

·论著·

多模式神经电生理监测技术在儿童腰椎滑脱后路复位融合固定手术中的应用



全文二维码



开放科学码

冯 磊 张学军 高景淳 郭 东 祁新禹
白云松 曹 隽 李承鑫 孙保胜

【摘要】 目的 探讨多模式神经电生理监测技术在儿童腰椎滑脱后路复位融合固定手术中的应用价值。 **方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2019 年 11 月首都医科大学附属北京儿童医院收治的腰椎滑脱患者 19 例,其中男 2 例,女 17 例,平均年龄(9.1 ± 2.7)岁,均行后路复位融合固定手术。术中同时进行躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potential,SEP)、运动诱发电位(motion evoked potential,MEP)及自由肌电图(free-run electromyography,EMG)监测。阳性判定标准为:与基线相比,MEP 波幅下降 $\geq 80\%$ 、SEP 波幅下降 $\geq 50\%$ 和(或)潜伏期延长 $\geq 10\%$,或者出现任何形式的肌电反应。 **结果** 19 例术中均成功获得具有监护价值且重复性较好的 SEP 及 MEP 波形,成功率 100%。术中在触碰、推挤及牵拉神经根时,相应的自由肌电图监测均出现肌电反应,记录阳性率为 100%。本组患者监测过程中 SEP 与 MEP 波幅或潜伏期改变均未达到预警标准,其中 2 例术中出现一侧连续爆发性肌电反应,及时暂停手术操作后,肌电反应明显减少,继续操作后再次出现肌电反应,术中唤醒并调整手术操作。术后出现该侧下肢神经灼性疼痛,肌力正常,症状均在术后 3 个月内消失。 **结论** 在腰椎滑脱复位手术中进行多模式神经电生理监测,有助于同时了解脊髓完整性及神经根功能状态,降低术中损伤脊髓、神经根的风险,提高手术的安全性。

【关键词】 脊柱前移/外科学;术中神经电生理监测;治疗结果;儿童

【中图分类号】 R681.5 R726.1

Application of multi-modal intraoperative monitoring technology during posterior reduction and fusion fixation of lumbar spondylolisthesis in children. Feng Lei, Zhang Xuejun, Gao Jingchun, Guo Dong, Qi Xinyu, Bai Yunsong, Cao Jun, Li Chengxin, Sun Baosheng. Department of Orthopedics, Affiliated Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China. Corresponding author: Zhang Xuejun, Email: zhang_x_j04@163.com

【Abstract】 Objective To explore the application value of multi-modal intraoperative neuromonitoring during reduction and fusion of lumbar spondylolisthesis in children. **Methods** Retrospective analysis was performed for 19 hospitalized cases of lumbar spondylolisthesis from January 2018 to November 2019. There were 2 boys and 17 girls with an average age of (9.1 ± 2.7) years. During posterior reduction, fusion and fixation, somatosensory evoked potential (SEP), motion evoked potential (MEP) and free-run electromyography (EMG) were monitored simultaneously. Declines of MEP wave amplitude $> 80\%$ and SEP amplitude $> 50\%$ or latent period extending by 10% were diagnosed as positive changes. And myoelectric response indicated that nerve root was provoked as a positive change. **Results** The SEP/MEP amplitudes with excellent monitoring value and repeatability were successfully obtained intraoperatively in all 19 cases with a success rate of 100%. The corresponding intraoperative EMG monitoring showed electromyographic response upon touching, pushing and pulling nerve root and the positive rate was 100%. The amplitude or latency of SEP/MEP failed to reach the warning threshold. In 2 cases (10.5%), there was a continuous explosive myoelectric reaction during opera-

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2021.06.014

基金项目:北京市医院管理局“扬帆”计划临床技术创新项目(编号:XMLX201818)

作者单位:首都医科大学附属北京儿童医院骨科(北京市,100045)

通信作者:张学军, Email: zhang_x_j04@163.com

tion. Also a continuous unilateral explosive EMG reaction was detected. Then operation was suspended in time and EMG reaction significantly declined. EMG reaction occurred again during operation. After operation, nerve burn pain of unilateral lower limb occurred and muscle strength remained normal. The symptoms disappeared within 3 months. **Conclusion** The method of multi-mode intraoperative neuromonitoring during lumbar spondylolisthesis can both record the integrity of spinal cord and the functional status of nerve root in real time. And it may lower the intraoperative risks of injury of spinal cord and nerve root and improve operative safety.

