

# 青少年 L5 滑脱患者脊柱-骨盆矢状面形态的特征及临床意义

史金辉, 苏新林, 周峰, 孟斌, 杨惠林

(苏州大学附属第一医院骨科 215000 苏州市)

**【摘要】目的:**研究青少年 L5 滑脱患者的脊柱-骨盆矢状面形态,分析不同类型滑脱的矢状面参数特征及临床意义。**方法:**回顾性分析 2010 年 1 月~2019 年 12 月在我院就诊的资料完整的青少年 L5 滑脱患者 36 例,男、女各 18 例,平均年龄  $14.1 \pm 2.5$  岁(10~18 岁);按照 Wiltse 滑脱分型分为峡部裂组 28 例和发育不良组 8 例;按照 Meyerding 分度标准分为轻度滑脱组 32 例(I 度 29 例、II 度 3 例)和重度滑脱组 4 例(III 度 2 例、IV 度 2 例)。在站立位全长脊柱侧位片上测量脊柱-骨盆矢状面参数。其中滑移参数包括:滑脱率(slip rate,SR)、滑脱角(slip angle,SA);骨盆矢状面参数包括:骨盆入射角(pelvic incidence,PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)、腰骶角(lumbosacral angle,LSA)、骶骨平台角(sacral table angle,STA);脊柱矢状面参数包括:胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)和矢状垂直偏距(sagittal vertical axis,SVA)。对比研究峡部裂组和发育不良组以及轻度和重度滑脱患者的脊柱-骨盆矢状面参数特点和相关临床意义。**结果:**峡部裂组  $SR=(13.7 \pm 8.1)\%$ ,  $PT=15.7^\circ \pm 8.3^\circ$ ,  $LSA=105.9^\circ \pm 11.8^\circ$ ,  $STA=102.8^\circ \pm 6.5^\circ$ ;发育不良组  $SR=(42.4 \pm 27.8)\%$ ,  $PT=34.2^\circ \pm 9.6^\circ$ ,  $LSA=78.7^\circ \pm 11.2^\circ$ ,  $STA=76.4^\circ \pm 9.5^\circ$ ;两组相比具有显著的统计学差异( $P < 0.05$ )。轻度滑脱组  $SR=(14.4 \pm 7.8)\%$ ,  $PT=18.1^\circ \pm 10.4^\circ$ ,  $LSA=102.1^\circ \pm 15.5^\circ$ ,  $STA=99.9^\circ \pm 10.8^\circ$ ;重度滑脱组  $SR=(65.0 \pm 19.6)\%$ ,  $PT=33.9^\circ \pm 11.1^\circ$ ,  $LSA=77.4^\circ \pm 6.7^\circ$ ,  $STA=77.7^\circ \pm 8.8^\circ$ , 两组相比具有显著的统计学差异( $P < 0.05$ )。峡部裂组  $SA=2.6^\circ \pm 13.1^\circ$ ,  $PI=54.6^\circ \pm 9.0^\circ$ ,  $TK=23.5^\circ \pm 15.5^\circ$ ,  $LL=-53.0^\circ \pm 18.3^\circ$ ;发育不良组  $SA=11.2^\circ \pm 10.5^\circ$ ,  $PI=60.8^\circ \pm 14.5^\circ$ ,  $TK=21.5^\circ \pm 14.3^\circ$ ,  $LL=-45.3^\circ \pm 15.9^\circ$ ;两组相比无统计学差异( $P > 0.05$ )。轻度滑脱组  $SA=3.3^\circ \pm 12.6^\circ$ ,  $PI=55.3^\circ \pm 10.4^\circ$ ,  $TK=24.0^\circ \pm 13.1^\circ$ ,  $LL=-52.7^\circ \pm 17.4^\circ$ ;重度滑脱组  $SA=14.5^\circ \pm 12.8^\circ$ ,  $PI=61.0^\circ \pm 12.2^\circ$ ,  $TK=14.8^\circ \pm 3.7^\circ$ ,  $LL=-40.0^\circ \pm 20.0^\circ$ , 两组相比无统计学差异( $P > 0.05$ )。**结论:**青少年 L5 滑脱中,发育不良性多为重度滑脱,而峡部裂性多为轻度滑脱。发育不良性重度滑脱容易出现矢状面失衡和滑脱进展,其脊柱-骨盆矢状面呈现躯干前倾,骶骨垂直和骨盆后倾的形态。

