

临床论著

传统双生长棒技术治疗先天性早发性脊柱侧凸的内固定相关并发症及其危险因素分析

杨 阳, 仇建国, 王升儒, 沈建雄, 邱贵兴, 王以朋, 赵 宏, 赵 宇, 李书纲,
林莞锋, 杜 悠, 栗 喆, 叶笑寒

(中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院骨科 100730 北京市)

【摘要】目的:观察传统双生长棒技术(traditional dual growing rods, TDGR)治疗先天性早发性脊柱侧凸(congenital early onset scoliosis, CEOS)的内固定相关并发症,并对其进行相关危险因素进行分析。**方法:**回顾性研究接受 TDGR 治疗的 CEOS 患者。所有患者至少接受 2 次生长棒撑开治疗且随访 2 年以上。统计内固定相关并发症,根据是否出现内固定相关并发症,将患者分为并发症组和非并发症组,记录两组患者年龄、撑开次数、撑开间隔、随访时间;同时对影像学资料(包括侧弯数目、主弯 Cobb 角度、T2-5 后凸、T5-12 后凸、T10-L2 后凸、L1-S1 前凸、T1-12 长度、T1-S1 长度等)进行测量。使用 Logistic 回归分析对内固定相关并发症的危险因素进行分析。**结果:**本研究共纳入 48 例患者,其中 23 例(47.9%)患者出现了 49 例次内固定相关并发症,包括脱钩 15 例次,螺钉拔出 12 例次,内固定棒断裂 8 例次,尾帽松动 2 例次,近端交界性后凸 12 例次。单因素回归分析结果显示术前 T2-12 后凸 $\geq 40^\circ$ 、术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^\circ$ 是内固定相关并发症的显著性危险因素($P < 0.05$)。多因素回归分析结果显示术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^\circ$ [OR 4.12, 95%CI (1.20-14.14), $P = 0.025$] 是内固定相关并发症的独立危险因素。**结论:**对于接受 TDGR 治疗的 CEOS 患者,术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^\circ$ 是内固定相关并发症的独立危险因素,治疗过程中应注意胸腰段后凸畸形的处理,以降低内固定相关并发症的发生率。

【关键词】先天性早发性脊柱侧凸;传统双生长棒技术;内固定相关并发症;危险因素;Logistic 回归分析

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.04

中图分类号: R682.1, R787.3, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-05-0402-06

Risk factors for implant-related complications in congenital early-onset scoliosis patients treated with traditional dual growing rods/YANG Yang, ZHANG Jianguo, WANG Shengru, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(5): 402-407

【Abstract】Objectives: To identify risk factors for implant-related complications(IRC) in congenital early-onset scoliosis(CEOS) patients treated with traditional dual growing rods(TDGR). **Methods:** Data of CEOS patients treated with TDGR were retrospectively reviewed. All patients received more than 2 lengthening procedures with a minimum of 2-year follow-up. Patients were divided into complication group and non-complication group. Clinical data of all patients, including age, number of lengthening procedures, lengthening intervals, duration of follow-up, implant-related complications, and radiographic measurements were collected. The univariate analysis and multivariate logistic regression analysis were performed to identify the risk factors associated with IRCs. **Results:** Among the 48 patients enrolled, 23 (47.9%) patients suffered 49 IRCs, including 15 cases of hook dislodgement, 12 cases of screw dislodgement, 8 cases of rod breakage, 2 cases of cap loosening, 12 cases of proximal junctional kyphosis. The univariate Logistic regression analysis revealed preoperative T5-12 kyphosis $\geq 40^\circ$ and T10-L2 kyphosis $\geq 10^\circ$ were significant risk factors ($P < 0.05$). Multivariable Logistic regression analysis demonstrated that preoperative T10-L2 kyphosis $\geq 10^\circ$ [OR 4.12, 95%CI (1.20-14.14), $P = 0.025$] was independent risk factor of IRCs. **Conclusions:** Preoperative T10-L2 kyphosis $\geq 10^\circ$ is independent risk factor for IRCs. Identification and proper correction of relevant spinal deformity may reduce

基金项目:国家自然科学基金(No. 81972037, 81902178)

第一作者简介:男(1988-),医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)69152700 E-mail:kaido137@hotmail.com

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

IRCs incidence.

