

# 多种模式与单种模式神经电生理监测在重度颈椎后纵韧带骨化椎体次全切术中的对比研究

周琳<sup>1</sup>, 张浩<sup>2</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 冯俊涛<sup>1</sup>, 蔡雨卫<sup>1</sup>, 匡勇<sup>1</sup>

(1. 上海中医药大学附属曙光医院, 上海 200021; 2. 上海中医药大学附属龙华医院, 上海 200032)

**【摘要】** 目的: 探讨多种模式神经电生理监测与单种模式神经电生理监护在重度颈椎后纵韧带骨化椎体次全切钛网植骨内固定术中的应用对比。方法: 2015 年 4 月至 2018 年 6 月在上海中医药大学附属曙光医院骨科住院治疗的重度颈椎后纵韧带骨化患者 32 例, 其中男 21 例, 女 11 例; 年龄 45~73 岁, 中位数 59 岁; 病程 6~72 个月, 中位数 39 个月。主要表现为四肢麻木疼痛、无力, 下肢脚踩棉花感, 站立行走不稳, 随着症状的逐渐加重出现四肢瘫痪、大小便障碍等, 颈椎后纵韧带骨化患者进行多种模式的体感诱发电位、运动诱发电位和肌电图模式监测。结果: 术中 8 例体感诱发电位波幅监测出现异常; 其中 5 例为颈椎前路减压术中出血, 放置止血棉过多, 导致脊髓受压而出现体感诱发电位波形异常, 及时去除止血棉后恢复正常; 3 例因收缩压下降导致体感诱发电位波形出现异常, 由收缩压升高纠正。12 例运动诱发电位监测波幅出现异常, 9 例因术中误触神经根引起, 及时调整位置后恢复正常; 3 例因术中吸入肌松剂干扰引起。11 例肌电图波形异常, 其中 9 例经调整手术操作后能恢复正常波形, 2 例经短暂观察后自行恢复至正常, 所有患者术后运动诱发电位波形好转 ( $P < 0.05$ )。术后 2 例出现脑脊液漏, 术后 7 d 后自行愈合, 术后所有患者未出现脊髓神经并发症。结论: 在重度颈椎后纵韧带骨化行椎体次全切钛网植骨内固定术中进行多种模式神经电生理监测, 可实时了解脊髓和神经功能状态, 明显降低术中损伤脊髓、神经的发生率, 有效提高手术的安全性。

**【关键词】** 颈椎; 后纵韧带骨化; 神经电生理监测; 诱发电位, 运动; 肌电描记术

中图分类号: R686

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.12.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Comparison of multi-mode and single-mode intraoperative neurophysiological monitoring in the treatment of severe ossification of the cervical posterior longitudinal ligament with anterior cervical corpectomy with fusion** ZHOU Lin\*, ZHANG Hao, ZHANG Lei, FENG Jun-tao, CAI Yu-wei, and KUANG Yong. \*Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200021, China

**ABSTRACT Objective:** To compare the application of multi-mode and single-mode intraoperative neurophysiological monitoring in the treatment of severe ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine with anterior cervical corpectomy with fusion. **Methods:** From April 2015 to June 2018, 32 patients with severe ossification of the posterior longitudinal ligament were treated in the Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine. There were 21 males and 11 females, aged 45 to 73 years old, with a mean age of 59 years old. The duration of the disease ranged from 6 to 72 months, with a mean of 39 months. The main manifestations were numbness, numbness and weakness of limbs, cotton feeling of foot stepping on lower limbs, instability of standing and walking. With the gradual aggravation of symptoms, quadriplegia, dysfunction of urine and defecation may occur. Patients with ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine were monitored by somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials and electromyogram patterns. **Results:** During the operation, 8 patients had abnormal amplitude of somatosensory evoked potential (SEP); 5 of them had bleeding during anterior cervical decompression procedure and were placed with too much hemostatic cotton, which caused compression of spinal cord and resulted in abnormal SEP waveform. After removal of the hemostatic cotton, SEP waveform returned to normal; 3 patients had abnormal SEP waveform due to decreased systolic pressure, which was corrected by increased systolic pressure. Twelve patients had abnormal amplitude of motor evoked potential during monitoring, 9 of which were caused by intraoperative miscontact with nerve root, and turned to normal after timely adjustment of position, 3 of which were caused by intraoperative inhalation of muscle relaxant during surgery. Among 11 patients with abnormal EMG waveform, 9 patients recovered to normal waveform after adjusting operation, 2 patients recovered to normal waveform after short observation, and all patients recovered to normal waveform of motor evoked potential after operation ( $P < 0.05$ ). There were 2 cases of cerebrospinal fluid leakage after

