

综述

重度腰椎滑脱脊柱-骨盆矢状面平衡参数的研究进展

Advances in the study of sagittal balance parameters
in high grade lumbar spondylolisthesis

胡 勇, 张凯伦

(宁波大学医学院附属宁波市第六医院骨科 315200 宁波市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.02.12

中图分类号: R681.5, R445 文献标识码 A 文章编号: 1004-406X(2019)-02-0170-04

重度腰椎滑脱是指Ⅲ度以上(Meyerding 分级滑脱位)移超过 50%, 即 $SD \geq 50\%$ 的腰椎滑脱。随着研究的不断进展, 其脊柱力线重建过程的矢状面平衡受到越来越多学者的重视, 其发生、进展、转归均和脊柱矢状面参数密切相关。重度腰椎滑脱一般需行手术治疗, 但在是否要进行完全复位这个问题上仍存有较大争议。此外, 重度腰椎滑脱患者的脊柱矢状面平衡参数对手术方式的选择具有重要的指导意义。笔者就重度腰椎滑脱患者脊柱-骨盆矢状面平衡参数的改变进行综述, 为临床手术治疗重度腰椎滑脱提供一定参考。

1 脊柱-骨盆矢状面参数及其正常范围

目前临床常用的脊柱-骨盆矢状面参数见图 1、2。(1) 腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL): L1 上终板延长线与 S1 上终板延长线之间的夹角, 其正常值为 $42.7^\circ \pm 5.4^\circ$ 。有学者^[2]认为 LL 会随年龄增加而减小。(2) 腰骶角 (lumbosacral angle, LSA): S1 上终板与 L5 下终板所成夹角, 角度为后凸角时为正, 为前凸角时为负。(3) C7 矢状垂直轴 (sagittal vertical axis, SVA): 经 C7 椎体中心所做的铅垂线与 S1 椎体后缘上界的水平距离, 若铅垂线落在 S1 椎体上缘前方, 则记 SVA 为正值, 落在 S1 椎体上缘后方则记为负值, 其正常值为 $(-3.2 \pm 3.2\text{cm})$ ^[3]; 脊柱-骨盆平衡由 SVA 决定, 若该线落在股骨头上方或后方, 可认为脊柱是平衡的; 若该线落在双侧股骨头前方, 则认为脊柱是失衡的。近年有学者^[4]指出, $SVA > 50\text{mm}$ 为较年轻人群脊柱矢状面失衡的临界值, 但以较年轻人群的数值套用老年人可能并不合适, $SVA > 80\text{mm}$ 作为 75 岁以上老年人脊柱矢状面失衡的临界值可能更合适。(4) 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, 其正常值为 $12.1^\circ \pm 3.2^\circ$ 。 (5) 骶骨倾斜角 (sacral slope, SS): S1 上终板与水平直线间的夹角, 其正常值为 $39.7^\circ \pm$

4.1° 。SS 是描述骨盆空间位置的参数, 它与 LL 呈正相关性^[5], 对骶骨的矢状面方向起着决定作用。(6) 骨盆入射角 (pelvic incidence, PI): 股骨头中心和 S1 上终板的中点连线与垂直于 S1 上终板并过 S1 上终板中点的直线所成的角, 其正常值为 $51.8^\circ \pm 5.3^\circ$ 。若双侧股骨头不重叠, 则取两股骨头中心连线的中点。PI 是骨盆的重要形态学参数, 它决定了骨盆、骶骨与腰椎的关系^[6]。PI 不随个人姿势的变化而改变, 未成年时 PI 随年龄增长而增大, 待发育成熟后达到稳定状态^[7]。脊柱-骨盆参数之间存在一定的几何关系, 即 $PI = PT + SS$ 。近期许多研究^[8-10]已表明, PI 在骨盆参数中尤其重要, 它对骶骨平台与股骨头之间的空间位置关系起着举足轻重的作用, 而且在正常个体之间的变异很小。PI 较大者, 因为其股骨头常在骶骨平台前方, 故在矢状面失衡时有更好的代偿能力; 而 PI 值较小的患者骨盆环的前后径短, 其股骨头通常更靠近骶骨平台的正下方, 故在站立时代偿能力较差。因此在脊柱矢状面失衡患者手术治疗前常规测量 PI 值对手术方案的选择和制定有重要意义^[11]。