[Key words] Spondylolisthesis/SU; Intraoperative Neuromonitoring; Treatment Outcome; Child

脊髓及神经根损伤是脊柱手术常见并发症之一,儿童腰椎滑脱后路复位融合固定手术中,矫形或神经根减压操作均有可能造成脊髓或神经根损伤^[1]。躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)、运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)和自由肌电图(free-run electromyogram, f-EMG)的多模式联合监测方式,有助于更全面地反映脊髓及神经根的功能,提高监测的敏感性和特异性。有研究表明,脊柱手术中神经系统并发症的发生率为3%~4%^[2]。最近的研究发现,脊柱手术的并发症发生率已降至0.5%~2%^[3]。目前在全世界范围内,多模式神经电生理监测(multi-mode intraoperative neuromonitoring, MIOM)已被确定为脊柱手术的必备辅助手段^[4]。本研究旨在分析 MIOM 监测异常的原因,探讨信号异常与术后并发症的关系。

材料与方法

一、一般资料

选取2018年1月至2019年11月在首都医科大学附属北京儿童医院行腰椎滑脱后路复位融合固定手术的19例患者作为研究对象,其中男2例,女17例;平均年龄(9.1 ± 2.7)岁;Ⅱ度滑脱7例,Ⅲ度滑脱12例。腰痛者15例,下肢疼痛者2例,因外伤行脊柱正侧位片偶然发现者2例。术前已有下肢肌力下降或行腰椎滑脱术后内固定调整者不纳入此研究。

二、麻醉方式

手术采用全静脉麻醉(total intravenous anesthesia, TIVA),全程尽量避免吸入性麻醉药的使用,以防对诱发电位波幅产生抑制作用。麻醉诱导时给予异丙酚3 mg/kg、瑞芬太尼1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、维库溴铵0.6 mg/kg、右旋美托咪定0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,以及0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 舒芬太尼进行气管插管术;诱导结束后不再给予肌松药。之后持续静脉输注芬太尼($0.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)和异丙酚($6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)维持麻醉。异丙酚的用量为 $6 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,镇静深度监测

指标使用脑电双频指数(bispectral index, BIS),维持在40~60。瑞芬太尼的剂量调整为 $0.2 \sim 0.4 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,以维持正常的血压和心率。

三、手术方法

麻醉生效后,患者取俯卧位。切开皮肤、皮下组织,于双侧沿骨膜下剥离,显露L5至S1椎板,横突和棘突,进一步剥离显露其椎板及椎弓根解剖位置,L5、S1椎体置入椎弓根钉。用咬骨钳去除L5椎板,显露硬膜囊和神经根,切除L5、S1间椎间盘至骨性终板,同时切除终板及部分S1椎体,确保其上方骨面平整。截取适当长度棒,预弯生理性腰椎前突及骶椎后凸,上棒后先拧紧双侧骶骨椎弓根钉螺栓,撤出腰部卧位垫,同时拧紧双侧提拉复位螺栓使滑脱逐渐复位,前方置入椎间融合器,融合器内部和周围植入自体骨促进融合。加压矫形,直至C形臂X线检查提示脊柱冠状面无侧弯,矢状面脊柱滑脱得到完全纠正,融合器位置良好。锁紧所有内固定装置。

四、监测方法

手术过程采用美国 Nicolet 生产的 Endeavor CR 神经电生理工作站进行监测。头部针电极定位依据国际通用标准10-20系统^[5]。

1. SEP监测:刺激电极使用表面电极,置于双侧胫后神经,记录电极为Cz,参考电极为Fz。采用方波刺激,刺激强度15~25 mA,频率2.1~4.7 Hz,刺激间期0.1~0.2 ms,灵敏度1~5 μV ,平均叠加200次。大腿处连接地线,连接电极并获得基线。预警标准为与基线相比,SEP波幅下降 $\geq 50\%$ 和(或)潜伏期延长 $\geq 10\%$ 视为阳性,考虑可能存在神经功能损伤^[6]。

