

综述

发育不良性腰椎滑脱的研究进展

Advancement in lumbar developmental spondylolisthesis

周 艺, 郭昭庆, 陈仲强

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.08.18

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2014)-08-0760-06

发育不良性腰椎滑脱是儿童和青少年较常见的脊柱疾病,发病机制尚不清楚。其中高度发育不良性腰椎滑脱比较少见,但由于患者多存在严重的腰骶后凸畸形、脊柱-骨盆矢状位失平衡等,对患者生活产生极大影响。对发育不良性腰椎滑脱(尤其是高度发育不良性腰椎滑脱)进行影像学评估,有助于了解其发病机制、病情演变及进展的影响因素,并为临床评估及手术决策提供客观依据,提高患者治疗效果及预后。近年来关于发育不良性腰椎滑脱的研究有所进展,笔者将围绕这一类疾病的影像学分类、严重程度评估、脊柱-骨盆矢状位平衡状态评估及腰椎滑脱不稳定区域的确定等方面的相关文献进行综述。

1 发育不良性腰椎滑脱的分型及诊断标准

腰椎滑脱的分类有很多种,目前应用最广泛的是 Wiltse 等^[1]在 1976 年提出的病因病理学分型方法,将腰椎滑脱分为六型,Ⅰ型(先天发育不良型)和Ⅱ型(峡部病变型)腰椎滑脱发病以青少年为主,被认为与生长发育有关。^[1]1997 年 Marchetti 和 Bartolozzi^[2]提出了新的临床分型,将腰椎滑脱分为发育不良性腰椎滑脱和获得性腰椎滑脱两大类,前者对应 Wiltse 分型中的Ⅰ、Ⅱ型,后者则涵盖 Wiltse 分型中的Ⅲ型和Ⅳ型。在 Marchetti 分型中,根据发育不良程度将发育不良性腰椎滑脱分为高度发育不良型和低度发育不良型,前者常于青春期发病,主要病变节段位于 L5-S1,局部存在骨性结构改变(如 S1 上终板拱顶样改变、L5 楔形变等),常伴后凸成角畸形,此型滑脱易进展并导致严重腰椎不稳;后者进展缓慢,可见于更高的节段,滑脱椎体上下终板平行,可合并前凸成角畸形。这种以临床表现和影像学特征为基础的分型更准确,同时发育不良程度能够反映腰椎滑脱发展趋势,有利于指导临床治疗。因此这种临床分型方法得到了更多认可。但 Wiltse、Marchetti 等^[1,2]尚未定义发育不良的客观标准,以至于在临床应用时会面临一定困难。

第一作者简介:男(1987-),住院医师,医学博士,研究方向:脊柱外科(现在北京大学深圳医院脊柱外科工作)

电话:(010)62017691 E-mail:yunruhua@126.com

通讯作者:郭昭庆 E-mail:gzhaoqing@yahoo.com.cn

2006 年 Mac-Thiong 等^[3]在指导儿童和青少年腰椎滑脱手术治疗的临床分型中定义了高度发育不良性腰椎滑脱的诊断标准(表 1),通过腰椎正侧位 X 线片和 CT 评估发育不良程度,如具备表 1 中 3 项及以上诊断标准的腰椎滑脱可诊断为高度发育不良性腰椎滑脱。腰骶后凸畸形的评估指标有滑脱角(slip angle, SLA)、Dubousset 腰骶角^[4]、SDSG 腰骶角^[5](图 1);由于高度发育不良性腰椎滑脱患者常有 S1 上终板形态学变化,根据 Hubert 法^[6]确定 S1 上终板形态(图 2),如 S1 拱顶样高度大于 S1 上终板长度的 10%,则认为 S1 上终板拱顶样改变;而 L5 椎体楔形变和 L5/S1 椎间盘改变的评估则是根据 Yue 等^[7]的研究结果来衡量。

Mac-Thiong 等^[3]提出的高度发育不良性腰椎滑脱诊断标准有助于对发育不良程度进行分类评估,指导外科决策,但该标准仍存在一定争议,且不能对发育不良程度进行定量分析,在发育不良程度与滑脱严重程度、预后等指标相关性研究中的应用有一定局限性。Pawar 等^[8]通过腰椎正侧位 X 线片,采用六项标准来评估腰骶椎发育不良程

表 1 高度发育不良性腰椎滑脱的诊断标准^[3]

