

临床论著

伴神经损害脊柱侧后凸畸形患者脊髓内移
后路矫形术后神经电生理变化

刘 臻,邱 勇,朱卫国,金梦然,刘兴勇,王 斌,俞 杨,钱邦平,孙 旭,朱泽章

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:观察伴神经功能损害脊柱侧后凸畸形患者脊髓内移后路矫形术后神经电生理变化和功能转归。方法:2005 年 1 月~2014 年 1 月在我院接受脊髓内移、脊柱后路矫形内固定术治疗伴神经损害的脊柱侧后凸畸形患者 14 例,女 6 例,男 8 例;年龄 22.0 ± 14.5 岁(6~53 岁)。术前均表现为双下肢麻木,其中 7 例伴行走不稳;双下肢病理征均为阳性。神经功能 Frankel 分级:C 级 5 例,D 级 9 例。胸弯 11 例,胸腰弯 3 例,后凸顶椎均位于侧凸顶椎区内。术前冠状面主弯 Cobb 角为 $76.9^\circ\pm 33.2^\circ$ ($65^\circ\sim 100^\circ$),后凸 Cobb 角为 $71.5^\circ\pm 31.8^\circ$ ($41^\circ\sim 125^\circ$)。采用加拿大 XLTEK 肌电诱发电位仪分别于术前和术后 1 周检测 14 例患者的体感诱发电位(SEP),术中行 SEP 和运动诱发电位(MEP)监测。在 MRI 上测量顶椎区凸侧脊髓外缘至椎管内缘距离,计算脊髓内移距离。结果:术前胫后神经 SEP P40 的波幅与峰潜伏期为 $1.67\pm 0.38\mu\text{V}$ 和 $38.96\pm 2.51\text{ms}$,术中为 $1.69\pm 0.36\mu\text{V}$ 和 $38.15\pm 2.14\text{ms}$,术中与术前比较波幅与峰潜伏期均无显著性变化($P>0.05$)。术后冠状面主弯 Cobb 角矫正率为 $(50.3\pm 20.6)\%$ ($14.5\%\sim 85\%$),后凸 Cobb 角矫正率为 $(39.0\pm 17.7)\%$ ($20.8\%\sim 57.9\%$);顶椎区脊髓位置平均内移 $2.3\pm 1.6\text{mm}$ ($0.6\sim 4.4\text{mm}$)。术后 1 周时胫后神经 SEP P40 波幅与潜伏期为 $2.10\pm 0.35\mu\text{V}$ 和 $35.54\pm 2.12\text{ms}$,与术前比较明显改善($P<0.05$)。神经功能均有明显改善。结论:脊髓内移后路矫形内固定治疗伴神经损害的脊柱侧后凸畸形术后患者神经电生理指标和神经功能均明显改善。

【关键词】脊柱侧后凸畸形;脊髓内移术;神经电生理监测

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.07.02

中图分类号:R741.04,R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-07-0580-05

Neurological outcomes of transvertebral transposition of the spinal cord and posterior correction in patients suffering from neurologic deficit secondary to angular kyphoscoliosis/LIU Zhen, QIU Yong, ZHU Weiguo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(7): 580-584

【Abstract】Objectives: To assess the neurological outcomes of transvertebral transposition of the spinal cord and posterior correction in patients suffering from neurologic deficit secondary to kyphoscoliosis. Methods: From January 2005 to January 2014, fourteen patients with at least 1-year follow-up, including 6 females and 8 males, suffering from neurologic deficit secondary to angular kyphoscoliosis and undergoing transvertebral transposition of the spinal cord and posterior correction in our spinal center were reviewed retrospectively. The initial age averaged 22.0 ± 14.5 years (range, 6-53 years). The etiologies of deformity were congenital kyphoscoliosis in 10 patients and idiopathic kyphoscoliosis in 4 patients. Preoperative spinal cord function graded by Frankel criteria was grade C in 5 cases and grade D in 9 cases. The initial major curve was $76.9^\circ\pm 33.2^\circ$ (range, $65^\circ\sim 100^\circ$) with a global kyphosis of $71.5^\circ\pm 31.8^\circ$ (range, $41^\circ\sim 125^\circ$). Neurological examinations were performed before surgery and 1 week after discharge. The change of distance between spinal cord and canal on the convex side at the apex was measured on MR images to evaluate the efficacy of transposition. Results: There were no significant changes in terms of the latency and amplitude of posterior tibial nerve P40 intraoperatively (amplitude: $1.67\pm 0.38\mu\text{V}$ vs. $1.69\pm 0.36\mu\text{V}$, $P>0.05$; latency: $38.96\pm 2.51\text{ms}$ vs. $38.15\pm 2.14\text{ms}$, $P>0.05$), while significant improvements were observed postoperatively(amplitude: $1.67\pm 0.38\mu\text{V}$

