

·论著·

# 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



全文二维码



开放科学码

文海韬 王潜阳 陈小燕 吴水华 赵斯君

**【摘要】 目的** 探讨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。 **方法** 收集湖南省儿童医院神经外科2019年3月至2019年12月行手术治疗的64例脊髓栓系患儿临床资料,男38例,女26例。年龄1个月至13岁,平均 $(23.5 \pm 28.9)$ 个月。患儿在进行脊髓栓系松解术的过程中均接受多模式[体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)、运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)、肌电图(electromyography, EMG)和/或球海绵体括约肌反射(bulbocavernosus sphincter reflex, BCR)]神经电生理监测,术中根据神经电生理监测结果调整手术操作。 **结果** 64例中有62例完全松解脊髓栓系,2例脊髓栓系术后再栓系患儿由于脊髓脂肪瘤粘连紧密行部分松解,4例术前、术中无法诱发出运动诱发电位,60例(93.75%)术前、术中可诱发出运动诱发电位并记录到肌肉动作电位,术后监测所有患儿未出现运动诱发电位消失或显著下降。44例脂肪瘤型脊髓栓系患儿术前脊髓直径(CORD)/硬脊膜囊直径(SAC)的值为 $(0.81 \pm 0.22)$ ,术后CORD/SAC的值为 $(0.38 \pm 0.16)$ ,差异有统计学意义( $t=17.085, P<0.001$ )。术后随访中发现14例大小便功能异常患儿中改善7例,无改善6例,1例术后小便障碍加重出现尿潴留,经导尿训练后恢复;8例腰背部疼痛或双下肢神经功能异常患儿中,改善7例,无改善1例,无一例加重或脊髓栓系复发。 **结论** 脊髓栓系松解术中应用多模式神经电生理监测(multimodal intraoperative monitoring, MIOM)可帮助术者鉴别正常神经组织,在保护神经组织的同时最大范围切除脂肪瘤,降低CORD/SAC值。

**【关键词】** 神经管缺损/外科学;多模式神经电生理监测;儿童

**【中图分类号】** R729 R651.2

**Application value of multi-mode neuroelectrophysiological monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children.** Wen Haitao, Wang Qianyang, Chen Xiaoyan, Wu Shuihua, Zhao Sijun.

Departments of Neurosurgery, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China. Corresponding author: Wu Shuihua, Email: 292454021@qq.com

**【Abstract】 Objective** To explore the efficacy of multi-mode neuroelectrophysiological monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children. **Methods** From March 2019 to December 2019, clinical data were collected and retrospectively analyzed for 64 children operated for tethered spinal cord. There were 38 boys and 26 girls with an average age of  $(23.5 \pm 28.9)$  (1–156) month. The intraoperative multi-mode examinations of nerve monitoring included somatosensory evoked potentials (SEP), motor evoked potentials (MEP), electromyography (EMG) and/or bulbocavernosus sphincter reflex (BCR). Operative handling was adjusted according to the results of neuroelectrophysiological monitoring. **Results** Sixty-two children with spinal cord tethered cord were completely released and 2 cases partially released due to an adhesion of spinal lipoma. MEP was not induced before and during operation in 4 cases. In 60 cases (93.75%), MEP was induced before and during operation and muscle action potential recorded. Postoperatively MEP showed no disappearance or a significant decrease. CORD/SAC was an important parameter of measuring postoperative adhesion. In 44 cases with tethered lipoma, CORD/SAC ratio was  $(0.81 \pm 0.22)$  pre-operation and  $(0.38 \pm 0.16)$  post-opera-

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.09.014

**基金项目:**湖南省中医药科研计划项目(编号:2020108);湖南省出生缺陷协同防治科技重大专项(编号:2019SK1010);湖南省卫生健康委员会一般项目(编号:2017118)

**作者单位:**湖南省儿童医院(湖南省长沙市,410007)

**通信作者:**吴水华, Email: 292454021@qq.com

tion and it decreased with statistically significant difference ( $t = 17.085, P < 0.001$ ). During postoperative follow-ups, urinary and fecal dysfunctions showed improvements ( $n = 7$ ) and non-improvements ( $n = 6$ ). One case of postoperative urinary retention recovered after catheterization training. Among 8 children with lower back pain or nerve dysfunction of lower extremities, there were improvement ( $n = 7$ ) and non-improvement ( $n = 1$ ). None had aggravation or recurrence. **Conclusion** During cord lysis, application of multimodal intraoperative monitoring (MIOM) may assist surgeons in differentiating normal nerve tissue, protecting nerve tissue, maximally removing lipoma and lowering CORD/SAC value.

