

临床论著

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

宋 凯,迟鹏飞,吴 兵,成俊遥,王兆瀚,崔 康,王 征

(中国人民解放军总医院第一医学中心骨科 100853 北京市)

【摘要】目的:测量脊柱畸形患者冠状位骨盆-下肢参数,探讨骨盆-下肢在脊柱畸形冠状位序列及平衡中的代偿机制。**方法:**收集 49 例以胸腰弯/腰弯为主的青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis,AIS)患者和 46 例退行性腰椎侧凸(degenerative lumbar scoliosis,DLS)患者术前、术后和末次随访时的全脊柱 X 线片,在正位 X 线片上测量骨盆-下肢冠状位参数:骶骨倾斜角(sacral obliquity,SO)、髂嵴倾斜角(ilic obliquity,IO)、髋臼倾斜角(hip obliquity,HO),由两位脊柱外科主治医师分别测量,间隔 1 个月后重复测量,检验其信度。同时测量脊柱冠状位参数:冠状位失平衡距离(coronal decompensation,CD)、胸腰弯/腰弯(thoracolumbar/lumbar curve,TL/L)和腰骶弯(lumbosacral curve,LS)、骨盆-下肢弯(pelvis-leg curve,PL)。将矫形前冠状位骨盆参数与 TL/L 进行相关性分析,并对比其与矫形后及末次随访时的差异。**结果:**AIS 组 SO、IO、HO 的观察者间信度分别为 0.986、0.979、0.989,观察者内信度为 0.988、0.983、0.976;DLS 组观察者间信度分别为 0.863、0.979、0.996,观察者内信度为 0.920、0.986、0.995。矫形前,AIS 组和 DLS 组的 TL/L 与 SO、IO、HO 均有显著相关性(r 分别为 0.805、0.735、0.324 和 0.649、0.651、0.457, $P<0.05$),SO 与 IO、HO 亦有显著相关性(r 分别为 0.800、0.518 和 0.529、0.359, $P<0.05$)。AIS 组矫形前、后及末次随访时的 SO 分别为 $4.5^{\circ}\pm 2.6^{\circ}$ 、 $2.3^{\circ}\pm 2.1^{\circ}$ 、 $3.3^{\circ}\pm 2.3^{\circ}$,IO 分别为 $2.0^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$ 、 $0.6^{\circ}\pm 1.8^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$,HO 分别为 $0.5^{\circ}\pm 1.5^{\circ}$ 、 $-0.9^{\circ}\pm 1.8^{\circ}$ 、 $-0.1^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$;DLS 组 SO 分别为 $3.1^{\circ}\pm 3.4^{\circ}$ 、 $1.1^{\circ}\pm 4.3^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}\pm 3.2^{\circ}$,IO 分别为 $1.2^{\circ}\pm 2.0^{\circ}$ 、 $-0.2^{\circ}\pm 3.1^{\circ}$ 、 $0.4^{\circ}\pm 2.1^{\circ}$,HO 分别为 $0.5^{\circ}\pm 1.9^{\circ}$ 、 $-0.9^{\circ}\pm 2.9^{\circ}$ 、 $-0.5^{\circ}\pm 2.0^{\circ}$;与矫形前比较,两组矫形后 SO、IO、HO 均显著性减小($P<0.05$);AIS 末次随访时 SO、IO、HO 有所增加($P<0.05$),DLS 末次随访时 SO、IO、HO 均无显著性变化($P>0.05$)。**结论:**SO、IO、HO 作为简单、可靠的骨盆-下肢冠状位影像学参数可用于评价骨盆及下肢的冠状位序列;骨盆-下肢弯可延续脊柱畸形的冠状位序列并参与躯干冠状位平衡的代偿。

【关键词】脊柱畸形;冠状位平衡;骨盆参数

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.06.04

中图分类号:R682.3,R814.4 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-06-0500-09

Measurement of coronal pelvic parameters and compensation of pelvis and lower limbs in spinal deformity/SONG Kai, CHI Pengfei, WU Bing, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30 (6): 500-508

【Abstract】Objectives: To explore coronal pelvic parameters and investigate the compensation of pelvis and lower limbs in coronal spinal alignment. **Methods:** The X-ray images of 49 subjects with adolescent idiopathic scoliosis(AIS) and 46 subjects with degenerative lumbar scoliosis(DLS) were respectively reviewed, and all of them were with major thoracolumbar/lumbar curve. Three coronal pelvic parameters including sacral obliquity(SO), iliac obliquity(IO) and hip obliquity(HO) were measured twice at an interval of 1 month by two spinal surgeons separately in posterior-anterior X-ray. The reliability of the parameters was tested. Then coronal spinal parameters including coronal decompensation(CD), thoracolumbar/lumbar curve(TL/L), lumbosacral curve(LS) and pelvis-leg curve(PL) were measured. The correlation analysis was performed between SO, IO, HO and TL/L before operation. The differences of the 3 parameters at pre-operation, post-operation and follow-up were analysed. **Results:** In AIS group, for SO, IO and HO, the inter-observer reliability was 0.986, 0.979

第一作者简介:男(1984-),主治医师,医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)66938302 E-mail:songkai200018@163.com