**【关键词】**青少年腰椎滑脱;峡部裂;发育不良;矢状面平衡;脊柱-骨盆参数

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.08.05

中图分类号:R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-08-0699-06

**Characteristics and clinical significance of spine-pelvic sagittal morphology of adolescent L5 spondylolisthesis/SHI Jinhui, SU Xinlin, ZHOU Feng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(8): 699-703, 734**

**【Abstract】 Objectives:** To study the sagittal spinopelvic morphological characteristics of adolescent with L5 spondylolisthesis, and analyze the sagittal parameters and clinical significance of different types of spondylolisthesis. **Methods:** Retrospective analysis was performed on adolescent patients with L5 spondylolisthesis treated in our hospital from January 2010 to December 2019. Of all 36 patients with intact medical data, there were 18 males and 18 females with an average age of  $14.1 \pm 2.5$  years (10-18 years). According to Wiltse classification, the patients were divided into isthmic type (28 cases) and dysplasia type (8 cases). According to Meyerding classification, 32 cases were mild spondylolisthesis (29 cases were of grade I and 3 cases were of grade II) and 4 cases were severe spondylolisthesis (2 cases were of grade III and 2 were of grade IV). The sagittal spinopelvic parameters were measured on the standing lateral full-length spine radio-

基金项目:江苏省卫生计生委医学科研课题(2017062)

第一作者简介:男(1981-),副主任医师,医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(0512)67972152 E-mail:shijinhui502@126.com

通讯作者:杨惠林 E-mail:suzhouspine@163.com

graph, among which were slip parameters including slip rate (SR) and slip angle (SA); sagittal parameters of the pelvis including pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), lumbosacral angle (LSA), and the sacral table angle (STA); spinal sagittal parameters including thoracic kyphosis (TK), lumbar lordosis (LL) and sagittal vertical axis (SVA). The sagittal spinopelvic parameters of isthmic and dysplastic group as well as mild and severe group were compared. **Results:** SR=(13.7±8.1)%, PT=15.7±8.3°, LSA=105.9±11.8° and STA=102.8±6.5° in isthmic type; SR=(42.4±27.8)%, PT=34.2±9.6°, LSA=78.7±11.2° and STA=76.4±9.5° in dysplastic type. The difference between the two groups was statistically significant( $P<0.05$ ). SR=(14.4±7.8)%, PT=18.1±10.4°, LSA=102.1±15.5° and STA=99.9±10.8° in mild spondylolisthesis; SR=(65.0±19.6)%, PT=33.9±11.1°, LSA=77.4±6.7° and STA=77.7±8.8° in severe spondylolisthesis. The difference between the two groups was statistically significant( $P<0.05$ ). SA=2.6±13.1°, PI=54.6±9.0°, TK=23.5±15.5° and LL=-53.0±18.3° in isthmic type; SA=11.2±10.5°, PI=60.8±14.5°, TK=21.5±14.3° and LL=-45.3±15.9° in dysplastic type; there was no statistical difference between the two groups( $P>0.05$ ). SA=3.3±12.6°, PI=55.3±10.4°, TK=24.0±13.1° and LL=-52.7±17.4° in mild spondylolisthesis; SA=14.5±12.8°, PI=61.0±12.2°, TK=14.8±3.7° and LL=-40.0±20.0° in severe spondylolisthesis, with no statistical difference between the two groups ( $P>0.05$ ). **Conclusions:** In L5 spondylolisthesis of adolescents, most of the dysplasia type is severe spondylolisthesis, while the isthmus type is mild spondylolisthesis. Severe spondylolisthesis of dysplasia is prone to sagittal imbalance and progress of spondylolisthesis. The sagittal plane of spine pelvis presents the forward sloping trunk, the sacrum is vertical and the pelvis is inclined backward.

