

成人脊柱畸形矫形术后冠状位失平衡 的相关危险因素分析

张子方^{1,2}, 宋 凯¹, 郑国权¹, 吴 兵¹, 王 征¹

(1 解放军总医院骨科第四医学中心 100853 北京市; 2 济宁医学院附属医院脊柱外科 272007 济宁市)

【摘要】目的:探索成人脊柱畸形(adult spinal deformity, ASD)患者矫形术后冠状位失平衡(coronal imbalance, CIB)的危险因素。**方法:**前瞻性纳入了在解放军总医院单一中心诊疗的 90 例 ASD 患者,患者均行后路长节段固定融合矫形手术(固定椎体 ≥ 5),术后随访至少 2 年。根据患者术前 C7 铅垂线(C7 plumb line, C7PL)与侧凸方向的关系,将所有患者分为两组, A 组为同向性脊柱-骨盆序列(C7PL 与侧凸同向), B 组则反之(C7PL 与侧凸相悖)。规定冠状位平衡距(coronal balance distance, CBD)(C7PL 到 S1 中点的距离)超过 30mm 为 CIB。直线相关分析探索 L4、L5 椎体倾斜度及主弯 Cobb 角与术后早期 CBD 的相关性。Kaplan-Meier 曲线分析随访期间非 CIB 生存时间。多因素 Cox 风险比例回归分析随访中 CIB 的相关危险因素。**结果:**20 例 ASD 患者术前发生 CIB, 发生率约为 22.2%; 术后早期 27 例出现 CIB; 末次随访时 35 例患者发生 CIB, 发生率增至 38.9%, 显著高于术前 CIB 发生率($P=0.015$)。A 组患者, 术前 11 例出现 CIB, 末次随访时为 22 例, CIB 发生率增加显著($P=0.019$); B 组患者术前及末次随访时 CIB 发生率无差异。末次随访时, 骨盆固定患者 CIB 发生率显著高于非骨盆固定患者($P<0.001$)。Kaplan-Meier 曲线显示骨盆固定及年龄超过 60 岁患者随访过程中非 CIB 生存时间显著缩短。多因素 Cox 风险比例回归分析结果显示年龄 >60 岁、骨盆固定及同向性脊柱-骨盆序列均为术后随访中 CIB 发生的危险因素。尽管术后早期 CBD 分别与 L4、L5 倾斜度、主弯 Cobb 角及三者矫正度显著相关($P<0.01$), 多因素直线回归分析结果显示只有术前 L5 倾斜度为术后 CBD 独立相关因素($r^2=0.295, P<0.001$)。**结论:**成人脊柱畸形伴同向性脊柱-骨盆序列, 且矫形术中行骶髂固定的老年患者, 术后随访中极可能出现 CIB 再发生。

【关键词】成人脊柱畸形; 冠状位失平衡; 冠状位平衡距; Kaplan-Meier 曲线

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2023.03.05

中图分类号: R682.3, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-03-0219-09

Coronal imbalance in adult spinal deformity after corrective surgery: an analysis on the risk factors/
ZHANG Zifang, SONG Kai, ZHENG Guoquan, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2023,
33(3): 219-227

【Abstract】 Objectives: To investigate the risk factors resulting in coronal imbalance(CIB) in adult spinal deformity(ASD) after correction surgery. **Methods:** A single-center prospective study including 90 ASD patients underwent long segment fusion(≥ 5 vertebrae) surgeries was performed. According to the relationship between preoperative C7 plumb line (C7PL) and scoliosis direction, the patients were subdivided into Group A with consistent spino-pelvis alignment(C7PL located at the convex side) and group B(C7PL at the concave side). CIB was considered if the coronal balance distance(CBD), the distance between C7PL and the midpoint of S1 >30 mm. Pearson-correlation and stepwise multiple-regression analysis were used to investigate coronal radiographic parameters related to CBD early postoperatively. A Kaplan-Meier curve was used to analyze the survival time in CIB-free patients during follow-up. Multivariate analysis via a Cox proportional hazards model was used to analyze the risk factors. **Results:** 20 out of the 90 patients(22.2%) showed CIB preoperatively,

基金项目: 国家骨科与运动康复临床医学研究中心创新基金项目 (编号:2021-NCRC-CXJJ-ZH-17); 国家重点研发课题 (编号:2020YFC1107404); 济宁医学院附属医院博士后课题(编号:321210)。

第一作者简介: 男(1983-), 医学博士、博士后, 研究方向: 脊柱外科、脊柱畸形

电话: (010)66938403 E-mail: zhangzifang2002@163.com

通讯作者: 王征 E-mail: wangzheng301@163.com

and the number increased to 27 at the immediate post-operation, which was 35(38.9%) at the final follow-up, significantly higher than that before operation($P=0.015$). In group A, 11 patients showed CIB preoperatively, the number was 22 at the final follow-up, with a significant increase in the incidence of CIB($P=0.019$); and in group B, there was no statistical difference in terms of incidence of CIB between preoperation and final follow-up. Comparing to those without pelvic fusion, patients with pelvic fixation had much higher incidence of CIB at the final follow-up ($P<0.001$). Kaplan-Meier curve demonstrated the survival time of CIB-free patients aged >60 years and with pelvic fixation was significantly shortened. Multivariate Cox risk proportional regression analysis revealed age >60 years, pelvic fixation, and consistent spino-pelvis alignment were the risk factors for CIB surgery. Although early postoperative CBD correlated significantly with L4 tilt, L5 tilt, major curve Cobb, and their corrections($P<0.01$), multiple-regression analysis revealed only the preoperative L5 tilt was the independent influencing factor of postoperative CBD ($r^2=0.295, P<0.001$). **Conclusions:** Elderly ASD patients with consistent spino-pelvis alignment underwent thoracolumbar fusion surgery extending to pelvis may be at the greatest risk for CIB developing during follow-up.

