

·专题·儿童脊柱外科·

伴与不伴脊髓空洞的 Chiari 畸形合并脊柱侧凸患儿 脊柱矫形术中神经电生理监测的差异性研究

夏三强 邱俊荫 史本龙 刘臻 孙旭 朱泽章 邱勇

【摘要】目的 比较伴与不伴脊髓空洞的 Chiari 畸形合并脊柱侧凸 (Chiari malformation-associated scoliosis, CMS) 患儿脊柱矫形术中神经电生理监测 (intraoperative neurophysiological monitoring, IONM) 的差异, 探讨脊髓空洞对 CMS 患儿 IONM 监测结果的影响。 **方法** 以 2013 年 7 月至 2016 年 5 月于本院接受脊柱矫形手术的 73 例 CMS 患儿为研究对象, 其中男 34 例, 女 39 例, 平均年龄 (20.6 ± 8.9) 岁。测量并比较伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿体感诱发电位 (somatosensory evoked potentials, SSEPs) 及经颅电刺激运动诱发电位 (transcranial electric motor evoked potentials, TcMEPs) 的波幅和潜伏期, 计算伴与不伴脊髓空洞 CMS 患儿异常 SSEPs 的比例。 **结果** 73 例患儿中, 71 例术中成功获得 SSEPs 监测结果, 73 例均成功获得 TcMEPs 监测结果。伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿之间异常 SSEPs 发生率无显著差异 ($P > 0.05$)。CMS 患儿凹凸侧之间 SSEPs 和 TcMEPs 波幅及潜伏期均无统计学差异 ($P > 0.05$)。伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿之间年龄、身高、SSEPs 的 P37 与 N50 潜伏期、TcMEPs 波幅及潜伏期均无统计学差异 ($P > 0.05$), 而伴脊髓空洞组的主弯 Cobb 角显著升高、SSEPs 波幅显著降低 (均 $P < 0.05$)。 **结论** 伴有脊髓空洞的 CMS 患儿与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿相比具有较高的侧凸 Cobb 角及较低 SSEPs 波幅。因此, 伴脊髓空洞 CMS 患儿侧凸的病情进展较快, 且脊髓空洞对 CMS 患儿 IONM 的损害主要表现在 SSEPs 波幅的降低上, 这需要引起脊柱外科医师的高度重视。

【关键词】 Chiari 畸形; 脊柱侧凸; 脊髓空洞; 术中神经电生理监测

Comparison of intraoperative neurophysiological monitoring in Chiari malformation-associated scoliosis patients with or without syringomyelia. Xia Sanqiang, Qiu Junyin, Shi Benlong, Liu Zhen, Sun Xu, Zhu Zezhang, Qiu Yong. Department of Spinal Surgery, Drum Tower Hospital Clinical College of Nanjing Medical University, Nanjing 210008, China. Corresponding author: Zhu Zezhang, Email: zhuzezhang@126.com

【Abstract】Objective To compare the difference of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) in Chiari malformation-associated scoliosis (CMS) patients with or without syringomyelia and investigate the influence of syringomyelia on IONM in surgical correction of CMS. **Methods** A total of 73 CMS patients were retrospectively reviewed from July 2013 to May 2015. There were 34 boys and 39 girls with an average age of 20.6 ± 8.9 years. The latency and amplitude of somatosensory evoked potentials (SSEPs) and transcranial electric motor evoked potentials (TcMEPs) were compared between concave and convex sides and between CMS patients with and without syringomyelia. And the percentages of abnormal SSEPs were also compared between those with and without syringomyelia. **Results** The values of SSEPs and TcMEPs were successfully obtained in 71 and 73 patients respectively. The percentages of abnormal SSEPs showed no different between those with and without syringomyelia ($P > 0.05$). No significant difference existed between concave and convex sides in latency and amplitude of SSEPs and TcMEPs ($P > 0.05$). No significant difference existed between those with and without syringomyelia in terms of age, height, P37 and N50 latencies of SSEPs, latency and amplitude of TcMEPs ($P > 0.05$). Those with syringomyelia had higher Cobb angle ($P < 0.05$) and lower

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.09.005

基金项目:江苏省博士后科研资助计划(编号:1701018C);江苏省自然科学基金青年基金(编号:BK20170126);中国博士后科学基金面上资助(编号:2017M610323)

作者单位:南京医科大学鼓楼临床医学院脊柱外科(江苏省南京市, 210008)

通讯作者:朱泽章, zhuzezhang@126.com

SSEPs amplitude ($P < 0.05$) as compared with counterparts without syringomyelia. **Conclusion** IONM showed no significant difference between concave and convex sides in CMS patients. And those with syringomyelia have higher Cobb angle and lower SSEPs amplitude than counterparts without syringomyelia.