【Key words】 Congenital early-onset scoliosis; Traditional dual growing rods; Implant-related complications; Risk factors; Logistic regression analysis

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

传统双生长棒(traditional dual growing rods, TDGR)技术在先天性早发性脊柱侧凸(congenital early onset scoliosis, CEOS)的治疗中起着重要作用。大量研究^[1-4]表明 TDGR 技术的治疗效果良好,但并发症发生率高(23.3%~56.8%),其中以内固定相关并发症数量最多。既往文献报道的病例类型往往较为混杂^[1,2,4],针对 CEOS 患者的专门研究较少。与其他类型的早发性脊柱侧凸患者相比,CEOS 患者合并脊椎形态结构异常,侧凸类型复杂多变,在生长棒治疗过程中往往面临更大的困难和挑战。我们对在我院接受 TDGR 治疗的 CEOS 患者的内固定相关并发症进行研究,并对其相关危险因素进行分析,以便在临床实践中更好地预防此类并发症的发生。

1 资料与方法

1.1 一般资料

经伦理委员会批准,对 2004 年 10 月~2016 年 10 月于我院骨科接受 TDGR 手术治疗、具有完整影像学资料的 CEOS 患者进行回顾性研究。排除接受单生长棒技术、截骨短节段融合联合双生长棒技术(Hybrid 技术)^[5]、改良 Shilla 技术(未放置连接器)治疗的患者。所有患者至少接受 2 次生长棒撑开治疗且随访 2 年以上。

统计在生长棒治疗期间患者内固定相关并发症,根据是否出现内固定相关并发症(包括脱钩、螺钉拔出、内固定棒断裂、交界性后凸等),将患者分为两组:并发症组和非并发症组。详细记录所有患者性别、生长棒置入手术时年龄、撑开次数、撑开间隔、随访时间、影像学资料(包括侧弯数目、主弯 Cobb 角度、T2-5 后凸、T5-12 后凸、T10-L2 后凸、L1-S1 前凸、T1-12 长度、T1-S1 长度等)、行最终融合手术患者数目等。

1.2 手术方法

所有患者均采用标准双生长棒技术^[6]。早期患者的近端锚定点内固定方式为椎板钩或横突钩,远端锚定点以椎弓根螺钉为主,部分患者为单纯椎板钩(1 例)或钉钩混合(1 例)。随着内固定物

的不断发展和演变,后期患者在远近端锚定点内固定方式上优先选择椎弓根螺钉。若置钉困难,则使用椎板钩或横突钩作为辅助。早期患者全部使用串联连接器。因为串联连接器存在撑开长度有限、内固定棒预弯受限等不利因素,后期患者以使用并联连接器为主。一般将连接器置于胸腰段深筋膜下肌肉内。患者行生长棒置入术后 6 个月内佩戴保护性支具。早期每 6 个月行撑开治疗,之后根据患者身高增长情况及畸形加重程度确定撑开间隔(最长撑开间隔不超过 1 年)。初次手术以及后续撑开手术均在脊髓电生理监护下进行。

1.3 统计方法

使用 SPSS 24.0 软件对所有数据进行统计分析。计量资料以均数±标准差表示。对于两组患者的计量资料采用 *t* 检验进行比较;计数资料采用卡方检验。使用 Logistic 回归分析对内固定相关并发症的危险因素进行分析。 $P<0.05$ 为差异存在统计学意义。

2 结果

本研究共纳入 48 例患者,其中男性 12 例,女性 36 例。根据先天性脊柱侧凸畸形的分类,19 例为椎体分节障碍型,8 例为椎体形成障碍型,21 例为混合型。全部患者行生长棒置入手术时的年龄为 7.0 ± 2.7 岁(2~11 岁),接受了 6.1 ± 2.7 次(2~13 次)撑开手术,撑开间隔为 9.6 ± 2.1 个月(6~16 个月),固定节段数目为 13.3 ± 1.7 (9~16),生长棒治疗时间为 5.9 ± 2.6 年(2~12 年),总随访时间为 6.7 ± 2.7 年(3~14 年)。至末次随访时,共有 15 例患者接受了最终融合手术。在生长棒治疗期间,共有 23 例(47.9%)患者出现了 49 例次内固定相关并发症,包括脱钩 15 例次,螺钉拔出 12 例次,内固定棒断裂 8 例次(图 1),尾帽松动 2 例次,近端交界性后凸 12 例次。无神经功能受损、深层感染等并发症发生。

