

青少年 L5/S1 发育不良性滑脱患者的骶骨矢状面形态

杜长志¹, 孙旭¹, 王斌², 朱泽章², 钱邦平², 邱勇¹

(1 南京医科大学鼓楼临床医学院骨科 210008 南京; 2 南京大学医学院附属鼓楼医院骨科 210008 南京)

【摘要】目的:研究青少年 L5/S1 发育不良性滑脱患者的骶骨矢状面形态。**方法:**回顾性分析 2002 年 5 月~2016 年 3 月入院手术治疗的 13 例青少年 L5/S1 发育不良性滑脱患者, 男 2 例, 女 11 例, 年龄 12.2 ± 3.1 岁 (9~18 岁)。以年龄匹配的 30 例正常青少年为对照组。在站立位全脊柱侧位 X 线片上测量骶骨形态、姿势等参数。采用独立样本 *t* 检验对滑脱组和对照组以及滑脱组内低度发育不良亚组和高度发育不良亚组的各参数进行对比分析。**结果:**滑脱组患者中, 10 例存在 S1 上终板拱顶样改变, 6 例 L5 椎体楔形变, 9 例 L5-S1 后凸成角畸形。其腰骶角、骶骨平台角和 S1 指数均显著低于对照组; 骶骨形态也异于对照组, 骶骨角和 S1 上角显著小于对照组, 骶骨头端(S1)曲度减小, 然而骶骨的整体后凸角度显著大于对照组 (Cobb 法: $50.1^\circ\pm 10.6^\circ$ 比 $18.1^\circ\pm 10.4^\circ$; Ferguson 法: $40.5^\circ\pm 9.9^\circ$ 比 $23.1^\circ\pm 11.5^\circ$)。滑脱组矢状面平衡显著大于对照组 (46.5 ± 42.3 mm 比 -25.6 ± 21.8 mm), 且其骨盆入射角、L5 入射角、骨盆倾斜角、骨盆矢状面厚度均显著大于对照组 ($P<0.01$), 而骶骨倾斜角却显著小于对照组 ($P<0.05$)。滑脱组呈现出躯干明显前倾、骨盆后旋、骶骨直立的姿态。滑脱组中高度发育不良 8 例, 低度发育不良 5 例。高度发育不良组与低度发育不良组相比, 其滑脱程度、骶骨后凸角及矢状面轴向垂直距离均显著增大 [$(67.3\pm 18.6)\%$ 比 $(45.4\pm 12.5)\%$; $45.8^\circ\pm 8.4^\circ$ 比 $32.2^\circ\pm 5.1^\circ$; 52.6 ± 24.7 mm 比 21.6 ± 9.5 mm ($P<0.05$)。 **结论:**青少年 L5/S1 发育不良性腰椎滑脱患者除腰骶局部发育不良外, 骶骨呈明显后凸形态。因躯干前倾, 骨盆后旋和骶骨垂直化以代偿矢状面失衡, 而这些异常形态受发育不良程度影响。

【关键词】 青少年; 腰椎滑脱症; 发育不良; 矢状面; 骶骨形态; 平衡

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.11.06

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2016)-11-0991-08

The sagittal morphology of sacrum in adolescents with L5/S1 dysplastic spondylolisthesis/DU Changzhi, SUN Xu, WANG Bin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(11): 991-998

【Abstract】 Objectives: To evaluate the sagittal morphology of sacrum in adolescents with L5/S1 dysplastic spondylolisthesis. **Methods:** 13 adolescent patients with L5/S1 dysplastic spondylolisthesis (2 males and 11 females; mean age, 12.2 ± 3.1 years; range, 9 to 18 years) and age-matched control group of 30 normal adolescents were recruited in this retrospective study. All patients received surgical intervention from May 2002 to March 2016 in our hospital. Radiographic measurements including sacral morphology parameters, postural parameters were carried out on the standing upright lateral radiographs of the spine and pelvis. Independent samples *t* tests was used to analyze the differences of radiographic parameters. **Results:** Adolescent patients with L5/S1 dysplastic spondylolisthesis had significant morphologic difference in segmental sacrum morphology and global sacral configuration. There were 10 domed sacrums, 6 wedged L5 vertebral bodies and 9 lumbosacral kyphosis among 13 dysplastic patients. The sacral angle and S1 superior angle of dysplastic groups were much lower, but both sacral kyphosis in Cobb method ($50.1^\circ\pm 10.6^\circ$ versus $18.1^\circ\pm 10.4^\circ$) and in Ferguson method ($40.5^\circ\pm 9.9^\circ$ versus $23.1^\circ\pm 11.5^\circ$) were higher than those in control group, which meant that dysplastic patients characterized with a more vertical S1 vertebrae and much severer global sacral kyphosis. Compare to control group, the lumbosacral angle, sacral table angle and S1 index of dysplastic group

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81401848)

