

临床论著

先天性脊柱畸形手术治疗的总体疗效与并发症

段春光¹,陶惠人¹,吴太林¹,罗建周¹,杨凯²,杨卫周³,叶灿华¹,王斐¹,魏彦哲¹

(1 深圳大学总医院骨科 518055 深圳市;2 西安交通大学第二附属医院骨二科 710004 西安市;

3 西安交通大学第一附属医院骨科 710061 西安市)

【摘要】目的:评估先天性脊柱畸形手术治疗的总体效果和并发症。**方法:**回顾性分析 2007 年 4 月~2018 年 1 月本团队手术治疗的 431 例先天性脊柱侧凸患者,其中男 158 例,女 273 例,平均年龄 14.9 ± 6.2 岁。术前均行全脊柱 CT 平扫和全脊柱 MRI,排查椎管内畸形情况;心脏彩超和腹部 B 超检查排除其他内脏畸形。手术方式包括:生长撑开型非融合矫形技术(包括生长棒和人工钛肋)治疗 40 例,后路半椎体切除短节段固定融合术 48 例,后路长节段矫形固定融合术(可含 1、2 级截骨)89 例,后路截骨(3 级及以上截骨)矫形长节段固定融合术 254 例。每位患者均于术后 3 个月、6 个月、1 年和 2 年及以上时间进行随访。术前、术后及随访时均拍摄站立位全脊柱正侧位 X 线片,测量脊柱侧凸 Cobb 角、矢状面平衡(sagittal vertical axis,SVA)及冠状面平衡(C7PL-CSVL)。统计手术时间、术中出血量和手术并发症情况。**结果:**431 例患者合并椎管内畸形 351 例次、合并其他内脏畸形 24 例次。平均手术时间为 412.4 ± 150.6 min,平均术中出血量为 1879.9 ± 1727.6 ml,平均随访时间 48.7 ± 9.3 个月。脊柱侧凸术前平均 Cobb 角为 $68.88^\circ\pm 27.55^\circ$,术后平均 Cobb 角为 $28.86^\circ\pm 18.90^\circ$,末次随访时 $30.77^\circ\pm 19.80^\circ$;SVA 术前平均为 22.15 ± 19.37 mm,术后 24.15 ± 22.22 mm,末次随访时 19.75 ± 16.06 mm;C7PL-CSVL 术前平均为 17.37 ± 15.47 mm,术后 18.56 ± 15.19 mm,末次随访时 13.03 ± 12.39 mm,末次随访的脊柱侧凸 Cobb 角和 C7PL-CSVL 与术前比较均有统计学差异($P<0.05$)。术后肺部并发症 49 例、神经并发症 30 例、内固定相关并发症 20 例、术后感染 10 例以及脑脊液漏 8 例。**结论:**先天性脊柱侧凸手术矫形效果良好,但手术相关并发症风险较高,术后并发症总体发生率为 30.16%,其中肺部并发症和神经并发症最为常见。

【关键词】先天性脊柱畸形;手术效果;并发症

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.06

中图分类号:R682.1,R619 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-05-0416-11

Overall efficacy and complications of surgical treatment of congenital spinal deformity/DUAN Chunguang, TAO Huiren, WU Tailin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(5): 416-426

【Abstract】 Objectives: To evaluate the overall efficacy and complications of surgical treatment of congenital spinal deformity. **Methods:** 431 congenital scoliosis (CS) patients surgically treated by our team from April 2007 to January 2018 were retrospectively reviewed. All of them had complete 2-year follow-up, including 158 male patients and 273 female patients with an average age of 14.9 ± 6.2 years old. Before the surgeries, all the patients had computed tomography and magnetic resonance imaging of the whole spine to detect the deformity in the spinal canal, and echocardiography and abdominal ultrasound examination were also performed to exclude other visceral deformities. All the patients had surgical treatment, including growth-friendly non-fusion techniques (growing rods and vertical expandable prosthetic titanium rib)($n=40$), posterior hemivertebra resection and short fusion($n=48$), posterior spinal fusion without grade 3 or higher osteotomy($n=89$), and posterior grade 3 or higher osteotomy and spinal fusion($n=254$). All the patients had follow-up at 3 months, 6 months, 1 year and 2 years after surgery. The whole-spine radiographs were performed before

基金项目:国家自然科学基金项目(81970761);深圳市医疗卫生三名工程(SZSM201911011);深圳市科技计划项目基础研究(重点项目)项目(JCYJ20200109114233670);广东省自然科学基金项目(2020A151501726);深圳市科技计划项目基础研究(自由探索)项目(JCYJ20180305124242438);深圳大学总医院科研启动项目(SUGH2018QD019,SUGH2018QD014)

第一作者简介:男(1979-),博士,副主任医师,研究方向:脊柱畸形

电话:(0755)21839087 E-mail:19897550@qq.com

通讯作者:陶惠人 E-mail:huiren_tao@163.com

surgery, after surgery and at each follow-up, and the Cobb angles, sagittal vertical axis(SVA), and the C7 plumb line-center sacral vertical line (C7PL-CSVL) were measured on the radiographs. The operation time, estimated blood loss and surgical complications were also collected. **Results:** 351 cases of intraspinal malformations and 24 cases of other visceral malformations in 431 patients were identified. The average operation time was 412.4 ± 150.6 mins, the average blood loss was 1879.9 ± 1727.6 ml, and the average follow-up duration was 48.7 ± 9.3 months. The average Cobb angle was $68.88^\circ \pm 27.55^\circ$ at pre-operation, $28.86^\circ \pm 18.90^\circ$ at post-operation, and $30.77^\circ \pm 19.80^\circ$ at final follow-up. The average SVA was 22.15 ± 19.37 mm at pre-operation, 24.15 ± 22.22 mm at post-operation, and 19.75 ± 16.06 mm at final follow-up. The average C7PL-CSVL was 17.37 ± 15.47 mm at pre-operation, 18.56 ± 15.19 mm at post-operation, and 13.03 ± 12.39 mm at final follow-up. Both the Cobb angle and C7PL-CSVL at final follow-up had statistically significant differences compared with those before surgery, respectively ($P < 0.05$). The complications included pulmonary complications ($n=49$), neurological complications($n=30$), implant related complications($n=20$), surgical infections($n=10$) and cerebral-spinal fluid leakages($n=8$). **Conclusions:** Surgical treatment of congenital scoliosis generally achieves satisfying correction. However, the risk of surgical complications is relatively high, which is about 30.16%, especially for pulmonary and neurological complications.

