

脊柱畸形矫形术后近端交界性后凸相关研究进展

Advances in research of proximal junctional kyphosis after scoliosis surgery

王天昊^{1,2}, 赵永飞², 王岩²

(1 第三军医大学 400038 重庆市; 2 解放军总医院骨科 100853 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.01.13

中图分类号: R682.3, R687.3, R619 文献标识码: A

文章编号: 1004-406X(2016)-01-0077-05

脊柱畸形矫形手术通过矫正矢状面和冠状面的畸形并进行长节段固定融合以重建躯干的平衡。近端交界性后凸(proximal junctional kyphosis, PJK)是发生在脊柱侧凸或后凸畸形矫形术后的一种特定的影像学表现,通常因手术近端内固定交界区的应力改变引起^[1]。近年来越来越多的研究发现,PJK 不仅是影像学改变,而且能引起严重的临床症状,且部分患者需行翻修手术,众多学者也对此给予了更大的关注。笔者通过文献回顾,从 PJK 的发生率及危险因素、发生机制以及对 PJK 的预防和处理等方面,对目前 PJK 的相关研究进展加以综述。

1 PJK 定义的发展

1994 年,Low 等^[2]在对休门氏病脊柱后凸畸形患者术后随访研究中首次描述了 PJK,即在脊柱矫形术后,内固定近端后凸逐渐增大。Lee 等^[3]于 1999 年明确了 PJK 的概念,他们认为最上端固定椎体(upper instrumented vertebra, UIV)与其近端第 1 个椎体(UIV+1)间的后凸角较术后增加超过 5°即可称为 PJK。此后,Glattes 等^[4]对 PJK 的定义进行了修正,采用 Cobb 角测量法测量近端交界区后凸角(proximal junctional angle, PJA),即 UIV 的下终板与 UIV+2 的上终板之间的后凸角,若术后该角度大于 10°,且同术前相比增加 10°以上,则认为发生了 PJK。有研究^[5]证明此定义具有较高的可靠性和可重复性,所以此后大部分研究均采用此标准。但 Bridwell 等^[6]认为,以 10°作为判断 PJK 的标准缺乏特异性,将 PJA>20°作为诊断标准更能反映 PJK 的特征。虽然众多学者发现了 PJK 这一影像学改变,但仅有少部分患者因此产生临床症状。因此,Kim 等^[7]特别提出近端交界区失败(proximal junctional failure, PJF)这一概念,以区别不伴有临床症状的 PJK。PJF 包括近端交界区的结构性改变,如椎体骨折、后方骨韧带复合体损伤等。PJF 通常存在更高的疼痛、脊柱不稳、神经损伤等风险,影响患者正常生活,因此常需行翻修手术^[8]。脊柱侧

凸研究学会(scoliosis research society, SRS)于 2015 年将 PJK 定义为“内固定近端 UIV 下终板与 UIV+2 上终板之间的后凸角>20°”,同时将 PJF 定义为“存在神经损伤、疼痛、PJK、内固定物突出,或其他需行翻修手术的近端内固定失败”,此定义得到了绝大多数学者的认可^[9]。Hostin 等^[10]在 PJF 的基础上又提出了急性近端交界区失败(acute proximal junctional failure, APJF),即术后 28 周内发生以下情况即可称为 APJF: PJA 增加超过 15°、UIV 或 UIV+1 发生骨折、近端内固定失败,或术后 6 个月内需要延长近端固定节段。