发育不良的特征	高度发育不良的诊断标准
腰骶后凸角	滑脱角度>10°/Dubousset 腰骶角<100°/SDSG 腰骶角≥15°
L5 椎体楔形变	腰椎楔形变率<0.8
S1 上终板拱顶样变 ^[6]	骶骨拱顶高度>骶骨上终板长度 10%
椎体表面或椎板发育不良	L5/S1 关节面发育不良(L5/S1 关节面存在脊柱裂)
	在前后位 Ferguson 图像上 L5 双侧横突表面积<2cm ²
横突、L5/S1 椎间盘大小	或在侧位图像上 L5/S1 椎间盘高度<L4/5 椎间盘高度的 25% 或矢状位 MRI T2 加权像可见 L5/S1 椎间盘信号均匀减低
骨及结缔组织异常	全身骨骼或结缔组织疾病,例如成骨不全症、Marfan 综合征或 Ehler-Danlos 综合征

注:如具备表 1 中 3 项及以上高度发育不良的诊断标准时,可诊断为高度发育不良性腰椎滑脱

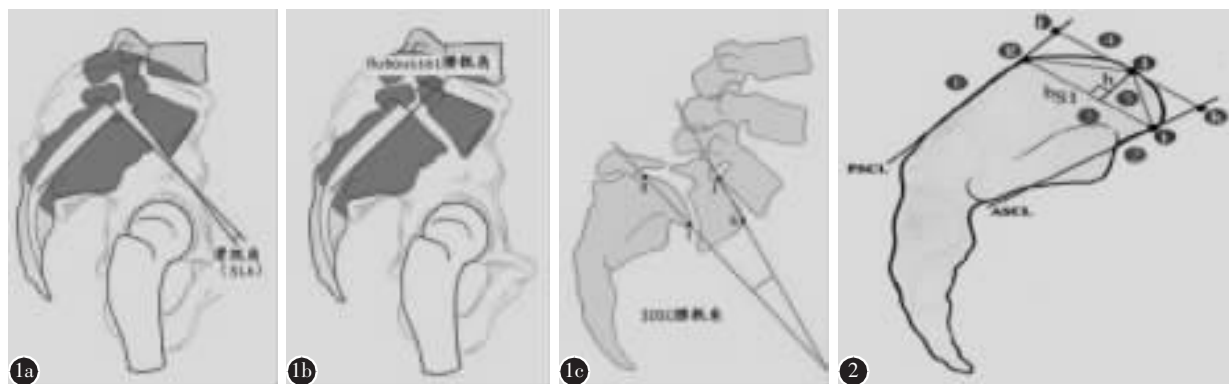


图 1 腰骶后凸畸形评估指标的测量方法^[9] a 滑脱角(SLA),过 L5 下终板直线与垂直于 S1 椎体后缘的直线所成夹角,腰骶部前凸时,SLA 为负值,后凸时为正值 b Dubouset 腰骶角,过 L5 上终板的直线与经过 S1 后缘的直线所成夹角 c SDSC(Spinal Deformity Study Group)腰骶角,经过 L5 和 S1 上终板直线间所成夹角,当腰骶前凸时为负值,后凸时为正值 图 2 发育不良性腰椎滑脱 S1 拱顶样改变上终板的测量方法^[9]:分别作骶骨前后缘切线,连接前述两条切线与 S1 上终板接触的最上点作一条线段,以此线段代表 S1 上终板,其长度为最宽前后径

度,分别为小关节发育不良程度、椎板发育不良程度、L5 横突大小、骶骨拱顶样改变分型、腰椎指数(L5 前缘高度/后缘高度)以及侧位 X 线片 L5/S1 椎间盘高度(标准及评分见表 2);各项评估标准中,如影像学无异常,则评分为 0,发育不良程度最高的则评分为 2 分;发育不良得分范围为 0~12 分,0~4 分为无/低度发育不良,5~8 分则为中度发育不良,9~12 分为高度发育不良。这一评估方法的提出为研究发育不良性腰椎滑脱提供了定量分析的标准和依据,有利于进行发育不良程度与滑脱严重程度、预后等指标的相关性研究,指导临床决策。

表 2 腰骶椎发育不良程度的评估标准^[9]

评估标准	影像学特点	评分
椎板发育不良程度	正常椎板	0
	隐性脊柱裂	1
	椎板缺如	2
小关节发育不良程度	正常小关节	0
	小关节发育不良	1
	小关节缺如	2
L5 双侧横突大小(与 L4 双侧横突比较)	与 L4 横突大小相近	0
	小于 L4 横突大小	1
	L5 横突接近缺如	2
腰椎指数	>0.9	0
	0.8~0.9	1
	<0.8	2
侧位 X 线片, L5/S1 椎间盘高度与 L4/5 椎间盘高度相比较	>75%	0
	25%~75%	1
	<25%	2
骶骨拱顶样改变分型	无拱顶样改变(S1 上终板高度 h/上终板长度不大于 10%)	0
	中度,拱顶样改变,前移型	1
	高度,拱顶样改变,中央型	2