通讯作者: 周琳 E-mail: 952714681@qq.com

Corresponding author: ZHOU Lin E-mail: 952714681@qq.com

operation, which healed spontaneously 7 days after operation, and no complications of spinal cord and nerve occurred in all patients after operation. **Conclusion:** In anterior cervical corpectomy with fusion operation for the treatment of severe cervical ossification of posterior longitudinal ligament, various modes of intraoperative neurophysiological monitoring can real-time understand spinal cord and nerve function status, significantly reduce the incidence of spinal cord and nerve injury during operation, and effectively improve the safety of operation.

**KEYWORDS** Cervical vertebrae; Ossification of posterior longitudinal ligament; Neurophysiological monitoring; Evoked potentials, motor; Electromyography

颈椎后纵韧带骨化 (ossification of posterior longitudinal ligament, OPLL) 是一种病因不明的渐进性疾病, 病理性异位骨化的后纵韧带可压迫脊髓和神经, 造成四肢感觉、运动功能障碍甚至截瘫<sup>[1]</sup>。颈椎 OPLL 在亚洲有较高发生率, 高达 2%~4%, 目前多数学者认为外科干预是重度颈椎 OPLL 的最佳选择<sup>[2-3]</sup>。椎体次全切钛网植骨内固定术 (anterior cervical corpectomy with fusion, ACCF) 可直接清除骨化的后纵韧带, 通过钛网植骨融合内固定, 不仅对受压的脊髓和神经进行直接减压, 而且能恢复椎间高度, 稳定颈椎, 是治疗重度 OPLL 很好的选择<sup>[4-5]</sup>。但 ACCF 操作技术要求较高, 术中损伤脊髓和神经的风险大, 一旦发生脊髓损伤, 后果是灾难性的, 所以在 ACCF 术中对脊髓和神经进行实时监测很有必要<sup>[6]</sup>。神经电生理监测 (intraoperative neurophysiological monitoring, IONM) 可实时提供有关脊髓和神经功能状态的信息, 并及时反馈给术中医生以提高手术安全性。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

2015 年 4 月至 2018 年 6 月在上海中医药大学附属曙光医院骨科住院治疗的重度 OPLL 患者 32 例, 其中男 21 例, 女 11 例; 年龄 45~73 岁, 中位数 59 岁; 病程 6~72 个月, 中位数 39 个月。主要表现为四肢麻木疼痛、无力, 下肢脚踩棉花感, 站立行走不稳, 随着症状的逐渐加重出现四肢瘫痪、大小便障碍等<sup>[7-8]</sup>。纳入标准: (1) 四肢疼痛麻木、无力, 下肢脚踩棉花感。(2) 采用 X 线、CT 和 MRI 明确诊断为重度 OPLL。(3) 经 6 个月系统保守治疗症状无明显改善。排除标准: (1) 伴有颈椎肿瘤、感染等病史者。(2) 既往颈椎前路手术史者。(3) 黄韧带肥厚造成颈椎管狭窄者。(4) 孕妇及精神失常者。(5) 有癫痫病史、颅骨缺损或金属内置物、安装心脏起搏器等神经电生理监测禁忌证<sup>[9]</sup>。