【Key words】 Chiari Malformation; Scoliosis; Syringomyelia; Intraoperative Neurophysiological Monitoring

Chiari 畸形伴脊柱侧凸 (Chiari malformation-associated scoliosis, CMS) 是一种常见的神经源性脊柱畸形。Chiari 畸形患儿中脊柱侧凸的发生率为 15%~50%, 而特发性脊柱侧凸患儿中小脑扁桃体下疝的发生率为 2.9%~33.3%^[1-5]。Chiari 畸形及脊柱侧凸均可导致患儿出现异常的神经电生理监测结果^[2,5-7]。Cheng 等^[2]提出, 伴异常体感诱发电位 (somatosensory evoked potentials, SSEPs) 的特发性脊柱侧凸患儿中, 小脑扁桃体下疝的发生率约为 33.3%, 这提示特发性脊柱侧凸患儿中, 异常 SSEPs 和小脑扁桃体下疝之间存在关联性。Chau 等^[5]报道, 青少年特发性脊柱侧凸患儿中, 侧凸大于 40° 患儿的发生率显著高于侧凸小于 40° 的患儿, 进一步证明了三者之间的相关性。此外, CMS 患儿常伴有脊髓空洞, 其发生率为 33.3%~88%^[2,8]。Morioka 等^[9]回顾了 11 例脊髓空洞患儿, 发现异常的 SSEPs 高度提示脊髓空洞的存在。Moncho 等^[6]报道脊髓空洞的存在预示 Chiari 畸形患儿具有更高的异常胫后神经 SSEPs 发生率。

自 2000 年起, 术中神经电生理监测 (intraoperative neurophysiological monitoring, IONM) 已成为本院脊柱外科矫形手术中必备的神经功能监测技术之一, 其应用有效降低了术中医源性神经损害的发生率^[10-13]。本研究旨在比较伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿凹凸侧之间 IONM 监测的差异性, 初步探讨脊髓空洞对 CMS 患儿 IONM 监测结果的影响, 并在此基础上评估 IONM 监测结果在 CMS 患儿矫形手术中的应用价值。

材料与方法

一、一般资料

以 2013 年 7 月至 2016 年 5 月于本院行脊柱矫形手术的 CMS 患儿为研究对象。纳入标准: ①行脊柱后路矫形内固定术者; ②术中 SSEPs 或经颅电刺激运动诱发电位 (transcranial electric motor evoked potentials, TcMEPs) 监测资料完整者; ③站立位全脊柱正位片和颈椎核磁共振片 (magnetic resonance

imaging, MRI) 资料完整者; ④人体测量学参数 (如年龄、身高) 完整者。排除标准: ①既往外伤史者; ②脊髓脊膜膨出、脊髓裂、脊髓栓系等脊髓发育性畸形者。最终共纳入有效研究对象 73 例, 其中男 34 例, 女 39 例, 平均年龄 (20.6 ± 8.9) 岁, 平均身高 (155.0 ± 9.6) cm, 术前平均侧凸 Cobb 角为 (70.3 ± 24.5)°; 单纯 CMS 患儿 15 例 (20.5%), CMS 合并脊髓空洞患儿 58 例 (79.5%), 合并脊髓空洞的 58 例患儿行脊柱矫形手术前 8~12 个月均已行枕大孔减压术。研究正式开始前获得本单位伦理委员会批准。

二、神经电生理监测方案

使用加拿大 XLTEK 肌电诱发电位仪或美敦力 (NIM-ECLIPSE) 神经监护仪完成术中神经电生理监测, SSEPs 和 TcMEPs 的监测均从手术开始持续到手术结束。SSEPs 监测流程: 于内踝后 2~3 cm 处以双极电极刺激胫后神经, 刺激参数为恒流方波电脉冲, 波宽 0.2 ms, 波频 2.1 Hz, 强度 30~40 mA; 头颅记录点为脑电图国际 10/20 系统的 Cz, 参考点为头颅的 Fz, 肩膀或大腿接地线, 电极与头皮之间电阻小于 5 kΩ, 记录带宽 30~1 000 Hz, 分析时间 100 ms, 灵敏度 2 μV, 平均叠加 200 次, 重复测量至少 2 次以确保数据可靠性。TcMEPs 监测流程: 刺激电极为头颅脑电图国际 10/20 系统的 C3、C4, 刺激参数为 6~9 个成串方波刺激, 每次刺激持续 200~500 μs, 刺激间隔时间 2~4 ms, 刺激电压最高 500 V。记录电极置于下肢拇展肌、胫前肌和上肢拇短展肌, 记录刺激引发的复合型肌肉动作电位。

