

临床论著

新型腰椎前凸计算回归方程对成人脊柱畸形
矫形术后机械性并发症的预测作用

王经宇, 潘长瑜, 王孝宾, 李 晶, 王 冰, 吕国华

(中南大学湘雅二医院脊柱外科 410011 长沙市)

【摘要】目的:探讨由骨盆入射角(pelvic incidence, PI)和胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK)计算腰椎前凸的新型回归方程对成人脊柱畸形(adult spinal deformity, ASD)矫形术后机械性并发症的预测作用。方法:回顾性分析 2011 年 1 月~2019 年 3 月于我科接受后路矫形的 ASD 患者的临床资料。术后随访至少 2 年,收集患者的人口学和术前、术后即刻及末次随访时的影像学资料。根据 Pan 等提出的新型腰椎前凸计算回归方程由术后 PI 和 TK 计算腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)、腰椎顶点(lumbar apex, LLA)和拐点(inflexion point, IP)的理论值,其与术后即刻实际测量参数的差值定义为 ΔLL 、 ΔLLA 和 ΔIP 。根据术后是否发生机械性并发症将患者分为有机机械性并发症组和无机械性并发症组,应用单因素和多因素二元 Logistic 回归分析对两组患者的临床资料进行比较,确定机械性并发症的独立危险因素;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线确定危险因素预测机械性并发症的最佳临界值。结果:共有 92 例患者纳入研究,男 15 例,女 77 例,随访时间 2.00~4.60 年(2.93 ± 0.63 年),其中 41 例术后出现机械性并发症。单因素分析显示有机机械性并发症组患者具有较大的体重指数($24.32 \pm 2.09 \text{ kg/m}^2$ vs $23.34 \pm 2.26 \text{ kg/m}^2$)、术前整体倾斜角(global tilt, GT)($34.26^\circ \pm 18.24^\circ$ vs $25.68^\circ \pm 15.61^\circ$)、术前骨盆倾斜角($27.70^\circ \pm 12.61^\circ$ vs $22.47^\circ \pm 11.99^\circ$)、术后 GT($23.29^\circ \pm 12.21^\circ$ vs $18.35^\circ \pm 10.50^\circ$)、术后 ΔLL ($12.19^\circ \pm 6.39^\circ$ vs $6.49^\circ \pm 5.49^\circ$)和 ΔLLA (0.74 ± 0.48 vs 0.45 ± 0.28),且差异均有统计学意义($P < 0.05$)。Logistic 回归分析显示术后较大的 ΔLL 、 ΔLLA 是机械性并发症的独立危险因素(ΔLL OR=1.251, 95%CI=1.043~1.270, $P=0.005$; ΔLLA OR=4.357, 95%CI=1.484~19.334, $P=0.01$)。根据两者的偏回归系数,定义联合指数= $\Delta LL + \Delta LLA \times 1.678/0.140$ 。ROC 曲线显示 ΔLL 、 ΔLLA 和联合指数的最佳临界值分别为 9.17°、0.71 和 12.93,三者的曲线下面积分别为 0.777、0.681 和 0.809。结论:ASD 矫形时 LL 需要与 PI 和 TK 匹配;术后 LL、LLA 与新型回归方程计算的理论值的差值(ΔLL 、 ΔLLA)可用于有效预测机械性并发症的发生。

【关键词】成人脊柱畸形;机械性并发症;骨盆入射角;胸椎后凸;腰椎前凸;腰椎顶点

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.01.03

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-01-0020-08

Predictive effect of a novel regression model calculating lumbar lordosis on the mechanical complications after corrective surgery of adult spinal deformity/WANG Jingyu, PAN Changyu, WANG Xiaobin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(1): 20-27

【Abstract】Objectives: To explore the predictive effect of a novel regression model calculating lumbar lordosis based on pelvic incidence(PI) and thoracic kyphosis(TK) on the mechanical complications after corrective surgery of adult spinal deformity(ASD). Methods: The clinical data of ASD patients undergoing posterior corrective surgery from January 2011 to March 2019 with follow-up for at least 2 years were retrospectively analyzed. Demographic and radiographic(preoperative, immediately postoperative and final follow-up) information were collected. According to the regression model proposed by Pan et al, the deviations of the actual lumbar lordosis(LL), lumbar lordosis apex(LLA) and inflexion point(IP) immediately after surgery from the theoretical values derived from postoperative PI and TK were defined as ΔLL , ΔLLA and ΔIP . The patients were divided into two groups based on the presence or absence of mechanical complications. Univariate and multivariate analysis were performed to identify independent risk factors for mechanical complications. Finally, the receiver

第一作者简介:男(1987-),博士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0731)85295124 E-mail:wangjyspine@csu.edu.cn