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:81301521);南京大学中央高校苗圃项目(编号:021414310062)

第一作者简介:男(1981-),医学博士,主治医师,研究方向:脊柱外科

电话:(025)83105121 E-mail:drliuzhen@163.com

通讯作者:朱泽章 E-mail:zhuzezhang@126.com

vs. $2.10 \pm 0.35 \mu\text{V}$, $P < 0.05$; latency: $38.96 \pm 2.51 \text{ms}$ vs. $35.54 \pm 2.12 \text{ms}$, $P < 0.05$). The distance between spinal cord and canal on the convex side at the apex changed from 11.9mm (range, $3 \sim 21.8 \text{mm}$) to 9.8mm (range, $1.8 \sim 17.1 \text{mm}$) ($t = 4.170$, $P = 0.004$), decreased by $2.3 \pm 1.6 \text{mm}$ on average (range, $0.6 \sim 4.4 \text{mm}$). After surgery, the major curve improved to $39.3^\circ \pm 19.0^\circ$ (range, $15^\circ \sim 55^\circ$) with a $(50.3 \pm 20.6)\%$ (range, $14.5\% \sim 85\%$) correction rate, and the mean loss of correction was 6.2% (range, $1.8\% \sim 20\%$). The mean kyphosis was $41.3^\circ \pm 15.4^\circ$ (range, $22^\circ \sim 69^\circ$), demonstrating a $(39.0 \pm 17.7)\%$ (range, $20.8\% \sim 57.9\%$) correction rate immediately after operation, and showing a 3.2% (range, $5.2\% \sim 10\%$) correction loss at the final follow-up. **Conclusions:** Transvertebral transposition of the spinal cord is a useful procedure for the treatment of neurologic deficit secondary to angular kyphoscoliosis, with good neurological recovery.

【Key words】 Spinal kyphoscoliosis; Transvertebral transposition of the spinal cord; Intraoperative neurophysiologic monitoring

【Author's address】 Department of Orthopaedic Surgery, the Affiliated Drum Tower Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing, 210008, China

重度脊柱侧后凸畸形由于椎体高度旋转、凸凹侧椎弓根直径不一,置入椎弓根螺钉难度大,行后路矫形术时极易发生螺钉拔出或严重神经并发症^[1]。近年来随着后路全脊椎截骨术的应用,重度脊柱侧后凸畸形矫正效果得到了明显提高;然而此类患者术前伴发的神经功能损害术后并未得到明显改善,甚至可能进一步加重^[2,3]。1947 年 Hyndman 等^[4]首次采用脊髓内移术治疗先天性颈胸段侧后凸畸形伴下肢不完全瘫痪患者。之后该方法逐渐被应用于治疗伴有脊髓神经受压的脊柱侧后凸畸形患者,且大部分患者术后神经功能有不同程度的恢复^[5-7]。神经电生理监测技术体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)、运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)的应用使得脊柱矫形手术的安全性大大提高,不仅可降低不良置钉损伤神经的危险,而且避免了术中反复影像导航产生的辐射损害^[8]。我院自 2005 年起对伴有神经损害的重度脊柱侧后凸畸形患者进行后路矫形内固定手术的同时采用脊髓内移手术,并通过神经电生理监测对患者神经功能进行动态分析,以系统评估此类患者神经功能转归。