**【Key words】** Adolescents lumbar spondylolisthesis; Spondylolysis; Dysplasia; Sagittal balance; Spino-pelvic parameters

**【Author's address】** Department of Orthopaedics, First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou, 215000, China

腰椎峡部裂 (spondylolysis) 和腰椎滑脱 (spondylolisthesis) 是导致青少年腰背痛、下肢放射痛、步态异常的原因之一。流行病学研究认为其发病机制与直立姿势和行走有关, 遗传因素和反复过度伸展或旋转腰椎的体育运动也被认为是青少年峡部裂和腰椎滑脱的危险因素<sup>[1]</sup>。6 岁儿童峡部裂的发生率为 4.4%, 青春期后滑脱继续进展的可能性较小, 并且大部分儿童和青少年患者无临床症状, 成年后增加到 6%<sup>[1,2]</sup>。根据 Wiltse 滑脱分型, 青少年腰椎滑脱中最常见的是峡部裂性和发育不良性<sup>[3]</sup>, 且往往是 L5 相对于骶骨向前滑移。峡部裂性滑脱是指由于椎弓结构的崩裂导致的椎体的前移; 发育不良性滑脱中椎体滑移的发生往往较为年轻且较严重, 其峡部可保持完整, 且伴有发育不良和畸形。

脊柱-骨盆矢状面参数的研究能够帮助临床医生评估青少年腰椎滑脱的发病机制、类型和影响滑脱进展的因素, 为治疗方案的决策和疗效的评价提供客观依据, 因此受到越来越多的重视<sup>[4]</sup>。临床治疗的目的不仅要稳定腰骶结合部关节, 而且要纠正骨盆畸形, 以便能够恢复并保持脊柱的整体矢状面平衡, 减少脊柱、骨盆或下肢的姿势性

代偿, 降低患者为了维持正常的矢状面平衡而进行额外的能量消耗<sup>[5]</sup>。因此, 本研究回顾性分析了在我院诊治的 L5 青少年腰椎滑脱患者的影像学资料, 观察其影像学表现并测量脊柱-骨盆的矢状面参数, 分析不同类型和程度滑脱的矢状面参数的特征, 以期能够为临床治疗青少年腰椎滑脱提供一定的参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

36 例患者, 男 18 例, 女 18 例; 年龄 10~18 岁, 平均 14.1±2.5 岁; L5 峡部裂性滑脱 28 例, 发育不良性滑脱 8 例。其中合并脊柱侧凸 4 例, 半椎体畸形 1 例, 隐性脊柱裂 6 例, 骶髂关节炎 1 例。

根据 Meyerding 分度<sup>[6]</sup> 将滑脱分为 5 度: I 度, 头端椎体向前滑移 ≤25%; II 度, 向前滑移 25%~50%; III 度, 向前滑移 50%~75%; IV 度, 向前滑移 75%~100%; V 度, 头端椎体完全滑移至尾端椎体的前方; 通常将 I 和 II 度滑脱定义为轻度滑脱 (<50%), III、IV 和 V 度滑脱定义为重度滑脱 (>50%)<sup>[7]</sup>。本研究中, 轻度滑脱组 32 例 (I 度 29 例, II 度 3 例); 重度滑脱组 4 例 (III 度 2 例, IV 度 2

例)。峡部裂组(28 例)中, I 度滑脱 25 例, II 度 3 例;发育不良组(8 例)中, II 度滑脱 4 例, III 度 2 例, IV 度 2 例。

## 1.2 脊柱-骨盆矢状面参数的测量方法

常规拍摄站立位全长脊柱正侧位 X 线片,在侧位 X 线片上测量脊柱-骨盆矢状面参数,测量软件采用 Surgimap Spine 软件(Nemaris Inc., New York),所有测量的夹角向前成角为负值,向后成角为正值。测量工作由一名脊柱外科副主任医师完成,测量 2 次,间隔 1 周后再次测量,取平均值。测量的参数如下。