【Key words】 Congenital scoliosis; Surgical efficacy; Surgical complications

【Author's address】 Department of Orthopedics, Shenzhen University General Hospital, 518055, Shenzhen, China

先天性脊柱侧凸 (congenital scoliosis, CS) 是由于各种原因引起的先天性椎节发育异常, 在脊柱生长过程中逐渐出现脊柱冠状面和/或矢状面的失衡, 进而产生脊柱的三维畸形。CS 不仅严重影响患儿外观, 同时会导致患儿心肺功能受损以及严重影响患儿心理健康。在治疗上, 由于 CS 患者畸形严重、进展快^[1], 支具等保守治疗效果不理想, 手术矫形是一种有效治疗手段。但是 CS 病情复杂, 除了严重脊柱畸形外, 常合并椎管内畸形、心肺等脏器功能障碍等, 术中及术后并发症发生率较高, 因此需要予以重视。本研究旨在从总体上评估 CS 的治疗效果以及术后并发症的发生情况, 为 CS 的临床治疗提供借鉴。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2007 年 4 月~2018 年 1 月于我团队接受手术治疗的先天性脊柱侧凸患者 431 例, 其中男 158 例, 女 273 例, 年龄 2.5~46 岁, 平均年龄 14.9 ± 6.2 岁。其中椎体形成障碍(包括半椎体、蝴蝶椎等)132 例, 占 30.63%, 椎体分节不良 112 例, 占 25.98%, 混合型 187 例, 占 43.39%。所有患者术前均行站立位脊柱全长正侧位 X 线片、胸腰椎左右 Bending 位片、全脊柱 CT 平扫及三维重建、全脊柱 MRI 了解脊柱畸形情况, 评估椎管内畸形、占位等; 超声心动图评估心脏功能及先天性

畸形; 腹部超声评估泌尿生殖系统畸形; 以及肺功能检查评估肺通气换气功能等。

所有手术均由同一主刀医生及团队完成。所有患者按照手术方式分为四组: A 组, 生长撑开型非融合矫形技术 (生长棒及人工钛肋 VEPTR); B 组, 后路半椎体切除短节段固定融合术; C 组, 后路长节段矫形固定融合术 (PSF, 可包含 1 级、2 级截骨); D 组, 后路截骨 (3 级及以上截骨) + PSF (即后路截骨矫形长节段固定融合术)。

A 组, 生长撑开型非融合矫形技术。对于早发的先天性脊柱畸形 (10 岁之前), 这类患者发病年龄早, 侧凸进展快, 不仅造成患儿身躯短小畸形, 且能造成严重的肺功能障碍。生长撑开型非融合技术可有效缓解侧凸的进展并保留了脊柱的生长, 为最后的矫形融合手术做准备。关于非融合生长矫形技术的适应证, 目前还没有统一的共识。我们的适应证选择是: (1) 年龄在 5~10 岁之间, 最佳年龄是 7~8 岁。年龄太小的患者, 因为撑开次数多, 而且容易出现脊柱自发融合, 手术效果欠佳。而对于接近骨骼成熟期的大龄患者, 可直接行矫形融合手术治疗; (2) 对于佩戴支具或石膏治疗效果欠佳, 侧凸 Cobb 角 $> 40^\circ$, 侧凸进展快 (每 6 个月 $> 10^\circ$) 的患者。此组病例中, 椎体畸形包括椎体形成障碍 7 例, 椎体分节不良 5 例, 混合型 28 例。

B 组, 后路半椎体切除短节段固定融合术。单纯由单个半椎体 (椎体发育异常) 导致的脊柱畸形

且患者脊柱侧凸角 $>40^\circ$,和(或)侧凸进展迅速,6个月内进展 $>5^\circ$ 和(或)保守治疗无效。此组48例患者均为半椎体畸形,按疾病分类均属于椎体形成障碍。

C组,后路长节段矫形固定融合术(PSF,可包含1级、2级截骨)。对于年龄较大的CS患者(大于10岁)畸形累及的节段较长,但畸形并不十分严重,Cobb角一般 $<80^\circ$,柔韧性 $>25\%$ 。此组病例中,椎体畸形包括椎体形成障碍22例,椎体分节不良41例,混合型26例。

D组,后路截骨(3级及以上截骨)+PSF。对于年龄较大的CS患者(>10 岁),畸形累及的节段较长,重度脊柱畸形,Cobb角 $>80^\circ$,而且侧弯僵硬,柔韧性 $<20\%$ 。此组病例中,椎体畸形包括椎体形成障碍55例,椎体分节不良66例,混合型133例。

1.2 手术方法

生长撑开型非融合矫形技术:初次手术前根据脊柱畸形选择近端和远端锚定点。全身麻醉后,先暴露近端和远端锚定点,分别置入2~3组椎弓根螺钉或椎板钩。然后切开皮肤、皮下,小心沿棘突旁切开深筋膜,注意不剥离肌肉。将预弯好的棒在肌肉表面深筋膜下,分别与近端和远端锚定钉、多米诺连接器相连。两端锁紧,适当在多米诺处撑开后,逐层缝合。每6个月进行一次撑开手术。

半椎体切除短节段固定术:全麻后患者取俯卧位,后正中切口,骨膜下剥离,通常显露半椎体上下各1或2个节段,置入相应组数的椎弓根螺钉。注意一定要将半椎体以及上下椎间盘组织彻底切除,安装连接棒加压闭合截骨间隙进行矫形。

脊柱畸形矫形长节段融合内固定(包含截骨及不截骨)术:根据患者畸形程度和柔韧性等情况,设计融合节段及截骨水平。手术时,患者全身麻醉后取俯卧位,仔细骨膜下剥离显露手术节段内的棘突、椎板和关节突,常规切除上位椎体的下关节突,置入椎弓根螺钉,根据患者畸形情况决定是否截骨(3级及以上截骨)及截骨方式(VCR或PSO)。使用平移技术安装连接棒,矫形过程中注意观察脊髓硬膜有无压迫、褶皱,以及神经电生理信号情况。矫形完成后充分植骨。

1.3 观察指标

统计手术时间、术中出血量、术后并发症等情况,参照既往研究及本研究数据统计学特点进行

研究,比较分析术后并发症危险因素。术后3个月、6个月、1年、2年、5年、10年的时间点随访。测量站立位脊柱全长正侧位X线片上冠状面矫形指标(Cobb角、C7PL-CSVL)、矢状面矫形指标(SVA)。所有指标均由2名高年资脊柱专科医师单独进行测量,结果取平均值,以减少测量误差。

1.4 统计学分析

数据使用SPSS 22软件进行统计分析。计量资料以平均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示。术前、术后即刻及末次随访影像测量指标使用配对 t 检验进行比较,术后并发症分析使用卡方检验,术后并发症危险因素使用Logistic回归分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 先天性脊柱侧凸患者合并其他畸形情况

先天性脊柱侧凸除了椎体和脊髓发育异常,也常常合并心脏和泌尿系统等内脏发育异常^[2]。本研究中椎管内发育畸形包括脊髓纵裂161例(其中I型脊髓纵裂78例,II型脊髓纵裂83例),脊髓拴系81例、脊髓空洞59例、Chiari畸形19例、椎管内肿瘤7例(表1),椎管内畸形以脊髓纵裂最为常见。

431例CS患者中合并肋骨畸形91例;内脏畸形共24例,其中主要包括肾脏畸形(孤独肾、异位肾等)8例、心血管畸形(房缺、室缺、动脉导管未闭等)16例等(表2)。

2.2 先天性脊柱侧凸手术治疗的总体疗效

根据患者发病年龄、发育潜能、脊柱畸形严重程度、术前神经功能状态等情况选择合适的手术治疗方案。其中生长撑开型非融合矫形技术(生长棒及人工钛肋)40例、半椎体切除48例、后路矫形长节段固定融合术(可含1、2级截骨)89例、后路截骨(3级及以上截骨)矫形长节段固定融合254例。431例患者平均手术时间为 $412.35\pm 150.57\text{min}$,术中出血量为 $1879.93\pm 1727.63\text{ml}$,平均随访时间 48.7 ± 9.3 个月。各术式的手术时间、术中出血量、术前、术后即刻及末次随访时的脊柱畸形冠状面与矢状面参数测量结果见表3。末次随访时的脊柱侧凸Cobb角和C7PL-CSVL与术前比较均有统计学差异($P<0.05$)(图1~3)。