1 资料与方法

1.1 一般资料

病例入选标准:(1)重度脊柱侧后凸畸形患者伴有神经功能损害;(2)行脊髓内移术并脊柱后路矫形内固定术;(3)随访 1 年以上。2005 年 1 月~2014 年 1 月共有 14 例合并神经功能损害的重度脊柱侧后凸畸形患者入选本研究。其中男 8 例,女 6 例;年龄 22.0 ± 14.5 岁($6 \sim 53$ 岁)。全脊髓 MRI 检

查证实均无脊髓发育畸形。均表现为双下肢麻木,7 例伴行走不稳。双下肢病理征均为阳性。神经功能 Frankel 分级:C 级 5 例,均为先天性脊柱侧后凸患者;D 级 9 例,其中先天性脊柱侧后凸患者 5 例,特发性脊柱侧后凸患者 4 例。胸弯 11 例,胸腰弯 3 例,后凸顶椎均位于侧凸顶椎区内。术前冠状面主弯 Cobb 角为 $76.9^\circ \pm 33.2^\circ$ ($65^\circ \sim 100^\circ$),后凸 Cobb 角为 $71.5^\circ \pm 31.8^\circ$ ($41^\circ \sim 125^\circ$)。

1.2 神经电生理检测

采用加拿大 XLTEK 肌电诱发电位仪分别于术前和术后 1 周检测 14 例患者的胫后神经 SEP。检测在隔音的电磁屏蔽暗室内进行,室温 $22^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$,受检者平卧位,闭目,放松全身肌肉。术中行 SEP 和 MEP 监测。

1.2.1 SEP 检测 术前及术后 1 周在内踝后 $2 \sim 3 \text{cm}$ 处以双极电极刺激胫后神经(恒流方波电脉冲,波宽 0.2ms ,波频 1.9Hz ,刺激量以出现跖趾跖屈为准)。脑部表面记录电极部位:头皮的“足”区(脑电图国际 10-20 系统的 Cz,以 Fz 为参考点,肩膀连地线,每个电极与头皮间电阻均小于 $5 \text{k}\Omega$,记录带宽 $300 \sim 1000 \text{Hz}$,分析时间 100ms ,灵敏度 $2 \mu\text{V}$,平均叠加 200 次)。重复测量 2 次以上确保数据的稳定性及可重复性。

1.2.2 MEP 检测 采用经颅电刺激技术。刺激电极放置于 C3、C4 两点。记录电极放置于下肢腓展肌(abductor hallucis brevis, AHB),记录刺激引发的复合型肌肉动作电位。

1.3 手术方法

常规全麻后取俯卧位,后正中入路。在预定固定区内置入椎弓根螺钉。根据术前 MRI 上顶椎区

脊髓受压情况决定脊髓内移术范围。使用磨钻及咬骨钳去除脊髓受压节段凹侧椎板关节突及椎弓根后可见脊髓整体向凹侧移位,以解除脊髓压迫。不切除凸侧后份结构。完成脊髓内移术后置棒矫形,自体骨加异体骨于关节突处植骨,冲洗止血后逐层严密缝合切口。手术全程均在脊髓电生理监护下完成。

1.4 影像学测量

所有患者拍摄术前及术后站立位全脊柱 X 线片,测量冠状面主弯 Cobb 角及后凸 Cobb 角,且均进行术前全脊柱 CT 及 MRI 平扫,并测量顶椎区脊髓位置:MRI 横断面图像上顶椎区凸侧脊髓外缘至椎管内缘的距离。脊髓内移距离等于顶椎区凸侧术前脊髓外缘至椎管内缘的距离减去术后脊髓外缘至椎管内缘的距离(图 1)。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计软件(SPSS 公司,美国)进行数据录入及统计学分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,术前与术中、术前与术后 1 周 SEP 参数及手术前后各影像学指标间的比较采用配对 t 检验。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