通讯作者:李晶 E-mail:jingli1969@csu.edu.cn

operating characteristics (ROC) curves were plotted to determine the best cut-off values for the independent risk factors. **Results:** A total of 92 patients were included, including 77 females and 15 males. The average follow-up time was 2.00–4.60 years (averaged 2.93 ± 0.63 years), and mechanical complications occurred in 41 patients. Univariate analysis showed that BMI ($24.32 \pm 2.09 \text{ kg/m}^2$ vs $23.34 \pm 2.26 \text{ kg/m}^2$), preoperative global tilt ($34.26^\circ \pm 18.24^\circ$ vs $25.68^\circ \pm 15.61^\circ$), preoperative pelvic tilt ($27.70^\circ \pm 12.61^\circ$ vs $22.47^\circ \pm 11.99^\circ$), and postoperative global tilt ($23.29^\circ \pm 12.21^\circ$ vs $18.35^\circ \pm 10.50^\circ$) were significantly higher in the mechanical complications group. Besides, greater postoperative ΔLL ($12.19^\circ \pm 6.39^\circ$ vs $5.49^\circ \pm 5.49^\circ$) and ΔLLA (0.74 ± 0.48 vs 0.45 ± 0.28) were significantly associated with mechanical complications ($P < 0.05$). Logistic regression analysis showed that greater postoperative ΔLL (OR=1.251, 95%CI=1.043–1.270, $P=0.005$) and ΔLLA (OR=4.357, 95%CI=1.484–19.334, $P=0.01$) were independent risk factors. The combined index= $\Delta LL + \Delta LLA \times 1.678/0.140$ was defined according to their partial regression coefficients to comprehensively evaluate the predictive effect of ΔLL and ΔLLA on mechanical complications. The area under the ROC curves established using ΔLL , ΔLLA and combined index were 0.777, 0.681 and 0.809. Moreover, the optimal cut-off values of ΔLL , ΔLLA and combined index were 9.17°, 0.71 and 12.93, respectively. **Conclusions:** Lumbar lordosis should be matched for both PI and TK during ASD corrective surgery. The differences between postoperative LL, LLA and the theoretical values calculated by the novel regression model can be used to effectively predict the occurrence of mechanical complications.

【Key words】 Adult spinal deformity; Mechanical complication; Pelvic incidence; Thoracic kyphosis; Lumbar lordosis; Lumbar apex

【Author's address】 Department of Spine Surgery, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, 410011, China

成人脊柱畸形 (adult spinal deformity, ASD) 可导致严重的腰背痛、下肢功能障碍和矢状面失衡, 手术治疗能够有效改善临床症状, 重建矢状面平衡。然而, 近端交界性后凸 (proximal junctional kyphosis, PJK)、内固定失败等机械性并发症是长节段矫正术后常见的问题, 发生率达 20%~50%, 对患者家庭和社会造成了沉重的负担^[1,2]。如何预测和避免这一并发症的发生是亟待解决的课题。重建生理性矢状面序列被认为可以显著减少 ASD 术后机械性并发症的发生率^[3-5]。为更加合理地重建矢状面形态, 在骨盆入射角 (pelvic incidence, PI) 决定腰椎前凸 (lumbar lordosis, LL) 的理论基础上, 一些预测理想 LL 的公式被相继提出, 如 $LL = 0.67 \times PI + 23.7^\circ$ 和 $LL < PI \pm 10^\circ$, 但相关研究表明它们不能有效预测机械性并发症发生的风险^[6,7]。人类脊柱骨盆矢状面序列中, 最先形成的是胸椎后凸 (thoracic kyphosis, TK) 和骶骨, 腰椎前凸是为了直立行走而适应前两种结构的情况下逐渐形成的^[8,9]。因此, LL 不仅由 PI 决定, 还受 TK 的影响, 越来越多的文献支持这一观点^[7,10,11]。Sebaaly 等^[6]认为 $PI + LL + TK < 45^\circ$ 对机械性并发症的发生具有较好的预测效果; Schwab 等^[12]提出 $LL = (PI + TK) / 2 + 10^\circ$, 强调脊柱矢状面各参数间匹配

的重要性, 为如何恢复矢状面平衡提供了新的思路。Pan 等^[13]利用多元回归分析的方式将无症状人群中 PI 和 TK 共同对腰椎序列的调节机制做了详细的阐述, 并提出了使用 PI 和 TK 预测理想 LL 的新型回归方程。然而该方法是否能够预测 ASD 术后机械性并发症, 以及预测效能如何尚无相关报道。本研究拟进一步探讨 ASD 术后腰椎矢状面参数与该方法推导出的理论值不相符时, 机械性并发症发生的风险是否显著性增加。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2011 年 1 月~2019 年 3 月于我科接受后路矫形联合椎弓根螺钉内固定治疗的 ASD 患者的临床资料。纳入标准: (1) 年龄 > 18 岁; (2) 手术治疗的退行性或成人特发性脊柱侧凸; (3) 融合节段 ≥ 4 个; (4) 融合至骶/髂骨; (5) 具有完整术前、术后即刻和末次随访的脊柱全长站立位 X 线片; (6) 随访时间 ≥ 2 年。排除标准: (1) 影像学资料不完整; (2) 由感染、肿瘤、神经肌肉疾病或外伤导致的脊柱侧凸; (3) 既往腰椎融合 > 3 个节段。本研究经我院伦理委员会批准并患者签署知情同意书。

