

儿童发育不良性重度腰椎滑脱手术复位后 脊柱-骨盆矢状位序列改变

周 艺^{1,2}, 郭昭庆¹, 齐 强¹, 李危石¹, 曾 岩¹, 孙垂国¹, 陈仲强¹

(1 北京大学第三医院骨科 100191 北京市; 2 北京大学深圳医院脊柱外科 518036 深圳市)

【摘要】目的:评估手术复位对儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者脊柱-骨盆矢状位序列的影响。**方法:**回顾性分析 13 例行手术复位治疗的儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者, 其中男 2 例, 女 11 例。均行减压复位内固定融合术。手术时年龄 11.5 ± 2.4 岁 (7~15 岁)。采用配对样本 t 检验比较术前、末次随访时的滑脱程度 (slip degree)、腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL)、Boxall 滑脱角 (Boxall's slip angle, BSA)、SDSG 发育不良性腰骶角 (Spinal Deformity Study Group dysplastic lumbosacral angle, SDSG-dys LSA)、骨盆投射角 (pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角 (sacral slope, SS) 的差异, 评估手术复位后脊柱-骨盆矢状位序列的变化。**结果:**随访 20.6 ± 21.9 个月 (3~64 个月), 滑脱程度由术前的 $(76.01 \pm 15.65)\%$ 改善至末次随访时的 $(17.57 \pm 16.64)\%$ ($P < 0.01$), 滑脱复位程度为 $(58.44 \pm 16.31)\%$, 其中 4 例 III 度滑脱患者完全复位。11 例患者行 S1 上终板拱顶样部分切除, 平均切除程度为 $(30.16 \pm 14.54)\%$ 。术前、末次随访时的 LL 分别为 $74.75^\circ \pm 18.11^\circ$ 、 $57.77^\circ \pm 14.83^\circ$, BSA 分别为 $48.98^\circ \pm 16.01^\circ$ 、 $19.56^\circ \pm 18.70^\circ$, SDSG-dys LSA 分别为 $19.78^\circ \pm 20.19^\circ$ 、 $-1.72^\circ \pm 19.04^\circ$, SS 分别为 $28.68^\circ \pm 23.21^\circ$ 、 $41.13^\circ \pm 15.67^\circ$, 末次随访时均较术前有显著性改变 ($P < 0.05$); PI 分别为 $65.64^\circ \pm 19.88^\circ$ 、 $73.20^\circ \pm 18.85^\circ$, PT 分别为 $36.88^\circ \pm 11.68^\circ$ 、 $32.03^\circ \pm 11.76^\circ$, 末次随访时较术前无显著性改变 ($P > 0.05$)。C7 铅垂线距骶骨后上角距离 (sagittal vertical axis, SVA) 较术前减小。末次随访时 10 例后倾型骨盆患者中 2 例 (20%) 转变为平衡型骨盆。**结论:**手术复位可改善儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者脊柱-骨盆矢状位序列, 矫正腰骶部后凸畸形, 改善骶骨-骨盆矢状位序列。

【关键词】 腰椎滑脱; 复位; 矢状位序列; 手术; 儿童

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.05.04

中图分类号: R681.5, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2015)-05-0395-05

Sagittal spino-pelvic alignment after surgical reduction for pediatric high-grade developmental spondylolisthesis/ZHOU Yi, GUO Zhaoqing, QI Qiang, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(5): 395-399

【Abstract】Objectives: To determine the effect of surgical reduction for pediatric L5 high-grade developmental spondylolisthesis on the sagittal spino-pelvic alignment. **Methods:** Thirteen children (two boys and eleven girls) with L5 high-grade developmental spondylolisthesis were retrospectively evaluated in this study, all cases underwent the process of decompression, reduction, internal fixation and fusion. Radiological assessment of spino-pelvic sagittal alignment was carried out. The average age at surgery was 11.5 ± 2.4 years (range 7-15 years). The differences of radiological parameters [slip degree, lumbar lordosis (LL), Boxall's slip angle (BSA), Spinal Deformity Study Group dysplastic lumbosacral angle (SDSG-dys LSA), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT) and sacral slope (SS)] between preoperation and final follow-up were compared by the paired sample t test. **Results:** The average follow-up time was 20.6 ± 21.9 months (range, 3-64 months). Spondylolisthesis decreased from the average $(76.01 \pm 16.64)\%$ at preoperation to $(17.57 \pm 16.64)\%$ at final follow-up ($P < 0.01$), with the improvement rate of $(58.44 \pm 16.31)\%$, four children with grade III spondylolisthesis got completely reduction. Sacral dome osteotomy was performed in 11 patients, with the correction rate of $(30.16 \pm 14.54)\%$. All patients showed statistically significant changes of above parameters at final follow-up compared with preoperative ones ($P < 0.05$). LL decreased from $74.75^\circ \pm 18.11^\circ$ to $57.77^\circ \pm 14.83^\circ$, BSA from $48.98^\circ \pm 16.01^\circ$ to $19.56^\circ \pm 18.70^\circ$,

