

临床论著

胸弯型和胸腰弯/腰弯型青少年特发性脊柱侧凸患者冠状面与矢状面参数的影像学研究

张书豪¹,李富丽¹,王 帅²,苑子男¹,胡丽杰¹,王连成³

(1 天津体育学院社会体育与健康科学学院 300381 天津市;2 天津中医药大学研究生院 301617 天津市;

3 天津医院康复科 300211 天津市)

【摘要】目的:探讨胸弯型和胸腰弯/腰弯型青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis,AIS)患者冠状面与矢状面参数的变化,分析两种分型矢状面各参数间的相关性。**方法:**纳入 71 例胸弯型和 64 例胸腰弯/腰弯型 AIS 患者,根据弯弧位置分为两组,并纳入 40 例正常青少年作为对照组进行对比研究。所有受试者均拍摄站立位脊柱全长正侧位 X 线片,使用 Surgimap 专用软件分别测量矢状面和冠状面相关参数。矢状面参数包括:颈椎前凸角(cervical lordosis,CL)、C2-7 矢状位垂直距离(C2-7 sagittal vertical axis,C2-7SVA)、T1 斜率(T1 slope)、T1 倾斜度(T1 tilt)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)、骨盆入射角(pelvic incidence,PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)、骶骨倾斜角(sacral slope,SS)、C7 矢状位垂直距离(C7 sagittal vertical axis,C7SVA);冠状面参数包括:主弯 Cobb 角(major curve Cobb,MCC)、顶椎偏距(apical vertebral translation,AVT)、C7 铅垂线与骶骨中垂线的距离(distance between C7 plumb line and the central sacral vertical line,C7PL-CSVL)、T1 冠状面斜率(T1 coronal angle,TICA)、腰椎骨盆关系(lumbar-pelvic relationship,LPR)。采用 Pearson 相关系数分别检验胸弯组和胸腰弯/腰弯组冠状面与矢状面之间的相关性;采用独立样本 *T* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验进行比较,并使用 Pearson 进行相关性分析。**结果:**胸弯组冠状面参数与矢状面参数之间无相关性,胸腰弯/腰弯组结果显示 PT 与 C7PL-CSVL 和 LPR 之间呈显著性相关($r=0.320$; $r=0.339$),其他参数均无相关性。胸弯组与对照组在 CL($P<0.001$)和 TK($P<0.001$)之间存在显著性差异,而胸腰弯/腰弯组在 C2-7SVA($P<0.001$)、PI($P<0.01$)、PT($P<0.01$)和 C7SVA($P<0.01$)与对照组之间存在显著性差异。相关性分析显示胸弯组中 CL 与 T1 slope($r=-0.598$)和 TK($r=-0.602$)之间呈负相关;TK 与 T1 slope($r=0.710$)呈正相关;LL 与 TK($r=-0.495$)、PI($r=-0.332$)和 SS($r=-0.726$)呈负相关,与 T1 tilt($r=0.342$)和 C7SVA($r=0.458$)呈正相关;C7SVA 与 T1 tilt($r=0.849$)呈正相关;在胸腰弯/腰弯组中 CL 与 T1 slope($r=-0.431$)呈负相关;TK 与 T1 slope($r=0.373$)呈正相关;LL 与 PI($r=-0.339$)和 SS($r=-0.858$)呈负相关,与 PT($r=0.319$)呈正相关;C7SVA 与 T1 tilt($r=0.386$)和 PI($r=0.338$)呈正相关。**结论:**胸弯型和胸腰弯/腰弯型 AIS 患者冠状面畸形改变与矢状面之间相关性较低;T1 斜率(T1 slope)是预测胸弯型 AIS 患者颈椎与胸椎矢状面平衡的关键,骨盆入射角(PI)在调节胸腰弯/腰弯型 AIS 患者矢状位正常的脊柱-骨盆位置关系上发挥着重要作用。

【关键词】 青少年特发性脊柱侧凸;矢状位参数;冠状位参数;代偿机制

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.03.04

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-03-0214-07

Imaging study of coronal and sagittal parameters in adolescent idiopathic scoliosis patients with thoracic curve or thoraco-lumbar/lumbar curve/ZHANG Shuhao, LI Fuli, WANG Shuai, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(8): 214-220

【Abstract】 Objectives: To investigate the changes of coronal and sagittal plane parameters in adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients with thoracic curve or thoraco-lumbar/lumbar curve, and to analyze the correlation of sagittal parameters between the two types of curve. **Methods:** 71 AIS patients with thoracic curve and 64 AIS patients with thoraco-lumbar/lumbar curve were divided into two groups according to their

