

双生长棒技术治疗早发性1型神经纤维瘤病 营养不良型脊柱侧凸的疗效分析

杨 阳, 仇建国, 沈建雄, 赵 宇, 于 斌, 邱贵兴, 王以朋, 王升儒, 张延斌, 林莞峰

(北京协和医学院 北京协和医院骨科 100730 北京市)

【摘要】目的:评估双生长棒技术治疗早发性 1 型神经纤维瘤病营养不良型脊柱侧凸的临床疗效。**方法:**回顾性研究 2010 年 5 月~2014 年 3 月于我科接受双生长棒技术治疗的 8 例早发性 1 型神经纤维瘤病营养不良型脊柱侧凸患者(男 2 例,女 6 例),平均年龄为 7.4 ± 1.4 岁(5~9 岁)。通过复习病历,对患者年龄、撑开次数及并发症进行记录;同时对影像学资料进行测量分析。测量指标包括侧凸主弯 Cobb 角、胸后凸、腰前凸、T1-S1 长度,对畸形的矫正情况以及脊柱、胸廓的生长指标(Campbell's space available for lung ratio, SAL)进行评估。**结果:**所有患者平均随访时间为 36.9 ± 13.5 个月(24~64 个月)。8 例患者共接受 41 次手术,其中 33 次为撑开手术,平均每位患者经历 4.1 次撑开手术。冠状面主弯 Cobb 角术前为 $75.4^\circ\pm 26.4^\circ$,术后矫正至 $31.6^\circ\pm 10.8^\circ$,末次随访时为 $30.9^\circ\pm 11.4^\circ$ 。T1-S1 长度从术前的 30.0 ± 4.4 cm 增至术后的 35.1 ± 4.0 cm,末次随访时为 39.9 ± 3.5 cm,平均年增长率为 1.66 ± 0.43 cm/y。术前 SAL 为 0.92 ± 0.10 ,术后改善至 0.99 ± 0.02 ,末次随访时为 1.00 ± 0.05 。有 3 例患者发生了 5 例次并发症,主要为内固定相关并发症(4 例次);无感染以及神经系统并发症发生。**结论:**双生长棒技术治疗早发性 1 型神经纤维瘤病营养不良型脊柱侧凸安全有效,可有效地控制脊柱畸形的进展,保留脊柱的生长潜能,同时可以在一定程度上矫正患者的胸廓畸形,总体并发症发生率并无明显增高。

【关键词】1 型神经纤维瘤病;早发性脊柱侧凸;营养不良型;双生长棒技术;非融合技术;并发症

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.06.04

中图分类号:R682.3, R596.1 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-06-0495-06

The efficacy of dual growing rod technique in the treatment of early onset dystrophic scoliosis with neurofibromatosis type 1/YANG Yang, ZHANG Jianguo, SHEN Jianxiong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(6): 495-500

【Abstract】Objectives: To evaluate the clinical efficacy of dual growing rod (GR) technique in the treatment of early onset dystrophic scoliosis (EOS) with neurofibromatosis type 1 (NF-1). **Methods:** Eight patients (2 males, 6 females) receiving dual GR technique for EOS with NF-1 in our hospital, from May 2010 to March 2014, were retrospectively reviewed. The average age was 7.4 ± 1.4 years old (range, 5-9 years). The medical records of all these patients were reviewed. The parameters included age at initial surgery and the final follow-up, number and frequency of lengthening, and complications. Radiographic evaluation included scoliosis Cobb angle, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, trunk shift, length of T1-S1, and Campbell's space available for lung ratio (SAL). **Results:** The mean follow-up was 36.9 ± 13.5 (range, 24-64) months. A total of 41 surgeries were performed, and 33 of them were lengthening procedures, with an average of 4.1 lengthenings for each patient. The mean scoliosis Cobb angle improved from $75.4^\circ\pm 26.4^\circ$ to $31.6^\circ\pm 10.8^\circ$ after initial surgery and was $30.9^\circ\pm 11.4^\circ$ at the final follow-up. The average growth of T1-S1 length was 1.66 ± 0.43 cm/y. The SAL increased from 0.92 ± 0.10 to 0.99 ± 0.02 after initial surgery and was 1.00 ± 0.05 at the final follow-up. Five complications occurred in 3 patients and most of them were implant-related (4 complications). No infection and nervous system complications occurred. **Conclusions:** The dual GR technique is safe and effective for patients with early onset dystrophic scoliosis secondary to NF-1. It maintains correction achieved at initial