通讯作者:王征 E-mail:wangzheng301@163.com

and 0.989 respectively, and the intra-observer reliability was 0.988, 0.983 and 0.976 respectively. In DLS group, the inter-observer reliability of SO, IO and HO was 0.863, 0.979 and 0.996, and the intra-observer reliability of those was 0.920, 0.986 and 0.995. At pre-operation, the correlation between TL/L and SO, IO and HO in AIS group was 0.805, 0.735 and 0.324, respectively; the correlation between SO and IO and HO was 0.800 and 0.518($P<0.05$). The correlation between TL/L and SO, IO and HO in DLS group was 0.649, 0.651 and 0.457; the correlation between SO and IO and HO was 0.529 and 0.359($P<0.05$). In AIS group, SO was $4.5^{\circ}\pm 2.6^{\circ}$ at pre-operation, $2.3^{\circ}\pm 2.1^{\circ}$ after operation and $3.3^{\circ}\pm 2.3^{\circ}$ at follow-up; IO was $2.0^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$, $0.6^{\circ}\pm 1.8^{\circ}$ and $1.4^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$ respectively; HO was $0.5^{\circ}\pm 1.5^{\circ}$, $-0.9^{\circ}\pm 1.8^{\circ}$ and $-0.1^{\circ}\pm 1.6^{\circ}$. In DLS group, SO was $3.1^{\circ}\pm 3.4^{\circ}$, $1.1^{\circ}\pm 4.3^{\circ}$ and $1.4^{\circ}\pm 3.2^{\circ}$; IO was $1.2^{\circ}\pm 2.0^{\circ}$, $-0.2^{\circ}\pm 3.1^{\circ}$ and $0.4^{\circ}\pm 2.1^{\circ}$; HO was $0.5^{\circ}\pm 1.9^{\circ}$, $-0.9^{\circ}\pm 2.9^{\circ}$ and $-0.5^{\circ}\pm 2.0^{\circ}$. In post-operation, SO, IO and HO decreased in both groups ($P<0.05$). At the final follow-up, SO, IO and HO increased($P<0.05$) comparing with that after operation in AIS group, while there was no significant differences($P>0.05$) in DLS group. **Conclusions:** SO, IO and HO are reliable coronal pelvic parameters, and the 3 radiographic parameters could be used to evaluate the compensation of pelvis and lower limbs in spinal deformity. The pelvis and lower limbs act as spinal vertebrae or intervertebral discs in accordance with coronal spinal alignment. The region could be considered as a compensatory spinal curve named PL.

【Key words】 Spinal deformity; Coronal balance; Pelvic parameter

【Author's address】 Department of Orthopaedics, the First Medical Centre Chinese PLA General Hospital, Beijing, 100853, China

20世纪90年代, Legaye等^[1]提出骨盆矢状位参数;此后,骨盆及下肢在脊柱畸形矢状位平衡中的代偿机制被广泛研究并报道^[2,3]。然而,骨盆及下肢在冠状位序列及平衡中的代偿机制尚未引起足够重视,目前国内外少见报道。在临床工作中我们常面临这样的困惑:(1)骶骨、髂嵴连线、髂白连线作为常用的反映骨盆倾斜或下肢不等长的影像学标志有何异同?(2)当患者存在显著的脊柱侧凸畸形时,骨盆在冠状位上是否产生倾斜?倾斜方向和倾斜程度由什么决定?下肢是否会在冠状位上表现为不等长予以代偿?(3)当畸形矫正后,冠状位上骨盆倾斜及下肢表现出的不等长能否改善?我们设想:如果骨盆及下肢类似于脊柱的椎体或椎间盘结构,整体像一个“骨盆-下肢弯”延续脊柱冠状位序列,那么,利用脊柱畸形代偿弯的理念分析骨盆及下肢,以上困惑则迎刃而解。为了验证该假设并解决以上问题,我们收集了无先天性及神经肌肉发育异常的以胸腰弯/腰弯为主的脊柱畸形患者95例,对其冠状位骨盆-下肢参数进行测量分析,旨在验证该假设的成立。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集2010年1月~2018年7月在我院行后路矫形内固定术的以胸腰弯/腰弯为主要畸形的

95例患者。其中青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS) Lenke 5和6型患者49例,女37例,男12例;年龄 15 ± 2 岁(11~19岁),随访 16 ± 14 个月(3~60个月);Lenke 5型27例,6型22例;TL/L为左弯36例,Cobb角为 $-46^{\circ}\pm 8^{\circ}$ ($-31^{\circ}\sim -61^{\circ}$),冠状位失平衡距离(coronal decompensation, CD)为 -1.5 ± 1.3 cm($-3.6\sim 1.9$ cm);右弯13例,Cobb角 $42^{\circ}\pm 7^{\circ}$ ($30^{\circ}\sim 55^{\circ}$),CD为 1.0 ± 1.5 cm($-3.0\sim 2.6$ cm)。退行性腰椎侧凸(degenerative lumbar scoliosis, DLS)患者46例,女41例,男5例;年龄 64 ± 9 岁(46~82岁),随访 12 ± 10 个月(3~48个月);主弯TL/L为左弯31例,Cobb角为 $-32^{\circ}\pm 12^{\circ}$ ($-10^{\circ}\sim -64^{\circ}$),CD为 -0.3 ± 2.2 cm($-5.4\sim 5.1$ cm);右弯15例,Cobb角为 $29^{\circ}\pm 10^{\circ}$ ($21^{\circ}\sim 55^{\circ}$),CD为 0.7 ± 2.4 cm($-3.6\sim 4.8$ cm)。排除:先天性脊柱、骨盆、下肢结构异常患者;神经、肌肉系统异常患者;腰骶移行变异畸形患者。

1.2 影像学参数测量

矫形前后及末次随访时于自然站立位拍摄全脊柱X线片,测量患者骨盆-下肢冠状位影像学参数。由两位脊柱外科主治医师分别测量,间隔1个月后重复测量。测量时调取原始尺寸影像并将骨盆局部放大至全屏以提高测量精度。测量参数:(1)骶骨倾斜角(sacral obliquity, SO),骶骨翼与S1上关节突移行点连线与水平夹角;(2)髂嵴倾

斜角 (iliac obliquity, IO), 髂嵴连线与水平夹角; (3) 髋臼倾斜角 (hip obliquity, HO), 股骨头最高点连线与水平夹角, 向左侧倾斜为负值, 向右侧为正值; (4) 骶髂角=SO-IO; (5) 髂骨角=IO-HO; (6) 骶髂角=SO-HO。同时测量脊柱冠状位参数: (1) CD, C7 铅垂线距离骶骨中垂线距离, C7 铅垂线在骶骨中垂线左侧为负值, 右侧为正值; (2) 胸腰弯/腰弯 (lumbar/thoracolumbar curve, TL/L) 和腰骶弯 (lumbo-sacral curve, LS), 凸侧在左为负, 在右为正; (3) 骨盆-下肢弯 (pelvis-leg curve, PL), 腰骶弯远端直至地面水平由骨盆及下肢构成的侧凸角, 凸侧在左为负, 在右为正 (图 1a、b)。