基金项目:天津市卫生健康委员会科研项目(ZC20196)

第一作者简介:男(1997-),硕士研究生,研究方向:青少年特发性脊柱侧凸

电话:(022)23016498 E-mail:zhangsh0627@163.com

通讯作者:王连成 E-mail:cmoweb@126.com

types of curve. And 40 normal adolescents were enrolled as the control group. All the subjects took anteroposterior and lateral full-length spine X-rays (standing), and the related coronal and sagittal parameters were measured with Surgimap software. The sagittal plane parameters included cervical lordosis (CL), C2-7 sagittal vertical axis(C2-7SVA), T1 slope, T1 tilt, thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence (PI), pelvic tilt(PT), sacral slope(SS), and C7 sagittal vertical axis(C7SVA). The coronal parameters included major curve Cobb(MCC), apical vertebral translation(AVT), distance between C7 plumb line and the central sacral vertical line (C7PL-CSVL), T1 coronal angle (T1CA), and lumbar pelvic relationship (LPR). Pearson correlation coefficient was used to test the correlation between coronal plane and sagittal plane in thoracic curve group and thoraco-lumbar/lumbar curve group, and independent sample *T* test or Mann-Whitney *U* test and Pearson was used to analyze the correlation. **Results:** There was no correlation between coronal plane parameters and sagittal plane parameters in thoracic curve group. In thoraco-lumbar/lumbar curve group, there was a significant correlation between PT and C7PL-CSVL and LPR ($r=0.320$, $r=0.339$), and there was no correlation between other parameters. There were significant differences in CL ($P<0.001$) and TK ($P<0.001$) between thoracic curve group and control group, while there were significant differences in C2-7SVA ($P<0.001$), PI($P<0.001$), PT($P<0.001$) and C7SVA($P<0.01$) between thoraco-lumbar/lumbar curve group and control group. Intra-group analysis showed that in thoracic curve group, CL was negatively correlated with T1 slope ($r=-0.598$) and TK ($r=-0.602$), TK was positively correlated with T1 slope ($r=0.710$), LL was negatively correlated with TK($r=-0.495$), PI($r=-0.332$) and SS($r=-0.726$), and positively correlated with T1 tilt($r=0.342$) and C7SVA($r=0.458$), while C7SVA was positively correlated with T1 tilt($r=0.849$). In thoraco-lumbar/lumbar curve group, CL was negatively correlated with T1 slope($r=-0.431$), TK was positively correlated with T1 slope ($r=0.373$), LL was negatively correlated with PI($r=-0.339$) and SS($r=-0.858$) and positively correlated with PT ($r=0.319$), while C7SVA was positively correlated with T1 tilt($r=0.386$) and PI($r=0.338$). **Conclusions:** The correlation between coronal deformities and sagittal plane in thoracic curve and thoraco-lumbar/lumbar curve AIS patients is low. T1 slope is the key to predict the sagittal plane balance between cervical and thoracic vertebrae in AIS patients with thoracic curve. Pelvic incidence plays an important role in regulating the normal spino-pelvic position relationship in AIS patients with thoraco-lumbar/lumbar curve.

[Key words] Adolescent idiopathic scoliosis; Sagittal alignment; Coronal alignment; Compensatory mechanisms

[Author's address] School of Social Sports and Health Science, Tianjin Institute of Physical Education, Tianjin, 300381, China

青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 已成为影响全球约 2%~3% 青少年身心健康的一大疾病^[1],可引起脊柱三维畸形改变,表现为冠状面发生侧向弯曲、矢状面生理曲度异常以及横断面伴有椎体旋转等。在 AIS 患者的临床评估、治疗决策和预后等方面,用来描述脊柱三维排列的相关参数以及骨盆参数,扮演着重要角色。既往研究的侧重点大多集中在冠状面和骨盆等一些既定参数,这些参数能够帮助临床工作者直观地衡量脊柱侧凸患者的严重程度并评估疗效;越来越多的研究发现脊柱正常的矢状位参数,尤其是颈椎矢状位参数可能与 AIS 患者的预后和生活质量密切相关^[2,3]。目前的研究结果显示,AIS 患者颈椎后凸的发生率高于同龄正常青少年,其原因可能是由于 AIS 患者的胸椎后凸不足,导致颈椎出现代偿性后凸^[4],这一结论最初是