基金项目:国家自然科学基金面上项目(No.81672123)

第一作者简介:男(1988-),医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)69152800 E-mail:kaido137@hotmail.com

通讯作者:仇建国 E-mail:jgzhang_pumch@yahoo.com

surgery while allowing the growth of the spine and thoracic cage, without significant increase of total complication rate.

【Key words】 Neurofibromatosis type 1; Early onset scoliosis; Dystrophic; Dual growing rod technique; Fusionless technique; Complications

【Author's address】 Department of Orthopedics, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College, Beijing, 100730, China

1型神经纤维瘤病(neurofibromatosis type 1, NF-1), 又称 Von Recklinghausen 病或周围型神经纤维瘤病, 临床主要表现为累及骨骼、皮肤和软组织为主, 常伴有脊柱及其他骨骼的畸形^[1,2]。其中脊柱侧凸是 NF-1 患者中最常见的骨骼畸形表现, 发生率可达 10%~30%^[3~5]; 此类患者的侧凸多呈进展性, 支具等保守治疗无效, 多数需要手术治疗。对于早发性脊柱侧凸患者而言, 传统的脊柱融合术会导致“短躯干”畸形以及胸廓发育不良综合征, 对患者产生严重的不良影响。非融合技术例如生长棒、纵向可撑开人工钛肋(vertical expandable prosthetic titanium rib, VEPTR)、Shilla 等技术, 在控制畸形的同时可允许脊柱继续生长, 是较理想的治疗选择^[6~9]。但 NF-1 患者的骨骼发育存在异常, 骨的强度差, 椎弓根发育不良甚至缺如^[5,10~14], 在建立锚定点时存在很大的困难, 使得非融合技术在治疗此类畸形中的应用受到很大的限制。Heflin 等^[15]在 2015 年报道了应用 VEPTR 技术治疗 12 例早发性 NF-1 性脊柱侧凸患者的临床疗效, 但目前尚无应用双生长棒技术治疗此类畸形的报道。本研究拟通过回顾性病例研究来评估双生长棒技术治疗早发性 NF-1 性脊柱侧凸患者的疗效和并发症。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性研究 2010 年 5 月~2014 年 3 月于我院接受双生长棒技术手术治疗的 NF-1 性脊柱侧凸患者, 纳入标准为: 患者明确诊断为 NF-1 性营养不良型脊柱侧凸^[16]; 发病年龄<10 岁; 侧凸 Cobb 角>45°; 行支具等保守治疗无效; 侧凸进行性加重; Risser 征<++; 尚无月经来潮; 病历及影像学资料完整; 随访时间≥2 年。排除标准为: 非 NF-1 性脊柱侧凸患者; 发病年龄>10 岁; 侧凸 Cobb 角≤45°; Risser 征≥++; 患者已有月经来潮; 病历及影像学资料不完整; 随访时间<2 年。

本研究共纳入 8 例 NF-1 性脊柱侧凸患者,

均为营养不良型, 其中男性 2 例, 女性 6 例, 初次手术时平均年龄为 7.4±1.4 岁(5~9 岁)。

1.2 手术方法

手术方式采用标准的双生长棒技术^[6,17]。在头尾侧锚定点内固定的选择上, 原则上只要能够置入椎弓根螺钉, 优先选择椎弓根螺钉; 对于椎弓根发育欠佳或缺如者, 可使用椎弓根钩或椎板钩(横突钩)。一般将连接器置于胸腰段深筋膜下肌肉内。初次手术后患者佩戴保护性支具 6 个月, 避免剧烈运动以及外伤。在生长棒置入术后 6 个月进行第一次撑开术。根据患者身高增长情况及畸形加重程度来确定撑开间隔(具体标准: 坐高增长超过 2cm 或者畸形加重超过 10°)^[7]。初次手术以及每次撑开术均在脊髓监护下进行。

