

强直性脊柱炎后凸畸形截骨矫形手术的研究进展

Advances in osteotomy for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis

杨晓曦, 范天奇, 陈光辉, 张保良, 曾 岩, 李危石, 陈仲强

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.04.10

中图分类号: R593.23, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-04-0347-08

强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)的发病率约为 0.1%~1.4%, 是以中轴脊柱关节韧带骨化为特征的慢性炎症性自身免疫性疾病^[1]。部分 AS 后期可进展为重度脊柱后凸畸形, 导致脊柱矢状位失衡以及水平视角受限, 影响呼吸及消化功能, 严重降低患者生活质量^[2,3]。在 AS 脊柱关节骨化过程中, 胸腰段最常受累, 但颈椎和上胸段也不可避免受影响, 传统物理治疗或矫形支具治疗效果有限, 往往需要通过手术截骨矫形以改善预后。AS 截骨矫形术可以有效重建和恢复胸腰椎后凸畸形的矢状位序列, 其主要目标在于阻止脊柱畸形的进展, 重建和恢复患者的水平视轴和矢状位整体平衡, 改善生活质量, 减轻腰部肌肉疲劳引起的疼痛, 改善呼吸和消化功能^[4,5]。笔者就 AS 后凸畸形截骨矫形手术的方式、不同截骨术的应用以及并发症预防等综述如下。

1 截骨手术的方式和选择

矢状位垂直偏移距离(sagittal vertical axis, SVA)是评估脊柱后凸畸形矢状位脊柱骨盆平衡的重要参数^[6]。AS 后凸畸形矢状位脊柱序列主要应用 C2-S1 SVA(C2 SVA)、C7-S1 SVA(C7 SVA)和 C2-7 SVA 作为评估矢状位平衡的重要标志。脊柱后凸畸形的后凸顶点通常为矢状位上距离 C2 椎体中心与骶骨上终板中心连线最远的椎体^[7]。Tang 等^[8]提出应将 C2 SVA 不超过 4cm 作为理想的重建目标。而外国学者^[9]认为还应使颌眉角(chin brow vertical angle, CBVA)>10°, 以避免向下视野明显受限而影响生活质量。一般认为, 截骨位置越靠上, 对 CBVA 影响越大, 对矢状位影响越小; 而截骨位置越靠下, 对矢状位影响越大, 对 CBVA 影响越小, 其 C2 SVA 和 C7 SVA 后移效果越明显^[10]。

为获得良好的手术效果, 需要了解每种截骨技术的矫形机制, 可获得的矫形效果, 矫形后的椎体稳定性, 矫形效果丢失的相关风险, 手术并发症的发生率以及截骨闭合后对神经、肌肉和血管组织结构的影响。临床上常用的脊柱截骨矫形手术主要包括: 经椎间关节楔形截骨(Smith-

Peterson osteotomy, SPO), 在 SPO 基础上进一步扩大截骨范围的 Ponte 截骨(Ponte osteotomy), 经椎弓根截骨(pedicle subtraction osteotomy, PSO), 部分/整体椎体切除(partial/total corpectomies), 全椎体切除术(vertebral column osteotomy, VCR)。为了便于研究结果的标准化, Schwab 等^[11]于 2014 年基于解剖学手术入路对脊柱截骨矫形手术进行了系统分级, 该分级系统将传统截骨矫形术分为 6 级。对于颈胸段后凸畸形, Ames 等^[12]根据椎体切除范围及软组织松解程度提出 7 级截骨的概念。截骨手术分级反映了脊柱序列失衡的严重程度及潜在的畸形矫正角度, 按照脊柱后凸畸形截骨矫形过程中的旋转中心以及三柱变化的特征, 临床常用的截骨分类方法主要包括^[13]: 开张型楔形截骨(opening wedge osteotomy, OWO)、闭合型楔形截骨(closing wedge osteotomy, CWO)以及闭合-开张型楔形截骨(closing-opening wedge osteotomy, COWO)。