1.3 统计学分析

将两位医生前后两次对 AIS 和 DLS 患者矫形前后冠状位骨盆-下肢参数 SO、IS、HO 的测量结果进行信度检验; 将矫形前脊柱和骨盆-下肢冠状位参数进行统计描述并行 Person 相关性分析; 将主弯为左弯的患者镜像化, 即 TL/L 为负值病例的冠状位参数转换为相反数, 并对组内所有患者行配对 *t* 检验, 比较矫形前后及末次随访时 AIS 及 DLS 组患者骨盆-下肢冠状位参数的变化。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。采用 SPSS 17.0 统计学软件进行数据分析。

2 结果

2.1 信度检验

AIS 组 SO、IO、HO 观察者间信度分别为 0.986、0.979、0.989, 观察者内信度为 0.988、0.983、0.976; DLS 组观察者间信度分别为 0.863、0.979、0.996, 观察者内信度为 0.920、0.986、0.995。

2.2 各参数间的相关性分析

矫形前, AIS 组、DLS 组 TL/L 与 SO、IO、HO 的相关性分析结果见图 1c, 表 1、2 和图 2。AIS 组和 DLS 组的 TL/L 与 SO、IO、HO 均有显著相关性 (r 分别为 0.805、0.735、0.324 和 0.649、0.651、0.457, $P < 0.05$), SO 与 IO、HO 亦有显著相关性 (r 分别为 0.800、0.518 和 0.529、0.359, $P < 0.05$)。

2.3 矫形前后骨盆冠状位参数的变化

两组患者手术前、后及末次随访时的骨盆冠状位参见表 3、4 和图 3。矫形后, 两组的 SO、IO、HO 均显著性减小 ($P < 0.05$); AIS 组末次随访时 SO、IO、HO 有所增加 ($P < 0.05$), DLS 组末次随访时 SO、IO、HO 无显著性变化 ($P > 0.05$)。两组矫形

前后 SO-IO 和 SO-HO 变化有统计学意义, IO-HO 无显著性变化 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 骨盆-下肢弯的提出及意义

矫形前, 将骨盆及下肢类比于脊柱的椎体和椎间盘结构 (图 1a、b), 当畸形以胸腰弯或腰弯为主时, 远端会出现代偿弯, 该代偿弯的上半部分通常称为腰骶半弯 (LS); 下半部分我们称为“骨盆-下肢弯 (PL)”。理论上其冠状位的不对称应延续 LS 并一同代偿主弯 TL/L, 直至地面水平。而 PL 的内部结构分别为其不对称贡献代偿, 并可通过三个冠状位骨盆参数反映: SO 反映整体骨盆结构 (骶骨+骶髂关节+髂骨)+双下肢的不对称; IO 反映髂骨+双下肢的不对称; HO 反映双下肢的不对称。如图 1c 所示, TL/L 作为原发弯, 畸形的始动因素, 其与远端代偿弯“LS+PL”高度相关, 与 LS、PL 也分别相关; 而 PL 的“决定性”参数 SO 分别与 IO、HO 相关。通俗地讲, 按照假设模型及理论, 主弯 (TL/L) 越大, 代偿弯 (LS+PL) 越大, 作为代偿弯组成部分的 PL 越大; PL 的大小实际由 SO 表现, SO 越大, 其远端的 IO 越大, IO 越大, 其远端的 HO 越大。相关分析结果 (表 1、表 2) 支持本研究理论假设。除此之外, 如图 2 所示, TL/L 与 SO、IO、HO 线性相关, 倾斜程度 $SO > IO > HO$, 直至地面水平, 如同脊柱畸形代偿弯的远端节段受主弯影响越来越小, 并逐渐水平。我们将骨盆内部结构及下肢共同组成“骨盆-下肢弯 (PL)”作为代偿弯延续脊柱冠状位序列, 直至地面水平。

矫形后, 随着始动因素原发弯 (TL/L) 的矫正, 远端代偿弯 PL 自发矫正, 故 SO、IO、HO 倾斜度应减小, 趋于水平。因此, 矫形后 SO、IO、HO 显著性减小 (图 3)。

随访时, AIS 组冠状位骨盆参数自发矫正显著丢失, 而 DLS 组丢失无统计学差异。这可能是由于 AIS 远端固定椎 (L3 或 L4) 相对 DLS (L5、S1 或骨盆) 更靠近头端, 远离骶骨中垂线, 下端邻近节段代偿能力更强, 因此, 为代偿整体冠状位平衡, 更容易出现远端追加现象 (adding-on)^[4]。这变相等主弯 TL/L 矫正的丢失, 而作为代偿弯组成部分的 PL 也就出现了自发矫正的丢失, 故 SO、IO、HO 随访时出现自发矫正的丢失 (图 4)。因此, 无论是矫形前的相关性研究结果, 还是矫形后、随

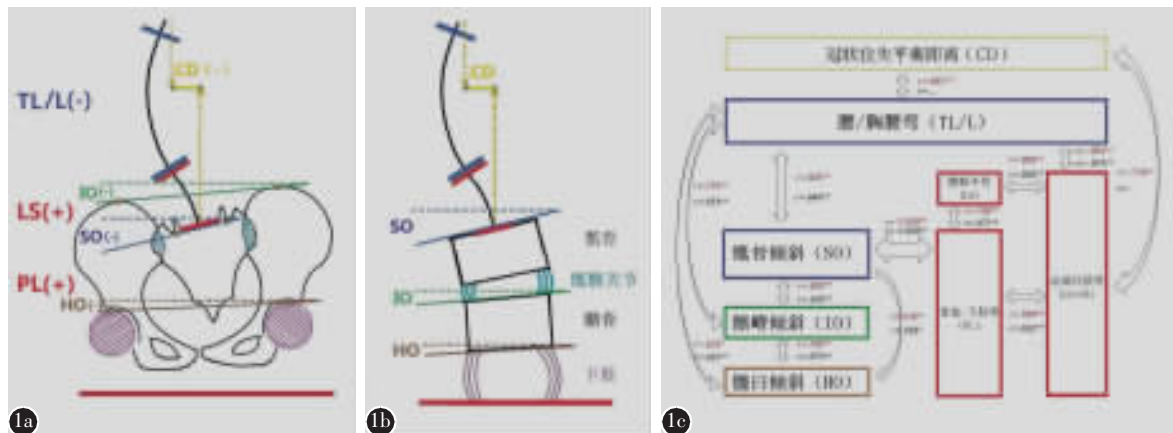


图 1 a 脊柱骨盆冠状位脊柱骨盆参数测量示意图 b 骨盆脊柱化模型示意图 c 脊柱骨盆冠状位参数相关性示意图

Figure 1 a Schematic diagram of spino-plevic coronal parameters b Schematic diagram of spinal-pelvic model c Correlation in coronal parameters of spino-plevic coronal parameters