**1.2.1 滑移参数** (1)滑脱率(slip rate,SR):L5 椎体滑移的距离与 S1 椎体上终板长度的比值;(2)滑脱角(slip angle,SA):L5 椎体下终板与 S1 椎体上终板之间的夹角<sup>[9]</sup>。具体测量方法见图 1。

**1.2.2 骨盆矢状面参数** (1)骨盆入射角(pelvic incidence,PI):标记出 S1 上终板中点和两侧股骨头中心点连线的中点(股骨头中心),经过 S1 上终板中点作其垂线,再作 S1 上终板中点和股骨头中心的连线,两线的夹角即为 PI;(2)骨盆倾斜角

(pelvic tilt,PT):S1 上终板中点和股骨头中心连线与垂直线的夹角;(3)腰骶角(lumbosacral angle,LSA):L5 上终板的切线与 S1 后缘切线的夹角;(4)骶骨平台角(sacral table angle,STA):S1 上终板的切线与其后缘切线之间的夹角<sup>[9]</sup>。具体测量方法见图 2。

**1.2.3 脊柱矢状面参数** (1)胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK):T4 椎体上终板与 T12 椎体下终板之间的夹角;(2)腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL):L1 椎体上终板与 S1 椎体上终板之间的夹角;(3)矢状垂直偏距(sagittal vertical axis,SVA):从 C7 椎体中心做铅垂线,该线与 S1 上终板上缘的水平距离,铅垂线位于 S1 上终板后上缘前方为正值,后方为负值<sup>[9]</sup>。具体测量方法见图 3。

## 1.3 统计学方法

应用 SPSS 21.0 软件,对测量的数据进行统计分析。计量资料(SR,SA,PI,PT,LSA,STA,TK,LL,SVA)以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验。 $P<0.05$  为差异具有统计学

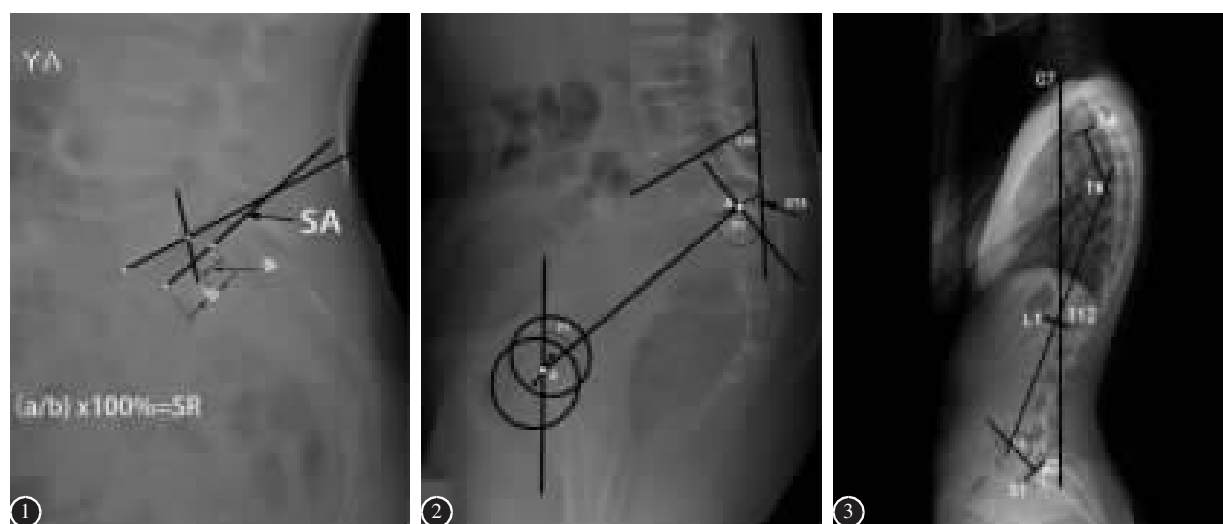


图 1 女性,10 岁,L5 峡部裂性滑脱(II 度),a 为 L5 椎体滑移的距离,b 为 S1 椎体上终板长度。滑脱率 SR=45.2%,滑脱角 SA=14.0° 图 2 女性,12 岁,L5 发育不良性滑脱(III 度),A 点为 S1 上终板中点,B 点为股骨头中点。PI=85.7°,PT=50.6°,LSA=63.5°,STA=67.5°。患者骶骨垂直,骨盆后倾,腰骶部生理前凸减小 图 3 EOS 脊柱站立位全长 X 线片,可见 L5 峡部裂性滑脱(I 度)

