

多模式神经电生理监测技术在外科治疗胸椎结核的术中应用

张晨威, 费骏, 石仕元, 陶晓, 祖罡, 胡金平, 曹天一

(浙江大学医学院附属杭州市胸科医院, 浙江 杭州 310003)

【摘要】 目的: 探究多模式神经电生理检测 (multimodal intraoperative monitoring, MIOM) 技术在经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓根螺钉内固定治疗胸椎结核术中评判脊髓及神经根功能的价值。方法: 回顾性分析 2018 年 12 月至 2019 年 9 月确诊为胸椎结核并行经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓根内固定术治疗的 25 例患者临床资料。25 例患者中男 14 例, 女 11 例; 年龄 20~83 (63.45±9.65) 岁; 单个椎体破坏 3 例, 2 个椎体破坏 13 例, 3 个及 3 个以上椎体破坏 9 例。所有手术患者术中行体感诱发电位 (somatosensory evoked potential, SEP), 经头颅电刺激运动诱发电位 (transcranial electric stimulation-motor evoked potential, TES-MEP) 检查, 并采用自发肌电图 (electromyography, EMG) 监测椎弓根螺钉置入及病灶清除。检测血沉 (erythrocyte sedimentation rate, ESR) 评价患者炎症指标下降情况, 采用视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 评价患者胸椎疼痛情况, 通过 Cobb 角及 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry Disability Index, ODI) 评价功能改善情况。结果: 25 例患者均成功监测。5 例患者在术中出现 SEP 波形异常, 其中 3 例为术中清除病灶及冲洗时脊髓受压导致, 及时更换器械及操作手势、调整冲洗水流速后波形恢复正常; 1 例因收缩压下降引起, 及时予以升压处理后, 波形恢复正常; 1 例 SEP 波形出现异常后, 暂停手术操作 10 min 后自行恢复, 并于手术结束前未再次出现波形异常。7 例患者 TES-MEP 波形异常, 其中 5 例在椎弓根螺钉置钉时出现, 术中及时调整钉道, 重新置钉后波形恢复; 1 例因术中手术床倾斜引起, 及时调整手术床后, 波形逐渐恢复; 1 例在椎弓根钉棒系统矫形时出现, 术中对侧钉棒矫形完成后波形逐渐恢复正常。5 例患者在出现 TES-MEP 波形异常同时检测到 EMG 爆发电位, 调整后, EMG 爆发电位消失。未出现 TES-MEP 与 SEP 波形同时异常的患者。患者术后 VAS、ESR、Cobb 角、ODI 较术前均有改善 ($P<0.05$)。结论: 胸椎结核患者在采用 I 期经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓根内固定术中联合应用 SEP、TES-MEP 和 EMG 监测能及时反映脊髓及神经根功能, 在取得良好固定及病灶清除的同时避免术中损伤。

【关键词】 结核, 脊柱; 外科手术; 监测, 手术中; 电生理学

中图分类号:

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.11.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of multimodal neuroelectrophysiological monitoring technology in surgical treatment of thoracic tuberculosis ZHANG Chen-wei, FEI Jun, SHI Shi-yuan, TAO Xiao, ZU Gang, HU Jin-ping, and CAO Tian-yi. Affiliated Hangzhou Chest Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, Zhejiang, China

ABSTRACT **Objective:** To explore the value of multimodal neuroelectrophysiological monitoring technology in the evaluation of spinal cord and nerve root function for the treatment of thoracic tuberculosis with debridement and bone grafting and posterior internal fixation by transcostal transverse process approach. **Methods:** The clinical data of 25 patients with thoracic tuberculosis underwent debridement and bone grafting and posterior vertebral arch internal fixation by transcostal transverse process approach from December 2018 to September 2019 was retrospectively analyzed. Among these 25 patients, including 14 males and 11 females; aged from 20 to 83 years old, with a mean of (63.45±9.65) years; there were 3 cases of single vertebral body destruction, 13 cases of 2 vertebral bodies destruction, and 9 cases of 3 or more vertebral bodies destruction. All surgical patients underwent intraoperative detection of somatosensory evoked potential (SEP) and transcranial electric stimulation-motor evoked potential (TES-MEP); and electromyography (EMG) was used to monitor the pedicle screw placement and lesion removal. The erythrocyte sedimentation rate (ESR) was used to evaluate the decline of inflammatory indexes, the visual analogue scale (VAS) was used to evaluate the thoracic spine pain, and the Cobb angle and Oswestry Disability Index (ODI) were used to evaluate the improvement of function. **Results:** All 25 patients were successfully monitored. Five patients had abnormal SEP

基金项目: 杭州市农业与社会发展科研主动设计项目(编号: 20180417A04)

Fund program: Hangzhou Agricultural and Social Development Research Initiative Design Project (No.20180417A04)