表 1 AIS 患者术前冠状位脊柱骨盆各参数间相关性分析的相关系数

(n=49)

Table 1 Pre-operative correlation of spinopelvic coronal parameters in AIS

	胸腰弯/腰弯 (TL/L)	远端代偿弯 (LS+PL)	腰骶弯 (LS)	骨盆-下肢弯 (PL)	骶骨倾斜 (SO)	髂嵴倾斜 (IO)	髌臼倾斜 (HO)	骶髂角 (SO-IO)	髂骨角 (IO-HO)	骶髌角 (SO-HO)
冠状位失平衡距 (CD)	0.661 ^①	-0.716 ^①	-0.690 ^①	-0.643 ^①	0.643 ^①	0.549 ^①	0.265	0.537 ^①	0.608 ^①	0.633 ^①
胸腰弯/腰弯 (TL/L)		-0.983 ^①	-0.968 ^①	-0.805 ^①	0.805 ^①	0.735 ^①	0.324 ^②	0.634 ^①	0.846 ^①	0.795 ^①
远端代偿弯 (LS+PL)			0.989 ^①	0.804 ^①	-0.804 ^①	-0.741 ^①	-0.319 ^②	-0.628 ^①	-0.860 ^①	-0.796 ^①
腰骶弯 (LS)				0.706 ^①	-0.706 ^①	-0.681 ^①	-0.250	-0.526 ^①	-0.837 ^①	-0.710 ^①
骨盆-下肢弯 (PL)					-1.000 ^①	-0.800 ^①	-0.518 ^①	-0.878 ^①	-0.745 ^①	-0.942 ^①
骶骨倾斜 (SO)						0.800 ^①	0.518 ^①	0.878 ^①	0.745 ^①	0.942 ^①
髂嵴倾斜 (IO)							0.799 ^①	0.415 ^①	0.773 ^①	0.602 ^①
髌臼倾斜 (HO)								0.149	0.235	0.200
骶髂角 (SO-IO)									0.512 ^①	0.947 ^①
髂骨角 (IO-HO)										0.761 ^①
骶髌角 (SO-HO)										1

注: ①P<0.01; ②P<0.05

Note: ①P<0.01; ②P<0.05

表 2 DLS 组患者术前冠状位脊柱骨盆各参数间相关性分析的相关系数

(n=46)

Table 2 Pre-operative correlation of spinopelvic coronal parameters in DLS

	胸腰弯/腰弯 (TL/L)	远端代偿弯 (LS+PL)	腰骶弯 (LS)	骨盆-下肢弯 (PL)	骶骨倾斜 (SO)	髂嵴倾斜 (IO)	髌臼倾斜 (HO)	骶髂角 (SO-IO)	髂骨角 (IO-HO)	骶髌角 (SO-HO)
冠状位失平衡距 (CD)	0.180	-0.250	-0.216	-0.261	0.261	-0.070	-0.215	0.348 ^①	0.231	0.375 ^①
胸腰弯/腰弯 (TL/L)		-0.973	-0.946 ^②	-0.649 ^②	0.649 ^②	0.651 ^②	0.457 ^②	0.384 ^②	0.547 ^②	0.490 ^②
远端代偿弯 (LS+PL)			0.976 ^②	0.652 ^②	-0.652 ^②	-0.619 ^②	-0.428 ^②	-0.407 ^②	-0.533 ^②	-0.507 ^②
腰骶弯 (LS)				0.471 ^②	-0.471 ^②	-0.568 ^②	-0.395 ^②	-0.223	-0.486 ^②	-0.327 ^①
骨盆-下肢弯 (PL)					-1.000 ^②	-0.529 ^②	-0.359 ^①	-0.869 ^②	-0.467 ^②	-0.909 ^②
骶骨倾斜 (SO)						0.529 ^②	0.359 ^①	0.869 ^②	0.467 ^②	0.909 ^②
髂嵴倾斜 (IO)							0.875 ^②	0.040	0.542 ^②	0.175
髌臼倾斜 (HO)								-0.087	0.067	-0.062
骶髂角 (SO-IO)									0.234	0.968 ^②
髂骨角 (IO-HO)										0.469 ^②
骶髌角 (SO-HO)										1