### 1.2 治疗方法

**1.2.1 麻醉要求** 所有病例使用统一的全身静脉麻醉方案, 麻醉过程中肌松剂的使用会对神经电生理波形有较大的影响<sup>[10-11]</sup>。麻醉成功后, 将患者转移到仰卧位手术床上。在麻醉过程中, 注意控制室温以

保证四肢的正常体温<sup>[12]</sup>。

**1.2.2 检测方法** 所有监测选用加拿大的 Xltex 32 术中电生理监护仪。所有电极放置的方法为国际脑电图学会制定的 10/20 系统标准电极放置法<sup>[13]</sup>。

(1) 体感诱发电位 (somatosensory evoked potential, SSEP) 监测方法。上肢 SSEP 监测方法: 接收电极分别放置于 C<sub>3</sub>' 和 C<sub>4</sub>' 位置, 参考电极在 Fz 点, 地线放置在上臂, 刺激电极分别位于对侧掌侧腕部正中神经处。刺激强度为 15~28 mA, 频率 2.2~4.8 Hz。下肢 SSEP 监测方法: 接收电极放置于 Cz' 位置, 参考电极在 FPz 点, 地线放置在肩部, 刺激电极在相应内踝胫后神经走行处, 刺激电流为 30~45 mA, 刺激频率为 2.2~4.8 Hz<sup>[14]</sup>。

(2) 运动诱发电位 (motion evoked potential, MEP) 监测方法。上肢 MEP 监测方法: 刺激电极位于 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 前 2 cm 处, 记录电极根据神经支配肌肉位置, 位于大肱二头肌、肱桡肌和小鱼际肌等。选用电压刺激方法, 常用刺激频率为 500 Hz, 刺激电压为 200~500 V, 刺激持续时间为 0.2~0.6 ms。下肢 MEP 监测方法: 刺激电极位于 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 前 2 cm 处, 记录电极根据神经支配肌肉位置, 位于股四头肌和腓肠肌等, 刺激强度同四肢 MEP<sup>[15]</sup>。

(3) 肌电图 (electromyogram, EMG) 监测方法。监测术中减压神经根支配的肌肉的自发肌电情况。手术全程实时持续监测, 根据节段神经根放置相应位置电极并连接到监控单元, 分别使用 SSEP、MEP 和 EMG 监测感觉通路、运动通路和神经根功能。在充分暴露手术部位, 减压之前为每个患者建立 MEP 神经电生理学基线。SSEP 程序在手术开始后实时全程监测。MEP 程序在打定位针、减压和放置钢板螺钉前后等关键的手术步骤, 都要用 MEP 监测运动通路, 能发现相应的神经损伤并及时调整手术操作。EMG 程序在手术开始后持续监测。术中肌松药对 SSEP、MEP 和 EMG 波形的影响较大, 当术中必须使用肌松药时, 根据肌松药的半衰期间放弃监测神经电生理监护<sup>[16-17]</sup>。在手术过程中, 当 SSEP、MEP 或 EMG 波幅达到警报线变化时, 及时报告手术医生神经电生理学警报。术中 SSEP 警报标准设定为在排除其他异常的情况下, 波幅度减少 50% 或延迟增加

10%。术中 MEP 警报标准设定为：波幅降低 50% 为预警指标，有报道称在 MEP 波幅降低 80% 时神经功能仍正常，所有报警指标设置为“全”或“无”。术中 EMG 报警标准为出现持续动作电位<sup>[18]</sup>。当监测指标达到报警指标时应马上停止手术，找到警报的原因并处理好后方可进行下一步的手术。