2 PJK 的发生率

在青少年及成人脊柱畸形的手术治疗中,有关于 PJK 的广泛报道,但因各研究采用的测量标准、随访时间、研究样本以及手术方案等存在差异,报道的 PJK 发生率也不尽相同。Lee 等^[3]对 69 例青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)矫形术后患者的随访发现,46%的患者发生了 PJK。Wang 等^[11]对 123 例行脊柱后路矫形的 AIS 患者进行平均 1.5 年的随访,35 例(28%)患者出现 PJK。此外,成人脊柱畸形(adult spinal deformity, ASD)患者脊柱矫形术后 PJK 也有较高的发生率。Kim 等^[12]对 161 例 ASD 患者脊柱矫形术后进行随访,发现 39%出现 PJK,但 PJK 组患者的 SRS 评分(SRS-24, 29, 30)与对照组并无显著性差异。在他的另一项针对 AIS 患者的研究中发现^[13],矫形术后 PJK 的发生率为 26%。Yagi 等^[14]报道 ASD 脊柱矫形术后 PJK 的发生率为 20%; Bridwell 等^[6]的研究中 PJK 的发生率为 27.8%,且都不认为 PJK 对患者的 SRS-22 评分和 Oswestry 功能障碍指数(oswestry disability index, ODI)产生影响。在 Reames 等^[15]的研究中,11%(32/289)的 ASD 患者在接受脊柱矫形手术之后 34 个月内发生了 PJK,其中 50%的患者在术后 9.6 个月以内接受了翻修手术。Hostin 等^[10]在 1218 例 ASD 病例随访中发现,63 例患者术后发生了 APJF,其发生率为 5.6%。Smith 等^[15]对 173 例 ASD 矫形术后患者进行随访,有 60 例(35%)发生了 APJF,而其中 21.7%的患者接受了翻修手术治疗。

第一作者简介:男(1991-),硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(010)66938302 E-mail:drwangth@126.com

通讯作者:王岩 E-mail:yanwang_301@126.com

总之,目前文献报道^[1-4,6,10-20],AIS 术后 PJK 的发生率为 9%~46%, ASD 术后 PJK 的发生率为 26%~41%。多数学者认为 PJK 的发生对 AIS 患者的 ODI 及 SRS 评分没有影响,而 ASD 患者术后有 5%~35% 的患者发生了 PJF 而可能需要手术治疗。由此看出,青少年和成人脊柱畸形矫形术后都有较高的 PJK 发生率,ASD 患者矫形术后发生 PJK 更可能需要手术干预,因此需要对此给予足够的重视,以减少其发生及进展。

3 PJK 发生的危险因素

很多学者针对 PJK 发生的危险因素进行了分析和研究。Lowe 等^[2]认为 PJK 的发生与后凸畸形手术矫正率大于 50% 相关。Kim 等^[12]提出前后路联合手术和患者年龄大于 55 岁是术后发生 PJK 的危险因素。Yagi 等^[1]指出,后路融合、融合至骶骨、矢状垂直偏移 (sagittal vertical axis, SVA) 的过度矫正以及骨质疏松能显著增加 PJK 的发生率。Maruo 等^[16]认为腰椎前凸 (lumber lordosis, LL) 的矫正值 $>30^\circ$ 、骨盆入射角 (pelvic incidence, PI) $>55^\circ$ 以及术前胸椎后凸 $>30^\circ$ 是 PJK 发生的独立危险因素。Lau 等^[17]发现年龄大于 55 岁、术前矢状面严重失衡、使用椎弓根螺钉系统和钉钩混合系统内固定 (相对于全钩系统)、胸廓成形术、手术矫正率大于 50%、前后路联合手术、后方张力带损伤及融合至下腰椎或骶骨是 PJK 发生的主要危险因素。Inoue 等^[18]针对融合至骶骨的 ASD 患者进行随访,认为术前矢状面严重失衡是 PJK 发生的主要危险因素。Kim 等^[19]对应用三种不同类型后路内固定系统 (全钩、钉钩混合、全钉) 的 AIS 患者术后发生 PJK 的情况进行分析,认为使用刚性更强的椎弓根螺钉内固定系统更易导致 PJK 的发生。Wang 等^[11]研究发现术后胸椎后凸角 (thoracic kyphosis, TK) 减小 10° 以上、融合至下腰椎和上端自体骨移植也是术后出现 PJK 的高危因素。O'Leary 等^[20]认为,高龄、高体重指数以及骨质疏松患者更易发生 PJK。Zhu 等^[21]研究表明,当 UIV 位于或低于脊柱侧凸或后凸的上端椎,以及 UIV 位于 L1 或 L2 椎体时, PJK 的发生率明显增高。而 UIV 选择在 T11 或 T12 则能够有效降低术后 PJK 的发生率。Annis 等^[22]回顾性分析了 135 例 ASD 患者,认为术后 PJA 大于 5° 和 LL 过度矫正是 PJK 的独立危险因素。Kim 等^[23]同样认为 LL 过度矫正和术前矢状面严重失衡是 ASD 患者术后发生 PJK 和接受翻修手术的危险因素。