第一作者简介: 男 (1990-), 医学硕士, 研究方向: 脊柱外科

电话 (025) 83105121 E-mail: nydduchangzhi@163.com

通信作者: 孙旭 E-mail: drsunxu@163.com

were extremely lower ($P < 0.01$). While sagittal vertical axis (46.5 ± 42.3 mm versus -25.6 ± 21.8 mm), L5 incidence, pelvic tilt and sagittal pelvic thickness in dysplastic group were significantly higher than those in control group ($P < 0.05$), sacral slope were much lower. The dysplastic patients had abnormal posture containing trunk forward leaning, pelvic retroversion and vertical sacrum. In comparison with the mild dysplastic spondylolisthesis group (5 cases), the high group (8 cases) were significantly higher on slip percentage [$(67.3 \pm 18.6)\%$ versus $(45.4 \pm 12.5)\%$], sacral kyphosis in Ferguson method (45.8 ± 8.4 versus 32.2 ± 5.1) and sagittal vertical axis (52.6 ± 24.7 versus 21.6 ± 9.5) ($P < 0.05$). **Conclusions:** Adolescents with dysplastic spondylolisthesis not only present with lumbosacral malformation but also characterized with severe global sacral kyphosis. To compensate sagittal imbalance, pelvic retroversion and vertical sacrum occur secondary to trunk forward leaning. And these abnormal morphology are influenced by the degree of dysplastic.

[Key words] Adolescent; Spondylolisthesis; Dysplastic; Sagittal plane; Sacral morphology; Balance

[Author's address] Department of Orthopaedics, Nanjing Drum Tower Hospital Clinical College of Nanjing Medical University, Nanjing, 210008, China

青少年发育不良性腰椎滑脱发病率约为 2.6%^[1],常发生于 L5/S1 节段。正常情况下,L5 椎后方结构能足够承受躯干向前下方的剪切力,但当腰骶部发育不良(如拱顶样骶骨、椎板缺如、峡部延长等)时,因腰骶角的存在,L5 椎体极有可能发生滑脱^[2]。与成人不同,青少年患者骨骼正处于快速生长期,腰骶局部不稳可致滑脱迅速进展,引起马尾神经受压,或臀部上翘、髋膝关节屈曲等异常姿势,严重影响患者的健康发育^[3]。尽管脊柱-骨盆矢状面形态在腰椎滑脱发生发展中的作用已被广泛认可^[4-6],但在青少年发育不良性滑脱中的研究较少。李子恢等^[7]发现,青少年滑脱患者拥有较大的骨盆入射角(PI)和骨盆倾斜角(PT),其骨盆更加后倾。Ikata 等^[8]认为,青少年发育不良性滑脱患者普遍存在着 S1 上终板拱顶样改变和 L5 椎体楔形变,二者都是腰骶部的一种适应性改变,均继发于腰骶部的异常应力,可加速滑脱进展。但在青少年发育不良性滑脱患者中,这种异常形态是仅限于 L5/S1 局部还是波及整个骶骨目前仍不清楚。Antoniades 等^[9]通过文献回顾发现,成人 L5/S1 滑脱患者(包括发育不良性和峡部崩裂性),其骶骨后凸畸形明显;Inoue 等^[10]发现,与正常人相比,成人 L5/S1 峡部崩裂性滑脱患者的骶骨平台角较小而骶骨平台指数较大。但上述两个研究的对象均为成人,不能作为分析青少年发育不良性腰椎滑脱患者骶骨形态特点的重要参考。还有研究表明,除生长潜力外,腰骶发育不良程度也是青少年发育不良性滑脱进展的另一重要因素^[11]。对处于生长发育期的青少年,其腰骶部发育不良程度对骶骨形态的影响如何尚未明确。为系统评估

青少年发育不良性腰椎滑脱患者的骶骨形态特点,并为分析腰骶部发育不良程度对骶骨形态的贡献,本研究回顾性分析 13 例患者的影像学资料,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2002 年 5 月~2016 年 3 月在我院接受 L5/S1 滑脱手术的青少年发育不良性滑脱患者的病例资料。纳入标准:(1)入院年龄 9~18 岁;(2)符合 Marchetti 和 Bartolozzi 发育不良性腰椎滑脱的诊断标准^[12]:骶骨上部、小关节突发育异常或 L5 椎弓缺损;(3)滑脱节段为 L5/S1;(4)有术前站立位全脊柱正侧位 X 线片(含双侧股骨头)。排除标准:(1)单纯腰椎峡部裂性滑脱;(2)2 个及以上节段腰椎滑脱;(3)合并脊柱创伤、结核、肿瘤以及肌肉骨骼基础疾病等;(4)既往有脊柱手术或支具治疗史等。共 13 例患者入选,其中男 2 例,女 11 例;手术年龄 12.2 ± 3.1 岁(9~18 岁);平均病程 22.4 个月(3~87 个月)。4 例症状仅为腰痛,2 例仅有下肢放射痛,6 例为腰痛伴下肢放射痛,1 例为腰痛及下肢放射痛并有足背皮肤感觉减退,严重影响了患者的正常学习和生活。体检发现,13 例均有程度不等的外观姿势异常,其中 11 例躯干明显前倾,7 例患者直立时下肢髋膝关节屈曲畸形,6 例臀部上翘明显,5 例双侧髂棘上方形成皮肤褶皱。选取在门诊健康查体、有全脊柱正侧位 X 线片的 30 例正常青少年作为对照组,男 14 例,女 16 例,平均年龄 13.2 ± 2.4 岁(10~16 岁)。两组患者在年龄、BMI 指数上均无统计学差