1.2 影像学测量

为便于数据收集和统计分析,用 1~17 编码 T1~L5,椎体越靠下数字越大,两个相邻椎体之间的点定义为上位椎体数加 0.5^[10]。拐点(inflection point,IP)是从腰椎前凸过渡到胸椎后凸过程中最倾斜的椎体或椎间盘所对应的点^[14]。腰椎顶点(lumbar apex,LLA)是被铅垂线最先触及的椎体或椎间盘^[14]。

测量指标:(1)TK,T1 上终板和 IP 形成的 Cobb 角;(2)LL,IP 和 S1 上终板形成的 Cobb 角;(3)整体倾斜角(global tilt,GT),S1 上终板中心至 C7 中心和股骨头中心的两条线所成的夹角。常规测量 PI、骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)和骶骨倾斜角(sacral slope,SS)。记录术前、术后即刻和末次随访时的所有参数。上述参数由同一位脊柱外科医生测量,最终结果为两次测量的平均值。

1.3 数据采集和分组

除上述影像学资料外,同时收集患者性别、年龄、畸形类型、体重指数(body mass index,BMI)和随访时间等基本信息。

将患者的 PI 和术后 TK 纳入 Pan 等^[13]提出的新型回归方程,计算出理想的腰椎参数,即理论 LL= $2.035+0.618\times\text{PI}+0.430\times\text{TK}$,理论 IP= $10.437+0.091\times\text{TK}-0.029\times\text{PI}$,理论 LLA= $17.110-0.040\times\text{PI}+0.023\times\text{TK}$ 。术后实际测量的腰椎参数与其理论值的差值定义为: $\Delta\text{LL}=|\text{实际 LL}-\text{理论 LL}|$, $\Delta\text{LLA}=|\text{实际 LLA}-\text{理论 LLA}|$, $\Delta\text{IP}=|\text{实际 IP}-\text{理论 IP}|$ 。

机械性并发症包括 PJK、内固定失败。其中 PJK 定义为^[15]:术后随访时近端交界性后凸角(proximal junctional angle,PJA) $\geq 10^\circ$,且至少比术前相应角 $>10^\circ$ 。PJK 分为 3 类:邻近椎间盘、韧带退变型;上固定椎(upper instrumented vertebra,UIV)或其上位邻近椎体骨折型;UIV 螺钉拔出型。术后 PJA 不符合 PJK 定义的 UIV 螺钉拔出与其他部位的螺钉拔出、断裂以及断棒归为内固定失败。根据术后是否出现机械性并发症将患者分为有机械性并发症组(图 1)和无机机械性并发症组(图 2)。

1.4 统计分析

应用 SPSS 23.0 对数据进行统计学分析。定量数据采用均数 $\pm$ 标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验。定性资料以频数或百分比表示,组间对比采用 χ^2 检验。将单因素分析中得到显著性

差异的变量纳入 Logistic 回归模型中,筛选与机械性并发症相关的独立危险因素。最后,绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线评价独立危险因素对机械性并发症的预测效能,并根据最大约登指数确定其最佳临界值。使用组内相关系数(intraclass correlation coefficient,ICC)对数据测量的可重复性进行评价,ICC ≥ 0.9 为优, $0.7\leq\text{ICC}<0.9$ 为良, $0.6\leq\text{ICC}<0.7$ 为中,ICC <0.6 为差。 $P<0.05$ 时为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料

共有 92 例 ASD 患者纳入本研究,男 15 例,女 77 例,随访时间 2.00~4.60 年(2.93 ± 0.63 年),其中 41 例术后出现机械性并发症,包括 PJK 30 例,断钉、拔钉 8 例,断棒 3 例。影像学参数测量的 ICC 均 >0.8 ($0.81\sim 0.96$),说明测量具有良好的一致性。92 例患者术前和术后即刻的影像学测量结果见表 1。

2.2 单因素分析

两组患者人口学资料、术前和术后的影像学测量结果见表 2。两组患者性别、畸形类型、UIV 水平等方面无显著性差异($P>0.05$);机械性并发症组患者的年龄相对较大,但两组比较无统计学差异($P>0.05$);机械性并发症组患者具有较大的 BMI、术前 GT、术前 PT、术后 GT、术后 ΔLL 、和 ΔLLA ,且差异均有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 多因素分析

将单因素分析中有显著性差异的变量纳入 Logistic 回归分析,结果显示 ΔLL (OR=1.251;95%CI=1.043~1.270; $P=0.005$)、 ΔLLA (OR=4.357;95%CI=1.484~19.334; $P=0.01$)是术后发生机械性并发症的独立危险因素(表 3)。为综合评价 ΔLL 和 ΔLLA 对机械性并发症的预测作用,根据 ΔLL 和 ΔLLA 的偏回归系数定义联合指数= $\Delta\text{LL}+\Delta\text{LLA}\times 1.678/0.140$ 。

2.4 ROC 曲线分析

以 ΔLL 、 ΔLLA 和联合指数为检验变量,以无机机械性并发症作为状态变量绘制 ROC 曲线,曲线下面积分别为 0.777、0.681 和 0.809(图 3)。根据最大约登指数,得到三者的最佳临界值分别为 9.17°、0.71 和 12.93(表 4)。