由 Hilibrand 等^[4]提出,随后 Canavese 等^[5]的研究结果进一步证实了该结论。有学者分析认为 AIS 患者矢状位腰椎前凸与胸椎后凸之间存在一定的关联^[6],可能颈椎矢状位参数与脊柱-骨盆之间存在一定的相关性^[7],但大部分研究缺少与同龄正常青少年进行对比。Schlsser 等^[8]和 Hiyama 等^[9]弥补了这一缺陷,但其研究所选取的受试者 Cobb 角 $\geq 45^\circ$,多偏向于需要接受手术治疗;其次,不同弯弧类型(或不同弯弧位置)的脊柱矢状位参数可能存在差异,而上述研究所纳入的受试者缺乏针对性,所得出的结论可能过于片面;此外,考虑到冠状面影像学改变是 AIS 患者中最典型的表现,因此在研究矢状位参数时,是否应该结合 AIS 患者冠状面相关影像学参数,共同讨论二者之间的相关性?基于以上观点,本研究优化了受试者的筛选标准(即 Cobb 角 $\leq 45^\circ$,弯弧类型则选取了 AIS

患者中最常见的两种类型——胸弯型和胸腰弯/腰弯型),一方面将分别讨论胸弯型和胸腰弯/腰弯型 AIS 患者冠状面参数与矢状位参数之间的相关性,另一方面比较胸弯型和胸腰弯/腰弯型 AIS 患者与正常青少年人群矢状位参数的差异,并独立分析两种分型矢状面各参数间的相关性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究从 2018 年 6 月~2021 年 5 月于天津医院被确诊为 AIS 的患者中进行筛查,仅选择胸弯型或胸腰弯/腰弯型且无其他病理表现的患者,并将接受过任何干预措施的患者排除在外。共纳入 71 例胸弯型和 64 例胸腰弯/腰弯型患者,根据弯弧位置划分为胸弯组和胸腰弯/腰弯组;同时纳入 40 名正常青少年作为对照组。分别研究胸弯组与胸腰弯/腰弯组患者冠状面参数对矢状位参数的影响;并研究两组 AIS 患者与对照组在矢状位参数上所存在的差异。本研究为一项针对 AIS 患者的回顾性单中心研究,获得了审查委员会的批准。

1.2 影像拍摄要求

受试者均接受站立位脊柱全长正侧位 X 线检查,拍摄侧位片时,要求患者自然站立,双足分开与肩同宽,双上肢交叉放于胸前,保持放松并直视前方,以减少头部运动所带来的测量误差,X 线片上端应涵盖患者的耳廓上缘,下端至股骨近端,排除不符合这些要求的 X 线片。

1.3 数据收集

矢状面影像学参数包括颈椎前凸角(cervical lordosis,CL),C2 下终板与 C7 下终板切线的夹角,负值表示颈椎前凸,正值表示颈椎后凸;C2-7 矢状位垂直距离(C2-7 sagittal vertical axis,C2-7SVA),经 C2 椎体中心的铅垂线与 C7 椎体后上缘之间的水平距离,若铅垂线落于 C7 后上缘的前方则为正,相反则为负;T1 斜率(T1 slope),T1 上终板切线与水平线之间夹角;T1 倾斜度(T1 tilt),T1 椎体中心与两侧股骨头中点的连线和垂直线之间的夹角,若垂直线在两者连线的前方则为负,相反则为正;胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK),T4 上终板与 T12 下终板切线的夹角,均为正值;腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL),L1 上终板与 S1 上终板切线的夹角,均为负值;

骨盆入射角(pelvic incidence,PI),经 S1 上终板中点作一条垂直于终板的直线,再经 S1 上终板中点和股骨头中点作一条直线,这两条直线所形成的夹角;骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT),经过 S1 上终板中点和两侧股骨头中心连线与铅垂线之间的夹角;骶骨倾斜角(sacral slope,SS),S1 上终板与水平线的夹角;C7 矢状位垂直距离(C7 sagittal vertical axis,C7SVA),经 C7 椎体中心的铅垂线与 S1 后上缘的水平距离,若铅垂线落于 S1 后上缘的前方则为正,相反则为负。