与非并发症组患者相比,并发症组患者接受生长棒置入手术时的年龄更小(6.2 ± 2.5 岁 vs. 7.8 ± 2.7 岁, $P=0.044$)。两组患者在性别比例、平均

撑开次数、固定节段数目、生长棒治疗时间、总随访时间均无显著性差异($P>0.05$,表 1)。

两组患者的主弯 Cobb 角度、T2-5 后凸、L1-S1 前凸、T1-12 长度、T1-S1 长度在生长棒置入术前、生长棒置入术后及末次随访时均无显著性差异($P>0.05$)；并发症组患者生长棒置入术前的 T5-12 后凸角度、T10-L2 后凸角度均显著大于非并发症组($P<0.05$,表 2)。非并发症组患者的 T1-S1 年均增长量为 $1.34\pm 0.56\text{cm/年}$ ，并发症组患者

为 $1.03\pm 0.56\text{cm/年}$ ，两组间比较无统计学差异($P>0.05$)。

并发症组患者的主弯初始矫形率与非并发症组患者相比并无显著性差异($P>0.05$)，随着撑开治疗的进行，在末次随访时两组患者的主弯矫形情况都得到了较好的维持。全部 48 例患者生长棒置入术前 T2-5 后凸角平均为 $11.8^\circ\pm 9.9^\circ$ ，T5-12 后凸角为 $27.5^\circ\pm 19.5^\circ$ 。其中部分患者存在平背畸形或胸椎前凸畸形，生长棒置入术后此部分患者