**【Key words】** Neural Tube Defects/SU; Multimodal Intraoperative Monitoring; Child

脊髓栓系综合征(tethered cord syndrome, TCS)是指因脊髓、圆锥、马尾神经或终丝纵向受到牵拉,导致脊髓末端位置低于正常水平,继而引起一系列神经功能障碍和畸形<sup>[1]</sup>。目前脊髓栓系松解术是治疗脊髓栓系综合征的唯一方法,手术治疗原则是在保证脊髓神经功能不受到损害的前提下,最大限度地松解栓系的脊髓,消除脊髓纵向受牵拉的张力,达到减轻神经功能损害的目的<sup>[2-4]</sup>。根据 Yener 等相关报道,术中综合运用体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)、运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)、肌电图(electromyography, EMG)和(或)球海绵体括约肌反射(bulbocavernosus sphincter reflex, BCR)的多模式神经电生理监测(multimodal intraoperative monitoring, MIOM)可明显降低神经功能损害的发生率<sup>[5]</sup>。目前该技术在神经外科手术中的运用已逐渐完善,但是,如何在儿童脊髓栓系松解术中更科学合理地使用 MIOM 仍是神经外科学者们研究的热点问题之一<sup>[6]</sup>。在脊髓栓系手术后再栓系的影响因素中,脊髓直径/硬脊膜囊直径(CORD/SAC)是意义较为明确的衡量指标,尤其对于脂肪瘤型脊髓栓系患儿,通过 MIOM 可有效帮助术者区分正常神经组织与异常增生组织,最大限度切除异常粘连组织,降低 CORD/SAC 数值,松解脊髓栓系,降低术后再栓系发生率<sup>[7,8]</sup>。本研究将初步分析脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术前后 CORD/SAC 数值变化情况,探讨 MIOM 在脊髓栓系松解术中的应用价值。

## 材料与方法

### 一、临床资料

选取湖南省儿童医院2019年3月至2019年12月期间行手术治疗的脊髓栓系综合征患儿64例作为研究对象,其中男38例,女26例。年龄1个月至13岁,平均( $23.5 \pm 28.9$ )个月。14例存在大便功能异常,表现为失禁、便秘或者粪污;小便功能异常

表现为尿潴留、遗尿或小便失禁,8例存在腰背部疼痛或双下肢感觉运动异常。

术前均进行腰骶部MRI检查,根据栓系因素分为不同的病理类型,其中骶尾部脂肪瘤44例,终丝脂肪瘤7例,脊髓栓系术后复发5例,单纯脊膜膨出6例,潜毛窦并椎管内感染2例。术前肛门直肠测压提示肛门直肠抑制反射异常14例,双下肢体感诱发电位检测异常13例,双下肢肌电图异常4例,膀胱残余尿量增多13例。

### 二、手术方法

64例均由本院同一组医师完成手术。麻醉诱导方案:静脉麻醉,丙泊酚 $2.5 \text{ mg/kg}$ ;舒芬太尼 $0.3 \sim 0.5 \text{ } \mu\text{g/kg}$ 以及顺式阿曲库铵 $0.2 \text{ mg/kg}$ 。麻醉维持:全静脉和吸入麻醉维持。丙泊酚 $4 \sim 12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和瑞芬太尼 $0.2 \sim 0.3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,七氟烷吸入 $<0.4 \text{ mac}$ 。术中需持续监测血压、心率等血流动力学指标,检测患儿核心体温,加热毯维持在 $36^\circ\text{C}$ ,呼气末 $\text{CO}_2$ 分压维持在 $35 \sim 40 \text{ mmHg}$ 。

患儿均取俯卧位,取腰骶部后正中切口或根据肿块取梭形切口。切口上至相邻正常脊髓截面,显微镜下剪开硬膜向两侧悬吊硬膜,用神经电生理监测仪监测脊髓功能,使用叉状双极探头探查粘连部位神经根关联情况,辨别正常神经组织与异常神经组织,松解粘连栓系脊髓,松解脊髓栓系后使用不可吸收硬膜连续扩大缝合重建硬膜囊。