2 重度腰椎滑脱脊柱-骨盆矢状面参数的改变及其临床意义

正常的人体脊柱-骨盆序列存在一定的生理曲度, 在直立与行走时常以消耗最少的能量来获得相对稳定的姿势。剪切力存在于脊柱的每一个运动节段^[12,13], 腰骶部处于腰椎和骶椎的衔接处, 椎间隙尤其倾斜, 剪切力也更大。完

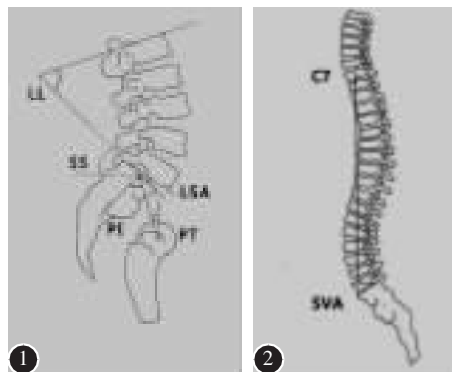


图 1 脊柱-骨盆矢状面参数 图 2 C7 矢状垂直轴

基金项目: 宁波市科技惠民项目(2016C51001)

第一作者简介: 男(1976-), 主任医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (0574)87996103 E-mail: huyong610@163.com

整的椎体周围结构可抵消这种前移的剪切力,但保持腰骶椎之间的正常空间位置关系要依靠不同关节突关节、完整椎间盘、背伸肌收缩力量和周围韧带等。任何一种或几种抗剪切力机制的丧失或减弱都可引起腰骶部不稳,继而产生滑脱。脊柱-骨盆序列为了保证正常站立姿势,发生一系列代偿性的改变,主要表现为脊柱骨盆参数数值的变化。

Hanson 等^[14]比较轻、重度峡部裂性腰椎滑脱患者的影像学特点时发现,重度腰椎滑脱患者 $PI=79.0^{\circ}\pm 15.2^{\circ}$, $PT=41.5^{\circ}\pm 13.2^{\circ}$, $LL=58.4^{\circ}\pm 15.8^{\circ}$, PI 、 PT 、 LL 较正常值均明显增加,尤其 PI 显著增加。他们认为 PI 与峡部滑脱程度显著相关, PI 可能是重、轻度脊椎滑脱的预测因素,在治疗和评估其进展风险时应被视为一个因素;同时他们推断较高的 PI 可能是脊椎滑脱进展的一个诱因。张忠民等^[15]对 42 例重度腰椎滑脱患者进行脊柱序列重建时发现,其术前 $PI=66.5^{\circ}\pm 13.8^{\circ}$, $PT=16.3^{\circ}\pm 3.3^{\circ}$, $SS=54.3^{\circ}\pm 7.2^{\circ}$, $LL=72.4^{\circ}\pm 14.1^{\circ}$, PI 、 PT 、 SS 、 LL 均较正常值明显增加,他们认为人体为保持平衡,会通过腰椎前凸等代偿骶骨前倾,因此 SS 与 LL 呈正相关,站立时椎间盘所负载的剪切力大小与骶骨平台的陡峭程度也有相关性,骶骨前倾越明显,剪切力越大,向前滑脱的倾向也越大。发生峡部裂时,椎体周围结构的破坏会引起不同的应力负载到相邻的椎间盘,所以 PI 必然增加,文献也证实 PI 与腰椎滑脱直接相关^[15]。此外, Vialle 等^[16]的研究发现,在较轻程度腰椎滑脱患者中, SS 呈递增趋势(Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ度: $45.7^{\circ}/49.4^{\circ}/50.8^{\circ}$),而在较重程度的腰椎滑脱患者中, SS 呈递减趋势(Ⅳ/Ⅴ度: $41.4^{\circ}/33.5^{\circ}$)。Sailhan 等^[17]回顾性分析 44 例重度腰椎滑脱患者的影像学特点,发现其术前平均 $PI=78.5^{\circ}$, $PT=26.1^{\circ}$, $SS=52.5^{\circ}$, PI 、 PT 、 SS 均较正常值明显增加。吕国华等^[18]在探讨重度腰椎滑脱患者脊柱骨盆参数与症状的关系时发现,24 例重度腰痛患者 $PI=77.6^{\circ}\pm 12.9^{\circ}$, $PT=33.1^{\circ}\pm 8.6^{\circ}$, $SS=44.5^{\circ}\pm 9.5^{\circ}$, $LL=68.7^{\circ}\pm 11.9^{\circ}$, PI 、 PT 、 SS 、 LL 均明显增加。