2.3 术后并发症

431例病例中,共130例发生220例次术后

表 1 先天性脊柱侧凸合并椎管内畸形情况
Table 1 Congenital scoliosis with spinal cord deformity

	脊髓纵裂 Diastomyelia		脊髓空洞 Sy- ringomyelia	脊髓拴系 Tethered cord syndrome	Chiari畸形 Chiari malformation	中央管扩张 Sy- ringomyelus	脊膜膨出 Myelomenin gocele	椎管内肿瘤 Intraspinal tumor
	I 型 Type I	II 型 Type II						
例数(例)Cases	78	83	59	81	19	13	11	7
占比(%)Proportion	18.10	19.26	13.69	18.79	4.41	3.02	2.55	1.62

表 2 先天性脊柱侧凸合并其他畸形
Table 2 Congenital scoliosis with other deformities

	肋骨畸形 Rib deformity	房/室间隔缺损/动脉导管未闭 Atrial/Ventricular septal defect/Patent ductus arteriosus	心室假腱索/假瘤 Ventricular false tendon/ Pseudotumor	肾脏畸形 Renal malformations
例数(例)Cases	91	8	8	8
占比(%)Proportion	21.11	1.86	1.86	1.86

表 3 先天性脊柱侧凸手术治疗效果 (x±s)
Table 3 Surgical outcome for congenital scoliosis

	A组(n=40) Group A	B组(n=48) Group B	C组(n=89) Group C	D组(n=254) Group D	总计(n=431) Total
Cobb角(°) Cobb angle					
术前 Preoperative	82.90±24.90	45.77±26.09	65.22±22.83	72.54±27.34	68.88±27.55
术后即刻 Postoperative	43.99±21.80 ^①	16.83±14.45 ^①	28.06±16.42 ^①	29.04±18.50 ^①	28.86±18.90 ^①
矫正率(%) Correction rate	46.94	63.23	56.98	59.97	58.10
末次随访 Final follow-up	47.66±21.33 ^①	18.28±13.24 ^①	30.40±18.87 ^①	30.58±19.24 ^①	30.77±19.80 ^①
矫正率(%) Correction rate	42.51	60.06	53.39	57.84	55.33
SVA(mm)					
术前 Preoperative	14.30±8.77	28.96±21.75	22.46±19.75	21.63±19.50	22.15±19.37
术后即刻 Postoperative	18.88±16.99	25.97±29.76	30.04±21.99	22.26±21.01	24.15±22.22
末次随访 Final follow-up	15.83±10.67	17.93±14.73 ^②	24.38±19.75	18.89±15.22	19.75±16.06
C7PL-CSVL(mm)					
术前 Preoperative	26.67±16.18	15.99±10.64	16.27±12.70	16.91±16.91	17.37±15.47
术后即刻 Postoperative	21.04±21.25	20.31±18.42	18.22±13.61	18.02±14.39	18.56±15.19
末次随访 Final follow-up	13.75±15.67 ^①	12.74±11.63	10.88±8.48 ^{②③}	13.80±13.38	13.03±12.39 ^①

注:①与术前比较 $P<0.01$;②与术前比较 $P<0.05$;③与术后即刻比较 $P<0.01$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.01$; ②Compared with preoperation, $P<0.05$; ③Compared with postoperation, $P<0.01$

并发症,发生率为 30.16%。内固定相关并发症包括断棒、断钉、脱钩等发生 20 例,发生率为 4.64%。术后肺部并发症 49 例,肺部并发症的发生率为 11.36%,主要包括呼吸困难及低氧血症(35 例)、胸腔积液(8 例)、肺炎(4 例)等。术后肺部并发症给予胸腔闭式引流、低流量吸氧、抗感染等治疗,均于出院前痊愈。神经并发症 30 例,表现为术后单侧下肢肌力下降 12 例,双侧下肢肌力下降 6 例(其中 2 例术前双下肢肌力已下降,术后加重),单侧下肢麻木 12 例。给予神经营养等对症治疗,均短期内恢复。术后伤口感染 10 例,其中 8 例

为皮肤浅层感染,2 例为术后深部感染。皮肤浅层感染给予换药,均于 1 周内痊愈,2 例深部感染患者因感染行非计划再次手术,术后愈合良好。

使用生长撑开型非融合技术治疗 40 例,其中生长棒手术 33 例,内固定相关并发症 8 例,发生率 24.24%,终止生长撑开,提前行终末融合手术,皮肤浅层感染 2 例,肺部并发症 1 例。人工钛肋 7 例,全部发生了内固定相关并发症,终止生长撑开,行终末融合手术,皮肤浅层感染 3 例,肺部并发症 2 例。半椎体切除短节段融合治疗共 48 例,肺部并发症 5 例,感染 1 例。后路长节段矫形固定

融合术(PSF, 可含 1、2 级截骨)89 例, 肺部并发症 3 例, 脑脊液漏 3 例, 感染 1 例。后路截骨(3 级及以上)矫形长节段固定融合术 254 例, 肺部并发症 38 例, 神经并发症 30 例, 脑脊液漏 5 例, 内固定相关并发症 5 例, 均为断棒, 其中 3 例因腰背部疼痛, 矫形丢失行翻修手术, 2 例因无疼痛等临床症状, 无矫形丢失, 密切观察随访, 未行翻修手术, 感染 3 例, 其中 2 例为深部感染, 行非计划二次手术后痊愈(表 4)。

431 例 CS 患者中包括椎体形成障碍 132 例, 椎体分节不良 112 例, 混合型 187 例。其中椎体形成障碍患者 132 例, 发生肺部并发症 37 例, 神经并发症 10 例, 脑脊液漏 4 例, 内固定相关并发症 10 例, 感染 8 例。132 例椎体形成障碍患者中有 59 例合并椎管内畸形, 这 59 例患者中有肺部并发症 21, 神经并发症 3 例, 脑脊液漏 4 例, 内固定

相关并发症 2 例, 感染 4 例。椎体分节不良患者 112 例, 发生肺部并发症 6 例, 神经并发症 3 例, 脑脊液漏 4 例, 这些并发症均发生在合并椎管内畸形的椎体分节不良的 CS 患者中。混合型患者共 187 例, 发生肺部并发症 6 例, 神经并发症 17 例, 内固定相关并发症 10 例, 感染 2 例。187 例混合型患者中合并椎管内畸形的有 86 例, 其中发生肺部并发症 3 例, 神经并发症 12 例, 内固定相关并发症 3 例(表 5)。