冠状面影像学参数包括主弯 Cobb 角(major curve Cobb,MCC);顶椎偏距(apical vertebral translation,AVT);C7 铅垂线与骶骨中垂线的距离(distance between C7 plumb line and the central sacral vertical line,C7PL-CSVL),经过 S1 上缘的中点垂直于水平方向的直线和 C7 椎体中心垂线之间的距离;T1 冠状面斜率(T1 coronal angle,T1 CA),在冠状面下,T1 上终板切线与水平面的夹角;腰椎骨盆关系(lumbar pelvic relationship,LPR),腰椎侧弯下端椎体下终板与两侧髂棘连线之间的夹角。本研究放射学参数的选取由所有作者共同决定,测量工作是由两位经验丰富的临床工作者交替完成,如果两个测量结果的误差 $<5^{\circ}$ 且无显著性差异,则取其平均值。

1.4 数据分析

使用 SPSS(IBM SPSS STATISTICS 26)进行统计学分析,所有测量数值以平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示。本研究采用 Pearson 相关系数分别检验胸弯组与胸腰弯/腰弯组冠状面与矢状面之间的相关性;采用独立样本 *T* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验进行比较,并采用 Pearson 相关系数独立分析胸弯组与胸腰弯/腰弯组中 CL、TK、LL、C7SVA 与其他矢状面参数间的相关性。

2 结果

本研究共纳入了 135 例 AIS 患者和 40 名正常青少年,所有受试者的基本资料如表 1 所示,胸弯组与对照组在身高、CL 和 TK 之间具有显著性差异;胸腰弯/腰弯组与对照组仅在 MCC 和 C7SVA 之间存在差异($P<0.05$);其余指标两组 AIS 患者与对照组间无显著性差异。胸弯组与胸腰弯/腰弯组间矢状面参数中 CL、C2-7SVA、T1 slope、TK、PT 及冠状面参数中 AVT、C7PL-CSVL、

LPR 间存在统计学差异 ($P<0.05$, 表 2、3)。在本研究中, Pearson 相关性分析显示胸弯组冠状面参数与矢状面参数之间无任何显著性相关 (表 4), 而胸腰弯/腰弯组在 PT 与 C7PL-CSVL 和 LPR 之间呈显著性相关 ($r=0.320, P<0.05$; $r=0.339, P<0.05$), 其他参数之间无相关性 (表 5)。

此外, 胸弯组与对照组相比, 仅在 CL ($t=4.030, P<0.001$) 和 TK ($t=-3.961, P<0.001$) 之间存在显著性差异, 胸腰弯/腰弯组的结果提示在 C2-7SVA ($t=-3.840, P<0.001$)、PI ($t=2.720, P<0.01$)、PT ($t=3.131, P<0.01$) 和 C7SVA ($t=2.863, P<0.01$) 之间与对照组存在显著性差异 (表 6)。胸弯组和胸腰弯/腰弯组 AIS 患者的 CL、TK、LL、C7SVA 与其他矢状面参数之间的相关性研究中结果 (表 7) 显示, 在胸弯组中 CL 与 T1 slope 和 TK 之间呈负相关; TK 与 T1 slope 呈正相关; LL 与 TK、PI 和 SS 呈负相关, 与 T1 tilt 和 C7SVA 呈正相关; C7SVA 与 T1 tilt 呈正相关; 而胸腰弯/腰弯组结果表明 CL 同样与 T1 slope 呈负相关; TK 与 T1 slope 呈正相关; LL 与 PI 和 SS 呈负相关, 与 PT 呈正相关; C7SVA 与 T1 tilt 和 PI 呈正相关。

表 1 胸弯组、胸腰弯/腰弯组与对照组的基本资料

Table 1 Basic data of thoracic curve group, thoraco-lumbar/lumbar curve group and control group

	胸弯组 Thoracic curve group (n=71)	胸腰弯/腰弯组 Thoraco-lumbar/ lumbar curve group (n=64)	对照组 Control group (n=40)
年龄(年) Age (years)	13.93±2.22	14.85±1.92	14.47±1.33
性别(男:女) Sex (F:M)	16:55	14:50	13:27
身高(cm) Height	164.18±7.03 ^①	163.85±8.21	160.13±9.51
体重(kg) Weight	51.31±9.16	50.29±9.57	47.79±10.43
身体质量指数 (kg/m ²) BMI	19.00±2.93	18.61±2.43	18.54±3.19
Risser 征 Risser sign	2.85±1.33	3.58±1.00	3.33±0.80
MCC(°)	26.76±10.37 ^①	24.16±7.96 ^①	6.70±1.51
CL(°)	-1.30±14.34 ^①	-10.16±14.31	-15.34±14.57
TK(°)	19.10±8.32 ^①	26.01±10.68	27.62±9.66
LL(°)	-46.66±11.54	-45.86±9.89	-46.43±14.08
C7SVA(mm)	-11.02±25.05	-5.81±11.62 ^①	-20.25±25.73