异。

1.2 测量方法与评估参数

在术前站立位全脊柱侧位 X 线片上测量骶骨形态及姿势矢状面参数(图 1)。所有参数均用 Surgimap Spine 软件(Nemaris, New York)测量完成。采用 Meyerding 方法^[13]将滑脱分为 I、II、III、IV 度。同时,根据 Mac-Thiong 标准^[14]将发育不良分为高度发育不良和低度发育不良,以下标准具备 3 项以上,可诊断为高度发育不良性腰椎滑脱:(1)L5 椎体楔形变;(2)S1 上终板拱顶样改变;(3)L5-S1 后凸成角畸形;(4)L5-S1 关节面或椎板发育不良(如存在脊柱裂);(5)横突表面积 $<2\text{cm}^2$, L5/S1 椎间盘信号均匀降低;(6)合并全身骨骼或结缔组织疾病,如成骨不全症、Marfan 综合征或 Ehlers-Danlos 综合征。

1.2.1 骶骨矢状面形态参数^[15-18] (1)L5 椎体后缘与前缘的比值:如 $<80\%$,定义为 L5 椎体楔形变;(2)S1 上终板拱顶高度:S1 上终板高度与 S1 上终板长度的比值,如 $>10\%$,则定义为拱顶样改变;(3)L5-S1 成角:L5 椎体下终板与 S1 椎体上终板的夹角,如 $>15^\circ$,则定义为 L5-S1 后凸成角畸形;(4)骶骨平台角:为 S1 上终板切线与骶骨后缘切

线的夹角;(5)骶骨平台指数:S1 上终板的最大前后径与 L5 上终板最大前后径的比值;(6)S1 指数:S1 上终板的最大前后径与 S1 下终板最大前后径的比值;(7)骶骨角:S1、S2 椎体前缘中点连线与 S1 椎体上终板垂线的夹角;(8)Cobb 法骶骨后凸角:S1 椎体上终板切线与 S4 椎体下终板切线的夹角;(9)Ferguson 法骶骨后凸角:S1 椎体上下终板的中点连线与 S2、S4 椎体下终板中点连线的夹角;(10)S1 上角:S1 椎体上下终板的中点连线与 S1 椎体上终板中点垂线的夹角;(11)S2 下角:S1 椎体上下终板的中点连线与 S2 椎体下终板中点垂线的夹角。

1.2.2 矢状面姿势参数 (1)以矢状面轴向垂直距离(sagittal vertical axis, SVA)代表矢状面平衡:C7 铅垂线与骶骨后上角之间的水平距离;(2)胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK):T5 椎体上终板与 T12 椎体下终板之间的夹角;(3)腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL):L1 椎体上终板与 S1 上终板之间的夹角;(4)腰骶角:L5 上终板切线与骶骨后缘切线的夹角;(5)骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT):S1 终板中点和股骨头中心连线与垂直线的夹角;(6)骶骨倾斜角(sacral slope, SS):S1 上终

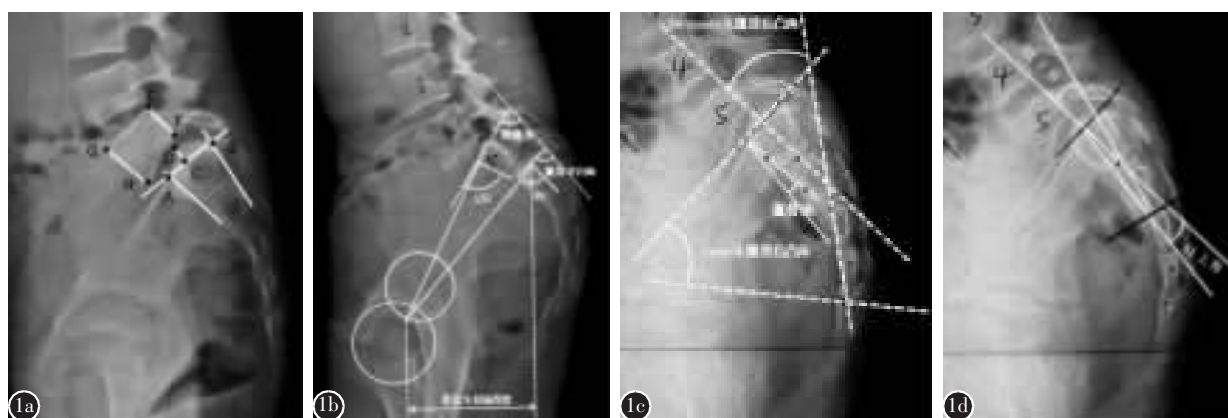


图 1 青少年发育不良性滑脱患者的影像学指标测量示意 **a** 参照文献^[16]标准确定发育不良性滑脱 S1 上终板:沿骶骨前后缘做两条切线,这两条切线与骶骨上缘交点(A、B)间的连线,即为 S1 上终板; $CD/AB>10\%$,表示存在 S1 上终板拱顶样改变;椎体前后缘高度比($EF/GH<80\%$),表示存在 L5 椎体楔形变 **b** 骨盆入射角、L5 入射角、腰骶角、骶骨平台角和骨盆矢状面厚度的测量示意 **c** 骶骨角、Cobb 和 Ferguson 法骶骨后凸角的测量示意 **d** S1 上角和 S2 下角的测量示意