总之, PJK 发生的危险因素可分为手术因素和非手术因素两类^[2,11-13,17-23]。手术因素包括:(1)前后路联合手术;(2)采用椎弓根螺钉内固定或钉钩混合内固定;(3)融合至下腰椎及骶骨;(4)胸廓成形术;(5)上端自体骨移植;(6)过度矫形。非手术因素包括:(1)年龄大于 55 岁;(2)体重指数大于 30;(3)骨质疏松;(4)术前矢状面不平衡;(5)术前 PJA 大于 10° ;(6)合并多种疾病。

4 PJK 的发生机制

关于发生 PJK 的病理生理机制, Arlet 等^[24]将其分为六种类型:(1)脊柱后凸的自然进展;(2)后方韧带复合体 (posterior ligament complex, PLC) 的延长;(3)单纯 PLC 损伤;(4)椎体骨折合并 PLC 损伤;(5)近端椎体内固定失败;(6)近端交界区椎体脱位。目前,大部分学者认为后方结构的破坏是其发生的主要原因。Rhee 等^[25]及 Yagi 等^[1]的研究都发现,后路手术比前路手术更易导致 PJK 的发生,并且术后即刻近端交界区后凸角度较术前明显增高。他们认为后路手术破坏关节囊、损伤棘上韧带和棘间韧带等,导致了早期后凸发生。Hollenbeck 等^[26]的研究也支持这一观点。Cammarata 等^[27]通过生物力学分析发现, PLC 的损伤与 PJK 的发生存在明显相关性,后方结构破坏会增加脊柱后凸的趋势。Cahill 等^[28]采用有限元研究的方法,在 PLC 切除后应用延长移行棒重建后方张力带结构,从而减少了 PJK 的发生。

5 PJK 的预防

近年来,用骨水泥强化近端交界区椎体以预防 PJK 的发生已得到广泛认可。椎体在骨水泥强化后能在一定程度上避免骨折和螺钉拔出、切割等情况发生,从而减少 PJK 发生。Hart 等^[29]回顾了 28 例行预防性双节段椎体成形术的患者,术后 PJK 发生率降低了 15%。Kebaish 等^[30]通过尸体研究证实,在 UIV 及 UIV+1 行椎体成形术能有效预防椎体骨折,从而降低 PJK 的发生率。但作者不推荐单节段的椎体成形,因为这可能导致邻近椎体骨折风险增加。Theologis 等^[31]的研究同样表明,在 UIV 和 UIV+1 预防性行椎体成形术能有效避免 ASD 矫形术后近端交界区的椎体骨折,降低 PJK 的发生率,从而避免进行翻修手术。但骨水泥的注入能改变脊柱原本的力学稳定状态,从而增加相邻椎体骨折的风险^[32]。此外,应用骨水泥会阻断椎体内血供而促使椎间盘退变,可能造成其他并发症的发生^[33]。

横突钩的应用也能有效预防 PJK 的发生。椎弓根螺钉内固定技术因具有良好的三维矫形能力而在脊柱畸形的矫形治疗中得到广泛应用,同时也因其具有较高的生物力学强度而增加了 PJK 发生的危险。Hassanzadeh 等^[34]回顾了 47 例长节段固定术后的患者,在 2 年的随访中发现,椎弓根螺钉内固定组术后 PJK 发生率 (26.9%) 明显高于横突钩组 (0.0%)。Thawrani 等^[35]对猪的脊柱进行生物力学分析发现,选用横突钩固定 UIV 较椎弓根螺钉内固定能在与上端正常活动结构之间提供更加平稳的过渡,从而减少 PJK 的发生。Cammarata 等^[27]行生物力学分析也发现,在 UIV 使用横突钩系统比椎弓根螺钉系统减少 26% 的应力,有助于降低 PJK 发生的风险。

除以上两种方法之外,最近的一项研究中提出应用多级稳定螺钉技术 (multilevel stabilization screw, MLSS) 也能减少 PJK 的发生。Sandquist 等^[36]在 20 例 ASD 患者矫形手术中,最上端的椎弓根螺钉从椎弓根下外侧进入,通过斜向上的钉道穿过椎间隙固定其上位椎体,其余椎体采用

传统椎弓根螺钉固定方法,术后随访 30 个月,近端后凸角度平均增大 4°,且无一例出现近端交界区椎体骨折或行翻修手术。但此种方法是否能确实降低 PJK 的发生率仍需要更多病例以及生物力学研究加以证实。

