

综述

诱发电位改变与脊髓型颈椎病手术疗效相关性的研究进展

Research advances of the use of evoked potentials in predicting the surgical outcomes of cervical spondylotic myelopathy

肖 玮^{1,2}, 于滨生^{1,3}

(1 北京大学深圳医院脊柱外科 518036 深圳市; 2 汕头大学医学院 515041 汕头市; 3 北京大学深圳医院骨科研究中心 深圳市脊柱外科重点实验室 518036 深圳市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.03.15

中图分类号: R681.5, R741.044 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2016)-03-0284-05

脊髓型颈椎病 (cervical spondylotic myelopathy, CSM) 是由于颈椎退行性改变 (如椎间盘突出、椎体后缘骨赘形成、黄韧带肥厚等) 导致的颈脊髓压迫症^[1], 是最常见的导致颈脊髓功能障碍的病因^[2]。手术干预被认为是目前最有效的治疗方式^[3,4], 但 CSM 临床表现与术后恢复情况个体差异较大。有研究表明手术疗效受较多因素影响, 临床预后评估存在一定难度^[5-7]。体感诱发电位 (somatosensory evoked potentials, SEPs) 和运动诱发电位 (motor evoked potentials, MEPs) 是最常用的两项评价脊髓神经功能的电生理技术, 经过多年的研究与发展, 已被证实可准确评估脊髓的神经传导功能。目前 SEPs 与 MEPs 已广泛应用于 CSM 的术前检查和术中监护^[8-13]。近年来随着研究的深入, 发现 SEPs、MEPs 的检测结果对 CSM 的手术疗效存在一定的预示作用, 能为医生判断病情和评估预后提供参考, 笔者就该领域的最新研究进展进行综述。

1 诱发电位异常与 CSM 脊髓损伤的内在关联

目前认为 CSM 的发病机制为机械压迫和血运障碍共同作用导致的脊髓损伤^[14,15]。对 CSM 患者的尸体观察发现, 脊髓的病理改变主要包括白质脱髓鞘、神经元细胞数量减少、白质空泡变性等^[16]。在慢性颈脊髓压迫大鼠模型上, 发现 SEPs 异常与脊髓的微观病理改变密切相关^[17,18], CSEPs 波幅下降的大鼠脊髓神经病变主要以白质脱髓鞘为主, 为可逆性病理损害; 而潜伏期延长的大鼠脊髓病变则主要表现为不可逆的灰质神经元坏死^[19]。Wen 等^[20]利用磁共振的弥散张量成像技术 (diffusion tensor imaging, DTI) 证实, 在 CSEPs 异常的 CSM 患者中, 责任节段的脊髓后索神经纤维存在明显的压迫和损害。

基金项目: 深圳市科技计划项目 (编号: JCYJ20150403091443318; ZDSY20150505110905682)

第一作者简介: 男 (1992-), 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科与神经电生理

电话: (0755) 83923333-2901 E-mail: stu09wxiao1@hotmail.com

通讯作者: 于滨生 E-mail: hpyubinsheng@hotmail.com

对 CSM 患者进行多个节段连续的脊髓体感诱发电位 (spinal somatosensory evoked potentials, SSEP) 与脊髓运动诱发电位 (spinal motor evoked potentials, SMEP) 检测皆发现, 大部分患者在责任节段会出现骤然的 SSEPs 波幅降低或潜伏期延长^[21,22]、中枢传导时间 (central motor conduction time, CMCT) 延长^[23,24]。因此有学者认为, CSM 患者存在局部神经传导阻滞是电生理异常的原因^[19]。但也有研究提出, CMCT 的延长是由于脊髓受压处的运动神经元兴奋性降低, 在传递下行的神经冲动时需要更长的时间激活^[25]。

2 SEPs 与手术疗效的相关性

SEPs 旨在检查上行的感觉神经传导通路功能, 在头皮的相应定位区检测到稳定可靠的皮层体感诱发电位 (cortical somatosensory evoked potentials, CSEPs), 操作方便, 因此临床应用最为广泛。常选用的电刺激部位有正中神经、尺神经、胫神经以及皮节区等, 皆可用于评估脊髓的感觉传导功能, 但皮节区 CSEPs 更侧重于针对支配皮节区的单个感觉传入神经根, 可用于 CSM 病变节段的定位诊断和术中神经根监护^[26,27]。

