连续波 EMG 能提供连续即时的术中腰神经根功能信息,术中监测腰神经根时,能立即将神经根功能情况反馈给手术医生,使之及时调整手术策略^[28],因此可将 EMG 做为神经根损伤预防指

标。脊神经功能非常复杂,单一电生理监测手段无法对其全部功能进行监护,因此就目前资料来看,术中多模式的监测如 SEP+MEP+EMG 已成为主流,其不但可以全面的监测脊神经功能,还可以尽量避免监测过程中假阳性、假阴性的发生,为避免术中神经损伤提供客观依据。

目前文献关于腰椎术中使用神经电生理监测作为评价减压后神经根功能恢复程度的预测指标鲜见报道,特别是对于术中减压后 SEP 或 MEP 波幅、潜伏期的改善程度对于预测手术效果及与术后神经功能恢复程度的相关性方面并无深入的研究,因此临床上在对于腰椎术中神经电生理监测指标何种变化程度可以更为敏感、有效、可信的提示神经根减压有效,仍需要进一步研究特别是前瞻性随机对照试验研究来帮助我们增加感性认识,以便在实际临床中理性地选择更为恰当的监测指标,在预防神经根损伤保证手术安全性的前提下,确保神经根减压的有效性。

3 参考文献

- Luk DK, Hu Y, Wong YW, et al. Variability of somatosensory evoked potentials in different stages of scoliosis surgery[J]. Spine, 1999, 24(20): 1799-1804.
- Macri S, Monte A, Gregg T, et al. Intraoperative spinal cord monitoring in orthopaedics[J]. Spinal Cord, 2000, 38(5): 133-139.
- 周晖, 贺斌, 赵瑛, 等. 腰骶神经根减压手术前、后及术中躯体感觉诱发电位与临床预后的相关性[J]. 第二军医大学学报, 2003, 24(2): 228-229.
- Isley MR, Pearlman RC, Wadsworth J, et al. Recent advances in intraoperative neuromonitoring of spinal cord function: pedicle screws stimulation techniques[J]. Am J END Technol, 1997, 37(13): 99-126.
- Toleikis JR, Skelly JP, Carlvn AO, et al. Spinally elicited peripheral nerve responses are sensory than motor [J]. Clin Neurophysiology, 2000, 11(7): 736-742.
- Papastefanou SL, Henderson LM, Smith HJ, et al. Surface electrode somatosensory-evoked potentials in spinal surgery: implications for indications and practice[J]. Spine, 2000, 19(17): 2467-2472.
- 李德志, 张力伟. 脊髓手术中的神经电生理监测[J]. 中国全科医生, 2007, 10(10): 783.
- Saal JA, Firtch W, Saal JS, et al. The value of somatosensory evoked potential testing for upper lumbar radiculopathy [J]. Spine, 1992, 17(4): s133-s137.
- Zhao M, Zhang Y, Liu LS, et al. Somatosensory and motor evoked potentials in a rabbit model of spinal cord ischemia and reperfusion injury[J]. Spine, 1997, 22(18): 1013-1017.
- Weiss DS. Spinal cord and nerve root monitoring during surgical treatment of lumbar stenosis[J]. Clin Orthopaed Related Research, 2001, 384(4): 82-100.
- Guerit JM. Neuromonitoring in the operation room: why, when and how to monitor [J]. Electroencephalogr Clin Neuro-