1.1 OWO

OWO 家族的主角是 SPO (1945 年)^[14], 属于 Schwab 截骨分级中的 1 级截骨。通过切除关节突关节等椎体后方结构, 以椎体后缘为铰链中心闭合后柱, 张开前柱椎间隙(图 1)。通常 1mm 的 SPO 可实现 1°的矫正效果, 单节段的 SPO 可获得 5°~10°的矫正效果。经典的 SPO 尚未切除椎弓根, 在截骨闭合之前还应评估神经孔的空间。对于单节段 SPO 矫形, 必须将椎体后方结构切除范围延伸至相邻椎板, 以防止椎管中央狭窄, 并且应从椎间孔上方和下方的椎弓根中去除足够的骨质, 避免神经根卡压^[15]。

Hehne 等^[16]设计的多节段楔形截骨(PWO)与 SPO 相似, 在获得相似的后凸总体矫正效果的同时, 可使前方椎间隙相应平缓张开, 后方在 4~7 个节段进行短缩, 适用于不伴有椎间盘钙化椎间融合的 AS 患者^[16]。AS 患者自发性前方融合的发生率很高, 但前方结构性支撑可以保证有效的矫形效果。有研究报道^[17], 仅 13% 的 AS 病例发生了前柱张开的椎间隙融合, 如果上下椎体终板受骨质破坏累及, 则融合发生率在 69%~86%之间。

Ponte 等^[18]在 SPO 的基础上改良的椎体后柱 Ponte 截骨术被广泛应用于治疗僵硬性脊柱后凸畸形。Ponte 截骨通常广泛切除上下关节突关节、椎板及黄韧带, 使椎体矢

第一作者简介: 男(1985-), 临床博士后, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267372 E-mail: xiaoxim@hotmail.com

通讯作者: 陈仲强 E-mail: puh3_czq@bjmu.edu.cn

状位旋转中心前移,以利于后方矫形,属于 Schwab 2 级截骨^[11]。尽管 Ponte 截骨在单一节段的矫形能力有限,但采用多节段 Ponte 截骨时可通过前方多节段椎间盘的牵张作用使椎体后柱闭合获得最佳矫形效果。Pizones 等^[19]报道多节段 Ponte 截骨用于胸椎后凸畸形可以获得 22° 的矫正效果,且未出现严重并发症。多节段非对称 Ponte 截骨在治疗重度僵硬性侧后凸畸形时能达到与 VCR 相似的冠状位和矢状位的矫正效果,平均后凸矫正度数为 45°,可显著减少手术时间和术后并发症的发生率^[20]。但也有研究报道采用多节段 Ponte 截骨可能会增加术中出血量和手术时间,且术后交界性后凸的发生率也会显著增高^[21]。

由于 OWO 使椎体后柱闭合而前方张开,存在椎间孔变窄神经受压以及前方大血管牵张性损伤的风险,使得其矫形能力有限^[11]。对于患有严重动脉硬化和斑块以及主动脉-前纵韧带粘连严重的 AS 患者,应考虑采用 CWO 技术来获得手术目标角度(surgical target angle,STA)^[22]。值得注意的是,AS 后凸畸形矫正术后可能在矢状面上出现截骨平面头侧椎体后下缘与尾侧椎体后上缘之间的移位。Chang 等^[23]就 OWO 术后椎体出现矢状面移位(sagittal translation,ST)进行了报道,随访发现 127 例患者 OWO 术后有 34 例(27%)出现 ST>2mm,其中有 5 例(15%)出现神经并发症,其 ST 与术前腰椎后凸角呈正相关,很可能与 OWO 截骨平面接近畸形顶点有关。

颈椎 OWO 主要由 Simmons 等^[24]在 V 型截骨基础上改良而来。OWO 在矫正矢状位的同时,还有利于冠状位和轴位的序列恢复,获得较大的矫正效果。OWO 平均矫正度数为 20°~25°,但由于 OWO 前方间隙张开过大,食管牵张可能会导致长期吞咽困难甚至其他更严重的并发症^[25]。Simmons 等^[24]报道改良的 SPO 可获得平均 37° 的 CBVA 矫正度。此外,SPO 矫形也可以作为前路-后路联合矫形的一部分,通过前方松解张开置入 cage 恢复椎间隙高度,并通过广泛的后路截骨获得有效的矫正效果^[26]。在颈椎 OWO 伸展性截骨的基础上,近来有学者报告了一种新型椎体横