图 1 患者女性,66 岁 **a** 术前全脊柱侧位 X 线片示骨盆入射角(PI)=48.1°,胸椎后凸角(TK)=50.4°,腰椎前凸角(LL)=23.7° **b** 术后即刻 X 线片,PI=47.8°,TK=42.1°,LL=38.2°,腰椎顶点(LLA)=17;理想 LL=49.68°,理想 LLA=16.17,ΔLL 和 ΔLLA 分别为 11.48°和 0.83,联合指数=21.43 **c** 术后 5 个月发生 PJK(PJA=16.2°),予以支具固定,随访观察 **d** 术后 2 年 PJK(PJA=17.6°)未见明显加重

Figure 1 A 66-year-old female **a** Preoperative sagittal standing full spine X-rays, pelvic incidence(PI)=48.1°, thoracic kyphosis(TK)=50.4°, lumbar lordosis(LL)=23.7° **b** Immediate postoperative X-rays, PI=47.8°, TK=42.1°, LL=38.2°, lumbar apex(LLA)=17; ideal LL=49.68°, ideal LLA=16.17, ΔLL and ΔLLA were 11.48° and 0.83, combine index=21.43 **c** PJK occurred(PJA=16.2°) at 5-month follow-up. The patient was fixed with a brace and followed up closely **d** No significant exacerbation of PJK(PJA=17.6°) at 2 years postoperatively

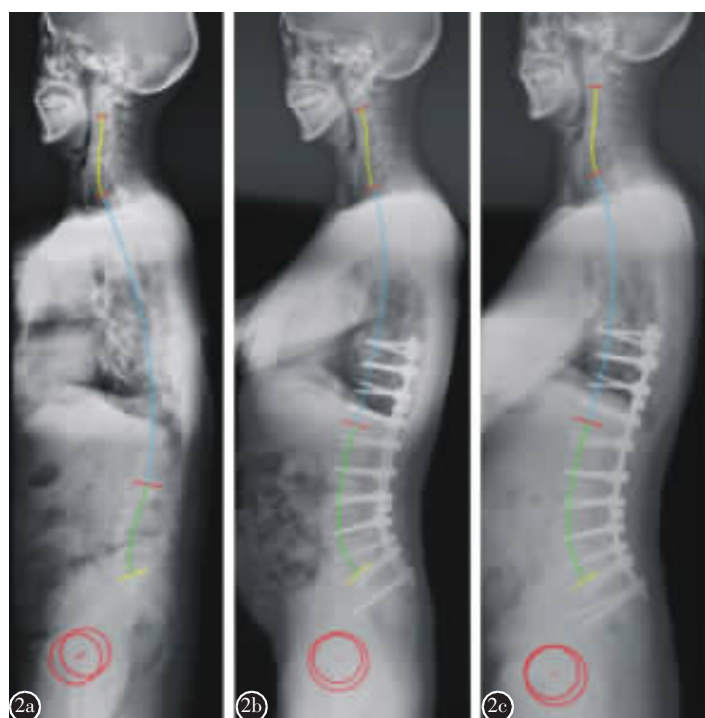


图 2 患者男性,64 岁 **a** 术前矢状面全脊柱 X 线片,骨盆入射角(PI)=53.3°,胸椎后凸角(TK)=33.7°,腰椎前凸角(LL)=68.5° **b** 术后即刻 X 线片示 PI=54.6°,TK=31.4°,LL=56.8°,腰椎顶点(LLA) 15.5;由公式计算理想 LL 为 50.96°,理想 LLA 为 15.74,ΔLL 和 ΔLLA 分别为 5.84°和 0.24,联合指数为 8.72 **c** 随访 2.5 年无机械性并发症发生

Figure 2 A 64-year-old male **a** Preoperative sagittal standing full spine X-rays, pelvic incidence(PI)=53.3°, thoracic kyphosis (TK)=33.7°, lumbar lordosis(LL)=68.5° **b** Immediate postoperative X-rays, PI= 54.6°, TK=31.4°, LL=56.8°, lumbar apex(LLA) 15.5; ideal LL 50.96°, ideal LLA 15.74, ΔLL and ΔLLA were 5.84° and 0.24, combine index 8.72 **c** No mechanical complications occurred at 2.5-year follow-up

3 讨论

Pan等^[10,13,16]首先使用单元线性回归分析阐明了腰椎序列分别与骨盆形态和胸椎形态的匹配关系,在此基础上提出多元回归方程,进一步揭示了无症状人群中 LL 需要与 PI 和 TK 共同匹配的现象。笔者对该公式在 ASD 术后机械性并发症中的预测作用进行了探讨。

本研究中机械性并发症发生率为 44.57%,与既往报道^[5,17,18]相似。机械性并发症是由多种因素引起的,原因包括^[5,19]:矢状面序列不佳、近端交界区软组织破坏、全椎弓根螺钉固定、UIV 停留在胸腰交界、高龄、较大的 BMI、骨质疏松等。其中矢状