SSEPs 监测的报警标准为: 与基线相比 SSEPs 波幅下降大于 50% 和/或潜伏期 P37 延长大于 10%^[14]; TcMEPs 监测的报警标准为: 与基线相比 TcMEPs 单侧或双侧波幅下降大于 80%^[15]。IONM 监测报警处理原则: 当 IONM 监测报警时, 首先确认 IONM 监测变化达到报警标准并重复出现, 排除机械故障、电极脱落、电流等因素的干扰后警告手术医师; 核对并纠正可能引起 IONM 监测结果异常的麻醉及生理学因素, 若监测结果未改善则行唤醒试验, 若唤醒试验阳性, 则提醒手术医师应尽快松开或去除内固定, 必要时可行椎板切除减压, 同时予以脱水、激素冲击等措施保护脊髓, 直至

IONM 监测结果好转为止。最后在 IONM 严密监测下重新上棒矫形,结束手术。

三、统计指标

SSEPs 记录参数包括双下肢 SSEPs 的 P37 和 N50 的潜伏期及波幅。TCeMEPs 记录参数包括双下肢及左上肢 TCeMEPs 的潜伏期和最大波幅。根据 Chiappa 的标准,SSEPs 异常定义:①单侧或双侧波形消失;②单侧或双侧峰潜伏期延长,(大于身高校正正常值+2.5 倍标准差);③峰潜伏期不对称(左右峰潜伏期差值大于正常值+2.5 倍标准差^[17])^[16]。另外,于患儿站立位全脊柱正位片位置测量主弯侧凸 Cobb 角及主弯上、下端椎之间的侧凸角度。

四、统计方法

采用 SPSS17.0 进行统计分析。计量资料以($\bar{x} \pm s$)进行统计描述,计数资料以率、构成比进行统计描述;CMS 患儿凹凸侧之间的 SSEPs、TCeMEPs 监测结果对比、伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿间主弯 Cobb 角及 SSEPs、TCeMEPs 监测结果对比均采用两独立样本 *t* 检验,组间异常 SSEPs 发生率的比较采用 χ^2 检验,无特殊说明时检验水准 α 取 0.05,所有 *P* 值表示双侧概率。

结 果

一、SSEPs 和 TCeMEPs 监测结果分析

73 例患儿中,71 例(97.3%)术中成功获得 SSEPs 监测基线,73 例(100%)成功获得 TCeMEPs 监测基线。71 例成功获得 SSEPs 监测基线的患儿中,伴脊髓空洞组 57 例,不伴脊髓空洞组 14 例;其中伴脊髓空洞组中有 16 例(28.1%)存在异常 SSEPs,不伴脊髓空洞组中有 5 例(35.7%)存在异常 SSEPs,两组间 SSEPs 异常的发生率无统计学差异($\chi^2=0.316, P>0.05$)。以术中唤醒试验结果为金标准,SSEPs 监测结果的敏感性为 100%,特异性为 94.6%;TCeMEPs 监测结果的敏感性为 100%,特异性为 97.3%;联合 SSEPs 和 TCeMEPs 监测结果的敏感性为 100%,特异性为 100%。

二、凹凸侧 SSEPs、TCeMEPs 监测结果比较

结果显示,伴脊髓空洞的 CMS 患儿中,SSEPs 的 P37 潜伏期、N50 潜伏期、波幅在凹凸侧之间均无统计学差异($P>0.05$);TCeMEPs 的潜伏期及波幅在凹凸侧之间无统计学差异($P>0.05$)。不伴脊髓空洞的 CMS 患儿中,SSEPs 的 P37 潜伏期、N50 潜伏期、波幅及 TCeMEPs 的潜伏期、波幅凹凸侧之

间亦均无统计学差异($P>0.05$)。详见表 1 及表 2。

表 1 伴脊髓空洞的 CMS 患者凹凸侧之间 SSEPs、TCeMEPs 监测结果对比

Table 1 Comparison of concave and convex sides in CMS patients with syringomyelia

