

综述

脊柱畸形矫正融合术后远端交界性后凸的研究和治疗进展

Progress in research and treatment of distal junctional kyphosis after correction and fusion of spinal deformities

孙名帅, 越雷, 孙浩林, 李淳德

(北京大学第一医院骨科 100034 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.08.14

中图分类号: R682.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2019)-08-0760-05

随着脊柱畸形发病率的上升和脊柱矫形器械的不断完善,接受脊柱融合术治疗的患者越来越多。脊柱融合术是通过固定融合脊柱的相应节段来矫正患者矢状面或冠状面畸形的手术,其适应证广泛、操作简单,可以有效地矫正脊柱畸形,重建脊柱的稳定性。虽然脊柱融合术可以去除病变节段的异常活动,但是临床随访发现,随着时间推移,融合的邻近节段会发生退变或失稳。邻近节段退行性疾病(adjacent segment disease, ASD)是指发生于融合节段上、下运动节段的退行性改变性疾病^[1,2]。近十年来,ASD 已经成为脊柱融合术后重要的并发症之一。远端交界性后凸(distal junctional kyphosis, DJK)是 ASD 的一种,是指脊柱融合术后内固定远端后凸逐渐增大的现象^[3],文献报道脊柱融合术后 DJK 的发生率由 6.1%~50% 不等。目前 DJK 发生的具体机制尚不明确,但是对 DJK 发生的危险因素的认识在不断加深。DJK 在引起患者脊柱矢状面影像学改变的同时,还可能引发严重的临床症状,因此部分患者需要外科干预。DJK 翻修手术的疗效较好,其方法在不断进步,除了传统的后路手术,非后路手术也越来越多地被应用到临床。研究者们也在积极探索方法,从远端融合椎的位置、融合器械的强度等方面预防 DJK 的发生。笔者通过回顾 DJK 的研究进展,对 DJK 的定义、发生率、危险因素、治疗以及预防等方面综述如下。

1 DJK 的相关定义

ASD 是指脊柱融合术后出现的融合邻近节段的现象,包括腰痛、滑脱、失稳、髓核突出、狭窄、神经根病、肥厚性关节炎、脊柱侧凸和椎体压缩性骨折等症状或体征^[1,2]。

远端交界性失败(distal junctional failure, DJF)常指脊柱融合术后融合椎体远端累及椎体、椎间盘或内固定的

并发症^[4]。

DJK 是一个影像学定义,Low 等^[5]在 1994 年对休氏后凸畸形(Scheuermann's kyphosis, SK)患者进行术后随访时首次描述了 DJK,把 DJK 定义为脊柱融合术后内固定远端后凸逐渐增大的现象。Low 等^[5]在 2006 年采用远端融合椎(lower instrumented vertebra, LIV)的上终板与其远端第一个椎体(LIV+1)的下终板之间的后凸角 $\geq 10^\circ$ 作为 DJK 的诊断标准。Ghasemi 等^[6]在 2017 年采用 Cobb 角测量法测量远端交界区后凸角(distal junctional angle, DJA),即 LIV 的上终板与其远端第一个椎体(LIV+1)的下终板之间的夹角,若术后该角度 $>10^\circ$,且同术前相比增加 10° 以上,则认为发生了 DJK。

2 DJK 的发生率

自从 Harrington 固定棒应用在脊柱融合术中起,DJK 就开始陆续被报道。随着脊柱矫形器械的更新,术后 DJK 发生率呈上升趋势。DJK 常在患者术后早期至术后数年被发现,而患者可能无症状。对于年轻或儿童患者,DJK 通常发生于 AIS 或 SK 患者的脊柱融合术后,通常是由手术引起的,例如未融合所有畸形节段、未融合至稳定椎、破坏解剖结构、过度矫正等,其发展与融合脊柱相邻节段的曲线发育和退变过程有关。对于老年患者而言,成人脊柱畸形如退变性脊柱侧弯经过治疗后也可以发展为 DJK,通常累及椎体或椎间盘,导致腰椎前凸减小、融合固定椎以下的椎体节段性失稳、腰椎管狭窄等,临床表现为畸形、疼痛、神经障碍以及功能障碍等症状^[4]。