表 1 92 例患者术前和术后即刻的脊柱骨盆参数

Table 1 Demographics and spino-pelvic parameters of this study's cohort

	均值±标准差 Mean±Standard deviation	范围 Range
术前参数 Preoperative parameters		
整体倾斜角(°) GT	29.51±17.28	4.70~74.50
胸椎后凸(°) TK	34.76±12.92	10.40~69.00
腰椎前凸(°) LL	-39.05±17.42	0.00~-75.00
骨盆入射角(°) PI	50.78±11.22	24.10~78.10
骨盆倾斜角(°) PT	24.80±12.48	0.50~58.00
骶骨倾斜角(°) SS	26.02±11.96	-0.70~53.40
术后参数 Postoperative parameters		
整体倾斜角(°) GT	20.56±11.50	0.00~54.20
胸椎后凸(°) TK	35.31±9.21	15.20~59.80
腰椎前凸(°) LL	-47.27±13.34	-21.40~-81.70
理想腰椎前凸(°) Ideal LL	-48.54±8.58	-32.47~-70.02
Δ 腰椎前凸(°) ΔLL	9.03±6.53	0.02~31.84
拐点 IP	13.19±1.27	9.00~16.00
理想拐点 Ideal IP	12.18±0.84	10.18~13.94
Δ 拐点 ΔIP	1.49±1.10	0.06~4.32
腰椎顶点 LLA	15.85±0.75	14.00~17.00
理想腰椎顶点 Ideal LLA	15.93±0.45	14.80~15.89
Δ 腰椎顶点 ΔLLA	0.58±0.41	0.00~1.85
骨盆入射角(°) PI	50.68±11.09	24.90~79.20
骨盆倾斜角(°) PT	18.87±11.20	-1.70~48.80
骶骨倾斜角(°) SS	31.81±9.89	11.10~53.90

表 2 两组患者一般资料及脊柱骨盆参数对比

Table 2 Comparisons of general information and spino-pelvic parameters between patients with and without mechanical complications

	机械性并发症组 Mechanical complications	无机械性并发症组 No mechanical complications	P值 P value
年龄(岁) Age (y)	61.07±12.48	58.80±10.02	0.336
性别(男/女) Gender(male/female)	7/34	8/43	0.858
畸形类型(退行性/特发性) Deformity type (degenerative/idiopathic)	32/9	39/12	0.858
体重指数(kg/m ²) BMI	24.32±2.09	23.34±2.26	0.037
腰椎融合史(是/否) Prior lumbar fusion(Y/N)	2/39	2/49	0.823
随访时间(年) Follow-up(y)	2.95±0.60	2.91±0.65	0.794
上固定椎(T2-T5/T9-L2) UIV	4/37	5/46	0.994
术前脊柱骨盆参数 Preoperative parameters			
整体倾斜角(°) GT	34.26±18.24	25.68±15.61	0.017
胸椎后凸(°) TK	33.63±13.41	35.66±12.58	0.459
腰椎前凸(°) LL	-36.16±18.74	-41.38±16.09	0.154
骨盆入射角(°) PI	53.20±9.82	48.84±11.97	0.063
骨盆倾斜角(°) PT	27.70±12.61	22.47±11.99	0.045
骶骨倾斜角(°) SS	25.54±12.39	26.40±11.72	0.734
术后即刻脊柱骨盆参数 Postoperative parameters			
整体倾斜角(°) GT	23.29±12.21	18.35±10.50	0.040
胸椎后凸(°) TK	36.02±9.19	34.73±9.28	0.507
腰椎前凸(°) LL	-48.70±14.97	-46.12±11.91	0.361
理想腰椎前凸(°) Ideal LL	-50.30±7.96	-47.12±8.87	0.077
Δ 腰椎前凸(°) ΔLL	12.19±6.39	6.49±5.49	<0.001
拐点 IP	13.37±1.38	13.06±1.16	0.250
理想拐点 Ideal IP	12.18±0.83	12.18±0.85	0.975
Δ 拐点 ΔIP	1.66±1.25	1.34±0.95	0.169
腰椎顶点 LLA	15.90±0.80	15.81±0.71	0.574
理想腰椎顶点 Ideal LLA	15.82±0.42	15.96±0.47	0.141
Δ 腰椎顶点 ΔLLA	0.74±0.48	0.45±0.28	0.001
骨盆入射角(°) PI	53.03±10.02	48.79±11.64	0.068
骨盆倾斜角(°) PT	20.32±12.70	17.71±9.80	0.269
骶骨倾斜角(°) SS	32.71±10.14	31.08±9.72	0.433

表 3 机械性并发症危险因素的多因素 Logistic 分析结果

Table 3 Multivariate Logistic regression analysis for risk factors of mechanical complications

	偏回归系数 B	标准误 SE	Wald值 Wald	P值 P value	优势比 OR	95%置信区间 95%CI	
						下界 Lower	上界 Upper
Δ 腰椎前凸 ΔLL	0.140	0.050	7.826	0.005	1.251	1.043	1.270
Δ 腰椎顶点 ΔLLA	1.678	0.655	6.570	0.010	4.357	1.484	19.334