参数	凹侧	凸侧	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
SSEPs-P37 潜伏期(ms)	36.9 ± 3.5	36.7 ± 3.3	0.818	0.417
SSEPs-N50 潜伏期(ms)	46.7 ± 4.8	46.1 ± 4.3	1.822	0.074
SSEPs-波幅(μV)	2.5 ± 1.5	2.2 ± 1.4	1.947	0.057
TCeMEPs-潜伏期(ms)	39.4 ± 4.2	38.9 ± 4.6	1.016	0.315
TCeMEPs-波幅(μV)	501.2 ± 437.8	406.1 ± 351.8	1.763	0.085

表 2 不伴脊髓空洞 CMS 患儿凹凸侧之间的 SSEPs、TCeMEPs 监测结果对比

Table 2 Comparison of concave and convex sides in CMS patients without syringomyeli

参数	凹侧	凸侧	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
SSEPs-P37 潜伏期(ms)	36.2 ± 2.5	36.7 ± 3.2	-0.831	0.421
SSEPs-N50 潜伏期(ms)	44.8 ± 3.8	45.3 ± 3.3	-0.544	0.595
SSEPs-波幅(μV)	3.9 ± 2.1	3.7 ± 2.5	0.397	0.698
TCeMEPs-潜伏期(ms)	40.0 ± 5.0	39.1 ± 5.0	0.726	0.480
TCeMEPs-波幅(μV)	435.1 ± 296.4	424.7 ± 319.5	0.134	0.895

三、脊髓空洞合并情况与 CMS 之间的关系

伴脊髓空洞组主弯 Cobb 角显著高于不伴脊髓空洞组,SSEPs 波幅则显著低于不伴脊髓空洞组($P<0.05$),而两组之间 SSEPs 潜伏期、TCeMEPs 潜伏期及波幅均无显著统计学差异($P>0.05$)。详见表 3。

讨 论

一、脊柱侧凸凹凸侧之间 IONM 监测结果的差异性

目前,关于脊柱侧凸患儿凹侧与凸侧间 IONM 监测结果对比分析的研究相对较少。Cheng 等^[18]比较了青少年特发性脊柱侧凸患儿与正常人群之间 SSEPs 差异性,结果发现,正常人群中,SSEPs 波幅和潜伏期在左右侧肢之间无显著差异,而青少年特发性脊柱侧凸患儿 SSEPs 监测左右侧肢差异的绝

表3 伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿间主弯 Cobb 角及 SSEPs、TCeMEPs 监测结果对比

Table 3 Comparison of CMS patients with and without syringomyeli

参数	主弯 Cobb 角 (°)	SSEPs			TCeMEPs		TCeMEPs-左上肢	
		P37 潜伏期 (ms)	N50 潜伏期 (ms)	波幅 (μV)	潜伏期 (ms)	波幅 (μV)	潜伏期 (ms)	波幅 (μV)
伴脊髓空洞组	73.1 ± 26.0	36.8 ± 3.4	46.4 ± 4.5	2.4 ± 1.4	39.2 ± 4.4	453.7 ± 397.8	22.9 ± 2.6	1 063.8 ± 1 075.6
不伴脊髓空洞组	59.5 ± 14.0	36.5 ± 2.8	45.1 ± 3.5	3.8 ± 2.3	39.6 ± 4.9	429.9 ± 302.9	24.8 ± 3.8	1 320.7 ± 1 332.0
t 值	2.735	0.532	1.434	-3.209	-0.441	0.300	-1.773	-0.751
P 值	0.009	0.602	0.154	0.003	0.660	0.765	0.093	0.456

对值显著高于对照组,但该研究并未进一步比较侧凸凹侧与凸侧之间的差异性。Chen 等^[17]比较了先天性脊柱侧凸与特发性脊柱侧凸患儿之间的 SSEPs 监测结果,结果提示先天性脊柱侧凸及特发性脊柱侧凸患儿 SSEPs 的波幅和潜伏期在凹凸侧之间均无显著差异。因此,可以认为侧凸方向并非影响患儿 IONM 监测结果的主要因素。