术后肺部并发症和神经并发症在椎体形成障碍、混合型患者以及后路截骨矫形长节段固定融合术患者发生率较高。对患者性别、年龄、出血量、术前 Cobb 角进行分组比较, 初步发现年龄 ≥ 15 岁、术中出血量 $\geq 1500\text{ml}$ 、术前 Cobb 角 $\geq 100^\circ$ 和手术时间 $\geq 350\text{min}$ 的情况下肺部并发症明显增高; 而神经并发症在术前 Cobb 角 $\geq 100^\circ$ 和手术时

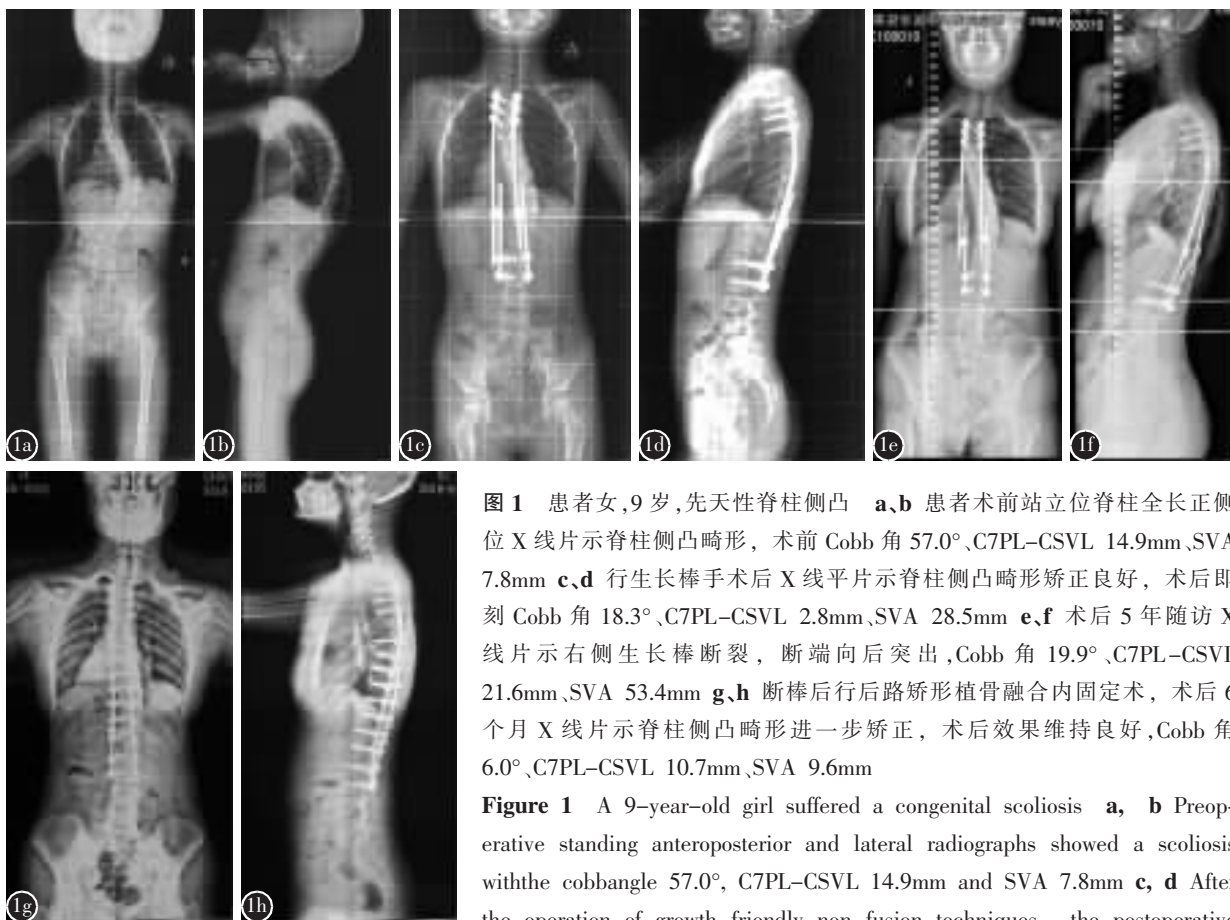


图 1 患者女, 9 岁, 先天性脊柱侧凸 **a、b** 患者术前站立位脊柱全长正侧位 X 线片示脊柱侧凸畸形, 术前 Cobb 角 57.0° 、C7PL-CSVL 14.9mm、SVA 7.8mm **c、d** 行生长棒手术后 X 线平片示脊柱侧凸畸形矫正良好, 术后即刻 Cobb 角 18.3° 、C7PL-CSVL 2.8mm、SVA 28.5mm **e、f** 术后 5 年随访 X 线片示右侧生长棒断裂, 断端向后突出, Cobb 角 19.9° 、C7PL-CSVL 21.6mm、SVA 53.4mm **g、h** 断棒后行后路矫形植骨融合内固定术, 术后 6 个月 X 线片示脊柱侧凸畸形进一步矫正, 术后效果维持良好, Cobb 角 6.0° 、C7PL-CSVL 10.7mm、SVA 9.6mm

Figure 1 A 9-year-old girl suffered a congenital scoliosis **a, b** Preoperative standing anteroposterior and lateral radiographs showed a scoliosis with the Cobb angle 57.0° , C7PL-CSVL 14.9mm and SVA 7.8mm **c, d** After the operation of growth-friendly non-fusion techniques, the postoperative radiographs showed a great correction with the Cobb angle 18.3° , C7PL-CSVL 2.8mm and SVA 28.5mm **e, f** At final follow-up of 5 years, the right rod was found broken and outward protruded with a Cobb angle 19.9° , C7PL-CSVL 21.6mm and SVA 53.4mm in the radiographs **g, h** Finally, the patient underwent a ultimate operation of posterior spinal fusion, and achieved a better correction with Cobb angle 6.0° , C7PL-CSVL 10.7mm and SVA 9.6mm six months later

间 $\geq 350\text{min}$ 的情况下较其他情况明显增加(表 6);对肺部和神经并发症危险因素进行 Logistic 回归分析(表 7),发现患者年龄和术前 Cobb 角是