Figure 1 Radiographic parameter measurement of dysplastic spondylolisthesis adolescents **a** The definition of S1 superior endplate was based on the 16th references: Construct two tangent lines before and after S1, two tangent lines and the superior border was point A and B, S1 superior endplate was the straight line connecting these two points. If $CD/AB>10\%$, S1 was defined as domed sacrum; and if $EF/GH<80\%$, L5 was defined as wedged vertebral body **b** Radiographic parameter measurement of pelvic incidence, L5 incidence, lumbosacral angle, sacral table angle and sagittal pelvic thickness **c** Radiographic parameter measurement of sacral angle, Cobb sacral kyphosis and Ferguson sacral kyphosis **d** Radiographic parameter measurement of S1 superior angle and S2 inferior angle

板和水平线的夹角;(7)骨盆矢状面厚度:为双侧股骨头中心连线中点与 S1 上终板中点间水平距离。

1.2.3 其他参数 (1) 骨盆入射角(pelvic incidence, PI):经 S1 上终板中点作该终板的垂线,该垂线和 S1 上终板的中点与股骨头中心点连线的夹角(若双侧股骨头不重叠,取两股骨头中心连线的中点作为中心点);(2) L5 入射角 (L5 incidence, L5I):经 L5 上终板中点作该终板的垂线,该垂线和 L5 上终板的中点与股骨头中心点连线的夹角;(3) 滑脱率:L5 椎体下终板后端距 S1 上终板后缘的垂直距离与 S1 上终板长度的比值。

1.3 统计学方法

由同一名脊柱外科医生对患者的上述参数间隔一周测量两次,取其平均值。应用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,计量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示。采用独立样本 *t* 检验对滑脱组 and 对照组,以及滑脱组内低度发育不良和高度发育不良患者的各参数进行对比, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

滑脱组中,S1 上终板拱顶样改变 10 例,L5 椎体楔形变 6 例,L5-S1 后凸成角畸形 9 例,椎弓根及椎弓峡部拉长 3 例,椎板缺如 1 例。平均 L5-S1 滑脱角为 $14.9^{\circ}\pm 15.0^{\circ}$ ($-12.8^{\circ}\sim 36.2^{\circ}$),滑脱距离为 $14.1\pm 4.4\text{mm}$ ($9.2\sim 21.3\text{mm}$),滑脱率为 $(58.1\pm 20.6)\%$ ($37.1\%\sim 94.4\%$),其中 Meyerding II 度 6 例,III 度 4 例,IV 度 3 例。

两组骶骨形态和矢状面姿势相关参数测量结果见表 1。滑脱组的 L5-S1 局部形态与正常青少年明显不同,其腰骶角、骶骨平台角和 S1 指数均显著低于对照组。同时,滑脱组的骶骨矢状面形态与正常青少年也存在显著差异,其骶骨角和 S1 上角均显著小于对照组,表示头端骶骨(S1)较直,曲度变小。然而,骶骨后凸角则显著大于对照组。骶骨平台指数和 S2 下角在两组间无显著统计学差异。滑脱组矢状面轴向垂直距离、胸椎后凸角、腰椎前凸角、骨盆入射角、L5 入射角、骨盆倾斜角和骨盆矢状面厚度均显著大于对照组,而骶骨倾斜角显著小于对照组,因此,滑脱组呈现躯干明显前倾、骨盆后旋和骶骨直立的姿态(图 2)。

滑脱组中,低度发育不良 5 例,高度发育不良 8 例。如表 2 中所示,高度发育不良亚组的滑脱

表 1 发育不良性滑脱组及对照组骶骨形态和矢状面姿势相关参数比较

Table 1 Comparison of the sacral morphology and sagittal posture parameters between dysplastic spondylolisthesis group and control group

	滑脱组(n=13) Dysplastic group	对照组(n=30) Control group	P 值 P value
骶骨平台角($^{\circ}$) Sacral table angle	79.4 $\pm$ 5.6	102.0 $\pm$ 6.4	<0.001
骶骨平台指数(%) Sacral table index	91.2 $\pm$ 11.3	90.7 $\pm$ 5.8	0.741
S1 指数(%) S1 index	132.4 $\pm$ 18.4	147.9 $\pm$ 17.4	<0.001
骶骨角($^{\circ}$) Sacral angle	5.1 $\pm$ 2.9	26.5 $\pm$ 6.3	<0.001
Cobb 法骶骨后凸角($^{\circ}$) Cobb sacral kyphosis	50.1 $\pm$ 10.6	18.1 $\pm$ 10.4	<0.001
Ferguson 骶骨后凸角($^{\circ}$) Ferguson sacral kyphosis	40.5 $\pm$ 9.9	23.1 $\pm$ 11.5	<0.001
S1 上角($^{\circ}$) S1 superior angle	3.5 $\pm$ 2.9	22.8 $\pm$ 5.6	<0.001
S2 下角($^{\circ}$) S2 inferior angle	15.9 $\pm$ 8.0	12.6 $\pm$ 5.3	0.202
矢状面平衡(SVA)(mm) Sagittal vertical axis	46.5 $\pm$ 42.3	-25.6 $\pm$ 21.8	<0.001
胸椎后凸角(TK)($^{\circ}$) Thoracic kyphosis	9.6 $\pm$ 6.6	22.4 $\pm$ 7.4	<0.001
腰椎前凸角(LL)($^{\circ}$) Lumbar lordosis	41.8 $\pm$ 20.9	55.1 $\pm$ 8.7	0.004
L5 入射角(L5I)($^{\circ}$) L5 incidence	60.4 $\pm$ 15.1	15.7 $\pm$ 8.5	<0.001
腰骶角($^{\circ}$) Lumbosacral angle	75.9 $\pm$ 18.5	124.1 $\pm$ 6.6	<0.001
骨盆入射角(PI)($^{\circ}$) Pelvic incidence	63.8 $\pm$ 6.9	42.3 $\pm$ 10.1	<0.001
骨盆倾斜角(PT)($^{\circ}$) Pelvic tilt	34.23 $\pm$ 12.08	6.00 $\pm$ 8.00	<0.001
骶骨倾斜角(SS)($^{\circ}$) Sacral slope	21.9 $\pm$ 20.2	35.1 $\pm$ 12.6	0.043
骨盆矢状面厚度(mm) Sagittal pelvic thickness	62.6 $\pm$ 19.7	12.6 $\pm$ 15.8	<0.001