1.3 随访方法及影像学测量指标

在撑开治疗过程中, 每隔 6 个月让患者来门诊进行随访。随访时行站立位脊柱全长正侧位 X 线片检查, 并记录并发症发生情况。

于患者站立位脊柱全长正侧位 X 线片上测量冠状面矫形指标(包括侧凸主弯 Cobb 角、躯干偏移)和矢状面矫形指标(胸后凸、腰前凸 Cobb 角及矢状面平衡), 测量 T1-S1 的长度以及胸廓生长指标(Campbell's space available for lung ratio, SAL)^[18]。SAL 为凹侧与凸侧第一肋中点至膈肌最高点的距离的比值。所有指标由 2 名医师单独进行测量, 结果取其平均值, 以减少测量误差。术前、术后以及随访相关指标使用 ANOVA 检验进行比较, $P<0.05$ 表明有统计学差异。

2 结果

8 例患者的平均随访时间为 36.9±13.5 个月(24~64 个月), 共接受 41 次手术, 其中 32 次为撑开手术, 1 次为非计划翻修手术, 平均每位患者经历 4.0 次撑开手术(表 1)。

8 例患者影像学主要测量指标见表 2。术前平均主弯 Cobb 角为 75.4°±26.4°, 柔韧性为 29.0%, 术后主弯 Cobb 角改善至 31.6°±10.8°, 末次随访

时为 $30.9^{\circ} \pm 11.4^{\circ}$, 畸形率分别为 57.0% 和 58.7%。和术前相比, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$) (图 1)。患者胸后凸及腰前凸术前、术后及末次随访时分别为 $32.0^{\circ} \pm 20.1^{\circ}$, $-48.0^{\circ} \pm 11.9^{\circ}$; $16.4^{\circ} \pm 11.6^{\circ}$, $-42.1^{\circ} \pm 12.1^{\circ}$; $21.8^{\circ} \pm 15.4^{\circ}$, $-43.9^{\circ} \pm 16.1^{\circ}$, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

冠状面平衡方面, 患者术前的躯干偏移为 27.0 ± 19.1 mm, 术后及末次随访时分别为 11.9 ± 7.4 mm 和 13.1 ± 8.8 mm, 均较术前有明显改善 ($P < 0.05$)。矢状面平衡方面 (sagittal vertical axis, SVA), 患者术前的 SVA 值为 22.3 ± 16.9 mm, 术后及末次随访时分别为 11.1 ± 8.9 mm 和 $21.3 \pm$

18.7 mm, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

患者 T1-S1 长度由术前的 30.0 ± 4.4 cm 增加至初次手术后的 35.1 ± 4.0 cm, 末次随访时为 39.9 ± 3.5 cm, 平均增加 47.6 mm, 年均增长约 1.66 ± 0.43 cm/y。SAL 由术前的 0.92 ± 0.10 增加至术后的 0.9 ± 0.02 , 在末次随访时 SAL 为 1.00 ± 0.05 , 和术前相比, 均有明显的改善 ($P < 0.05$)。

至末次随访时, 共有 3 例患者发生 5 例次并发症。其中 1 例患者 (编号 1) 在术中矫形过程中出现近端锚定点螺钉松动, 予以更换螺钉。1 例患者 (编号 4) 经历了 3 次并发症: 术后 3 个月时近端螺钉尾帽松动脱落, 内固定凸起于皮下, 行非计