根据目前的研究,SK 术后 DJK 的发生率为 11.9%~50%,AIS 术后 DJK 的发生率为 6.8%~9.9%,ASD 术后 DJK 的发生率为 6.1%~23.9%(表 1)^[3,6-18]。

不同研究里,脊柱融合术后 DJK 的发生率差异较大,这种变异性与很多因素有关,不同研究在 DJK 的影像学定义、手术入路、内固定与融合技术、LIV 选择、原发疾病、队列规模、随访时间等方面都存在差异^[11],腰骶椎融合术后的 DJK 发生率很容易被低估^[13,19],它们都可能对 DJK 的发生率产生影响。

第一作者简介:男(1996-),本科,研究方向:脊柱外科

电话:(010)83572655 E-mail:sun_mingshuai@126.com

共同第一作者:越雷 E-mail:yueleimail@foxmail.com

通讯作者:李淳德 E-mail:lichunde@vip.sina.com; 孙浩林

E-mail:sunhaolin@vip.163.com

3 DJK 的危险因素

目前对于 DJK 发生危险因素的认识在不断加深 (表 2)^[3,6,9,15,16,20,21], 可以将为患者相关因素和手术相关因素。

3.1 患者相关因素

患者相关因素包括: 低龄或高龄、女性、肥胖、吸烟、绝经后、骨质疏松、慢性皮质类固醇使用、既往放射治疗、髋关节炎、药物滥用、术前胸椎后凸角 (thoracic kyphosis, TK)、颈椎前凸角 (cervical lordosis, CL)、颈椎矢状面偏移 (sagittal vertical axis, SVA)、T1 倾斜角与颈椎前凸角的差值 (T1 slope minus cervical lordosis, TS-CL) 过大、神经系统合并症等。Ghasemi 等^[9]通过回顾性影像学分析发现, DJK 组患者手术时的年龄显著低于对照组, 认为患者初次手术年龄过低是发生 DJK 的危险因素, 其原因可能是低龄患者的脊柱有更强的生长潜力。Kwon 等^[21]对 13 例需要进行手术翻修的 DJK 患者进行了回顾性分析, 发现 DJK 的危险因素包括了骨质疏松、髋关节炎和药物滥用。Passias

等^[15]回顾分析了 101 例颈椎畸形的术后患者, 发现术前 TK>50.6°、术前 CL<-12°、术前 SVA>56.3mm、TS-CL>36.4°、神经系统合并症 (如帕金森综合征、神经肌肉病) 是 DJK 的危险因素。Arlet 等^[4]认为, 高龄、肥胖、骨质疏松、术前矢状面失衡是交界性疾病出现的危险因素。

3.2 手术相关因素

手术相关因素包括: 融合水平的选择 (不融合交界层面、远端融合椎未达到 FLV 或 SSV、将 L5 作为 LIV)、矫形技术和方法 (后路手术、多节段融合、后路截骨术分级较大、后部韧带和软组织破坏、肌肉脂肪变性、融合器械硬度过高)、术后矢状位排列 [TK 矫正过度、术后腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL) 过小、术后残留 T10~L2 后凸畸形、LIV 铅垂线后移等。Ghasemi 等^[9]认为 TK 矫正过度导致的 LL 减小、LIV 的铅垂线后移是发生 DJK 的危险因素。Kwon 等^[21]通过回顾性分析发现, 将 L5 作为远端融合椎可能导致 L4/5 椎间融合器下沉, 引起螺钉松动和移位, 最终导致