2.1 术前 CSEPs 分型与手术预后评估

目前认为 CSEPs 异常提示神经传导功能受损。有研究发现 CSM 患者可出现 CSEPs 的潜伏期延长或波幅下降, 且 CSEPs 异常的患者术后满意程度与 JOA 改善率均较低^[21]。对伴 MRI T2 加权像髓内高信号影的 CSM 患者研究发现, 正中神经或胫神经 CSEPs 潜伏期延长组 JOA 评分低于潜伏期正常组, 经过手术治疗后, 前者的 JOA 改善率显著低于后者^[28]。Hu 等^[29]进一步提出可根据波幅和潜伏期将正中神经 CSEPs 结果分为 5 种类型, 术前潜伏期正常的 I 型和 II a 型术后 JOA 评分与 JOA 改善率没有显著性差异, 但明显优于潜伏期异常的 II b 型和 III 型; 认为相比于波幅而言, 潜伏期对评估预后更为敏感。此分型方法有助于了解脊髓的受损程度, 临床工作中所检测的 CSEPs 波形也可根据该分型方法归纳 (图 1)。目前, SEPs 的相关参

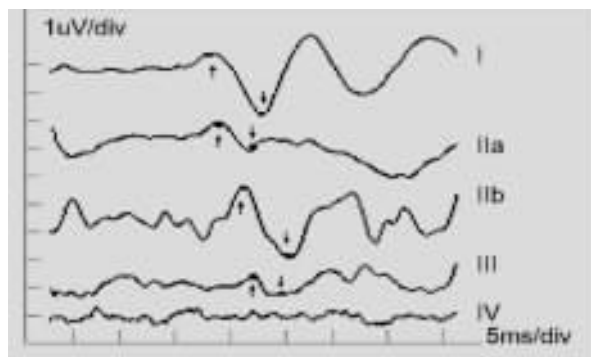


图 1 正中神经 CSEPs 波形分型 (向上箭头↑表示 N20 电位, 向下箭头↓表示 P25 电位): I 型, 正常波形; II a 型, 波幅下降, 潜伏期正常; II b 型, 潜伏期延长, 波幅正常; III 型, 波幅下降同时伴潜伏期延长; IV 型, 波幅消失

数的检测结果通常是数百个波形叠加之后得到的平均值,而在 CSM 的进展过程中,随着神经病变的程度和受累的范围不同,SEPs 的潜伏期改变并不是协同一致的,传统的平均叠加技术有可能掩盖这种差异性。Cui 等^[30]研究发现,术前单个正中神经 CSEP 潜伏期之间的差异性与术后 JOA 改善率与有显著相关性,潜伏期变化率越大,术后 6 个月 JOA 改善率通常也较低。

上述研究结果均认为术前 CSEPs 异常,尤其是潜伏期异常,是 CSM 手术预后不良的因素,对于此类患者,在手术充分减压后,也应当充分重视其术后的康复治疗和功能锻炼。但上述研究仅对术后 JOA 评分进行了短期的随访(6 个月),而 6 个月的 JOA 评分尚不能完全代表患者的最终预后,因此术后中长期的康复情况是否仍有差异尚未被证实。综上可认为,术前 CSEPs 结果与术后短期内的脊髓功能存在相关性,可在一定程度上预示术后早期的手术疗效。