总结文献发现,重度腰椎滑脱患者中, PI 、 PT 较文献报道的正常值增大,而 SS 、 LL 的变化不同文献存在差异。在脊柱骨盆平衡时, LL 与 SS 具有相关性,直立位时,脊柱通过改变腰椎前凸调整姿势, SS 增加, LL 也相应增加以维持平衡;在脊柱骨盆失衡时, SS 、 LL 可表现为减小,因其矢状面不平衡的因素不断加剧,骶骨需要后倾(PT 增加)以维持正常站立姿势, $L5$ 椎体在骶骨上过度滑移,使骶骨缺少 $L5$ 椎体的限制作用而变得异常直立(PT 增加而 SS 下降^[19]);而 LL 变小的原因主要是 $L5$ 、 $S1$ 节段后凸角的增加使得整体 LL 有所减小。

3 脊柱-骨盆矢状面参数在重度腰椎滑脱治疗中的意义

3.1 重度腰椎滑脱复位对脊柱骨盆矢状面平衡的影响

重度腰椎滑脱通常需要进行手术治疗,手术的目的主要是:①解除疼痛,②彻底神经根减压,③恢复脊柱力线,防止滑脱进展,④提高融合率,⑤改善外观,增强自信心。其中,恢复脊柱力线、防止滑脱进展是重中之重。然而,

重度腰椎滑脱是否需要完全复位还存在争议^[19]。有学者认为,腰椎不稳是此症的根本所在,重建脊柱的正常序列和恢复其基本生理功能需要解除因矢状径减小引起的椎管狭窄,而复位可以明显减少压迫,恢复椎管容积^[20]。因此,解剖复位是治疗重度腰椎滑脱的重要基础,复位后脊柱恢复正常力线,使轴向负荷通过腰骶界面分散,减少了腰骶部张力,同时滑脱椎与下位椎的关系恢复正常,椎体间接触面积增加,可提高融合率。但也有学者认为解剖复位对神经根牵拉明显,易引起神经根紧张,主张部分复位^[21]。还有学者认为,复位容易牵拉神经根导致并发症,缓解腰椎滑脱症状应该致力于彻底减压和牢固的植骨融合^[22]。

随着对重度腰椎滑脱研究的不断深入,许多研究把脊柱-骨盆参数数值大小作为是否需要复位的依据^[16,23,24]。Hresko 等^[23]在对 133 例重度腰椎滑脱患者的脊柱-骨盆参数的统计分析中发现, PT 和 SS 值之间存在线性关系: $Y=0.844835X+25.021$ (其中 Y 为 SS , X 为 PT),通过此线可以将其分为骨盆平衡型和骨盆失衡型,借以指导重度腰椎滑脱患者的复位。骨盆平衡型的 PT 值较小(21.3°)、 SS 值较大(59.9°),骨盆失衡型的 PT 值较大(36.5°)、 SS 值较小(40.3°),他们认为对骨盆平衡型患者进行复位并不能减小腰骶关节的剪切力,反而会加重症状,不利于脊柱矢状面平衡的恢复;而对骨盆失衡型患者进行复位可以使其向平衡型转变,有效纠正骨盆畸形,改善人体姿势,缓解症状,提高生活质量,因此他们建议只对骨盆失衡型患者进行复位。但此线性关系是否适用于正常人(无滑脱者)还有待进一步研究。以 Hresko 等的线性关系分界线为界, Faldini 等^[25]在手术治疗重度腰椎滑脱患者的过程中将其分为两组:骨盆平衡组($PI=77.1^{\circ}$ 、 $PT=21.5^{\circ}$ 、 $SS=55.2^{\circ}$)和骨盆失衡组($PI=72.4^{\circ}$ 、 $PT=30^{\circ}$ 、 $SS=42^{\circ}$),两组均进行后路减压复位内固定术,伴或不伴植骨融合。随访发现失衡组的 PI 基本不变, PT 减少, SS 增加($PI=72.5^{\circ}$ 、 $PT=24.6^{\circ}$ 、 $SS=46.8^{\circ}$),实行复位术后,骨盆失衡组的矢状面平衡参数得到明显缓解,而骨盆平衡组的矢状面参数几乎没有改变($PI=75.5^{\circ}$ 、 $PT=19^{\circ}$ 、 $SS=56^{\circ}$),他们进一步指出,这种矢状面参数的改善可以有效提高重度腰椎滑脱的术后椎间融合率。Labelle 等^[26]也按上述分界线将重度腰椎滑脱患者分为骨盆平衡组和骨盆失衡组,在对其进行手术治疗后, PT 平均值从 35.7° 减少至 28.7° , SS 平均值从 42.9° 增加至 50.8° ,骨盆失衡组的矢状面平衡参数明显改善,其还验证了 PI 在术前和术后几乎没有变化,但 LL 、 LSA 这两个参数也得到了有效改善,并且手术效果与 LSA 具有相关性。