尽管低度和高度发育不良性腰椎滑脱病因一致,但影像学表现却有不同,正如前面高度发育不良性腰椎滑脱诊断或评估标准中所述,高度发育不良性腰椎滑脱常有 S1 上终板拱顶样改变、腰骶后凸畸形、椎间盘退变、L5 椎体楔形变等形态学异常^[2,3,8]。这些形态学差异导致二者在生物力学及滑脱进展风险上的差异,低度发育不良性腰椎滑脱进展相对缓慢,而高度发育不良性腰椎滑脱进展风险较大,常需采用手术治疗^[2,3]。Pawar 等^[8]研究发现腰椎滑脱患者的腰椎发育不良程度与滑脱严重程度有显著相关性,并可能与患者的预后及治疗效果有关。因此,为确定发育不良性腰椎滑脱患者的最佳治疗方案,术前应评估腰骶椎发育不良严重程度。目前关于高度发育不良性腰椎滑脱的研究仍较少且存在一定争议,Mac-Thiong、Pawar 等^[8]提出的诊断标准及评估方法,有助于指导发育不良性腰椎滑脱的临床诊断、外科决策及预后研究。

2 发育不良性腰椎滑脱严重程度的评估

测量椎体滑脱程度的方法很多, Meyerding 法是目前应用最为广泛的方法,操作简便。但许多研究表明,高度发育不良性腰椎滑脱患者常有 S1 上终板拱顶样改变等形态学改变^[3,6,9]。S1 形态学改变导致 Meyerding 法在高度发育不良性腰椎滑脱中应用存在一定局限性。对于此类滑脱,如何确定 S1 上终板则是一个难题,目前推荐使用 Hubert 方法^[9]划定 S1 上终板,即分别作骶骨前后缘切线,连接两条切线与 S1 上终板接触的最上点作一条线段,以此线段代表 S1 上终板,其长度为最宽前后径(图 2)。Wiltse 于 1983 年推荐使用 Taillard 法^[10]测量腰椎滑脱程度,以 L5 椎体在骶骨上向前移位的距离占骶骨最宽前后径的百分比来衡量。对于高度发育不良性腰椎滑脱,在确定 S1 上终板后多推荐采用 Taillard 法或 Danielson 法来衡量滑脱程度。以百分比的方式衡量滑脱程度可进行定量分析,有利于更

准确地评估患者预后、手术治疗效果以及病情变化等。

用于评估腰椎滑脱严重程度的传统指标为椎体滑脱程度,但对部分高度发育不良性腰椎滑脱患者,滑脱程度只是反映其严重程度的一方面。根据 Marchetti 和 Bartolozzi 分型^[2],高度发育不良性腰椎滑脱表现为骨性解剖结构异常,骶骨由前倾逐步变直立,常合并腰骶后凸畸形。对于高度发育不良性腰椎滑脱患者,由于骶骨由倾斜位变直,同时髋部向前移位,产生骨盆后倾,其重力线在 L5、S1 的水平连续性发生中断,而产生的扭力矩更大。骨盆后倾可限定 L5、S1 扭力矩的大小和滑脱进展的危险,而滑脱程度无法反映上述变化,因此骨盆后倾可能更能准确地评估高度发育不良性腰椎滑脱患者病情的严重程度。早在 1983 年 Vidal 与 Marnay^[11]提出用从 S2 中心与两条线的水平距离的比值(称为 C 值)来反映骨盆后倾程度,公式 $C=D1/D2 \times 100\%$,正常值 $>80\%$,D1 为 S2 中心到经外耳道的纵垂线距离,D2 为 S2 中心到经股骨头中心连线中点的纵垂线的距离。随着滑脱程度、骨盆后倾、骶骨变直及髋关节向前移位程度加重,L5、S1 扭力矩就越大,C 值就越小。随后 Farcy 与 Schwab 描述了一种在矢状位上测量骨盆倾斜角度的测量方法^[12],但由于其与 Vidal 与 Marnay 提出 C 值一样,都是间接反映骨盆后倾的测量方法,因此二者在评估高度发育不良性腰椎滑脱的严重程度时实用价值不大。