以往的研究多认为后方组织的破坏会导致 PJK 的发生。Mummaneni 等^[7]进行了多中心的队列研究,对 128 例 ASD 患者进行了平均 32.8 个月的随访,比较微创置入椎弓根螺钉和传统开放手术置入椎弓根螺钉对术后 PJK 发生的影响,结果发现,微创组术后 PJK 的发生率为 48.1%,开放置钉组术后 PJK 发生率为 53.8%,但二者差异无统计学意义。微创技术的应用并未显著降低 ASD 矫形术后 PJK 的发生率,但仍需要大量病例对照研究以证实该结论。

6 PJK 的评估及治疗

虽然 PJK 是脊柱矫形术后的常见并发症,但仅少数 PJK 需行翻修手术。Kim 等^[12]及 Yagi 等^[14]认为,PJK 对患者的生活质量并不产生严重影响,这也得到了其他学者的支持。对于无症状的 PJK 通常无需特殊处理,嘱其定期随访观察即可;但对于脊柱矫形术后已经发生 PJK 的患者是否需要进行手术干预,以及选择何种时机进行手术治疗,到目前为止还没有定论。

为了更好地评估 PJK,Yagi 等^[14]提出了 PJK 的分型。该分型以 PJK 的病因和后凸角度为标准,将 PJK 分为三类三级。此后该团队又针对 UIV+1 是否出现滑移对此分型加以修正(表 1)^[18]。该分型能让临床医师简洁明了地认识 PJK,但其缺点在于并未对每种类型 PJK 的临床症状进行评估,也没有提出其相应的治疗建议。Hart 和国际脊柱研究学会提出的 PJK 严重程度评分量表(Hart-International Spine Study Group proximal junctional kyphosis severity scale,Hart-ISSG PJKSS)(表 2)^[19],为临床评估以及治疗提供了有效参考。该评分通过 6 个方面来评估 PJK 的严重程度:神经损伤、局部疼痛、内固定并发症、后凸角度进展和 PLC 完整性、骨折部位以及 UIV 所在

表 1 Yagi 等的 PJK 分型^[18]

定义	
分型	
1	后方韧带破坏
2	骨折
3	内固定失败
分级	
A	PJA 增加 10°~19°
B	PJA 增加 20°~29°
C	PJA 增加 ≥30°
UIV+1 滑移	
N	UIV+1 无滑移
S	UIV+1 滑移

表 2 Hart-ISSG PJK 严重程度评分量表^[19]

项目	分值
神经损伤	
无	0
神经根性疼痛	2
脊髓损伤	4
局部疼痛	
无	0
VAS 评分 ≤4	1
VAS 评分 ≥5	3
内固定并发症	
无	0
局部松动	1
部分突出	1
完全拔出	2
后凸角度进展和 PLC 完整性	
PJA 0°~10°	0
PJA 10°~20°	1
PJA >20°	2
PLC 断裂	2
UIV/UIV+1 骨折	
无	0
压缩性骨折	1
爆裂/Chance 骨折	2
骨折脱位	3
UIV 所在节段	
胸腰段	0
上胸段	1

节段。当 6 项总分达到 7 分时则建议行手术治疗。该评分拥有良好的可信度和可重复性,并且对临床治疗方案提供了有效地指导^[17]。Lau 等^[40]使用 Hart-ISSG PJKSS 对 184 例 ASD 矫形术后患者进行回顾性评价,证实 Hart-ISSG PJKSS 评分与 ODI、VAS、SRS-30 等评分具有显著相关性,Hart-ISSG PJKSS 评分为 9~11 分和 12~15 分的患者分别有 96.0%和 100.0%行翻修手术。该研究表明,Hart-ISSG PJKSS 评分与手术翻修率呈正相关,是指导 PJK 患者治疗的有效工具之一。

综上所述,PJK 在脊柱畸形矫形术后有较高的发生率,可能造成脊柱矢状面畸形加重或出现神经损伤等其他并发症,且部分需要手术干预才能解决,因此需要脊柱外科医师对此引起足够的重视。PJK 的发生是患者术后 PJA 逐渐增加的动态累积过程,并且是手术因素和非手术因素共同作用的结果。根据目前的研究结果,在术前设计时选择适当的融合节段,手术过程中尽可能保护脊柱的后方结构并恢复正常的脊柱生理曲度,对避免术后 PJK 的发生有着重要的意义。在术后对患者进行密切随访,对发生 PJK 或 PJF 的患者进行全面的标准化评估,当 Hart-ISSG 评分