2.2 术中 CSEPs 变化与早期手术减压效果

20 世纪 70 年代 CSEPs 开始应用于脊柱侧凸的矫形术中,用于监测脊髓功能的变化情况,以防止脊髓损伤的发生,使脊柱侧凸矫形术引起瘫痪的发生率明显下降^[31]。此后 CSEPs 在脊髓型颈椎病术中的监测作用也得到了广泛的关注与肯定^[18,9,32,33]。目前认为术中波幅较潜伏期更加敏感,常作为术中脊髓监测的首选判断指标^[8]。有研究发现在部分神经或脊髓严重受压的病例中,术中脊髓减压即可出现 CSEPs 的改善,一般是波幅部分恢复,明显者波幅和潜伏期均有显著恢复^[34]。一项 68 例 CSM 患者的对比研究表明,术中减压后 CSEPs 波幅改善明显者,术后平均 JOA 评分高于波幅无明显改善者^[35]。SEPs 的波幅是由参与传导的神经元的数量和反应的同步性所决定,术中 CSEPs 波幅的升高,表明手术减压后即有部分神经元恢复传导功能。术中减压后 CSEPs 波幅出现明显升高预示着术后 1 周内临床症状恢复较快,但随访 6 个月的 JOA 评分却没有明显差异^[36]。因此术中波幅仅与术后早期 JOA 评分有相关性,可以用来预测早期脊髓功能恢复程度,但对于长期疗

效的预测作用尚不明确^[37]。Bouchard 等^[38]也发现,术中出现 CSEPs 波幅升高或潜伏期缩短对于预测 CSM 患者术后早期疗效有一定意义,但与远期预后没有明显相关性。术中有较多因素能对 CSEPs 产生影响,比如麻醉深浅、体温变化、血压波动、脊髓血流灌注、椎管内手术操作、体位变动等^[8,39,40],因此在以术中 CSEPs 变化预估术后疗效时,应排除这些因素的干扰。

2.3 术后 CSEPs 改善与脊髓功能恢复

总体而言,手术对于 CSM 的疗效是确切的,但患者术后脊髓功能恢复程度却存在个体差异。潜伏期反应脊髓神经的传导速度,术后潜伏期的变化在电生理的角度反应出脊髓神经功能的恢复。对有四肢感觉障碍的 CSM 患者的随访研究表明,术后出现正中神经或胫神经 CSEPs 的潜伏期缩短的患者,术后拥有更高的肢体感觉功能评分^[41]。进一步研究发现,术前延长的正中神经 CSEPs 潜伏期,大部分将在术后 6 个月内逐渐缩短,且在术后 1 周即出现潜伏期缩短的患者,与 1 周内未见潜伏期缩短的患者相比,3 个月后者前者具有更高的平均 JOA 改善率^[42],但至术后 6 个月时的 JOA 改善率却无明显差异^[43]。上述研究表明,术后早期出现的 CSEPs 改善预示患者临床症状恢复较快,但与远期预后未见明显相关性。Bednarik 等^[44]的研究却发现,对于 JOA 评分<12 分的 CSM 患者,在术后 6 个月~2 年的时间内,CSEPs 与 JOA 评分仍具有相关性。可见 CSM 患者术后早期出现 CSEPs 改善预示着更快的脊髓功能恢复速度,可作为术后短期疗效的预测指标,但其与远期疗效的相关性还有待进一步研究。

3 MEPs 与手术疗效的相关性

MEPs 是继 SEPs 之后,为检查下行运动神经传导通路而建立的一项电生理检查技术。在 MEPs 应用于脊柱外科手术中监护之前,唤醒试验是术中监护运动神经功能的唯一方法^[45]。现如今随着研究与技术的发展,MEPs 与 SEPs 几乎已经成为脊柱外科手术中监护常规。在评价脊髓的整体功能方面,MEPs 弥补了 SEPs 的一些不足^[18,45]。经颅运动诱发电位(transcranial motor evoked potential, TcMEPs)的检测方法是采用经颅磁刺激或电刺激,然后在脊髓或肌肉处记录到相应的电位波形^[45]。TcMEPs 配合 F-波可进一步计算出运动神经的中 CMCT,若运动传导通路受损,会导致 TcMEPs 潜伏期延长、波幅降低或波形消失,以及 CMCT 延长^[46]。

3.1 术前 TcMEPs 结果与手术决策及预后

TcMEPs 在 CSM 患者的临床应用,不仅具有诊断价值^[47-49],有研究还发现术前 TcMEPs 检测结果也可作为评估手术预后提供参考。Takahashi 等^[50]研究发现,术前 TcMEPs 异常的患者平均 JOA 评分相对较低,术后 1 年疗效较好的患者(JOA 改善率≥60%),在术前具有更短的 TcMEPs 潜伏期和 CMCT。此外,对于伴有上肢近端肌群萎缩的 CSM 患者^[51],若术前三角肌与肱二头肌的诱发复合肌