表 1 术中监测腰神经根对应的肌肉

神经根	对应的肌肉
L1-2	坐骨肌
L2-4	股内侧肌
L4-5	胫前肌
S1	腓肠肌

- physiol, 1998, 106(1): 1-21.
12. Storm SA, Kraft GH. The clinical use of dermatomal somatosensory evoked potentials in lumbosacral spinal stenosis [J]. *PhysMed Rehabil Clin N Am*, 2004, 15(4): 107-115.
13. Boelderl A, Daniaux H, Kathrein A, et al. Danger of damaging the medial branches of the posterior rami of spinal nerves during a dorsomedian approach to the spine[J]. *Clin A nat*, 2002, 15(3): 77.
14. Goodridge A, Eisen A, Hoirch M. Paraspinal stimulation to elicit somatosensory evoked potentials: an approach to physiological localization of spinal lesions [J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1987, 68(7): 268-276.
15. Chang CW, Lien IN. Spinal nerve stimulation in the diagnosis of lumbosacral radiculopathy[J]. *Am J Phys Med and Rehabil*, 1990, 69(8): 318.
16. 陈文钧, 吴晓东, 黄煌洲, 等. 椎旁体感诱发电位在神经根病变中的定位探讨[J]. *复旦学报(医学版)*, 2007, 34(2): 80-83.
17. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject[J]. *Nature*, 1980, 285(3): 227.
18. Barker AT, Jalinous R, Freestone IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex[J]. *Lancet*, 1985, 26(21): 1106-1107.
19. Nakamura H, Kitagawa H, Kawaguchi Y, et al. Direct and indirect activation of human corticospinal neurons by transcranial magnetic and electrical stimulation[J]. *Neurosci Lett*, 1996, 210(1): 45-48.
20. 周淇淇, 张小峰. 神经监测技术在临床手术中的应用[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2005. 22-23, 41-47.
21. Kothbauer KF. Intraoperative neurophysiologic monitoring for intramedullary spinal-cord tumor surgery [J]. *Neurophysiol Clin*, 2007, 37(5): 407-414.
22. Sala F, Palandri G, Bosso E, et al. Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: a historical control study [J]. *Neurosurgery*, 2006, 58(Suppl 46): 1129-1143.
23. Drake J, Zeller R, Kulkarni AV, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during complex spinal deformity cases in pediatric patients: methodology, utility, prognostication, and outcome[J]. *Childs Nerv Syst*, 2010, 26(5): 523-544.
24. MacDonald DB, Al Zayed Z, Khoudeir I, et al. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory evoked potentials from the lower and upper extremities[J]. *Spine*, 2003, 28(2): 194-203.
25. Bose B, Wierzbowski LR, Sestokas AK. Neurophysiologic monitoring of spinal nerve root function during instrumented posterior lumbar spine surgery[J]. *Spine*, 2002, 27(24): 1444-1450.
26. 周晖, 赵瑛, 周晓闻, 等. 脊髓运动诱发电位监测在手术中的应用[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2008, 8(4): 306-309.
27. Stanlery AS, Nagib M, Thomas AB, et al. The initial use of free-running electromyography to detect early tract injury during resection of intramedullary spinal cord lesions[J]. *Neurosurgery*, 2005, 56(3): s255-s274.
28. Quinones HA, Culati M, Lyon R, et al. Spinal cord mapping as an adjunct resection of intramedullary tumors: Surgical technique with case illustrations[J]. *Neurosurgery*, 2002, 51 (Spine 43): 1199-1207.
29. 齐宗华, 王德春, 季爱玉, 等. 应用肌电图进行术中腰神经根监护的初步报告[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2006, 8(2): 194-195.
30. Holland NR. Intraoperative electromyography[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2002, 19(17): 444-453.
31. Shi YB, Binette M, Martin WH, et al. Electrical stimulation for intraoperative evaluation of thoracic pedicle screw placement[J]. *Spine*, 2003, 28(15): 595-601.
32. 齐宗华, 刘勇, 王德春, 等. 脊髓及神经根监测技术在脊柱外科手术中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2007, 15(15): 1556-1558.
33. 潘映辐, 孙相如, 李兴启, 等. 临床诱发电位学(第二版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000. 131-132.
34. 胡有谷. 腰椎间盘突出症[M]. 第3版. 北京: 人民卫生出版社, 2004. 348.
35. American Electroencephalographic Society. Guide eleven: guidelines for intraoperative monitoring of sensory evoked potentials[J]. *J Clin Neurophysiol*, 1994, 11(1): 77-78.
36. Valentini LG, Visintini S, Mendola C, et al. The role of intraoperation electromyography monitor in lumbosacral lipomas[J]. *Neurosurgery*, 2005, 56(6): s315-s323.

(收稿日期: 2011-06-30 修回日期: 2011-08-02)

(本文编辑 彭向峰)