[Key words] Adult spinal deformity; Coronal imbalance; Coronal balance distance; Kaplan-Meier analysis

[Author's address] Orthopedic Department, the Fourth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing, 100853, China

成人脊柱畸形 (adult spinal deformity, ASD) 冠状位失平衡 (coronal imbalance, CIB) 严重影响患者生活质量 (health-related quality of life, HRQoL)^[1,2], 也可能增加患者矫形术后内固定失败的发生率^[3]。Daubs 等研究发现约 11.8%(10/85) 的 ASD 矫形术后出现 10mm 以上的冠状位平衡距 (coronal balance distance, CBD) 丢失^[4]。Bao 等^[5]报道退变性腰椎侧凸患者矫形手术后早期 CIB 发病率超过 30%。既往研究提出 ASD 患者矫形术后即刻 CIB 的危险因素包括体重指数 (body mass index, BMI), 同向性脊柱序列、CBD 过度矫正、主弯矫正度及腰骶部椎体倾斜矫正等^[5-10]。但是, ASD 患者矫形术后随访中是否出现 CIB 再发生? 危险因素有哪些? 相关研究至今罕见报道。我们前瞻性纳入了行长节段固定融合手术的 ASD 患者, 以探求其术后随访中脊柱冠状位整体平衡的变化情况, 及 CIB 再发生的危险因素。

1 资料与方法

1.1 患者及纳入、排除标准

本研究经我院伦理委员会审核批准 (伦理号: 20190602113)。前瞻性纳入了自 2019 年 6 月~2020 年 9 月在我院行矫形手术的 ASD 患者资料。

纳入标准: (1) 年龄 ≥ 45 岁; (2) ASD 影像学参数诊断标准包括以下其中之一, ①主弯 Cobb 角 $\geq 20^\circ$, ②矢状位平衡距 $\geq 5\text{cm}$, ③骨盆倾斜角 $\geq 25^\circ$, ④胸椎后凸角 $\geq 60^\circ$; (3) 患者研究资料

齐全; (4) 患者均行后路长节段固定融合手术 (固定椎体 ≥ 5), 随访时间 ≥ 24 个月。

排除标准: (1) 患者既往有脊柱骨盆外伤、手术史; (2) 既往有脊柱肿瘤病史; (3) 既往有脊柱结核病史; (4) 患者不伴有结构性主弯; (5) 既往有髋膝关节手术史; 或 (6) 双下肢长度差超过 2cm。

记录所有患者年龄、性别、BMI、基础性疾病等。手术参数包括上端固定椎 (upper instrumented vertebra, UIV)、下端固定椎 (lower instrumented vertebra, LIV)、截骨级别及固定椎体数。此外, 还包括矫形术后非 CIB 生存时间及随访时间。

1.2 影像学参数评估

所有患者均于术前、术后和末次随访时行站立位脊柱全长 X 线片检查, 患者体位要求如下: 自主站立位, 双上肢置于前方支架, 肩关节前屈 30° 、肘关节轻度屈曲, 以避免上肢遮挡脊柱成像。所有影像学资料均在 Surgimap 软件上测量^[11], 既往文献报道了该软件的可信度及精确度^[12]。所有影像学参数均由两位脊柱外科主治医师测量。

脊柱冠状面四个影像学参数: (1) 主弯 Cobb 角, 侧弯上端倾斜度最大的椎体上终板切线与下端倾斜度最大的椎体下终板切线之间的夹角, 左侧弯 Cobb 氏角记为负值 (-), 右侧弯则为正值 (+); (2) CBD, C7 铅垂线 (C7 plumb line, C7PL) 到 S1 中点的距离, C7PL 处于 S1 左侧, CBD 则记为负值 (-); C7PL 处于 S1 右侧, CBD 则记为正值 (+); (3) L4 倾斜度, L4 椎体上终板切线与水平线间的夹角, 左侧倾斜数值为负 (-), 右侧倾斜数值

则为正(+);(4)L5 倾斜度,L5 椎体上终板切线与水平线间的夹角,左侧倾斜数值为负(-),右侧倾斜数值则为正(+).

上述参数测量方法见图 1。所有影像学参数术中矫正度按以下方程计算: $d\text{-参数}=\text{术后参数值}-\text{术前参数值}$ 。根据既往研究结果^[5,7,13,14],我们规定 CIB 患者 CBD 临界值为 30mm。因此,CIB: $\text{CBD}>30\text{mm}$ 或 $<-30\text{mm}$; 冠状位平衡: $-30\text{mm}\leq \text{CBD}\leq 30\text{mm}$ 。所有患者分为两组:A 组,C7PL 偏移与侧凸同向(同向性脊柱-骨盆序列);B 组,C7PL 偏移与侧凸相悖。

1.3 统计学方法

正态分布的定量参数采用均数 $\pm$ 标准差表示,非正态分布的参数则采用中位数表示。定性变量采用分数及百分数表示。组间对照分析:正态分布参数选用独立样本 t 检验,非正态分布参数选用 Mann-Whitney U 检验。定性变量采用卡方检验或 Fisher 精确检验。CBD 与其他影像学参数之间相关性采用直线相关分析,并计算得出相关系数(r),最后采用多因素回归分析(r^2),得出独立危险因素。Kaplan-Meier 曲线分析随访过程中非 CIB 生存时间(log-rank 检验),多因素 Cox 风险比例回归分析相关风险因素,并记录相关 95%可信区间(confidence interval,CI)。所有统计学分析过程均由 SPSS 软件完成(Mac:26.0 版,IBM 公司)。 $P<0.05$ (双侧)则表示有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入 90 例 ASD 患者,其中包括 18 例男性、72 例女性,所有患者手术时平均年龄

