

## 退行性脊柱侧凸内固定术后外科相关并发症的研究进展

Advances in the study of surgical complications  
after fixation of degenerative scoliosis

林友禧, 沈建雄, 戎天华, 谭海宁, 焦洋

(中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院骨科 100730 北京)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.10.09

中图分类号: R687.3, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2019)-10-0925-07

成人退行性脊柱侧凸 (adult degenerative scoliosis, ADS) 属于成人脊柱畸形 (adult spinal deformity, ASD) 的一种, 特指发生于骨骼成熟以后的原发性脊柱侧凸, 冠状面上 Cobb 角大于  $10^{\circ}$ 。因其多见于 40 岁以上人群, 且常见于腰椎, 故又被称为老年性腰椎侧凸 (de novo lumbar scoliosis, DLS)。据统计, 40 岁以上的亚洲人群中 ADS 的患病率约为 9.1%<sup>[1]</sup>, 并且随着年龄增长, 患病率逐渐升高。ADS 最早出现的病理生理变化是椎间盘的退变及不对称塌陷, 而小关节为主的后方结构退变使其逐渐加重。患者通常表现为腰痛、下肢放射痛和间歇性跛行症状。研究显示, 对比保守治疗, 手术治疗可显著改善患者症状, 提高生活质量。ADS 手术治疗的主要目的是减轻疼痛、改善功能、稳定脊柱, 防止畸形进展, 从而改善和提高生活质量。近期国际脊柱研究团队 (International Spine Study Group, ISSG) 的多中心回顾性研究指出, 尽管近年来 ADS 术后并发症的发生率有下降趋势, 但其发生率仍然较高, 总体发生率在 2015~2016 年治疗的患者达 62.6%<sup>[2]</sup>。因此针对 ADS 术后并发症的危险因素及诊疗方法的研究具有重要意义。笔者主要就 ADS 内固定术后外科相关并发症的研究进展综述如下。

## 1 近期外科并发症

ADS 近期并发症指发生于术中或术后 6 周以内的并发症<sup>[3]</sup>, 主要包括内科相关并发症和外科相关并发症。前者主要包括呼吸道相关并发症 (肺部感染、再插管、肺栓塞)、心肌梗死、泌尿系感染、败血症、下肢深静脉血栓形成等, 后者主要为神经损害、硬膜损伤、手术部位感染等。部分近期外科并发症需再次手术处理, 导致患者住院时间延长及医疗费用增加。

### 1.1 神经损害

医源性神经损害是脊柱手术最重要的并发症之一,

也是术后早期进行翻修手术的最主要原因, 并给患者带来住院时间延长、费用增加等问题<sup>[4]</sup>。Hamilton 等<sup>[5]</sup>回顾分析脊柱侧凸研究协会 (Scoliosis Research Society, SRS) 10 万余例接受脊柱手术的患者, 其中 1.84% 出现术后新发神经损害, 而在 2533 例诊断为 ADS 的患者中出现新发神经损害的比例为 2.49%; 损害部位在神经根者占 85.7%、脊髓 7.9%、马尾 6.3%; 大部分新发神经损害可恢复或部分恢复, 但 1.7% 的神经根损害、6.1% 的脊髓损伤及 25% 的马尾综合征患者症状无法改善。Kang 等<sup>[6]</sup>对 141 例 ADS 患者的前瞻性研究发现, 术后新发神经损害发生率为 9.9%, 并指出其对患者报告结局有显著负面影响。在最近全球复杂 ASD 患者的多中心前瞻性研究 (Scoli-RISK-1 队列) 中, 23% (61/265) 的患者出现术后下肢运动评分下降, 其中 74% 在 2 年随访时完全恢复<sup>[7]</sup>。另一项针对该队列的研究发现, 高龄、冠状面严重畸形以及腰段脊柱截骨术为神经损害的主要危险因素<sup>[8]</sup>。Cramer 等<sup>[9]</sup>的研究指出, 神经损害发生的主要原因包括: 硬膜外血肿 (38.1%)、减压不充分 (23.8%)、血管损伤 (19.0%)、神经的牵拉或直接损伤 (占 9.5%)。此外, 椎弓根螺钉、椎弓根钩、椎板下钢丝或椎间融合器等内固定器械置入位置不当或产生移位, 也是导致神经损害的原因。