表 1 文献中 DJK 在 SK、AIS、ASD 术后的发生率

基础病	文献	DJK 患者数	患者总数	椎体融合方式	平均年龄 (岁)	平均随访时间 (年)	发生率
休门氏后凸畸形	Dikici 等 ^[10]	11	39	后路	18.6	8	28.20%
	Cho 等 ^[8]	7	31	后路	18	3.8	22.60%
	Denis 等 ^[9]	8	67	后路	37	6.1	11.90%
	Lundine 等 ^[12]	11	22	后路	18	-	50.00%
	Kim 等 ^[11]	7	44	后路	18.9	3.1	15.90%
	Ghasemi 等 ^[6]	6	40	后路	25.2	4.3	15.00%
青少年特发性脊柱侧凸	Yun 等 ^[18]	36	216	后路	-	3.9	16.70%
	Lowe 等 ^[3]	37	375	前路/后路	14.5	2	9.90%
	Yang 等 ^[17]	8	113	后路	14.4	3	7.10%
	Miller 等 ^[14]	24	353	前路/后路	-	2	6.80%
成人脊柱畸形	Ameri 等 ^[7]	9	130	后路	15.6	3	6.90%
	Passias 等 ^[15]	24	101	前路/后路	60.1	2	23.80%
	Protopsaltis 等 ^[16]	16	67	前路/后路	62	-	23.90%
	Meredith 等 ^[13]	24	392	前路/后路	67	3	6.10%

表 2 文献中的 DJK 危险因素

文献	原发病	患者数量	平均年龄 (岁)	国家	随访时间	危险因素
Lowe 等 ^[3]	青少年特发性脊柱侧凸	37	14.5	美国	2 年	术后 T10~L2 后凸畸形, 不融合交界层面、后路手术
Ghasemi 等 ^[6]	休门氏后凸畸形	6	16.8	英国	2~10 年	低龄、TK 矫正过度致 LL 减小、LIV 铅垂线后移
Denis 等 ^[9]	休门氏后凸畸形	8	37	美国	5~13.7 年	LIV 未达到 FLV
Cho 等 ^[8]	休门氏后凸畸形	7	18	美国	2~8.1 年	LIV 未达到 SSV
Passias 等 ^[15]	颈椎退变畸形	24	60.1	美国	3~24 个月	术前 TK、CL、SVA、TS-CL 过大、神经系统合并症
Protopsaltis 等 ^[16]	颈椎退变畸形	16	62	美国	6 个月	多节段融合、高分级后路截骨术
Kwon 等 ^[21]	腰椎退变畸形	13	55.2	加拿大	2~7 年	骨质疏松、髋关节炎、药物滥用、将 L5 作为 LIV

注: TK, 胸椎后凸角; LL, 腰椎前凸角; LIV, 远端融合椎; FLV, 首个前凸椎体; CL, 颈椎前凸角; SVA, 颈椎矢状面偏移; TS-CL, T1 倾斜角与颈椎前凸角的差值; SSV, 矢状面稳定椎

DJK。Lowe 等^[3]回顾了 375 例胸椎 AIS 患者,发现术后残留 T10~L2 后凸畸形、不融合交界层面是 DJK 发生的危险因素,而且相比前路器械融合术,后路手术更容易导致 DJK。Protopsaltis 等^[6]发现,多节段融合、高分级后路截骨术是 DJK 的危险因素。一些学者^[8,9]分析了脊柱融合术中远端融合椎的选择与 DJK 的相关性,认为远端融合椎未达到首个前凸椎体(first lordotic vertebra,FLV)或矢状面稳定椎(sagittal stable vertebra,SSV)是 DJK 的危险因素。Arlet 等认为,手术导致的后部韧带和软组织破坏、肌肉脂肪变性、融合器械硬度过高是交界性疾病出现的危险因素,术后矢状面失衡在其发病机制中起着决定性的作用^[4]。

4 DJK 的治疗

DJK 不仅会引起患者持续进展的脊柱矢状面影像学改变,甚至可引发严重的临床症状,一旦怀疑交界性问题,则应该对患者进行评估,尽早明确病因并针对性治疗。但目前尚无指导 DJK 和 DJF 治疗的专家共识,目前主要的治疗方法分为非手术治疗和手术治疗两类。