术后肺部并发症的危险因素;而手术时间和术前 Cobb 角则是术后发生神经并发症的高危因素。

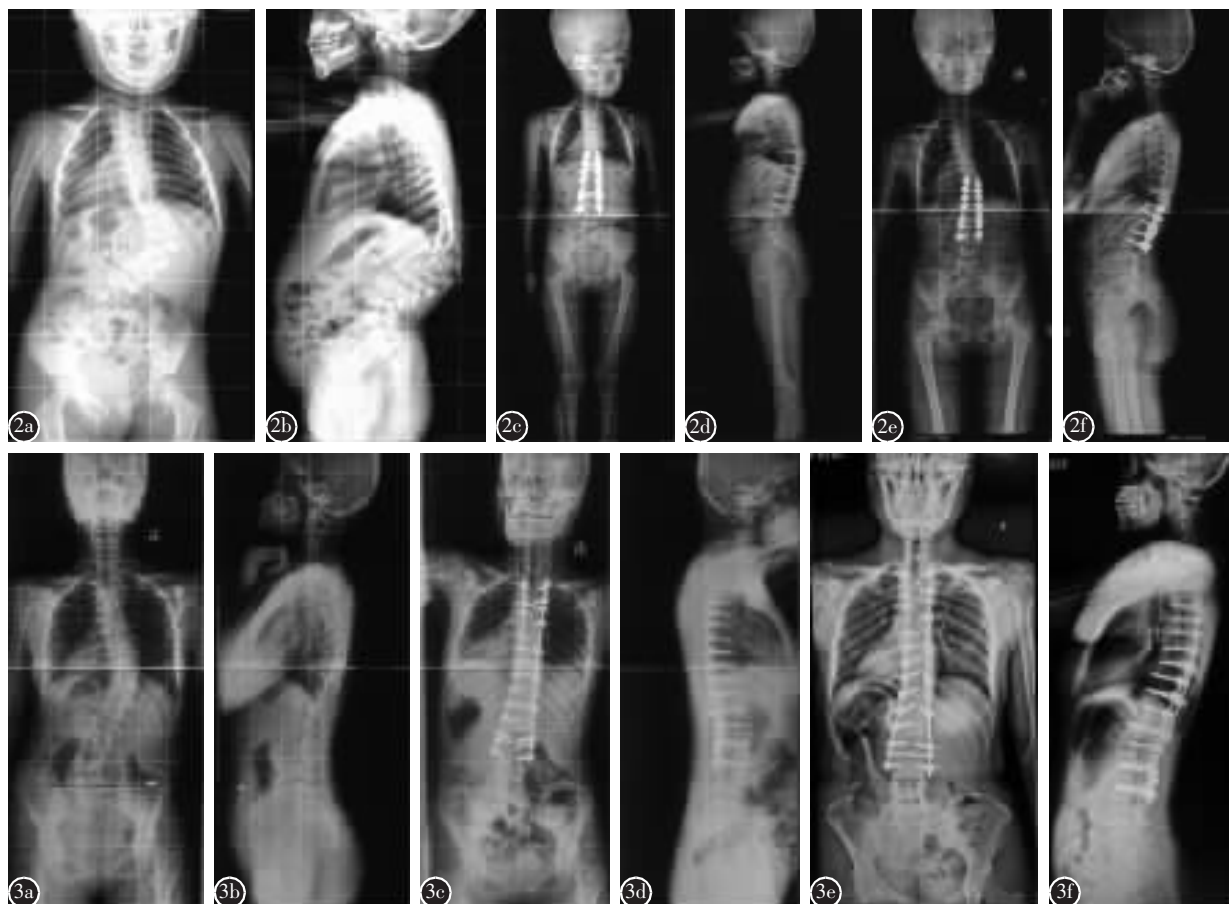


图 2 患者女,2.5 岁,先天性脊柱侧凸,T12 半椎体 **a,b** 术前站立位脊柱全长正侧位 X 线片示 T12 半椎体形成,脊柱呈侧后凸畸形,术前 Cobb 角 56.1° 、C7PL-CSVL 15.2mm、SVA 2.9mm **c,d** 行后路 T12 半椎体切除、T10~L3 侧凸畸形植骨融合内固定术后 X 线片示患者侧后凸畸形矫正良好,术后即刻 Cobb 角 1.2° 、C7PL-CSVL 7.2mm、SVA 17.6mm **e,f** 术后 6 年站立位脊柱全长正侧位 X 线片示患者侧后凸畸形矫正无明显丢失,Cobb 角 7.8° 、C7PL-CSVL 14.3mm、SVA 23.3mm

图 3 患者女,19 岁,先天性脊柱侧凸合并 I 型脊髓纵裂、脊髓空洞以及脊髓拴系,一期行后路 T2~L3 脊柱侧凸畸形植骨融合内固定术以及骨性纵隔切除术 **a,b** 患者术前站立位脊柱全长正侧位 X 线片示脊柱侧凸畸形,术前 Cobb 角 39.4° 、C7PL-CSVL 35.2mm、SVA 13.0mm **c,d** 术后即刻 X 线片示脊柱侧凸畸形矫正良好,术后即刻 Cobb 角 6.6° 、C7PL-CSVL 8.4mm、SVA 20.3mm **e,f** 术后 6 年站立位脊柱全长正侧位 X 线片示脊柱侧凸矫正效果维持良好,Cobb 角 5.3° 、C7PL-CSVL 1.7mm、SVA 7.1mm

Figure 2 A 2.5-year-old girl suffered a congenital scoliosis, complicated with T12 hemivertebra **a, b** Preoperative radiographs showed a scoliosis deformity with a Cobb angle 56.1° , C7PL-CSVL 15.2mm and SVA 2.9mm, complicated with a hemivertebra in T12 level **c, d** In the postoperative radiographs, the T12 hemivertebra was resected and T10 to L3 levels were fused with the Cobb angle 1.2° , C7PL-CSVL 7.2mm and SVA 17.6mm postoperatively **e, f** At final follow-up of 6 years, the correction was maintained well with the Cobb angle 7.8° , C7PL-CSVL 14.3mm and SVA 23.3mm

Figure 3 A 19-year-old girl suffered a congenital scoliosis, complicated with type I diastomyelia, syringomyelia and tether cord **a, b** Preoperative standing anteroposterior and lateral radiographsshowed a scoliosis with the Cobb angle 39.4° ,C7PL-CSVL 35.2mm and SVA 13.0mm **c, d** The postoperative radiographs showed a favorable correction with the Cobb angle 6.6° , C7PL-CSVL 8.4mm and SVA 20.3mm **e, f** At final follow-up of 6 years, the radiographs showed that the deformity correction was maintained well with the Cobb angle 5.3° , C7PL-CSVL 1.7mm and SVA 7.1mm

3 讨论

3.1 先天性脊柱侧凸手术治疗的总体疗效

先天性脊柱侧凸手术治疗的四种手术方式,即生长撑开型非融合技术、半椎体切除短节段固定术、长节段矫形固定融合术、长节段截骨矫形固定融合术,与既往研究相比,总体矫形效果相近。

半椎体在 CS 中极为常见,也往往是导致畸形的始动因素。半椎体切除,可去除导致脊柱畸形的病因,且不破坏其它节段椎体的生长潜能,从而达到良好的治疗效果。Jae 等^[3]总结了 21 例 10 岁以下接受半椎体切除治疗 CS 的患儿,术后随访 5 年,结果显示主弯 Cobb 角矫形率 52.9%、冠状面平衡、矢状面平衡均得到明显的改善。术后并发症共 5 例,其中 adding-on 现象 2 例,伤口感染 1 例,硬膜撕裂 1 例,短暂的神经营养障碍 1 例。Wang 等^[4]也报道了相似的研究结果。本研究共 48 例半

椎体切除患儿,术后 Cobb 角矫形率 63.23%,冠状面、矢状面平衡恢复良好,并发症 6 例,其中肺部并发症 5 例,感染 1 例,与既往研究结果基本一致。因此,半椎体切除短节段固定融合术是 10 岁以下半椎体畸形治疗安全有效的手段,术中半椎体的彻底切除是良好矫形的关键。