第一作者简介: 男 (1987-), 住院医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (0755) 8392333-5900 E-mail: yunruhua@126.com

通讯作者: 郭昭庆 E-mail: gzq6698@sina.com

SDSG-dys LSA from $19.78^{\circ} \pm 20.19^{\circ}$ to $-1.72^{\circ} \pm 19.04^{\circ}$, while SS increased from $28.68^{\circ} \pm 23.21^{\circ}$ to $41.13^{\circ} \pm 15.67^{\circ}$. PI increased from $65.64^{\circ} \pm 19.88^{\circ}$ to $73.20^{\circ} \pm 18.85^{\circ}$ and PT decreased from $36.88^{\circ} \pm 11.68^{\circ}$ to $32.03^{\circ} \pm 11.76^{\circ}$, which showed no statistically significant changes at final follow-up compared with preoperative ones ($P > 0.05$). Sagittal vertical axis(SVA) decreased compared with preoperative ones. Improvements of pelvic sagittal alignment after surgical reduction in the retroverted pelvis group were more obvious than those in the balanced pelvis group, 20% of the cases shifted from retroverted pelvis to balanced pelvis at final follow-up.

Conclusions: Surgical reduction for pediatric L5 high-grade developmental spondylolisthesis can improve the spino-pelvic and sacro-pelvic sagittal alignment, and correct the lumbosacral kyphosis.

[Key words] Spondylolisthesis; Reduction; Sagittal alignment; Surgery; Child

[Author's address] Department of Orthopedics, Peking University Third Hospital, Beijing, 100191, China

L5 发育不良性重度滑脱的治疗仍存在较大争议,尤其是对于骨骼发育尚未成熟的儿童患者。长期以来,后路原位融合术是 L5 发育不良性重度滑脱的常用治疗方法。有研究表明,后路原位融合术治疗儿童重度腰椎滑脱可获得良好的临床效果^[1,2]。但也有研究表明原位融合术后患者预后难以预测,且存在假关节形成率高,滑脱进展以及躯体外观畸形和矢状位失平衡无法矫正等缺点^[2,3]。近年来随着内固定技术的发展,对重度腰椎滑脱行手术复位成为可能。有研究表明^[4-6],对发育不良性重度腰椎滑脱患者行手术复位不仅可获得良好的临床疗效,而且可以重建脊柱-骨盆的矢状位平衡,矫正腰骶部畸形,同时提高滑脱节段的融合率,降低滑脱进展及邻近节段退变的风险;但也存在神经损伤和术后复位丢失的风险^[7,8]。因此,目前对发育不良性重度腰椎滑脱手术治疗的主要争议在于是否需行滑脱节段的复位及复位程度的确定。为了探讨此类患者复位的指征,许多影像学研究已经开展,主要涉及滑脱程度、腰骶后凸畸形及脊柱-骨盆矢状位参数等^[9-12]。许多研究表明这些指标在复位术后均可得到明显的改善^[4,6,8,13]。但目前关于手术复位对儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者脊柱-骨盆矢状位序列影响的研究较少。本研究通过影像学研究,了解手术复位对儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者脊柱-骨盆矢状位序列的影响,为临床评估和手术决策提供客观依据。

1 资料和方法

1.1 一般资料

收集 2007 年 3 月~2013 年 8 月在北京大学第三医院骨科诊治的 13 例儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者。纳入标准:(1)符合 Marchetti 和 Bartolozzi 发育不良性腰椎滑脱的诊断标准^[14];(2)年龄 ≤ 18 岁;(3)重度滑脱,且滑脱节段为 L5;

(4)在北京大学第三医院腰椎组行减压复位内固定加椎体间植骨融合术,随访时间 ≥ 3 个月;(5)术前、术后及末次随访时均有站立位腰椎正侧位 X 线片(含双侧股骨头);(6)不合并脊柱肿瘤、结核、创伤以及肌肉骨骼基础疾病等。