张忠民等^[15]通过复位对重度腰椎滑脱患者进行脊柱序列功能重建,术前 PI 为 $72.4^{\circ}\pm 14.1^{\circ}$,术后减小至 $61.6^{\circ}\pm 9.2^{\circ}$;术前 PT 为 $16.3^{\circ}\pm 3.3^{\circ}$,术后减小至 $12.4^{\circ}\pm 2.9^{\circ}$;术前 SS 为 $54.3^{\circ}\pm 7.2^{\circ}$,术后减小至 $44.6^{\circ}\pm 4.7^{\circ}$;术前 LL 为 $72.4^{\circ}\pm 14.1^{\circ}$,术后减小至 $61.6^{\circ}\pm 9.2^{\circ}$,术后参数值明显改善,达到较理想的复位。Maciejczak 等^[27]通过手术复位治疗 5 例不平衡型重度腰椎滑脱患者,术前 PI 为 $82.2^{\circ}\pm 18.2^{\circ}$,术后

为 $82.1^{\circ} \pm 18.2^{\circ}$, 术前 SS 为 $42.9^{\circ} \pm 10.8^{\circ}$, 术后为 $50.7^{\circ} \pm 14.1^{\circ}$, 相对应的术前 PT 为 $39.7^{\circ} \pm 10.8^{\circ}$, 术后为 $31.7^{\circ} \pm 11.9^{\circ}$, 术前 LL 为 $53.3^{\circ} \pm 13.1^{\circ}$, 术后为 $56.6^{\circ} \pm 9.1^{\circ}$, 其中 3 例患者由不平衡型变为平衡型, 表明对重度滑脱进行复位可改善脊柱-骨盆参数, 使脊柱序列更接近生理状态。Ferrero 等^[28]在对 20 例重度腰椎滑脱患者进行复位后发现, 其术前 PI 为 $67^{\circ} \pm 9^{\circ}$, 术后增加至 $69^{\circ} \pm 11^{\circ}$; 术前 PT 为 $28^{\circ} \pm 6^{\circ}$, 术后减小至 $25^{\circ} \pm 9^{\circ}$; 术前 SS 为 $38^{\circ} \pm 9^{\circ}$, 术后增加至 $43^{\circ} \pm 12^{\circ}$, 术后脊柱骨盆矢状位参数得到有效改善。此外, Rajasekaran 等^[29]提出, 对于发生在 L5/S1 的重度腰椎滑脱, 原位融合亦可有效改善脊柱骨盆矢状位参数, 且避免了复位可能造成的并发症。因此, 对重度腰椎滑脱患者进行手术不必强求完全解剖复位, 因为常会引起神经根牵拉且易造成神经根损伤; 但对于不平衡性重度滑脱的患者来说, 矢状面失衡引起的症状相较于滑脱本身导致的症状对日常生活的影响更大, 患者求医的目的是为了提高生活质量, 手术治疗的首要任务应该是恢复腰骶部矢状面平衡, 手术复位不但可以改善矢状面平衡参数, 还可增加椎体间植骨面积, 同时配合椎弓根螺钉的固定和融合器的植入可有效地提高椎间融合率。