肉动作电位 (compound muscle action potentials, CMAPs) 波幅较高, 术后也有更大程度的肌力恢复 (肌力等级升高 ≥ 2 级)。上述研究结果均表明, 术前 TcMEPs 与术后疗效具有一定的相关性, 异常的 TcMEPs 往往提示 CSM 患者脊髓损害相对较重, 是预后的不利因素。

除了评估预后, 也有学者认为 TcMEPs 有助于 CSM 治疗策略和手术时机的选择。在一项对老年 CSM 患者 (年龄 >80) 的研究中^[52], 存在 TcMEPs 异常的患者临床症状较明显 (平均 JOA 评分 8.6), 经过手术治疗后脊髓功能也得到较好改善 (平均 JOA 评分 12.6, JOA 改善率 45%); 而对于 TcMEPs 正常的患者, 症状也相对较轻 (平均 JOA 评分 12.1), 故未采取手术治疗。因此, 对于手术风险较大的高龄 CSM 患者, 在权衡利弊制定治疗策略时, 异常的 TcMEPs 或许可作为支持手术干预以改善其生活质量的考量依据之一。Nakamae 等^[53]通过对 831 例脊髓病 (547 例 CSM) 患者的对比研究也发现, 需要手术治疗患者的 CMCT 比选择保守治疗患者的 CMCT 显著延长。

对于尚未表现出明显症状的 CSM 患者, 有 2 年的随访研究表明, 若伴有 CSEPs 或 TcMEPs 的异常, 预示着症状可能出现或进一步加重^[54, 55]。另一项对于 199 例 MRI 显示颈脊髓受压但无临床症状的人群为期 2~12 年的随访也发现, 仅有影像学异常的患者在 4 年内很少发展为颈椎病; 但若再出现临床症状和电生理检查的异常, 则预示着颈椎病的早期进展^[56]。因此建议, 对于同时存在脊髓功能障碍、影像学压迫和诱发电位异常的患者, 应尽早手术治疗以改善预后; 而对于存在影像学异常, 但 CSEPs 和 TcMEPs 正常, 且临床症状较轻的患者, 可定期随访复查以监测病情进展。

3.2 术后 TcMEPs 随访与手术疗效评估

CSM 患者手术疗效主要体现在其脊髓功能的恢复状况, 目前临床常用的脊髓功能评价方法 (如广泛采用的 JOA 评分) 容易受到患者主观预期的影响。有研究表明, CSM 患者术后 1 年内, 术前延长的拇短展肌、小指展肌和胫骨前肌的 CMCT 将明显缩短, 并且与 JOA 评分和 JOA 改善率存在相关性^[57, 58]。而 Mazur 等^[59]对 17 例 CSM 患者的随访研究却表明, 在术后 1~6 个月的时间内, CMCT 缩短与 Nurick 评分、NDI 评分、JOA 评分未见明显相关, 但与肢体运动功能 (“用力握拳试验”、“10 米步行试验”) 有显著相关性。其中 Nurick、NDI、JOA 等评分方法侧重疾病对于患者日常生活的影响, 包含着患者的主观感受, 而 “用力握拳试验”、“10 米步行试验” 等是针对肢体运动功能的较为客观的评估方法。因此 TcMEPs 作为能反映脊髓运动功能的一项量化指标, 通过术前与术后的对比, 也许能为客观评估 CSM 患者手术疗效提供参考。

4 总结与展望

随着现代生活节奏的加快以及工作方式的变化, CSM 对于患者的生活质量与社会活动性产生了严重的影

响。医生和患者都高度关注术后的脊髓功能恢复状况, 但 CSM 症状多样、病情多变, 手术疗效也受到较多因素的影响。随着电生理技术在脊柱外科诊疗中的发展与应用, 诱发电位也已经不限于作为术中安全的监护手段, 其在手术预后及疗效评估方面也具有参考价值。相信随着电生理技术在脊柱外科应用的普及与研究的深入, 脊髓诱发电位检测也将在 CSM 患者的预后评估、手术时机选择、术后康复指导中发挥重要作用。