2. MEP监测:刺激电极使用针电极,置于大脑运动皮层所对应的C3、C4,记录电极选择双下肢股四头肌、胫前肌、趾长伸肌和拇短展肌。采用方波刺激,刺激强度200~400 V,带通滤波30~500 Hz,刺激间期200~500 μs ,灵敏度50~500 μV 。调节刺激参数时以能引出最佳波形的最小刺激强度为宜。阳性判定标准为与基线相比,MEP波幅下降

≥80%^[7]。

3. f-EMG 监测:根据患者的手术节段,选择相应及临近神经根支配的肌肉放置记录针电极,即监测下肢股四头肌、胫前肌、趾长伸肌和拇短展肌的肌电反应。正常自由肌电图呈直线。为静息波形,如果出现任何形式的肌电反应,均提示神经根受到一定的激惹或损伤,而连续爆发性肌电反应的出现则往往与神经根受到持续的牵拉或者压迫有关^[8]。

结 果

19例患者术中均同时具备SEP、MEP及f-EMG三种监测方式的信号,成功率100%。本组患者监测过程中SEP与MEP波幅或潜伏期改变均未达到预警标准,术后有17例(89.5%)恢复良好,腰腿痛等症状明显缓解或消失,无神经肌肉系统并发症发生;2例(10.5%)术中出现单侧趾长伸肌连续爆发性肌电反应,经提醒后暂停手术操作,肌电反应明显减少,继续手术操作后,仍有成串、波幅较大的肌电反应。及时进行术中唤醒,其中1例肌力正常,探查发现神经根结构完整,但分离过程中牵拉时间较长,尽量减少神经根牵拉;另1例一侧足背伸无力,肌力下降至4级,探查发现复位过程中椎间融合器

对该侧神经根造成了卡压,调整椎间融合器位置,确保神经根无损伤,重新提拉复位。

直至手术结束,无一例再出现爆发性肌电反应。2例术后出现一侧下肢神经灼性疼痛,肌力正常。下肢疼痛症状均在3个月内消失,具体见表1。

讨 论

腰椎滑脱(lumbar spondylolisthesis)是指由于先天性发育不良、创伤、劳损等原因造成相邻椎体骨性连接异常而发生的上位椎体与下位椎体部分或全部滑移。该疾病由Kilian在1854年首次提出^[9]。绝大多数儿童及青少年的腰椎滑脱是先天性的,即出生后就存在发育不良的骨性结构,一旦开始行走,就会造成峡部的应力增加,从而使峡部发生变化或骨折,进一步造成滑脱部位的不稳定和进展。有文献报道儿童腰椎滑脱的发病率为2.5%~3.5%,通常不表现出症状,少数因腰痛或者腿痛就诊,常见于青春期快速发育阶段^[10]。腰痛通常为受累节段不稳定所致,腿痛多与神经根受刺激有关^[11]。根据Meyerding分型,即根据L5椎体向前滑脱的距离与S1椎体顶部前后径之比,可将腰椎滑脱分为5度:I度为≤25%,II度为25%~50%,III度

表1 术中监测方式及术后结果

Table 1 Intraoperative monitoring modes and postoperative outcomes

序号	性别	年龄	临床表现	监测信号是否改变			术后并发症
				SEP	MEP	f-EMG	
1	女	8岁3个月	腰痛	否	否	否	无
2	女	9岁10个月	腰痛	否	否	否	无
3	女	8岁7个月	无症状,偶然发现	否	否	否	无
4	女	12岁9个月	腰痛	否	否	否	无
5	女	13岁8个月	腰痛	否	否	否	无
6	女	8岁4个月	腿疼	否	否	否	无
7	女	5岁3个月	无症状,偶然发现	否	否	否	无
8	女	7岁9个月	腰痛	否	否	否	无
9	女	9岁6个月	腰痛	否	否	是	一侧腿痛、肌力正常
10	女	10岁11个月	无症状,偶然发现	否	否	否	无
11	女	9岁7个月	腰痛	否	否	否	无
12	女	12岁1个月	腰痛	否	否	否	无
13	女	11岁2个月	腿疼	否	否	否	无
14	女	5岁10个月	腰痛	否	否	否	无
15	女	4岁8个月	腰痛	否	否	否	无
16	女	4岁7个月	腿疼	否	否	否	无
17	女	11岁6个月	无症状,偶然发现	否	否	是	一侧腿痛、肌力正常
18	男	13岁2个月	无症状,偶然发现	否	否	否	无
19	男	7岁2个月	腰痛	否	否	否	无