角、滑脱率、骶骨后凸角、S2 下角、L5 入射角和骨盆矢状面厚度均显著大于低度发育不良亚组。此外,高度发育不良亚组 S1 上角和骶骨倾斜角也较小。

3 讨论

脊柱同骨盆、下肢相互平衡,以消耗能量最小的方式维持机体稳定的姿势。青少年发育不良性滑脱患者,因腰骶部先天性发育异常,骨性结构和软组织维系力降低,病变常迅速进展并导致严重的腰椎滑脱。腰骶部发育不良程度能够反映腰椎滑脱发展趋势,与滑脱严重程度、患者预后和治疗效果等显著相关^[9],对此,Marchetti 等^[12]、Mac-



图 2 L5-S1 发育不良性滑脱患者(女,10 岁)的外观照和站立位全脊柱侧位 X 线片(a~c)及健康青少年(女,11 岁)的站立位全脊柱侧位 X 线片(d,e) **a** 患者直立时,有躯干前倾、臀部上翘、下肢髋膝关节屈曲畸形等异常姿势 **b** 全脊柱站立位侧位 X 线片上,滑脱患者的各参数测量结果如下:Meyerding II 度;骶骨平台角 70°;S1 指数 138%;骶骨角 2°;Cobb/Ferguson 法骶骨后凸角 57°/37°;S1 上角 2°;S2 下角 18°;腰骶角 68°;矢状面轴向垂直距离 71.4mm;胸椎后凸角 5°;腰椎前凸角 15°;L5 入射角 57°;骨盆入射角 74°;骨盆倾斜角 45°;骶骨倾斜角 28°;骨盆矢状面厚度 69.6mm **c** 滑脱患者腰骶部侧位 X 线片 **d** 正常青少年腰骶部侧位 X 线片 **e** 全脊柱站立位侧位 X 线片上,健康青少年的各参数测量结果如下:骶骨平台角 102°;S1 指数 144%;骶骨角 24°;Cobb/Ferguson 法骶骨后凸角 16°/23°;S1 上角 24°;S2 下角 11°;腰骶角 126°;矢状面轴向垂直距离-23.3mm;胸椎后凸角 22°;腰椎前凸角 54°;L5 入射角 21°;骨盆入射角 48°;骨盆倾斜角 12°;骶骨倾斜角 36°;骨盆矢状面厚度 19.2mm

Figure 2 female, age 10, L5-S1 dysplastic spondylolisthesis(a~c) and female, age 11, normal adolescent(d, e) **a** The dysplastic spondylolisthesis patient showed abnormal sagittal posture appears characterized with trunk forward leaning, buttock upwards, hip and knee joint flexion **b** The parameters of dysplastic spondylolisthesis: Meyerding II, sacral table angle 70°, S1 index 138%, sacral angle 2°, Cobb/Ferguson sacral kyphosis 57°/37°, S1 superior angle 2°, S2 inferior angle 18°, lumbosacral angle 68°, sagittal vertical axis 71.4mm, L5 incidence 57°, pelvic incidence 74°, pelvic tilt 45°, sacral slope 28°, sagittal pelvic thickness 69.8mm **c** The lumbosacral lateral radiographs of dysplastic spondylolisthesis patient **d** The lumbosacral lateral radiographs of normal adolescent **e** The parameters of normal adolescent: sacral table angle 102°, S1 index 144%, sacral angle 24°, Cobb/Ferguson sacral kyphosis 16°/23°, S1 superior angle 24°, S2 inferior angle 11°, lumbosacral angle 126°, sagittal vertical axis -23.3mm, L5 incidence 21°, pelvic incidence 48°, pelvic tilt 12°, sacral slope 36°, sagittal pelvic thickness 19.2mm

Toing 等^[14]和 Pawar 等^[19]分别提出了不同的分度标准。尽管高度和低度发育不良性滑脱病因相同,但影像学表现却有显著差异,前者常于青春期发病,常有 S1 上终板拱顶样改变、L5 椎体楔形变等异常形态^[12,14,19],导致其腰骶部严重不稳,滑脱进展风险较大,常需手术治疗。本组病例中,S1 上终板拱顶样改变 10 例,L5 椎体楔形变 6 例,L5-S1 后凸成角畸形 9 例,且高度发育不良组的滑脱率显著高于低度发育不良组。因此,对腰骶椎发育不良程度进行系统评估,有助于指导临床治疗。