3.2 脊柱-骨盆矢状面力线对手术术式选择的意义

Hresko 等^[23]对腰椎滑脱患者的分型产生了深远的影响, 其划定的线性关系分界线得到了众多学者的认可。Labelle 等^[30]在其基础上对腰椎滑脱分型进行了完善, 按照滑脱值大小将 L5/S1 腰椎滑脱分为两类: 轻度腰椎滑脱 (滑脱值 $< 50\%$, 即 $SD < 50\%$) 和重度腰椎滑脱 (滑脱值 $\geq 50\%$, 即 $SD \geq 50\%$)。轻度腰椎滑脱患者中, 按照 PI 值大小分为 I 型 (图 3, $PI < 45^{\circ}$)、II 型 (图 4, $45^{\circ} \leq PI < 60^{\circ}$) 和 III 型 (图 5, $PI \geq 60^{\circ}$); 重度腰椎滑脱患者根据上述 Hresko 的分界线分为脊柱-骨盆平衡型 (IV 型, SS、PT 值坐标分别在分界线以上, 图 6) 和脊柱骨盆失平衡型 (V 型和 VI 型, SS、PT 值坐标分别在分界线以下), 对于脊柱骨盆失平衡型再根据 C7 铅垂线和股骨头的空间位置关系分为全脊柱平衡型 (V 型, C7 铅垂线在股骨头上方或者后方, 图 7) 和全脊柱失平衡型 (VI 型, C7 铅垂线在股骨头前方, 图 8)。在治疗

方案上, 对于 VI 型患者, 要求强制性手术复位, 对于 V 型和 IV 型患者, 建议体位复位或手术复位+内固定+植骨融合术, 而对 I~III 型滑脱患者建议进行保守治疗或者行内固定+植骨融合术^[30]。这一分型为重度腰椎滑脱患者治疗方案的选择提供了具体标准, 同时也对治疗过程每一环节的护理提出了更高的要求^[24]。Huec 等^[31]将滑脱值大于或小于 35% 作为轻度腰椎滑脱和重度腰椎滑脱的分界线进行了分类, 其治疗策略与 Labelle 给出的建议类似。也有学者^[22]建议 SS 较大、PT 较小的平衡型重度滑脱患者可考虑行原位融合, 但假关节发生率较高^[31]。对于 SS 较小、PT 较大的不平衡型重度滑脱患者, 应尽可能对其进行复位 (包括 LSA、椎间隙高度以及滑脱程度的恢复 3 个方面^[32]), 但不强求解剖复位, 术后 LSA 和椎间隙高度的恢复可有效改善脊柱-骨盆矢状面参数, 即 PT 减少 SS 增大。

综上所述, 脊柱-骨盆矢状面参数和重度腰椎滑脱的发生、进展、转归密切相关, 并且对重度腰椎滑脱患者手术方式的选择具有重要指导意义, 复位可以对重度腰椎滑脱患者脊柱-骨盆矢状面力线的恢复起到良好的作用。

4 参考文献

1. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study[J]. Spine, 2004, 29(18): 2049-2054.
2. Asai Y, Tsutsui S, Oka H, et al. Sagittal spino-pelvic alignment in adults: the Wakayama Spine Study [J]. Plos One, 2017, 12(6): e0178697.
3. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, et al. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers[J]. Spine, 1995, 20(12): 1351-1358.
4. Lafage R, Schwab F, Challier V, et al. Defining spino-pelvic alignment thresholds: should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age [J]. Spine, 2016, 41 (1): 62-68.
5. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis[J]. Eur Spine J, 2006, 15(4):



图3 Labelle分型I型 图4 Labelle分型II型 图5 Labelle分型III型 图6 Labelle分型IV型 图7 Labelle分型V型 图8 Labelle分型VI型