SEP采用国际10-20系统进行记录。刺激电极置于双侧内踝后侧方胫后神经,记录电极放在Cz点,参考电极放在Fz点。球海绵体刺激电极置于阴茎或者阴蒂,记录电极置于肛门括约肌。诱发肌电:神经电刺激使用双极刺激器,刺激间期 $200 \text{ } \mu\text{s}$ ,刺激频率 $4.7 \text{ Hz}$ ,恒流刺激强度 $0.1 \sim 3 \text{ mA}$ ,时间窗 $10 \text{ ms/div}$ 。自由肌电增益设 $50 \sim 500 \text{ mV}$ ,低通滤波 $20 \sim 30 \text{ Hz}$ ,高通滤波 $10 \text{ kHz}$ ,时间窗在 $10 \sim 200 \text{ ms/div}$ 。运动诱发电位刺激参数为 $4 \sim 8$ ,刺激持续时间 $200 \sim 500 \text{ } \mu\text{s}$ ,刺激间隔时间为 $2 \sim 4 \text{ ms}$ 。采用恒压/恒流刺激, $100 \text{ V}/50 \text{ mA}$ 起始,逐级增加电压/电流

至获得稳定波形为止,刺激电压/电流不超过 600 V/200 mA。

为排除使用肌松剂对神经电生理监测结果的干扰,术中避免使用肌松剂,并持续监测自由肌电图。MIOM 结果判断及处理:①在显微镜下小心分离异常增生组织,剪开硬脊膜,如有神经组织受到持续牵拉或压迫时,可记录到异常爆发性肌电图,表现为数个连续的高尖多相波,此时应提醒手术医师停止操作,避免对神经组织的过度牵拉,待异常的高尖多相波消失后,仔细辨别分析高尖多相波出现原因,游离正常神经组织后再次进行手术操作。②使用神经电刺激仪诱发触发电位,对正常神经组织与异常组织进行鉴别。当术者在显微镜下看到正常神经组织与异常增生结缔组织相互包绕,无法判断是否存在有功能的神经组织时,可使用神经电刺激仪诱发触发电位进行判断。如果使用神经电刺激仪诱发出触发肌电,则表明刺激组织具备神经功能,应予以保留;如使用神经电刺激仪不可诱发出触发肌电,则表明被刺激组织已经丧失神经功能,应切除松解栓系。剪断终丝前也应常规使用神经电刺激仪进行检测判断后,再行手术操作。③术中运动诱发电位(tcMEP)监测,在手术操作中如无血压及麻醉深度的明显变化,单侧或双侧 tcMEP 波幅突然消失、波幅降低 >50% 或刺激阈值显著提高 10% 提示患儿神经功能可能受损,需通知手术医师停止操作,待 tcMEP 波幅正常,仔细分析异常波幅出现原因,游离正常神经组织后再次进行手术操作。④术中球海绵体括约肌反射监测,在手术操作中如无血压及麻醉深度的明显变化、BCR 波幅突然消失、波幅降低 >30% 或刺激阈值显著提高提示患儿神经功能可能受损,需通知手术医师停止操作,待 BCR 波幅正常后仔细分析异常波幅出现原因,再行手术操作。

### 三、观察指标

记录患儿术后 3 个月、6 个月、12 个月双下肢感觉运动及大小便变化情况;收集患儿术后肛门直肠测压、双下肢体感诱发电位、双下肢肌电图及膀胱残余尿量的检查结果;使用本院影像科系统软件测量患儿同一层面轴位磁共振 T2 像 CORD/SAC 比值,分别在轴位上的 4 点、8 点、12 点三个位置测量,并取平均值。

### 四、统计学处理

采用 SPSS21.0 进行统计学分析。计数资料采用频数分析;CORD/SAC 比值等计量资料采用( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用配对  $t$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、术中神经电生理监测结果

64 例均在行脊髓栓系松解术的同时行 MIOM,其中 62 例完全松解脊髓栓系,另外 2 例脊髓栓系复发患儿由于脊髓脂肪瘤粘连紧密行部分松解。64 例均可引出 SEP,但有 13 例术前、术中的双下肢体感诱发电位波幅均降低,术中波幅降低程度与术前无明显变化,缝合皮肤后复测体感诱发电位,波幅降低程度与术前无明显差异;4 例术前、术中无法诱发出 tcMEP,其余 60 例术前、术中可诱发出 tcMEP 并记录到肌肉动作电位,术后监测均无 tcMEP 消失或显著下降(图 1 ~ 图 6)。患儿在脊髓栓系松解术中通过神经电生理实时监测波幅变化,提醒术者避免过度牵拉神经组织;当正常神经组织与异常增生结缔组织相互包绕,无法判断是否存在有功能的神经组织时,使用神经电刺激仪对正常神经组织和异常增生的血管、筋膜、脂肪等结缔组织进行鉴别,帮助术者区分正常神经组织和异常增生组织,可最大程度切除异常增生组织,保护正常神经组织,缩短手术时间,减少术后并发症。