为 50%~75%, IV 度为 $\geq 75\%$, V 度为 L5 椎体全部脱出, 也称之为椎体前移^[12]。滑脱角是指垂直于骶骨后缘和 L5 上终板的线形成的角, 滑脱角越大, 进展的可能性越大^[13]。

发育不良性腰椎滑脱往往在儿童早期出现, 当发生前滑脱时, 部分可压迫神经根和潜在的马尾神经, 且进展较快, 故通常应积极采取手术治疗。Sairyo 等^[14]认为 III ~ IV 度滑脱或有症状的 II 度滑脱是融合手术适应证, I 度和无症状的 II 度滑脱采用保守治疗。手术目的是将滑脱的椎体复位并将其与邻近的椎体融合起来, 彻底解除对脊髓和神经根的压迫^[15]。鉴于手术损伤神经根风险较大, 因此术中要重点保护神经根, 同时兼顾脊髓功能的完整性。为了及时发现术中可能发生的神经系统损伤并及时采取处理措施, 本组患者术中采用了 SEP、MEP、EMG 三种监测模式相结合的方法进行监测。

SEP、MEP 及 EMG 均较易受吸入麻醉药和肌松剂影响, 通过影响神经肌肉间的信号传递对其产生影响^[16]。以上抑制作用在儿童中表现尤为明显, 故本研究中监测人员在手术开始前就与麻醉医生沟通, 手术全程避免使用吸入性麻醉药, 并在诱导后不再使用肌松药, 保持合适的肌肉收缩性, BIS 值维持在 40 ~ 60, 控制好麻醉深度, 从而尽量避免术中监测发生假阴性的结果。因麻醉后药物的浓度尚不稳定, 且肌松药的代谢需要一定时间, 代谢过程中监测的结果经常出现假性好转(如 SEP 波幅增高、MEP 从“无”到“有”的现象)^[17]。因此本组患者均在显露椎板及椎弓根后置入椎弓根钉前重新设置 SEP、MEP 基线。在进行神经根游离、提拉复位等关键步骤时, 应再次与麻醉师沟通, 尽量维持恒定的肌肉收缩, 以获得重复性较好的信号。

SEP 记录的是脊髓后角上行感觉传导功能, 它反映了脊髓后 1/3 的功能, 具有片面性, 但具有不易受麻醉药物影响、安全性高、易于操作等特点^[18]。MEP 记录的是脊髓前角下行运动传导功能, 易受麻醉、血压影响, 但其具有特异性强、灵敏度高等特点, 二者结合, 可以共同保护脊髓功能的完整性^[19]。本组中 SEP、MEP 波幅改变均未达到预警标准, 术后无感觉运动功能障碍。有研究表明, 滑脱复位过程中, 原本紧张的脊髓逐渐得到松弛, 且手术节段椎管内仅存马尾神经, 故直接损伤脊髓风险不大, 这也印证了本研究中均无明显诱发电位波幅下降的原因^[20]。

随着滑脱程度的进展, 神经根持续受到牵拉刺

激, 发生慢性损伤, 但神经根已逐渐适应了新环境的改变^[21]。此外, 儿童神经系统尚处于发育中, 在滑脱手术过程中如操作不当极易引起神经根损伤。因此, 该手术过程监测的重点在神经根。EMG 记录的是特定神经根支配的肌肉上得到的运动单位, 与神经受到牵拉、压迫等刺激后出现去极化有关, 记录到的肌电反应越多就越明显, 提示神经受到的刺激强度越大, 它可以在手术中持续动态地监测神经根的功能。