青少年患者,骨质重塑性较好,随着滑脱的加

重,更大的不均应力作用于正在发育的 S1 上终板和 L5 椎体下终板,当滑脱超过 30%时,生长板软骨异常生长,最终形成骶骨拱顶样改变和 L5 椎体楔形变^[20-22]。Gutman 等^[20]病理研究证实,骶骨拱顶样改变是一种骨软骨炎现象,是椎体正常生长受到干扰后,腰骶部的一种适应性改变。骶骨平台角常用来评估 S1 椎体的空间形态,受骶骨形态适应性改变影响较轻^[10],其大小与 L5/S1 滑脱的发生密切相关^[23]。Wang 等^[15]认为在青少年腰椎滑脱患者中,较小的骶骨平台角意味着更严重的滑脱,为青少年腰椎滑脱症的重要病因学因素。为了更

表 2 低度发育不良性滑脱组及高度发育不良性滑脱组
骶骨形态和矢状面姿势相关参数比较

Table 2 Comparison of the sacral morphology and sagittal posture parameters between mild and high dysplastic spondylolisthesis group			
	低度发育 不良 (n=5) Mild dysplastic group	高度发育 不良 (n=8) High dysplastic group	P 值 P value
滑脱角(°) Slip angle	8.1±9.4	21.2±10.9	0.048
滑脱率(%) Slip percentage	45.4±12.5	67.3±18.6	0.041
骶骨平台角(°) Sacral table angle	77.4±7.4	80.6±4.2	0.333
骶骨平台指数(%) Sacral table index	93.1±8.7	90.4±10.7	0.645
S1 指数(%) S1 index	138.7±19.1	134.1±15.6	0.642
骶骨角(°) Sacral angle	4.2±3.6	5.6±2.4	0.408
Cobb 法骶骨后凸角(°) Cobb sacral kyphosis	43.6±7.9	54.1±8.3	0.045
Ferguson 骶骨后凸角(°) Ferguson sacral kyphosis	32.2±5.1	45.8±8.4	0.008
S1 上角(°) S1 superior angle	1.8±0.8	4.6±3.2	0.080
S2 下角(°) S2 inferior angle	11.6±2.9	18.5±3.5	0.003
矢状面平衡(SVA)(mm) Sagittal vertical axis	21.6±9.5	52.6±24.7	0.041
胸椎后凸角(TK)(°) Thoracic kyphosis	10.8±4.6	9.1±4.2	0.507
腰椎前凸角(LL)(°) Lumbar lordosis	43.8±5.4	38.7±6.5	0.172
L5 入射角(L5I)(°) L5 incidence	50.6±12.1	67.3±13.8	0.048
腰骶角(°) Lumbosacral angle	80.8±19.2	72.9±18.7	0.477
骨盆入射角(PI)(°) Pelvic incidence	63.4±5.8	64.0±7.8	0.886
骨盆倾斜角(PT)(°) Pelvic tilt	31.4±13.6	36.0±11.6	0.528
骶骨倾斜角(SS)(°) Sacral slope	28.0±8.6	16.9±8.8	0.046
骨盆矢状面厚度(mm) Sagittal pelvic thickness	51.2±12.9	69.7±14.3	0.038

好地评估 S1 发育不良程度, Vialle 等^[18]提出了 S1 指数的概念, S1 指数越大, 表示骶骨平台越宽, 腰骶部也就越稳定。本研究发现, 青少年发育不良性患者, 其骶骨平台角和 S1 指数均明显小于正常人, 也恰好证明了腰骶局部的先天发育不良, 能够显著增加滑脱持续加重的风险, 需引起临床的重视。

另外, 这种发育不良形态并不仅存在于 L5-S1 局部, 相比于正常青少年, 发育不良性滑脱患

者其骶骨整体形态也有明显不同, 且发育不良程度越高, 差异越显著。本研究中, 无论是 Cobb 法还是 Ferguson 法, 滑脱组骶骨后凸角均显著大于对照组, 且高度发育不良亚组显著大于低度发育不良亚组, 该结果与 Antoniades^[9], Wang^[15]等报道一致。Marty 等^[24]发现, 青少年发育不良性患者, 骶骨曲度和骨盆入射角值正相关, 骨盆入射角越大, 骶骨后凸越严重。由于处在发育期, 青少年患者的骶骨塑形性较好, 其骶骨曲度的增大可能是由较大的骨盆入射角和 L5 入射角引起的继发性改变。较大的骨盆入射角和 L5 入射角, 增大了作用于骶骨的剪切力, 因头端骶骨的长期轴向挤压最终形成了严重的骶骨后凸畸形^[8, 25]。同时, L5/S1 发育不良性患者, 因其骶骨倾斜角减小, 骨盆后旋, 引起髋关节的屈曲, 导致臀肌长期紧张, 这种肌肉作用力的长期牵拉, 也可能引起骶骨曲度的增大。因后凸顶点主要位于 S2 椎体上, 导致 S2 曲度增加(S2 下角增大), S1 曲度减小(S1 上角减小), 也使得头端骶骨(S1)的曲度显著小于正常人(骶骨角减小)^[24, 26]。此外, 这种骶骨头侧曲度减小的现象也可能是矢状面上骨盆适应性改变后旋的结果。