注: ①P<0.05; ②P<0.01

Note: ①P<0.05; ②P<0.01

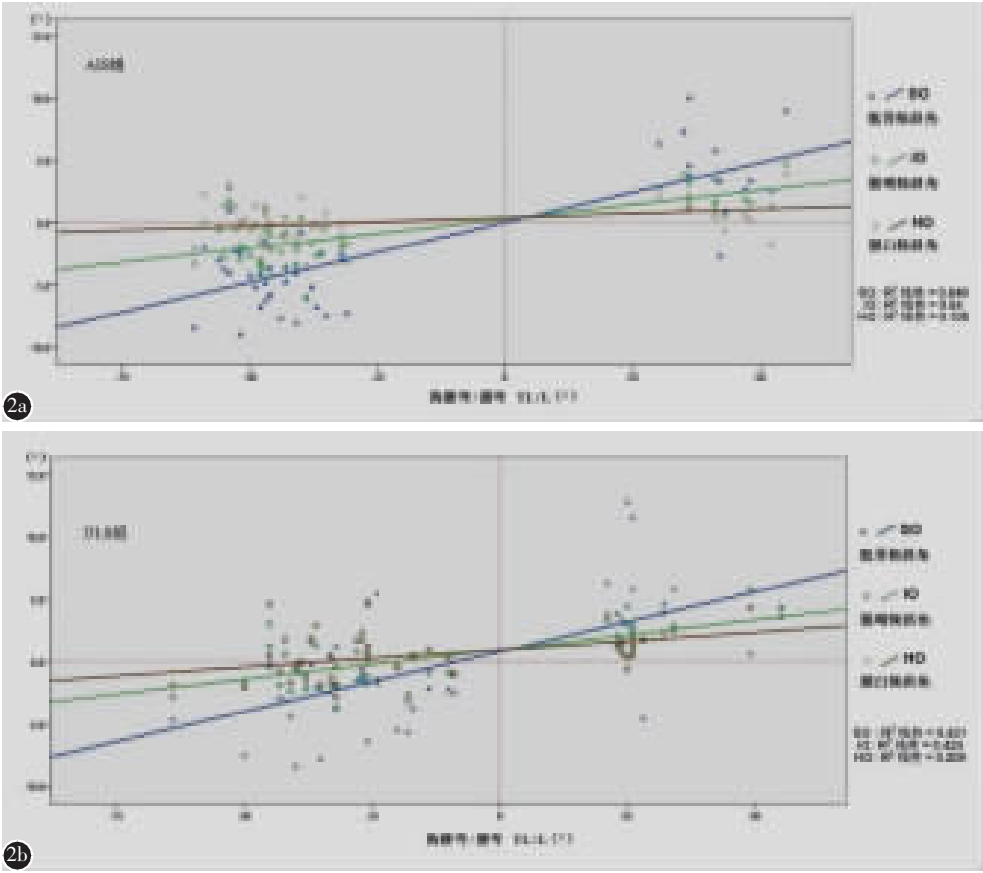


图 2 a AIS 组矫形前 TL/L 与 SO、IO、HO 相关性分析的散点及线性拟合图 b DLS 组矫形前 TL/L 与 SO、IO、HO 的相关性分析散点及线性拟合图

Figure 2 a Scatter diagram and linear fitting of SO, IO, HO and TL/L in AIS group at pre-operation b Scatter diagram and linear fitting of SO, IO, HO and TL/L in DLS group at pre-operation

表 3 AIS 组患者矫形前后及随访冠状位骨盆参数

Table 3 Coronal pelvic parameters at pre-and post-operation and follow-up in AIS

	术前(°) Pre-operation	术后(°) Post-operation	末次随访 (°) Final follow-up	术前 VS 术后 Pre-op VS post-op		术后 VS 随访 Post-op VS f-u		术前 VS 随访 Pre-op VS f-u	
				t 值 t value	P 值 P value	t 值 t value	P 值 P value	t 值 t value	P 值 P value
骶骨倾斜(SO)	4.5±2.6	2.3±2.1	3.3±2.3	8.6	0.000	-4.3	0.000	4.6	0.000
髂嵴倾斜(IO)	2.0±1.6	0.6±1.8	1.4±1.6	7.3	0.000	-4.0	0.000	3.6	0.001
髌臼倾斜(HO)	0.5±1.5	-0.9±1.8	-0.1±1.6	6.6	0.000	-3.6	0.001	2.9	0.005
骶髂角(SO-IO)	2.4±2.4	1.8±2.1	1.9±2.0	2.4	0.021	-1.3	0.195	2.9	0.006
髂骨角(IO-HO)	1.5±0.8	1.5±0.9	1.5±1.0	0.7	0.510	-0.5	0.608	0.1	0.900
骶髌角(SO-HO)	4.0±2.5	3.3±2.0	3.5±2.0	4.4	0.000	-1.8	0.073	2.9	0.006

访时的对比研究结果，均可通过“骨盆-下肢弯(PL)”的理论假设模型予以解释(图 1)。

3.2 冠状位骨盆参数及其意义

1973 年, Dubousset 等^[9]提出“骨盆椎”的概念, 认为由于骶骨、髂骨、坐骨构成的骨盆结构仅存在骶髂关节及耻骨联合两个非骨性连接, 而骶

髌关节及耻骨联合又是微动关节, 因此, 在发育期过后, 整个骨盆可看作不可变的骨性结构。

在人体矢状位序列平衡的评价中, 骨盆参数被广泛应用。骨盆入射角(pelvic incidence, PI)被认为是骨盆形态学参数, 在个体发育成熟之后, 其为一个恒定不变常量^[1]。然而, 2006 年, Skalli 等^[6]

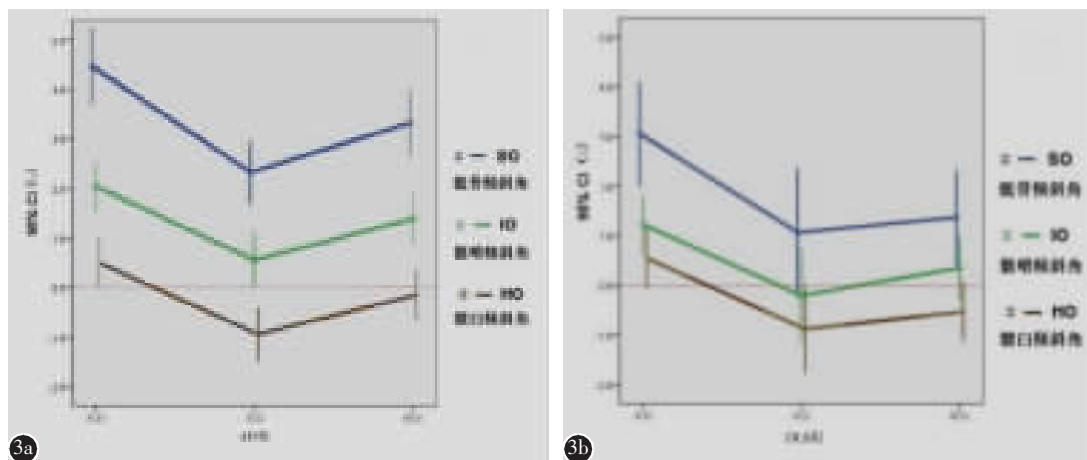


图3 a AIS组患者矫形前、后及末次随访时的SO、IO、HO b DLS组患者矫形前、后及末次随访时的SO、IO、HO

Figure 3 a SO, IO and HO at pre-, post-operation and final follow-up in AIS group b SO, IO and HO at pre-, post-operation and final follow-up in DLS group

表4 DLS组患者矫形前后及末次随访冠状位骨盆参数

Table 4 Coronal pelvic parameters at pre- and post-operation and follow-up in DLS