本组男 2 例,女 11 例。手术时年龄 11.5 ± 2.4 岁(7~15 岁)。术前滑脱程度:采用 Taillard 法测量为 $(76.01 \pm 15.65)\%$ ($58.28\% \sim 100\%$);按照 Meyerding 法,Ⅲ度滑脱 8 例,Ⅳ度滑脱 3 例,Ⅴ度滑脱 2 例。术前严重程度指数(severe index, SI)^[15]为 $(61.1 \pm 16.5)\%$ ($29.0\% \sim 86.0\%$),均有骨盆后倾表现。腰骶部发育不良程度根据 Pawar 等^[16]提出的方法评估,中度发育不良 9 例,高度发育不良 4 例,其中 12 例患者存在 S1 上终板拱顶样改变。按照 Hresko 等^[17]骶骨-骨盆矢状位平衡分型,平衡型骨盆 3 例,后倾型骨盆 10 例。

1.2 手术方法

患者均行减压复位内固定融合术治疗,1 例完全滑脱患者行前后路联合 L5 椎骨切除、后路 L4~S1 减压复位内固定、椎体间植骨融合术;12 例患者行后路 L5~S1 减压复位、椎体间植骨融合、钛棒+椎弓根螺钉内固定术,其中 11 例患者内固定范围为 L4~S1,1 例患者仅行 L5~S1 内固定。11 例患者行 S1 上终板拱顶样改变部分切除。

1.3 影像学测量及评估

所有影像学评估和测量均由同一位骨科专科医师使用北京大学第三医院 PACS 系统进行,长度测量精确度为 0.01mm,角度测量精确度为 0.1°。测量指标及方法如下。

(1)滑脱复位程度:手术复位前后滑脱程度的差值。(2)S1 上终板的确定、拱顶样改变高度测量:根据 Hubert 方法^[12]划定 S1 上终板,如 S1 拱顶样高度(H)大于 S1 上终板长度的 10%,则认为 S1 上终板拱顶样改变,S1 上终板拱顶样改变切除

程度 $= (H_{术前} - H_{术后}) / H_{术前} \times 100\%$ 。(2)骶骨-骨盆矢状位平衡状态分型: 分别测量 PI (pelvic incidence)、SS、PT, $PI = PT + SS$ 。根据 Hresko 等^[17]研究结果, 将骨盆矢状位平衡状态分为平衡型骨盆和后倾型骨盆。(3)全脊柱矢状位平衡状态评估: 采用侧位像上脊柱矢状面的 C7 铅垂线 (C7PL) 到 S1 后上角的距离, 即 SVA (sagittal vertical axis) 来评估脊柱矢状位平衡状态, SVA 在 $-3.0 \sim 3.0\text{cm}$ 内为脊柱矢状位平衡, 否则为脊柱矢状位失衡。(4)腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL): 用于评估患者腰椎前凸畸形程度, LL 为过 L1 上终板和 L5 下终板的直线所成的夹角。(5)腰骶关节后凸畸形评估: 采用 Boxall 滑脱角 (Boxall's slip angle, BSA)、SDSG 发育不良性腰骶角 (Spinal Deformity Study Group dysplastic lumbosacral angle, SDSG-dys LSA)^[18]来评估, BSA 在腰骶部前凸时为负值, 后凸时为正值; SDSG-dys LSA 在腰骶部前凸时为负值, 后凸时为正值。(6)采用 SI 评估发育不良性腰椎滑脱骨盆后倾严重程度, 正常群体和低度发育不良性腰椎滑脱患者 SI 小于 20%。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 19.0 软件进行数据录入及分析, 计量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示。对术前、末次随访时的 LL、BSA、SDSG-dys LSA、PI、PT、SS 进行配对样本 *t* 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

手术复位后随访 20.6 ± 21.9 个月 (3~64 个月)。末次随访时的滑脱程度为 $(17.57 \pm 16.64)\%$, 与术前比较有显著性差异 ($P < 0.01$)。滑脱复位程度为 $(58.44 \pm 16.31)\%$, 其中 4 例 III 度滑脱患者完全复位。11 例患者行 S1 上终板拱顶样改变部分