向交叉截骨术,该方法通过横向交叉切开 C7 椎体行前方张开,可获得 25° 的颈椎后凸矫正,同时避免了后柱短缩的相关风险^[27]。

1.2 CWO

CWO 主要方式是 PSO。PSO 以椎体后壁为楔形基底,经后路楔形切除椎板、椎弓根、横突至椎体前方骨皮质,以前方皮质骨为旋转铰链中心,闭合前中柱的楔形间隙(图 2)。PSO 矫正度数随截骨高度的增加而增加,椎体高度和前后径是 PSO 矫形效果的几何限制因素。PSO 后方闭合使得椎体后柱短缩,短缩约 15~25mm 时可使得脊髓张力降低^[22]。在 AS 患者中,PSO 矫正平均度数为 16°~38°^[28,29];其中 36° 的 PSO 矫正度数还可将 SVA 从术前 133mm 改善至术后 30mm^[30]。还有研究显示,PSO 的矫正效果差异可能较大($\pm 10^\circ$)^[31],这些差异不仅可能与技术上的细微差别、椎体切除高度的积极选择有关,还可能与术前测量精度、相邻椎间盘的活动度以及解剖学变化相关。总体而言,PSO 可获得 25°~35° 的矫正效果,很少能超过 40°^[6]。国内学者研究还发现,对 AS 胸腰椎后凸畸形行经顶椎远端 PSO 可将 SVA 从术前 120mm 改善至术后 26mm,CBVA 从术前 23° 改善至 4°,明显改善矢状位平衡^[32]。

随着 PSO 技术的进一步发展,通过骨-椎间盘-骨截骨(bone-disc-bone osteotomy,BDBO)的 CWO 可以通过单个节段的 CWO 来提高矫正效果。BDBO 相对 PSO 截骨范围相对较大,切除椎间盘的同时切除椎间盘上下邻近终板,其优点可使矫正效果增加至 38°~49°,并通过骨对骨的截骨面接触保证了前柱融合^[33]。但 BDBO 的主要缺点为椎体后方过度短缩,可能会导致椎管狭窄和神经根卡压。生物力学和动物实验研究表明,脊髓缩短超过 15~20mm 时可显著增加脊髓功能损害的风险^[34]。为了获得最大程度的 CWO 矫正效果,应充分注意扩大后方头尾端的减压范围,并同时松解侧方走行的神经根^[35]。

CWO 闭合截骨过程中还可能出现头尾侧截骨平面 ST 导致神经功能损伤,越来越多的学者将 ST 视为闭合截

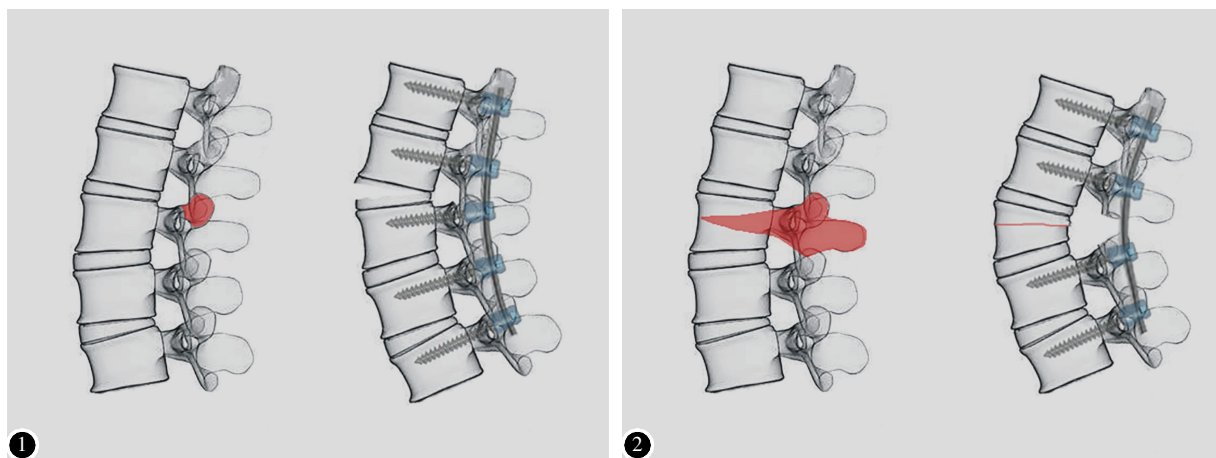


图 1 开张型楔形截骨术(OWO)/Smith-Petersen 截骨术(SPO)截骨矫形机制示意图 图 2 闭合型楔形截骨术(CWO)/经椎弓根截骨术(PSO)截骨矫形机制示意图