通讯作者: 费骏 E-mail: jamfee@163.com

Corresponding author: FEI Jun E-mail: jamfee@163.com

waveforms during operation, 3 cases were caused by intraoperative clearing of lesions and spinal cord compression during irrigation, timely replacement of instruments and gestures, and adjustment of irrigation water flow rate returned the waveform to normal; one case was caused by a decrease in systolic blood pressure, and the waveform returned to normal after timely treatment of increased blood pressure; after 1 case of SEP waveform abnormality, the operation was suspended for 10 minutes and recovered spontaneously, and the waveform abnormality did not reappear until the end of the operation. Seven patients had abnormal TES-MEP waveforms, 5 cases occurred when the pedicle screw was inserted, the nail path was adjusted in time, and the waveform recovered after nail repositioning; one case was caused by tilting the operation bed during operation, and the waveform gradually recovered after adjusting the tilt angle of operation bed; one case occurred during the correction of the pedicle screw and rod system, and the waveform gradually returned to normal after the contralateral screw and rod correction were completed during operation. In 5 cases, the EMG burst potential was detected at the same time when the TES-MEP waveform was abnormal. After adjustment, the EMG burst potential disappeared. There was no abnormality in the TES-MEP and SEP waveforms at the same time. Postoperative VAS, ESR, Cobb angle, and ODI were improved compared with preoperatively ($P < 0.05$).

Conclusion: In patients with thoracic tuberculosis, the use of debridement and bone grafting and posterior internal fixation by transcostal transverse process approach combined with intraoperative SEP, TES-MEP and EMG monitoring can timely reflect the spinal cord and nerve root function, avoid intraoperative injuries while achieving good fixation and lesion removal.

KEYWORDS Tuberculosis, spinal; Surgical procedures, operative; Monitoring, intraoperative; Electrophysiology

对于治疗有手术指征的胸椎结核, 采用病灶清除联合坚强内固定的方式对于结核感染症状及胸椎功能的恢复可以起到确切的疗效。由于胸椎前侧有重要血管伴行, 椎弓根螺钉置入及病灶清除时易造成严重的大血管损伤^[1]; 同时胸椎椎弓根及脊髓走行的圆柱型椎管直径较小, 在置入椎弓根螺钉时出现严重神经并发症的概率较高^[2]。胸椎复杂的解剖结构使得治疗中损伤脊髓及神经根风险增加, 易引起严重的并发症。因此对于如何在胸椎结核手术中及时发现并预防术中损伤的发生极为重要并且具有挑战性。近年来, 多模式神经电生理检测技术在脊柱手术中的监测, 得到广泛地认可。多模式神经电生理检测在术中可以对手术操作过程中新发生的脊髓及神经根损伤及时发出警报, 并且提醒术者停止或改善操作方式, 从而降低术中对神经及血管的损伤。笔者收集总结了 2018 年 12 月至 2019 年 9 月在我院骨科 25 例接受经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓内固定同时术中采用多模式神经电生理监测技术保护脊髓和神经根功能的临床效果, 现报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

1.1.1 纳入标准 根据病史、临床表现、体征、影像学及实验室检查, 并符合《骨与关节结核》^[3] 诊断为胸椎结核; 手术指征^[4] 明确: 有较大的椎旁寒性脓肿, 椎体破坏及死骨形成, 伴有明显脊髓及神经根症状者, 脊柱生理形态破坏及结构不稳定者; 签署知情同意书; 可收集完整随访资料的患者。

1.1.2 排除标准 活动性肺结核及合并其他部位结核患者; 多耐药及耐多药患者; 既往有上胸椎手术史者; 重要器官功能不全, 难以耐受手术者; 不能接受电刺激的患者, 包括癫痫病史者及癫痫患者、颅脑

外伤、颅骨缺损、机械性或电仪器起搏器植入、人工耳蜗植入、深部脑刺激等患者。

1.2 临床资料

本组 25 例, 男 14 例, 女 11 例; 年龄 20~83 (63.25±9.65) 岁; 病程 2~19 (7.82±4.65) 个月; 单个椎体破坏 3 例, 2 个椎体破坏 13 例, 3 个及 3 个以上椎体破坏 9 例。

1.3 治疗方法

1.3.1 麻醉方法 常规诱导麻醉时采用苏芬太尼 (2~3 μg/kg) 及依托咪酯 (0.2~0.3 mg/kg) 进行麻醉诱导, 随后静脉注射罗库溴铵 (0.6~0.8 mg/kg) 用于插管。此后不再使用任何神经肌肉阻滞剂。术中通过静脉滴注瑞芬太尼 0.15~0.20 μg/(kg·min) 和丙泊酚 4~12 mg/(kg·h) 维持麻醉, 以利于神经电生理监测^[5]。

1.3.2 手术方法 采用气管插管全身静脉麻醉, 患者取俯卧位。C 形臂 X 线透视定位病椎, 行后正中弧形切口, 切口弧顶定于病椎肋横突关节外侧。依次切开并剥离皮肤、深筋膜、竖脊肌, 逐层显露至双侧椎板及关节突。在术中透视及电生理检测下置入椎弓根螺钉, 利用椎弓根钉棒系统缓慢纠正后凸畸形, 固定完成后逐层缝合至深筋膜。剥离并暴露病灶较大一侧的肋横突关节及肋骨, 距后正中线 8 cm 处剪断肋骨。钝性剥离椎体上壁层胸膜时注意保护肋间血管神经。充分暴露病灶, 彻底清除病灶内的坏死组织直至健康骨创面出现, 同时行脊髓减压, 并将取出的干酪样物质和死骨送病理检测。用切除的病灶侧肋骨支撑植骨。病灶注入异烟肼及链霉素, 明胶海绵止血, 放置引流管 1 根, 分层紧密缝合切口。