对于神经损害主要以预防为主。首先, ADS 患者脊柱旋转与退行性变增加了内固定置入的难度。Makino 等<sup>[10]</sup>的研究指出, 退行性脊柱侧凸的患者腰椎凹侧椎弓根的高度及宽度均较凸侧明显缩小。术中透视、CT 导航下椎弓根螺钉置入等手段有助于顺利置钉。其次, 对于术前三受压迫或牵拉的神经, 动脉压过低 (平均动脉压  $<60\text{mmHg}$ ) 可能加重其缺血性损伤, 因此术中应保证充足的灌注。第三, 过快或过度的矫形则可能增加神经的张力, 因此在矫形过程中应缓慢、适度。最后, 脊髓监测有助于神经损害的及时发现, 故术中应密切注意诱发电位的变化<sup>[11]</sup>。术后应密切监测患者下肢肌力、感觉及反射变化, 若结合临床表现考虑为神经损害, 应完善脊柱 CT、CT 脊髓造影或 MRI 等以明确病因。对于硬膜外血肿、内固定位置不当或移位引起神经损害者, 尽早手术探查及对因治疗有助于避免损害继续

第一作者简介: 男 (1990-), 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)69152800 E-mail: linuc5@126.com

通讯作者: 沈建雄 E-mail: sjxpumch@163.com

加重及症状的改善。

### 1.2 硬膜损伤和脑脊液漏

硬膜损伤在 ADS 患者手术过程中的发生率约为 2.2%~10.8%<sup>[12,13]</sup>,并可能在术后引起脑脊液漏、脑膜炎、蛛网膜炎、椎管内出血、假性脊膜膨出等,导致患者住院时间延长及住院费用增加。其发生的原因主要为硬膜粘连、黄韧带骨化、术中操作不当等<sup>[13]</sup>。研究发现,硬膜损伤危险因素包括有脊柱手术史、术中减压、后路椎间融合、翻修手术等;术前矢状面失衡或严重畸形,如脊柱 X 线提示腰前凸消失、骨盆入射角 (pelvic incidence, PI) 与腰前凸不匹配、躯干严重前倾、T1-骨盆角过大等,常需进行截骨矫形 (如经椎弓根截骨、全椎体切除),也更容易发生硬膜损伤<sup>[13,14]</sup>。

硬膜损伤的处理取决于损伤位置、缺损大小及蛛网膜情况。若蛛网膜完整,可予明胶海绵覆盖并原位留置;若蛛网膜破损神经根露出,应予还纳后修补硬膜;若破损范围较大,可利用硬膜补片、移植筋膜,或其他同种异体移植植物协助修补<sup>[15]</sup>。关闭切口时应留置筋膜下引流管,但也有研究指出留置引流可能导致硬脊膜瘘<sup>[16]</sup>。术后患者应去枕卧床,预防性抗感染,并应密切关注神志、体温、脑膜刺激征,监测白细胞、血沉、C 反应蛋白、降钙素原 (procalcitonin, PCT) 等指标。

### 1.3 手术部位感染 (surgical site infections, SSI)

在应用内固定的脊柱手术中,术后 SSI 发生率约为 1.9%~4.4%<sup>[17]</sup>。发生在筋膜层以下的切口感染称为深部 SSI,筋膜层以上包括皮肤和皮下组织的感染称为浅表 SSI。SSI 导致住院时间延长,或再次入院甚至再次手术,给患者带来沉重的身心负担和经济压力<sup>[17,18]</sup>。据统计,ASD 患者术后再次入院的原因中 14.5% 为 SSI,而非计划再次手术原因中 SSI 占 45.6%<sup>[19]</sup>。Abdul-Jabbar 等<sup>[18]</sup>对 239 例脊柱术后 SSI 的患者进行调查,发现 84.9% 的感染伤口培养出革兰阳性菌 (金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌为主),但也有 41.4% 为多重微生物感染。与手术相关的危险因素包括抗生素剂量不足、手术时间长、固定节段长、固定到骨盆、输血等<sup>[18-20]</sup>。另一些危险因素为相对可控,包括肥胖 (BMI>30~35kg/m<sup>2</sup>)、吸烟、糖尿病以及耐甲氧西林的金葡菌定植等<sup>[17]</sup>。

北美脊柱协会 (North American Spine Society, NASS) 2013 年发布的指南<sup>[21]</sup>指出,预防性应用抗生素可降低脊柱手术患者感染率。抗生素剂量及给药途径应结合患者危险因素、过敏史、手术节段长度和复杂性、细菌耐药性等综合考虑。切开皮肤前 30min 单次给药,并在手术开始后 4h 进行追加,使抗生素在血液和组织中维持较高的浓度,有助于减低 SSI 风险 (B 级)。预防性抗菌药物应选用覆盖革兰阳性球菌和革兰阴性杆菌的广谱抗生素,如一代或二代头孢菌素,对  $\beta$ -内酰胺类抗生素 (青霉素) 过敏的患者可选用克林霉素替代。万古霉素粉末的局部应用目前仍存在争议,虽然近年来大宗病例对照研究指出其对于预防伤口金葡菌感染有显著效果,且不会促进局部耐药菌产