64.48 $\pm$ 8.56 岁(45~79 岁)。A 组 50 例,B 组 40 例。

2.1 组间对照结果

两组患者一般资料及手术参数对照结果见表 1。A 组患者术前 11 例出现 CIB,末次随访时增加到 22 例,差异有显著性($P=0.019$)。两组患者手术前后影像学参数及其术中变化值见表 2。根据下端椎是否固定至骨盆,将患者分为两组,组间对照结果显示,术前 CIB 占比骨盆固定患者(29.5%)多于对照组(15.2%),但无统计学差异($P=0.131$);矫形术后 CIB 发生率相似($P=0.819$),但末次随访时,骨盆固定患者 CIB 发生率显著高于对照组($P<0.001$)。骨盆固定患者矫形术中固定节段较长($P=0.006$,表 3)。

2.2 术后早期冠状位平衡相关参数

所有患者术后 CBD、主弯 Cobb 角、L4 倾斜度、L5 倾斜度及后三者术中矫正度的平均值及其范围详见表 4。直线相关分析结果显示术后 CBD 分别与术前 L4 倾斜度($P<0.001$)、L5 倾斜度($P<0.001$)、主弯 Cobb 角($P<0.001$)、及三者矫正度均密切相关($d\text{-L4}, P=0.001$; $d\text{-L5}, P=0.001$; $d\text{-Cobb}, P<0.001$),结果详见表 5 及散点图(图 2)。多因素回归分析(逐步输入法)结果显示只有术前 L5 倾斜度为术后 CBD 独立相关参数($r^2=0.295, P<0.001$);回归方程: $\text{Post-CBD}=1.438-1.34\times \text{L5 tilt}$ 。

2.3 CIB 及其危险因素

所有影像学参数测量组间及组内 Kappa 值为 0.909、0.942。术前 CIB 患者有 20 例(22.2%),末次随访时增加到 35 例(38.9%),发生率有显著统计学差异($P=0.015$)。每间隔 15 岁为一组,我们将所有患者分为三组,随着年龄增长,非 CIB 生

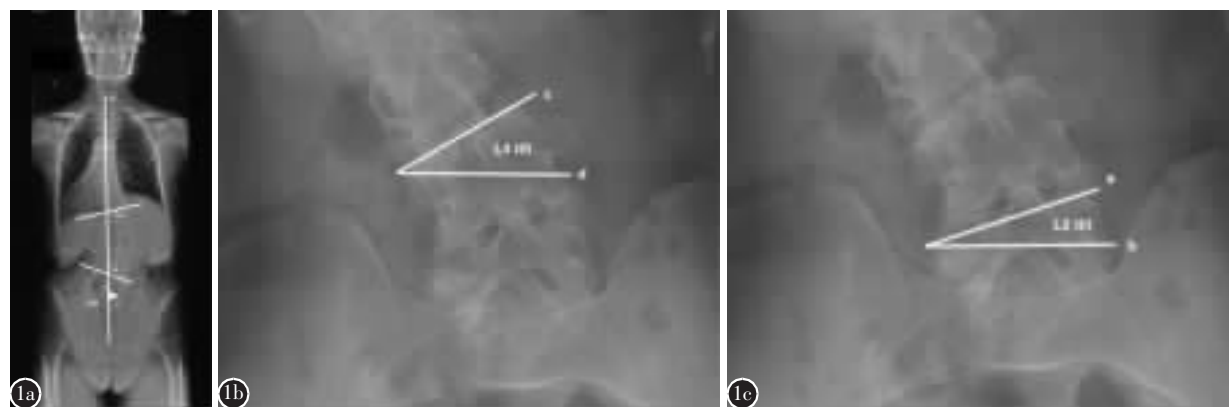


图 1 冠状位相关影像学参数测量示意图 a 冠状位平衡距及主弯 Cobb 角 b L4 椎体倾斜度 c L5 椎体倾斜度

Figure 1 Measurement of coronal parameters a Coronal balance distance (CBD) and the major curve Cobb angle b L4 coronal tilt c L5 coronal tilt

存时间逐渐缩短($P=0.017$, log-rank 检验, 图 3a)。此外, 骨盆固定患者随访过程中非 CIB 生存时间显著缩短($P=0.027$, log-rank 检验, 图 3b)。

将年龄、冠状位脊柱-骨盆序列、上下端固定椎、L4 及 L5 倾斜度、L4 及 L5 倾斜矫正度及主弯 Cobb 角导入多因素 Cox 风险比例回归分析, 结果显示同向性脊柱-骨盆序列[风险比(hazard ratio, HR)3.896, 95%CI:1.317~11.53]、年龄超过 60 岁(HR 1.547, 95%CI:1.006~2.381)及骨盆固定(HR

2.824, 95%CI:1.215~6.563)均为随访中 CIB 发生的危险因素(表 6)。典型病例详见图 4 及图 5。

3 讨论

后路长节段固定融合手术可有效恢复 ASD 患者脊柱-骨盆序列, 并提高患者生活质量^[15-17]。对于 ASD 患者冠状位畸形矫正策略, 既往文献已有诸多报道^[18-20]。此外, Obeid 等^[21]近期针对此类患者, 提出了综合性分型, 并详细阐述了相应的矫正方案。本研究根据 Obeid 等提出的分型, 并根据所有患者术前脊柱-骨盆序列特点进行分组, 组间对照发现术后即刻及末次随访时, A 组(躯干偏移与侧凸同向)患者 CIB 发生率均高于 B 组(躯干偏移与侧凸方向相悖)患者。

研究发现主弯及腰骶弯纠正对于恢复患者冠状位脊柱序列至关重要。本研究中, 我们经直线相关分析发现 L5 倾斜度及主弯矫正度与患者术后早期 CBD 显著相关, 既往文献^[7,8,20]也有相似结论。根据我们既往经验^[22], ASD 患者 CIB 矫正应首先恢复腰骶部水平状态, 并以此为“基座”矫正整体脊柱序列, 以防止躯干整体偏移。由此可见, L5 椎体与矫正术后脊柱整体冠状位序列息息相关。此外, 有学者认为 L4 倾斜度及其术中矫正度与患者术后脊柱 CIB 恢复密切相关^[6,8]。我们本研究结果显示术前 L4 椎体倾斜度及其术中矫正度均与术后 CBD 密切相关, 但回归分析未见其相关性。