4.1 非手术治疗

Arlet 等^[4]认为,如果患者症状轻微或无症状,通常无需治疗,或仅进行保守治疗。保守治疗包括:限制活动、外固定、药物治疗骨质疏松等^[2]。

4.2 手术治疗

如果症状严重或畸形持续加重,则需要进行翻修手术。翻修手术方法包括:骨折复位、内固定物取出、神经减压、延长融合、重新矫形^[2]等,手术要尽量那些避免可能造成 DJK 复发的危险因素。

大多数情况下翻修手术应从后路进行,如腰椎后外侧融合术(posterolateral fusion,PLF)、后路腰椎椎间融合术(posterior lumbar interbody fusion,PLIF)、经椎间孔腰椎椎间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion,TLIF)等,因为后路手术可以使前柱获得良好的生物力学支撑。随着脊柱内固定器械的发展,腰椎融合术的术式也在不断进步,非后路的翻修手术开始被应用。前路腰椎椎间融合术(anterior lumbar interbody fusion,ALIF)解决了后路融合假关节患者的翻修问题,可以更加彻底地去除椎间盘,同时避免了对椎旁肌和神经的破坏^[23];经骶前间隙入路轴向腰骶椎间融合术(Axial lumbar interbody fusion, Axia LIF)为 L5/S1 椎间隙解剖结构异常而无法行传统前路手术的患者提供了选择^[24];极外侧腰椎椎间融合术(extreme lateral interbody fusion/direct lateral interbody fusion,XLIF/DLIF)为侧凸力线不佳导致的椎管狭窄症患者提供了有效解决方案,同时可以有效地减少血管和神经损伤^[25];斜外侧腰椎椎间融合术(oblique lateral interbody fusion,OLIF)保留了关节突关节、椎旁肌肉等组织结构,最大程度地维持腰椎稳定性,避免神经损伤^[26]。Meredith 等^[13]报道了 10 例前后路联合手术翻修多节段脊柱融合术后 DJK 的案例,均取得了很好的疗效。

翻修手术要注意以下几点问题。(1)远端融合器械必须延长至超过狭窄节段,融合到 FLV 或 SSV 以下,并且通常需要延长融合到骶骨或骨盆,临床上常用的延长融合技术包括:髂骨螺钉(ilial screw,IS)技术,第二骶椎骶髂(second sacral ala-iliac,S2AI)螺钉技术等;(2)临床上为了达到理想的矢状对齐,必要时可通过截骨术实现脊柱的重新矫形,包括 Smith-Petersen 截骨术(Smith-Petersen osteotomy,SPO)、经椎弓根截骨术(pedicle subtraction osteotomy,PSO)、全椎体截骨术(vertebral column resection,VCR)等;(3)对畸形矫正不足或过度矫正可能导致进一步的交界性问题或脊柱不平衡,均应该尽量避免;(4)应该选用合适的融合器械,在融合与非融合的脊柱节段之间避免弹性模量差距过大,如使用骨水泥或椎板下钢丝,从而预防 DJK 复发。

5 DJK 的预防

近年来,脊柱融合术中 LIV 的选择成了预防 DJK 的争论焦点。最初,研究者们认为在 AIS 矫形手术中,可以选择性融合至胸弯稳定椎,即由骶椎中线(central sacral vertebral line,CSVL)平分的最颅侧的椎体作为 LIV^[27],从而可以保留腰椎节段的运动,使其自动矫正达到新的躯干平衡。但此概念是在对使用第一代矫形器械 Harrington 内固定棒系统的基础上提出的,当应用到 Cotrel-Dubousset、TSRH 等第三代矫形内固定器械时,术后 DJK 便成了争论广泛的问题。研究者们意识到,在选择 LIV 时,要充分权衡保持脊柱更大运动度的获益与 DJK 的潜在风险,进行最优的手术选择。