1.4 监测方法

应用美国美敦力 (Medtronic NIM-ECLIPSE System) 通道术中监护系统, 麻醉诱导后, 刺激前行 4 联

刺激肌肉收缩试验 (TOF) 监测肌松剂代谢情况。刺激部位为一侧正中神经, 记录电极置于大鱼际肌上, 当 TOF 值 >0.7 , 同时将椎旁肌及椎旁软组织剥离脊柱暴露后将所测 TES-MEP、SEP 波形作为基线。在椎弓根螺钉置钉、撑开矫正后凸畸形、椎体病灶清除、支撑植骨等术中关键阶段检测实时波形对比。SEP 以波幅下降 $\geq 50\%$ 或潜伏期延长 $\geq 10\%$ 作为警报标准^[6-7]。TES-MEP 以波幅下降 $\geq 80\%$ 或潜伏期延长 $\geq 10\%$ 作为警报标准^[6,8-9], 在增加刺激强度及多次刺激后波形仍未恢复, 即认定为监测阳性; 若波形改变 10 min 后仍无恢复趋势, 则探查原因并采取相应手段。监测中 EMG 以出现连续性爆发肌电反应作为神经根损伤警报标准。

1.4.1 SEP 由于监测胸椎结核患者, 未常规监测上肢 SEP, 选择下肢 SEP (胫后神经) 并采取国际标准^[10], 刺激时阳极置于双侧足部内踝, 阴极靠近近端、距阳极约 3 cm。根据脑电图国际 10/20 电极系统, 皮下螺旋塞电分别旋进头皮固定于 Cz 点 (记录针电极), 放置在 Fz 点 (参考针电极)。连续监测术中波形变化情况。

1.4.2 MEP MEP 采用经颅电刺激, 记录电极采用配对针刺电极, 胸椎监测选择双侧胫前肌、腓肠肌、拇展肌、股直肌作为靶肌。采用恒压式电刺激方式。根据脑电图国际 10/20 电极系统, 2 个螺旋电极分别置于 C₁ 和 C₂ 位置, 互为阴阳极, 阳极为刺激电极, 依据手术情况进行不定期监测。

1.4.3 EMG 自由 EMG 监测。记录双针电极放置于双侧对应神经根支配的靶肌: 拇短屈肌上, 记录电极各相距 2 cm, 活动电极固定于肌腹上, 参考电极固定在肌腱部位。及时反映手术过程中神经根受到刺激后相对应支配肌肉的电活动。

1.5 观察项目与方法

比较患者术前 1 周和术后 1 年时 ESR 变化情况。根据腰椎侧位 X 线片, 在病变最为严重的节段上位椎体上终板延长线和下位椎体下终板延长线, 两线的夹角即为节段后凸 Cobb 角, 并计算矫正度数及丢失度数。

术前 1 周和术后 1 年采用视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 评价疼痛缓解程度。VAS 是用于量化疼痛的最常用问卷。它是由水平或垂直线组成的连续刻度, 通常长 10 cm。对于疼痛强度, 该量表通常由“无疼痛” (得分为 0) 和“疼痛程度尽可能严重” (得分为 10) 确定。分数 0 被认为是无疼痛, 1~3 轻微疼痛, 4~6 中等疼痛和 7~10 严重疼痛。

术前 1 周和术后 1 年利用 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry Disability Index, ODI) 评估患者术后脊

柱功能。ODI 系统包括 10 个方面的情况, 每个问题 6 个选项, 每个问题的最高得分为 5 分, 选择第一个选项得分为 0 分, 依次选择最后一个选项得分为 5 分, 假如有 10 个问题都做了问答, 评价方法是: $[\text{实际得分}/50(\text{最高可能得分})] \times 100\%$, 假如有一个问题没有回答, 则记分方法是: $[\text{实际得分}/45(\text{最高可能得分})] \times 100\%$, 如越高表明功能障碍越严重。

1.6 统计学处理

应用 SPSS 25.0 软件进行统计分析, Cobb 角、ESR、VAS、ODI 等定量资料采用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 手术前后各项的比较采用配对设计 *t* 检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

多模式神经电生理术中监测处理: 本组 25 例患者均成功监测。5 例患者在术中出现 SEP 波形异常, 其中 3 例为术中清除病灶及冲洗时脊髓受压导致, 及时更换清除病灶器械及手势、调整冲洗水流速后波形恢复正常; 1 例因收缩压下降引起, 及时予以升压处理后, 波形恢复正常; 1 例 SEP 波形出现异常后, 暂停手术操作 10 min 后自行恢复, 并至手术接受前未再次出现波形异常。7 例患者 TES-MEP 波形异常, 其中 5 例在椎弓根螺钉置钉时出现, 术中经透视明确存在 1 例螺钉破壁, 4 例钉道距椎弓根内侧壁过近, 术中及时调整钉道, 重新置钉后波形恢复; 1 例因术中倾斜手术床引起, 及时调整手术床倾斜角度后, 波形逐渐恢复; 1 例在椎弓根钉棒系统矫形时出现, 术中对侧钉棒矫形完成后波形逐渐恢复正常。5 例患者在出现 TES-MEP 波形异常的同时检测到 EMG 爆发电位, 在调整后, EMG 爆发电位消失。未出现 TES-MEP 与 SEP 波形同时异常的患者。