骨的并发症。Cheng 等^[36]报道了 16 例发生 ST 的 AS 胸腰段后凸畸形行 PSO 的病例,其中 4 例出现神经并发症,考虑截骨闭合时产生的 ST 可能是导致神经功能损害的主要原因。当 ST>4mm 时,其产生的原因可能与截骨平面头尾侧椎体置钉深度、矫形棒矫形过程中铰链支点与截骨平面位置关系以及截骨上下闭合平面矢状径相关。Lee 等^[37]在一项 230 例 AS 胸腰段后凸行 PSO 矫形病例研究中报道,经过平均 39 个月的随访,有 24 例(10.4%)出现 ST,另有 8.7%出现矢状位失衡。Park 等^[38]的研究发现,AS 后凸畸形行 PSO 矫形患者约 30.2%出现 ST,其术前骨盆入射角和骶骨倾斜角均显著高于无 ST 者。O'shaughnessy 等^[39]回顾性分析了 15 例行胸椎 PSO 病例,其整体矢状位平衡矫正量约 67.3±54.7mm,有 1 例在截骨闭合过程中出现 ST 及术中体感诱发电位降低。Hu 等^[40]报道了 46 例单纯行 PSO 和 43 例行 PSO+cage 置入的 AS 病例,其术中 ST 发生率分别为 30.4%和 4.7%,采用 cage 作为椎体前缘闭合旋转铰链支点时可以显著改善矫形过程中产生的 ST。此外,Cheng 等^[36]经平均 22.0±8.5 个月随访发现,AS 胸腰段 PSO 患者术后 ST 由术后 7.1±2.7mm 减少至末次随访 1.2±1.0mm,均出现术后椎管自发重新塑形,考虑可能与内固定应力牵拉作用以及 AS 异常骨融合能力等因素密切相关。

对于颈椎 CWO 矫形,由于椎动脉的走行,CWO 通常选择 C7 或 T1 处^[41,42]。在颈椎硬膜后进行楔形截骨困难,尤其是在 C8 神经根处,可能会引起术后严重的神经根刺激症状。在 CWO 闭合过程中,还需小心避免椎体后壁的碎片折叠突至椎管内。Deviren 等^[42]报道 11 例接受 C7 或 T1 PSO 的病例,其最大矫正效果受限于椎体高度,平均矫正度数为 49°,C2-7 SVA 改善了 4.5cm。

1.3 COWO

在克服 CWO 和 OWO 技术局限的基础上,Y 型 COWO 得到了发展^[43]。COWO 的椎体后柱切除类似于 CWO,但其楔形的顶点后移至椎体矢状位中点。以该顶点为旋转铰链中心,从该顶点开始,沿终板平行向前截骨或直接闭合后柱并张开前柱,使得椎体前柱张开和后柱短缩得到了有效平衡。Kawahara 等^[43]报道了在 AS 患者腰椎可通过 COWO 获得平均 40°~50°的矫正效果。在对 21 例 AS 患者的研究中, Ji 等^[44]发现 COWO 可使椎体前方主动脉平均延长 2.2cm,后凸矫正平均 39°,且未发生主动脉及大血管撕裂等并发症。Qian 等^[22]在 AS 手术患者中比较了 CWO 和 COWO, C7 SVA 的变化是 11cm 对 17cm,截骨矫正度数为 32°对 42°,截骨高度减少为 1.3cm 对 0.7cm,且二者手术相关并发症发生率无明显差异。在 Bourghli 等^[45]报道的 10 例非 AS 创伤性后凸畸形患者中, COWO 平均矫正度数为 38°,脊髓平均短缩 1.2cm,主动脉平均延长 2.3cm。另外, Chang 等^[46]经 2~5 年随访发现,在 83 例因腰椎矢状位失衡行 COWO 病例中,有 40%的患者出现 ST。