既往学者研究认为, C 型脊柱序列^[5]或 L4 椎体倾斜与 C7PL 偏移一致^[6]患者术后极可能发生 CIB。我们本研究中, 术前有 20 例患者出现 CIB (A 组有 11 例), 术后即刻增加到 27 例 (A 组有 19 例), 组间对照无统计学差异。但是, 末次随访时, A 组患者 CIB 发生率较术前显著增加。此外, 多因素 Cox 风险比例回归分析结果显示同向性脊柱-骨盆序列是随访中 CIB 发生的危险因素。由此可见, 同向性脊柱-骨盆序列不仅容易导致患者术后早期 CIB, 随访中也可能引起脊柱冠状位序列逐渐恶化, 进而出现整体失衡。如典型病例中同向性脊柱-骨盆序列患者, 随访过程中, 脊柱序列逐渐恶化, 末次随访时出现 CIB。但对照组患者, 行相似矫正手术, 随访中冠状位始终保持平衡状态。

有学者认为脊柱畸形患者行长节段固定融合

表 1 两组患者一般资料及手术参数对照分析

Table 1 Comparisons of demographic and surgical data between groups

	A组(n=50) Group A	B组(n=40) Group B	P值 P values
女性占比, n(%) No. of females	42(84.0%)	30(75.0%)	0.289
年龄(岁) Age (yrs)	64.10±8.63	64.82±8.46	0.691
体重指数(kg/m ²) BMI	26.10±2.20	26.31±3.10	0.890
随访时间(月) Follow-up(month)	50.18±15.56	53.2±15.98	0.369
基础疾病占比, n(%) Underlying diseases	32(64.0%)	28(70.0%)	0.549
冠状位失衡(n) Coronal imbalance			
术前 Pre-operation	11	9	0.955
术后 Post-operation	19	8	0.064
末次随访 Final follow-up	22	13	0.266
增加数量(n) Increased number	11	4	0.019 ^① 0.317 ^② 0.015 ^③
截骨节段(n) Osteotomy segments	2.41±1.18	2.16±0.94	0.291
固定椎体数(n) Fixed vertebrae	8.04±2.30	8.39±2.00	0.458
上端固定椎(n) UIV			0.325
T10/以上 T10 or above	30	28	
胸腰段 Thoracolumbar	20	12	
下端固定椎(n) LIV			0.191
L5	22	24	
骨盆 Pelvis	28	16	

注: ①所有患者术前与末次随访比较; ②A 组患者术前与末次随访比较; ③B 组患者术前与末次随访比较

Note: ①Comparison of all patients with coronal imbalance (CIB) between pre-operation and the final follow-up; ②Comparison between pre-operation and the final follow-up in group A; ③Comparison between pre-operation and the final follow-up in group B

表 2 两组患者影像学参数对照分析
Table 2 Comparisons of imaging data between groups

	A组(n=50) Group A	B组(n=40) Group B	P值 P values
冠状位平衡距(mm) Coronal balance distance(CBD)			
术前 Pre-operation	16.13±15.37	17.35±16.62	0.719
术后 Post-operation	24.20±18.33	18.23±11.65	0.069
末次随访 Final follow-up	26.89±21.20	19.67±12.23	0.032
矫正度(mm) Correction	23.41±19.46	17.15±16.20	0.105
主弯 Cobb 角(°) Major curve Cobb			
术前 Pre-operation	26.19±12.78	25.57±12.62	0.820
术后 Post-operation	10.56±7.33	11.69±8.24	0.697
末次随访 Final follow-up	10.98±7.12	11.78±8.31	0.720
主弯矫正度(°) Major curve correction	17.39±10.24	13.84±8.30	0.086
主弯累及椎体数(n) Main curve involved vertebrae	3.98±1.36	3.97±1.27	0.986
L4 椎体倾斜度(°) L4 tilt			
术前 Pre-operation	16.07±7.83	12.01±6.86	0.012
术后 Post-operation	8.81±4.73	6.83±4.64	0.054
末次随访 Final follow-up	8.75±4.96	6.74±4.16	0.061
L4 矫正度(°) L4 tilt correction	8.49±6.42	6.11±3.90	0.033
L5 椎体倾斜度(°) L5 tilt			
术前 Pre-operation	8.99±5.97	7.14±4.53	0.109
术后 Post-operation	5.75±3.96	4.74±4.16	0.241
末次随访 Final follow-up	5.86±3.88	4.67±4.52	0.213
L5 矫正度(°) L5 tilt correction	4.58 ± 4.31	3.29 ± 2.95	0.110

表 3 骨盆固定患者与非骨盆固定患者参数对照分析

Table 3 Comparisons of variables between patients with and without pelvic fusion

	固定组 Fixed group (n=44)	非固定组 Non fixed group (n=46)	P值 P values
冠状面失平衡 CIB, n(%)			
术前 Pre-operation	13(29.5%)	7(15.2%)	0.131
术后 Post-operation	14(31.8%)	13(28.3%)	0.819
末次随访 Final follow-up	27(61.4%)	8(17.4%)	<0.001
截骨节段(n) Osteotomy segments	2.39±0.88	2.09±1.23	0.156
固定椎体数(n) Fixed vertebrae	8.78±2.37	7.57±1.95	0.006

术后出现 CIB 时,自身代偿机制较少。Lewis 等^[8]研究发现骶髂固定的 ASD 患者上端椎位于上胸椎或下胸椎对整体脊柱序列影响无差异。本研究中,A、B 组患者无论是固定节段还是固定端椎均无差异,但 Kaplan-Meier 生存曲线分析结果显示骨盆固定患者非 CIB 生存时间均显著下降,且多因素 Cox 风险比例回归分析显示骶髂固定为 CIB