术前 1 周、术后 1 年 ESR 水平分别为 (46.23 ± 7.59) mm/h、 (7.19 ± 3.45) mm/h; Cobb 角分别为 $(28.25 \pm 7.26)^\circ$ 、 $(10.55 \pm 2.89)^\circ$; VAS 分别为 (7.83 ± 1.36) 分、 (2.48 ± 0.98) 分; ODI 指数分别为 $(83.45 \pm 6.94)\%$ 、 $(54.30 \pm 6.59)\%$; 上述各项目术后 1 年较术前 1 周明显改善 ($P < 0.05$), 见表 1-2。典型病例神经电生理监测及影像学资料见图 1-3。

3 讨论

3.1 胸椎结核的特点及治疗方式

脊柱结核是常见的一种肺外结核, 约占骨与关节结核的 50%^[11], 其中胸椎结核约占脊柱结核的 39.6%^[12]。对于胸椎结核的治疗现多采取正规化疗的基础上联合外科手术治疗的方式, 从而达到消除感染病灶, 解除脊髓神经压迫, 纠正脊柱后凸畸形等目的。但目前尚缺乏统一的标准术式, 如何选择手术方式仍存在争议^[3-7]。在众多手术方式中经肋横突入路

表 1 胸椎结核 25 例患者术前 1 周及术后 1 年 VAS、ESR、Cobb 角变化 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Changes of VAS, erythrocyte sedimentation rate, Cobb angle of 25 patients with thoracic tuberculosis 1 week before operation and 1 year after operation ($\bar{x}\pm s$)

项目	术前 1 周	术后 1 年	t 值	P 值
VAS(分)	7.83±1.36	2.48±0.98	5.16	<0.05
ESR(mm/h)	46.23±7.59	7.19±3.45	3.02	<0.05
Cobb 角(°)	28.25±7.26	10.55±2.89	2.35	<0.05

是治疗胸椎结核可靠术式之一，该术式经同一皮肤切口，术中不需变换体位，减少了出血量及对脊柱后柱的破坏；胸椎病灶清除不通过胸腔，避免了对呼吸循环系统的干扰及胸腔的污染，降低了术后并发症；后路椎弓根螺钉经未侵犯的椎弓根置入，避免感染因内固定物而扩散，并且可行多节段固定、矫正后凸畸形，其较前路固定更加坚强，内固定的去除也相对

方便；取生理弧度与胸椎生理后凸接近肋骨作支撑植骨，能够防止植骨滑脱、吸收，同时避免了肋骨植骨等供区并发症的发生。但是由于胸椎解剖，其正前方包含心脏、纵膈、左右被肺包裹，椎体周围与胸主动脉、下腔静脉、脊髓、神经根等重要结构相邻，胸椎椎弓根较细，并且激素冲击治疗禁用于结核患者，固定置钉、病灶清除及植骨时，可能导致脊髓及神经根损伤、主动脉损伤、脑脊液漏等严重并发症^[13]。在采用此种术式时对脊髓和神经根功能监护以减少术中操作对神经血管等重要组织的损伤十分必要。因此我院在对胸椎结核患者采用经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓内固定术时采用术中多模式神经电生理监测，降低了手术中因机械牵拉、压迫、热损伤等对脊髓及神经跟的损害。