生;但也有前瞻性随机对照临床研究证实其并不能减少脊柱术后 SSI 的发生,万古霉素的此种用法并未被 FDA 批准<sup>[22,23]</sup>。NASS 指南将其作为 B 级证据推荐在有合并症的脊柱手术患者中预防性使用<sup>[21]</sup>,并未说明具体用法和用量。对于以内固定重建脊柱稳定性的患者来说,深部 SSI 的发生不容乐观。临床医生应熟悉工作医院院内感染菌谱及耐药性,手术过程中严格无菌操作,对于怀疑深部 SSI 的患者,尽早明确致病菌,根据药敏结果使用抗生素,必要时清创,有助于在保留内固定的前提下彻底治疗感染<sup>[24]</sup>。

## 2 远期外科并发症

远期并发症指发生于术后 6 周以后的并发症,主要包括影像学相关并发症和内固定相关并发症。前者包括近端交界性后凸或失败、冠状面失衡、假关节、邻近节段退变或病变等;后者包括断钉、断棒、脱钉、脱钩、椎间融合器移位或下沉、内固定突出等。部分远期并发症引起疼痛或神经损害,影响患者生活质量并导致功能障碍,需再入院甚至再手术处理。

### 2.1 近端交界性后凸 (proximal junctional kyphosis, PJK)

关于 PJK 的定义目前普遍认同的是 Glattes 等<sup>[25]</sup>应用的标准,即上端固定椎 (uppermost instrumented vertebra, UIV) 及其上两个椎体 (UIV+2) 的后凸角 >10° 并且较术前增加至少 10°。文献报道 ASD 患者脊柱融合术后 PJK 的发生率为 17%~39%<sup>[25,26]</sup>。PJK 的发生为多因素导致,主要危险因素分为:(1)患者相关因素,包括高龄 (>55 岁)<sup>[26,27]</sup>、术前严重矢状面失衡<sup>[28-30]</sup>;手术相关因素,包括过度矫形<sup>[27]</sup>、联合前后路脊柱融合<sup>[26,28,30,31]</sup>、融合延长到骶骨或骨盆<sup>[28,30]</sup>、后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 和关节突关节破坏<sup>[27,32,33]</sup>。研究指出,UIV 的位置位于上胸段或下胸段,融合节段过长或过短,均与 PJK 的发生有关<sup>[31,32]</sup>。而 UIV 内固定种类的调整是否能降低 PJK 发生,目前尚无定论<sup>[34,35]</sup>。

ADS 手术方案设计和术中操作对预防 PJK 发生尤为重要。主要预防措施包括:脊柱后方软组织的保护,减少对棘上韧带、棘间韧带、上方关节突和关节囊的破坏;内固定棒近端预弯后凸,减少螺钉对 UIV 的拔出力;UIV 采用椎板钩或横突钩固定;重建矢状面平衡并注意脊柱-骨盆参数校正<sup>[36]</sup>。有研究指出,对 UIV 和 UIV+1 进行椎体成形术能减少融合节段近端椎体骨折和 PJK 的发生<sup>[37]</sup>。近年来,有学者尝试通过 UIV 附近加强固定来预防 PJK 的发生。Buell 等<sup>[38]</sup>在 UIV+1 将聚乙烯胶带穿过棘突根部中间钻孔,通过横联连接于钛棒进行拴系,对 120 例 ASD 患者大于 1 年随访证实,拴系可减低 PJK 发生率<sup>[39]</sup>。Safae 等<sup>[40]</sup>则以两条钢丝通过 UIV 及其上下一个椎体棘突根部钻孔并捆绑的方式进行韧带加强,通过与历史对照数据进行对比,发现韧带增强有助于减少 PJK 的发生,并在随后对 195 例 ASD 患者的研究中指出该方法具有较好的成本效益<sup>[41]</sup>。但也有生物力学研究表明,棘上/棘间韧带的加强无

法降低近端交接区的屈曲应力负荷,也没有减小该区域的活动度。

PJK 为影像学表现,不一定合并临床症状,有研究指出 PJK 的出现并不影响患者生存质量<sup>[42]</sup>。目前大部分学者建议对无症状 PJK 患者密切随访,若出现严重疼痛、神经损害、内固定失败、矢状面失衡等问题,可能影响生活质量,则考虑进展为 PJF<sup>[28]</sup>。