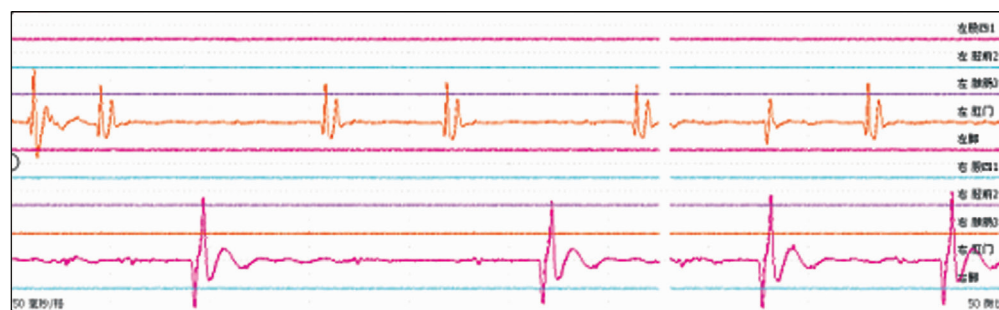


图 1 神经电生理监测自由肌电图

Fig. 1 Neuroelectrophysiological monitoring of free electromyography



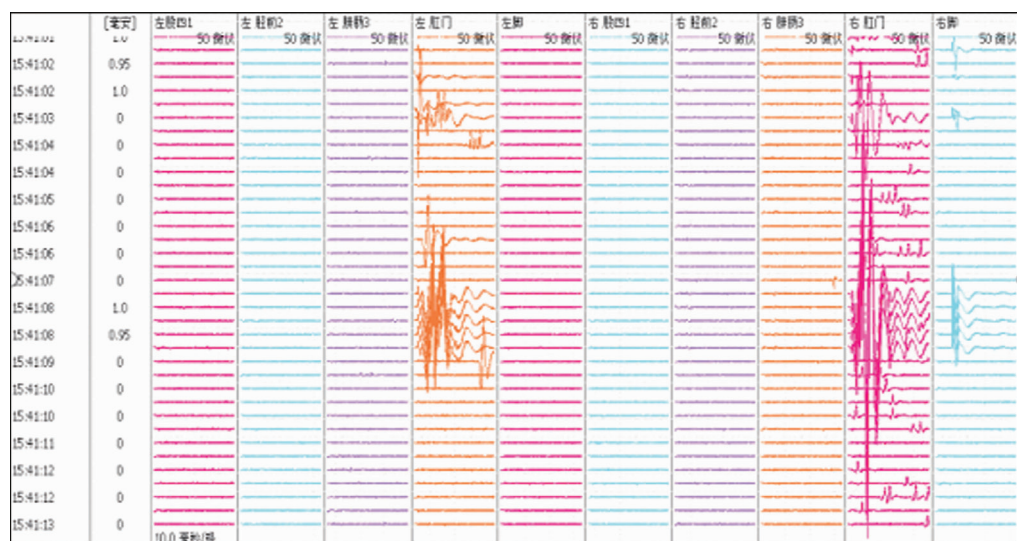


图2 神经电生理监测诱发肌电图

Fig. 2 Neuroelectrophysiological monitoring of evoked electromyography

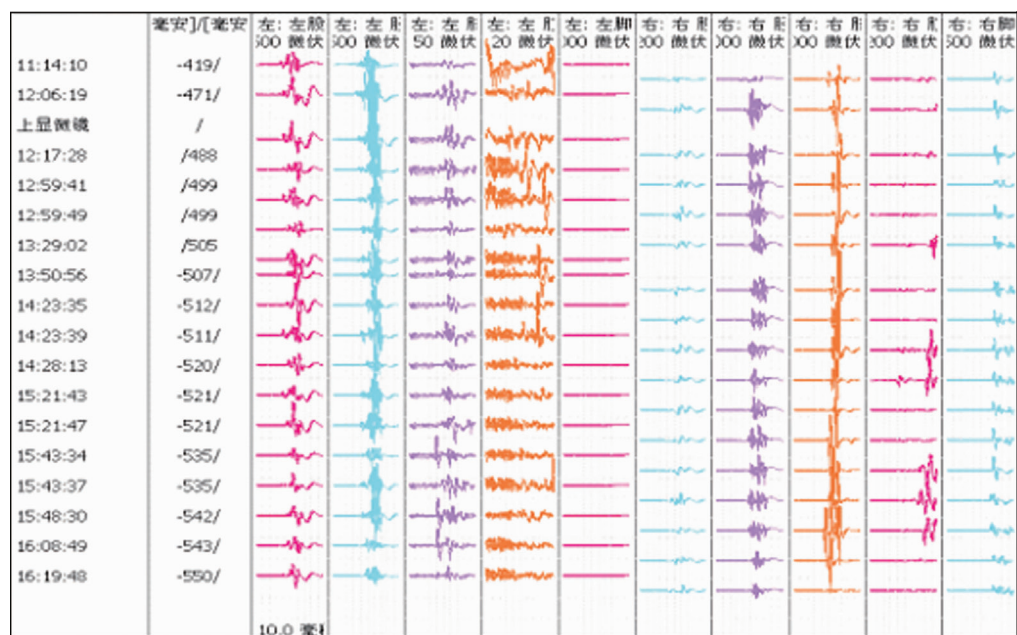


图3 神经电生理监测运动诱发电位(双下肢)

Fig. 3 Neuroelectrophysiological monitoring of motor evoked potential