3.2 多模式电生理检测在术中使用的优点

随着近年来神经电生理检测技术的发展及观念的普及，越来越多的脊柱外科医生将其作为提高脊

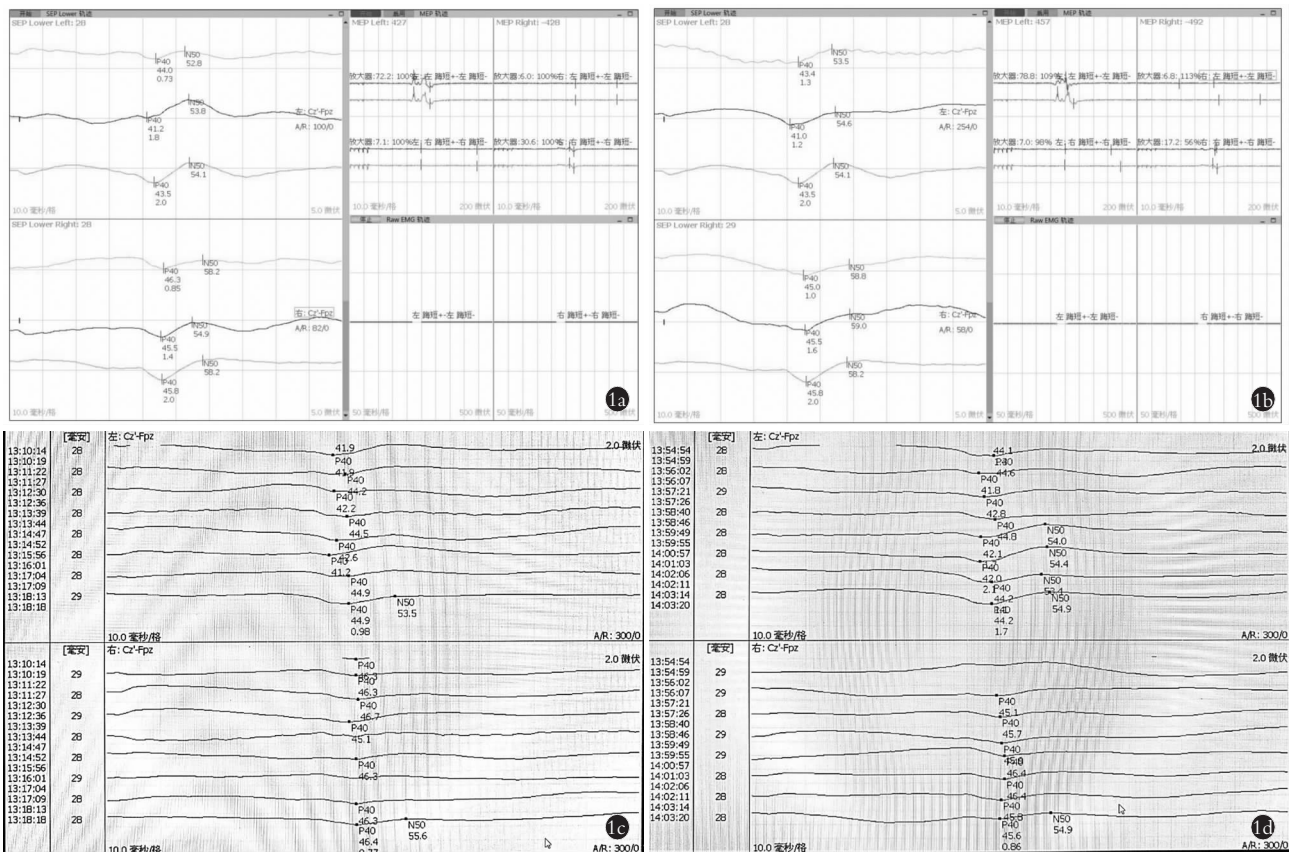


图 1 男性患者，20 岁，T₅-T₇ 结核，行经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓内固定联合术中多模式神经电生理监测 1a. 术中减压时 SEP 波幅下降 >50% 1b. 术中及时告知术者并予以处理后 SEP 波幅恢复 1c. 术中减压时 SEP 波幅下降实时监测图 1d. 术中调整后 SEP 波形恢复实时监测图

Fig.1 A 20-year-old male patient with tuberculosis of T₅-T₇ was performed operation of debridement and bone grafting and posterior vertebral arch internal fixation by transcostal transverse process approach combined with multimodal neuroelectrophysiological monitoring 1a. SEP amplitude decreased by more than 50% during decompression 1b. During the operation, the surgeon was notified in time and the SEP amplitude recovered after treatment 1c. Real-time monitoring chart of SEP amplitude decrease during decompression 1d. Intraoperative real-time monitoring chart after SEP waveform recovery by adjustment

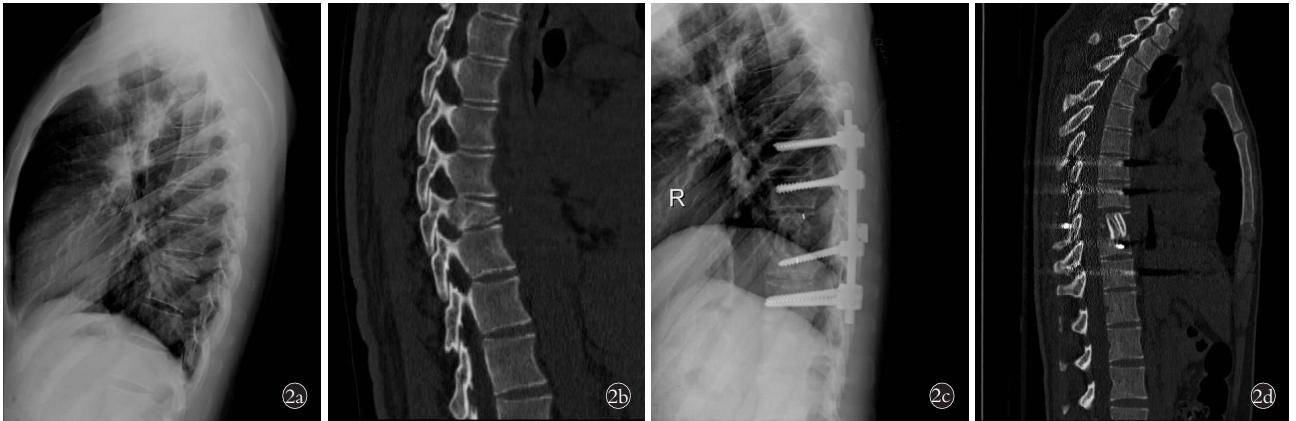


图 2 男性患者,26岁, T_8-T_9 结核,行经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓内固定联合术中多模式神经电生理监测 **2a,2b**.术前3周胸椎X线侧位片及CT重建矢状位片,可见 T_8-T_9 椎体严重破坏,楔形变,后凸畸形严重 **2c,2d**.术后3个月X线侧位片及CT重建矢状位片,可见经钉棒系统内固定病灶清除及取肋骨植骨融合后,脊柱后凸畸形明显改善,生理曲度及负重能力恢复