腰椎滑脱手术部位在 L5、S1 两个椎体, 最易损伤 L5 神经根。本研究中 2 例术中一侧趾长伸肌发生连续暴发性肌电反应, 此类肌电反应的出现提示与 L5 神经根受到持续牵拉或者压迫有关。经提醒后暂停手术操作, 肌电反应明显减少, 继续手术操作后, 仍有成串、波幅较大的肌电反应。及时进行术中唤醒, 其中 1 例患者肌力正常, 探查发现 L5 神经根结构完整, 但分离过程中牵拉时间较长。另一例患者一侧足背伸无力, 肌力下降至 4 级, 探查发现复位过程中椎间融合器对该侧 L5 神经根造成了卡压, 调整椎间融合器位置, 确保神经根无损伤, 重新提拉复位。说明 EMG 对神经根牵拉、挤压等极其敏感, 能及时精确地反映神经根功能状态。术后出现该侧下肢神经灼性疼痛, 但肌力恢复正常, 意味着支配该肌肉的神经根发生轻度损害。由此可见, EMG 在保护神经根方面显得尤为重要, 它能及时发现正在发生的损伤, 提醒手术医生采取措施来避免或者减少损伤。

术中造成神经根损伤的常见原因有过度牵拉神经根、减压、椎弓根钉破入椎间孔内、血压降低、体温降低和神经根暴露时间过长等^[22]。本组中 2 例出现了趾长伸肌异常肌电反应, 趾长伸肌可以伸第二至五趾, 控制足背伸、外翻, 由 L5 神经根支配, 结合手术节段, 推测发生了不同程度的 L5 神经根损伤, 故术中唤醒时出现足背伸无力等肌力下降症状。术后肌力恢复正常, 下肢疼痛症状经过一段时间能消失, 说明这类损伤通常是可逆的。由此可见, EMG 监测能获得损伤神经根的预警作用, 也和预后具有一定关系。儿童术后功能恢复快, 一是与假阳性有关, 肌电反应敏感, 不一定和症状的严重程度成正比; 二是与儿童本身处于生长发育阶段, 神经损伤修复快有关。

鉴于上述各监测方法的优点, 多模式神经电生理监测技术被越来越广泛地应用于脊柱外科手术。由于脊髓的运动和感觉传导通路各自独立, 手术可

以使感觉和运动功能单独受损,SEP 可以反映脊髓感觉传导通路的完整性,MEP 则对脊髓运动传导功能是否损伤起预警作用。EMG 在术中记录到的肌肉电活动直接反映了支配它的神经根的功能状态。三者联合可以相互补充,给手术医生提供神经系统功能是否完好的全方位信息。尤其对于易损伤神经根的腰椎滑脱矫正手术,则应该更多地依靠 EMG 监测结果。

但是,本研究也存在一些不足。首先没有同时监测上肢 SEP、MEP 进行对照,对于麻醉、缺血、体温等导致波幅下降难以区分,容易造成假阳性,可以同时 TOF (Train of four, 四个成串刺激) 监测,以减少上述非手术因素的干扰。其次,样本量相对较少,且仅有 2 例阳性,针对肌电反应和预后的关系还有待进一步研究。

总之,针对儿童腰椎滑脱等腰骶部手术,考虑到术中可能损伤脊髓或者神经根,采用三种监测方法相结合的模式,既可以保护脊髓功能的完整性,又能及早发现神经根损伤,同时对术后并发症的预测也有初步的判断,对儿童腰椎滑脱矫正手术的顺利进行提供了很好的辅助作用。