术前 MRI 显示 14 例患者侧后凸顶椎凹侧脊髓均受压变形,术后 MRI 显示顶椎区脊髓位置发生改变,顶椎区凸侧脊髓外缘至椎管内缘平均距离由术前 $11.8 \pm 6.4\text{mm}$ ($3 \sim 21.8\text{mm}$) 减小为术后 $9.5 \pm 6.3\text{mm}$ ($1.8 \sim 17.1\text{mm}$),即脊髓位置平均内移 $2.3 \pm 1.6\text{mm}$ ($0.6 \sim 4.4\text{mm}$)。术后冠状面主弯 Cobb 角为 $39.3^\circ \pm 19.0^\circ$ ($15^\circ \sim 55^\circ$),矫正率为 $(50.3 \pm 20.6)\%$ ($14.5\% \sim 85\%$);术后后凸 Cobb 角为 $41.3^\circ \pm 15.4^\circ$ ($20^\circ \sim 72^\circ$),矫正率为 $(39.0 \pm 17.7)\%$ ($20.8\% \sim 57.9\%$)。术中、术后无瘫痪、死亡等并发症,随访

中无断钉断棒、内固定松动、假关节形成等并发症。

术前、术中及术后 1 周的 SEP 变化见表 1 及图 2。与术前相比,术中胫后神经 SEP 波幅与潜伏期无显著性变化($P > 0.05$),术后 1 周时胫后神经 SEP 波幅与潜伏期较术前明显改善($P < 0.05$)。5 例术前 Frankel C 级患者中有 4 例在出院时神经功能恢复至 D 级,3 个月随访时恢复为 E 级;1 例出院时神经功能无明显改善,9 个月随访时恢复至 D 级。9 例术前 Frankel D 级患者中 7 例出院时神经功能改善明显,均恢复至 E 级;另 2 例出院时未见明显改善,但分别于术后 3 个月与 6 个月恢复至 E 级。末次随访时所有患者的神经功能均保持良好(D 级 1 例,E 级 13 例)。

3 讨论

3.1 脊髓内移术在治疗伴有神经损害的脊柱侧后凸畸形中的应用

重度脊柱侧后凸畸形常伴有脊髓神经损害,多表现为双下肢麻木、站立不稳甚至行走困难,且神经损害症状与顶椎区角状侧后凸程度密切相

表 1 术前、术中及术后 1 周时患者胫后神经 SEP 波幅及潜伏期 ($n=14, \bar{x} \pm s$)

Table 1 The amplitude and latency of SEP of the posterior tibial nerve at preoperation, intraoperation and 1 week after operation

	术前 Preoperation	术中 Intraoperation	术后 1 周 1 week after operation
波幅(μV) Amplitude	1.67 ± 0.38	1.69 ± 0.36	$2.10 \pm 0.35^{\text{①}}$
潜伏期(ms) Latency	38.96 ± 2.51	38.15 ± 2.14	$35.54 \pm 2.12^{\text{①}}$

注:①与术前比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P < 0.05$

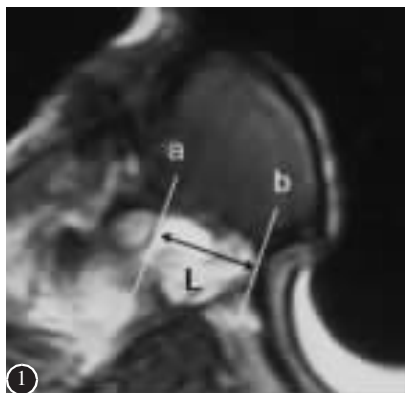


图 1 脊髓内移距离测量方法(a 为与脊髓凸侧相切且垂直于椎体的直线,b 为与椎管凸侧相切且垂直于椎体的直线,L 为 a 与 b 之间的垂直距离;脊髓内移距离=术前 L-术后 L)

Figure 1 The measurement of spinal cord transposition distance (line a is the line tangent to the convex side of the spinal cord and perpendicular to the vertebral body, line b is the line tangent to the convex side of the spinal canal and perpendicular to the vertebral body, line L is the vertical distance between line a and line b; the distance of spinal cord transposition = preoperative L - postoperative L)