Fig.2 A 26-year-old male patient with tuberculosis of T_8-T_9 was performed operation of debridement and bone grafting and posterior internal fixation by transcostal transverse process approach combined with multimodal neuroelectrophysiological monitoring **2a,2b**. Three weeks before operation, lateral X-ray and sagittal CT reconstruction showed that the T_8-T_9 vertebral bodies were severely damaged, wedge-shaped, and severe kyphosis **2c,2d**. Three months after operation, lateral X-ray and sagittal CT reconstruction showed that the kyphotic deformity was significantly improved and the physiological curvature and weight-bearing ability were restored after the internal fixation of the nail and rod system and the rib grafting fusion



图 3 男性患者,50岁, $T_{10}-T_{11}$ 结核,行经肋横突入路病灶清除植骨及后路椎弓内固定联合术中多模式神经电生理监测 **3a,3b**.术前3周X线侧位片及CT矢状面重建可见, $T_{10}-T_{11}$ 椎体溶骨性破坏,椎间盘破坏,后凸畸形伴轻度不稳 **3c,3d**.术后5个月X线侧位片及CT矢状面重建可见经钉棒系统内固定病灶清除及取肋骨植骨融合后,脊柱稳定性提高,生理曲度及承重能力恢复显著

Fig.3 A 50-year-old male patient with tuberculosis of $T_{10}-T_{11}$ was performed operation of debridement and bone grafting and posterior internal fixation by transcostal transverse process approach combined with multimodal neuroelectrophysiological monitoring **3a,3b**. Three weeks before operation, lateral X-ray and sagittal CT reconstruction showed that the $T_{10}-T_{11}$ vertebral bodies had osteolytic destruction, intervertebral disc destruction, and kyphosis with mild instability **3c,3d**. Five months after operation, lateral X-ray and sagittal CT reconstruction showed that the stability of the spine was improved, and the physiological curvature and weight-bearing capacity were significantly restored after debridement and rib grafting fusion and internal fixation with the nail and rod system

柱外科手术安全性、质量和患者术后满意度的重要技术手段。其中SEP是通过在感觉神经传导通路上放置记录电极,分析周围神经刺激后产生信号波形的幅度和潜伏期变化来评估神经功能状态的方法。是容易获得监测图形且较为客观判断脊髓损伤程度的指标。SEP监测时的刺激不会影响患者运动系统,持续监测也不会引起患者肌肉移动而干扰术中操作,且不受肌松剂对监测的影响而被广泛应用^[14]。但

是由于SEP主要检测感觉传导功能,叠加需要一定时间,故术中单独监测SEP难以及时反映脊髓功能状态尤其是脊髓运动功能。SEP的监测结果易受到机械压迫、缺血、温度、低血压等因素的影响。SEP仅可间接反映脊髓运动功能且不全面,神经根功能监测特异性较差,监测单纯脊髓运动神经损伤患者易出现假阴性结果^[15]。

TES-MEP是在电刺激大脑皮层相对应的靶肌

表 2 胸椎结核 25 例患者术前 1 周与术后 1 年 ODI 比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of ODI of 25 patients with thoracic tuberculosis between 1 week before surgery and 1 year after surgery ($\bar{x}\pm s$)

观察项目	术前 1 周	术后 1 年
腰腿疼痛(分)	4.41±0.76	2.79±0.43
生活自理(分)	3.98±0.56	2.34±0.39
提物情况(分)	4.15±0.67	3.36±0.49
行走情况(分)	4.11±0.58	2.73±0.36
坐位情况(分)	3.86±0.52	2.47±0.33
站立情况(分)	4.39±0.63	2.65±0.37
睡眠情况(分)	3.45±0.49	2.06±0.65
性生活(分)	未测	未测
社会活动(分)	4.09±0.55	2.86±0.56
旅行情况(分)	4.16±0.47	3.26±0.48
总分(分)	36.59±3.45	24.52±1.97
ODI 指数(%)	83.45±6.94	54.30±6.59*