表 1 患者的基本情况

Table 1 Clinical data of 8 patients

患者序号 No	性别 Gender	是否为营养不良型 Dystrophic type (yes/no)	初次手术年龄 Age at initial surgery	固定范围 Instrumented level	内固定类型 Instrumentation type			随访时间 (month) Follow-up	撑开次数 Lengthening No	并发症 Complications
					近端锚定点 Proximal anchor	远端锚定点 Distal anchor	内固定棒直径 (mm) Rod diameter			
1	女 (F)	是 (yes)	6	T2-L5	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	5.5	64	6	1 次 Once
2	女 (F)	是 (yes)	8	T3-T12	椎弓根螺钉+椎板钩 (PS+LH)	椎弓根螺钉 (PS)	4.5	47	4	无 None
3	女 (F)	是 (yes)	7	T2-L2	椎弓根螺钉+横突钩/椎弓根钩 (PS+TH/PH)	椎弓根螺钉 (PS)	5.5	36	4	无 None
4	女 (F)	是 (yes)	7	T5-L3	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	4.5	41	5	3 次 Three times
5	女 (F)	是 (yes)	9	T2-L3	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	4.5	25	3	1 次 Once
6	男 (M)	是 (yes)	5	T3-L3	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	4.5	35	3	无 None
7	男 (M)	是 (yes)	9	T2-L1	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	5.5	25	4	无 None
8	女 (F)	是 (yes)	8	T3-L3	椎弓根螺钉 (PS)	椎弓根螺钉 (PS)	4.5	24	3	无 None

PS: pedicle screw; LH: laminar hook; PH: pedicle hook; TH: transverse process hook; Avg.: average

表 2 患者影像学主要测量指标

Table 2 Radiographic measurements of 8 patients

患者序号 No	侧弯畸形情况 Correction				T1-S1 长度 (cm) T1-S1 length			T1-S1 增加 (mm) Increase of T1-S1 length	T1-S1 年均增加 (cm/y) Annual increase of T1-S1 length	SAL		
	术前主弯 Cobb 角 (°) Pre-op Cobb	主弯柔性 (%) Flexibility of main curve	术后主弯 Cobb 角 (°) (矫正率 %) Post-op Cobb (Correction rate)	末次随访主弯 Cobb 角 (°) (矫正率 %) Follow-up Cobb (Correction rate)	术前 Pre-op	术后 Post-op	末次随访 Follow-up			术前 Pre-op	术后 Post-op	末次随访 Follow-up
1	135	30.4	54 (60.0)	41 (69.6)	22.1	31.0	35.9	49	0.93	0.67	0.99	1.05
2	46	13.1	27 (41.3)	7 (84.8)	29.8	32.7	38.8	61	1.56	0.93	0.99	1.05
3	60	20.0	36 (40.0)	40 (33.3)	31.6	34.9	39.0	41	1.38	0.97	0.98	0.92
4	66	30.3	24 (63.6)	30 (54.5)	28.6	31.7	38.0	63	1.83	0.96	0.98	1.00
5	70	38.6	24 (65.7)	31 (55.7)	32.0	39.3	43.2	39	1.89	0.98	0.99	0.98
6	76	40.8	32 (57.9)	33 (56.6)	30.0	33.0	37.1	41	1.42	0.95	1.00	1.04
7	68	32.4	20 (70.6)	24 (64.7)	37.8	42.5	46.6	41	1.99	0.94	1.00	1.02
8	82	26.8	36 (56.1)	41 (50.0)	28.1	36.0	40.6	46	2.29	0.93	0.96	0.96