注: ①与对照组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with control group, $P<0.05$

3 讨论

本研究的重点在于进一步探讨 AIS 患者冠状位参数与矢状位参数之间的相关性以及与健康青少年人群矢状位参数之间所存在的差异, 研究选取更具有针对性的受试者, 从而帮助临床工作者更好地理解胸弯型和胸腰弯/腰弯型 AIS 患者脊柱参数的病理表现和代偿机制。

曾有研究^[10]指出, 对 AIS 患者冠状面畸形改变加以干预, 脊柱矢状位参数也会发生相应的改变, 表明 AIS 冠状面与矢状面之间似乎存在着某些关联。然而, 本研究结果显示, 胸弯型患者冠状面与矢状面之间并无显著性相关, 该结论与 Mak 等^[11]和 Hu 等^[7]的研究结论一致。胸腰弯/腰弯型患者仅在 PT 与 C7PL-CSVL 和 LPR 之间存在显著性相关, 这一结果也提示了胸腰弯/腰弯型患者骨盆参数在矢状面与冠状面之间的变化存在一定的相关性, 但在本研究队列中, 尽管胸弯组存在更明显的冠状面失衡 (C7PL-CSVL=11.71±8.81mm), 而这与骨盆矢状面之间并无相关性。此外, 本研究还发现胸腰弯/腰弯型 AIS 患者矢状面骨盆参数 PI、PT 值均大于胸弯型患者且存在显著性差异, 由此可推断出, 相较于胸弯型, 胸腰弯/腰弯型患者骨盆矢状位参数处于相对后倾位置以维持脊柱矢状位的平衡状态。

表 2 胸弯组、胸腰弯/腰弯组与对照组矢状面影像学参数

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

Table 2 Sagittal imaging parameters of thoracic curve group, thoraco-lumbar/lumbar curve group and control group

	胸弯组 Thoracic curve group	胸腰弯/ 腰弯组 Thoraco-lumbar/ lumbar curve group	对照组 Control group
CL(°)	-1.30±14.34	-10.16±14.31 ^①	-15.34±14.57
C2-7SVA(mm)	13.25±8.85	6.20±3.99 ^①	12.40±8.15
T1 slope(°)	16.70±6.60	22.39±7.57 ^①	18.60±9.46
T1 tilt(°)	-4.13±2.74	4.12±2.60	-5.39±2.76
TK(°)	19.10±8.32	26.01±10.68 ^①	27.62±9.66
LL(°)	-46.66±11.54	-45.86±9.89	-46.43±14.08
PI(°)	41.02±11.55	45.81±10.61 ^①	38.70±11.08
PT(°)	7.40±6.42	14.64±7.05 ^①	8.80±8.54
SS(°)	34.86±9.17	32.39±8.63	32.27±9.23
C7SVA(mm)	-11.02±25.05	-5.81±11.62	-20.25±25.73

注: ①与胸弯组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with thoracic curve group, $P<0.05$

表 3 胸弯组与胸腰弯/腰弯组冠状面影像学参数

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

Table 3 Coronal imaging parameters of thoracic curve group and thoraco-lumbar/lumbar curve group

	MCC(°)	AVT(mm)	C7PL-CSVL(mm)	T1 CA(°)	LPR(°)
胸弯组 Thoracic curve group	26.76±10.37	21.84±10.72	11.71±8.81	5.45±3.57	9.47±5.08
胸腰弯/腰弯组 Thoraco-lumbar/lumbar curve group	24.16±7.96	15.29±5.12 ^①	5.30±3.14 ^①	4.15±2.34	12.12±6.22 ^①

注:①与胸弯组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with thoracic curve group, $P<0.05$ 表 4 胸弯组冠状面与矢状面之间的相关性分析(r 值)Table 4 Correlation analysis between coronal plane and sagittal plane in thoracic curve group(r value)

	MCC	AVT	C7PL-CSVL	T1CA	LPR
CL	0.017	-0.061	-0.088	0.007	0.058
C2-7SVA	-0.137	-0.216	0.217	-0.053	-0.157
T1 slope	-0.117	-0.033	0.141	-0.03	-0.179
T1 tilt	-0.217	-0.151	-0.059	-0.033	-0.105
TK	-0.067	-0.048	-0.204	-0.055	0.036
LL	0.025	-0.047	0.079	0.158	0.042
PI	0.019	-0.019	0.006	-0.008	0.213
PT	0.061	0.048	0.082	-0.073	0.122
SS	-0.195	-0.043	-0.122	-0.122	-0.071
C7SVA	-0.168	-0.092	0.069	-0.045	-0.052