国内学者^[47]提出了一种改良的去松质骨的 COWO 方

法(vertebral column decancellation, VCD)(图 3),通过 39 例 VCD 与 45 例行传统 PSO 患者对比, AS 后凸成角畸形的矫正度数为 38°对 42°, CBVA 变化为 44°对 40°, SVA 矫正量为 15cm 对 15cm。COWO 相比 PSO 还可使椎体前柱高度改变为 3.1cm 对 0cm,而后柱高度短缩为 10mm 和 17mm^[47]。Wang 等^[48]也比较了 30 例行单节段 VCD 和 27 例行单节段 PSO 的 AS 矫形效果,其中 VCD 的平均矫正度数和 SVA 矫正量均优于 PSO。通过 Y 型截骨术(Y-type osteotomy, YTO),在缩短后方的同时使前方相对张开,避免了凸侧过度压缩引起的神经损伤和凹侧过度张开引起的血管损害的风险,同时保留的部分松质骨有利于骨对骨的融合稳定,使得单节段的截骨可获得相对更安全有效的矫形效果。

颈椎 YTO 与胸腰椎 COWO 相似,为伴有严重颈椎后凸的 AS 患者提供了独特的益处。目前较为广泛应用的颈椎 COWO 是 Mehdian 型 SPO^[49]。该截骨方法类似于 PSO 和 Y 型 COWO。Mehdian 等报道了 13 例采用该截骨术的 AS 病例,其 CBVA 的平均矫正度为 47°,后凸矫正度为 53°,减少了 OWO 带来的前方过度牵张和 CWO 带来的后方短缩,同时可以获得较大的矫正效果^[49]。YTO 对于伴有创伤性后凸畸形以及畸形进展通常需在 C6-7 或 C6-T1 处置入前路内置物的 AS 患者更具有意义,还可为前路行内固定的椎体邻近节段提供有效矫正。

1.4 截骨手术的联合应用及多节段截骨

对于部分 AS 重度后凸畸形,使用单节段截骨矫形通常无法恢复到足够的矢状位平衡。在这种情况下,可以考虑加入多个节段 SPO 和单个节段 PSO,或者在远端节段采用连续两个节段 PSO 或非连续双节段 PSO。Wang 等^[50]报道对 8 例 AS 患者采用连续双节段 PSO,对上位椎体下缘到下位椎体上缘进行楔形截骨,可获得 65°的矫正效果,且 CBVA 矫正度为 83°,可适用于 CBVA 超过 90°的后凸畸形。

连续 CWO 和单节段 CWO 的过度缩短面临后方神经

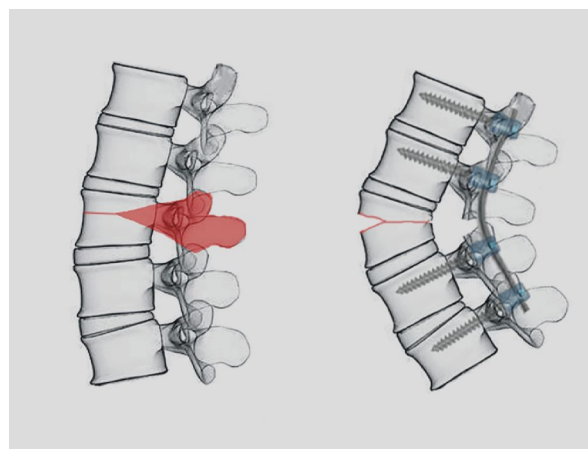


图 3 开闭楔形截骨术(COWO)/去松质骨截骨术(VCD)截骨矫形机制示意图

过度短缩受压的风险,同时还会降低融合节段结构的稳定性^[26,51]。对于非连续的 CWO,必须考虑在远端 PSO 节段的下方、PSO 节段之间及其上方要有足够的椎体内固定。通过这种内固定方式可以决定双节段 PSO 的位置,通常选择在 T12 和 L2 或 L1 和 L3^[51,52]。一般而言在 T12 和 L1 以及 L3 和 L4 处通常有胸腰段后凸和腰椎前凸的顶点,有利于双节段 PSO^[53]。Atici 等^[51]的研究结果显示,双节段 CWO 可以平均矫正约 38°。Liu 等^[53]的研究中,44 例 AS 患者行双节段 PSO,T12 和 L1 处的平均矫正度数为 26°和 28°。Hua 等^[54]对比分析了 22 例分别行双节段 PSO 和单节段 PSO 的 AS 患者病例,发现双节段 PSO 的 CBVA 从 55°矫正为 5°,而单节段 PSO 则从 38°矫正为 3°,总体矫正度数分别为 54°和 33°。Zhong 等^[55]对比分析了 10 例行双节段 PSO 和 9 例行单节段 PSO 联合单节段 SPO 的 AS 病例,其中双节段 PSO 的 CBVA 平均矫正度数为 48°,而 PSO+SPO 矫正度数约为 27°。另外在双节段 PSO 的病例报道中,SVA 可获得平均约 16cm 的矫正效果^[51]。