2009 年 Lamartina 等^[13]提出使用严重程度指数(severe Index, SI)评估发育不良性腰椎滑脱的严重程度, $SI=D1 \times 100/D2$,其中 D1、D2 均在腰椎(含股骨头)侧位 X 线平片上测量,D1 为经 L5 下终板中点的纵垂线到经股骨头中心连线中点的纵垂线距离,而 D2 为 S2 中心到经股骨头中心连线中点的纵垂线的距离。SI 是测量骨盆后倾的直接手段,D1 值越高,髋关节向前移位越多,反映出骨盆后倾越严重,因此 SI 大小可直接反映出脊柱滑脱的严重程度。正常人 $SI < 20\%$,低度发育不良性腰椎滑脱患者由于不存在骨盆后倾表现,因而 SI 值 $< 20\%$ 。有学者^[13,14]认为高度和低度发育不良性腰椎滑脱的关键区别在于前者存在骨盆后倾表现,SI 值 $> 20\%$,也可将 SI 值用于高度和低度发育不良性腰椎滑脱的鉴别诊断。

高度发育不良性腰椎滑脱患者存在骨盆后倾表现,仅用滑脱程度这一指标不能准确评估此类患者病情严重程度,将 Lamartina 等提出的 SI 与传统的滑脱程度相结合,不仅有助于区分高度和低度发育不良性腰椎滑脱,而且可更准确地评估患者病情严重程度、进展风险及预后,有利于制定合理治疗方案。

3 发育不良性腰椎滑脱脊柱-骨盆矢状位平衡的评估

近年来用于评估脊柱-骨盆矢状位平衡的影像学参数主要有骨盆投射角(pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)等^[6,9,15,16]。PI 是一种形态学参数,为经 S1 上终板中点和股骨头中心连

线中点直线与经 S1 上终板中点且垂直于终板的直线之间的夹角,不受姿势及其余骨盆参数影响,其反映骨盆后倾能力大小,可用于评估骨盆对于矢状位失平衡的代偿能力。研究表明,在青少年时期 PI 随年龄逐渐增加,当骨骼发育成熟后 PI 将会保持不变^[17-19],正常为 $45^\circ \sim 60^\circ$ ^[16,20]。PT 为经 S1 上终板中点和双侧股骨头中心连线中点的直线与铅垂线间的夹角,反映骨盆的空间朝向,正常站立位时骨盆呈轻度前倾位;SS 为 S1 上终板与水平线之间的夹角,决定了下腰椎的方位,与腰椎前凸程度密切相关。PI、PT 及 SS 的关系: $PI=PT+SS$ 。Mac-Thiong 等^[16]研究发现,正常青少年的 PI 调节 SS、PT 的变化,而 PI、SS 与 LL 呈显著性相关。有学者^[21,22]研究发现 LL 约等于 $SS+20^\circ$ 。研究表明腰椎滑脱患者 PI、SS、PT、LL 均明显大于正常对照组^[23];而在滑脱程度 $> 50\%$ 的高度发育不良性腰椎滑脱患者中,前述参数亦明显大于正常人^[9,14,24]。对于发育不良性腰椎滑脱患者,腰椎-骨盆连接处形态学改变可导致局部生物力学状态改变,矢状位参数可随之改变,存在腰椎滑脱进展的风险。

Roussouly 等^[25]的研究表明,腰椎峡部裂和轻度(Meyerding 分度为 0, I, II 度)发育不良性腰椎滑脱患者中,当 PI 大/SS 大($SS > 40^\circ$)时,可增大作用于 L5/S1 椎间盘的剪切力,并使 L5 关节突关节处张力增高;而当 PI 小/SS 小($SS \leq 40^\circ$)时,腰椎伸展活动过程中 L4、S1 后方关节突反复撞击 L5 峡部,可导致 L5 峡部的断裂或者延长,此为所谓的“胡桃夹机制”。在矢状位平衡分型的评估上,Labelle 等^[26]根据 PI、SS 的大小将轻度发育不良性腰椎滑脱分为两类(图 3a、b):剪切型(PI 大/SS 大, $SS > 40^\circ$)和胡桃夹型(PI 小/SS 小, $SS \leq 40^\circ$)。Hresko 等^[27]根据 SS 和 PT 大小将重度(Meyerding 分度为 III, IV 度)发育不良性腰椎滑脱分为两类(图 3c、d 和图 4):平衡型骨盆(SS 大/PT 小,此型骶骨-骨盆维持相对平衡状态)和后倾型骨盆(SS 小/PT 大,此型存在明显腰骶后凸畸形、骨盆后倾以及骶骨直立,骶骨-骨盆可呈失平衡状态)。