达 7 分及时时进行适当的手术干预,能够及时减轻患者痛苦,改善患者生活质量,并且避免医疗资源的浪费。目前对 PJK 的严重程度及临床治疗方案已有系统的评分以做参考。但在术前评估方面需要一个标准化的量表对患者术前和预定手术方案存在的危险因素做出评估,以指导术中采取适当的预防措施。由于 PJK 的概念提出时间较短,在多种疾病中 PJK 的发生情况还没有全面了解,而且目前对于 PJK 的研究尚缺乏一级循证医学的临床研究,在其发生机制、危险因素及处理方法以及手术指征等方面,需要进一步的研究及循证医学证据来达成统一共识。

7 参考文献

1. Yagi M, King AB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis: minimum 5 years of follow-up[J]. *Spine*, 2013, 37(17): 1479-1489.
2. 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.
3. Lee GA, Betz RR, Clements DH 3rd, et al. Proximal kyphosis after posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 1999, 24(8): 795-799.
4. Glattes RC, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion: incidence, outcomes and risk factor analysis[J]. *Spine*, 2005, 30(14): 1643-1649.
5. Sacramento-Domínguez C, Vayas-Díez R, Coll-Mesa L, et al. Reproducibility measuring the angle of proximal junctional kyphosis using the first or the second vertebra above the upper instrumented vertebrae in patients surgically treated for scoliosis[J]. *Spine*, 2009, 34(25): 2787-2791.
6. Bridwell KH, Lenke LG, Cho SK, et al. Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: evaluation of 20 degrees as a critical angle[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72(6): 899-906.
7. Kim HJ, Lenke LG, Shaffrey CI, et al. Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery: a systematic review[J]. *Spine*, 2012, 7(22 Suppl): 144-164.
8. Hart RA, McCarthy I, Ames CP, et al. Proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2013, 24(2): 213-218.
9. Scheer JK, Fakurnejad S, Lau D, et al. Results of the 2014 SRS survey on PJK/PJF: a report on variation of select SRS member practice patterns, treatment indications, and opinions on classification development[J]. *Spine*, 2015, 40(11): 829-840.
10. Hostin R, McCarthy I, O'Brien M, et al. Incidence, mode, and location of acute proximal junctional failures after surgical treatment of adult spinal deformity[J]. *Spine*, 2013, 38(12): 1008-1015.
11. Wang J, Zhao Y, Shen B, et al. Risk factor analysis of proximal junctional kyphosis after posterior fusion in patients with idiopathic scoliosis[J]. *Injury*, 2010, 41(4): 415-420.
12. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum five-year follow-up[J]. *Spine*, 2008, 33(20): 2179-2184.
13. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum 5-year follow-up [J]. *Spine*, 2005, 30(18): 2045-2050.
14. Reames DL, Kasliwal MK, Smith JS, et al. Time to development, clinical and radiographic characteristics, and management of proximal junctional kyphosis following adult thoracolumbar instrumented fusion for spinal deformity[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(2): E106-114.
15. Smith MW, Annis P, Lawrence BD, et al. Acute proximal junctional failure in patients with preoperative sagittal imbalance[J]. *Spine J*, 2015, 15(10): 2142-2148.
16. Maruo K, Ha Y, Inoue S, et al. Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity[J]. *Spine*, 2013, 38(23): E1469-1476.
17. Lau D, Clark AJ, Scheer JK, et al. Proximal junctional kyphosis and failure after spinal deformity surgery: a systematic review of the literature as a background to classification development[J]. *Spine*, 2014, 39(25): 2093-2102.
18. Inoue S, Khashan M, Fujimori T, et al. Analysis of mechanical failure associated with reoperation in spinal fusion to the sacrum in adult spinal deformity[J]. *J Orthop Sci*, 2015, 20(4): 609-616.
19. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusion: incidence and risk factor analysis of 410 cases [J]. *Spine*, 2007, 32(24): 2731-2738.
20. O'Leary PT, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Risk factors and outcomes for catastrophic failures at the top of long pedicle screw constructs: a matched cohort analysis performed at a single center[J]. *Spine*, 2009, 34(20): 2134-2139.
21. Zhu Y, Wang K, Wang B, et al. Selection of proximal fusion level for degenerative scoliosis and the entailing proximal-related late complications[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(4): 5731-5738.
22. Annis P, Lawrence BD, Spiker WR, et al. Predictive factors for acute proximal junctional failure after adult deformity surgery with upper instrumented vertebrae in the thoracolumbar spine[J]. *Evid Based Spine Care J*, 2014, 5(2): 160-162.
23. Kim HJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have high-