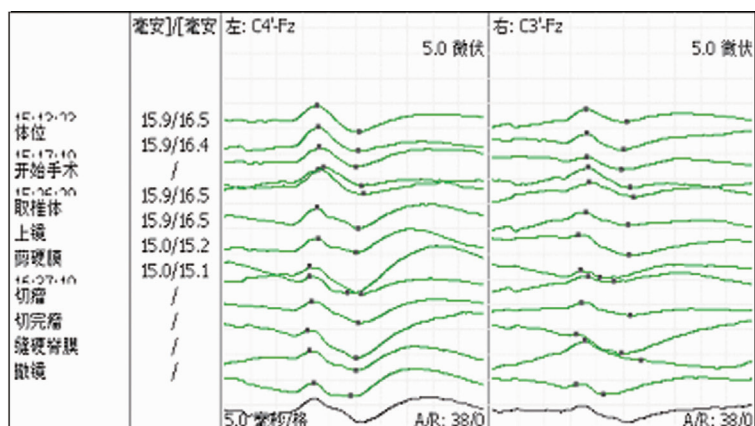


图4 神经电生理监测体感诱发电位(双上肢)

Fig. 4 Neuroelectrophysiological monitoring of somatosensory evoked potential (both upper extremities)

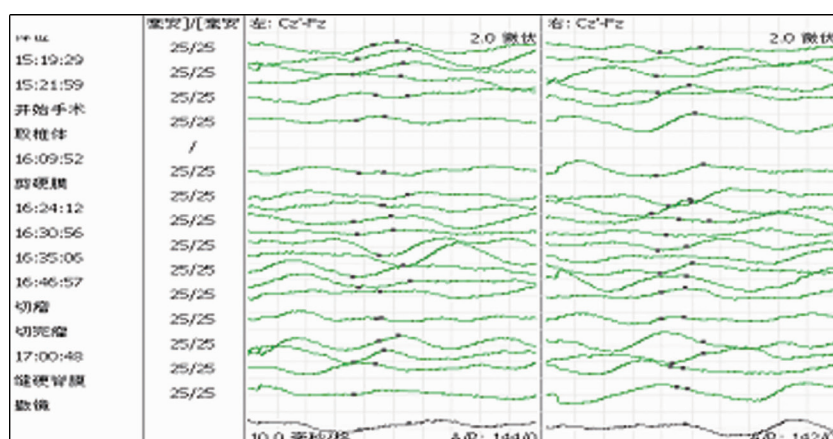


图5 神经电生理监测体感诱发电位(双下肢)

Fig. 5 Neuroelectrophysiological monitoring of somatosensory evoked potential (lower extremities)