	术前(°) Pre-operation	术后(°) Post-operation	末次随访(°) Final follow-up	术前 VS 术后 Pre-op VS post-op		术后 VS 随访 Post-op VS f-u		术前 VS 随访 Pre-op VS f-u	
				t值 t value	P值 P value	t值 t value	P值 P value	t值 t value	P值 P value
骶骨倾斜(SO)	3.1±3.4	1.1±4.3	1.4±3.2	4.0	0.000	-0.6	0.574	5.0	0.000
髂嵴倾斜(IO)	1.2±2.0	-0.2±3.1	0.4±2.1	3.5	0.001	-1.3	0.196	3.5	0.001
髌臼倾斜(HO)	0.5±1.9	-0.9±2.9	-0.5±2.0	3.4	0.001	-0.8	0.411	3.9	0.000
骶髂角(SO-IO)	1.8±3.5	1.3±3.4	1.0±2.9	2.2	0.031	1.0	0.306	3.4	0.001
髂骨角(IO-HO)	0.7±0.9	0.7±0.8	0.9±0.9	0.0	0.962	-2.8	0.007	-2.8	0.008
骶髌角(SO-HO)	2.5±3.6	1.9±3.3	1.9±3.1	2.2	0.033	0.2	0.852	2.5	0.015

的研究中发现,部分受试者PI值变化 $>5^{\circ}$ 。近年来,更是不断有研究表明,PI值在脊柱畸形矫形前后及随访中会发生变化^[7-9]。这意味着骨盆内部结构同样参与了脊柱矢状位平衡的代偿,也提醒我们既往对骶髂关节等骨盆内部结构在矢状位上代偿能力被严重低估。因此,所谓“骨盆椎”,就矢状位而言,并不十分准确。

与之类似,基于既往“骨盆椎”的概念,既往研究同样未考虑骨盆内部结构在冠状位平衡中可能存在的代偿能力,因此,其骨盆及下肢冠状位相关研究参数定义及测量各不相同^[10-18]。而世界脊柱侧凸学会(scoliosis research society, SRS)官方将“骶骨翼凹槽连线”、“髂嵴连线”、“髂骨切迹顶点连线”均称为骨盆冠状位参考线,其相应水平角定义为骨盆倾斜角^[9]。

为明确骨盆内部结构在冠状位平衡中可能存在的代偿能力,本研究将“骶骨翼凹槽连线”倾斜

角重新定义为SO,“髂嵴连线”倾斜角定义为IO,“股骨头垂直高度差异”(leg length discrepancy, LLD)转换为角度单位,并定义为HO。与此同时,衍生出另外三个重要参数:骶髂角(SO-IO),反映骶骨+骶髂关节对称性;髂骨角(IO-HO),反映髂骨对称性;骶髌角(SO-HO),反映骨盆整体内部结构对称性。

本研究结果显示,骶髌角(SO-IO)无论是在AIS组还是DLS组中,矫形前均参与代偿,而矫形后及随访时则明显减少了代偿,差异有统计学意义。这意味着,在脊柱畸形的长期发生过程中,骶骨及骶髂关节参与了人体冠状位序列平衡的重建;而当脊柱畸形矫正后,其(主要为骶髂关节)再次参与了即刻代偿。相对而言,髂骨角(IO-HO)更多的是参与了矫形前的代偿贡献,而矫形后并没有明显的即刻变化;尽管在随访过程中DLS组出现了统计学意义的差异,但角度绝对数值并不

大。这意味着,在脊柱畸形的长期发展过程中,髂骨的不对称参与了畸形患者冠状位序列平衡的重建;然而,其并没有像骶髂关节那样在矫形后即刻再次参与代偿。

3.3 既往研究结果对本研究假设的支持

Schwender 等^[10]及 Lee 等^[11]的研究结果证实,在 AIS 患者中,骶骨倾斜及骨盆倾斜主要发生在胸腰弯/腰弯患者中。Cho 等^[12]对 AIS 研究结果显示骶骨倾斜程度与 TL/L 相关。Burwell 等^[13,14]的相关研究结果显示,AIS 胸腰弯/腰弯女性患者的双侧骶骨高度的差异与髂前下棘至胫骨远端的长度差异相关,TL/L 与双侧骶骨高度差异相关。Pasha 等^[15]通过髂前髂后上棘构建了骨盆三维形态参数,同样证实了多数 AIS 患者冠状位上骨盆倾斜方向与胸腰弯/腰弯凸侧方向相同,而下肢不等长同样与骨盆倾斜方向相关。以上文献结果均与本研究 AIS 组术前相关性相符。

既往对 AIS 患者的骨盆及下肢形态的研究发现,骨盆髂骨结构性差异确实存在^[16,17],而下肢的不对称更多的是功能性差异贡献而非真正的绝对不等长^[18],这恰恰支持本研究假设模型将髂骨类比为椎体而将下肢类比为椎间盘。依据本研究假设理论的模型,将骨盆及下肢分别类比为脊柱畸形的椎体或间盘,则其侧弯成角理论上一方面是由于其结构形态本身的异常所致(如脊柱单元结构发育楔形变),另一方面则是由于其三维空间的扭转在冠状位上的表现所致(如脊柱单元结构的旋转)。但既往研究未涉及 AIS 矫形后及随访时的动态变化;作为与 AIS 类似理论上无结构异常的 DLS,既往研究未曾涉及。

3.4 本研究假设模型的作用及意义

既往我们认为,脊柱畸形患者骨盆及下肢会倾向冠状位失代偿的对侧,以实现整体平衡。然而,事实并非如此。本研究结果表明,骨盆及下肢不只受整体冠状位平衡影响,其更是局部侧凸序列的一部分构成。本研究及假设模型简单明了,能够让术者更轻松地判断冠状位骨盆参数的动态变化,更容易理解骨盆及下肢在冠状位上的代偿方向及代偿程度。

AIS 骨盆及下肢的改变究竟是脊柱畸形的继发改变还是始动因素,既往文献报道中存在不同观点^[12,17,18,20]。本研究结果显示, $SO>IO>HO$,由模型可推论,畸形的决定因素是由近端而来,逐渐影

响远端,故支持骨盆及下肢的不对称为继发改变。如始动及决定因素由远端而来,影响近端,理论上则应是 $HO,IO>SO$ (图 5)。这也可以帮助我们有效区分脊柱-骨盆-下肢畸形的始动或决定因素,进一步指导原发畸形的确定及矫正。