## 2.2 近端交界性失败(proximal junctional failure, PJF)

Hart 等<sup>[43]</sup>指出 PJK 基础上如合并有“UIV 或 UIV+1 骨折、后方骨性或韧带结构破坏、内固定拔出”其中一项则为 PJF。文献报道 PJF 的发生率在 ASD 患者术后约为 1.4%~5.6%<sup>[44,45]</sup>。Yagi 等<sup>[44]</sup>的研究发现,ASD 术后出现 PJF 的患者,60.9%(14/23) 为 ADS。Boachie-Adjei 团队<sup>[28]</sup>在 2011 年提出 ASD 患者术后 PJK/PJF 的分型,按椎间盘与韧带病变、椎体楔形变、内置入物/骨交界处病变分为 1、2、3 型,按 PJK 角度 10°~14°、15°~19°、≥20°分为 A、B、C 三型,并在 2014 年进行改良,加入 UIV 以上椎体滑脱作为修正因子。但该分型主要用于探究危险因素,对治疗方案选择、预后判断的指导作用有限。Lau 等<sup>[46]</sup>在 2014 年提出了 Hart-ISSG 近端交界性后凸严重程度量表(proximal junctional kyphosis severity scale, PJKSS),包含不同权重的 6 个参数:神经损害、局部疼痛、内固定问题、后凸角变化/PLC 完整性、UIV/UIV+1 骨折、UIV 节段,并提出当评分 ≥7 分时建议行翻修手术。该量表评分与患者健康相关生活质量显著关联,有较好的可靠性和重复性,为 PJK/PJF 的治疗提供了较好的临床指导<sup>[46]</sup>。

PJF 影响患者生活质量和功能状态,通常需要翻修手术处理。翻修时通常将 UIV 向上延伸至稳定节段,但若合并上位节段柔韧性差、后凸严重、脊髓前方受压等情况,则可能需要进行截骨甚至添加前柱支撑,以重建矢状面平衡。需要注意的是,翻修术后可能再次发生 PJK/PJF。Yagi 等<sup>[44]</sup>的研究指出,48%(11/23) 的 PJF 患者翻修术后在新 UIV 再次出现 PJK/PJF,其中 9 例再次进行翻修。因此术者在翻修术前方案设计和术中操作必须采取措施,预防其再次发生。

## 2.3 远端交界性失败(distal junctional failure, DJF)

关于 ASD 术后 DJF 的研究较少,其确切定义目前尚无共识。临床症状方面,患者常表现为术后持续性腰痛及躯干前倾。影像学方面,Arlet 等<sup>[47]</sup>将 ASD 术后 DJF 分为六种模式:①腰前凸逐渐减小,椎间盘高度随退变逐渐减低;②LIV 与 LIV+1 之间椎间盘楔形变;③LIV 椎体骨折;④LIV+1 骨质疏松性骨折、骶骨不全骨折,或 LIV 峡部裂;⑤LIV 内固定失败,常见于 L5;⑥LIV 与 LIV+1 之间椎管狭窄或节段性不稳。Kwon 等<sup>[48]</sup>总结 13 例腰椎术后 DJF 患者的临床资料,发现下端固定椎(lowermost instrumented vertebra, LIV)内固定失败是远端交界区失代偿的最常见模式,其原因主要是螺钉-骨质界面松动,影像学表现为 LIV 椎弓根螺钉尖端向下终板移位或螺钉拔出,与骨性结

构交界面产生后凸。这种后凸常发生在 L5,并伴随 L4/5 椎间融合器下沉、L5/S1 间隙退变及移位、L5 椎弓根骨折/峡部裂。在长节段融合且远端固定于骨盆的 ASD 患者中,Cho 等<sup>[49]</sup>对 190 例患者的随访发现其中 67 例(34.3%)发生远端内固定失败。作者将其分为主要并发症与次要并发症,前者包括 L4~S1 间断棒、S1 螺钉失败(断裂、松动或拔出)、骶骨螺钉突出,需行翻修手术,发生率为 11.9%;后者包括 S1-骶骨连接棒断裂及骶骨螺钉失败。DJF 的危险因素包括骨质疏松症、髋关节骨关节炎、术前高 PI、翻修手术,以及术后未能重建腰前凸和矢状面平衡<sup>[48,50]</sup>。DJF 主要以预防为主,对于有骨质疏松的患者在术前应积极干预,手术设计需考虑脊柱-骨盆矢状面参数及各椎间隙退变情况,确定合理的 LIV。对于发生 DJF 尤其是主要并发症的患者,治疗上主要以翻修手术为主,术中多行经椎弓根截骨(pedicle subtraction osteotomy, PSO)以调整矢状面参数,并将内固定远端延长至骶骨/骨盆。

## 2.4 冠状面失衡

冠状面失衡指站立位全脊柱正位 X 线上经 C7 铅垂线与骶骨中垂线间的距离超过 20mm<sup>[51]</sup>。文献报道术后 2~5 年随访其发生率约为 2.7%~12.3%<sup>[4,52]</sup>。其发生的危险因素主要为术前严重冠状面失衡(偏移>4cm)、骨质疏松,以及既往有腰椎手术史的患者进行前路手术<sup>[52]</sup>。Lewis 等<sup>[53]</sup>回顾性分析了 47 例 ASD 患者的影像学资料,发现术后失衡的患者 L4、L5 冠状面倾斜角均较大,并提出 ASD 患者进行矫形应将 L4、L5 维持于冠状面上水平。Bao 等<sup>[54]</sup>将 ADS 冠状面失衡分为 3 型,A 型为失衡<3cm, B 型为偏移>3cm 且 C7 铅垂线偏向凹侧, C 型为偏移>3cm 且 C7 铅垂线偏向凸侧,通过对患者进行 1 年随访,发现 C 型 ADS 患者术后更易发生冠状面失衡,并提出应在侧弯凸侧进行松解、远端进行椎间融合,从凹侧进行顶椎截骨后采用平移技术还原冠状位平衡。Zhang 等<sup>[55]</sup>的研究则发现 C 型 ADS 容易术后即刻出现冠状面失衡,且术后躯干偏移的程度与侧凸 Cobb 角的改善呈负相关。