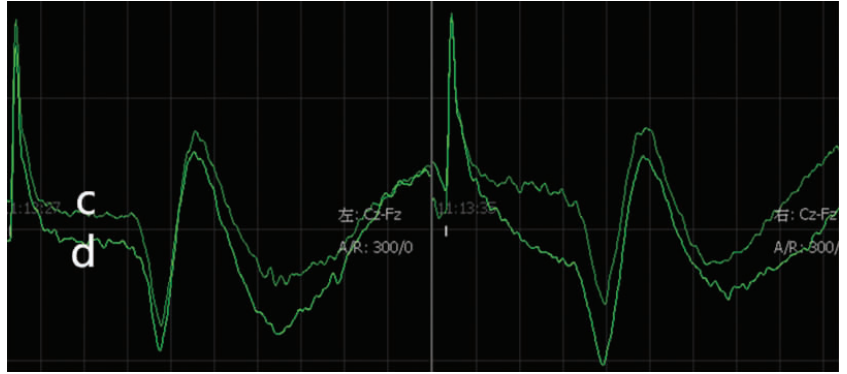
**1.2.3 手术方法** 患者气管插管全麻后仰卧在手术床上，在肩背部垫一薄软垫，使头部后仰，充分暴露颈前部，消毒铺巾后，在颈部右侧适当位置做一横向切口，逐层分离浅筋膜、肌肉和前纵韧带至椎体前缘，用 S 拉钩将气管和食管轻轻拉向左侧，用定位针插入在椎体前缘，用 C 形臂 X 线机定位确定手术位置后，先清除病变阶段椎间盘，用咬骨钳咬除病变的椎体，从椎体前缘逐渐至椎体后缘，至骨化的后纵韧带，注意骨化的后纵韧带与硬膜囊粘连，切除后纵韧带，使颈髓充分减压。选取高度合适的钛网融合器，用自体骨填充钛网融合器，将融合器放入在切除的椎体中，将前路钢板锁定，在 C 形臂 X 线机透视下观察钛网、钢板、螺钉的角度和位置。确定无误后充分止血，在颈前部放负压引流球，逐层缝合皮肤，术后带颈托保护颈椎。术毕麻醉复苏后待生命体征平稳后返回病房，术后常规使用抗生素预防感染。

**1.3 统计学处理**

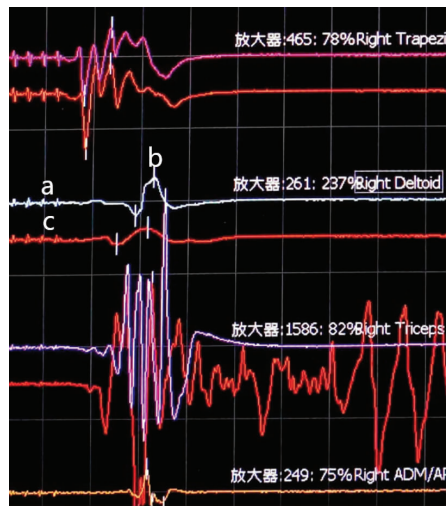
定量资料数据结果以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示，所有数据采用 SPSS 19.0 进行统计学分析。MEP 波峰( $\mu V$ )、SSEP 潜伏期(ms)和 SSEP 波峰( $\mu V$ )均为定量资料，采用 *t* 检验进行分析。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

术中 8 例 SSEP 波幅监测出现异常(图 1)，其中 5 例为颈椎前路减压术中出血，放置止血棉过多，致脊髓受压而出现 SSEP 波形异常，及时去除止血棉后恢复正常；3 例因收缩压下降导致 SSEP 波形出现异常，由收缩压升高纠正。12 例 MEP 监测波幅出现异常(图 2)，其中 9 例因术中误触神经根引起，及时调整位置后恢复正常；3 例因术中吸入肌松剂干扰引起。11 例 EMG 波形异常(图 3)，其中 9 例经调整手术操作后能恢复正常波形，2 例经短暂观察后自行恢复至正常。术后 2 例出现脑脊液漏，术后 7 d 后自行愈合，术后所有患者未出现脊髓神经并发症。经方差齐性检验，患者手术前后 MEP 波峰、SSEP 潜伏



**图 1** 术中 SSEP 波形。c 为术中实时 SSEP 波形，d 为 3 min 前的 SSEP 波形  
**Fig.1** Intraoperative SSEP waveform. c was the real-time SSEP waveform during operation, d was the SSEP waveform in the first 3 minutes



**图 2** 术中 MEP 波形。a 为术中刺激后的 MEP 波形，b 为相应肌肉的波峰和波幅，c 为术前 MEP  
**Fig.2** MEP waveform during operation. a was MEP waveform after intraoperative stimulation, b was peak and amplitude of corresponding muscle, c was MEP before operation



**图 3** 术中 EMG 波形，术中出现爆发性 EMG 波形  
**Fig.3** EMG waveform and explosive EMG waveform during operation



期、SSEP 波峰方差齐, 术后 MEP 波形较术前明显升高, 术前术后 SSEP 潜伏期、SSEP 波峰比较差异无统计学意义(表 1)。

表 1 重度颈椎后纵韧带骨化 32 例行椎体次全切钛网植骨内固定术前后 SSEP 和 MEP 变化( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.1 Changes of SSEP and MEP in 32 patients with severe ossification of posterior longitudinal ligament before and after anterior cervical corpectomy with fusion( $\bar{x}\pm s$ )