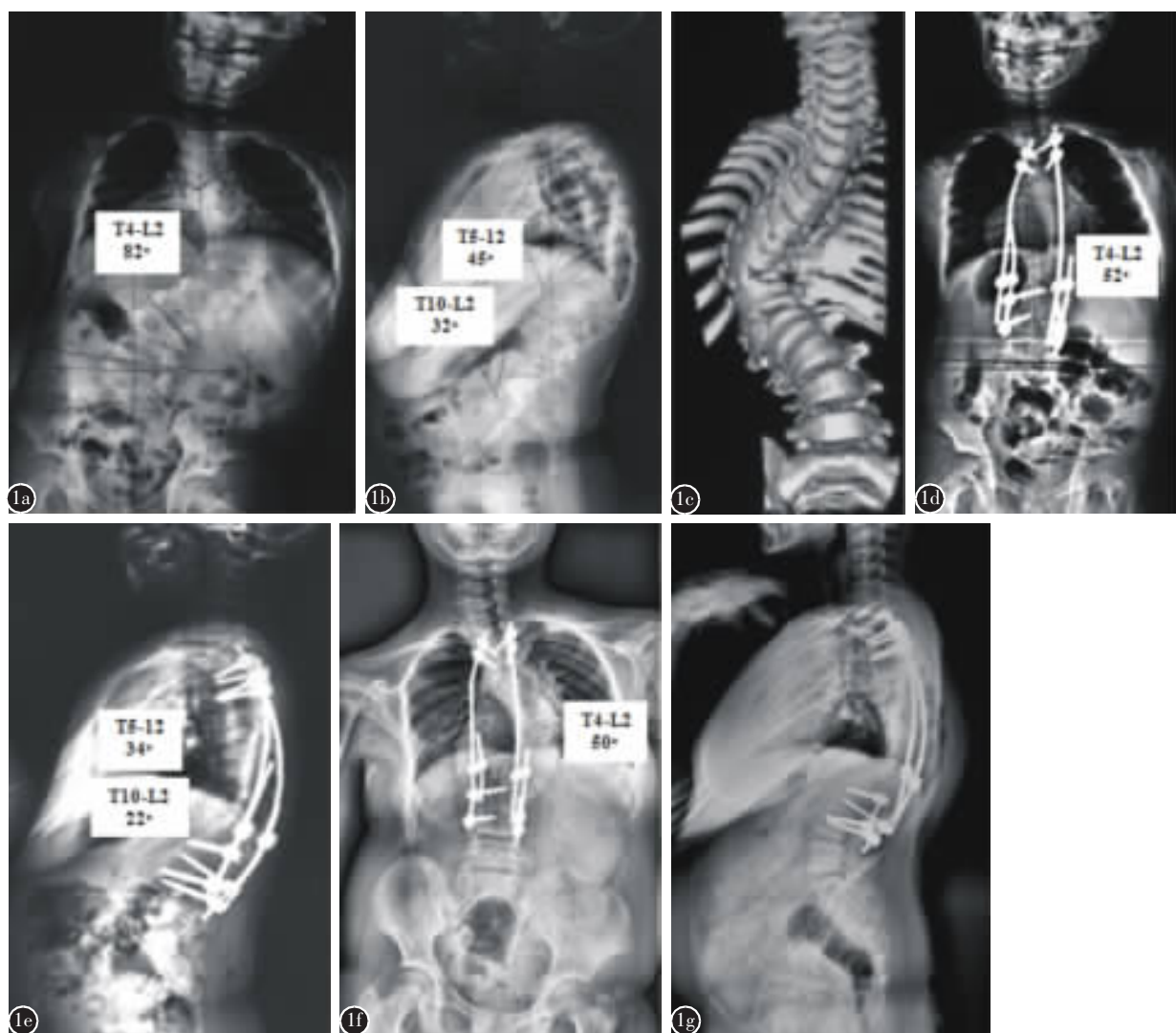


图 1 TDGR 治疗过程中出现内固定棒断裂的病例,6 岁女童存在严重脊柱侧凸畸形 a 术前主弯 Cobb 角 82° b 胸后凸 45° ,胸腰段后凸 32° c 全脊柱 CT 三维重建示 T7~L1 存在分节障碍和形成障碍,同时存在并肋畸形 d、e 生长棒置入术后主弯矫正至 52° ,胸腰段后凸 22° f、g 术后 5 年随访时主弯 Cobb 角 50° ,在胸腰段位置出现双侧内固定棒断裂

Figure 1 Case example of rod fracture during TDGR treatment. A 6-year old girl presented with severe scoliosis a Preoperative Cobb angle of 82° b Thoracic kyphosis of 45° , and thoracolumbar kyphosis of 32° c 3D CT indicated mixed type of spinal deformity at T7-L1 level with coexisting fused ribs at concave side d, e After insertion of TDGR, the main curve was corrected to 52° , and thoracolumbar kyphosis was 22° f, g At 5-year follow-up, the main curve Cobb angle was 50° , and dual rod fractures occurred at thoracolumbar region

的胸椎后凸较术前有所增加。因此我们选用置入生长棒术后整体胸椎后凸角度(T2-12 后凸)的减少值代替后凸矫正率进行研究。并发症组患者在置入生长棒后 T2-12 后凸平均减少了 $15.2^{\circ} \pm 20.4^{\circ}$, 大于非并发症组患者的 $7.6^{\circ} \pm 16.8^{\circ}$, 但二者之间并无统计学差异($P=0.165$)。

结合临床实际情况, 筛选可能与并发症发生相关的危险因素, 包括年龄、侧弯数量、撑开次数、撑开间隔、主弯 Cobb 角、T5-12 后凸、T10-L2 后凸、固定椎位置及固定方式、连接器类型等, 并进行单因素回归分析, 结果显示术前 T5-12 后凸 $\geq 40^{\circ}$ ($P=0.043$)、术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^{\circ}$ ($P=0.021$) 是内固定相关并发症的显著性危险因素, 年龄、侧弯数量、平均撑开次数、平均撑开间隔、远(近)端固定椎位置、近端固定椎固定方式、连接器类型与并发症的发生并无显著相关性($P>0.05$, 表 3)。对以上有显著性差异($P<0.05$)的危险因素进一步进行多因素回归分析, 结果显示术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^{\circ}$ [OR 4.12, 95%CI (1.20-14.14), $P=0.025$] 是内固定相关并发症的独立危险因素。