冠状面失衡的患者临床表现为躯干向一侧偏移,伴骨盆倾斜和步态紊乱,甚至可能出现肋骨和髂嵴撞击。患者行走时仅能采取对侧屈髋屈膝代偿的姿势代偿,严重影响生活质量<sup>[51]</sup>。冠状面失衡应以预防为主,在初次手术时合理设计手术节段、手术入路和截骨方式,改善患者骨密度等。Obeid 等<sup>[51]</sup>提出一项用于术前冠状面失衡的分型,按 T1 铅垂线落在主弯凹侧和凸侧分 1 型、2 型,并包含三个校正因子:主弯柔韧性、腰骶段活动度、腰骶段是否存在退变。对 1 型强调对主弯顶椎区域的矫形,2 型则强调对腰骶交接区的矫形。作者建议在 1 型中,对胸弯(顶椎在 T12 以上)或柔韧性差的胸腰/腰弯(顶椎在 T12~L4)需进行三柱截骨;而在 2 型患者中对于主弯为胸腰/腰弯的,若 L4~S1 无退变且柔韧性好,则远端融合椎可终止于 L4,但若 L4~S1 退变或柔韧性差,则应行三柱截骨或在腰骶交界区行广泛松解。Makhni 等<sup>[56]</sup>在 1 例个案报道中提出“撑脚架

棒(kickstand rod)技术,在躯干偏向侧添加另一根固定棒并进行撑开,其一端连接新置入的髂骨钉,另一端通过多米诺连接于腰骶段固定棒,随访 6 个月,患者冠状面矢状面力线均维持良好。

## 2.5 假关节

假关节是指脊柱融合术后 1 年,植骨节段仍未达到坚固融合而出现局部异常活动,常引起内固定失败、脊柱失稳、疼痛等,是翻修手术的主要原因之一。研究显示,近年来手术治疗的 ASD 患者中其假关节的发生率约为 2.0%~6.3%<sup>[4,57]</sup>;而在长节段固定融合至 S1 的 ASD 患者,假关节的发生率高达 17.2%~24.0%<sup>[58]</sup>。发生假关节的患者 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)、健康调查 12 条简表(12-item short form survey, SF-12)、健康相关生命质量(health related quality of life, HRQOL)评分明显下降,提示其对治疗效果和患者生活质量带来不利影响<sup>[59]</sup>。与患者相关的危险因素包括高龄、吸烟史;术前影像学相关危险因素包括胸腰段后凸 $\geq 20^\circ$ 、骨盆倾斜角 $\geq 26^\circ$ ;手术相关危险因素包括固定节段 $\geq 12$ 个、融合至骶骨、PSO、术后 8 周 SVA $\geq 5\text{cm}$ <sup>[57,60]</sup>。假关节发生与植骨材料有密切联系。自体髂骨移植(iliac crest bone graft, ICBG)作为植骨材料的金标准,假关节发生率为 0~10%,但有血管神经损伤、血肿、感染等风险;其他植骨材料也有一定的假关节发生率,骨形成蛋白(bone morphogenetic protein, rhBMP)约为 7.7%,相比于 ICBG 可使患者获得更好的融合率和 ODI 评分<sup>[61]</sup>,而去矿化骨基质(demineralized bone matrix, DMB)为 3.2%~14%<sup>[62]</sup>。

约半数假关节患者并不出现明显临床症状,因此常需结合影像学表现诊断。目前临床常用的脊柱正侧位 X 线可通过植骨界面不透明或桥接骨小梁判断融合,也有学者提出用脊柱前屈后伸位 X 线测量椎体间角度变化,但由于测量误差较大及观察者间一致性低,这些方法对假关节的发现并不敏感,且假阴性率较高。CT 对于假关节的发现具有较高的敏感性和特异性,但其放射剂量约为 X 线平片的 200~300 倍,费用约为其 5~7 倍,因此对于无症状患者很少常规使用<sup>[63]</sup>。有研究报道应用 PET/CT 进行诊断,发现 ODI 评分高的患者终板  $^{18}\text{F}$  氟化物活性显著增高,提示 PET/CT 可以精确定位假关节处终板的应力反应<sup>[64]</sup>。