对于早发的 CS(年龄<10 岁),过早地融合脊柱尤其是长节段固定融合中上胸椎,会限制胸椎的纵向发育,使胸廓的高度低于同龄儿童,最终引起限制性通气功能障碍。生长撑开型非融合技术既能阻止畸形进展,又能维持脊柱和胸廓发育。目前常见的生长撑开型非融合技术主要是生长棒技术。Hazeem 等^[5]总结 19 例生长棒治疗早发进展型 CS,两年随访后主弯 Cobb 角纠正 28.8%。本研究共收集生长撑开型非融合 40 例,平均矫形率 42.51%,与既往研究结果相比,矫正率略高,分析

表 4 不同术式的术后并发症

($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Postoperative complications of different types of surgical techniques

	手术时间(min) Operation time	出血量(ml) Estimated blood loss	肺部并发症 (例) Pulmonary complication	神经并发症 (例) Neurological complication	脑脊液漏 (例) Cerebrospinal fluid leakage	内固定相关并发症 (例) Instrument related complication	感染(例) Infection
A(n=40)	270.00±158.10	720.00±982.97	3	0	0	15	5
B(n=48)	304.88±100.63	776.47±386.54	5	0	0	0	1
C(n=89)	405.03±130.59	1573.00±902.27	3	0	3	0	1
D(n=254)	454.16±145.00	2356.63±1988.80	38	30	5	5	3
总计(n=431)Overall	412.35±150.57	1879.93±1727.63	49	30	8	20	10

注:A,生长撑开型非融合技术;B,半椎体切除短节段固定;C,长节段矫形固定;D,长节段截骨矫形固定

Note: A, growth-friendly non-fusion techniques; B, posterior hemivertebra resection and short fusion; C, posterior spinal fusion without osteotomy; D, posterior osteotomy and spinal fusion

表 5 不同类型先天性脊柱侧凸术后并发症分析

Table 5 Complications analysis of different types of vertebral deformities

	椎管内畸形 Intraspinal malformation	肺部并发症(例) Pulmonary complication	神经并发症(例) Neurological complication	脑脊液漏(例) Cerebrospinal fluid leakage	内固定相关并发症(例) Instrument related complication	感染(例) Infection
椎体形成障碍 Failure of formation	合并(n=59)With	21	3	4	2	4
	不合并(n=73)without	16	7	0	8	4
	总计(n=132)Overall	37 ^①	10	4	10 ^①	8 ^①
椎体分节不良 Failure of segmentation	合并(n=67)With	6	3	4	0	0
	不合并(n=45)without	0	0	0	0	0
	总计(n=112)Overall	6	3	4	0	0
混合型 Mixed form	合并(n=86)With	3	12 ^②	0	3	0
	不合并(n=101)without	3	5	0	7	2
	总计(n=187)Overall	6 ^③	17 ^①	0 ^①	10 ^①	2 ^③

注:①与椎体分节不良者比较 $P<0.05$;②与不合并椎管内畸形者比较 $P<0.05$;③与椎体形成障碍者比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with failure of segmentation, $P<0.05$; ②Compared with without intraspinal malformation, $P<0.05$; ③Compared with failure of formation, $P<0.05$

原因可能与本研究中生长棒均采用双棒技术有关。人工钛肋技术因为极高的并发症发生率,目前很少采用。

截骨矫形长节段固定融合术的矫形效率高,本研究中末次随访矫形率为 57.84%,但是其手术时间及术中出血量也最大,术后发生神经并发症的风险也最高。Chang 等^[9]对 45 例行全脊柱截骨矫形的严重 CS 患者进行了 10 年随访,发现末次随访时矫形率为 62.1%;与本研究中的矫正率相当,在本研究中行后路截骨矫形的 254 例 CS 患者中断棒共 5 例。进一步分析断棒发生的时间,发

现其中 4 例发生于 2017 年之后,这可能与早期嘱患者术后均佩戴支具 1 年以上,而后期支具佩戴的时间缩短为 3~6 个月。因此术后佩戴可靠的支具,且足够长时间的保护,对于截骨矫形术后降低断棒风险有重要意义。

3.2 不同类型 CS 患者术后并发症

既往不同疾病类型的 CS 术后并发症的研究较少,在本研究中 431 例 CS 患者中包括椎体形成障碍 132 例,椎体分节不良 112 例,混合型 187 例。椎体形成障碍的肺部并发症发生率为 28.0% (37/132),感染发生率为 6%,明显高于其他两种

表 6 先天性脊柱侧凸长节段截骨矫形内固定的并发症分析

Table 6 Complications analysis of PSF with osteotomy for congenital scoliosis

	项目 Items	例数 Cases	肺部并发症(例) Pulmonary complication	发生率(%) Incidence	P值 P value	神经并发症(例) Neurological complication	发生率(%) Incidence	P值 P value
性别 Sex	男性 Male	97	14	14.43	0.853	14	14.43	0.309
	女性 Female	157	24	15.29		16	10.19	
年龄 Age	<15 岁 Under 15	127	9	7.09	0.000*	13	10.24	0.437
	≥15 岁 Over 15	127	29	22.83		17	13.39	
出血量 Estimated blood loss	<1500ml	85	7	8.24	0.033*	10	11.76	0.987
	≥1500ml	169	31	18.34		20	11.83	
术前 Cobb 角 Preoperative Cobb	<100°	211	26	12.32	0.009*	17	8.06	0.000*
	≥100°	43	12	27.91		13	30.23	
手术时间 Operative time	<350min	67	4	5.97	0.016*	1	1.49	0.002*
	≥350min	187	34	18.18		29	15.51	

注:*表示差异具有统计学意义($P<0.05$)

Note: *Indicates statistically significant difference($P<0.05$)

表 7 先天性脊柱侧凸长节段截骨矫形内固定并发症危险因素 Logistic 回归分析

Table 7 Logistic regression analysis of risk factors for complications after PSF with osteotomy in CS

	项目 Items	参数估计值 B Parameter estimate B	标准误差 Standard error	Wald	P值 P value	OR 值 Exp(B)	95%CI
肺部并发症 Pulmonary complication	性别 Sex	-0.565	0.462	1.495	0.222	0.568	0.230-1.406
	年龄 Age	2.142	0.555	14.890	0.000*	8.513	2.869-25.264
	手术时间 Operation time	0.242	0.766	0.100	0.752	1.274	0.284-5.714
	出血量 Blood loss	-0.207	0.583	0.126	0.723	0.813	0.260-2.547
	术前 Cobb 角 preoperative Cobb	3.295	0.555	35.222	0.000*	26.969	9.085-80.057
神经并发症 Neurological complication	性别 Sex	-0.527	0.421	1.567	0.211	0.590	0.259-1.347
	年龄 Age	0.595	0.446	1.776	0.183	1.813	0.756-4.349
	手术时间 Operation time	1.704	0.811	4.412	0.036*	5.496	1.121-26.954
	出血量 Blood loss	-0.833	0.497	2.807	0.094	0.435	0.164-1.152
	术前 Cobb 角 preoperative Cobb	1.278	0.462	7.644	0.006*	3.590	1.451-8.884

注:*表示差异具有统计学意义($P<0.05$)

Note: *Indicates statistically significant difference($P<0.05$)