时间	MEP 波峰( $\mu V$ )	SSEP 潜伏期(ms)	SSEP 波峰( $\mu V$ )
术前	412.32 $\pm$ 38.65	35.65 $\pm$ 5.21	368.53 $\pm$ 40.89
术后	476.70 $\pm$ 45.31	35.32 $\pm$ 4.98	376.62 $\pm$ 41.85
<i>t</i> 值	7.62	0.38	0.29
<i>P</i> 值	0.02	0.61	1.32

### 3 讨论

#### 3.1 重度颈椎 OPLL 术中的危险性

重度颈椎 OPLL 是一种进行性加重的疾病, 病理性的异位骨化后纵韧带压迫脊髓和神经, 可造成四肢感觉、运动功能障碍甚至截瘫。因此, 明确诊断为重度 OPLL 时应尽早手术减压, 促进脊髓神经功能恢复。对于椎体后缘后纵韧带骨化严重的患者, ACCF 是较佳的选择<sup>[19-20]</sup>。但 ACCF 手术操作较复杂, 术中需要切除大部分椎体, 后纵韧带骨化很可能和硬膜囊粘连, 减压过程中容易损伤脊髓神经。脊髓损伤后可导致患者瘫痪甚至死亡<sup>[21]</sup>, 给患者及家庭带来严重的负担。因此, 有效的术中脊髓神经功能监测十分必要。本研究 2 例术后出现脑脊液漏, 考虑为骨化的后纵韧带与硬膜囊粘连, 在减压过程中造成硬膜囊破裂引起。

#### 3.2 多种模式 IONM 的优点

术中使用单一的神经电生理监测模式都有其局限性, 在脊柱外科术中神经电生理监测常用的有 SSEP、MEP 和 EMG 模式, 每种模式都有其优缺点, 联合 SSEP、MEP 和 EMG 3 种模式的神经电生理监护能弥补单一模式监测中的不足, Malhotra 和 Shafrey 分析了 MEDLINE 数据库, 单一模式的 SSEP 监测假阴性率为 0.063%~2.7%, 明显高于多模式监测的假阳性率(0%~0.79%)<sup>[22]</sup>。SSEP 是最早用于术中检测脊髓神经功能的技术<sup>[23]</sup>。在 20 世纪 80 年代, Eck 等<sup>[24]</sup>第 1 次报道了使用 SSEP 检测脊髓神经功能, 随着 SSEP 技术的开展, SSEP 能在一定程度上给予手术医师预警。毕成等<sup>[25]</sup>对行颈椎前路手术的 140 例患者进行回顾性研究发现, SSEP 的敏感性为 66.6%, 特异性为 100%。江华等<sup>[26]</sup>对行脊柱畸形手术的 63 例患者进行回顾性分析发现 SSEP 敏感性特

异性分别为 95%, 90%。但是发现 SSEP 检测有 2 大局限性: 一是 SSEP 的平均响应时间的延迟, 通常需要几分钟后才能获取, 当术中不慎损伤脊髓神经时不能及时预警, 有其延时性<sup>[27]</sup>。另外, SSEP 监测的是脊髓的感觉通路, 当损伤运动通路时 SSEP 潜伏期及波峰正常, 不能预警。MEP 主要监测下行运动通路, 能很好弥补 SSEP 不能监测运动通路的缺陷。但是 MEP 也有其缺点, MEP 不能实时监测神经的功能, MEP 在手术医师及监测人员沟通后才能刺激, 监测在排除外界影响因素后 MEP 波峰消失时往往神经已经损伤; 而且 MEP 容易受肌松药的影响; 另外, 使用 MEP 模式监测可能诱发高压导致的电刺激损伤、电刺激大脑诱发癫痫等并发症。在脊柱外科手术中 EMG 主要监测相应支配肌肉的神经根功能, 其优点是能实时监测、反应灵敏, 缺点为不能监测脊髓功能, 易受肌松剂、高频电刀等外界因素的干扰<sup>[28-29]</sup>。减压术后 MEP 波形较术前明显升高, 表明减压良好, 患者预后良好(图 2), 术中 SSEP 潜伏期和波幅前后变化差异无统计学意义( $P>0.05$ ), 表明术后感觉通路完好, 未损伤脊髓神经(图 1)。术中爆发性 EMG 波形表明神经根受刺激或受电刀的干扰(图 3)。所以, SSEP、MEP 和 EMG 模式的多种模式神经电生理监护联合比单种模式神经电生理监护安全性更高更灵敏, 使用能全面监测脊髓神经的实时状态, 极大地提高了手术安全性。