3 讨论

既往文献报道 TDGR 的内固定相关并发症主要为脱钩、螺钉移位、内固定棒断裂、皮肤破溃、

表 1 两组患者的一般情况

Table 1 General information of patients in two groups

	并发症组 Complication group	非并发症组 Non-complication group	P 值 P value
性别(男/女) Gender (Male/Female)	5/18	7/18	0.617
生长棒置入年龄(岁) Age at initial surgery (years)	6.2 $\pm$ 2.5	7.8 $\pm$ 2.7 ^①	0.044
平均撑开次数 Average lengthening number	6.7 $\pm$ 3.1	5.6 $\pm$ 2.3	0.153
平均撑开间隔(月) Average lengthening intervals (months)	9.9 $\pm$ 2.1	9.4 $\pm$ 2.2	0.437
固定节段数目 Instrumented levels	13.3 $\pm$ 1.8	13.4 $\pm$ 1.6	0.910
生长棒治疗时间(年) Treatment duration with TDGR (years)	6.2 $\pm$ 2.8	5.7 $\pm$ 2.5	0.485
总随访时间(年) Total follow-up duration (years)	7.1 $\pm$ 3.0	6.4 $\pm$ 2.4	0.368
行最终融合患者 Patients received final fusion surgery	7	8	

表 2 两组患者矫形及脊柱生长情况对比

Table 2 Comparison of correction results and spinal growth between two groups

	并发症组 Complication group	非并发症组 Non-complication group	P 值 P value
主弯 Cobb 角($^{\circ}$) Main curve Cobb angle			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	65.7 $\pm$ 16.6	62.6 $\pm$ 16.0	0.510
生长棒置入术后 Post-initial surgery	30.3 $\pm$ 11.6	30.4 $\pm$ 15.7	0.988
末次随访 Final follow-up	31.4 $\pm$ 15.0	27.6 $\pm$ 12.1	0.339
主弯矫正率(%) Correction rate of main curve			
初始矫正率 Primary correction rate	55.3 $\pm$ 12.1	54.2 $\pm$ 15.9	0.784
随访时矫正率 Correction rate at final follow-up	53.0 $\pm$ 20.4	57.3 $\pm$ 13.2	0.395
T2-5 后凸($^{\circ}$) T2-5 kyphosis			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	11.9 $\pm$ 9.6	11.7 $\pm$ 10.3	0.950
生长棒置入术后 Post-initial surgery	11.0 $\pm$ 7.9	11.6 $\pm$ 9.2	0.784
末次随访 Final follow-up	12.8 $\pm$ 11.4	13.7 $\pm$ 8.9	0.777
T5-12 后凸($^{\circ}$) T5-12 kyphosis			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	34.0 $\pm$ 17.2	21.5 $\pm$ 19.9	0.024
生长棒置入术后 Post-initial surgery	19.9 $\pm$ 11.5	13.9 $\pm$ 9.8	0.060
末次随访 Final follow-up	28.4 $\pm$ 15.2	19.5 $\pm$ 13.3	0.035
T10-L2 后凸($^{\circ}$) T10-L2 kyphosis			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	14.5 $\pm$ 11.6	5.0 $\pm$ 15.4	0.021
生长棒置入术后 Post-initial surgery	6.0 $\pm$ 6.2	4.7 $\pm$ 6.8	0.504
末次随访 Final follow-up	14.8 $\pm$ 12.9	8.0 $\pm$ 7.3	0.027
L1-S1 前凸($^{\circ}$) L1-S1 lordosis			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	-46.9 $\pm$ 16.8	-44.1 $\pm$ 15.5	0.553
生长棒置入术后 Post-initial surgery	-34.6 $\pm$ 12.4	-34.4 $\pm$ 11.2	0.940
末次随访 Final follow-up	-45.7 $\pm$ 15.1	-43.2 $\pm$ 12.0	0.517
T1-12 长度(cm) T1-12 length			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	14.3 $\pm$ 3.2	15.1 $\pm$ 4.4	0.441
生长棒置入术后 Post-initial surgery	15.7 $\pm$ 3.1	15.9 $\pm$ 4.1	0.843
末次随访 Final follow-up	19.7 $\pm$ 3.7	20.0 $\pm$ 3.9	0.825
T1-S1 长度(cm) T1-S1 length			
生长棒置入术前 Pre-initial surgery	23.5 $\pm$ 5.4	24.5 $\pm$ 6.4	0.530
生长棒置入术后 Post-initial surgery	26.4 $\pm$ 5.3	27.4 $\pm$ 6.4	0.553
末次随访 Final follow-up	33.3 $\pm$ 4.8	34.9 $\pm$ 5.4	0.265