Lowe 等^[3]将 FLV 描述为脊柱侧位片中终板向后汇合的最近端椎体。研究者们^[7,9]主张选择 FLV 融合作为 LIV,认为这样可以最有效的预防 DJK,因为 FLV 的后凸倾向较小,而且 FLV 也常常是冠状面稳定椎体,可以达到矢状面和冠状面的双重稳定平衡。后来,学者们^[8,12,28]将 SSV 定义为骶骨后上角垂线刚好能接触到的最近端椎体,而 Yang 等^[17]将 SSV 的定义进一步完善为:超过 50%体积位于骶骨后上角垂线(posterior sacral vertical line,PSVL)前方的最近端椎体。研究发现选择 SSV 作为 LIV 在预防 DJK 方面的效果显著好于 FLV。Gong 等^[29]针对 SK 患者在脊柱融合术中 LIV 的选择这一问题进行了荟萃研究,结果同样显示选择 SSV 作为 LIV 预防 DJK 效果更好。研究者们还发现,当选择 SSV 作为 LIV 时,DJK 通常更少出现症状^[28]、翻修率更低^[11,28]。在选择 FLV 方面 SSV 相比 FLV 的优越性在于:(1)在胸腰椎交界处,椎间盘间隙中的节段角度差很小,通常难以准确从影像学测量出椎间盘间隙的会聚,使得 FLV 难以确定;(2)胸椎后凸畸形会导致腰椎代偿性前凸,FLV 常常因为腰椎代偿性前凸而上移,从而导致融合节段缩短并导致 DJK,而 SSV 则会维持在一个相对稳定的节段。Yang 等^[17]同时发现将 SSV 融合到固定椎里,通常只需延长一节脊柱节段,只有 19%的患者需要延长 1 节以

上椎体。这说明,大部分患者可能并不需要牺牲过多的椎体活动性就可以显著降低术后 DJK 的风险。然而就选择 SSV 作为 LIV 的问题上,也有学者提出了反对的意见。Yanik 等^[30]认为,将融合扩展到 SSV 并不能降低 DJK 的发生率,并推荐将 FLV 作为 SK 手术中理想的远端融合水平,这样可以减少融合水平、降低手术花费、降低感染等并发症的发生^[31]。

此外,不少研究者认为应该避免将 L5 椎体作为 LIV,而推荐延长融合至骶骨。Kwon 等^[21]发现将 L5 作为 LIV 可能导致 L4/5 椎间融合器下沉,引起螺钉松动和移位,所以提出椎弓根减压截骨术并延伸融合至骶骨是改善矢状面平衡的有效方法。Bridwell 等^[32]注意到 L5 椎弓根较其他腰椎更短、更宽、含有更多的松质骨,且更向内侧成角。这可能导致放置过长、过大的椎弓根螺钉,会削弱椎弓根和骨皮质,增加骨折的风险,从而导致 DJK。Tan 等^[33]也建议避免将 L5 椎体作为 LIV,而建议将固定延长至骶骨以增加强度。O'Neill 等^[34]回顾了 74 例延长脊柱融合术至骶骨的患者,发现相比未延长的患者,延长组患者的 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)、脊柱侧凸研究学会评分 (Scoliosis Research Society, SRS) 和影像学上脊柱排列在术后 5 年内都有显著的改善。Meredith 等^[13]认为,将融合结构扩展到骶骨翼可以有效预防术后骶骨骨折。但是在临床上,内固定延长至骶骨或骨盆通常并不受欢迎,因为它限制了 L5/S1 节段的运动,而该节段占总腰椎角运动度的 15%^[33],此外还增加了手术花费,以及疼痛、松动、断裂、软组织破坏、骶髂关节退变等并发症的风险^[20]。

此外,有研究者^[4]提出降低内固定的强度可以有效预防 DJK。降低强度的方式一方面是优化内固定物,包括选择合适的金属如钛金属、使用更细的内固定棒以及根据脊柱节段而选择不同强度的内固定物(例如使用高强度内固定进行腰骶椎骨盆重建,而对于胸椎则使用强度较低的内固定),但是这些方法也有器械断裂的风险;另一方面是减少强度较高的椎弓根螺钉的使用,如在固定末端固定时间隔置钉,以及应用椎板钩、椎弓根钩、椎板下钢丝非置钉等进行端侧融合椎的固定,从而确保整体的稳定和局部的弹性。总体而言,上述方法仍有增加内固定断裂、增加骨破坏等弊端,还需要更多的临床研究来证实它们的有效性。