**Figure 1** Female, 10 years old, L5 isthmus spondylolisthesis (degree II), a is the distance of L5 vertebral body slip, b is the length of upper endplate of S1 vertebral body. The slip rate (SR)=45.2%, and the slip angle (SA)=14.0° **Figure 2** Female, 12 years old. L5 dysplastic spondylolisthesis (degree III), point A is the midpoint of S1 upper endplate, and point B is the midpoint of the femoral head. PI=85.7°, PT=50.6°, LSA=63.5° and STA=67.5°. The sacrum was vertical, the pelvis was tilted backward, and the lumbosacral lordosis was reduced **Figure 3** The full-length X-ray film of EOS spine standing position showed L5 isthmus spondylolisthesis (degree I)

意义。计数资料的组间比较采用卡方检验 (Chi-Squared Test), 检验水准为 0.05。

## 2 结果

组间一般资料统计学分析见表 1。发育不良组中女性比例(87.5%)比峡部裂组高(39.3%), 差异有统计学差异( $P=0.016, t=5.786$ )。重度滑脱组患者的年龄小于轻度滑脱组, 差异有统计学差异( $P<0.05, t=-1.309$ )。

峡部裂组和发育不良组滑脱脊柱-骨盆矢状面参数见表 2。统计学分析提示两组 SR、PT、LSA、STA 和 SVA 具有显著的统计学差异( $P<0.05$ )。发育不良组的 SR 和 PT 明显大于峡部裂组, 提示该类型 L5 向前滑移更严重, 骨盆呈现明显的后倾; 而发育不良组的 LSA 和 STA 均明显小于峡部裂组, SVA 明显大于峡部裂组( $P<0.05$ ), 且位于 S1 上终板后上缘的前方, 提示发育不良组滑脱骶骨更加垂直, 躯干更加前倾。

轻度和重度滑脱两组矢状面参数见表 3。统计学分析提示两组 SR、PT、LSA、STA 和 SVA 具有统计学差异( $P<0.05$ )。结果表明发育不良组滑脱重度占比为 50%(4/8), 而峡部裂组(28 例)均为轻度。重度滑脱组患者的矢状面序列也表现为骨盆后倾, 骶骨垂直和躯干前倾。SA、PI、TK 和 LL 无统计学差异( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

青少年腰椎滑脱中, 峡部裂性和发育不良性是最常见的类型, 其中峡部裂性约占 85%, 峡部裂性滑脱的发生率约为 2.6%~4.4%。男性患儿峡部裂性滑脱发生率约为女性患儿的 2 倍, 而女性患儿发育不良性滑脱的发生率约为男性患儿的 2

倍<sup>[10]</sup>。本研究病例样本量较小, 结果同样显示峡部裂性中男性患儿较多, 发育不良性中女性患儿较多。Crawford 等<sup>[11]</sup>系统回顾了 51 项循证医学研究, 发现轻度峡部裂滑脱为良性发展过程, 保守和手术治疗均可达到缓解疼痛和恢复活动能力的目的; 重度滑脱或发育不良性滑脱通常需要手术治疗, 因其腰骶部的剪切力增大, 有较高的滑移进展

表 2 峡部裂组滑脱与发育不良组滑脱各项参数对比

Table 2 Comparison of parameters between isthmic and dysplastic spondylolisthesis groups