- er postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections[J]. *Spine*, 2014, 39(9): E576-580.
24. 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): 276-295.
25. Rhee JM, Bridwell KH, Won DS, et al. Sagittal plane analysis of adolescent idiopathic scoliosis: the effect of anterior versus posterior instrumentation [J]. *Spine*, 2002, 27 (21): 2350-2356.
26. Hollenbeck SM, Glattes RC, Asher MA, et al. The prevalence of increased proximal junctional flexion following posterior instrumentation and arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2008, 33(15): 1675-1681.
27. Cammarata M, Aubin CÉ, Wang X, et al. Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables[J]. *Spine*, 2014, 39(8): E500-507.
28. Cahill PJ, Wang W, Asghar J, et al. The use of a transition rod may prevent proximal junctional kyphosis in the thoracic spine after scoliosis surgery: a finite element analysis [J]. *Spine*, 2012, 37(12): E687-695.
29. Hart RA, Prendergast MA, Roberts WG, et al. Proximal junctional acute collapse cranial to multi-level lumbar fusion: a cost analysis of prophylactic vertebral augmentation [J]. *Spine J*, 2008, 8(6): 875-881.
30. Kebaish KM, Martin CT, O'Brien JR, et al. Use of vertebroplasty to prevent proximal junctional fractures in adult deformity surgery: a biomechanical cadaveric study[J]. *Spine J*, 2013, 13(12): 1897-1903.
31. Theologis AA, Burch S. Prevention of acute proximal junctional fractures after long thoracolumbar posterior fusions for adult spinal deformity using 2-level cement augmentation at the upper instrumented vertebra and the vertebra 1 level proximal to the upper instrumented vertebra[J]. *Spine*, 2015, 40(19): 1516-1526.
32. Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features[J]. *Spine*, 2010, 35(2): 138-145.
33. Verlaan JJ, Oner FC, Slootweg PJ, et al. Histologic changes after vertebroplasty[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86(6): 1230-1238.
34. Hassanzadeh HGS, Jain A, El Dafrawy MH, et al. Type of anchor at the proximal fusion level has a significant effect on the incidence of proximal junctional kyphosis and outcome in adults after long posterior spinal fusion[J]. *Spine Deformity*, 2013, 1(4): 299-305.
35. Thawrani DP, Glos DL, Coombs MT, et al. Transverse process hooks at upper instrumented vertebra provide more gradual motion transition than pedicle screws[J]. *Spine*, 2014, 39(14): E826-32.
36. Sandquist L, Carr D, Tong D, et al. Preventing proximal junctional failure in long segmental instrumented cases of adult degenerative scoliosis using a multilevel stabilization screw technique[J]. *Surg Neurol Int*, 2015, 6: 112.
37. Mummaneni PV, Park P, Fu KM, et al. Does minimally invasive percutaneous posterior instrumentation reduce risk of proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity surgery? a propensity-matched cohort analysis [J]. *Neurosurgery*, 2016, 78(1): 101-108.
38. Yagi M, Rahm M, Gaines R, et al. Characterization and surgical outcomes of proximal junctional failure in surgically treated adult spine deformity patients[J]. *Spine*, 2014, 39(10): E607-614.
39. Hart RBS, Burton DC, Shaffrey CI, et al. Proximal junctional failure(PJF) classification and severity scale: development and validation of a standardized system[R]. 2013 Annual Meeting of the AANS/CNS Section on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves. Phoenix, Arizona, 2013.
40. Lau D, Funao H, Clark AJ, et al. The clinical correlation of the Hart-ISSG proximal junctional kyphosis severity scale with health related quality of life outcomes and need for revision surgery[J]. *Spine*, 2015, Epub ahead of print.

(收稿日期:2015-12-04 修回日期:2016-01-11)

(本文编辑 卢庆霞)