面序列矫正过度或不足是导致 ASD 术后发生机械性并发症的重要因素。Sebaaly 等^[20]发现中度的 PJK 与矢状面平衡矫正不足有关,而严重的 PJK 与过度矫正有关。PJK 通常被认为是机体维持整体矢状面平衡的代偿机制^[21]。当 LL 过度矫正时,近端未融合节段将作出相应的代偿以重塑矢状面平衡;反之,矢状面矫正不足会增加后方结构尤其是内固定远端和近端交界处的张力,进而导致内固定失败、PJK,甚至会加重矢状面的失衡^[22]。

目前关于有效量化矢状面序列校正不足和过度校正的指标相对较少。 $PI-LL<10^\circ$ 是矢状面重建中常用的目标参数,但其预测机械性并发症的效果较差,原因在于该公式仅粗略反映了前凸的大小,未考虑其形态^[23],并且由于 IP 的存在,LL 长度应是可变的,可延伸至胸椎区域或局限于较少的椎体数量,并非该公式中的解剖 LL (L1~L5)^[14]。Kim 等^[24]报道术后 LL 较大且 SVA 矫正 $>8\text{cm}$ 的老年患者容易发生 PJK。Maruo 等^[15]发现 LL 矫正 $>30^\circ$ 是术后发生 PJK 的独立危险因素。然而, SVA 会受到骨盆前倾或后旋的影响,因而不能可

靠地反映矢状面矫正的程度。此外,这些预测值不是基于个体化矢状面参数而制定的。除 LL 外, LLA 与理想位置不相符也与机械性并发症的发生有关。Sebaaly 等^[6]发现 LLA 与理想的 Roussouly 分型不匹配时, PJK 的发生率会显著增加 ($OR=4.6$),当 LLA 偏离理想位置两节段时,其发生率甚至高达 75%。但 LLA 并非总是当 $PI<55^\circ$ 时位于 L4, $PI\geq 55^\circ$ 时位于 L3^[13]。

笔者使用 ASD 患者术后 PI 和 TK 根据 Pan 等的腰椎前凸计算回归方程计算出理论 LL、LLA,通过分析理论值与实际值的差异,发现较大的 ΔLL 和 ΔLLA 是机械性并发症的独立危险因素。该结果提示术后不协调的整体矢状面序列会对置入物、内固定椎体和近端未融合节段施加异常的机械应力。本研究中基于联合指数建立的 ROC 曲线下面积为 0.809, 优于单独使用 ΔLL 和 ΔLLA 对机械性并发症的预测效果。该指数由个体化的 PI 和 TK 推导而来,能够同时反映实际 LL 大小和 LLA 与其理论值偏离的程度,并且其临界值在预测机械性并发症方面具有较好的灵敏性 (0.854) 及特异性 (0.706)。ASD 术后联合指数 ≤ 12.93 时,表明患者的腰椎序列与骨盆及胸椎形态处于匹配状态,有助于减少机体因脊柱骨盆参数不匹配而造成的过度代偿。术者可根据该指数的临界值判断术后矢状面形态是否合理,预测机械性并发症发生的风险,以便为患者安排随访和有效的干预。

由于术后 TK 具有不确定性,使得新型回归方程在指导 ASD 术前设计方面受到限制。当固定至近端胸椎时 TK 会相对稳定,因此笔者认为对融合至上胸椎的病例,遵循腰椎矢状面序列与 PI 和 TK 匹配的原则有助于术者为其制订合理的矫正目标。对固定至胸腰段的患者,实际操作中 LL 恢复而引起 TK 增加的现象可能会限制最佳的矫正。有学者提出可根据胸椎的柔韧性选择 UIV,并注重对近端固定棒进行良好的塑形来尽可能控制 TK^[25,26]。同时,对于大 PI、术前严重矢状面畸形而

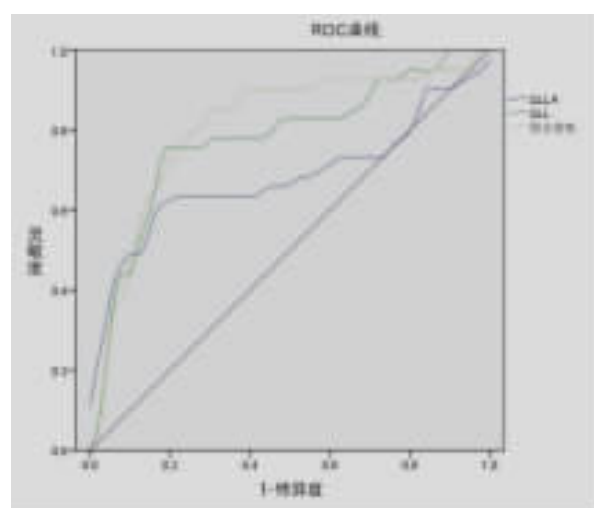


图 3 Δ 腰椎前凸、 Δ 腰椎顶点和联合指数预测机械性并发症的 ROC 曲线

Figure 3 ROC curves of ΔLL , ΔLLA and combine index in predicting mechanical complications