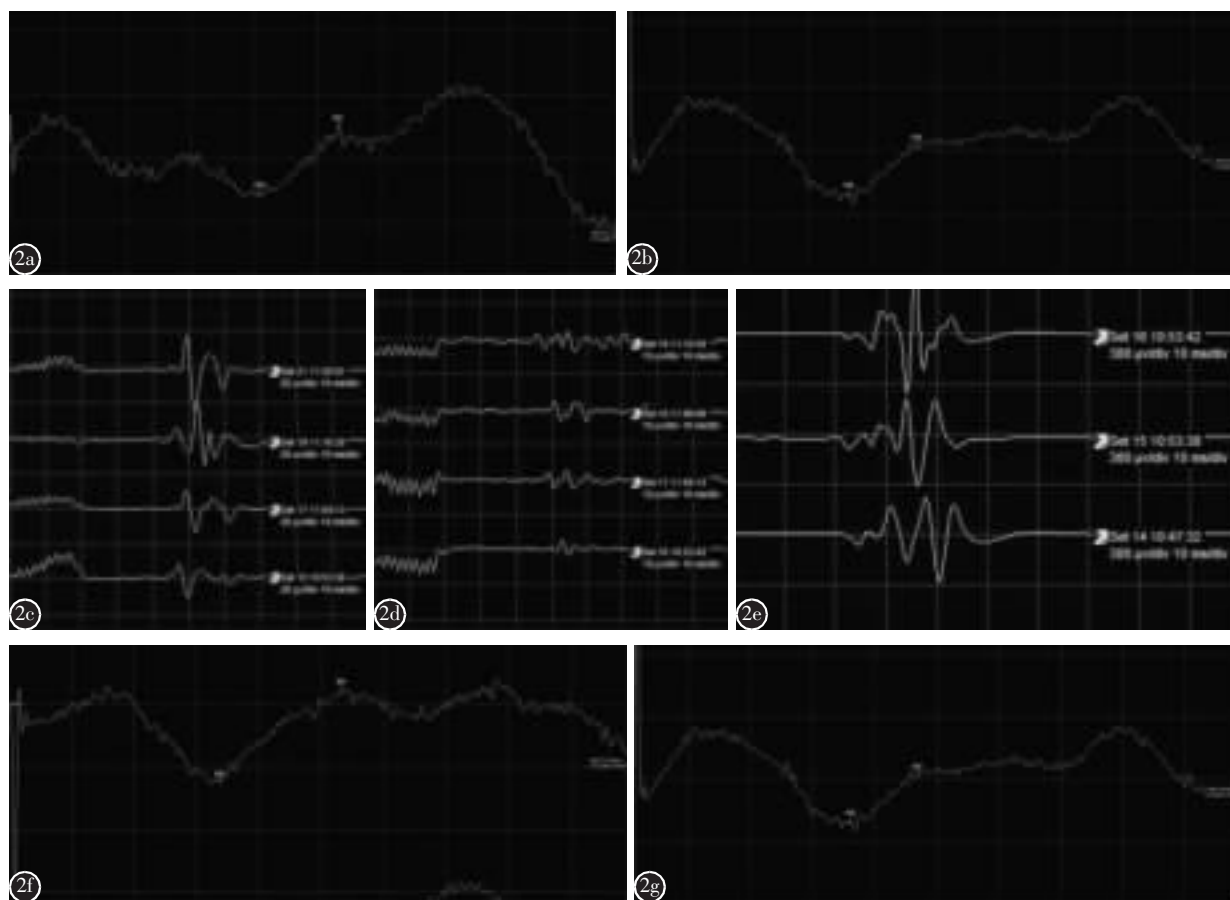


图 2 患者男, 18 岁, 先天性脊柱侧后凸畸形伴双下肢不全瘫 **a、b** 术前左下肢 SEP 波幅为 $1.1\mu\text{V}$, 潜伏期为 40ms, 右下肢 SEP 波幅为 $1.1\mu\text{V}$, 潜伏期为 36ms **c~e** 术中 MEP 未见明显变化 **f、g** 术后 1 周左下肢 SEP 波幅为 $1.8\mu\text{V}$, 潜伏期为 35ms, 右下肢 SEP 波幅为 $1.9\mu\text{V}$, 潜伏期为 34ms, 较术前有明显改善