	峡部裂组 (n=28) Isthmic	发育不良组 (n=8) Dysplastic	P值 P value
滑脱率(%) Slip rate	13.7±8.1	42.4±27.8	0.022
滑脱角(°) Slip angle	2.6±13.1	11.2±10.5	0.098
骨盆入射角(°) Pelvic incidence	54.6±9.0	60.8±14.5	0.141
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt	15.7±8.3	34.2±9.6	0.000
腰骶角(°) Lumbosacral angle	105.9±11.8	78.7±11.2	0.000
骶骨平台角(°) Sacral table angle	102.8±6.5	76.4±9.5	0.000
胸椎后凸角(°) Thoracic kyphosis	23.5±15.5	21.5±14.3	0.702
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis	-53.0±18.3	-45.3±15.9	0.287
矢状垂直偏距(mm) Sagittal vertical axis	-18.1±17.0	30.3±49.9	0.029

表 3 轻度滑脱组与重度滑脱组各项参数对比

Table 3 Comparison of parameters between mild and severe spondylolisthesis groups

	轻度滑脱组 (n=32) Mild group	重度滑脱组 (n=4) Severe group	P值 P value
滑脱率(%) Slip rate	14.4±7.8	65.0±19.6	0.013
滑脱角(°) Slip angle	3.3±12.6	14.5±12.8	0.103
骨盆入射角(°) Pelvic incidence	55.3±10.4	61.0±12.2	0.317
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt	18.1±10.4	33.9±11.1	0.007
腰骶角(°) Lumbosacral angle	102.1±15.5	77.4±6.7	0.004
骶骨平台角(°) Sacral table angle	99.9±10.8	77.7±8.8	0.000
胸椎后凸角(°) Thoracic kyphosis	24.0±13.1	14.8±3.7	0.177
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis	-52.7±17.4	-40.0±20.0	0.183
矢状垂直偏距(mm) Sagittal vertical axis	-12.9±28.1	37.0±46.1	0.004

表 1 两种分组方法的组间一般资料的对比

Table 1 Comparison of general data between isthmic and dysplastic spondylolisthesis groups

	总数(n) Cases	男(n) Male	女(n) Female	年龄(y) Age
峡部裂组 Isthmic	28	17	11	14.4±2.3
发育不良组 Dysplastic	8	1	7	13.1±3.0
轻度滑脱组 Mild	32	18	14	14.5±2.4
重度滑脱组 Severe	4	1	3	11.3±1.9



的风险<sup>[12]</sup>。本研究两组患者中,重度滑脱组年龄段低于轻度滑脱组,也表明重度滑脱发病早,进展快。

青少年腰椎滑脱的自然发展史尚不明确,一项针对峡部裂性滑脱的 45 年随访研究表明,腰椎滑脱的滑移程度与疼痛无相关性,并且滑脱患者与年龄匹配的一般人群的腰背痛的调查问卷(SF-36)之间没有差异。该研究还指出每十年腰椎滑移进展明显减慢,最终的滑移程度均未达到 40%<sup>[13]</sup>。

近年来,对青少年腰椎滑脱患者的脊柱-骨盆矢状面参数和形态的研究受到越来越多的重视,此类研究不仅有助于理解滑脱的病因和进展,而且与如何选择合适的治疗方法以及疗效的评价有着紧密的关联<sup>[14,15]</sup>。发育不良性滑脱患者的骶骨的上终板往往呈现圆顶样改变,L5 下终板相应的呈现凹陷形态,峡部延长。本研究中发育不良性的 L5 向前滑移程度明显大于峡部裂组,4 例重度滑脱患者均为发育不良性,其 PI 和 PT 大于峡部裂组,说明骨盆明显后倾。而发育不良性/重度滑脱的 LSA 和 STA 均明显小于峡部裂组/轻度滑脱,提示发育不良性/重度滑脱骶骨更加垂直,腰骶部后凸<sup>[16]</sup>。患者往往利用骨盆和骶骨来代偿矢状面失衡,表现为躯干更加前倾,臀部上翘,甚至需要屈曲髋、膝关节。患者维持矢状面平衡需要付出更大的能量消耗,导致腰骶部易于疲劳、肌肉痉挛和活动能力下降等临床症状<sup>[17]</sup>。L5 峡部裂性滑脱往往滑脱程度较轻,本组 28 例中,仅有 3 例为 II 度滑脱,其余均为 I 度,其 PI 与 PT 等与正常人群相似。本研究发现峡部裂组/轻度滑脱组的 SVA 小于发育不良组/重度滑脱组( $P<0.05$ )。提示峡部裂组/轻度滑脱组大部分患者的矢状面平衡可维持在相对较为满意的位置,额外增加的能量负荷较少,滑脱进展的风险较小,疼痛和功能障碍也较轻,可保守治疗。