表 3 内固定相关并发症危险因素的单因素回归分析

Table 3 Univariable logistic regression analyses of factors associated with IRCs

	A组 Group A	B组 Group B	OR	95%CI	P值 P value
年龄(岁)Age(years)					0.614
≥5	17	21	1.85	0.45~7.65	
<5	6	4	REF		
平均撑开次数 Average lengthening number					0.355
≥6	15	13	1.73	0.54~5.54	
<6	8	12	REF		
平均撑开间隔(月) Average lengthening intervals (months)					0.709
≥9	15	15	1.25	0.39~4.04	
<9	8	10	REF		
初始主弯矫正率(%)Primary correction rate of the main curve					0.307
≥50	17	15	1.89	0.55~6.45	
<50	6	10	REF		
术前 T5~12 后凸(°) Pre-op T5~12 kyphosis					0.043
≥40	10	4	4.04	1.05~15.58	
<40	13	21	REF		
术前 T10~L2 后凸(°) Pre-op T10~L2 kyphosis					0.021
≥10	13	6	4.12	1.20~14.14	
<10	10	19	REF		
侧弯数量 Curve number					0.194
>1	5	2	3.19	0.55~18.42	
1	18	23	REF		
近端固定椎固定方式 Proximal instrumentation type					0.266
单纯钩 Hooks only	6	2	REF		
钉钩混合 Pedicule screws + hooks	3	5	5.00	0.58~42.80	0.142
单纯钉 Pedicule screws only	14	18	3.86	0.67~22.11	0.130
近端固定椎位置 Location of upper instrumented vertebrae					0.255
C7~T2	10	15	0.51	0.16~1.62	
低于 T2 Lower than T2	13	10	REF		
远端固定椎位置 Location of the lowest instrumented vertebrae					0.585
T12~L3	12	15	0.73	0.23~2.29	
低于 L3 Lower than L3	11	10	REF		
连接器类型 Types of connectors					0.394
串联 Tandem	6	4	1.85	0.45~7.65	
并联 Side-by-side	17	21	REF		

注: A 组, 并发症组; B 组, 非并发症组

Note: Group A, complication group; Group B, non-complication group

感染、交界性后凸等, 占总体并发症的比例为 34.9%~76.9%^[1-4]。目前单纯针对使用 TDGR 治疗 CEOS 的研究较少。Wang 等^[3]报道了使用 TDGR 治疗 30 例 CEOS 患者的 2 年随访结果, 其中并发症发生率为 23.3%, 内固定相关并发症占 76.9% (10/13)。本研究中, 内固定相关并发症发生率为 47.9%, 与文献报道的发生率相吻合。

学者们报道的传统生长棒技术的并发症相关危险因素主要包括使用单生长棒技术、生长棒置入年龄过小、术前侧凸角度过大、胸后凸过大、存在上胸弯、近端锚定点使用椎板钩等^[2,4-9]。Watanabe 等^[4]报道胸后凸每增加 20°, 出现并发症的风险增加 1.67 倍。本研究中单因素回归分析结果提示, 术前 T5~12 后凸 ≥40° 是内固定相关并发症的显著性危险因素, 但在多因素回归分析中, 术前 T5~12 后凸 ≥40° 并不是内固定相关并发症的独立危险因素。Belmont 等^[10]的研究表明, 当脊柱模型的后凸角度从 0° 逐渐增大到 55° 时, 内固定棒所承受的压力也增加 55%, 提示患者术前胸后凸角度过大时, 置入体内的内固定装置承受的应力随之增大, 这可能是导致内固定并发症发生率升高的原因之一。另一个可能的原因是当患者胸后凸角度较大时, 术中对近端内固定棒的预弯不足, 使得施加在近端锚定点的拔出力过大, 进而导致发生内固定相关并发症。对于此类患者, 可以通过增加锚定点强度, 如近端采用全椎弓根螺钉进行锚定点固定, 或采用三个椎体作为锚定点, 同时在术中对近端内固定棒进行充分预弯^[1,7], 以降低对近端锚定点的拔出力, 也可以有效预防近端交界性后凸的发生。对于胸后凸角度过大且柔韧性差的患者, 使用压棒技术无法达到满意的后凸矫正效果时, 也可以考虑采用 Hybrid 技术^[11]。