Figure 2 Male, 18 years old, diagnosed as congenital kyphoscoliosis with incomplete paralysis **a, b** Preoperatively, the amplitude of SEP of the left lower limb was $1.1\mu\text{V}$, the latency was 40ms; the amplitude of SEP of the right was $1.1\mu\text{V}$, the latency was 36ms **c~e** No obvious change of MEP was obtained during the surgery **f, g** One week after operation, the amplitude of SEP of the left lower limb was $1.8\mu\text{V}$, the was latency is 35ms; the amplitude of SEP of the right was $1.9\mu\text{V}$, the latency was 34ms, which showed significantly improvement compared with the preoperative values

关。对于此类患者而言, 由于侧凸顶椎区域发育异常, 使得脊柱后凸畸形逐渐加重; 严重的后凸畸形也促进了侧凸的发展。在侧后凸顶椎区, 脊髓紧贴凹侧内壁, 同时受到牵拉及压迫作用, 脊髓缩小变形及张力增加是产生脊髓神经损害的主要原因。

1947年, Hyndman^[4]首次介绍了应用脊髓内移手术治疗 1 例先天性颈胸段侧后凸畸形伴下肢不完全瘫痪的患者, 该患者于术后 3 个月神经功能得到改善。此后这一技术逐渐被部分学者采用^[5-7], 大部分患者术后神经功能有不同程度的恢复, 同时也存在神经功能未改善甚至加重的患者。尽管脊髓内移术作为脊柱侧后凸畸形伴神经损害的治疗方案早已应用于临床, 但既往研究病例数较少,

并且目前尚无文献对此类患者行脊髓内移术后神经功能的动态转归做系统描述。对于此类患者而言, 神经功能改善与否的重要性远大于矫形。因此精确评估此类患者应用脊髓内移术后神经功能显得尤为关键。

3.2 严重脊柱侧后凸畸形伴神经损害患者的术中监测

早在 20 世纪 50 年代, SEP 就被应用于神经系统病损患者的研究^[8]。该方法对于术中脊髓的牵拉、缺血或压迫较敏感, 且具有连续检测的功能, 因此该技术在临床上得到广泛应用^[9]。MEP 则是利用电或磁刺激皮层运动区或脊髓产生兴奋, 在刺激点下方的传出路径及效应器——肌肉所记

录到的电反应^[10]。该方法监测脊髓神经损害的特异性和敏感性较高^[11]。但 MEP 不能直接反应脊髓感觉功能且无法连续监测,因此,需与 SSEP 联合应用以提高监测的可靠性。

鉴于各种监测方法都具有不同的优缺点,目前临床上更多使用多模式监测^[12]。多模式监测可进行联合互补,对脊髓神经功能监测更加全面,更加及时准确,进而提高手术安全性^[13]。既往研究表明,SEP 能客观反映脊髓型颈椎患者的颈脊髓功能从而可早期辅助判断临床预后^[13]。但是,关于 SEP 是否可以预测重度脊柱侧后凸畸形行脊髓内移术后神经功能的转归目前尚不得而知。在本研究中我们采用多模式联合神经电生理技术动态监测,在保证重度脊柱侧后凸畸形患者矫形术中监测准确和有效的同时连续评估此类患者行脊髓内移术前术后神经功能转归。