目前常用的评估脊柱-骨盆矢状面平衡的参数有许多。本研究主要纳入反映骨盆和腰骶部形态的 PI、PT、LSA 和 STA;反映脊柱整体矢状面平衡的 TK、LL 和 SVA<sup>[9]</sup>。PI 在生长发育期逐渐增大,而骨骼发育成熟后保持不变且不受体位影响,PI 反映了骨盆在矢状面失平衡情况下的代偿能力。PT 反映了骨盆的在矢状位上的朝向,正常情况下骨盆轻度前倾,青少年滑脱患者尤其是重度

滑脱患者骨盆往往后倾加大,PT 增大<sup>[18]</sup>。LSA 和 STA 均与骶骨的形态密切相关,发育不良性/重度滑脱患者 LSA 和 STA 均小于峡部裂性/轻度滑脱患者以及正常人群,提示其骶骨更为垂直,腰骶部前凸减小甚至后凸,局部剪切力增大,滑脱容易进展<sup>[19]</sup>。

综上所述,青少年 L5 滑脱中,发育不良性多为重度滑脱,而峡部裂性多为轻度滑脱。发育不良性重度滑脱容易出现矢状面失衡和滑脱进展,其脊柱-骨盆矢状面呈现躯干前倾,骶骨垂直和骨盆后倾的形态,需要密切的随访和及时的手术干预。在处理青少年腰椎滑脱的患者时,应充分认识脊柱-骨盆整体的矢状面平衡和腰骶部解剖形态的关系。另外,本研究病例数较少,且发育不良性滑脱和重度滑脱的患者数量相对不足,青少年 L5 滑脱的影像学参数特征及其临床意义仍需要大样本的病例资料进一步深入探讨。

#### 4 参考文献

1. Cavalier R, Herman MJ, Cheung EV, et al. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: I. Diagnosis, natural history, and nonsurgical management[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2006, 14(7): 417-424.
2. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1984, 66(5): 699-707.
3. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1976, 117: 23-29.
4. 吕国华. 青少年腰椎滑脱脊柱-骨盆参数评估的意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(5): 385-386.
5. Violas P, Lucas G. L5S1 spondylolisthesis in children and adolescents[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2016, 102(1 Suppl): S141-147.
6. Randall RM, Silverstein M, Goodwin R. Review of pediatric spondylolysis and spondylolisthesis [J]. Sports Med Arthrosc Rev, 2016, 24(4): 184-187.
7. Mac-Thiong JM, Duong L, Parent S, et al. Reliability of the spinal deformity study group classification of lumbosacral spondylolisthesis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(2): E95-102.
8. Seitsalo S, Osterman K, Hyvarinen H, et al. Progression of spondylolisthesis in children and adolescents. A long-term follow-up of 272 patients[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1991, 16(4): 417-421.
9. Iyer S, Sheha E, Fu MC, et al. Sagittal spinal alignment in adult spinal deformity: an overview of current concepts and a

(下转第 734 页)