类型的 CS 患者。而椎体分节不全的患者内固定相关并发症发生率在三种不同类型的 CS 患者中最低。

将三种不同类型 CS 的术后并发症按照是否合并椎管内畸形进行进一步分析,发现在混合型先天脊柱侧凸中合并椎管内畸形的患者术后神经并发症明显高于不合并椎管内畸形的患者。其原因可能是由于此类患者除了需要对脊柱侧凸进行矫形外,有时还需要对椎管内畸形进行一期处理,导致手术时间延长、出血量增多进而导致神经并发症的发生率增加。鉴于既往对于不同类型 CS 的术后并发症的研究较少,本研究中虽然得出了一些关于不同类型 CS 患者术后并发症的具有统计学意义的数据,但是毕竟样本量有限,因此需要进一步更大样本量的深入研究进行验证。

3.3 生长撑开型非融合技术的手术并发症

生长撑开型非融合矫形技术包括人工钛肋(VEPTR)、生长棒等。VEPTR 技术曾一度作为热门的生长撑开型非融合矫形技术,但是后来逐渐发现其存在一些明显的问题^[7]。Campbell 等^[8]报道 14 例接受 VEPTR 治疗的患者中,9 例术后出现并发症,包括肋骨抱钩移位、肋骨骨折、软组织感染等。Flynn 等^[9]报道了 24 例接受 VEPTR 的治疗且平均随访 40 个月的研究,结果显示 83.3% 的患者出现了 Cobb 角的增大,29.1% 的患者出现了内固定相关并发症,25% 的患者出现感染。本研究中 VEPTR 有 7 例,全部发生了内固定相关并发症,并发症发生率明显高于生长棒。

Hazeem 等^[5]总结 19 例生长棒治疗早发进展型 CS 的病例,共有 8 例发生 14 例次并发症,其中 11 例次内固定相关并发症,2 例次肺部并发症,1 例次感染。Bess 等^[10]报道 140 例接受生长棒治疗的患儿,其中 58% 的患儿至少发生过 1 例次并发症。71 例单棒治疗的患者中有 27% 由于内固定相关并发症进行了非计划手术,而 69 例双棒技术治疗的患者中有 10% 由于内固定相关并发症进行了非计划手术。本研究中,生长棒共计 33 例,均采用双棒技术,8 例发生 11 例次并发症,其中内固定相关并发症 8 例次,感染 2 例次;而人工钛肋(VEPTR)7 例,均发生内固定相关并发症。

生长撑开型非融合矫形技术我们的体会:(1)人工钛肋并发症高,效果较生长棒差,不建议作为首选;(2)生长棒治疗过程中断棒发生率高,与反

复撑开过程中金属疲劳相关,因此生长棒尽量使用双棒,双棒相比单棒,并发症发生率下降;(3)自发性融合现象可能与反复手术切开暴露相关。因此每次撑开操作时应仅暴露深筋膜下的连接阔进行撑开操作,术中应尽量减少软组织剥离。

3.4 CS 术后肺部并发症

既往文献报道脊柱侧凸术后肺部并发症的发生率约为 13.9%~18%^[11,12],其中胸腔积液是最常见的并发症,并且术后肺部并发症的发生和脊柱畸形的严重程度密切相关,Cobb 角 $>90^{\circ}$ 是发生术后肺部并发症的危险因素。术前肺功能的状态是否对术后肺部并发症的发生有影响,目前仍存在争议。Liang 等^[13]的研究认为术前的肺功能状态对于术后肺部并发症的发生并无影响。但是 Kang 等^[14]的研究结果是术前 FVC $<39.5\%$ 或者 FEV1 $<40\%$ 是术后肺部并发症的独立影响因素。Montaha 等^[11]的研究也认为术前严重的肺功能障碍会导致术后肺部并发症的增加,术前使用无创呼吸机治疗有助于减少术后肺部并发症。前述两种观点不一致,笔者认为其原因是由于未将术前肺功能障碍的严重程度进行区分,肺功能障碍合并呼吸衰竭则术后肺部并发症的发生率大大增加。团队既往的研究^[15]结果显示:术前 FVC、FEV1 降低与 CS 术后肺部并发症相关,但并不是独立的危险因素。在本研究中,有 3 例患者术前 FVC、FEV1 降低同时合并呼吸衰竭,术后全部出现了肺部并发症,因此我们认为术前 FVC、FEV1 小于 40%,且合并呼吸功能衰竭的患者术后肺部并发症的发生率升高。术前行呼吸机治疗可减少术后肺部并发症,提高患者康复速度,缩短住院时间。此外,本研究的结果还显示在椎体形成障碍患者中,肺部并发症的发病率显著高于椎体分节不良及混合型患者,因此,对于椎体形成障碍患者,术后需要特别关注肺部并发症的发生。

3.5 先天性脊柱侧凸术后神经并发症

先天性脊柱侧凸病情复杂,手术风险大,术中出血多,术后并发症发生率高^[16],神经并发症尤其需要重视。邱勇团队^[17]报道了 1373 例脊柱侧凸术后神经并发症总体发生率为 1.89%,其中 CS 患者 381 例,CS 术后神经并发症的发生率为 2.89%,明显高于青少年特发性脊柱侧凸患者。Cobb 角 $>90^{\circ}$ 的重度 CS 术后神经并发症的发生率为 7.23%,而 Cobb 角 $<90^{\circ}$ 的轻度 CS 神经并发症的发生率为

1.68%,提示重度畸形(Cobb 角 $>90^\circ$)是术后发生神经并发症的高危因素。Oheneba 等^[18]总结了 286 例 Cobb 角 $>100^\circ$ 或者行 VCR 截骨术的脊柱侧凸患者,发现共有 27 例发生了神经并发症(9.4%),其中 CS 共 108 例,17 例发生了术后神经并发症(15.7%)。本研究中,CS 术后神经并发症的总体发生率为 6.96%,其中针对 Cobb 角 $>100^\circ$ 的重度畸形患者 43 例,术后神经并发症的发生率为 30.23%,与既往研究基本一致。我们的研究中发现,术前 Cobb 角和手术时间与术后神经并发症密切相关。脊柱侧凸 Cobb 角 $>100^\circ$,手术时间 $>350\text{min}$,术后神经并发症发生率明显增加。

3.6 合并椎管内畸形的重度 CS 手术治疗的并发症

本研究中的 CS 患者合并有椎管内畸形的发生率为 49.19%,其中以脊髓纵裂最为常见。合并椎管内畸形的 CS,其手术治疗具有一定特殊性,因此对其术后并发症也应给予足够重视。CS 合并脊髓拴系,传统的策略是先行脊髓拴系松解,然后一期或二期行脊柱矫形手术^[19]。然而脊髓拴系松解手术本身具有较高风险,术后脊髓拴系再发率较高,同时降低脊柱矫形效果。Ahuja 等^[20]的研究结果认为术前行脊髓拴系松解是不必要的,反而增加了手术并发症的机会。本研究中,对于合并有脊髓拴系的 81 例 CS 患者均未行脊髓拴系的松解,直接行截骨矫形治疗,术后神经并发症的发生率为 16.04%(13 例),术后脑脊液漏 2 例。与既往先行脊髓拴系松解再行脊柱矫形相比,神经并发症的发生率并无升高。