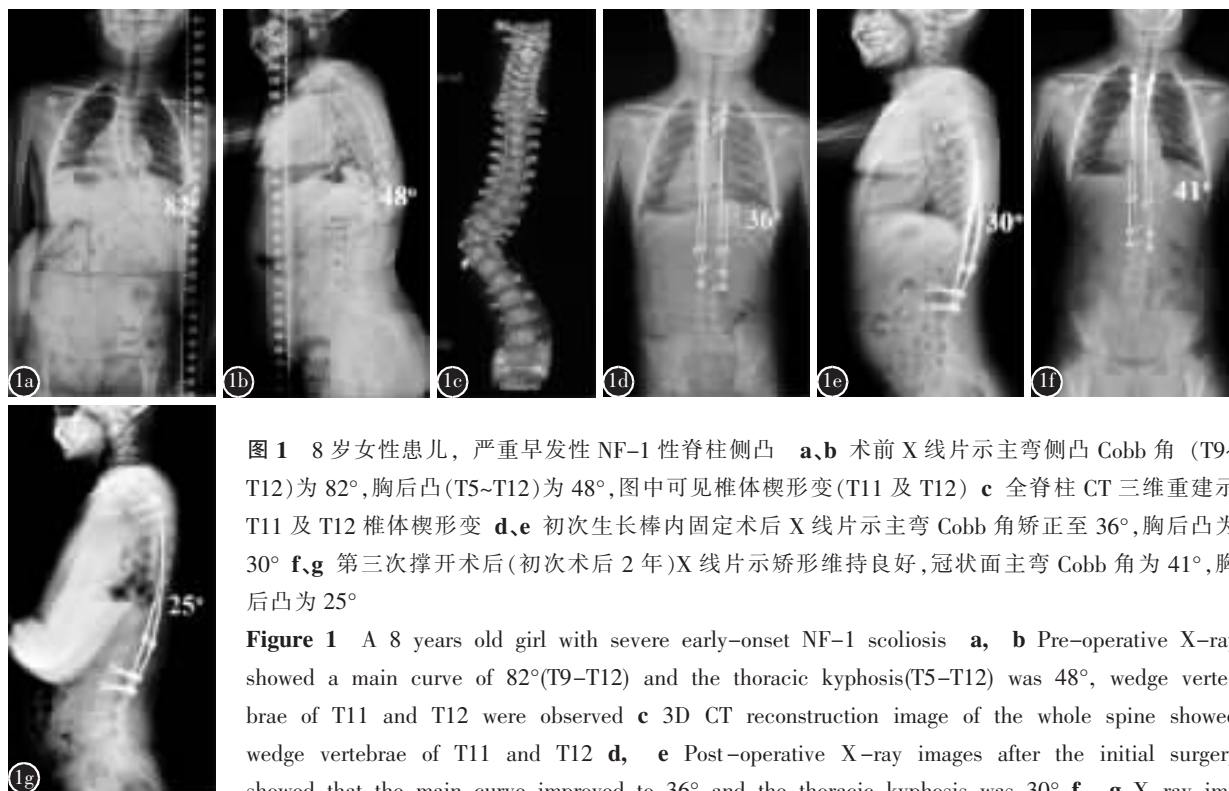


图 1 8 岁女性患儿, 严重早发性 NF-1 性脊柱侧凸 a、b 术前 X 线片示主弯侧凸 Cobb 角 (T9~T12) 为 82°, 胸后凸 (T5~T12) 为 48°, 图中可见椎体楔形变 (T11 及 T12) c 全脊柱 CT 三维重建示 T11 及 T12 椎体楔形变 d、e 初次生长棒内固定术后 X 线片示主弯 Cobb 角矫正至 36°, 胸后凸为 30° f、g 第三次撑开术后 (初次术后 2 年) X 线片示矫形维持良好, 冠状面主弯 Cobb 角为 41°, 胸后凸为 25°

Figure 1 A 8 years old girl with severe early-onset NF-1 scoliosis a, b Pre-operative X-ray showed a main curve of 82° (T9-T12) and the thoracic kyphosis (T5-T12) was 48°, wedge vertebrae of T11 and T12 were observed c 3D CT reconstruction image of the whole spine showed wedge vertebrae of T11 and T12 d, e Post-operative X-ray images after the initial surgery showed that the main curve improved to 36° and the thoracic kyphosis was 30° f, g X-ray images after the 3rd lengthening operation (2 years post-initial surgery) showed that the correction maintained well, the Cobb angle of main curve was 41° and the thoracic kyphosis was 25°