- 415–422.
6. Schuller S, Charles YP, Steib JP. Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(5): 713–719.
 7. Marty 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.
 8. Oh SK, Chung SS, Lee CS. Correlation of pelvic parameters with isthmic spondylolisthesis[J]. *Asian Spine J*, 2009, 3(1): 21–26.
 9. Schwab F, Lafage VA. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient [J]. *Spine*, 2009, 34 (17): 1828–1833.
 10. Rothenfluh DA, Mueller DA, Rothenfluh E, et al. Pelvic incidence–lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(6): 1251–1258.
 11. Huec JCL, Charosky S, Barrey C, et al. Sagittal imbalance cascade for simple degenerative spine and consequences: algorithm of decision for appropriate treatment[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(5): 699–703.
 12. Kim HJ, Chun HJ, Lee HM, et al. The biomechanical influence of the facet joint orientation and the facet tropism in the lumbar spine[J]. *Spine J*, 2013, 13(10): 1301–1308.
 13. Sairyo K, Nagamachi A, Matsuura T, et al. A review of the pathomechanism of forward slippage in pediatric spondylolisthesis: the Tokushima theory of growth plate slippage[J]. *J Med Invest*, 2015, 62(1–2): 11–18.
 14. Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, et al. Dowel fibular strut grafts for high–grade dysplastic isthmic spondylolisthesis [J]. *Spine*, 2002, 27(18): 1982–1988.
 15. 张忠民, 金大地, 陈建庭, 等. 重度腰椎滑脱脊柱序列功能重建[J]. *中华骨科杂志*, 2008, 28(4): 302–306.
 16. Vialle R, Ilharreborde B, Dauzac C, et al. Is there a sagittal imbalance of the spine in isthmic spondylolisthesis? a correlation study[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(10): 1641–1649.
 17. Sailhan F, Gollogly S, Roussouly P. The radiographic results and neurologic complications of instrumented reduction and fusion of high–grade spondylolisthesis without decompression of the neural elements: a retrospective review of 44 patients [J]. *Spine*, 2006, 31(2): 161–169.
 18. 吕国华, 王正光, 王冰, 等. 重度腰椎滑脱患者脊柱–骨盆参数改变与症状的关系 [J]. *中华医学杂志*, 2013, 93 (15): 1133–1137.
 19. Boos N, Marchesi D, Zuber K, et al. Treatment of severe spondylolisthesis by reduction and pedicular fixation: a 4–6–year follow–up study [J]. *Spine*, 1993, 18 (12): 1655–1661.
 20. Floman Y, Millgram M, E, Smorgick Y, et al. Instrumented slip reduction and fusion for painful unstable isthmic spondylolisthesis in adults[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2008, 21(7): 477–483.
 21. Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, et al. An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction [J]. *Spine*, 1996, 21(10): 1133–1138.
 22. Kim NH, Lee JW. Anterior interbody fusion versus posterolateral fusion with transpedicular fixation for isthmic spondylolisthesis in adults: a comparison of clinical results [J]. *Spine*, 1999, 24(8): 812–817.
 23. 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.
 24. 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 (1): 134–140.
 25. Faldini C, Di MA, Perna F, et al. Changes in spino–pelvic alignment after surgical treatment of high–grade isthmic spondylolisthesis by a posterior approach: a report of 41 cases[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 6): 714–719.
 26. 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.
 27. Maciejczak A, Jabiońska K, Baczek D, et al. Changes in spino–pelvic alignment after surgical treatment of isthmic spondylolisthesis [J]. *Neurol Neurochir Pol*, 2014, 48 (1): 21–29.
 28. Ferrero E, Ilharreborde B, Mas V, et al. Radiological and functional outcomes of high–grade spondylolisthesis treated by intrasacral fixation, dome resection and circumferential fusion: a retrospective series of 20 consecutive cases with a minimum of 2 years follow–up[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(8): 1940–1948.
 29. Rajasekaran S, Das G, Aiyer SN, et al. Analysis of spinopelvic parameters with L5 as the new sacrum after fusion in high–grade spondylolisthesis: a possible explanation for satisfactory results with in–situ fusion[J]. *Asian Spine J*, 2018, 12(1): 103–111.
 30. Labelle H, Mac–Thiong JM, Roussouly P. Spino–pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(5): 641–646.
 31. Helenius I, Lamberg T, Osterman K, et al. Posterolateral, anterior, or circumferential fusion in situ for high–grade spondylolisthesis in young patients: a long–term evaluation using the Scoliosis Research Society questionnaire[J]. *Spine*, 2006, 31(2): 190–196.
 32. Kong LD, Zhang YZ, Wang F, et al. Radiographic restoration of sagittal spinopelvic alignment after posterior lumbar interbody fusion in degenerative spondylolisthesis [J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(2): E87–92.
- (收稿日期:2018–10–15 末次修回日期:2018–12–12)
(本文编辑 卢庆霞)