二、脊髓空洞对 IONM 监测的影响

Morioka 等^[9]分析了 11 例颈髓空洞患儿上肢正中神经 SSEPs 监测结果,发现其中 7 例患儿的 SSEPs 监测结果出现异常,因此该研究者认为异常的 SSEPs 高度提示患儿存在脊髓空洞。Moncho 等^[6]回顾性分析了 50 例 Chiari 畸形患儿的 SSEPs 监测结果,发现胫后神经 SSEPs 异常率约为 42%,正中神经 SSEPs 异常率约为 34%,可认为 Chiari 畸形患儿具有较高的异常 SSEPs 发生率。本研究进一步比较了伴与不伴脊髓空洞的 CMS 患儿 IONM 监测结果的差异性,结果发现两组间 SSEPs 的 P37 与 N50 潜伏期、TCeMEPs 波幅及潜伏期等参数均无统计学差异,而伴脊髓空洞组的主弯 Cobb 角显著升高、SSEPs 波幅显著降低。因此,本研究结果提示伴脊髓空洞的 CMS 患儿具有较高的侧凸进展风险和进展速率,且脊髓空洞对 CMS 患儿 SSEPs 的损害主要表现在波幅的降低,而非潜伏期的延长,这在临床工作中需要引起脊柱外科医师的高度重视。与既往文献报道不同的是,本研究中伴和不伴脊髓空洞的 CMS 患儿间异常 SSEPs 的发生率并无显著差异,该结果提示枕大孔减压手术可能对伴有脊髓空洞的 CMS 患儿 IONM 监测结果有一定的改善作用,但该结论尚需通过进一步研究证实。

三、IONM 监测在 CMS 患儿中的应用价值

据既往文献报道,对 CMS 患儿进行术中监测的过程中,单独应用 SSEPs 监测成功率为 72%~87%,单独应用 TCeMEPs 监测成功率为 96%~98.6%,而联合应用 SSEPs 和 TCeMEPs 监测成功率接近

100%^[13,19-21]。刘海雁等^[13]报道 CMS 患儿术中 SSEPs 监测敏感性和特异性分别为 100% 和 95%,TCeMEPs 监测敏感性和特异性分别为 100% 和 98%,联合应用 SSEPs 和 TCeMEPs 监测的敏感性和特异性均为 100%。本研究结果与既往报道结果类似^[13]。

四、本研究的局限性

本研究样本量相对较小,可能存在较大的选择偏倚。伴有脊髓空洞的 CMS 患儿行脊柱矫形手术前均已行枕骨大孔减压手术,而枕骨大孔减压手术与患儿 IONM 监测结果间的关系目前尚无定论。另外,患儿脊髓空洞的位置和形态等参数未纳入研究中,而上述指标可能对患儿神经功能损害及 IONM 监测结果具有潜在影响。

综上所述,CMS 患儿术中应用多模式 IONM 监测可尽早发现术中神经系统损伤,指导术中及时进行对症处理,有效改善患儿预后。此外,伴脊髓空洞的 CMS 患儿侧凸进展较快,且脊髓空洞对 CMS 患儿 IONM 的影响主要表现在 SSEPs 波幅的降低上,这需要引起脊柱外科医师的高度重视。

参考文献

- Zhu Z, Qiu Y, Wang B, et al. Abnormal spreading and sub-unit expression of junctional acetylcholine receptors of paraspinal muscles in scoliosis associated with syringomyelia [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32 (22): 2449 - 2454. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181573d01.
- Cheng JC, Guo X, Sher AH, et al. Correlation between curve severity, somatosensory evoked potentials, and magnetic resonance imaging in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1999, 24 (16): 1679 - 1684. DOI: 10.1097/00007632-199908150-00009.
- Zhu Z, Yan H, Han X, et al. Radiological Features of Scoliosis in Chiari I Malformation Without Syringomyelia [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41 (5): E276 - 281. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001406.