表 4 所有患者影像学参数均值及其范围

Table 4 The mean value and the range of all imaging parameters

	均值 Mean	标准差 SD	范围 Range
术后 CBD(mm) Post-op CBD	0.12	21.83	-62.70-68.20
L4 椎体倾斜度(°) L4 tilt	1.80	14.96	-25.70-33.10
L5 椎体倾斜度(°) L5 tilt	0.92	9.07	-21.00-27.50
主弯 Cobb 角(°) Major curve Cobb	0.17	27.13	-48.80-63.20
L4 椎体倾斜矫正度(°) L4 tilt correction	1.10	8.55	-32.80-21.60
L5 椎体倾斜矫正度(°) L5 tilt correction	0.25	5.12	-12.00-19.20
主弯矫正度(°) Major curve correction	14.23	9.87	0-44.80

注:所有参数偏向左侧为负(-),右侧为正(+);矫正度=术前值-术后值

Note: Parameters shifting towards left were recorded as negative (-), right as positive (+); Correction of the parameter=(pre-op value)-(post-op value)

发生的危险因素。宋凯等^[22,23]详细阐述了脊柱畸形患者骨盆、下肢代偿弯概念,进一步探索了脊柱

畸形患者冠状位畸形的代偿机制。根据既往研究报道,下肢功能及长度的差异体现了下肢屈、伸的代偿功能^[24]。

骨盆是脊柱与下肢承接的关键部位。因此,本研究进一步对照了骨盆固定患者与非骨盆固定患

者(下端椎选择 L5)的相关参数,结果显示术前 CIB 发生率骨盆固定患者(29.5%)高于非骨盆固定患者(15.2%),但无统计学差异。既往研究提出 CIB 患者,矫形术中常需行骨盆固定,且需延长固定节段^[21]。本研究也发现骨盆固定患者固定节段

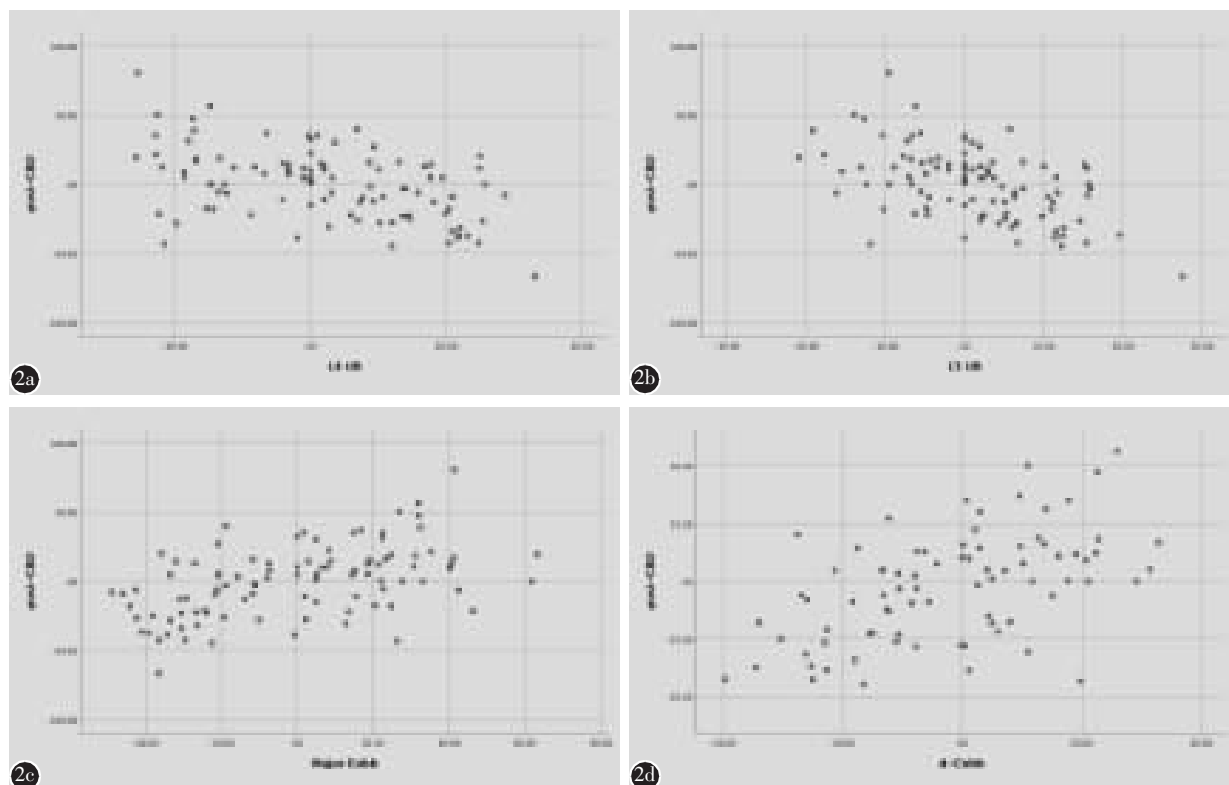


图 2 所有患者术后 CBD 分别与术前 L4 倾斜度(a)、L5 倾斜度(b)、主弯 Cobb 角(c)及主弯矫正度(d)相关性散点图

Figure 2 Scatter graphs of the relationships between post-op CBD and pre-op L4 tilt(a), pre-op L5 tilt(b), the major curve Cobb(c), and the correction in major curve Cobb(d) respectively