#### 3.3 影响多种模式 IONM 结果的因素

神经电生理监测最主要的功能是监测功能, 保护脊髓神经免受损伤或进一步损伤, 其次是定位功能, 术中对于不明确解剖位置的神经结构进行试探性鉴定, 当 EMG 出现爆发性电位时说明该位置为神经根位置, 从而避免损伤神经<sup>[30]</sup>。多种模式神经电生理监测能有效降低复杂的脊柱外科手术中损伤脊髓神经的风险, 并且其使用率在全球范围显示出快速增长的趋势<sup>[31]</sup>。多种模式神经电生理监护人员需要通过专门的培训, 经验丰富的检测人员是手术安全的重要保障, 能及时可靠地反应术中脊髓神经的状态以降低术中损伤脊髓神经的风险<sup>[32]</sup>。所有病例使用统一的全身静脉麻醉方案, 麻醉过程中肌松剂的使用会对神经电生理波形有较大的影响, 肌松剂会降低, 甚至使术中 SSEP、MEP 的波形消失。在气管插管时如需使用肌松剂时, 选择短效肌松剂, 麻醉成功后, 将患者转移到仰卧位手术床上。在麻醉过程中, 注意控制室温以保证四肢的正常体温。术中血压对 SSEP 也有较大的影响, 本研究中 3 例术中 SSEP 潜伏期、波形下降, 在排除其他原因后, 升高血压后恢复正常<sup>[33]</sup>。在术中外科医师、监测人员和麻醉医师之

间的密切沟通和协调工作对于降低脊髓神经损伤发生率和确保最佳临床效果非常重要。

总之,在重度 OPLL 行 ACCF 中进行多种模式较单种模式 SSEP、MEP 或 EMG 神经电生理监测能有效弥补单种模式的缺点,可实时了解脊髓和神经功能状态,明显降低术中损伤脊髓、神经的发生率,及时为外科医师反应脊髓神经的功能状态,以避免或降低损伤脊髓神经的风险。术中监测潜伏期、波峰达到警戒值后明显恶化表明可能出现脊髓神经损伤,若排除外界干扰因素后仍无改善,表明有可能损伤神经,应立即采取相应的补救措施。减压术后 SSEP 和 MEP 波形的改善表明脊髓神经减压效果好。全面掌握了解 SSEP、MEP 及 EMG 的优缺点能最大限度发挥神经电生理监测的价值,减少假阳性和假阴性的发生,通过多种模式的神经电生理监测允许脊柱外科医师在保证手术安全的同时进行更具有难度的手术并解决复杂的脊柱病变,对改善患者的生活质量有很大的意义。