参考文献

- Calancie B, Donohue ML, Moquin RR, et al. Neuromonitoring with pulse-train stimulation for implantation of thoracic pedicle screws: a blinded and randomized clinical study [J]. J Neurosurg Spine, 2014, 20 (6) : 675 - 691. DOI: 10. 3171/2014. 2. SPINE13648.
- Wilber RG, Thompson GH, Shaffer JW, et al. Postoperative neuro-logical deficits in segmental spinal instrumentation. A study using spinal cord monitoring [J]. J Bone Joint Surg Am, 1984, 66 (8) : 1178 - 1187.
- Cole T, Veeravagu A, Zhang M, et al. Intraoperative neuro-monitoring in single-level spinal procedures: a retrospective propensity score-matched analysis in a national longitudinal database [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39 (23) : 1950 - 1959. DOI: 10. 1097/BRS. 0000000000000593.
- Vitale MG, Skaggs DL, Pace GI, et al. Best practices in intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: development of an intraoperative checklist to optimize response [J]. Spine Deform, 2014, 2 (5) : 333 - 339. DOI: 10. 1016/j. jspd. 2014. 05. 003.
- Chen Y, Wang BP, Yang J, et al. Neurophysiological monitoring of lumbar spinal nerve roots: A case report of postoperative deicit and literature review [J]. Int J Surg Case Rep, 2017, 30 : 218 - 221. DOI: 10. 1016/j. ijscr. 2016. 11. 027.
- Devlin VJ, Anderson PA, Schwartz DM, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring: focus on cervical myelopathy and related issues [J]. Spine J, 2006, 6 (6 Suppl) : S212 - 224. DOI: 10. 1016/j. spinee. 2006. 04. 022.
- Calderón P, Deltenre P, Stany I, et al. Clonidine administration during intraoperative monitoring for pediatric scoliosis surgery: Effects on central and peripheral motor responses [J]. Neurophysiol Clin, 2018, 48 (2) : 93 - 102. DOI: 10. 1016/j. neucli. 2017. 11. 001.
- Yu T, Li QJ, Zhang XW, et al. Multimodal intraoperative monitoring during surgical correction of scoliosis to avoid neurologic damage [J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98 (15) : e15067. DOI: 10. 1097/MD. 00000000000015067.
- Deckey DG, Kalish LA, Hedequist D, et al. Surgical treatment of developmental spondylolisthesis: contemporary series with a two-surgeon team [J]. Spine Deform, 2019, 7 (2) : 275 - 285. DOI: 10. 1016/j. jspd. 2018. 08. 004.
- Klein G, Mehlman CT, McCarty M. Nonoperative treatment of spondylolysis and grade I spondylolisthesis in children and young adults: a meta-analysis of observational studies [J]. J Pediatr Orthop, 2009, 29 (2) : 146 - 156. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e3181977fc5.
- Randall RM, Silverstein M, Goodwin R. Review of pediatric spondylolysis and spondylolisthesis [J]. Sports Med Arthrosc Rev, 2016, 24 (4) : 184 - 187. DOI: 10. 1097/jsa. 0000000000000127.
- Shi L, Chen Y, Miao J, et al. Reduction of slippage influences surgical outcomes of grade II and III lumbar isthmic spondylolisthesis [J]. World Neurosurg, 2018, 120 : e1017 - e1023. DOI: 10. 1016 /j. wneu. 2018. 08. 217.
- Lenke LG, Bridwell KH, Bullis D, et al. Results of in situ fusion for isthmic spondylolisthesis [J]. J Spinal Disord, 1992, 5 (4) : 433 - 442. DOI: 10. 1097/00002517 - 199212000 - 00008.
- Saiyo K, Sakai T, Yasui N, et al. Conservative treatment for pediatric lumbar spondylolysis to achieve bone healing using a hard brace: what type and how long?: Clinical article [J]. J Neurosurg Spine, 2012, 16 (6) : 610 - 614. DOI: 10. 3171/2012. 2. SPINE10914.
- Longo UG, Loppini M, Romeo G, et al. Evidence-based surgical management of spondylolisthesis: reduction or arthrodesis in situ [J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96 (1) : 53 - 58. DOI: 10. 2106/JBJS. L. 01012.
- Benuska J, Plisova M, Zabka M, et al. The influence of anesthesia on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgeries [J]. Bratisl Lek Listy, 2019, 120 (10) : 794 - 801. DOI: 10. 4149/BLL_2019_133.