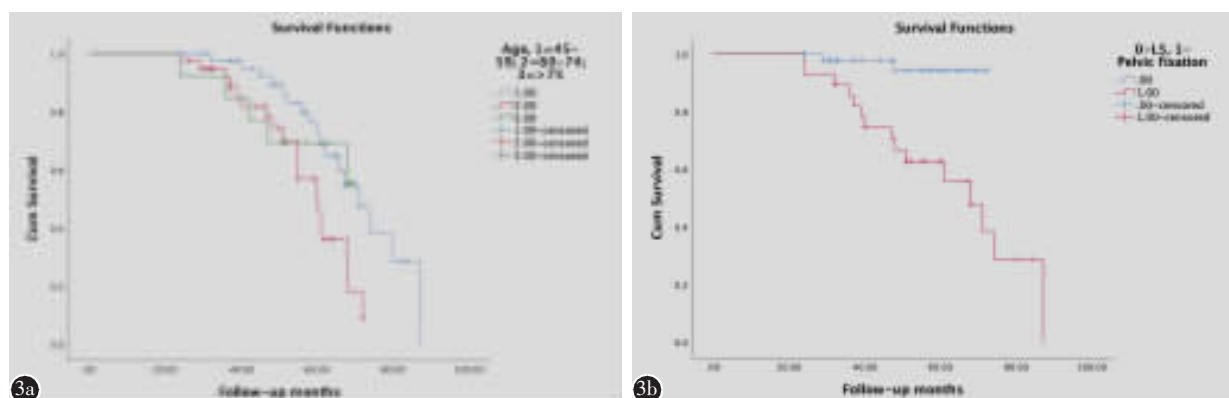


图 3 a Kaplan-Meier 曲线显示不同年龄段患者非 CIB 生存时间曲线(1,45-59 岁;2,60-74 岁;3,≥75 岁) b 下端固定椎位于 L5 或骨盆(包括 S1)患者非 CIB 生存时间

Figure 3 a Kaplan-Meier curves of survival periods without CIB stratified all patients by age(1, 45-59 years; 2, 60-74 years; 3, ≥75 years) b The survival time of patients of LIV(L5 or pelvic fixation) without CIB

显著长于非骨盆固定患者($P=0.006$)。矫形术后两组患者 CIB 发生率相似,但末次随访时,骨盆固定患者 CIB 发生率显著增加($P<0.001$)。此外,既往文献也显示固定节段越长,脊柱对冠状位平衡代偿功能越低^[25]。因此,此类患者矫形术后冠状位序列可能出现逐渐恶化,并导致 CIB。图 5 典型患者手术前后及末次随访时脊柱平衡状态很好地诠释了上述理论。

我们推断非骨盆固定患者矫形术后,腰骶部代偿在维持整体平衡方面起到重要作用。而腰骶部固定患者由于丧失腰骶部代偿作用,矫形术中

表 5 术后 CBD 与其他影像学参数相互直线相关分析及相关系数(r)

Table 5 Pearson-correlation analysis between the postoperative CBD and other parameters and r values

术后 CBD	Post-op CBD	术后 CBD Post-op CBD
术后 CBD	Post-op CBD	-
L4 倾斜	L4 tilt	-0.459 ^①
L5 倾斜	L5 tilt	-0.516 ^①
主弯 Cobb	Major curve Cobb	0.481 ^①
L4 矫正度	d-L4	-0.302 ^②
L5 矫正度	d-L5	-0.295 ^②
主弯矫正度	d-Cobb	0.517 ^①

注:① $P<0.001$ (双侧);② $P<0.01$ (双侧);d-,各参数矫正度

Note: ①Indicated $P<0.001$ (two-tailed); ②Indicated $P<0.01$ (two-tailed); d-, the changes of variables perioperatively

表 6 多因素 Cox 风险比例回归分析结果

Table 6 Multivariate analysis via a Cox proportional hazards model

	风险比 HR	95%可信区间 95% CI	P值 P values
年龄>60 岁 Age>60 years	1.547	1.006~2.381	0.040
同向性脊柱-骨盆序列 Consistent spinopelvis alignment	3.896	1.317~11.530	0.014
骨盆固定 Pelvic fixed	2.824	1.215~6.563	0.016
上端固定椎 UIV	0.501	0.098~2.565	0.406
L4 倾斜度 L4 tilt	0.911	0.798~1.040	0.168
L4 倾斜矫正度 L4 tilt correction	1.059	0.936~1.199	0.363
L5 倾斜度 L5 tilt	1.164	0.973~1.394	0.097
L5 倾斜矫正度 L5 tilt correction	1.073	0.869~1.326	0.512
主弯矫正度 Major curve correction	0.968	0.911~1.029	0.299

骨盆未能矫正患者,行走时下肢关节屈、伸活动以维持整体平衡,但随着时间延长躯干偏斜将进一步加重,最终出现整体失平衡。正如我们前期研究结果^[22],术前伴 CIB 的 ASD 患者,矫形术中腰骶部摆放至关重要,只有“底座”平衡,才能更好地恢复脊柱整体平衡。

有学者经研究提出患者 CIB 对其机体功能的影响程度,因其年龄不同而不同。50 岁以下 ASD 患者出现 CIB,严重影响其性生活,但仍具有较好的自我形体满意度^[26]。Fujishiro 等^[27,28]研究发现 ASD 患者 40 岁之后发生 CIB 时,将逐渐出现相关临床症状。在本研究中,我们发现年龄>60 岁是 ASD 患者矫形术后冠状位逐渐失代偿的危险因素之一。我们推断原因可能在于老年人下肢代偿功能下降所致。

最后,我们将患者一般资料(性别、年龄及 BMI)及其他影像学参数输入多因素 Cox 风险比例回归分析,结果显示无论 L4、L5 倾斜度还是其矫正度都不是随访中 CIB 再发生的危险因素。由此可见,术前 L4、L5 倾斜度及其矫正度可能仅与术后早期冠状位平衡相关,而对于随访过程中 CIB 再发生无明确相关性。

本研究不足之处包括研究的样本量偏小,仅纳入了 90 例 ASD 手术患者。纳入的所有患者均来自单一中心,研究结果可能存在一定偏倚。此外,年龄因素对随访中冠状位失代偿的影响有待长时间纵向队列研究进一步验证。除此之外,由于既往研究提出脊柱矢状位脊柱-骨盆参数对冠状位参数无显著影响,本研究未纳入任何矢状位脊柱-骨盆参数。尽管有上述不足,本研究仍然明确了矫形术后冠状位平衡距相关因素,及随访过程中冠状位失代偿的危险因素。