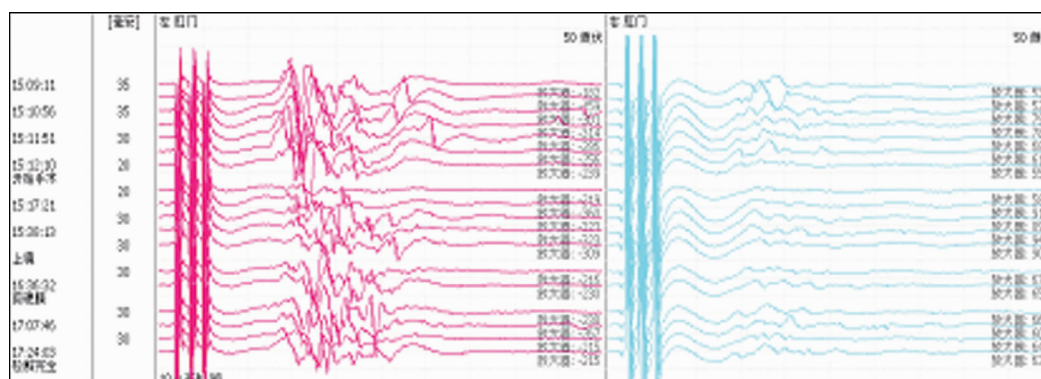


图6 神经电生理监测球海绵体反射

Fig. 6 Neuroelectrophysiological monitoring of bulbocavernosus sphincter reflex

## 二、疗效及随访结果

64例均进行术后随访,术后随访1~12个月。结果显示50例无神经功能障碍患儿术后恢复好,无神经系统症状;14例大小便功能异常的患儿中,7例较术前改善,6例无明显改善,1例因小便障碍加重出现尿潴留,经导尿训练后好转;8例有腰背部疼痛或双下肢感觉运动异常的患儿中,7例有明显改善,1例无明显变化,无加重病例。术后肛门直肠测压提示肛门直肠抑制反射异常7例,双下肢体感诱发电位检测异常8例,双下肢肌电图检测异常4例,膀胱残余尿量仍增多9例。随访期间患儿均恢复良好,无一例脑脊液漏及死亡,复查骶尾部脊椎MRI均未见脊髓栓系复发。44例脂肪瘤型脊髓栓系患儿术前脊髓直径/硬脊膜囊直径比值(CORD/SAC)为 $(0.81 \pm 0.22)$ ,术后CORD/SAC比值为 $(0.38 \pm 0.16)$ ,差异有统计学意义( $t=17.085, P<0.001$ )。

## 讨论

目前,脊髓栓系松解术是治疗脊髓栓系患儿的

唯一方法,及时对栓系脊髓进行松解,可减少因脊髓长期受牵拉后神经组织变性引起的疼痛、感觉和运动障碍、双下肢畸形、直肠和膀胱功能障碍、脊柱侧弯等并发症<sup>[9]</sup>。术中应用MIOM可最大限度切除异常增生组织,松解脊髓栓系的同时保护正常神经组织,起到缩短手术时间、降低脊髓栓系术后栓系风险、减少术后并发症的作用<sup>[10]</sup>。

一、术中MIOM可有效保护神经组织,提高手术安全性

本组中有2例脊髓栓系复发患儿由于正常神经组织与异常增生脂肪组织、瘢痕组织相互包绕严重,在术中多次提示肛门外括约肌自由肌电牵拉反应大,无法完全松解,所以仅行部分松解。其中1例术后小便障碍症状加重,留置导尿并使用甲泼尼龙琥珀酸钠对症支持治疗后,第12天小便功能恢复到术前水平。肛门直肠抑制反射异常7例,膀胱残余尿量无明显改善9例,可能与患儿腰骶髓神经组织发育不良或脊髓受牵拉时间长、脊髓神经组织损害严重、并发神经源性膀胱、膀胱输尿管反流性肾积水、直肠扩张等因素有关,所以即使完全松解脊髓