2006 年 Mac-Thiong 等^[13]提出了一种旨在指导儿童和青少年发育不良性腰椎滑脱外科治疗的新的临床分型方法(表 3),按发育不良性腰椎滑脱严重程度逐级分型,并提出供参考的手术治疗方案。在以往许多临床研究中,腰椎滑脱手术方案的制定主要根据滑脱程度,此分型方法则融入了发育不良程度及矢状位脊柱-骨盆平衡等因素,可定量分析各个参数,评估发育不良严重程度及矢状位平衡情况,有利于术前全面评估患者滑脱病变情况,并指导制定合理的手术方案。在随后关于该分型的可信度研究中,Mac-Thiong 等^[28]发现不同滑脱分型的组间信度很低(Kappa 值 0.49),主要是由于影像学很难准确评估发育不良程度(组间 Kappa 值 0.43)。而目前提出的高度发育不良性腰椎滑脱的诊断标准及评估方法^[3,8]仍有争议。因此,脊柱畸形研究组(Spinal Deformity Study Group,SDSG)决定剔除发育不良程度的评估,并于 2011 年提出了更为精简

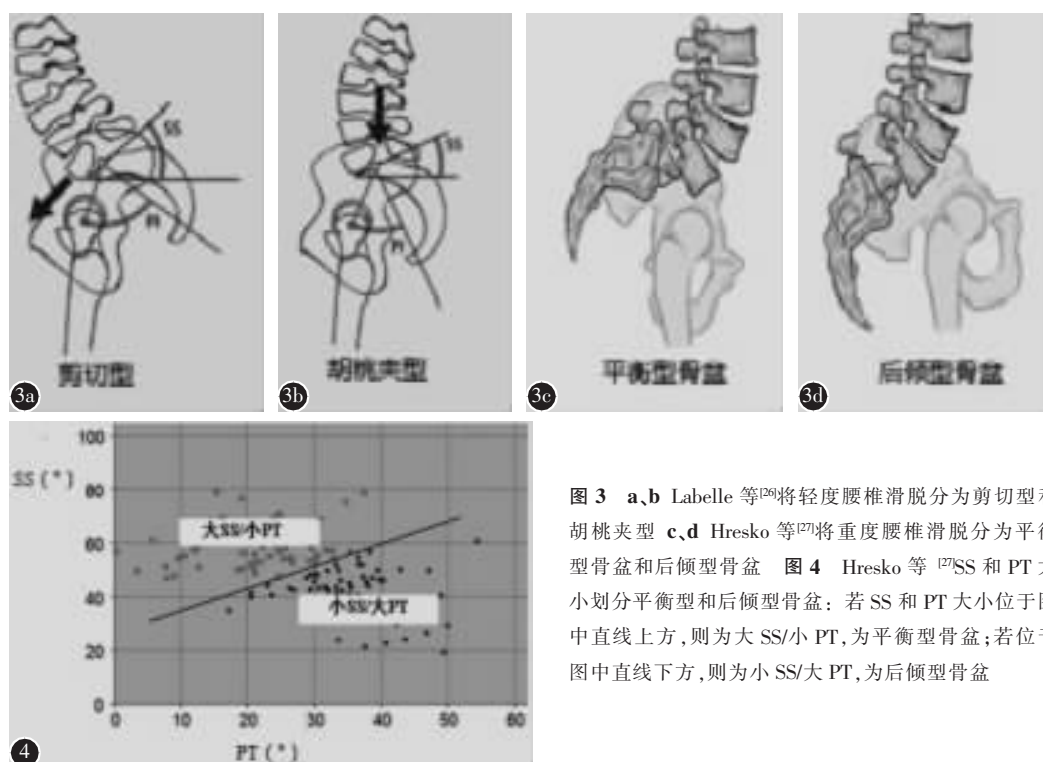


图 3 a、b Labelle 等^[26]将轻度腰椎滑脱分为剪切型和胡桃夹型 c、d Hresko 等^[27]将重度腰椎滑脱分为平衡型骨盆和后倾型骨盆 图 4 Hresko 等^[27]SS 和 PT 大小划分平衡型和后倾型骨盆: 若 SS 和 PT 大小位于图中直线上方, 则为大 SS/小 PT, 为平衡型骨盆; 若位于图中直线下方, 则为小 SS/大 PT, 为后倾型骨盆