- 4 Tubbs RS, Beckman J, Naftel RP, et al. Institutional experience with 500 cases of surgically treated pediatric Chiari malformation Type I[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2011, 7(3): 248-256. DOI:10.3171/2010.12.PEDS10379.
- 5 Chau WW, Chu WC, Lam TP, et al. Anatomical Origin of Abnormal Somatosensory-Evoked Potential (SEP) in Adolescent Idiopathic Scoliosis With Different Curve Severity and Correlation With Cerebellar Tonsillar Level Determined by MRI[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(10): E598-604. DOI:10.1097/BRS.0000000000001345.
- 6 Moncho D, Poca MA, Minoves T, et al. Brainstem auditory and somatosensory evoked potentials in relation to clinical and neuroimaging findings in Chiari type 1 malformation [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2015, 32(2): 130-138. DOI:10.1097/WNP.0000000000000141.
- 7 Ferré Masó A, Poca MA, de la Calzada, et al. Sleep disturbance; a forgotten syndrome in patients with Chiari I malformation [J]. *Neurologia*, 2014, 29(5): 294-304. DOI: 10.1016/j.nrl.2011.01.008.
- 8 邱勇. 脊柱侧弯伴发 Chiari 畸形或/和脊髓空洞的临床评估[J]. *中华小儿外科杂志*, 2004, 25(5): 392-393. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2004.05.002.
- 9 Morioka T, Kurita-Tashima S, Fujii K, et al. Somatosensory and spinal evoked potentials in patients with cervical syringomyelia [J]. *Neurosurgery*, 1992, 30(2): 218-222. DOI: 10.1227/00006123-199202000-00011.
- 10 Polly DW Jr, Rice K, Tamkus A. What Is the Frequency of Intraoperative Alerts During Pediatric Spinal Deformity Surgery Using Current Neuromonitoring Methodology? A Retrospective Study of 218 Surgical Procedures [J]. *Neurodiagn J*, 2016, 56(1): 17-31. DOI: 10.1080/21646821.2015.1119022.
- 11 Strike SA, Hassanzadeh H, Jain A, et al. Intraoperative Neuromonitoring in Pediatric and Adult Spine Deformity Surgery [J]. *Clin Spine Surg*, 2016. Epub. DOI:10.1097/BSD.000000000000388.
- 12 Stetkarova I, Zamecnik J, Bocek V, et al. Electrophysiological and histological changes of paraspinal muscles in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Eur Spine J*, 2016. Epub. DOI:10.1007/s00586-016-4628-8.
- 13 刘海雁, 朱泽章, 史本龙, 等. 体感诱发电位联合运动诱发电位在 Chiari 畸形伴脊柱侧凸后路矫形手术中的应用价值 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, (4): 299-303. DOI:10.3969/j.issn.1004-406X.2016.04.03.
Liu XY, Zhu ZZ, Shi BL, et al. Use of somatosensory evoked potentials and transcranial electric motor evoked potentials in surgical correction of scoliosis secondary to Chiari malformation [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2016, (4): 299-303. DOI:10.3969/j.issn.1004-406X.2016.04.03.
- 14 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.
- 15 Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Journée H, et al. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(10): 1043-1050. DOI: 10.1097/01.BRS.0000061995.75709.78.
- 16 Chiappa KH. *Evoked Potentials in Clinical Medicine* [M]. New York: Raven Press, 1983. 203-287. DOI: 10.1056/NEJM198205133061904.
- 17 Chen Z, Qiu Y, Ma W, et al. Comparison of somatosensory evoked potentials between adolescent idiopathic scoliosis and congenital scoliosis without neural axis abnormalities [J]. *Spine J*. 2014, 14(7): 1095-1098. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.07.465.
- 18 Cheng JC, Guo X, Sher AH. Posterior tibial nerve somatosensory cortical evoked potentials in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1998, 23(3): 332-337. DOI: 10.1097/00007632-199802010-00009.
- 19 Ashkenaze D, Mudiya R, Boachie-Adjei O, et al. Efficacy of spinal cord monitoring in neuromuscular scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993, 18(12): 1627-1633. DOI: 10.1097/00007632-199309000-00010.
- 20 Hammett TC, Boreham B, Quraishi NA, et al. Intraoperative spinal cord monitoring during the surgical correction of scoliosis due to cerebral palsy and other neuromuscular disorders [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(Suppl 1): S38-41. DOI: 10.1007/s00586-012-2652-x.
- 21 Hsu B, Cree AK, Lagopoulos J, et al. Transcranial motor-evoked potentials combined with response recording through compound muscle action potential as the sole modality of spinal cord monitoring in spinal deformity surgery [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(10): 1100-1106. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31818af6ff.

(收稿日期:2018-08-12)

本文引用格式:夏三强, 邱俊荫, 史本龙, 等. 伴与不伴脊髓空洞的 Chiari 畸形合并脊柱侧凸患儿脊柱矫形术中神经电生理监测的差异性研究 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2018, 17(9): 659-663. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.09.005.

Citing this article as: Xia SQ, Qiu JY, Shi BL, et al. Comparison of intraoperative neurophysiological monitoring in Chiari malformation-associated scoliosis patients with or without syringomyelia [J]. *J Clin Ped Sur*, 2018, 17(9): 659-663. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.09.005.