表 5 胸腰弯/腰弯组冠状面与矢状面之间的相关性分析(r 值)Table 5 Analysis of correlation between coronal plane and sagittal plane in thoraco-lumbar/lumbar curve group(r value)

	MCC	AVT	C7PL-CSVL	T1CA	LPR
CL	0.084	0.177	0.256	0.041	0.379
C2-7SVA	0.118	0.089	-0.106	-0.144	-0.036
T1 slope	-0.017	-0.024	-0.19	-0.21	-0.092
T1 tilt	0.004	-0.265	-0.231	-0.167	0.232
TK	-0.192	-0.033	-0.17	0.039	-0.22
LL	0.163	0.062	-0.103	-0.065	0.073
PI	0.148	0.149	0.214	0.074	0.306
PT	0.146	0.242	0.320 ^①	0.177	0.339 ^①
SS	-0.017	0.029	0.107	0.043	0.005
C7SVA	-0.168	-0.016	-0.061	-0.142	0.176

注:① $P<0.05$ Note: ① $P<0.05$

从收集的三组数据中,我们发现三组受试者在脊柱矢状位平衡关系上,均呈现出脊柱相对向后凸出的问题,这一现象可能预示着我国青少年群体普遍存在矢状位病理模式^[8]。但在颈椎平衡

表 6 胸弯组、胸腰弯/腰弯组与对照组矢状面参数差异性统计

Table 6 Statistics of differences in sagittal plane parameters among thoracic curve group, thoraco-lumbar/lumbar curve group and control group

	胸弯组与对照组 Thoracic curve group vs Control group		胸腰弯/腰弯组与对照组 Thoraco-lumbar/lumbar curve group vs Control group	
	t 值 t value	P 值 P value	t 值 t value	P 值 P value
CL	4.030	0.000	1.487	0.142
C2-7SVA	0.411	0.682	-3.840	0.000
T1 slope	-0.992	0.325	1.862	0.067
T1 tilt	1.882	0.064	1.507	0.137
TK	-3.961	0.000	-0.650	0.518
LL	0.874	0.941	0.199	0.843
PI	0.843	0.402	2.720	0.008
PT	-0.789	0.433	3.131	0.003
SS	1.165	0.248	0.055	0.957
C7SVA	1.509	0.136	2.863	0.007

关系上则相反,这一结果充分说明了脊柱维持矢状位平衡的代偿机制。在胸弯组与对照组的对比研究中,两者在 CL 和 TK 之间存在显著性差异,颈椎矢状位参数易受胸椎影响,TK 值的减少会引起颈椎代偿性后凸,以保持水平视线并尽可能确保颅骨位于骨盆上方来维持矢状位平衡,这与之前的研究相一致^[9,12,13]。进一步研究中,我们除了确定胸弯型患者矢状面 CL 与 TK 的相关性外,还发现 T1 slope 与 CL 和 TK 之间也存在显著性相关,即对于胸弯患者来说,随着 TK 值的减少,T1 slope 也随之减少,最终引起 CL 减小,甚至出现颈椎后凸的趋势,类似的研究同样证实了 T1 slope 是预测颈椎矢状面平衡的关键^[14-17],Youn 等^[3]还报道了 T1 slope 同样是预测 AIS 患者生活质量的重要指标;但结合我们队列的研究发现,Tang 等^[17]所报道的 T1 矢状面和冠状面参数将会影响颈椎

表 7 胸弯组与胸腰弯/腰弯组 CL、TK、LL、C7SVA 与其他矢状面参数之间的相关性(r 值)Table 7 Correlation between CL, TK, LL, C7SVA and other sagittal plane parameters in thoracic curve group and thoraco-lumbar/lumbar curve group(r value)