合并脊髓纵裂 CS 术后神经并发症的发生率为 5.1%^[21],明显高于不合并椎管内畸形的 CS^[17]。因此在治疗合并脊髓纵裂的 CS 时如何减少术后并发症,提高手术的安全性是一个必须重视的问题。脊髓纵裂是否需要预防性切除、一期切除还是二期切除,一直存在争议。Börcek 等^[22]学者认为,所有脊髓纵裂均需手术处理,以避免进一步的神经损害。而沈建雄等^[21]及一些学者^[23]则认为,没有神经功能损害或者神经功能损害稳定的患者无需预先处理脊髓纵裂,一样可以获得良好的矫形效果,同时也没有增加额外的手术并发症。本研究中合并 I 型脊髓纵裂的 CS 共有 78 例,术后神经并发症的发生率为 10 例,并发症发生率为 12.82%。其中 26 例为同时具有 I 型脊髓纵裂和脊髓拴系,

术后 6 例发生神经并发症,神经并发症的发生率为 23.07%,提示椎管内合并多种畸形时,其神经并发症的发生率升高。本课题组既往的研究^[23]提示脊髓低位可能是骨性纵隔限制脊髓移动造成。因此,本研究中同时合并有 I 型脊髓纵裂和脊髓拴系的患者均一期行骨性纵隔切除+侧凸矫形(必要时行 PSO 或者 VCR 截骨)。

综上,先天性脊柱侧凸病情复杂,可分为椎体形成障碍、椎体分节不良及混合型。CS 的治疗策略也不尽相同,目前常用的治疗方法有:生长撑开型非融合矫形技术(包括生长棒和人工钛肋)、后路半椎体切除短节段矫形固定术,后路脊柱矫形融合内固定术,后路脊柱截骨矫形融合内固定术,临床上根据患者不同的病情,选择合适的治疗方案。本研究的结果提示:半椎体切除短节段矫形固定融合术的矫形效果好,术后并发症也最少;后路截骨矫形长节段固定融合术用于严重的 CS 畸形的治疗,其矫形效果仅次于半椎体切除短节段融合,但是该手术方式术后并发症相对较高,尤其需要重视其术后肺部并发症和神经并发症的发生;生长撑开型非融合矫形技术矫形的效果相对较低,但是其并发症较多,在临床使用中需要严格把握适应症,治疗过程中需特别注意术后并发症的发生。从不同 CS 疾病类型的角度分析,椎体形成障碍的患者肺部并发症及感染的发生率高于其他两种类型 CS 患者的发生率,在混合型的 CS 中合并椎管内畸形的患者术后神经并发症的发生率明显高于不合并椎管内畸形的患者,这些初步的研究结果可为 CS 患者的临床决策提供一些借鉴。

4 参考文献

1. Shen J, Wang Z, Liu J, et al. Abnormalities associated with congenital scoliosis: a retrospective study of 226 Chinese surgical cases[J]. Spine, 2013, 38(10): 814-818.
2. Wang X, Yu Y, Yang N, et al. Incidence of intraspinal abnormalities in congenital scoliosis: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1): 485.
3. Yang JH, Chang DG, Suh SW, et al. Clinical and radiological outcomes of hemivertebra resection for congenital scoliosis in children under age 10 years: More than 5-year follow-up[J]. Medicine(Baltimore), 2020, 99(32): e21720.
4. Wang C, Meng Z, You DP, et al. Individualized study of posterior hemivertebra excision and short-segment pedicle screw fixation for the treatment of congenital scoliosis[J]. Orthop Surg, 2021, 13(1): 98-108.

5. Elsebai HB, Yazici M, Thompson GH, et al. Safety and efficacy of growing rod technique for pediatric congenital spinal deformities[J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(1): 1-5.
6. Chang DG, Yang JH, Lee JH, et al. Congenital scoliosis treated with posterior vertebral column resection in patients younger than 18 years: longer than 10-year follow-up [J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 25(2): 225-233.
7. Chen Z, Li S, Qiu Y, et al. Evolution of the postoperative sagittal spinal profile in early-onset scoliosis: is there a difference between rib-based and spine-based growth-friendly instrumentation[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2017, 20(6): 561-566.
8. Campbell RM, Hell-Vocke AK. Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85(3): 409-420.
9. Flynn JM, Emans JB, Smith JT, et al. VEPTR to treat non-syndromic congenital scoliosis: a multicenter, mid-term follow-up study[J]. *J Pediatr Orthop*, 2013, 33(7): 679-684.
10. 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.
11. Al-Iede MM, Al-Zayadneh E, Bridge C, et al. Risk factors for postoperative pulmonary complications in children with severely compromised pulmonary function secondary to severe scoliosis[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020, 55(10): 2782-2790.
12. Wu L, Zhang XN, Wang YS, et al. Risk factors for pulmonary complications after posterior spinal instrumentation and fusion in the treatment of congenital scoliosis: a case-control study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 331.
13. Liang J, Qiu G, Shen J, et al. Predictive factors of postoperative pulmonary complications in scoliotic patients with moderate or severe pulmonary dysfunction[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2010, 23(6): 388-392.
14. Kang GR, Suh SW, Lee IO. Preoperative predictors of postoperative pulmonary complications in neuromuscular scoliosis [J]. *J Orthop Sci*, 2011, 16(2): 139-147.
15. Yin S, Tao H, Du H, et al. Postoperative pulmonary complications following posterior spinal instrumentation and fusion for congenital scoliosis [J]. *PLoS One*, 2018, 13 (11): e0207657.
16. Hamilton DK, Smith JS, Sansur CA, et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee[J]. *Spine*, 2011, 36(15): 1218-1228.
17. Qiu Y, Wang S, Wang B, et al. Incidence and risk factors of neurological deficits of surgical correction for scoliosis: analysis of 1373 cases at one Chinese institution [J]. *Spine*, 2008, 33(5): 519-526.
18. Boachie-Adjei O, Duah HO, Yankey KP, et al. New neurologic deficit and recovery rates in the treatment of complex pediatric spine deformities exceeding 100 degrees or treated by vertebral column resection(VCR)[J]. *Spine Deform*, 2021, 9(2): 427-433.
19. Lee GY, Paradiso G, Tator CH, et al. Surgical management of tethered cord syndrome in adults: indications, techniques, and long-term outcomes in 60 patients [J]. *J Neurosurg Spine*, 2006, 4(2): 123-131.
20. Ahuja K, Ifthekar S, Mittal S, et al. Is detethering necessary before deformity correction in congenital scoliosis associated with tethered cord syndrome: a meta-analysis of current evidence[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(3): 599-611.
21. Shen J, Zhang J, Feng F, et al. Corrective surgery for congenital scoliosis associated with split cord malformation: it may be safe to leave diastematomyelia untreated in patients with intact or stable neurological status[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(11): 926-936.
22. Börcek AÖ, Ocal O, Emmez H, et al. Split cord malformation: experience from a tertiary referral center [J]. *Pediatr Neurosurg*, 2012, 48(5): 291-298.
23. Yang N, Luo M, Yu Y, et al. Is it better to resect a bony spur before corrective surgery for congenital scoliosis with type I split cord malformation[J]. *World Neurosurg*, 2019, 125: e1151-e1159.

(收稿日期:2021-02-02 修回日期:2021-05-02)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)