冠状位平衡参考线的标准,既往以髂嵴连线为水平线,近期有研究推荐髂臼连线为水平线^[21]。本研究结果显示,不论 AIS 还是 DLS,矫形前,髂臼水平程度均优于髂嵴;然而,矫形后结局各异,随访时 AIS 髂臼水平程度更高,而 DLS 无论是术后即刻还是随访时,髂嵴连线水平程度比髂臼连线更高。事实上,随访时水平程度高才能更好地反映真实的冠状位平衡。因此,一方面,我们有可能基于髂臼连线的冠状位水平线重新定义 AIS 的触及(touch)椎,以实现既往文献推荐的纳入骨盆考量的 AIS 分型^[22];另一方面,如本研究结果所示,DLS 患者术后及随访时髂嵴连线水平程度更高,以其为术中冠状位参考线更有利于避免术后冠状位失衡。既往文献提出 DLS 的骨盆微小倾斜角度误差即可以导致明显的冠状位失衡,Schwender 的相关研究发现 3° 的骶骨倾斜相当于 2.2cm 冠状位平衡差异, 4° 相当于 2.9cm^[10,23]。

本研究证实骶髂关节在矫形前后参与了可观的冠状位代偿。一方面,这意味着其对冠状位平衡的代偿贡献;另一方面,这种代偿有可能成为部分长节段固定术后患者骶髂关节退变及疼痛的合理解释^[24,25]。

3.5 本研究存在以的不足

(1) 本研究主要为趋势性研究及普遍现象解释。实际临床中,一些腰骶段(L4/5、L5/S1)代偿能力极强的患者其骶骨(SO)已水平,甚至反向倾斜,这种情况下,“骨盆-下肢弯”则可能成为 LS 的代偿弯,甚至反向代偿 LS,本研究未能涉及此类情况。(2) 存在腰骶移行时,腰骶交界区解剖形态不规则,SO 测量标准无法统一,该情况可能产生差异结果,本研究排除了该类患者,未能涉及此类情况。(3) 既往研究结果证实,TL/L 与骨盆倾斜关系密切,故本研究仅纳入胸腰弯/腰弯为主的畸形患者,未纳入胸弯为主的患者,且样本量有限,结果可能存在误差及偏倚。(4) 本研究 SO 测量为骶骨翼与骶骨上关节突移行点连线,实际相当于一般椎体横突上缘连线,也就相当于椎弓根上缘连线,其比直接测量模糊不清的 S1 终板或椎弓根

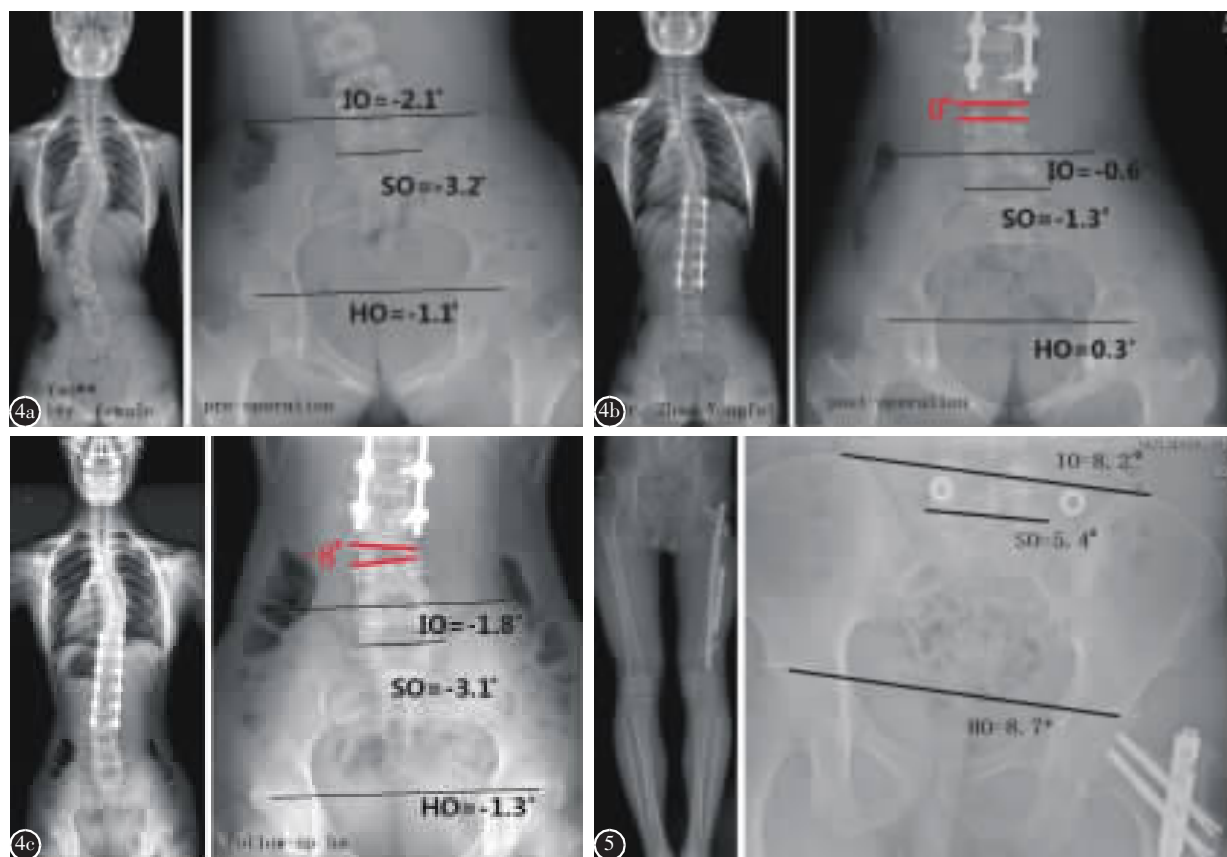


图4 AIS患者,女性,14岁 a 矫形前X线片示 $SO>IO>HO$ b 矫形后X线片示 SO 、 IO 、 HO 减小 c 随访时X线片示 SO 、 IO 、 HO 丢失 图5 下肢不等长患者 HO 、 $IO>SO$