划翻修手术;第二次撑开手术后,该患者伤口近端出现愈合不良,积极换药治疗后伤口愈合;在第五次撑开手术过程中,发现头尾侧锚定点螺钉均出现松动,予以更换螺钉。另有 1 例患者(编号 5)行常规撑开手术时发现内固定棒从限制性螺钉中脱出(此螺钉目的为控制躯干偏移,未放置螺母),予以翻修处理。本组患者中无断棒、切口感染、神经系统损伤、交界性后凸等其他并发症发生。

3 讨论

NF-1 性脊柱侧凸可分为营养不良型和非营养不良型,前者通常于 3 岁前起病,畸形发展迅速。Calvert 等^[9]发现椎体营养不良改变与侧凸的发展速度呈正相关。非营养不良型的临床表现类似特发性脊柱侧凸,常见的畸形为胸椎右侧凸,此类畸形发病年龄早,预后差,有进展为营养不良型畸形的倾向^[13]。因而在临床上对 NF-1 性脊柱畸形特别是伴有营养不良者应尽早治疗,以防止畸形加重使得治疗更加困难。

对于早发性 NF-1 性脊柱侧凸患者的治疗方案目前仍有争议。Betz 等^[20]认为几乎所有的此类

患者均应早期手术融合以防止其畸形的加重。对于年龄较小的患儿,早期手术融合也是首选方法,而不要等到一定的生理年龄时再治疗。Kim 等^[21]认为营养不良型脊柱侧凸进展快,疾病早期由于病变节段较短且生长能力较差,早期的固定手术不会导致躯干高度丢失。Crawford 等^[22]认为对侧凸角度较大或年幼的患儿应考虑行前后路融合。但过早的脊柱融合手术会不可避免的影响脊柱,特别是胸段脊柱的生长发育,进而影响肺脏的发育以及长期的肺功能,这些因素都使得脊柱外科医生在进行脊柱融合手术时慎之又慎。

近年来,应用双生长棒技术治疗早发性脊柱侧凸取得了良好的临床疗效^[6,7]。既往认为 NF-1 患者骨质较差,椎弓根发育不良或缺如,椎板强度差,不能为内固定提供坚强的锚定点,普遍认为不适合采用非融合技术。Heflin 等^[15]报道了应用 VEPTR 技术治疗 12 例早发性 NF-1 性脊柱侧凸患者的临床疗效,平均年龄 6.3 岁,侧凸术前平均为 66.3°,末次随访时为 60.8°;T1-S1 长度年生长率为 1.35cm/y。尚无应用双生长棒技术治疗此类畸形的报道。本研究纳入的 8 例 NF-1 性营养不

良型脊柱侧凸患者初次手术时均为 10 岁以下,尚未进入第二个生长高峰。在锚定点内固定的选择上,其中有 6 例患者头尾侧锚定点均使用椎弓根螺钉,1 例患者(编号 2)近端锚定点使用椎板钩加椎弓根螺钉,1 例患者(编号 3)近端锚定点使用横突钩和椎弓根钩加椎弓根螺钉。至末次随访时,侧凸矫正率达到 58.7%,在撑开治疗过程中矫形无明显丢失,T1-S1 年增长率达到 1.66cm/y,和文献中报道^[6,7]的数据相比,本组患者的 T1-S1 年增长率偏大,可能和本组病例数较少有关。此外,NF-1 患者肋椎关节及肋横突关节较为松弛,和其他类型的侧凸患者相比,在撑开过程中的阻力较小,因此应注意避免过度撑开,同时应注意观察撑开过程中脊髓监测信号的变化。SAL 从术前的 0.92 改善至 1.00。这些初步结果说明,双生长棒技术在治疗早发性 NF-1 性营养不良型脊柱侧凸中可获得良好的临床疗效,可以在矫正、控制畸形的同时保留畸形脊柱的纵向生长潜力;对于胸廓畸形亦可获得一定的矫正,保证胸廓的发育。