选择截骨术的基本原则必须综合考虑到 AS 患者的个体畸形形状特征及 STA。Van Royen 等^[56]的一项荟萃分析指出,OWO 的平均矫正度数为 40°,而 CWO 的平均矫正度数为 36.5°。Hu 等^[57]的系统研究表明,在 AS 患者中 PSO 的平均矫正度数比 SPO 大 9°,而 PWO 矫正度数则比 SPO 大 14°。另一篇文献综述纳入了共 979 例 AS 患者,比较了 SPO 与 PSO 的矫形效果,其中 C7 SVA、LL、并发症发生率和预后均无明显差异,但 PSO 会显著增加手术出血量;在单节段 SPO、PWO 和 PSO 之间也无明显差异,可能与过去使用的 STA 定义以及某些患者未得到正确手术矫正有关^[58]。该研究还指出,尽管使用单节段 SPO 和 PWO 均能获得类似的矫正效果(约 32°~35°),但 PWO 将截骨畸形分散在多个节段上,从而可获得更和谐的曲度,减少血管和置入物的局部牵张应力^[58]。Xin 等^[59]回顾对比分析 428 例行单节段或双节段的 PSO 或 VCD 的 AS 病例发现,双节段截骨可以获得 CBVA 平均 60°的矫正,而单节段截骨矫正度约为 42°,表明双节段截骨更适用于重度 AS 后凸畸形患者。尽管使用 CWO^[57,58]尤其是双节段 CWO 会增加出血风险(平均>2.4~5.3L)^[60],但在 OWO 中引起牵张性血管损伤等术后并发症的风险更高,SPO 相比 PSO 增加了力学相关并发症的发生率,提示采用 CWO 进行截骨矫正比使用 OWO 更优^[57,60,61]。

对于颈椎 AS 后凸畸形病例研究较少,一项对 61 例颈椎后凸畸形病例的研究结果显示,颈椎行 SPO 平均矫正度数和 C2-C7 SVA 平均矫正值大约是 10°和 1.8cm,行 PSO 则分别是 34.5°和 2.5cm,通过前方截骨术(anterior osteotomy,ATO)可获得 17°和 1cm 的矫正效果,而联合应用 ATO+SPO 的前后路截骨则可实现 28°和 3cm 的矫正效果^[62]。在这些截骨术中 PSO 估计失血量为最大,因此 OWO 可能更适用于颈椎三维畸形和侧后凸畸形的矫正。Wang 等^[63]报道了 1 例因严重 AS 胸腰椎侧后凸畸形并僵直性颈

椎前凸畸形患者行分期颈椎截骨术病例,一期先行胸腰段双节段 VCD 非对称截骨术,术后矢状位失衡得以纠正,但 CBVA 为-21.7°,随后二期行前-后-前入路 C7 椎体楔形前方张开屈曲截骨术,术后矢状位失衡及水平视野得以恢复。该方法涉及分期手术,术中变更体位,相对增加手术并发症风险,对于麻醉和护理配合以及主刀手术技巧要求较高。