21. Kushioka J, Yamashita T, Okuda S, et al. High-dose tranexamic acid reduces intraoperative and postoperative blood loss in posterior lumbar interbody fusion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 26(3): 363-367.
22. 解京明, 李韬, 王迎松, 等. 大剂量氨甲环酸用于脊柱矫形手术的安全性和有效性[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(1): 48-54.
23. Slattery C, Kark J, Wagner T, et al. The use of tranexamic acid to reduce surgical blood loss[J]. *Clin Spine Surg*, 2019, 32(2): 46-50.
24. Lecker I, Wang DS, Whissell PD, et al. Tranexamic acid-associated seizures: causes and treatment [J]. *Ann Neurol*, 2016, 79(1): 18-26.
25. Hui AC, Wong TY, Chow KM, et al. Multifocal myoclonus secondary to tranexamic acid[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2003, 74(4): 547.
26. Verma K, Kohan E, Ames CP, et al. A comparison of two different dosing protocols for tranexamic acid in posterior spinal fusion for spinal deformity: a prospective, randomized trial[J]. *Int J Spine Surg*, 2015, 9: 65.
27. Johnson DJ, Johnson CC, Goobie SM, et al. High-dose versus low-dose tranexamic acid to reduce transfusion requirements in pediatric scoliosis surgery [J]. *J Pediatr Orthop*, 2017, 37(8): e552-e557.
28. Grassin-Delyle S, Tremey B, Abe E, et al. Population pharmacokinetics of tranexamic acid in adults undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass[J]. *Br J Anaesth*, 2013, 111(6): 916-924.
29. Jimenez-Rivera JJ, Iribarren-Sarras JL, Martinez-Sanz R. Tranexamic acid in patients undergoing coronary-artery surgery[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376(19): 1891.
30. Myles PS, Smith JA, Painter T. Tranexamic acid in patients undergoing coronary-artery surgery[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376(19): 1893.
31. Yamasaki K, Hoshino M, Omori K, et al. Prevalence and risk factors of deep vein thrombosis in patients undergoing lumbar spine surgery[J]. *J Orthop Sci*, 2017, 22(6): 1021-1025.
32. Lim W, Le Gal G, Bates SM, et al. American society of hematology 2018 guidelines for management of venous thromboembolism: diagnosis of venous thromboembolism [J]. *Blood Advances*, 2018, 2(22): 3226-3256.
33. Pong RP, Leveque JA, Edwards A, et al. Effect of tranexamic acid on blood loss, d-dimer, and fibrinogen kinetics in adult spinal deformity surgery [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(9): 758-764.

(收稿日期:2020-01-17 修回日期:2020-06-29)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)

(上接第 703 页)

- critical analysis review[J]. *JBJS Rev*, 2018, 6(5): e2.
10. Garfin SR, Eismont FJ, Bell GR, Fischgrund JS, Bono CM. Rothman-Simeone and Herkowitz's *The Spine* [M]. Seventh Edition. Singapore: Elsevier, 2018. 551.
11. Crawford CH, Larson AN, Gates M, et al. Current evidence regarding the treatment of pediatric lumbar spondylolisthesis: a report from the scoliosis research society evidence based medicine committee[J]. *Spine Deform*, 2017, 5(5): 284-302.
12. Rumalla K, Yarbrough CK, Pugely AJ, et al. Spinal fusion for pediatric spondylolisthesis: national trends, complications, and short-term outcomes[J]. *Neurosurgery*, 2018, 82(5): 701-709.
13. Beutler WJ, Fredrickson BE, Murtland A, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis: 45-year follow-up evaluation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(10): 1027-1035.
14. Toueg CW, Mac-Thiong JM, Grimard G, et al. Spondylolisthesis, sacro-pelvic morphology, and orientation in young gymnasts[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(6): E358-364.
15. 郭新虎, 郭昭庆, 陈仲强, 等. 青少年发育不良性腰椎滑脱症合并脊柱侧凸的临床分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(5): 418-424.
16. 杜长志, 孙旭, 王斌, 等. 青少年 L5/S1 发育不良性滑脱患者的骶骨矢状面形态[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(11): 991-998.
17. Mehta VA, Amin A, Omeis I, et al. Implications of spinopelvic alignment for the spine surgeon[J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(Suppl 1): S42-56.
18. Min WK, Lee CH. Comparison and correlation of pelvic parameters between low-grade and high-grade spondylolisthesis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2014, 27(3): 162-165.
19. Tallarico RA, Fredrickson BE, Whitesides TE Jr, et al. The association of sacral table angle measurements with spondylolytic and spondylolisthetic defects at the lumbosacral articulation: a radiographic analysis[J]. *Spine Deform*, 2015, 3(4): 372-379.

(收稿日期:2020-06-07 修回日期:2020-07-11)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)