	胸弯组 Thoracic curve group	胸腰弯/腰弯组 Thoraco-lumbar/ lumbar curve group		胸弯组 Thoracic curve group	胸腰弯/腰弯组 Thoraco-lumbar/ lumbar curve group
CL			TK		
C2-7SVA	0.279	0.004	CL	-0.602 ^①	-0.244
T1 slope	-0.598 ^①	-0.431 ^①	C2-7SVA	-0.099	-0.023
T1 tilt	0.123	-0.261	T1 slope	0.710 ^①	0.373 ^①
TK	-0.602 ^①	-0.244	T1 tilt	-0.127	-0.085
LL	0.308	0.133	LL	-0.495 ^①	-0.113
PI	-0.001	0.158	PI	-0.134	-0.202
PT	0.138	0.272	PT	-0.243	-0.077
SS	-0.227	-0.099	SS	0.209	-0.171
C7SVA	0.100	0.158	C7SVA	-0.190	-0.223
LL			C7SVA		
CL	0.308	0.133	CL	0.100	0.158
C2-7SVA	0.094	0.232	C2-7SVA	0.027	0.125
T1 slope	-0.273	-0.084	T1 slope	-0.04	-0.035
T1 tilt	0.342 ^①	-0.242	T1 tilt	0.849 ^①	0.386 ^①
TK	-0.495 ^①	-0.113	TK	-0.190	-0.223
PI	-0.332 ^①	-0.339 ^①	LL	0.458 ^①	0.133
PT	0.254	0.319 ^①	PI	0.071	0.338 ^①
SS	-0.726 ^①	-0.858 ^①	PT	0.224	0.249
C7SVA	0.458 ^①	0.133	SS	-0.022	0.119

注:① $P<0.05$ Note: ① $P<0.05$

矢状位参数,这一结论与本研究的结果不相一致,本研究发现 T1 相关参数仅在矢状面维度上起预测作用。

在胸腰弯/腰弯型患者与对照组的研究中,两组在 C2-7SVA、PI、PT 和 C7SVA 上存在显著性差异,而在 TK 和 CL 方面并无差异。由此我们可以推断出,相比于胸弯型患者,胸腰弯/腰弯型患者矢状位参数所出现的问题多集中在脊柱-骨盆的位置关系上。由于两组的 LL 无显著性差异,从我们的队列研究中,可以发现胸腰弯/腰弯组患者的 PI 值明显大于对照组 ($45.81\pm 10.61\text{mm}$ 与 $38.70\pm 11.08\text{mm}$),根据 Legaye 等^[18]提出 PI 值较大的患者,骨盆处于相对后倾的位置,将会引起 LL 代偿性改变,结合我们所得出的结果,胸腰弯/腰弯患者的 LL 和 PI、PT 和 SS 之间存在显著性相关,分析得出 PI 是调节脊柱与骨盆矢状位平衡关系的枢纽。

在本研究中,无论是胸弯组还是胸腰弯/腰弯

组,PI 值与 CL 和 TK 之间并无相关性,但在胸弯组中,LL 与 PI 存在显著性相关,鉴于 TK 与 LL 之间的关系,我们考虑到可能针对胸弯型患者,矢状位参数平衡关系的维持并不仅仅限于矢状面相邻结构间的相互影响,实际上也可能存在着不相邻结构之间的间接作用,这也正验证了全脊柱矢状位对齐(global sagittal spine alignment,GSSA)这一概念中提出的维持矢状面 TK、LL、PI 之间平衡关系的重要性^[19]。但相对于胸腰弯/腰弯型患者,LL 与 TK 之间并无显著性相关,上述这一结论似乎并不适用,Newton 等^[20]提出 TK 的改变可能会发生在所有的 AIS 患者身上,无论 Cobb 角大小如何,这是脊柱侧凸畸形改变的“产物”,并非矢状面代偿性改变的结果,但本研究中,胸腰弯/腰弯组 TK 均值为 $26.01^\circ\pm 10.68^\circ$,尽管部分患者伴有胸椎后凸不足,但整体均值显示正常,这一结果也可能是因为此次研究中胸腰弯/腰弯型患者基数较小所致。