6 总结与展望

综上所述,DJK 在脊柱畸形疾病融合术后具有一定的发生率,可以发生在任何年龄的人群。DJK 是影像学概念,而部分 DJK 患者可产生融合远端交界区疼痛、畸形、神经障碍等症状,此类患者需要接受翻修手术。与 DJK 发生有关的危险因素有很多,与多种患者自身因素、手术因素有关。为了预防 DJK,临床医生们需要慎重选择远端融合椎,并选择合适强度的融合器械。目前对 DJK 的研究还不够深入,我们还需要更多的高级别循证医学研究去了解

DJK 的危险因素、发生和发展机制、严重程度评估方法,从而指导临床 DJK 的预防和治疗。

7 参考文献

1. Virk SS, Niedermeier S, Yu E, et al. Adjacent segment disease[J]. Orthopedics, 2014, 37(8): 547-555.
2. Zhu G, Hao Y, Yu L, et al. Comparing stand-alone oblique lumbar interbody fusion with posterior lumbar interbody fusion for revision of rostral adjacent segment disease: a stroke-compliant study[J]. Medicine, 2018, 97(40): e12680.
3. Lowe TG, Lenke L, Betz R, et al. Distal junctional kyphosis of adolescent idiopathic thoracic curves following anterior or posterior instrumented fusion: incidence, risk factors, and prevention[J]. Spine, 2006, 31(3): 299-302.
4. Arlet V, Aebi M. Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities: present understanding and future perspectives[J]. Eur Spine J, 2013, 22(Suppl 2): S276-295.
5. Lowe TG, Kasten MD. An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease. A review of 32 patients[J]. Spine, 1994, 19(15): 1680-1685.
6. Ghasemi A, Stubig T, Nasto LA, et al. Distal junctional kyphosis in patients with Scheuermann's disease: a retrospective radiographic analysis [J]. Eur Spine J, 2017, 26 (3): 913-920.
7. Ameri E, Behtash H, Mobini B, et al. The prevalence of distal junctional kyphosis following posterior instrumentation and arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Acta Med Iran, 2011, 49(6): 357-363.
8. Cho KJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Selection of the optimal distal fusion level in posterior instrumentation and fusion for thoracic hyperkyphosis: the sagittal stable vertebra concept [J]. Spine, 2009, 34(8): 765-770.
9. Denis F, Sun EC, Winter RB. Incidence and risk factors for proximal and distal junctional kyphosis following surgical treatment for Scheuermann kyphosis: minimum five-year follow-up[J]. Spine, 2009, 34(20): E729-734.
10. Dikici F, Akgul T, Sariyilmaz K, et al. Selection of distal fusion level in terms of distal junctional kyphosis in Scheuermann kyphosis. A comparison of 3 methods[J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2018, 52(1): 7-11.
11. Kim HJ, Nemani V, Boachie-Adjei O, et al. Distal fusion level selection in Scheuermann's kyphosis: a comparison of lordotic disc segment versus the sagittal stable vertebrae [J]. Global Spine J, 2017, 7(3): 254-259.
12. Lundine K, Turner P, Johnson M. Thoracic hyperkyphosis: assessment of the distal fusion level [J]. Global Spine J, 2012, 2(2): 65-70.
13. Meredith DS, Taher F, Cammisa FP, et al. Incidence, diagnosis, and management of sacral fractures following multi-level spinal arthrodesis[J]. Spine J, 2013, 13(11): 1464-