表 3 儿童和青少年 L5-S1 腰椎滑脱临床分型方法^[3]

滑脱程度 ^①	发育不良程度 ^②	脊柱-骨盆矢状位平衡评估 ^③	推荐的治疗方案
轻度滑脱 (0, I or II)	低度	骨盆投射角小(PI)/骶骨倾斜角小(SS)(胡桃夹型) 骨盆投射角大(PI)/骶骨倾斜角大(SS)(剪切型)	峡部修复(0 或 I 度)或 L5-S1 原位 PLF±内固定±复位 ^④ (II 度) L5-S1 原位 PLT±内固定±复位 ^④ (II 度)
	高度	骨盆投射角小(PI)/骶骨倾斜角小(SS)(胡桃夹型) 骨盆投射角大(PI)/骶骨倾斜角大(SS)(剪切型)	L5-S1 原位 PLT±内固定±复位 ^④ (II 度) L5-S1 原位融合(PLT)内固定±L4 和骨盆固定±复位 ^④ (II 度)
重度滑脱 (III or IV)	低度	骶骨倾斜角大(SS)/骨盆倾斜角小(PT)(平衡型骨盆) 骶骨倾斜角小(SS)/骨盆倾斜角大(PT)(后倾型骨盆)	L4-S1 原位融合内固定术(PLT)±骨盆固定 ±部分复位 ^④ 部分复位联合 L4-S1 后外侧融合内固定±L5-S1 椎体间融合(IF)
	高度	骶骨倾斜角大(SS)/骨盆倾斜角小(PT)(平衡型骨盆) 骶骨倾斜角小(SS)/骨盆倾斜角大(PT)(后倾型骨盆)	部分复位联合 L4-S1 后外侧融合内固定±L5-S1 椎体间融合(IF) 部分复位、L4-S1 后外侧融合内固定、L5-S1 椎体间融合(IF)
V 度滑脱	高度		360°融合+内固定±复位

注: PLT 为后外侧融合; IF 为椎体间融合, 可使用 ALIP、TLIP 和 PLIF 技术。①根据 Meyerding 法划分滑脱程度。②根据表 1 中的诊断标准评估发育不良程度高低度。③脊柱-骨盆矢状位平衡评估: 根据 Roussouly 和 Hresko 等的研究结果评估。④当滑脱角度 $>10^{\circ}$, Dubousset 腰骶角 $<100^{\circ}$ 或 SDSG 腰骶角 $\geq 15^{\circ}$ 时, 建议纠正腰骶后凸畸形

的 L5-S1 发育不良性腰椎滑脱的脊柱-骨盆矢状位平衡分型^[20]。这一分型基于以下三个要素将发育不良性腰椎滑脱分为 6 个亚型: (1)滑脱程度(轻度或重度); (2)PI(减小, 正常, 增大); (3)脊柱-骨盆平衡(平衡型或失衡型)。首先根据 L5-S1 滑脱程度确定轻度和重度滑脱, 其次根据骶骨-骨盆和脊柱-骨盆序列相关参数评估矢状位平衡, 测量指标为 PI、SS、PT 以及 C7 铅垂线。对于轻度腰椎滑脱患者, 则根据 PI 大小可将骶骨-骨盆平衡分为 3 型: 1 型($PI < 45^{\circ}$, 胡桃夹型)、2 型($45^{\circ} \leq PI < 60^{\circ}$, PI 正常)和 3 型($PI \geq 60^{\circ}$, 剪切型)。对于重度腰椎滑脱患者, 首先根据 PT 和 SS

的大小在 Hresko 等^[27]提出的列线图(图 4)中确定骶骨-骨盆矢状位平衡状态, 可分为平衡型骨盆和后倾型骨盆(图 3); 对于后倾型骨盆, 根据 C7 铅垂线与股骨头的位置关系确定脊柱-骨盆矢状位平衡状态, C7 铅垂线经过股骨头或位于股骨头后方, 则为平衡型脊柱; 若 C7 铅垂线位于股骨头前方, 则为失衡型脊柱。Mac Thiong 等^[28]在随后的研究中发现, 与目前使用的其他脊柱畸形分类方法相比, SDSG L5-S1 滑脱分型也具有较高的组间和组内信度, 组内和组间一致率分别达到 80%(Kappa 值为 0.74) 和 71%(Kappa 值为 0.65)。