1.5 矢状位-冠状位联合矫形

部分 AS 患者可能同时合并矢状位和冠状位的畸形,呈长 C 形后凸畸形合并躯干偏移或侧凸畸形。在矫正矢状位失衡的同时,必须考虑对冠状位畸形的额外矫正。邱勇等^[64]根据 C7 铅垂线(C7 plumb line,C7PL)同骶骨中垂线、侧凸凹侧和凸侧的关系,提出了脊柱侧凸冠状面失衡分型,表明当 C7PL 位于侧凸凸侧时,术中通过凸侧整体加压难以充分解决冠状位偏移,冠状位失衡方向为侧凸凸侧的患者,其术后失平衡概率较高。为了矫正矢状位和冠状位畸形,目前通常可使用非对称的 OWO、PWO 和 CWO。使用 SPO 或 PWO 进行单侧加压可以获得足够的矫正效果。但根据其几何原理,与仅行矢状位矫正相比,行一侧后方短缩的冠状位-矢状位联合矫形可能导致另一侧前柱和中柱的接触面较少,因此在胸腰椎中难以评估采用非对称 OWO/PWO 前侧方张开及后方闭合的情况,而非对称 CWO 则是一种更优的替代方法^[65]。此外,对于伴有陈旧性椎体骨折或较大骨赘合并椎体畸形或伴有椎体旋转的情况时,在非对称闭合过程中邻近节段椎体的旋转角度与截骨部位之间的不匹配将导致截骨面偏移,使截骨闭合部位神经根受到骨质边缘的卡压以及椎体移位引起的椎管狭窄。因此在非对称 CWO 中松解硬膜与组织间的粘连对于防止闭合过程中神经损伤至关重要^[35]。此外,随着 3D 打印技术的发展和普及,3D 打印脊柱模型或相关手术模具越来越多地用于脊柱截骨手术术前手术方案的设计模拟以及术中导航。Tu 等^[66]通过 Mimics、ImageWare 等软件重建了 9 例 AS 重度侧后凸畸形患者的全脊柱模型,采用 3D 打印个性化定制导航模板,经术前 3D 模型模拟后在术中辅助置钉进行非对称 PSO,获得了平均 65°侧凸矫正效果和 68°后凸矫正效果,SVA 平均矫正 10cm,且未发生严重并发症。李超等^[67]同样采用 Mimics、ideaMaker 等软件对 8 例 AS 胸腰段畸形患者的胸腰椎进行三维重建并通过 3D 打印制作导航模板,相比徒手置钉,使用 3D 个性化定制导航板辅助置钉可以显著提高 AS 胸腰椎矫形手术安全性及有效性。

VCR 最早由 MacLennan^[68]报道,通过前后路联合手术切除椎体,用于矫正重度脊柱侧凸畸形(图 4)。在此基础上,Suk 等^[69]通过进一步改良,提出了单纯后路 VCR (posterior VCR,PVCR)用于重度僵硬性侧凸畸形的矫正,回顾分析 16 例接受 PVCR 的重度畸形病例,平均切除 1.3 个椎体,总体矫正率为 59%。Lenke 等^[70]分析了 43 例使用 PVCR 治疗的重度脊柱畸形病例,平均切除 1.5 个椎体,总

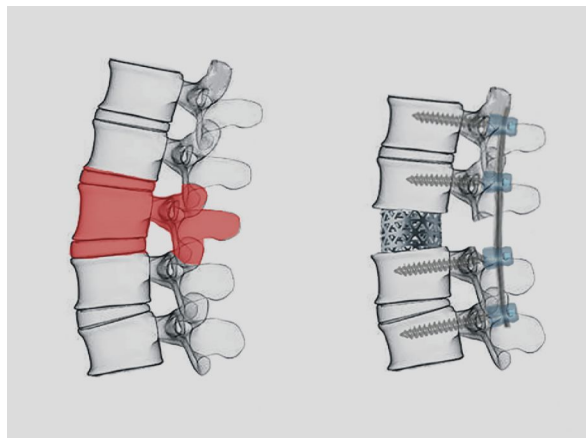


图4 全椎体切除术(VCR)截骨矫形机制示意图

体矫正率为 61%。此外, Kim 等^[71]报道了 6 例使用 PVCR 的 AS 后凸畸形病例, 平均矫正度为 38° , 提出 PVCR 适用于超过 40° 的重度后凸畸形, 且同样适用于合并严重冠状位失衡的患者。尽管 PVCR 可以获得较大的后凸矫正效果, 改善冠状位失衡, 但由于 VCR 需要整体切除椎体三柱结构, 矫形过程中出现椎体短缩移位及神经功能损害的风险极高, 且在切除椎体后前方通常还需内固定进行支撑融合。Suk 等^[69]报道 PVCR 术后总体并发症发生率为 34%, Lenke 等^[70]报道为 40%, Kim 等^[71]报道则为 39%。