本研究中多因素回归分析结果显示术前 T10~L2 后凸 ≥10° 是内固定相关并发症的独立危险因素, 这在既往文献中未见相关报道。胸腰段作为从胸段脊柱向腰段脊柱过度的区域, 承受的应力较大, 其后方内固定物受到的应力也较其他区域更加集中。在生长棒置入手术中, 一般将连接器置于胸腰段深筋膜下肌肉内^[1,3,7]。本研究中共有 35 例患者的连接器位于 T10~L2 水平, 其中并发症组患者有 13 例。Yang 等^[8]发现靠近连接器的位置容易出现内固定棒断裂, 而断棒最常见于胸腰段区域。当存在胸腰段后凸畸形时, 内固定物承受

的应力会进一步增加,并最终导致内固定相关并发症。因此,对于术前存在胸腰段后凸的患者,术中应注意通过压棒技术矫正胸腰段后凸畸形。若胸腰段后凸畸形固定且僵硬,可考虑采用 Hybrid 技术,尽可能矫正后凸畸形,减少胸腰段内固定物承受的应力。

前期文献报道患者接受生长棒置入手术时的年龄越小,其发生并发症的风险越大^[2]。这可能与患者年龄越小,皮肤软组织条件、骨质条件均较差有关;同时其相应的治疗周期也较长,这也会增加并发症发生的风险。本研究中并发症组患者初次手术的年龄显著小于非并发症组患者的年龄。但单因素回归分析结果显示,在 5 岁之前置入生长棒并不是内固定相关并发症的危险因素。同样的,近端使用椎板钩/横突钩、撑开次数、随访时间也不是导致内固定相关并发症的危险因素,这与之前的文献报道^[2,4,5,6,12]存在一定差异。这一方面可能与 CEOS 独特的疾病类型有关,另一方面可能与本研究病例数较少、随访时间短有关,后续仍需要进行大样本、长时间随访的临床研究。

4 结论

本研究结果显示,在接受 TDGR 治疗的 CEOS 患者中,术前 T10-L2 后凸 $\geq 10^\circ$ 是内固定相关并发症发生的独立危险因素,提示我们在初次手术及后续手术时应注意加强对相应胸腰段后凸畸形的处理,以降低内固定相关并发症的发生率。

5 参考文献

1. 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(Phila Pa 1976), 2005, 30(Suppl 17): S46-S57.
2. Bess S, Akbarnia BA, Thompson GH, et al. Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one

- hundred and forty patients[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(15): 2533-2543.
3. Wang S, Zhang J, Qiu G, et al. Dual growing rods technique for congenital scoliosis: more than 2 years outcomes: preliminary results of a single center[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(26): E1639-1644.
4. Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for complications associated with growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(8): E464-468.
5. Liang J, Li S, Xu D, et al. Risk factors for predicting complications associated with growing rod surgery for early-onset scoliosis[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 136: 15-19.
6. Watanabe K, Uno K, Suzuki T, et al. Risk factors for proximal junctional kyphosis associated with dual-rod growing-rod surgery for early-onset scoliosis[J]. Clin Spine Surg, 2016, 29(8): E428-E433.
7. Akbarnia BA, Emans JB. Complications of growth-sparing surgery in early onset scoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(25): 2193-2204.
8. Yang JS, Sponseller PD, Thompson GH, et al. Growing rod fractures: risk factors and opportunities for prevention [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2011, 36(20): 1639-1644.
9. Pan A, Hai Y, Yang J, et al. Upper instrumented vertebrae distal to T2 leads to a higher incidence of proximal junctional kyphosis during growing-rod treatment for early onset scoliosis[J]. Clin Spine Surg, 2018, 31(7): E337-E341.
10. Belmont PJ, Polly DW, Cunningham BW, et al. The effects of hook pattern and kyphotic angulation on mechanical strength and apical rod strain in a long-segment posterior construct using a synthetic model[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2001, 26(6): 627-635.
11. Wang S, Zhang J, Qiu G, et al. One-stage posterior osteotomy with short segmental fusion and dual growing rod technique for severe rigid congenital scoliosis: the preliminary clinical outcomes of a hybrid technique [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(4): E294-E299.
12. Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL. Comparison of complications among growing spinal implants[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(23): 2091-2096.

(收稿日期:2021-03-02 修回日期:2021-04-29)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 李伟霞)