栓系,大小便功能也难以恢复,甚至有加重的可能。

因为不同的神经电生理监测方法应用在脊髓手术中各有优缺点,可以起到不同的预警作用,现提倡使用 MIOM 最大限度保护神经功能,达到提高手术安全性、减少术后并发症的作用<sup>[11]</sup>。脊髓手术中应用 SEP 监测脊髓感觉通路的完整性,可以达到减少术后医源性神经损伤并发症的作用<sup>[12]</sup>。Nuwer 等<sup>[13]</sup>报道发现,SEP 监测神经感觉功能受损的准确率高达 90%。Palatinsky 等<sup>[14]</sup>研究发现术中 SEP 对术后神经功能评估的有效率高达 78%~100%。但 SEP 只能监测脊髓背侧柱的感觉神经通路,不能监测皮质脊髓运动神经通路,且 SEP 的预警时间较 MEP 滞后,从而导致医源性脊髓损伤<sup>[15]</sup>。术中运用 MEP 监测脊髓功能,不仅可对脊髓运动通路的完整性进行预警,还可以对术后运动功能的情况进行预判。Acharya 等<sup>[16]</sup>研究发现,在 61 例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高达 100%,特异度为 96%,阳性预测值为 96%。在 SEP 和 MEP 无反应或出现异常波动无法判断时,EMG 监测可起到关键作用。EMG 是一种可以持续监测颅神经和脊神经是否受到损伤的神经电生理监测方法,可起到实时监测术中神经功能完整性的作用。廉海平等<sup>[17]</sup>对 212 例行腰骶部椎管内肿瘤切除者应用 EMG 监测脊髓神经功能,监测敏感性达到 100%,特异性为 46%,并发现当神经根受到短暂刺激时,异常的肌电图波幅会很快消失;肌电图的波幅越高,持续时间越长,则术后出现医源性脊髓功能损伤的可能性越大;特别是当神经被完整切断时,EMG 的波幅会被异常的伪波所掩盖,所以需要结合其他神经电生理监测方法。球海绵体肌反射是阴部神经受刺激后,通过骶髓反射神经电信号传导通路引起球海绵体肌收缩,此反射可反映周围传入神经功能、骶髓神经功能及传出神经功能的完整性。当骶丛神经根受牵连、压迫或缺血时,球海绵体肌反射波幅也会出现明显的变化,此时需提醒术者有神经受损的可能,术者根据术中情况进行分析判断后可更改手术操作,保护神经组织<sup>[18]</sup>。

## 二、术中 MIOM 可降低脂肪瘤型脊髓栓系 CORD/SAC 平均值

王勇强等<sup>[19]</sup>报道 CORD/SAC 比值与术后脂肪瘤型脊髓栓系患儿的复发率呈正相关。终丝脂肪瘤型脊髓栓系是所有脊髓栓系类型中预后较好的一种,因为骶尾部椎管内脂肪样变性的终丝与周围

并无明显粘连,且无大量异常脂肪、血管等结缔组织增生,所以终丝脂肪瘤型脊髓栓系有非常低的 CORD/SAC 比值。本组病例中有 16 例术中证实为终丝脂肪瘤,在切断终丝之前均使用诱发肌电刺激终丝,其中 3 例出现了肌电反应,仔细探查原因发现终丝腹侧有正常神经组织与之相粘连,仔细游离正常神经组织后再次使用诱发肌电刺激终丝,无肌电反应后切断终丝,保护了神经,避免了医源性神经功能损伤。脂肪瘤型脊髓栓系手术操作的关键是在不损伤神经功能的前提下最大限度切除异常增生的脂肪瘤。术中通过使用 MIOM 不但可避免对正常神经组织造成过度牵拉,还可以帮助术者辨别正常神经组织与异常增生脂肪组织,从而达到在不损伤神经功能的前提下最大限度地切除异常增生组织的目的,松解栓系的脊髓。此外,我们通过使用不可吸收人工硬膜扩大缝合硬脊膜达到增加硬膜囊前后径的作用。本组 44 例脂肪瘤型脊髓栓系患儿在 MIOM 的监测下不仅保护了神经功能,而且通过比较本组病例术前、术后 CORD/SAC 比值发现,术后 CORD/SAC 比值较术前明显降低,患儿术后康复及随访过程中均未发生感染、脑脊液漏和粘连,进一步证实了 MIOM 的监测可降低脂肪瘤型脊髓栓系 CORD/SAC 平均值,降低脊髓栓系术后再栓系的发生率。

## 参 考 文 献

- 1 刘红举,于炎冰,张黎,等. 脊髓栓系综合征的显微神经外科治疗[J]. 中华神经外科杂志,2014,30(3):279-281. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2014.03.021.  
Liu HJ, Yu YB, Zhang L, et al. Microsurgery for tethered cord syndrome[J]. Chin J Neurosurg, 2014, 30(3):279-281. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2014.03.021.
- 2 鲍南,杨波,陈盛,等. 腰骶部脂肪瘤型脊髓栓系的手术治疗[J]. 中华神经外科杂志,2011,27(8):817-820. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2011.08.023.  
Bao N, Yang B, Chen S, et al. Surgical treatment of lipoma-type tethering of conus medullaris[J]. Chin J Neurosurg, 2011, 27(8):817-820. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2011.08.023.
- 3 Pang D, Zovickian J, Oviedo A. Long-term outcome of total and near-total resection of spinal cord lipomas and radical reconstruction of the neural placode: part I-surgical technique[J]. Neurosurgery, 2009, 65(3):511-529. DOI:10.1227/01.NEU.0000363598.81101.7B.
- 4 符松,王苏明,刘兴存,等. 影响小儿脊髓栓系综合征手术