## 2.6 内固定相关并发症(implant-related complications, IRC)

IRC 包括内固定断裂、位置不佳、移位或脱位引起疼痛等,是 ADS 术后翻修的主要原因之一。Soroceanu 等<sup>[65]</sup>研究 246 例手术治疗的 ASD 患者,发现 13.8%(34/246)的患者出现 IRC;ISSG 的一项多中心前瞻性研究发现 27.8%(81/291)的 ASD 患者术后发生 IRC,其中 59.7%(40/67)需要翻修<sup>[6]</sup>。IRC 的患者相关危险因素主要为高龄、高 BMI、低骨密度、脊柱手术史、术前脊柱-骨盆参数偏离正常<sup>[66]</sup>;手术相关危险因素包括较大的脊柱-骨盆参数校正以及 PSO<sup>[4,66]</sup>。断棒是最常见的 IRC 之一,约占其中半数,在 ASD

患者中总发生率约为 6.5%~14.9%<sup>[4,65-67]</sup>,且多发生在 ASD 术后 24 个月以内<sup>[66]</sup>。Smith 等<sup>[66]</sup>的一项前瞻性研究发现 PSO 组(11/18)断棒发生率明显高于非 PSO 组(39/182),且多发生于截骨区域应力集中处。融合范围的正确选择、确切的骨融合、必要时使用加强棒均有助于减少术后断棒的发生率<sup>[68]</sup>。脱钉和螺钉移位约占 IRC 的 10.8%~11.8%<sup>[4]</sup>,其发生率与骨密度呈显著负相关关联<sup>[69]</sup>。椎弓根螺钉的轴向抗拔出力来源于骨-螺钉间摩擦力,而椎体的骨密度被证实是螺钉抗拔出力的最好预测指标<sup>[70]</sup>。研究表明,骨密度越低的患者,螺钉拔出、旋入/出力矩及疲劳稳定性越小<sup>[69]</sup>。对于 X 线及 CT 结果提示骨量降低的 ADS 患者,术前应行双能 X 线吸收检查测定骨密度,如诊断为骨质疏松则应明确骨量下降的原因并对因治疗,提高骨密度。术后发生 IRC 的患者并非均有症状,约有 40%的患者为术后复查偶然发现<sup>[66,67]</sup>。部分患者疼痛明显影响生活质量及功能<sup>[11,67]</sup>,或有神经损害,此时应行翻修手术。

## 3 结语

随着老龄人口比例的逐渐上升,ADS 手术量仍将继续增长。SRS、ISSG 等的研究使人们对 ADS 术后近期和远期并发症的发生发展有了新认识。为了降低 ADS 术中和术后并发症发生率和医疗费用,提高治疗效果及患者生活质量,需要更多大规模、多中心、前瞻性设计和标准化的临床研究,以深入探讨各类并发症的危险因素和制订更切实有效的防治策略。

## 4 参考文献

- de Vries AA, Mullender MG, Pluymakers WJ, et al. Spinal decompensation in degenerative lumbar scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(9): 1540-1544.
- Liu G, Tan JH, Ee G, et al. Morphology and prevalence study of lumbar scoliosis in 7,075 multiracial asian adults [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(15): 1307-1312.
- Daniels AH, Reid D, Tran SN, et al. Evolution in surgical approach, complications, and outcomes in an adult spinal deformity surgery multicenter study group patient population [J]. *Spine Deform*, 2019, 7(3): 481-488.
- Smith JS, Klineberg E, Lafage V, et al. Prospective multicenter assessment of perioperative and minimum 2-year postoperative complication rates associated with adult spinal deformity surgery[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 25(1): 1-14.
- Hamilton DK, Smith JS, Sansur CA, et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108, 419 procedures: a report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2011, 36(15): 1218-1228.
- Kang DG, Baldus C, Glassman SD, et al. Neurologic deficits have a negative impact on patient-related outcomes in primary presentation adult symptomatic lumbar scoliosis surgical