注:与术前 1 周比较, * $t=4.76, P<0.05$

Note: Compared with preoperative 1 week, * $t=4.76, P<0.05$

上放置记录电极, 分析判断脊髓运动功能状态及传导通路的完整性。通过脊髓前索及侧索运动传导状态对脊髓运动神经进行直接监测。MEP 对脊髓神经功能监测具有高敏感性、高特异性的特点。MEP 术中监测时, 对术中运动神经功能状态与传导通路情况能够敏感、及时、稳定的反馈, 对导致脊髓运动神经功能损伤的各种术中因素进行准确的反映, 使术者及时解除危害因素。该监测信号波形稳定, 记录无需叠加, 术中仅单次刺激即可获得波形^[16-17]。MEP 可选择性的对运动传导通路进行监测, 较 SEP 能提前 5 min 出现警告信息。此外, MEP 受低体温、低血压的影响小, 相对 SEP 在存在脊髓缺血时仍能相对准确地监测。但是 MEP 仅对脊髓神经功能出现损伤后进行反馈, 不具有预警作用, 对于较差信号分辨不佳易出现误差, 由于易受到肌松剂的影响, 对于术前患者运动功能评估、麻醉诱导及 4 联刺激肌肉收缩试验需要严格把控^[18-19]。另外由于 MEP 检测电刺激易引起麻醉后患者震颤, 干扰术者操作甚至产生医源性脊髓损伤, 故在使用 MEP 监测时不适合电刺激、电凝灼伤而诱发癫痫发作、心血管系统变化、脊髓硬膜并发症以及术中患者肌肉运动等隐患^[20]。

EMG 是指支配某肌群的特定神经纤维受到机械或电等刺激时其所支配的肌肉收缩所诱发产生的动作电位。术中监测肌电活动可以通过间接反映方式对神经根的功能状态进行反馈, 出现神经损伤后即可及时进行处理以避免术中操作对神经根的损

伤。EMG 监测靶肌肉肌电活动具有实时性、高敏感性的特点, 可行连续监测^[21]。在胸椎结核椎弓根螺钉置钉及病灶清除时, 牵拉、螺钉穿破椎弓根壁且靠近神经根、钳夹神经及附属结构等时, 即可检测到爆发波形, 术者可对现有操作予以调整。其对于神经根功能的监测具有良好的效果, 但是无法监测术中脊髓功能。

理想的术中电生理监测应对脊髓及神经根提供全面、直接而准确的监测信息。众多学者多推荐使用多模式神经电生理检测^[22], 即联合 SEP、TES-MEP 与 EMG 多种监测模式的技术, 综合使用多种监测方式来评估脊髓、神经根功能状态及传导通路完整性的电生理检测技术, 能够结合各个监测模式的优点, 提高术中监测的灵敏度、准确性。3 种模式相互补充, 为术者提供麻醉状态下患者术中及时且全面的感受、运动神经系统和神经根功能状态^[23]。从而避免了单一检测模式使用的缺陷与不足^[24], 可以及时且准确地对潜在的或已形成的脊髓及神经根损伤进行预警及相对的处理。在脊柱手术特别是胸椎手术中具有重要作用。

3.3 本组监测临床价值分析

本组 25 例患者, 5 例在术中出现 SEP 波形异常; 8 例 TES-MEP 波形异常, 其中 5 例在椎弓根螺钉置钉时出现 TES-MEP 波形异常患者, 同时检测到 EMG 爆发电位。术中均成功监测到出现电生理监测异常并及时提醒手术医师对应调整, 术中紧急处理后波形成功恢复正常, 避免了术中操作对神经功能的损伤。患者术后血沉及 VAS 均较术前降低, 根据手术前后 Coob 角及 ODI 对比, 术后脊柱后凸畸形、功能与术前相比均得到明显改善。本组观察结果说明, 多模式神经电生理检测提高了术中操作的安全性, 避免了严重的手术并发症, 在采用合适的手术方式的同时增加了手术的成功率和患者满意度。

综上所述, 对于具有复杂解剖结构的胸椎结核患者行肋横突入路手术时, 神经电生理检测可以及早的判断脊髓及神经根功能的损害, 及时停止进行中的操作并针对性给予干预。能够最大限度地降低术中术后的神经损伤, 提高患者愈后满意度。单一模式神经电生理检测存在, 需要叠加时间、温度和血流造成影响较大、不能预警脊髓神经功能损伤等不足, 进而导致检测效果反馈不及时、不全面等后果。多模式神经电生理监测联合运用多种监测技术来评估脊髓、神经根功能及传导通路的完整性, 充分利用各监测模式的优点, 降低单一检测模式不足带来的误差对手术的影响, 提高了术中监测的准确性、敏感性。在临床应用中可以降低脊髓、神经根的损伤, 提高了