切除, 平均切除程度为 $(30.16 \pm 14.54)\%$ 。

手术复位后腰骶部后凸畸形、腰椎前凸畸形得到良好矫正 (图 1)。手术复位后患者脊柱-骨盆矢状位参数变化见表 1。L5 发育不良性重度滑脱患者术前 PI、PT、LL 及 BSA 均高于儿童正常群体平均水平, 而 SS 则低于正常平均水平^[19]。末次随访时除 PI、PT 外, LL、BSA、SDSG-dys LSA 及 SS 均较术前有显著性改变, BSA 接近于正常平均水平^[18]。手术前 10 例患者表现为后倾型骨盆, 手术复位后 2 例患者 (20%) 在末次随访时转变为平衡型骨盆, 3 例平衡型骨盆患者仍为平衡型骨盆。

7 例患者手术前及末次随访时拍摄全脊柱侧位 X 线片, 其手术复位后脊柱矢状位平衡状态变化见表 2。术前均存在脊柱矢状位失衡, 其中 5 例躯干呈前倾状态, 2 例为后倾状态; 手术复位后患者的脊柱矢状位失衡较术前有不同程度改善, 其中有 4 例在末次随访时恢复为脊柱矢状位平衡状态。

3 讨论

以往关于发育不良性重度腰椎滑脱患者手术复位后矢状位序列变化的研究中所涉及的研究对象年龄均较大, 且有成年患者^[4,6-8]。有研究^[20]表明, 在儿童时期 PI 随年龄的增长不断增加, 成年后骨骼发育成熟时 PI 保持不变, 且儿童时期的骨盆矢状位参数与成年人存在显著性差异^[21]。因此, 有必要将儿童群体与成年群体分开研究。本研究对象均为儿童患者。

有研究^[22]表明, 腰椎滑脱患者的 PI 值较正常对照组高, 表明脊柱滑脱的发生可能与患者有较高的 PI 值相关, 但无足够证据表明 PI 异常是原发性的还是继发于腰椎滑脱。Labelle 等^[6]的研究



图 1 患者女, 14 岁, 发育不良性 L5 重度滑脱 a 术前 X 线片示 L5 椎体 V 度滑脱, $SVA = 4.26\text{cm}$, $LL = 84.2^\circ$, $PI = 62.4^\circ$, $PT = 40.7^\circ$, $SS = 21.3^\circ$, $BSA = 68.2^\circ$, 脊柱矢状位失衡状态, 后倾型骨盆 b 术后 15 个月 X 线片示 L5 椎体 I 度滑脱, $SVA = 2.83\text{cm}$, $LL = 41.4^\circ$, $PI = 68.3^\circ$, $PT = 24.5^\circ$, $SS = 44.5^\circ$, $BSA = -3.0^\circ$, 脊柱矢状位平衡状态, 后倾型骨盆

Figure 1 A 14-year-old girl with L5 high-grade developmental spondylolisthesis a Preoperative radiograph with grade V developmental spondylolisthesis, $SVA = 4.26\text{cm}$, $PI = 62.4^\circ$, $LL = 84.2^\circ$, $PT = 40.7^\circ$, $SS = 21.3^\circ$, $BSA = 68.2^\circ$, imbalanced spine, retroverted pelvis b Postoperative radiograph after 15 months with grade I developmental spondylolisthesis, $SVA = 2.83\text{cm}$, $LL = 41.4^\circ$, $PI = 68.3^\circ$, $PT = 24.5^\circ$, $SS = 44.5^\circ$, $BSA = -3.0^\circ$, balanced spine, retroverted pelvis)

则表明腰椎滑脱患者的 PI、SS、PT 和 LL 均明显大于正常对照组。本研究结果表明,儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者 PI、PT、LL 及 BSA 值均高于儿童正常群体平均水平^[19],SS 则低于正常平均水平,患者存在明显的骨盆后倾、腰椎过度前凸和腰骶关节后凸畸形。手术复位后,LL、BSA 明显减小,骶骨过度后倾(SS)也较术前改善。由此可知,手术复位可以矫正腰骶部后凸畸形,恢复骶骨-骨盆正常序列,重建脊柱-骨盆之间的相互调节机制,从而改善腰椎过度代偿性前凸。

本研究结果表明,手术复位可改善患者的全脊柱矢状位平衡状态,而脊柱矢状位平衡状态的改善则基于复位后骶骨-骨盆平衡状态的改善和腰骶部后凸畸形的矫正。目前认为骨盆可以通过调整骶骨平台朝向(SS)和骨盆空间朝向(PT)这两种机制影响脊柱矢状位序列^[23]。但如何根据术前的矢状位参数来确定手术矫正的程度,以便更理想地改善患者的脊柱-骨盆矢状位平衡状态及