5 参考文献

1. Kalsi-Ryan S, Karadimas SK, Fehlings MG. Cervical spondylotic myelopathy: the clinical phenomenon and the current pathobiology of an increasingly prevalent and devastating disorder[J]. *Neuroscientist*, 2013, 19(4): 409-421.
2. Boogaarts HD, Bartels RH. Prevalence of cervical spondylotic myelopathy[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(Suppl 2): 139-141.
3. Furlan JC, Kalsi-Ryan S, Kailaya-Vasan A, et al. Functional and clinical outcomes following surgical treatment in patients with cervical spondylotic myelopathy: a prospective study of 81 cases[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 14(3): 348-355.
4. Sampath P, Bendebba M, Davis JD, et al. Outcome of patients treated for cervical myelopathy: a prospective, multicenter study with independent clinical review [J]. *Spine*, 2000, 25(6): 670-676.
5. Holly LT, Matz PG, Anderson PA, et al. Clinical prognostic indicators of surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(2): 112-118.
6. Yoon ST, Raich A, Hashimoto RE, et al. Predictive factors affecting outcome after cervical laminoplasty[J]. *Spine*, 2013, 38(22 Suppl 1): S232-252.
7. Fehlings MG, Arvin B. Surgical Management of cervical degenerative disease: the evidence related to indications, impact, and outcome[J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(2): 97-100.
8. Malhotra NR, Shaffrey CI. Intraoperative electrophysiological monitoring in spine surgery[J]. *Spine*, 2010, 35(25): 2167-2179.
9. Resnick DK, Anderson PA, Kaiser MG, et al. Electrophysiological monitoring during surgery for cervical degenerative myelopathy and radiculopathy [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(2): 245-252.
10. Kato Y, Kojima T, Kataoka H, et al. Selective laminoplasty after the preoperative diagnosis of the responsible level using spinal cord evoked potentials in elderly patients with cervical spondylotic myelopathy: a preliminary report[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(8): 586-592.
11. Funaba M, Kanchiku T, Imajo Y, et al. Transcranial magnetic stimulation in the diagnosis of cervical compressive myelopathy: comparison with spinal cord evoked potentials[J]. *Spine*, 2015, 40(3): E161-167.
12. Tadokoro N, Tani T, Ikeuchi M, et al. Descending spinal