- 1469.
14. Miller DJ, Jameel O, Matsumoto H, et al. Factors affecting distal end & global decompensation in coronal/sagittal planes 2 years after fusion[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2010, 158: 141–146.
15. Passias PG, Vasquez-Montes D, Poorman GW, et al. Predictive model for distal junctional kyphosis after cervical deformity surgery[J]. *Spine J*, 2018, 18(12): 2187–2194.
16. Protopsaltis TS, Ramchandran S, Kim HJ, et al. Analysis of early distal junctional kyphosis (DJK) after cervical deformity correction[J]. *Spine J*, 2016, 16(10): S355–S356.
17. Yang J, Andras LM, Broom AM, et al. Preventing distal junctional kyphosis by applying the stable sagittal vertebra concept to selective thoracic fusion in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine Deform*, 2018, 6(1): 38–42.
18. Yun C, Shen CL. Anterior release for Scheuermann's disease: a systematic literature review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(3): 921–927.
19. Wilde GE, Miller TT, Schneider R, et al. Sacral fractures after lumbosacral fusion: a characteristic fracture pattern [J]. *Ajr Am J Roentgenol*, 2011, 197(1): 184–188.
20. Cho KJ, Suk SI, Park SR, et al. Arthrodesis to L5 versus S1 in long instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(4): 531–537.
21. Kwon BK, Elgafy H, Keynan O, et al. Progressive junctional kyphosis at the caudal end of lumbar instrumented fusion: etiology, predictors, and treatment[J]. *Spine*, 2006, 31(17): 1943–1951.
22. Wang Y, Liu XY, Li CD, et al. Surgical treatment of sacral fractures following lumbosacral arthrodesis: Case report and literature review[J]. *World J Orthop*, 2016, 7(1): 69–73.
23. Phan K, Thayaparan GK, Mobbs RJ. Anterior lumbar interbody fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion—systematic review and meta-analysis[J]. *Br J Neurosurg*, 2015, 29(5): 705–711.
24. Schroeder GD, Kepler CK, Millhouse PW, et al. L5/S1 fusion rates in degenerative spine surgery: a systematic review comparing ALIF, TLIF, and axial interbody arthrodesis [J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(4): 150–155.
25. Blizzard DJ, Hills CP, Isaacs RE, et al. Extreme lateral interbody fusion with posterior instrumentation for spondylodiscitis[J]. *J Clin Neurosci*, 2015, 22(11): 1758–1761.
26. Ohtori S, Orita S, Yamauchi K, et al. Mini-open anterior retroperitoneal lumbar interbody fusion: oblique lateral interbody fusion for lumbar spinal degeneration disease[J]. *Yonsei Med J*, 2015, 56(4): 1051–1059.
27. Trobisch PD, Ducoffe AR, Lonner BS, et al. Choosing fusion levels in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2013, 21(9): 519–528.
28. Campos M, Dolan L, Weinstein S. Unanticipated revision surgery in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2012, 37(12): 1048–1053.
29. Gong Y, Yuan L, He M, et al. Comparison between stable sagittal vertebra and first lordotic vertebra instrumentation for prevention of distal junctional kyphosis in Scheuermann Disease: systematic review and Meta-analysis [J]. *Clin Spine Surg*, 2019. doi: 10.1097/BSD.0000000000000792.
30. Yanik HS, Ketenci IE, Coskun T, et al. Selection of distal fusion level in posterior instrumentation and fusion of Scheuermann kyphosis: is fusion to sagittal stable vertebra necessary?[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(2): 583–589.
31. Lonner BS, Toombs CS, Guss M, et al. Complications in operative Scheuermann kyphosis: do the pitfalls differ from operative adolescent idiopathic scoliosis?[J]. *Spine*, 2015, 40(5): 305–311.
32. Bridwell KH, Edwards CC, Lenke LG. The pros and cons to saving the L5–S1 motion segment in a long scoliosis fusion construct[J]. *Spine*, 2003, 28(20): S234–242.
33. Tan JH, Tan KA, Hey HWD, et al. Distal junctional failure secondary to L5 vertebral fracture—a report of two rare cases [J]. *J Spine Surg*, 2017, 3(1): 87–91.
34. O'Neill KR, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Extension of spine fusion to the sacrum following long fusions for deformity correction[J]. *Spine*, 2014, 39(12): 953–962.
- (收稿日期:2019-03-21 末次修回日期:2019-05-18)
- (本文编辑 姜雅浩)