- treatment at one-year follow-up [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(7): 479-489.
7. Kato S, Fehlings MG, Lewis SJ, et al. An analysis of the incidence and outcomes of major versus minor neurological decline after complex adult spinal deformity surgery: a subanalysis of scoli-RISK-1 study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(13): 905-912.
  8. Fehlings MG, Kato S, Lenke LG, et al. Incidence and risk factors of postoperative neurologic decline after complex adult spinal deformity surgery: results of the Scoli-RISK-1 study[J]. *Spine J*, 2018, 18(10): 1733-1740.
  9. Cramer DE, Maher PC, Pettigrew DB, et al. Major neurologic deficit immediately after adult spinal surgery: incidence and etiology over 10 years at a single training institution [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(8): 565-570.
  10. Makino T, Kaito T, Fujiwara H, et al. Morphometric analysis using multiplanar reconstructed CT of the lumbar pedicle in patients with degenerative lumbar scoliosis characterized by a Cobb angle of 30 degrees or greater[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 17(3): 256-262.
  11. Yoshida G, Ushirozako H, Kobayashi S, et al. Intraoperative neuromonitoring during adult spinal deformity surgery: alert-positive cases for various surgical procedures [J]. *Spine Deform*, 2019, 7(1): 132-140.
  12. Williams BJ, Sansur CA, Smith JS, et al. Incidence of unintended durotomy in spine surgery based on 108,478 cases[J]. *Neurosurgery*, 2011, 68(1): 117-123, 123-124.
  13. Iyer S, Klineberg EO, Zebala LP, et al. Dural tears in adult deformity surgery: incidence, risk factors, and outcomes[J]. *Global Spine J*, 2018, 8(1): 25-31.
  14. Ishikura H, Ogihara S, Oka H, et al. Risk factors for incidental durotomy during posterior open spine surgery for degenerative diseases in adults: a multicenter observational study[J]. *PLoS One*, 2017, 12(11): e188038.
  15. Prasad GL. Incidence, management, and implications of inadvertent dural tears in lumbar spine surgeries [J]. *World Neurosurg*, 2017, 99: 803-804.
  16. Grannum S, Patel MS, Attar F, et al. Dural tears in primary decompressive lumbar surgery: is primary repair necessary for a good outcome[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(4): 904-908.
  17. Boody BS, Jenkins TJ, Hashmi SZ, et al. Surgical site infections in spinal surgery[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(10): 352-362.
  18. Abdul-Jabbar A, Berven SH, Hu SS, et al. Surgical site infections in spine surgery: identification of microbiologic and surgical characteristics in 239 cases[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(22): E1425-1431.
  19. Zhu F, Bao H, Liu Z, et al. Unanticipated revision surgery in adult spinal deformity: an experience with 815 cases at one institution[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(26 Spec No.): B36-44.
  20. Shen J, Liang J, Yu H, et al. Risk factors for delayed infections after spinal fusion and instrumentation in patients with scoliosis: clinical article[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(4): 648-652.
  21. Shaffer WO, Baisden JL, Fernand R, et al. An evidence-based clinical guideline for antibiotic prophylaxis in spine surgery[J]. *Spine J*, 2013, 13(10): 1387-1392.
  22. Tubaki VR, Rajasekaran S, Shetty AP. Effects of using intravenous antibiotic only versus local intrawound vancomycin antibiotic powder application in addition to intravenous antibiotics on postoperative infection in spine surgery in 907 patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(25): 2149-2155.
  23. Chotai S, Wright PW, Hale AT, et al. Does intrawound vancomycin application during spine surgery create vancomycin-resistant organism[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(5): 746-753.
  24. Ahmed R, Greenlee JD, Traynelis VC. Preservation of spinal instrumentation after development of postoperative bacterial infections in patients undergoing spinal arthrodesis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(6): 299-302.
  25. 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(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(14): 1643-1649.
  26. 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(Phila Pa 1976)*, 2008, 33(20): 2179-2184.
  27. Kim HJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(9): E576-580.
  28. Yagi M, Akilah KB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(1): E60-68.
  29. 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.
  30. 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(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(17): 1479-1489.
  31. Kim HJ, Yagi M, Nyugen J, et al. Combined anterior-posterior surgery is the most important risk factor for developing proximal junctional kyphosis in idiopathic scoliosis [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(6): 1633-1639.
  32. 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.
33. 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(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(23): E1469-1476.
  34. 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(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(22 Suppl): S144-164.
  35. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum 5-year follow-up[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(18): 2045-2050.
  36. 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.
  37. Raman T, Miller E, Martin CT, et al. The effect of prophylactic vertebroplasty on the incidence of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following posterior spinal fusion in adult spinal deformity: a 5-year follow-up study[J]. *Spine J*, 2017, 17(10): 1489-1498.
  38. Buell TJ, Buchholz AL, Quinn JC, et al. A pilot study on posterior polyethylene tethers to prevent proximal junctional kyphosis after multilevel spinal instrumentation for adult spinal deformity[J]. *Oper Neurosurg(Hagerstown)*, 2019, 16(2): 256-266.
  39. Buell TJ, Chen CJ, Quinn JC, et al. Alignment risk factors for proximal junctional kyphosis and the effect of lower thoracic junctional tethers for adult spinal deformity [J]. *World Neurosurg*, 2019, 121: e96-103.
  40. Safaee MM, Deviren V, Dalle OC, et al. Ligament augmentation for prevention of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure in adult spinal deformity[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 28(5): 512-519.
  41. Safaee MM, Dalle OC, Zygorakis CC, et al. The unreimbursed costs of preventing revision surgery in adult spinal deformity: analysis of cost-effectiveness of proximal junctional failure prevention with ligament augmentation[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(5): E13.
  42. Yasuda T, Hasegawa T, Yamato Y, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity with long spinal fusion from T9/T10 to the ilium[J]. *J Spine Surg*, 2017, 3(2): 204-211.
  43. 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.
  44. Yagi M, Rahm M, Gaines R, et al. Characterization and surgical outcomes of proximal junctional failure in surgically treated patients with adult spinal deformity[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(10): E607-614.
  45. 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(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(12): 1008-1015.
  46. 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(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(25): 2093-2102.
  47. 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.
  48. 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(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(17): 1943-1951.
  49. 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(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(8): 765-770.
  50. Cho W, Mason JR, Smith JS, et al. Failure of lumbopelvic fixation after long construct fusions in patients with adult spinal deformity: clinical and radiographic risk factors: clinical article[J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 19(4): 445-453.
  51. Obeid I, Berjano P, Lamartina C, et al. Classification of coronal imbalance in adult scoliosis and spine deformity: a treatment-oriented guideline[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(1): 94-113.
  52. Ploumis A, Simpson AK, Cha TD, et al. Coronal spinal balance in adult spine deformity patients with long spinal fusions: a minimum 2- to 5-year follow-up study [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(9): 341-347.
  53. Lewis SJ, Keshen SG, Kato S, et al. Risk factors for postoperative coronal balance in adult spinal deformity surgery[J]. *Global Spine J*, 2018, 8(7): 690-697.
  54. Bao H, Yan P, Qiu Y, et al. Coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis: prevalence and influence on surgical decision-making for spinal osteotomy[J]. *Bone Joint J*, 2016, 98-B(9): 1227-1233.
  55. Zhang Z, Song K, Wu B, et al. Coronal imbalance in adult spinal deformity following posterior spinal fusion with instrument: a related parameters analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2019, 44(8): 550-557.
  56. Makhni MC, Cerpa M, Lin JD, et al. The "Kickstand Rod" technique for correction of coronal imbalance in patients with adult spinal deformity: theory and technical considerations[J]. *J Spine Surg*, 2018, 4(4): 798-802.
  57. How NE, Street JT, Dvorak MF, et al. Pseudarthrosis in adult and pediatric spinal deformity surgery: a systematic review of the literature and meta-analysis of incidence, characteristics, and risk factors[J]. *Neurosurg Rev*, 2019, 42