- cord evoked potentials in cervical spondylotic myelopathy: characteristic waveform changes seen at the lesion site [J]. *Clin Neurophysiol*, 2014, 125(1): 202–207.
13. Ukegawa D, Kawabata S, Sakaki K, et al. Efficacy of biphasic transcranial electric stimulation in intraoperative motor evoked potential monitoring for cervical compression myelopathy[J]. *Spine*, 2014, 39(3): E159–165.
14. Rao R. Neck pain, cervical radiculopathy, and cervical myelopathy: pathophysiology, natural history, and clinical evaluation[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2002, 84(10): 1872–1881.
15. Baptiste DC, Fehlings MG. Pathophysiology of cervical myelopathy[J]. *Spine J*, 2006, 6(6 Suppl): 190–197.
16. Ogino H, Tada K, Okada K, et al. Canal diameter, anteroposterior compression ratio, and spondylotic myelopathy of the cervical spine[J]. *Spine*, 1983, 8(1): 1–15.
17. 龙厚清, 温春毅, 胡勇, 等. 慢性压迫性脊髓症研究平台的建立及体感诱发电位功能评价的机制 [J]. *中华骨科杂志*, 2010, 30(4): 427–432.
18. 龙厚清, 温春毅, 胡勇, 等. 一种新型慢性压迫性颈脊髓症大鼠模型的建立[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2010, 28(5): 566–570.
19. Hu Y, Wen CY, Li TH, et al. Somatosensory-evoked potentials as an indicator for the extent of ultrastructural damage of the spinal cord after chronic compressive injuries in a rat model[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122(7): 1440–1447.
20. Wen CY, Cui JL, Mak KC, et al. Diffusion tensor imaging of somatosensory tract in cervical spondylotic myelopathy and its link with electrophysiological evaluation [J]. *Spine J*, 2014, 14(8): 1493–1500.
21. Shinomiya K, Okamoto A, Komori H, et al. Prognosticating study for cervical myelopathy using evoked spinal cord potentials[J]. *Spine*, 1990, 15(10): 1053–1057.
22. Tani T, Yamamoto H, Kimura J. Cervical spondylotic myelopathy in elderly people: a high incidence of conduction block at C3–4 or C4–5 [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1999, 66(4): 456–464.
23. Nakanishi K, Tanaka N, Kamei N, et al. Significant correlation between corticospinal tract conduction block and prolongation of central motor conduction time in compressive cervical myelopathy[J]. *J Neurol Sci*, 2007, 256(1–2): 71–74.
24. Nakanishi K, Tanaka N, Fujiwara Y, et al. Corticospinal tract conduction block results in the prolongation of central motor conduction time in compressive cervical myelopathy[J]. *Clin Neurophysiol*, 2006, 117(3): 623–627.
25. Kaneko K, Taguchi T, Morita H, et al. Mechanism of prolonged central motor conduction time in compressive cervical myelopathy[J]. *Clin Neurophysiol*, 2001, 112(6): 1035–1100.
26. Dikmen PY, Oge AE. Diagnostic use of dermatomal somatosensory-evoked potentials in spinal disorders: case series[J]. *J Spinal Cord Med*, 2013, 36(6): 672–678.
27. Tsai SW, Tsai CL, Wu PT, et al. Intraoperative use of somatosensory-evoked potential in monitoring nerve roots[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2012, 29(2): 110–117.
28. Lyu RK, Tang LM, Chen CJ, et al. The use of evoked potentials for clinical correlation and surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy with intramedullary high signal intensity on MRI[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2004, 75(2): 256–261.
29. Hu Y, Ding Y, Ruan D, et al. Prognostic value of somatosensory-evoked potentials in the surgical management of cervical spondylotic myelopathy [J]. *Spine*, 2008, 33(10): E305–310.
30. Cui H, Wang Y, Li X, et al. Trial-to-trial latency variability of somatosensory evoked potentials as a prognostic indicator for surgical management of cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2015, 12(49): 1–8.
31. Luk KD, Hu Y, Wong YW, et al. Evaluation of various evoked potential techniques for spinal cord monitoring during scoliosis surgery[J]. *Spine*, 2001, 26(16): 1772–1777.
32. Sebastian C, Raya JP, Ortega M, et al. Intraoperative control by somatosensory evoked potentials in the treatment of cervical myeloradiculopathy: results in 210 cases [J]. *Eur Spine J*, 1997, 6(5): 316–323.
33. Li F, Gorji R, Allott G, et al. The usefulness of intraoperative neurophysiological monitoring in cervical spine surgery: a retrospective analysis of 200 consecutive patients [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2012, 24(3): 185–190.
34. 姜建元, 吕飞舟, 马晓生, 等. 体感诱发电位在颈椎病手术监护中的应用[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2003, 13(04): 227–230.
35. 陈庄洪, 蔡贤华, 王华松, 等. 脊髓型颈椎病术中体感诱发电位变化与手术疗效的关系[J]. *中华骨科杂志*, 2006, 26(07): 451–453.
36. 刘峰, 魏开斌, 范新成. 皮层体感诱发电位信号改善对脊髓型颈椎病手术预后的评价[J]. *中国矫形外科杂志*, 2011, 19(23): 1958–1960.
37. 张兴凯, 梁裕, 曹鹏, 等. 脊髓型颈椎病手术中体表感觉诱发电位(SSEP)检测对术后疗效的预测作用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2011, 19(13): 1086–1088.
38. Bouchard JA, Bohlman HH, Biro C. Intraoperative improvements of somatosensory evoked potentials: correlation to clinical outcome in surgery for cervical spondylitic myelopathy [J]. *Spine*, 1996, 21(5): 589–594.
39. Seyal M, Mull B. Mechanisms of signal change during intraoperative somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2002, 19(5): 409–415.
40. Owen J H. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity [J]. *Spine*, 1999, 24(24): 2649–2662.
41. Ishida K, Tani T, Ushida T, et al. Recovery of spinal cord conduction after surgical decompression for cervical spon-