- 疗效的相关因素分析[J]. 局解手术学杂志, 2014, 23(2):191-192, 194. DOI:10.11659/jjssx.1672-5042.201402032.
- Fu S, Wang SM, Liu XC, et al. Related efficacy factor analysis of pediatric tethered cord syndrome[J]. Jreg Anat Oper Surg, 2014, 23(2):191-192, 194. DOI:10.11659/jjssx.1672-5042.201402032.
- 5 Yener S, Thomas DT, Hicdonmez T, et al. The effect of untethering on urologic symptoms and urodynamic parameters in children with primary tethered cord syndrome[J]. Urology, 2015, 85(1):221-226. DOI:10.1016/j.urology.2014.10.008.
  - 6 Ivanov M, Budu A, Sims-Williams H, et al. Using intraoperative ultrasonography for spinal cord tumor surgery[J]. World Neurosurg, 2017, 97:104-111. DOI:10.1016/j.wneu.2016.09.097.
  - 7 Pang D, Zovickian J, Wong ST, et al. Surgical treatment of complex spinal cord lipomas[J]. Children Nerv Syst, 2013, 29(9):1485-1513. DOI:10.1007/s00381-013-2187-4.
  - 8 Korn A, Halevi D, Lidar Z, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during resection of intradural extramedullary spinal cord tumors: experience with 100 case[J]. Acta Neurochir (Wien), 2015, 157(5):819-830. DOI:10.1007/s00701-014-2307-2.
  - 9 Dohrmann GJ, Rubin JM. Intraoperative ultrasound imaging of the spinal cord: syringomyelia, cysts and tumors-a preliminary report[J]. Surg Neurol, 1982, 18(6):395-399. DOI:10.1016/0090-3019(82)90169-0.
  - 10 Shamov T, Eflimov T, Kaprelyan A, et al. Ultrasound-based neuronavigation and spinal cord tumour surgery-marriage of convenience or notified incompatibility? [J]. Turk Neurosurg, 2013, 23(3):329-335. DOI:10.5137/1019-5149.JTN.6639-12.2.
  - 11 Prokopienko M, Kunert P, Podgorska A, et al. Surgical treatment of intramedullary ependymomas[J]. Neurol Neurochir Pol, 2017, 51(6):439-445. DOI:10.1016/j.pjnns.2017.06.008.
  - 12 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.
  - 13 Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, et al. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1995, 96:6-11.
  - 14 Palatinsky E, Discenna A, McDonald H. SSEP and BAEP monitoring of temporary clip application: intraoperative monitoring techniques in neurosurgery [J]. New York: McGraw-Hill, 1994:61-71. 1556-1566. DOI:10.1213/AN E.0000000000001503.
  - 15 Skinner SA, Nagib M, Bergman TA, et al. The initial use of freerunning 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.
  - 16 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.
  - 17 廉海平, 李志锦, 何百祥, 等. 神经电生理监测在腰骶部椎管内肿瘤显微切除术中的应用[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2016, 37(2):179-182. DOI:10.7652/jdyxb201602006.
  - Lian HP, Li ZJ, He BX, et al. Application of intraoperative neuroelectrophysiological monitoring during lumbosacral spinal cord tumor resection[J]. Journal of X'an Jiaotong University (Medical Sciences), 2016, 37(2):179-182. DOI:10.7652/jdyxb201602006.
  - 18 Kulkarni AV, Pierre-Kahn A, Zerah M. Conservative management of asymptomatic spinal lipomas of the conus[J]. Neurosurgery, 2004, 54(4):868-875. DOI:10.1227/01.NEU.0000114923.76542.81.
  - 19 王勇强, 陈民, 王杭州. 肌电图监测在儿童脊髓栓系松解术中的应用[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(12):922-926. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.12.010.
  - Wang YQ, Chen M, Wang HZ. Application of electromyogram monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children[J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(12):922-926. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.12.010.

(收稿日期:2020-02-25)

**本文引用格式:**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.

**Citing this article as:** 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.