当发育不良性腰椎滑脱发生时, 脊柱与骨盆的正常平衡关系被打破。本研究中, 滑脱组患者矢状面轴向垂直距离显著高于对照组, 呈现躯干明显前倾的异常姿态。此时, 机体会通过姿势的适应性改变, 以维持脊柱-骨盆的矢状面稳定。目前关于青少年发育不良性滑脱患者的高骨盆入射角是原发性改变还是继发于腰椎滑脱尚存争论。与成人不同, 青少年的骨盆入射角随年龄增长不断增加^[27, 28]。Mac-Thiong 等^[27]发现, 腰骶部发育不良性患者的骨盆入射角大于正常人群; 而 Gutman 等^[29]随访发现, 青少年腰骶部发育不良性患者的骨盆入射角随滑脱进展迅速增大, 认为较大的骨盆入射角不是滑脱发生的病因, 而是机体为维持矢状面平衡, 适应性改变的结果。本研究发现, 相对于正常青少年, 滑脱组患者具有较大的骨盆入射角、L5 入射角、骨盆倾斜角、骨盆矢状面厚度和较小的骶骨倾斜角, 因而滑脱组表现为骨盆明显后旋和骶骨更加垂直化的姿态。事实上, 较高的骨盆入射角可导致 L5 椎体不断向前下方沉降和倾斜, 可使矢状面轴向垂直距离增大, 躯干前倾, 引起 L5 入射角的增大, 严重者甚至会造成 L4 椎体后

滑脱^[9]。为了阻挡 L5 椎体继续向前向下的滑移, 骨盆后旋, 骶骨平台由原先向前下倾斜的状态转变为趋于水平, 骶骨倾斜角减小而骨盆倾斜角增大, 骶骨垂直化。由于发育不良性滑脱的骶骨后凸明显, 头侧骶骨(S1)曲度减小以更好代偿矢状面的对线平衡。同时骨盆矢状面厚度增大, 髋关节向前移位, 容易出现髋膝关节的屈曲畸形, 以代偿性地降低滑脱进展风险。Obeid 等^[29]发现骨盆倾斜及髋膝关节屈曲是代偿脊柱失平衡的重要机制, 并且发现骨盆后倾同腰椎前凸丢失相关, 膝关节屈曲角度同腰椎前凸丢失程度相关。上述代偿性改变一旦在青少年期间持续存在, 将进一步导致骨盆和下肢的发育异常。因此, 一旦出现躯干前倾、骨盆后旋甚至髋膝关节屈曲时, 需尽早手术干预, 以恢复正常的脊柱-骨盆矢状面平衡。

本研究还发现与低度发育不良组相比, 高度发育不良组患者的骶骨后凸角和 S2 下角较大而 S1 上角较小, 表明发育不良程度对骶骨形态有重要影响。而高度发育不良组患者比低度组表现出更加严重的躯干前倾和骨盆后旋, 这提示发育不良程度对引起矢状面平衡失衡和骶骨姿势异常也起着重要作用。这些发现为腰骶部发育不良程度是椎体滑脱进展的重要因素提供了有力佐证。

综上所述, 青少年 L5/S1 发育不良性腰椎滑脱患者, 不仅存在 S1 上终板拱顶样改变、L5 椎体楔形变及后凸成角畸形等发育不良形态, 还常伴有骶骨后凸畸形和垂直化。因躯干前倾, 骨盆后旋和骶骨直立以代偿矢状面失衡。上述骶骨异常矢状面形态受发育不良程度影响。对于这类患者, 需严密观察, 一旦出现躯干前倾、骨盆后旋甚至髋膝关节屈曲时, 需尽早手术干预。同时, 由于本研究病例资料相对较少, 更深层次的研究仍有待于病例资料的进一步积累和分析总结。

4 参考文献

- Mehdian SH, Amn R. A new three-stage spinal shortening procedure for reduction of severe adolescent isthmic spondylolisthesis: a case series with medium to long term follow up [J]. Spine, 2011, 36(11): E705-711.
- Tsirikos AI, Garrido EG. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents[J]. J Bone Joint Surg Br, 2010, 92(6): 751-759.
- 孙翊夫, 陈仲强. 重度发育不良性腰椎滑脱的影像学特点及其临床意义[J]. 中华外科杂志, 2010, 48(5): 358-362.
- Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents [J]. European Spine J, 2007, 16(2): 227-234.
- 何守玉, 朱锋, 邱勇, 等. 成人峡部裂性腰椎滑脱患者脊柱-骨盆矢状面参数变化及其临床意义 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(2): 109-115.
- Labelle H, Roussouly P, Chopin D, et al. Spino-pelvic alignment after surgical correction for developmental spondylolisthesis[J]. European Spine J, 2008, 17(9): 1170-1176.
- 李子恢, 陈曦, 孙旭, 等. 青少年 L5/S1 滑脱后路内固定复位术后即刻复位效果及其影响因素 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(5): 389-394.
- Ikata T, Miyake R, Katoh S, et al. Pathogenesis of sports-related spondylolisthesis in adolescents radiographic and magnetic resonance imaging study [J]. Am J Sports Medicine, 1996, 24(1): 94-98.
- Antoniades SB, Hammerberg KW, DeWald RL. Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis [J]. Spine, 2000, 25(9): 1085-1091.
- Inoue H, Ohmori K, Miyasaka K. Radiographic classification of L5 isthmic spondylolisthesis as adolescent or adult vertebral slip[J]. Spine, 2002, 27(8): 831-838.
- Ruf M, Koch H, Melcher RP, et al. Anatomic reduction and monosegmental fusion in high-grade developmental spondylolisthesis[J]. Spine, 2006, 31(3): 269-274.
- Marchetti P, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: Bridwell K, DeWald R(eds) The Textbook of Spinal Surgery[M]. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997. 1211-1254.
- Meyerding H. Spondylolisthesis: surgical treatment and results[J]. Surg Gynecol Obstet, 1932, 54: 371-377.
- Mac-Thiong JM, Labelle H. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature[J]. European Spine J, 2006, 15(10): 1425-1435.
- Wang Z, Parent S, Mac-Thiong JM, et al. Influence of sacral morphology in developmental spondylolisthesis [J]. Spine, 2008, 33(20): 2185-2191.
- Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. The importance of spino-pelvic balance in L5-S1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements[J]. Spine, 2005, 30(6 Suppl): S27-S34.
- Wang Z, Parent S, de Guise JA, et al. A variability study of computerized sagittal sacral radiologic measures[J]. Spine, 2010, 35(1): 71-75.
- Vialle R, Schmit P, Dauzac C, et al. Radiological assessment of lumbosacral dystrophic changes in high-grade spondylolisthesis[J]. Skeletal Radiology, 2005, 34(9): 528-535.
- Pawar A, Labelle H, Mac-Thiong JM. The evaluation of lumbosacral dysplasia in young patients with lumbosacral spondylolisthesis: comparison with controls and relationship