总之, 本研究发现胸弯型和胸腰弯/腰弯型 AIS 患者冠状面畸形改变与矢状面之间的相关性普遍较低; 在与正常青少年矢状面参数的对比研究中, 胸弯型患者的差异性体现在 CL 与 TK 之间, 并分析出 T1 slope 是预测颈椎与胸椎矢状面平衡的关键, 同时, 维持矢状面 TK、LL 与 PI 之间的平衡关系具有重要作用, 而胸腰弯/腰弯型患者的差异性表现在脊柱-骨盆的位置关系上, 并得出 PI 是调节脊柱与骨盆之间正常位置关系的枢纽; 矢状面失衡问题可能从 AIS 的发病初期就一直存在, 无论采取哪种干预措施都应值得重视。本研究也存在几个局限性, 首先, 作为一项回顾性研究, 本研究通过调查前后的对比结果, 以预测影响 AIS 的进展因素, 缺乏对受试者的长期随访; 其次, AIS 存在三个维度的畸形改变, 但本研究只涉及冠状面与矢状面, 缺少对横断面参数的相关性分析, 同时也缺乏脊柱矢状面相关参数与 AIS 患者生活质量之间的相关性研究; 最后, 通过分析对照组的的数据, 我们认为即便目前无脊柱侧凸的正常青少年, 部分有 CL 值改变者仍存在进行性颈椎后凸的风险。CL 值的改变可能会影响 TK, 从而带来全脊柱矢状位参数的失衡, 实际上本研究所纳入的对照组中的部分青少年已出现了矢状位脊柱-骨盆位置偏移的趋势, 遗憾的是没有进行相应的周期性随访和跟踪调查, 无法进一步了解我国当代青少年人群矢状位参数异常的影响因素。

4 参考文献

1. Adobor RD, Rimeslatten S, Steen H, et al. School screening and point prevalence of adolescent idiopathic scoliosis in 4000 Norwegian children aged 12 years[J]. *Scoliosis*, 2011, 6: 23. doi: 10.1186/1748-7161-6-23.
2. Zhu C, Yang X, Zhou B, et al. Cervical kyphosis in patients with Lenke type 1 adolescent idiopathic scoliosis: the prediction of thoracic inlet angle [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 220.
3. Youn MS, Shin JK, Goh TS, et al. Relationship between cervical sagittal alignment and health-related quality of life in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3114-3119.
4. Hilibrand AS, Tannenbaum DA, Graziano GP, et al. The sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Pediatr Orthop*, 1995, 15(5): 627-632.
5. Canavese F, Turcot K, Rosa VD, et al. Cervical spine sagittal alignment variations following posterior spinal fusion and instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(7): 1141-1148.
6. Clément JL, Geoffray A, Yagoubi F, et al. Relationship between thoracic hypokyphosis, lumbar lordosis and sagittal pelvic parameters in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(11): 2414-2420.
7. Hu P, Yu M, Liu X, et al. Analysis of the relationship between coronal and sagittal deformities in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(2): 409-416.
8. Schlusser T, Castelein RM, Grobost P, et al. Specific sagittal alignment patterns are already present in mild adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(7): 1881-1887.
9. Hiyama A, Sakai D, Watanabe M, et al. Sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of 42 adolescents with idiopathic scoliosis and 24 normal adolescents[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3226-3233.
10. Cheung J, Chong C, Cheung P. Underarm bracing for adolescent idiopathic scoliosis leads to flatback deformity: the role of sagittal spinopelvic parameters[J]. *Bone Joint J*, 2019, 101-B(11): 1370-1378.
11. Mak T, Cheung P, Zhang T, et al. Patterns of coronal and sagittal deformities in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 44.
12. Akbar M, Almansour H, Lafage R, et al. Sagittal alignment of the cervical spine in the setting of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 29(5): 506-514.
13. Roussouly P, Labelle H, Rouissi J, et al. Pre- and post-operative sagittal balance in idiopathic scoliosis: a comparison over the ages of two cohorts of 132 adolescents and 52 adults[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(Suppl 2): S203-215.
14. Lee SH, Son ES, Seo EM, et al. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment [J]. *Spine J*, 2015, 15(4): 705-712.
15. Pesenti S, Blondel B, Peltier E, et al. Interest of T1 parameters for sagittal alignment evaluation of adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(2): 424-429.
16. Knott PT, Mardjetko SM, Tschy F. The use of the T1 sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine [J]. *Spine J*, 2010, 10(11): 994-998.
17. Tang Y, Xu X, Zhu F, et al. Incidence and risk factors of cervical kyphosis in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *World Neurosurg*, 2019, 127: e788-e792.
18. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for 3D regulation of spinal sagittal curves[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(2): 99-103.
19. Kim Y, Bridwell K, Lenke L, et al. Results of lumbar pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance: a minimum 5-year follow-up study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(20): 2189-2197.
20. Newton PO, Osborn EJ, Bastrom TP, et al. The 3D sagittal profile of thoracic versus lumbar major curves in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine Deform*, 2019, 7(1): 60-65.

(收稿日期:2021-11-02 末次修回日期:2022-01-13)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)