目前文献报道显示双生长棒技术的并发症较高。Akbarnia 等^[6]报道使用双生长棒技术治疗 23 例患者,11 例(47.8%)患者发生并发症,其中 5 例为内固定相关。Wang 等^[7]报道使用双生长棒技术治疗 30 例先天性脊柱侧凸患者的临床结果,7 例(23.3%)患者共发生 13 例次并发症,其中 10 例次(76.9%)为内固定失败。Watanabe 等^[23]报道在其研究的接受生长棒治疗的 88 例患儿中,50 例(56.8%)患者有并发症发生,其中内固定失败占 72%。Heflin 等^[15]报道使用 VEPTR 技术治疗 12 例早发性 NF-1 性脊柱侧凸患者,8 例(66.7%)患者共出现 17 例次并发症,其中 8 例次为内固定相关并发症(内固定移位,断棒等),伤口愈合不良 3 例次。

在本研究中,有 3 例(37.5%)患者发生了 5 例次并发症,其中 4 例次为内固定相关并发症。患者骨质发育不良,骨强度差,脊柱的快速生长、畸形加重所产生的应力以及矢状面畸形的存在等因素是内固定相关并发症高发的主要原因。本组患者并发症发生率与现有文献报道相符,说明在早发性 NF-1 性营养不良型脊柱侧凸患者中施行双生长棒手术不会导致并发症发生率明显增加。但需要指出的是,由于本组病例尚未达到骨成熟,在治疗过程中仍然会出现并发症,导致并发症发生

率上升,需要在以后的随访中密切观察。

如何减少内固定并发症是脊柱外科医生十分关注的问题,既往文献报道了相关可能的预防措施^[7,17]:(1)应尽量选用椎弓根螺钉来建立锚定点,锚定点可适当进行植骨融合以增强稳定性,在本组病例中,6 例患者头尾侧锚定点均使用椎弓根螺钉,1 例患者近端锚定点使用椎板钩加椎弓根螺钉,1 例患者近端锚定点使用横突钩和椎弓根钩加椎弓根螺钉。有 3 例患者在锚定点位置进行了自体松质骨+同种异体骨植骨。(2)规律进行撑开:本组患者平均撑开间隔为 9.1 个月,大部分患者的每次撑开间隔在 6~12 个月之间,其中最长的一次撑开间隔为 13.4 个月。我们认为每隔 12 个月,应至少撑开一次。尤其是在快速生长期,应当每 6~9 个月撑开一次,及时释放脊柱生长所产生的应力,减少内固定物所受应力。(3)连接棒应当进行适当的预弯,尤其是上胸段,后凸明显,如果棒预弯不充分,局部应力增大,容易造成拔钉、断棒等;(4)术后长期佩戴支具。术后长期坚持佩戴支具对 NF-1 性脊柱侧凸患者尤为重要,特别是年龄小、活动多的患者,支具可减少内固定所受应力,同时可以为锚定点骨性融合提供稳定的环境。

应用双生长棒技术治疗早发性 NF-1 性营养不良型脊柱侧凸安全、有效,在维持矫形的同时,保留大部分脊柱的生长潜力,同时可以矫正胸廓畸形并促进胸廓发育。和其他类型的脊柱侧凸患者类似,内固定相关并发症最为常见,但其总体并发症发生率并无明显增高。

4 参考文献

1. Illés T, Halmi V, de Jonge T, et al. Decreased bone mineral density in neurofibromatosis-1 patients with spinal deformities [J]. *Osteoporos Int*, 2001, 12(10): 823-827.
2. Elefteriou F, Kolanczyk M, Schindeler A, et al. Skeletal abnormalities in neurofibromatosis type 1: approaches to therapeutic options[J]. *Am J Med Genet A*, 2009, 149A(10): 2327-2338.
3. Halmi V, Domán I, de Jonge T, et al. Surgical treatment of spinal deformities associated with neurofibromatosis type 1: report of 12 cases[J]. *J Neurosurg*, 2002, 97(Suppl 3): 310-316.
4. Akbarnia BA, Gabriel KR, Beckman E, et al. Prevalence of scoliosis in neurofibromatosis[J]. *Spine*, 1992, 17(Suppl 8): S244-248.