Figure 4 Case, changes of coronal pelvic parameters in follow-up of 14 years old, female **a** X-ray at pre-operation showed $SO>IO>HO$ **b** X-ray at post-operation showed SO , IO and HO decreased **c** X-ray at follow-up showed SO , IO and HO lost **Figure 5** Case, coronal pelvic parameters with leg length discrepancy

投影椭圆上缘更可靠,尤其在退行性疾病患者中更有优势。尽管如此,由于DLS患者术后固定节段往往需要到S1或髂骨,故内固定很大程度上会影响SO术后的测量准确性,导致DLS患者的结果偏移^[26]。(5)本研究仅仅入组AIS及DLS,目的是最大程度排除非力学性因素所致的骨盆及下肢不对称,减少混杂因素所致偏倚。

总之, SO 、 IO 、 HO 作为简单、可靠的骨盆-下肢冠状位影像学参数,可用于评价和分析脊柱畸形患者骨盆及下肢的冠状位序列;骨盆内部结构及下肢如同椎体或椎间盘结构,组成“骨盆-下肢弯”,延续脊柱畸形的冠状位序列并进行代偿。

4 参考文献

- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves[J]. Eur Spine J, 1998, 7(2):

99-103.

- Obeid I, Hauger O, Aunoble S, et al. Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee[J]. Eur Spine J, 2011, 20(5): 681-685.
- Barrey C, Roussouly P, Le Huec JC, et al. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine[J]. Eur Spine J, 2013, 22(Suppl 6): S834-841.
- Hwang CJ, Lee CS, Kim H, et al. Spontaneous correction of coronal imbalance after selective thoracolumbar-lumbar fusion in patients with Lenke-5C adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine J, 2018, 18(10): 1822-1828.
- Dubousset J. The pelvic vertebra-3D concept for the physiopathology classification and management fo pelvic obliquities [C]. Zielke Farewell Meeting. Bad Wildungen, Germany. 1989.
- Skalli W, Zeller RD, Miladi L, et al. Importance of pelvic compensation in posture and motion after posterior spinal fusion using cd instrumentation for idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2006, 31(12): E359-E366.
- Lee JH, Na KH, Kim JH, et al. Is pelvic incidence a con-

- stant, as everyone knows? changes of pelvic incidence in surgically corrected adult sagittal deformity [J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3707–3714.
8. Cecchinato R, Redaelli A, Martini C, et al. Long fusions to S1 with or without pelvic fixation can induce relevant acute variations in pelvic incidence: a retrospective cohort study of adult spine deformity surgery[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(Suppl 4): 436–441.
 9. Tseng CC, Liu Z, Bao HD, et al. Long fusion to the pelvis with S2–alar–iliac screws can induce changes in pelvic incidence in adult spinal deformity patients: analysis of predictive factors in a retrospective cohort [J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(1): 138–145.
 10. Schwender JD, Denis F. Coronal plane imbalance in adolescent idiopathic scoliosis with left lumbar curves exceeding 40°[J]. *Spine*, 2000, 25(18): 2358–2363.
 11. Lee CS, Ha JK, Kim DG, et al. The clinical importance of sacral slanting in patients with adolescent idiopathic scoliosis undergoing surgery[J]. *Spine J*, 2015, 15(5): 834–840.
 12. Cho JH, Lee CS, Joo YS, et al. Association between sacral slanting and adjacent structures in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Clin Orthop Surg*, 2017, 9(1): 57–59.
 13. Burwell RG, Aujla RK, Freeman BJC, et al. Patterns of extra–spinal left–right skeletal asymmetries and proximo–distal disproportion in adolescent girls with lower spine scoliosis: ilio–femoral length asymmetry & bilateral tibial/foot length disproportion [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2006, 123: 101–108.
 14. Burwell RG, Aujla RK, Freeman BJ, et al. Patterns of extra–spinal left–right skeletal asymmetries in adolescent girls with lower spine scoliosis: relative lengthening of the ilium on the curve concavity & of right lower limb segments [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2006, 123: 57–65.
 15. Pasha S, Aubin CE, Sangole AP, et al. Three–dimensional spinopelvic relative alignment in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2014, 39(7): 564–570.
 16. Sekiya T, Aota Y, Yamada K, et al. Evaluation of functional and structural leg length discrepancy in patients with adolescent idiopathic scoliosis using the EOS imaging system: a prospective comparative study [J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2018, 13: 7.
 17. Stylianides GA, Beaulieu M, Dalleau G, et al. Iliac crest orientation and geometry in able–bodied and non–treated adolescent idiopathic scoliosis girls with moderate and severe spinal deformity[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(4): 725–732.
 18. Dalleau G, Leroyer P, Beaulieu M, et al. Pelvis morphology, trunk posture and standing imbalance and their relations to the Cobb angle in moderate and severe untreated AIS [J]. *PLoS One*, 2012, 7(7): e36755.
 19. O’Brien MF, Kuklo TR, Blanke KM, et al. Radiographic Measurement Manual[M]. USA: Spinal Deformity Study Group (SDSG), 2008. 69.
 20. Gum JL, Asher MA, Burton DC, et al. Transverse plane pelvic rotation in adolescent idiopathic scoliosis: primary or compensatory[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(10): 1579–1586.
 21. Hey HWD, Kim CK, Lee WG, et al. Supra–acetabular line is better than supra–iliac line for coronal balance referencing: a study of perioperative whole spine X–rays in degenerative lumbar scoliosis and ankylosing spondylitis patients [J]. *Spine J*, 2017, 17(12): 1837–1845.
 22. Maurice B, Jean–Marie G, Jean–Michel T. Taking the shoulders and pelvis into account in the preoperative classification of idiopathic scoliosis in adolescents and young adults (a constructive critique of King’s and Lenke’s systems of classification)[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(10): 1780–1787.
 23. 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.
 24. Yoshihara H. Sacroiliac joint pain after lumbar/lumbosacral fusion: current knowledge[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(9): 1788–1796.
 25. Unoki E, Abe E, Murai H, et al. Fusion of multiple segments can increase the incidence of sacroiliac joint pain after lumbar or lumbosacral fusion[J]. *Spine*, 2016, 41(12): 999–1005.
 26. 王冰, 吕国华. 成人脊柱畸形远端融合椎的选择问题[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(8): 679–681.

(收稿日期:2020–03–10 末次修回日期:2020–05–07)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)