预后,目前尚无明确结论。Schwab 等^[24]认为成人 PT 正常值<25°,且手术治疗矢状位失衡类疾病时将 PT 纠正至 20°以下可获得较好疗效。有研究表明,由腰椎曲线最靠前的点作水平线可将腰椎前凸分为上下两段,下段弧度等于 SS,而上段弧度为恒定常数,约为 20°,故从理论上可认为 LL=SS+20°^[25]。但目前关于儿童患者尚缺乏相关的研究数据。术前应根据 PI 及 PT 值确定术后期望 SS 值,以获得术后期望达到的腰椎前凸值,从而调整脊柱矢状位序列。

本研究结果表明,手术复位可改善发育不良性重度腰椎滑脱患者骶骨-骨盆矢状位平衡状态,可从后倾型骨盆转变为平衡型骨盆。平衡型骨盆患者骶骨-骨盆处于相对平衡状态,手术复位后脊柱-骨盆矢状位序列变化不明显;而后倾型骨盆有 SS 小而 PT 大的特点,多合并明显腰骶关节后凸畸形、骶骨后倾等表现,手术复位后腰骶部后凸畸形明显改善,同时腰椎过度前凸也有一定程度改善。因此应根据骶骨-骨盆矢状位平衡分型为 L5 发育不良性重度滑脱患者选择手术策略,后倾型骨盆患者手术复位后骶骨-骨盆矢状位序列改善效果较平衡型明显。这也支持了 Martiniani 等^[4]、Labelle 等^[6]、Hresko 等^[17]的研究结果。但由于本研究样本量较少,分析平衡型和后倾型骨盆患者手术复位后骶骨-骨盆矢状位序列变化差异有可能存在偏倚,需增加样本量进一步研究。

本研究结果显示,对儿童 L5 发育不良性重度滑脱患者手术复位后可改善患者脊柱-骨盆矢状位序列,矫正腰骶部后凸畸形,改善骶骨-骨盆矢状位序列。但脊柱-骨盆矢状位序列的改善对患者临床预后的影响尚有待进一步研究明确。Harroud 等^[26]近期的研究表明,在重度腰椎滑脱患

表 1 手术复位前后脊柱-骨盆矢状位参数
($\bar{x}\pm s, n=13, ^\circ$)

Table 1 Variations of sagittal spino-pelvic parameters after surgical reduction

变量 Variable	术前 Pre-operation	末次随访 Final follow-up
腰椎前凸角 Lumbar lordosis(LL)	74.75±18.11	57.77±14.83 ^①
Boxall滑脱角 Boxall's slip angle(BSA)	48.98±16.01	19.56±18.70 ^①
SDSG发育不良性腰骶角 Spinal Deformity Study Group dysplastic lumbosacral angle, (SDSG-dys LSA)	19.78±20.19	-1.72±19.04 ^①
骨盆投射角 Pelvic incidence(PI)	65.64±19.88	73.20±18.85
骨盆倾斜角 Pelvic tilt(PT)	36.88±11.68	32.03±11.76
骶骨倾斜角 Sacral slope(SS)	28.68±23.21	41.13±15.67 ^①

表 2 7 例患者手术复位前、后全脊柱矢状位平衡状态
Table 2 Variations of sagittal spinal balance after surgical reduction

序号 Number	性别 Sex	术前 (pre-operation)		末次随访 (final follow-up)	
		SVA(cm) Sagittal vertical axis (cm)	脊柱矢状位平衡 Sagittal spinal balance	SVA(cm) Sagittal vertical axis (cm)	脊柱矢状位平衡 Sagittal spinal balance
1	女 (female)	16.43	失平衡型 (unbalanced)	-6.37	失平衡型 (unbalanced)
2	女 (female)	4.26	失平衡型 (unbalanced)	2.83	平衡型 (balanced)
3	男 (male)	7.53	失平衡型 (unbalanced)	7.26	失平衡型 (unbalanced)
4	男 (male)	3.24	失平衡型 (unbalanced)	-1.91	平衡型 (balanced)
5	女 (female)	11.16	失平衡型 (unbalanced)	-2.55	平衡型 (balanced)
6	女 (female)	-4.74	失平衡型 (unbalanced)	1.12	平衡型 (balanced)
7	女 (female)	-5.92	失平衡型 (unbalanced)	5.74	失平衡型 (unbalanced)