4 结论

成人脊柱畸形患者矫形术后 CIB 可能再发生,危险因素包括高龄、同向性脊柱序列及骶髂固定。因此,成人脊柱畸形患者在制定术前计划时,脊柱外科医师应重视评估其脊柱-骨盆序列特点及下肢关节功能状态。术前 L5 倾斜度仅为术后早期冠状位平衡距的独立相关影像学参数。

5 参考文献

1. Koller H, Pfanz C, Meier O, et al. Factors influencing radio

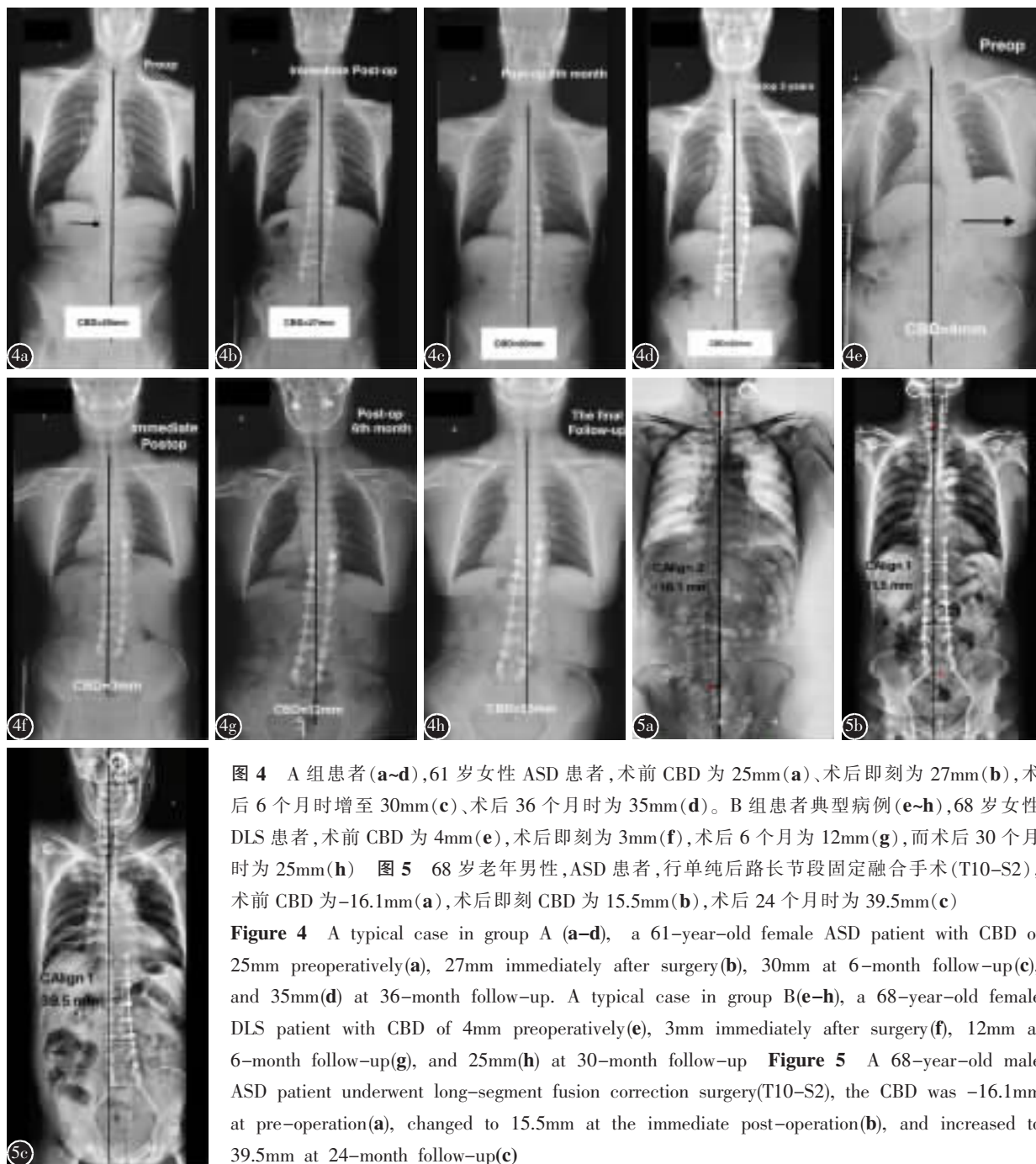


图4 A组患者(a~d), 61岁女性 ASD患者, 术前 CBD 为 25mm(a)、术后即刻为 27mm(b)、术后 6个月时增至 30mm(c)、术后 36个月时为 35mm(d)。B组患者典型病例(e~h), 68岁女性 DLS患者, 术前 CBD 为 4mm(e)、术后即刻为 3mm(f)、术后 6个月为 12mm(g), 而术后 30个月时为 25mm(h) 图5 68岁老年男性, ASD患者, 行单纯后路长节段固定融合手术(T10-S2), 术前 CBD 为 -16.1mm(a), 术后即刻 CBD 为 15.5mm(b), 术后 24个月时为 39.5mm(c)

Figure 4 A typical case in group A (a~d), a 61-year-old female ASD patient with CBD of 25mm preoperatively(a), 27mm immediately after surgery(b), 30mm at 6-month follow-up(c), and 35mm(d) at 36-month follow-up. A typical case in group B(e~h), a 68-year-old female DLS patient with CBD of 4mm preoperatively(e), 3mm immediately after surgery(f), 12mm at 6-month follow-up(g), and 25mm(h) at 30-month follow-up **Figure 5** A 68-year-old male ASD patient underwent long-segment fusion correction surgery(T10-S2), the CBD was -16.1mm at pre-operation(a), changed to 15.5mm at the immediate post-operation(b), and increased to 39.5mm at 24-month follow-up(c)

graphic and clinical outcomes in adult scoliosis surgery: a study of 448 European patients[J]. Eur Spine J, 2016, 25(2): 532-548.