目前大多数文献报道的发育不良性腰椎滑脱的治疗方案中,主要关注的是 L5-S1 的畸形(尤其是滑脱程度),而缺乏对脊柱-骨盆矢状位平衡的系统评估^[20]。发育不良性腰椎滑脱常有骶骨穹窿样改变等形态学改变,而 Wang 等^[30]的最新研究结果证实骶骨的形态取决于骶骨-骨盆形态,且多项研究表明脊柱-骨盆矢状位平衡和骶骨-骨盆形态异常可影响腰椎滑脱的病理过程^[3,15,20,31]。而脊柱-骨盆矢状位平衡的不同类型反映了腰椎滑脱相关的生物力学机制可能存在个体差异性,且脊柱-骨盆矢状位平衡状态可影响腰椎滑脱进展风险及治疗预后^[3,20,32]。因此,脊柱-骨盆、骶骨-骨盆矢状位平衡的评估有助于术前判断发育不良性腰椎滑脱病情进展风险、指导外科手术决策以及预后评估等,应当将脊柱-骨盆、骶骨-骨盆矢状位平衡状态纳入发育不良性腰椎滑脱患者病情的评价体系中。

4 发育不良性腰椎滑脱不稳定区域的确定

目前在发育不良性腰椎滑脱的手术治疗中,融合固定范围是否包括 L4 椎体是争议较大的问题之一,为此有必要确定脊柱不稳定区域包括的节段。Lamartina 等^[13,33]提出在腰椎站立位侧位 X 线片(含髋关节)上用一种方格的方法确定不稳定区域,即在含髋关节的腰椎侧立位 X 线片上,过 S2 中心作一条水平线,分别过 L5 下终板中点、股骨头中心作相应的纵垂线,此二者分别与过 S2 中心的水平线相交于两点,以此二点间线段长度为方格边长,在此线上方作一正方形,此正方形内所包含的区域即为不稳定区。研究表明^[13,33]如 L5-S1 发育不良性腰椎滑脱患者(尤其是高度发育不良性腰椎滑脱)行手术复位时,所有在不稳定区域内的椎体均应该行器械内固定和融合,这样有助于维持复位效果和提高手术节段稳定性,从而可能避免腰骶畸形的进展和再次手术的风险。这种确定不稳定区域的方法可用于指导发育不良性腰椎滑脱患者的手术决策,并根据不稳定区域确定融合固定节段是否由 L5/S1 扩大至 L4/5 节段,有利于提高患者手术治疗效果并改善预后。

5 总结

发育不良性腰椎滑脱尤其是高度发育不良患者,因其常存在明显的腰骶部畸形,滑脱易进展,从而导致神经受压、明显影响患者生活^[2]。因此,要全面评估发育不良性腰椎滑脱患者病情,从而分析患者病情进展风险及预后,指导外科手术决策^[3,8,20]。目前发育不良性腰椎滑脱的发病机制尚不完全清楚,尤其是高度发育不良性腰椎滑脱的治疗仍然是脊柱外科领域的一个非常棘手、风险很高的难题,尽管近些年来研究进展为这一难题的解决提供了理论支持,但仍然存在许多有争议的问题,如发病机制、发育不良程度的评估、手术时机和策略的选择等,仍需要进一步的研究。

6 参考文献

1. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1976, 117: 23-29.
2. Marchetti PG, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: Bridwell K, DeWald R(eds). The Textbook of Spinal Surgery [M]. 2nd. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997. 1211-1254.
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. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents[J]. Clin Orthop Relat Res, 1997, 337: 77-85.
5. O'Brien MF, Kuklo TR, Blanke KM, et al. Radiographic measurement manual [Z]. Spinal Deformity Study Group. Medtronic Sofamor Danek, 2004.
6. 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(Suppl 6): S27-34.
7. Yue WM, Brodner W, Gaines RW. Abnormal spinal anatomy in 27 cases of surgically corrected spondyloptosis: proximal sacral endplate damage as a possible cause of spondyloptosis [J]. Spine, 2005, 30(Suppl 6): S22-26.
8. 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.
9. 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.
10. Taillard WF. Etiology of spondylolisthesis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1976, 117: 30-39.
11. Vidal J, Marnay T. Morphology and anteroposterior body equilibrium in spondylolisthesis L5-S1 [J]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1983, 69(1): 17-28.
12. Farcy JP, Schwab FJ. Management of flatback and related kyphotic decompensation syndromes[J]. Spine, 1997, 22(20): 2452-2457.
13. Lamartina C, Joseph MZ, Maria P, et al. Novel concepts in the evaluation and treatment of high-dysplastic spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2009, 18(Suppl 1): 133-142.
14. 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.
15. Wang Z, Parent S, Mac-Thiong JM, et al. Influence of sacral morphology in developmental spondylolisthesis [J]. Spine, 2008, 33(20): 2185-2191.
16. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, et al. Sgittal spinopelvic balance in normal children and adolescents [J]. Eur Spine J, 2007, 16(2): 227-234.