- lotic myelopathy: serial somatosensory evoked potential studies[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2003, 82(2): 130-136.
42. Morishita Y, Hida S, Naito M, et al. Evaluation of cervical spondylotic myelopathy using somatosensory-evoked potentials [J]. *Int Orthop*, 2005, 29(6): 343-346.
43. 刘峰, 张佐伦, 孙建民, 等. 皮层体感诱发电位对脊髓型颈椎病患者脊髓功能及预后的评价[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2005, 27(11): 37-40.
44. Bednarik J, Kadanka Z, Vohanka S, et al. The value of somatosensory - and motor -evoked potentials in predicting and monitoring the effect of therapy in spondylotic cervical myelopathy: prospective randomized study[J]. *Spine*, 1999, 24(15): 1593-1598.
45. Tamaki T, Kubota S. History of the development of intraoperative spinal cord monitoring [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16 (Suppl 2): S140-146.
46. Nakanishi K, Tanaka N, Fujiwara Y, et al. Corticospinal tract conduction block results in the prolongation of central motor conduction time in compressive cervical myelopathy[J]. *Clin Neurophysiol*, 2006, 117(3): 623-627.
47. Funaba M, Kanchiku T, Imajo Y, et al. Transcranial magnetic stimulation in the diagnosis of cervical compressive myelopathy: comparison with spinal cord evoked potentials[J]. *Spine*, 2015, 40(3): E161-167.
48. Tadokoro N, Tani T, Ikeuchi M, et al. Descending spinal cord evoked potentials in cervical spondylotic myelopathy: characteristic waveform changes seen at the lesion site [J]. *Clin Neurophysiol*, 2014, 125(1): 202-207.
49. Lo YL, Chan LL, Lim W, et al. Systematic correlation of transcranial magnetic stimulation and magnetic resonance imaging in cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine*, 2004, 29(10): 1137-1145.
50. Takahashi J, Hirabayashi H, Hashidate H, et al. Assessment of cervical myelopathy using transcranial magnetic stimulation and prediction of prognosis after laminoplasty[J]. *Spine*, 2008, 33(1): E15-20.
51. Imajo Y, Kato Y, Kanchiku T, et al. Prediction of surgical outcome for proximal-type cervical spondylotic amyotrophy novel mode of assessment using compound action potentials of deltoid and biceps brachii and central motor conduction time[J]. *Spine*, 2012, 37(23): E1444-1449.
52. Tanaka N, Nakanishi K, Fujimoto Y, et al. Clinical results of cervical myelopathy in patients older than 80 years of age: evaluation of spinal function with motor evoked potentials[J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(4): 421-426.
53. Nakamae T, Tanaka N, Nakanishi K, et al. Quantitative assessment of myelopathy patients using motor evoked potentials produced by transcranial magnetic stimulation [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(5): 685-690.
54. Bednarik J, Kadanka Z, Dusek L, et al. Presymptomatic spondylotic cervical cord compression[J]. *Spine*, 2004, 29(20): 2260-2269.
55. Bednarik J, Kadanka Z, Vohanka S, et al. The value of somatosensory and motor evoked potentials in pre-clinical spondylotic cervical cord compression[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(6): 493-500.
56. Bednarik J, Kadanka Z, Dusek L, et al. Presymptomatic spondylotic cervical myelopathy: an updated predictive model [J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(3): 421-431.
57. Nakanishi K, Tanaka N, Kamei N, et al. Electrophysiological evidence of functional improvement in the corticospinal tract after laminoplasty in patients with cervical compressive myelopathy: clinical article[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(2): 210-216.
58. Capone F, Tamburelli FC, Pilato F, et al. The role of motor-evoked potentials in the management of cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine J*, 2013, 13(9): 1077-1079.
59. Mazur MD, White A, McEvoy S, et al. Transcranial magnetic stimulation of the motor cortex correlates with objective clinical measures in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine*, 2014, 39(14): 1113-1120.

(收稿日期:2015-11-24 末次修回日期:2016-01-20)

(本文编辑 卢庆霞)