- (2): 319–336.
58. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Pseudarthrosis in long adult spinal deformity instrumentation and fusion to the sacrum: prevalence and risk factor analysis of 144 cases[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(20): 2329–2336.
59. Klineberg E, Gupta M, McCarthy I, et al. Detection of pseudarthrosis in adult spinal deformity: the use of health-related quality-of-life outcomes to predict pseudarthrosis[J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(8): 318–322.
60. Charosky S, Guigui P, Blamoutier A, et al. Complications and risk factors of primary adult scoliosis surgery: a multi-center study of 306 patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(8): 693–700.
61. Bodalia PN, Balaji V, Kaila R, et al. Effectiveness and safety of recombinant human bone morphogenetic protein-2 for adults with lumbar spine pseudarthrosis following spinal fusion surgery: a systematic review[J]. *Bone Joint Res*, 2016, 5(4): 145–152.
62. Kang J, An H, Hilibrand A, et al. Grafton and local bone have comparable outcomes to iliac crest bone in instrumented single-level lumbar fusions [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(12): 1083–1091.
63. Choudhri TF, Mummaneni PV, Dhall SS, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: radiographic assessment of fusion status[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(1): 23–30.
64. Peters M, Willems P, Weijers R, et al. Pseudarthrosis after lumbar spinal fusion: the role of <sup>18</sup>F-fluoride PET/CT[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 42(12): 1891–1898.
65. Soroceanu A, Diebo BG, Burton D, et al. Radiographical and implant-related complications in adult spinal deformity surgery: incidence, patient risk factors, and impact on health-related quality of life[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2015, 40(18): 1414–1421.
66. Smith JS, Shaffrey E, Klineberg E, et al. Prospective multi-center assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity [J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(6): 994–1003.
67. Hamilton DK, Buza JR, Passias P, et al. The Fate of patients with adult spinal deformity incurring rod fracture after thoracolumbar fusion[J]. *World Neurosurg*, 2017, 106: 905–911.
68. Lertudomphonwanit T, Kelly MP, Bridwell KH, et al. Rod fracture in adult spinal deformity surgery fused to the sacrum: prevalence, risk factors, and impact on health-related quality of life in 526 patients[J]. *Spine J*, 2018, 18(9): 1612–1624.
69. Krishnan V, Varghese V, Kumar GS. Comparative analysis of effect of density, insertion angle and reinsertion on pull-out strength of single and two pedicle screw constructs using synthetic bone model[J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(3): 414–421.
70. Jr Lehman RA, Kang DG, Wagner SC. Management of osteoporosis in spine surgery[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2015, 23(4): 253–263.
- (收稿日期:2019-04-22 末次修回日期:2019-07-09)  
(本文编辑 卢庆霞)