- 17 Rabai F, Sessions R, Seubert CN. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2016, 30 (1) : 53 - 68. DOI: 10. 1016/j. bpa. 2015. 11. 006.
- 18 Laratta JL, Ha A, Shillingford JN, et al. Neuromonitoring in Spinal Deformity Surgery: A Multimodality Approach [J]. Global Spine Journal, 2018, 8 (1) : 68 - 77. DOI: 10. 1177/2192568217706970.
- 19 Devlin VJ, Schwartz DM. Intraoperative neurophysiologic monitoring during spinal surgery [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2007, 15 : 549 - 560. DOI: 10. 5435/00124635 - 2007 09000 - 00005.
- 20 Verma K, Boniello A, Rihn J. Emerging techniques for posterior fixation of the lumbar spine [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2016, 24 (6) : 357 - 364. DOI: 10. 5435/JAAOS-D-14 - 00378.
- 21 Vialle R, Charosky S, Padovani JP, et al. Surgical treatment of high-grade lumbosacral spondylolisthesis in childhood, adolescent and young adult by the “double-plate” technique: a past experience [J]. EurSpine J, 2006, 15 (8) : 1210 - 1218. DOI: 10. 1007/s00586 - 005 - 005 - 2.
- 22 Oner A, Ely CG, Hermsmeyer JT, et al. Effectiveness of EMG use in pedicle screw placement for thoracic spinal deformities [J]. Spine Care J, 2012, 3 (1) : 35 - 43. DOI: 10. 1055/s-0031 - 1298599.

(收稿日期:2019-12-18)

本文引用格式:冯磊,张学军,高景淳,等. 多模式神经电生理监测技术在儿童腰椎滑脱后路复位融合固定手术中的应用 [J]. 临床小儿外科杂志, 2021, 20 (6) : 582 - 587. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 06. 014.

Citing this article as: Feng L, Zhang XJ, Gao JC, et al. Application of multi-modal intraoperative monitoring technology during posterior reduction and fusion fixation of lumbar spondylolisthesis in children [J]. J Clin Ped Sur, 2021, 20 (6) : 582 - 587. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 06. 014.

(上接第 581 页)

- 19 Iba T, Levy JH. Inflammation and thrombosis: roles of neutrophils, platelets and endothelial cells and their interactions in thrombus formation during sepsis [J]. J Thromb Haemost, 2018, 16 (2) : 231 - 241. DOI: 10. 1111/jth. 13911.
- 20 Wang K, Gao W, Ma N, et al. Acquired diaphragmatic hernia in pediatrics after living donor liver transplantation: Three cases report and review of literature [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97 (15) : e0346. DOI: 10. 1097/MD. 000000000010346.
- 21 Yilmaz M, Akbulut S, Yilmaz S. Gastrointestinal perforation after liver transplant: a single center experience [J]. Exp Clin Transplant, 2017, 15 (2) : 10. DOI: 10. 6002/ect. 2012. 0061.
- 22 Dehghani SM, Nikeghbalian S, Kazemi K, et al. Outcome of bowel perforation after pediatric liver transplantation [J]. Pediatr Transplant, 2008, 12 (2) : 146 - 149. DOI: 10. 1111/j. 1399 - 3046. 2007. 00829. x.
- 23 Schwarz C, Soliman T, Györi G, et al. Abdominal drainage after liver transplantation from deceased donors [J]. Langenbecks Arch Surg, 2015, 400 (7) : 813 - 819. DOI: 10. 1007/s00423 - 015 - 1338 - 3.
- 24 Li Y, Song J, Lin N, et al. Computed tomography scan is superior to x-ray plain film in the diagnosis of gastrointestinal tract perforation [J]. Am J Emerg Med, 2015, 33 (3) : 480. e3 - e5. DOI: 10. 1016/j. ajem. 2014. 08. 048.

(收稿日期:2020-02-16)

本文引用格式:单禹华,顾松,徐敏,等. 小儿肝移植术后肠梗阻病因鉴别及预后分析 [J]. 临床小儿外科杂志, 2021, 20 (6) : 576 - 581, 587. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 06. 013.

Citing this article as: Shan YH, Gu S, Xu M, et al. Differentiation and prognosis of intestinal obstruction after pediatric liver transplantation [J]. J Clin Ped Sur, 2021, 20 (6) : 576 - 581, 587. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 06. 013.