- with the severity of slip [J]. Eur Spine J, 2012, 21 (11): 2122-2127.
20. Gutman G, Silvestre C, Roussouly P. Sacral doming progression in developmental spondylolisthesis: a demonstrative case report with two different evolutions [J]. European Spine J, 2014, 23(2): 288-295.
21. Sakamaki T, Sairyo K, Katoh S, et al. The pathogenesis of slippage and deformity in the pediatric lumbar spine: a radiographic and histologic study using a new rat in vivo model[J]. Spine, 2003, 28(7): 645-650.
22. Laurent LE, Osterman K. Spondylolisthesis in children and adolescents: a study of 173 cases [J]. Acta Orthopaedica Belgica, 1968, 35(3): 717-727.
23. Whitesides Jr TE, Horton WC, Hutton WC, et al. Spondylolytic spondylolisthesis: a study of pelvic and lumbosacral parameters of possible etiologic effect in two genetically and geographically distinct groups with high occurrence[J]. Spine, 2005, 30(6 Suppl): S12-S21.
24. Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients[J]. European Spine J, 2002, 11(2): 119-125.
25. Frost HM. Biomechanical control of knee alignment: some insights from a new paradigm [J]. Clin Orthop Relat Res, 1997, 335: 335-342.
26. Borisov VN, Prokhorov MA. Curvature of the human sacrum based on morphometric data [J]. Arkh Anat Gistol Embriol, 1982, 83(8): 72-75.
27. Mac-Thiong JM, Berthodnaud E, Dimar JR 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth [J]. Spine, 2004, 29(15): 1642-1647.
28. 王智伟, 刘臻, 王渭君, 等. 正常汉族青少年骨盆矢状面形态的影像学研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(10): 919-924
29. Obeid I, Hanger 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(Suppl 5): S681-685.

(收稿日期: 2016-09-20 修回日期: 2016-10-29)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)

消息

2017年《中国修复重建外科杂志》征订启事

《中国修复重建外科杂志》是由中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会主管, 中国康复医学会、四川大学主办, 四川大学华西医院承办的国家级医学专业学术期刊, 是国内修复重建外科领域唯一核心期刊。期刊于 1996 年率先被国际权威医学数据库——MEDLINE 及美国《医学索引》(IM) 收录, 此后相继被美国化学文摘(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PK)、《日本科学技术社数据库》(JICST)、荷兰 Scopus 数据库、美国剑桥科学文摘(CSA)等国际检索系统收录。此外, 期刊还持续被国内三大核心期刊数据库《中文核心期刊要目总览》(2014 年版)、中国科学引文数据库(核心库)、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)收录。据《2015 年版中国科技期刊引证报告》, 我刊影响因子为 0.753, 总被引频次为 2284, 在 9 种烧伤外科学、整形外科学类期刊中综合排名位居第 1 位。期刊于 2011、2014 年获评第 2 届以及第 3 届中国精品科技期刊, 并连续获评 2012、2013、2015 中国国际影响力优秀学术期刊。

期刊设有临床(研究)论著、干细胞与组织工程、异体及异种移植、临床新技术、综述、科研快报、短篇论著、短篇报道等栏目。学科领域覆盖骨科、手外科、显微外科、整形外科、口腔颌面外科、泌尿外科、神经外科、康复医学、再生医学、生物医学等。以各级临床外科医师及生物医学研究者为主要读者对象。

本刊为月刊, 每月 15 日出版, 大 16 开本, 132 页, 80g 亚光纸印刷, 每期定价 25.00 元, 全年 12 期共 300 元。欢迎广大读者到当地邮局征订, 邮发代号: 62-80。此外, 本编辑部长期提供邮购业务。地址: 四川省成都市武侯区国学巷 37 号四川大学华西医院内; 邮编: 610041; 电话: (028)85422431, 85422432(兼传真); E-mail: bjb@xfjwkzazhi.cn; 网址: www.xfjwkzazhi.cn。