者中,脊柱-骨盆矢状位序列的异常与 SRS-22 分值变差有关,尤其是对于脊柱失平衡的患者,但目前尚缺乏关于滑脱患者手术治疗后脊柱-骨盆矢状位序列的改变对临床预后影响的研究。同时由于样本量较小,在进行分析时有可能出现偏倚,因此有必要增大样本量进一步研究。

4 参考文献

1. Poussa M, Remes V, Lamberg T, et al. Treatment of severe spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome[J]. Spine, 2006, 31(5): 583-590, 591-592.
2. Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Complications in the surgical treatment of pediatric high-grade, isthmic dysplastic spondylolisthesis: a comparison of three surgical approaches[J]. Spine, 1999, 24(16): 1701-1711.
3. Mac-Thiong JM, Labelle H. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature[J]. Eur Spine J, 2006, 15(10): 1425-1435.
4. Martiniani M, Lamartina C, Specchia N. "In situ" fusion or reduction in high-grade high dysplastic developmental spondylolisthesis (HDSS)[J]. Eur Spine J, 2012, 21(Suppl 1): S134-140.
5. Hresko MT, Hirschfeld R, Buerk AA, et al. The effect of reduction and instrumentation of spondylolisthesis on spinopelvic sagittal alignment[J]. J Pediatr Orthop, 2009, 29(2): 157-162.
6. Labelle H, Roussouly P, Chopin D, et al. Spino-pelvic alignment after surgical correction for developmental spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2008, 17(9): 1170-1176.
7. Min K, Liebscher T, Rothenfluh D. Sacral dome resection and single-stage posterior reduction in the treatment of high-grade high dysplastic spondylolisthesis in adolescents and young adults[J]. Eur Spine J, 2012, 21(Suppl 6): S785-791.
8. Lonner BS, Song EW, Scharf CL, et al. Reduction of high-grade isthmic and dysplastic spondylolisthesis in 5 adolescents[J]. Am J Orthop(Belle Mead NJ), 2007, 36(7): 367-373.
9. Toueg CW, Mac-Thiong JM, Grimard G, et al. Spondylolisthesis, sacro-pelvic morphology and orientation in young gymnasts[J]. J Spinal Disord Tech, 2013, Epub ahead of print.
10. Li Y, Hresko MT. Radiographic analysis of spondylolisthesis and sagittal spinopelvic deformity [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2012, 20(4): 194-205.
11. Labelle H, Mac-Thiong JM, Roussouly P. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 5): 641-646.
12. 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): S27-34.
13. Bouyer B, Bachy M, Courvoisier A, et al. High-grade lumbosacral spondylolisthesis reduction and fusion in children using transsacral rod fixation[J]. Childs Nerv Syst, 2014, 30(3): 505-513.
14. 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.
15. Lamartina C, Zavatsky JM, Petrucci M, et al. Novel concepts in the evaluation and treatment of high-dysplastic spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2009(18 Suppl 1): 133-142.
16. 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.
17. Hresko MT, Labelle H, Roussouly P, et al. Classification of high-grade spondylolistheses based on pelvic version and spine balance: possible rationale for reduction [J]. Spine, 2007, 32(20): 2208-2213.
18. Glavas P, Mac-Thiong JM, Parent S, et al. Assessment of lumbosacral kyphosis in spondylolisthesis: a computer-assisted reliability study of six measurement techniques [J]. Eur Spine J, 2009, 18(2): 212-217.
19. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents [J]. Eur Spine J, 2007, 16(2):227-234.
20. Marcy C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants and spondylolisthesis patients[J]. Eur Spine J, 2002, 11(2): 119-125.
21. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study[J]. Spine, 2004, 29(18): 2049-2054.
22. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? an overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery [J]. Spine, 2010, 35(25): 2224-2231.
23. 孙卓然, 李危石. 骨盆矢状位形态参数在脊柱外科的应用[J]. 中华外科杂志, 2012, 50(12): 1147-1150.
24. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance [J]. Spine, 2010, 35(25): 2224-2231.
25. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 5): 578-585.
26. Harroud A, Labelle H, Joncas J, et al. Global sagittal alignment and health-related quality of life in lumbosacral spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2013, 22(4): 849-856.

(收稿日期:2015-02-28 末次修回日期:2015-05-17)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)