17. Mac-Thiong JM, Labelle H, Roussouly P. Pediatric sagittal alignment[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 5): 586-590.
18. Lee CS, Chung SS, Kang KC, et al. Normal patterns of sagittal alignment of the spine in young adults radiological analysis in a Korean population[J]. Spine, 2011, 36(25): E1648-1654.
19. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth [J]. Spine, 2004, 29(15): 1642-1647.
20. 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.
21. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach[J]. Eur Spine J, 2011, 20 (Suppl 5): 578-585.
22. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, et al. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine: can we identify the compensatory mechanisms?[J]. Eur Spine J, 2011, 20 (Suppl 5): 626-633.
23. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study[J]. Spine, 2004, 29(18): 2049-2054.
24. 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.
25. Roussouly P, Collogly S, Berthonnaud E, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis in the presence of L5-S1 isthmic lysis and low-grade spondylolisthesis[J]. Spine, 2006, 31(21): 2484-2490.
26. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis classification based on spino-pelvic alignment[Z]. San Antonio, USA: Scoliosis Research Society Annual Meeting, 2009.
27. 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.
28. Mac-Thiong JM, Labelle H, Parent S, et al. Reliability and development of a new classification of lumbosacral spondylolisthesis[J]. Scoliosis, 2008, 3(19): 1-9.
29. Mac-Thiong JM, Duong L, Parent S, et al. Reliability of the Spinal Deformity Study Group classification of lumbosacral spondylolisthesis[J]. Spine, 2012, 37(2): E95-102.
30. Wang Z, Mac-Thiong JM, Parent S, et al. The relevance of sacral and sacro-pelvic morphology in developmental lumbosacral spondylolisthesis: are they equally important?[J]. Eur Spine J, 2014, 23(1): 157-162.
31. Whitesides TJ, 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): S12-21.
32. Harroud A, Labelle H, Jancas J, et al. Global sagittal alignment and health-related quality of life in lumbosacral spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2013, 22(4): 849-856.
33. Lamartina C. A square to indicate the unstable zone in severe spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2001, 10(5): 444-448.
(收稿日期:2013-11-05 修回日期:2014-04-30)
(本文编辑 李伟霞)

(上接第 746 页)

S178-186.

9. Hulcelle P, Dooms G, Demeure R, et al. Cervical myelopathy: MRI evaluation of cord compression[J]. J Belg Radiol, 1990, 73(1): 15-19.
10. Sherman JL, Nassaux PY, Citrin CM. Measurements of normal cervical spinal cord on MR imaging[J]. Am J Neuroradiol, 1990, 11(2): 369-372.
11. Batzdorf U, Flannigan BD. Surgical decompressive procedures for cervical spondylotic myelopathy: a study using magnetic resonance imaging[J]. Spine, 1991, 16(2): 123-127.
12. Pavlov H, Torg JS, Robbie BH, et al. Cervical spinal stenosis: determination with vertebral body ratio method[J]. Radiology, 1987, 164(3): 771-775.
13. Nagase J. A basic and clinical study on the diagnostic value of CT-myelopathy with water soluble contrast media "metrizamide"[J]. J Jpn Orthop Assoc, 1982, 56(11): 1569-1586.
14. Ogino H, Tada K, Okada K, et al. Canal diameter, antero-posterior compression ratio, and spondylotic myelopathy of the cervical spine[J]. Spine, 1983, 8(1): 1-15.
15. Ono K, Ota H, Tada K, et al. Cervical myelopathy secondary to multiple spondylotic protrusions: a clinicopathologic study[J]. Spine, 1977, 2(2): 109-125.
16. Jinkins JR, Bashir R, Al-Mefty O, et al. Cystic necrosis of the spinal cord in compressive cervical myelopathy: demonstration by iopamidol CT-myelopathy [J]. Am J Roentgenol, 1986, 147(4): 767-775.
17. Mehalic TF, Pezzui RT, Applebaum BI. Magnetic resonance imaging and cervical spondylotic myelopathy[J]. Neurosurgery, 1990, 26(2): 217-227.
(收稿日期:2013-10-10 末次修回日期:2014-05-10)
(英文编审 蒋欣/贾丹彤)
(本文编辑 李伟霞)