表 4 机械性并发症预测因素的 ROC 曲线分析结果

Table 4 ROC curve analysis for predictors of mechanical complications

	曲线下面积 AUC	临界值 Cutoff value	灵敏性 Sensitivity	特异性 Specificity	约登指数 Youden index
Δ 腰椎前凸 ΔLL	0.777	9.17	0.756	0.824	0.580
Δ 腰椎顶点 ΔLLA	0.681	0.71	0.610	0.843	0.453
联合指数 Combine index	0.809	12.93	0.854	0.706	0.560

需要较多矫正的老年患者,可考虑将融合节段扩展到近端胸椎,以减少术后 TK 继发性增加的不利影响^[27]。

理论上,IP 对于正确重建 LL 不可或缺。然而,本研究未发现其与术后机械性并发症具有相关性。原因可能是:一方面,UIV 通常越过了 IP,使其不再作为一个过渡性的应力点;另一方面,可能过小的样本量不足以使该参数获得显著性差异。

尽管目前尚无恢复生理性 TK 的有效方法,但本研究结果证明术后 LL 与 PI 和 TK 共同匹配有助于降低 ASD 术后机械性并发症发生的风险。本研究存在以下不足:(1)单中心研究,病例数较少,随访时间短,部分参数可能无法获得统计学差异;(2)回顾性研究,一些可能影响机械性并发症的人口学和手术因素未能纳入,例如骨密度、肌肉强度和手术技术;(3)由于机械性并发症具有相似的生物力学特性,我们从整体上评估了新型回归方程对这些并发症的预测能力,然而该方程预测每种机械性并发症的效果仍有待确定;(4)不同年龄患者对矢状面序列重建的要求存在差别^[28],新型回归方程是基于 18~72 岁(47.5 ± 14.9 岁)正常国人脊柱矢状面参数提出的,本研究患者平均年龄为 59.82 岁,由 ΔLL 、 ΔLLA 和联合指数建立的曲线下面积分别为 0.777、0.681、0.809,提示新型回归方程对机械性并发症的整体预测效能处于中等水平。因此,未来应采用基于年龄分层建立的公式对不同年龄组 ASD 患者术后机械性并发症进行预测可能会取得更好的效果,相关结论尚需通过前瞻性、大样本病例的长期随访进一步验证。

4 结论

ASD 患者矫形时 LL 需要与 PI 和 TK 共同匹配;ASD 术后 LL、LLA 与新型回归方程计算的理论值的差值(ΔLL 、 ΔLLA)可用于有效预测机械性并发症的发生,由 ΔLL 、 ΔLLA 组成的联合指数预测机械性并发症的效果更好。

5 参考文献

- Riouallon G, Bouyer B, Wolff S. Risk of revision surgery for adult idiopathic scoliosis: a survival analysis of 517 cases over 25 years[J]. Eur Spine J, 2016, 25(8): 2527–2534.
- Nicholls F, Bae J, Theologis A, et al. Factors associated with the development of and revision for proximal junctional kyphosis in 440 consecutive adult spinal deformity patients[J]. Spine, 2017, 42(22): 1693–1698.
- Sebaaly A, Gehrchen M, Silvestre C, et al. Mechanical complications in adult spinal deformity and the effect of restoring the spinal shapes according to the Roussouly classification: a multicentric study[J]. Eur Spine J, 2020, 29(4): 904–913.
- Pizones J, Perez-Grueso F, Moreno-Manzanaro L, et al. Ideal sagittal profile restoration and ideal lumbar apex positioning play an important role in postoperative mechanical complications after a lumbar PSO[J]. Spine Deform, 2020, 8(3): 491–498.
- Pizones J, Moreno-Manzanaro L, Sánchez Pérez-Grueso F, et al. Restoring the ideal Roussouly sagittal profile in adult scoliosis surgery decreases the risk of mechanical complications [J]. Eur Spine J, 2020, 29(1): 54–62.
- Sebaaly A, Riouallon G, Obeid I, et al. Proximal junctional kyphosis in adult scoliosis: comparison of four radiological predictor models[J]. Eur Spine J, 2018, 27(3): 613–621.
- Rose P, Bridwell K, Lenke L, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy[J]. Spine, 2009, 34(8): 785–791.
- Giglio C, Volpon J. Development and evaluation of thoracic kyphosis and lumbar lordosis during growth [J]. J Child Orthop, 2007, 1(3): 187–193.
- Voutsinas S, MacEwen G. Sagittal profiles of the spine [J]. Clin Orthopa Relat Res, 1986, 210: 235–242.
- Pan C, Wang G, Sun J, et al. Correlations between the inflection point and spinal sagittal alignment in asymptomatic adults[J]. Eur Spine J, 2020, 29(9): 2272–2280.
- Yang C, Yang M, Wei X, et al. Lumbar lordosis minus thoracic kyphosis: a novel regional predictor for sagittal balance in elderly populations[J]. Spine, 2016, 41(5): 399–403.
- Schwab F, Diebo B, Smith J, et al. Fine-tuned surgical planning in adult spinal deformity: determining the lumbar lordosis necessary by accounting for both thoracic kyphosis and pelvic incidence[J]. Spine J, 2014, 14(11 Suppl): S73.
- Pan C, Wang G, Wang X, et al. Predictive formulae of ideal lumbar lordosis determined by individual pelvic incidence and thoracic kyphosis in asymptomatic adults [J]. J Orthop Sci, 2021, doi:10.1016/j.jos.2020.11.022.
- Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position [J]. Spine, 2005, 30(3): 346–353.
- Maruo K, Ha Y, Inoue S, et al. Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity[J]. Spine, 2013, 38(23): E1469–E1476.
- Pan C, Wang G, Sun J. Correlation between the apex of lumbar lordosis and pelvic incidence in asymptomatic adult [J]. Eur Spine J, 2020, 29(3): 420–427.

17. Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, et al. Global alignment and proportion(GAP) score: development and validation of a new method of analyzing spinopelvic alignment to predict mechanical complications after adult spinal deformity surgery [J]. J Bone Joint Surg Am, 2017, 99(19): 1661-1672.
18. Kawabata A, Yoshii T, Sakai K, et al. Identification of predictive factors for mechanical complications after adult spinal deformity surgery: a multi-institutional retrospective study[J]. Spine, 2020, 45(17): 1185-1192.
19. Zou L, Liu J, Lu H. Characteristics and risk factors for proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after correction surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Rev, 2019, 42(3): 671-682.
20. Sebaaly A, Sylvestre C, El Quehtani Y, et al. Incidence and risk factors for proximal junctional kyphosis: results of a multicentric study of adult scoliosis [J]. Clin Spine Surg, 2018, 31(3): E178-E83.
21. Liu F, Wang T, Yang S, et al. Incidence and risk factors for proximal junctional kyphosis: a meta-analysis [J]. Eur Spine J, 2016, 25(8): 2376-2383.
22. Yagi M, Akilah K, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2011, 36(1): E60-E68.
23. Yilgor C, Sogunmez N, Yavuz Y, et al. Relative lumbar lordosis and lordosis distribution index: individualized pelvic incidence-based proportional parameters that quantify lumbar lordosis more precisely than the concept of pelvic incidence minus lumbar lordosis[J]. Neurosurg Focus, 2017, 43(6): E5.
24. Kim H, Bridwell K, Lenke L, et al. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections[J]. Spine, 2014, 39(9): E576-E580.
25. Ohba T, Koji F, Koyama K, et al. Preoperative radiographic evaluation of thoracic flexibility and compensation for adult spinal deformity surgery: how to select optimal upper instrumented vertebra to prevent proximal junctional kyphosis [J]. Spine, 2022, 47(2): 144-152.
26. Lafage R, Line B, Gupta S, et al. Orientation of the uppermost instrumented segment influences proximal junctional disease following adult spinal deformity surgery [J]. Spine, 2017, 42(20): 1570-1577.
27. Lafage V, Ames C, Schwab F, et al. Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy: a comprehensive radiographic analysis[J]. Spine, 2012, 37(3): E180-E187.
28. Xu L, Qin X, Zhang W, et al. Estimation of the ideal lumbar lordosis to be restored from spinal fusion surgery: a predictive formula for chinese population[J]. Spine, 2015, 40(13): 1001-1005.
- (收稿日期:2021-07-18 末次修回日期:2021-10-17)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 卢庆霞)

消息

欢迎订阅 2022 年《中国脊柱脊髓杂志》

《中国脊柱脊髓杂志》是由国家卫生健康委员会主管,中国康复医学会与中日友好医院主办,目前国内唯一以脊柱脊髓为内容的国家级医学核心期刊。及时反映国内外脊柱脊髓领域的科研动态、发展方向、技术水平,为临床医疗、康复及基础研究工作提供学术交流场所。读者对象为从事脊柱外科、骨科、神经科、康复科、肿瘤科、泌尿科、放射科、基础研究及生物医学工程等及相关学科的专业人员。

本刊为中国科技信息中心“中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)”,中科院中国科学计量评价研究中心“中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊”,“中国精品科技期刊”,入选北京大学“中文核心期刊要目总览”,已分别入编 Chinainfo(中国信息)网络资源系统(万方数据)及以中国学术期刊光盘版为基础的中国期刊网(中国知网),影响因子名列前茅。

2022 年本刊仍为月刊,大 16 开,正文 96 页,每月 25 日出版。全册铜版纸彩色印刷。每册定价 30 元,全年 360 元。全国各地邮局均可订阅,邮发代号 82-457;网上订阅:中国邮政网上营业厅,网址:<http://bk.11185.cn/index.do>,扫右侧二维码即可上网订阅。国外读者订阅请与中国国际图书贸易集团有限公司中文报刊科联系(100044,北京市车公庄西路 35 号),代号:BM6688。

本刊经理部可随时为国内读者代办邮购(免邮寄费)。

地址:北京市朝阳区樱花园东街中日友好医院内,邮编:100029。

电话:(010)64284923;E-mail:cspine@263.net.cn。