#### 参考文献

- [1] 邵佳,陈清汉,马希峰,等.重度颈椎后纵韧带骨化症分期手术治疗效果[J].中华实用诊断与治疗杂志,2012,26(3):292-293. SHAO J, CHEN QH, MA XF, et al. Surgical treatment of severe ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine [J]. Zhonghua Shi Yong Zhen Duan Yu Zhi Liao Za Zhi, 2012, 26(3):292-293. Chinese.
- [2] Aghayev K, Doulgeris JJ, Gonzalez-Blohm SA, et al. Biomechanical comparison of a two-level anterior discectomy and a one-level corpectomy, combined with fusion and anterior plate reconstruction in the cervical spine [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2014, 29(1): 21-25.
- [3] An HS, Al-Shihabi L, Kurd M. Surgical treatment for ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2014, 22(7): 420-429.
- [4] Gao R, Yang L, Chen H, et al. Long term results of anterior corpectomy and fusion for cervical spondylotic myelopathy [J]. PLoS One, 2012, 7(4): e34811.
- [5] 张立,章柏平,吕仁发,等.手术治疗颈椎后纵韧带骨化并发重度脊髓型颈椎病 29 例[J].人民军医,2012,55(2):151-152. ZHANG L, ZHANG BP, LYU RF, et al. Surgical treatment of 29 cases of cervical vertebral ossification of the posterior longitudinal ligament with severe cervical spondylotic myelopathy [J]. Ren Min Jun Yi, 2012, 55(2): 151-152. Chinese.
- [6] Ghobrial GM, Williams KA Jr, Arnold P, et al. Iatrogenic neurologic deficit after lumbar spine surgery: a review [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 139: 76-80.
- [7] Shin JH, Steinmetz MP, Benzel EC, et al. Dorsal versus ventral surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: considerations for approach selection and review of surgical outcomes [J]. Neurosurg Focus, 2011, 30(3): E8.
- [8] 程斌,王坤正,兰斌尚,等.腰椎管狭窄症手术前后体感诱发电位分析[J].中国骨伤,2000,13(1):26-27. CHENG B, WANG KZ, LAN BS, et al. Analysis of somatosensory evoked potentials before and after lumbar spinal stenosis [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2000, 13(1): 26-27. Chinese with abstract in English.
- [9] 王珏.多模式神经电生理在脊柱手术中的监护应用[J].现代电生理学杂志,2014,21(1):43-47. WANG J. Application of multi-mode neuroelectrophysiology in spinal surgery [J]. Xian Dai Dian Sheng Li Xue Za Zhi, 2014, 21(1): 43-47. Chinese.
- [10] Kanayama M, Hashimoto T, Shigenobu K, et al. Pitfalls of anterior cervical fusion using titanium mesh and local autograft [J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(6): 513-518.
- [11] 王德春,齐宗华,胡有谷.脊髓监护在脊柱手术中的应用[J].中国脊柱脊髓杂志,2004,(9):57-59. WANG DC, QI ZH, HU YG. Application of spinal cord monitoring in spinal surgery [J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2004, (9): 57-59. Chinese.
- [12] 李浩鹏,贺西京,陈君长,等.体感诱发电位监测在青少年脊柱矫形术中的价值[J].中国骨伤,2005,18(3):175-176. LI HP, HE XJ, CHEN JC, et al. The value of somatosensory evoked potential monitoring in adolescent spinal orthopedic surgery [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2005, 18(3): 175-176. Chinese with abstract in English.
- [13] Matsunaga S, Sakou T. Ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine: etiology and natural history [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(5): E309-314.
- [14] 瞿群威,朱少铭,郑剑波,等.弯套针旋转多向注射法注射臭氧治疗腰椎间盘突出症的电生理评价[J].中国骨伤,2010,23(10):765-768. QU QW, ZHU SM, ZHENG JB, et al. Electrophysiological evaluation of lumbar intervertebral disc herniation with multi-directional injection of curved trocar [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(10): 765-768. Chinese with abstract in English.
- [15] Koda M, Mannoji C, Inada T, et al. Neurological deterioration induced by sitting in patients after cervicothoracic posterior decompression with instrumented fusion surgery for ossification of the longitudinal ligament: two cases reports [J]. BMC Res Notes, 2015, 8: 133.
- [16] Cardoso MJ, Koski TR, Ganju A, et al. Approach-related complications after decompression for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament [J]. Neurosurg Focus, 2011, 30(3): E12.
- [17] Plata Bello J, Pérez-Lorensu PJ, Roldán-Delgado H, et al. Role of multimodal intraoperative neurophysiological monitoring during positioning of patient prior to cervical spine surgery [J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126(6): 1264-1270.
- [18] Imagama S, Ando K, Ito Z, et al. Resection of beak-type thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament from a posterior approach under intraoperative neurophysiological monitoring for paralysis after posterior decompression and fusion surgery [J]. Global Spine J, 2016, 6(8): 812-821.
- [19] Stapleton CJ, Pham MH, Attenello FJ, et al. Ossification of the posterior longitudinal ligament: genetics and pathophysiology [J]. Neurosurg Focus, 2011, 30(3): E6.
- [20] 石云志,刘泉.长节段颈椎后纵韧带骨化症修复:后路椎板切除植骨内固定与前路椎体次全切除减压的比较[J].中国组织工程研究,2014,18(53):8601-8606.