3.3 重度脊柱侧后凸畸形患者应用脊髓内移术的神经功能转归

本研究中 14 例重度脊柱侧后凸畸形患者术前均存在神经功能损害,7 例患者术前表现为双下肢麻木伴行走不稳,7 例患者表现为双下肢麻木;所有患者双下肢病理征均为阳性。5 例神经功能 Frankel 分级为 C 级,9 例为 D 级。术中行脊髓内移术后我们发现胫后神经 P40 的波幅与术前相比有所增加($1.67 \pm 0.38 \mu V$ vs. $1.69 \pm 0.36 \mu V$),潜伏期较术前有所缩短($38.96 \pm 2.51 ms$ vs. $38.15 \pm 2.14 ms$),但未达到统计学差异;伴随着脊髓神经受压的解除,术后 1 周神经电生理监测结果显示 14 例患者胫后神经 P40 波幅与峰潜伏期较术前显著改善(波幅: $1.67 \pm 0.38 \mu V$ vs. $2.10 \pm 0.35 \mu V$, $P < 0.05$; 峰潜伏期: $38.96 \pm 2.51 ms$ vs. $35.54 \pm 2.12 ms$, $P < 0.05$)。值得注意的是,有 3 例患者在出院时 Frankel 分级较术前无明显改善,但此时这 3 例患者的 SEP 波幅明显较术前上升、潜伏期显著缩短,术后末次随访时 1 例患者由术前的 Frankel C 级恢复至 D 级,2 例患者由 Frankel D 级恢复至 E 级。

综上所述,对于重度脊柱侧后凸畸形伴神经损害的患者而言,多模式神经电生理监测可全面持续地监测脊髓功能,围手术期神经电生理动态监测可以更灵敏地评估此类患者神经功能转归,也证明了脊髓内移术合并后路矫形内固定术可以

安全有效地改善严重脊柱侧后凸畸形患者的神经功能。但本组病例较少,随访时间不足 2 年,神经功能恢复情况需要进一步长期随访。

4 参考文献

1. De Giorgi G, Stella G, Becchetti S, et al. Cotrel-Dubousset instrumentation for the treatment of severe scoliosis [J]. Eur Spine J, 1999, 8(1): 8-15.
2. Shimode M, Kojima T, Sowa K. Spinal wedge osteotomy by a single posterior approach for correction of severe and rigid kyphosis or kyphoscoliosis[J]. Spine, 2002, 27(20): 2260-2267.
3. 邱勇, 朱泽章, 王斌, 等. 严重脊柱侧后凸畸形后路全脊椎截骨术后残留后凸畸形的原因及处理策略 [J]. 中华骨科杂志, 2008, 28(1): 14-19.
4. Hyndman OR. Transplantation of the spinal cord: the problem of kyphoscoliosis with cord signs [J]. Surg Gynecol Obstet, 1947, 84(4): 460-464.
5. Love JG, Erb HR. Transplantation of the spinal cord for paraplegia secondary to Pott's disease of the spinal column[J]. Arch Surg, 1949, 59(3): 409-421.
6. Love JG. Transplantation of the spinal cord for the relief of paraplegia[J]. AMA Arch Surg, 1956, 73(5): 757-763.
7. Barber JB, Epps CH. Antero-lateral transposition of the spinal cord for paraparesis due to congenital scoliosis [J]. J Natl Med Assoc, 1968, 60(3): 169-172.
8. 王洪伟, 李长青, 周跃. 术中神经电生理监测在脊柱椎弓根螺钉置入中的应用进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2011, 19(9): 743-746.
9. Nitzschke R, Hansen-Algenstaedt N, Regelsberger J, et al. Intraoperative electrophysiological monitoring with evoked potentials[J]. Anaesthesist, 2012, 61(4): 320-335.
10. 潘映辐, 王纪佐, 戚以胜, 等. 临床诱发电位学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999. 107-119.
11. Modi HN, Suh SW, Yang JH, et al. False-negative transcranial motor-evoked potentials during scoliosis surgery causing paralysis: a case report with literature review [J]. Spine, 2009, 34(24): E896-E900.
12. Sutter M, Deletis V, Dvorak J, et al. Current opinions and recommendations on multimodal intraoperative monitoring during spine surgeries[J]. Eur Spine J, 2007, 16(Suppl 2): S232-237.
13. Vitale MG, Moore DW, Matsumoto H, et al. Risk factors for spinal cord injury during surgery for spinal deformity [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(1): 64-71.

(收稿日期:2015-05-08 末次修回日期:2015-06-08)

(英文编审 郑国权/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)