患者满意度及临床疗效,极具临床推广价值。

参考文献

- [1] Ebraheim N. Anatomic relations of the thoracic pedicle to the adjacent neural structures[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1997, 22(5):451.
- [2] 李明,许明,刘洋,等.徒手胸椎椎弓根螺钉置入技术治疗青少年特发性脊柱侧凸的安全性评价[J].脊柱外科杂志,2005,3(4):193-198.
- LI M, XU M, LIU Y, et al. Evaluation of the safety of thoracic vertebral pedicle screw placement in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Ji Zhu Wai Ke Za Zhi, 2005, 3(4):193-198. Chinese.
- [3] 吴启秋,林羽.骨与关节结核[M].北京:人民卫生出版社,2006:25-29.
- WU QQ, LIN Y. Bone And Joint Tuberculosis[M]. Beijing:People's Medical Publishing House, 2006:25-29. Chinese.
- [4] 兰汀隆,秦世炳.严格掌握脊柱结核手术指征并选择合适的手术时机和方式[J].中国防痨杂志,2017,39(4):327-328.
- LAN TL, QIN SB. Strictly grasp the indications for spinal tuberculosis surgery and choose the appropriate timing and method of surgery[J]. Zhongguo Fang Lao Za Zhi, 2017, 39(4):327-328. Chinese.
- [5] Tamkus AA, Rice KS, Kim HL. Differential rates of false-positive findings in transcranial electric motor evoked potential monitoring when using inhalational anesthesia versus total intravenous anesthesia during spine surgeries[J]. Spine J, 2014, 14(8):1440-1446.
- [6] 邱勇.神经电生理监测在脊柱矫形术中的应用[J].中华医学杂志,2015,95(21):577-579.
- QIU Y. Application of neuroelectrophysiological monitoring in spinal orthopedics[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2015, 95:577-579. Chinese.
- [7] Devlin VJ, Anderson PA, Schwartz DM, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring: focus on cervical myelopathy and related issues[J]. Spine J, 2006, 6:S212-S224.
- [8] 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.
- JIANG H, LIU Y, YANG LJ. Early warning significance of multi-mode neuroelectrophysiological monitoring in anterior cervical surgery[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2015, 25(7):607-612. Chinese.
- [9] Bhagat S, Durst A, Grover H, et al. An evaluation of multimodal spinal cord monitoring in scoliosis surgery: a single centre experience of 354 operations[J]. Eur Spine J, 2015, 24(7):1399-1407.
- [10] American Clinical Neurophysiology Society, 秦兵.美国临床脑电图学指南(5)标准电极位置命名指南[J].癫痫与神经电生理学杂志,2011,(6):377-378.
- American Clinical Neurophysiology Society, QIN B. American guidelines for clinical electroencephalography (5). Guidelines for naming standard electrode positions[J]. Dian Xian Yu Shen Jing Dian Sheng Li Xue Za Zhi, 2011, (6):377-378. Chinese.
- [11] Carlos PS, Dolores R. Bone and joint tuberculosis[J]. Eur Spine J, 2013, 22(4):556-566.
- [12] Jain A. Tuberculosis of the spine: a fresh look at an old disease[J]. Bone Joint J, 2010, 92(7):905-913.
- [13] 潘俊晖,张建光,吴建斌,等.胸椎骨折椎弓根螺钉内固定的临床研究[J].中国骨与关节损伤杂志,2007,22(9):743-744.
- PAN JH, ZHANG JG, WU JB, et al. Clinical study of pedicle screw internal fixation for thoracic fracture[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Sun Shang Za Zhi, 2007, 22(9):743-744. Chinese.
- [14] Liu Q, Wang Q, Liu H, et al. Warning criteria for intraoperative neurophysiologic monitoring[J]. Curr Opin Anaesthesiol, 2017, 30(5):557-562.
- [15] Raynor BL, Padberg AM, Lenke LG, et al. Failure of intraoperative monitoring to detect postoperative neurologic deficits: a 25-year experience in 12 375 spinal surgeries[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2016, 41(17):1387-1393.
- [16] Thirumala PD, Crammond DJ, Loke YK, et al. Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review[J]. J Neurosurgery Spine, 2016, 26(3):1.
- [17] Wang N, Zhang S, Zhang AF, et al. Sodium hyaluronate-cntf gelatinous particles promote axonal growth, neurogenesis and functional recovery after spinal cord injury[J]. Spinal Cord, 2014, 52(7):517-523.
- [18] Rabai F, Sessions R, Seubert CN. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2015, 30(1):53-68.
- [19] 邱勇,刘兴勇.神经电生理监测在脊柱外科的应用现状[J].中国脊柱脊髓杂志,2015,25(7):670-672.
- QIU Y, LIU XY. Application status of neuroelectrophysiological monitoring in spinal surgery[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2015, 25(7):670-672. Chinese.
- [20] Davis SF, Altstadt T, Flores R, et al. Report of seizure following intraoperative monitoring of transcranial motor evoked potentials[J]. Ochsner J, 2013, 13(4):558-560.
- [21] 李晖,田江华,王晓平,等. SEP 联合实时 EMG 在腰骶神经根术中监护的价值探讨[J].实用骨科杂志,2017,23(5):471-472.
- LI H, TIAN JH, WANG XP, et al. The value of SEP combined with real-time EMG in the monitoring of lumbosacral nerve root surgery[J]. Shi Yong Gu Ke Za Zhi, 2017, 23:471-472. Chinese.
- [22] Korn A, Halevi D, Lidar Z, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during resection of intradural extramedullary spinal cord tumors: experience with 100 cases[J]. Acta Neurochir(Wien), 2015, 157(5):819-830.
- [23] Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, et al. The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(9 Suppl):S37.
- [24] Bello JP, 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.

(收稿日期:2020-11-21 本文编辑:王宏)