- SHI YZ, LIU Q. Repair of ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine in the long segment: comparison of posterior laminectomy and anterior vertebral subtotal decompression[J]. *Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Jiu*, 2014, 18(53): 8601-8606. Chinese.
- [21] 许良, 孔鹏, 徐展望. 颈前路椎体次全切减压钛网植骨融合联合钛板固定治疗多节段脊髓型颈椎病[J]. *中国骨伤*, 2016, 29(3): 211-215.
- XU L, KONG P, XU ZW. Treatment of multi-segment cervical spondylotic myelopathy with anterior cervical vertebral reduction and titanium plate fixation combined with titanium plate fixation [J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2016, 29(3): 211-215. Chinese with abstract in English.
- [22] Chen Y, Yang L, Liu Y, et al. Surgical results and prognostic factors of anterior cervical corpectomy and fusion for ossification of the posterior longitudinal ligament[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e102008.
- [23] Yoshida A, Nakajima H, Takeura N, et al. Ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) and the ligamentum flavum (OLF)[J]. *Nihon Rinsho*, 2014, 72(10): 1761-1767.
- [24] Eck JC, Martin CJ, Lapinsky A, et al. Does intraoperative neurophysiological monitoring have predictive value for functional recovery following spinal cord injury. A case report[J]. *J Clin Monit Comput*, 2013, 27(1): 93-96.
- [25] 毕成, 侯晓丽, 白卫飞, 等. 颈椎病前路手术中体感诱发电位监护临床研究[J]. *颈腰痛杂志*, 2016, 37(2): 98-100.
- BI C, HOU XL, BAI WF, et al. Clinical study of somatosensory evoked potential monitoring in anterior cervical surgery[J]. *Jing Yao Tong Za Zhi*, 2016, 37(2): 98-100. Chinese.
- [26] 江华, 刘云, 杨立井, 等. 多模式神经电生理监测在颈椎前路手术中的预警意义[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(7): 607-612.
- JING H, LIU Y, YANG LJ, et al. Early warning significance of multi-mode neurophysiological monitoring in anterior cervical surgery[J]. *Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi*, 2015, 25(7): 607-612. Chinese.
- [27] 许福光, 蓝志明, 赖居易, 等. 多种模式神经电生理监测在胸椎管狭窄症术中的应用[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2018, 26(10): 54-59.
- XU FG, LAN ZM, LAI JY, et al. Application of multiple modes of neuroelectrophysiological monitoring in the treatment of thoracic spinal stenosis[J]. *Zhongguo Zhong Yi Gu Shang Ke Za Zhi*, 2018, 26(10): 54-59. Chinese.
- [28] Chen Y, Liu X, Chen D, et al. Surgical strategy for ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine[J]. *Orthopedics*, 2012, 35(8): e1231-1237.
- [29] 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.
- [30] Gavaret M, Jouve J L, Pereon Y, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. Developments and state of the art in France in 2011[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2013, 99(6 Suppl): S319-327.
- [31] Thirumala PD, Muralidharan A, Loke YK, et al. Value of intraoperative neurophysiological monitoring to reduce neurological complications in patients undergoing anterior cervical spine procedures for cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Clin Neurosci*, 2016, 25: 27-35.
- [32] Sugawara T. Anterior cervical spine surgery for degenerative disease: a review[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2015, 55(7): 540-546.
- [33] Fujiwara Y, Manabe H, Izumi B, et al. The Efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring using transcranial electrically stimulated muscle-evoked potentials (TcE-MsEPs) for predicting postoperative segmental upper extremity motor paresis after cervical laminoplasty[J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(4): E188-195.

(收稿日期: 2019-09-08 本文编辑: 连智华)