5. Lykissas MG, Schorry EK, Crawford AH, et al. Does the presence of dystrophic features in patients with type 1 neurofibromatosis and spinal deformities increase the risk of surgery[J]? *Spine*, 2013, 38(18): 1595–1601.
6. Akbarnia BA, Marks DS, Thompson AG, et al. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study[J]. *Spine*, 2005, 30(Suppl 17): S46–57.
7. Wang SR, Zhang JG, Qiu GX, et al. Dual growing rods technique for congenital scoliosis: more than 2 years outcomes: preliminary results of a single center[J]. *Spine*, 2012, 37(26): E1639–1644.
8. Campbell RM Jr., Adcox BM, Smith MD, et al. The effect of mid-thoracic VEPTR opening wedge thoracotomy on cervical tilt associated with congenital thoracic scoliosis in patients with thoracic insufficiency syndrome[J]. *Spine*, 2007, 32(20): 2171–2177.
9. McCarthy RE, Luhmann S, Lenke L, et al. The Shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report [J]. *J Pediatr Orthop*, 2014, 34(1): 1–7.
10. DiSimone RE, Berman AT, Schwentker EP. The orthopedic manifestation of neurofibromatosis: a clinical experience and review of the literature [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1988, 230: 277–283.
11. Crawford AH, Herrera-Soto J. Scoliosis associated with neurofibromatosis[J]. *Orthop Clin North Am*, 2007, 38(4): 553–562.
12. Winter RB, Moe JH, Bradford DS, et al. Spine deformity in neurofibromatosis: a review of one hundred and two patients [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1979, 61(5): 677–694.
13. Durrani AA, Crawford AH, Chouhdry SN, et al. Modulation of spinal deformities in patients with neurofibromatosis type 1[J]. *Spine*, 2000, 25(1): 69–75.
14. Funasaki H, Winter RB, Lonstein JB, et al. Pathophysiology of spinal deformities in neurofibromatosis: an analysis of seventy-one patients who had curves associated with dystrophic changes[J]. *J Bone Joint Surg Am*. 1994, 76(5): 692–700.
15. Heflin JA, Cleveland A, Ford SD, et al. Use of rib-based distraction in the treatment of early-onset scoliosis associated with neurofibromatosis type 1 in the young child [J]. *Spine Deform*, 2015, 3(3): 239–245.
16. National Institutes of Health Consensus Development Conference Statement: neurofibromatosis[J]. *Neurofibromatosis*, 1988, 1(3): 172–178.
17. 王升儒, 仇建国, 邱贵兴, 等. 双生长棒技术治疗早发性脊柱侧凸的中期疗效[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(8): 677–682.
18. Dimeglio A. Growth of the spine before age 5 years[J]. *J Pediatr Orthop B*, 1992, 1(2): 102–107.
19. Calvert PT, Edgar MA, Webb PJ. Scoliosis in neurofibromatosis. The natural history with and without operation[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1989, 71(2): 246–251.
20. Betz RR, Iorio R, Lombardi AV, et al. Scoliosis surgery in neurofibromatosis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, 245: 53–56.
21. Kim HW, Weinstein SL. Spine update. The management of scoliosis in neurofibromatosis[J]. *Spine*, 1997, 22(23): 2770–2776.
22. Crawford AH. Pitfalls of spinal deformities associated with neurofibromatosis in children [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, 245: 29–42.
23. Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for complications associated with growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. *Spine*, 2013, 38(8): E464–468.

(收稿日期:2017-02-13 修回日期:2017-04-21)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)