- Acaroglu E, Guler UO, Olgun ZD, et al. Multiple regression analysis of factors affecting health-related quality of life in adult spinal deformity[J]. Spine Deform, 2015, 3(4): 360-366.
- Tanaka N, Ebata S, Oda K, et al. Predictors and clinical importance of postoperative coronal malalignment after surgery to correct adult spinal deformity[J]. Clin Spine Surg, 2020, 33 (7): E337-E341.

- Daubs MD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Does correction of preoperative coronal imbalance make a difference in outcomes of adult patients with deformity [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(6): 476-483.
- Bao H, Yan P, Qiu Y, et al. Coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis: Prevalence and influence on surgical decision-making for spinal osteotomy[J]. Bone Joint J, 2016, 98-B(9): 1227-1233.
- Zhang J, Wang Z, Chi P. Risk factors for immediate postoperative coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis pa-

- tients fused to pelvis[J]. *Global Spine J*, 2020, 11(5): 649–655.
7. Zhang Z, Song K, Wu B, et al. Coronal imbalance in adult spinal deformity following posterior spinal fusion with instrument: a related parameters analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2019, 44(8): 550–557.
8. Lewis SJ, Keshen SG, Kato S, et al. Risk factors for postoperative coronal balance in adult spinal deformity surgery [J]. *Global Spine J*, 2018, 8(7): 690–697.
9. Jimbo S, Kobayashi T, Aono K, et al. Epidemiology of degenerative lumbar scoliosis: a community-based cohort study [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(20): 1763–1770.
10. Thompson JP, Transfeldt EE, Bradford DS, et al. Decompen-sation after Cotrel–Dubousset instrumentation of idiopathic scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1990, 15(9): 927–931.
11. Marks M, Stanford C, Newton P. Which lateral radiographic positioning technique provides the most reliable and func-tional representation of a patient’s sagittal balance[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(9): 949–954.
12. Lafage R, Ferrero E, Henry JK, et al. Validation of a new computer-assisted tool to measure spino–pelvic parameters[J]. *Spine J*, 2015, 15(12): 2493–2502.
13. Plais N, Bao H, Lafage R, et al. The clinical impact of global coronal malalignment is underestimated in adult pa-tients with thoracolumbar scoliosis[J]. *Spine Deform*, 2020, 8 (1): 105–113.
14. Buell TJ, Smith JS, Shaffrey CI, et al. Multicenter assess-ment of surgical outcomes in adult spinal deformity patients with severe global coronal malalignment: determination of target coronal realignment threshold [J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 34(3): 1–14.
15. Kelly MP, Lurie JD, Yanik EL, et al. Operative versus non-operative treatment for adult symptomatic lumbar scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(4): 338–352.
16. Karabulut C, Ayhan S, Yuksel S, et al. Adult spinal defor-mity over 70 years of age: a 2-year follow-up study[J]. *Int J Spine Surg*, 2019, 13(4): 336–344.
17. Diebo BG, Shah NV, Boachie-Adjei O, et al. Adult spinal deformity[J]. *The Lancet*, 2019, 394(10193): 160–172.
18. Liu H, Li Z, Helil B, et al. Matching correction of main and compensatory curves is critical for immediate postopera-tive coronal balance in correction of severe adult idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(11): 3233–3242.
19. Chan AK, Lau D, Osorio JA, et al. Asymmetric pedicle sub-traction osteotomy for adult spinal deformity with coronal imbalance: complications, radiographic and surgical outcomes [J]. *Oper Neurosurg(Hagerstown)*, 2020, 18(2): 209–216.
20. Bao H, Liu Z, Zhang Y, et al. Sequential correction tech-nique to avoid postoperative global coronal decompensation in rigid adult spinal deformity: a technical note and prelimi-nary results[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(9): 2179–2186.
21. Obeid I, Berjano P, Lamartina C, et al. Classification of coronal imbalance in adult scoliosis and spine deformity: a treatment-oriented guideline[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(1): 94–113.
22. 宋凯, 吴兵, 张子方, 等. 退行性腰椎侧凸合并冠状位整体失平衡矫形方式的初步研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(12): 1083–1088.
23. 宋凯, 迟鹏飞, 吴兵, 等. 脊柱畸形患者骨盆–下肢冠状位影像学参数的测量及其平衡代偿机制[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2020, 30(6): 500–508.
24. Sekiya T, Aota Y, Yamada K, et al. Evaluation of functional and structural leg length discrepancy in patients with adoles-cent idiopathic scoliosis using the EOS imaging system: a prospective comparative study [J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2018, 13(7): 1–5.
25. Buell TJ, Shaffrey CI, Kim HJ, et al. Global coronal decompensation and adult spinal deformity surgery: comparison of upper–thoracic versus lower–thoracic proximal fixation for long fusions[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021, 35(6): 761–773.
26. Kieser DC, Boissiere L, Bourghli A, et al. Obeid–coronal malalignment classification is age related and independently associated to personal reported outcome measurement scores in the nonfused spine[J]. *Neurospine*, 2021, 18(3): 475–480.
27. Fujishiro T, Boissiere L, Cawley DT, et al. Adult spinal de-formity surgical decision-making score: Part 1: development and validation of a scoring system to guide the selection of treatment modalities for patients below 40 years with adult spinal deformity[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(7): 1652–1660.
28. Fujishiro T, Boissiere L, Cawley DT, et al. Adult spinal de-formity surgical decision-making score. Part 2: development and validation of a scoring system to guide the selection of treatment modalities for patients above 40 years with adult spinal deformity[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(1): 45–53.

(收稿日期:2022-10-17 末次修回日期:2023-02-16)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)