1.6 合并 Andersson 损伤的截骨矫形

Andersson 损伤 (Andersson lesion, AL) 是发生于 AS 后凸畸形患者晚期经椎体或椎间盘的破坏性病损。AL 主要由 AS 局部炎症和椎体融合导致应力加重或外伤导致局部微小骨折引起, 随着持续活动加重逐渐形成假关节, 导致患者出现腰背部疼痛、脊髓神经功能损害和后凸畸形加重^[72]。对于合并 AL 的 AS 后凸畸形患者, 其手术目的主要是恢复脊柱序列, 重建脊柱的稳定性, 充分减压椎管, 并获得坚强固定促进损伤部位的融合。

由于 AL 导致病变椎体周围形成广泛瘢痕纤维增生及硬化骨, 局部创面的彻底清创和植骨融合是保障 AL 愈合的关键。既往文献报道采用一期前路清创取髂骨植骨融合, 二期再行后路矫形内固定可获得理想的临床疗效^[73]; Qian 等^[74]报道一期先行后路经假关节截骨矫形, 二期再行前路植骨融合也能取得满意疗效。Zhang 等^[75]报道经椎弓根及椎间盘截骨, 于前柱置入 cage 充当铰链闭合截骨处头尾端后柱可获得良好的矫形效果, 该方法与 PSO 相比可以更好地保留椎体高度, 避免矫形过程中过度短缩导致的相关手术风险。此外, 梁彦^[76]还报道采用单一后路清创经假关节处行 CWO 或 COWO 治疗 AL, 可获得平均 45° 的矫正效果, 该方法无需 cage 置入或髂骨植骨融合, 降低了手术相关风险。近来, Wei 等^[77]提出了一种改良的后路楔形截骨术, 该方法经后路切除 AL 患者受累椎间盘、终板软骨以及椎体后方结构, 使 SVA 由术前平均 11cm 改善至术后平均 5cm, 可获得满意的后凸矫正和融合效果。此外, 还

有学者等^[78]通过 Mimics、MakerBot Desktop 等软件对 AS 合并胸腰椎骨折患者椎体进行 3D 重建, 经 3D 打印辅助置钉复位相较常规手术可以显著缩短手术时间, 减少术中出血量和术后引流量, 术后 JOA 评分更优。

2 总结

综上所述, 对于 AS 后凸畸形的患者手术治疗目前仍然充满挑战, 截骨矫形手术的设计不仅需要考虑到恢复脊柱序列的稳定性, 还应充分权衡骨盆及髋膝关节参数对平衡的影响, 谨慎考虑围手术期并发症等各方面因素, 根据患者个体化特征选择和实施针对不同后凸畸形类型的一种或多种联合术式。

3 参考文献

- Reddy J, Dakwar E, Vale FL, et al. A review of the pathogenesis of ankylosing spondylitis[J]. Neurosurg Focus, 2008, 24(1): E2.
- Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis[J]. Lancet, 2007, 369(9570): 1379-1390.
- Kim KT, Park DH, Lee SH, et al. Results of corrective osteotomy and treatment strategy for ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. Clin Orthop Surg, 2015, 7(3): 330-336.
- Tominaga R, Fukuma S, Yamazaki S, et al. Relationship between kyphotic posture and falls in community-dwelling men and women[J]. Spine, 2016, 41(15): 1232-1238.
- Lafage V, Schwab F, Patel A, et al. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity[J]. Spine, 2009, 34(17): E599-606.
- Koller H, Koller J, Mayer M, et al. Osteotomies in ankylosing spondylitis: where, how many, and how much [J]. Eur Spine J, 2018, 27(Suppl 1): 70-100.
- Tang JA, Scheer JK, Smith JS, et al. The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery[J]. Neurosurgery, 2015, 76(Suppl 1): S14-21.
- Kim KT, Suk KS, Cho YJ, et al. Clinical outcome results of pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. Spine, 2002, 27(6): 612-618.
- Suk KS, Kim KT, Lee SH, et al. Significance of chin-brow vertical angle in correction of kyphotic deformity of ankylosing spondylitis patients[J]. Spine, 2003, 28(17): 2001-2005.
- Van Royen BJ, De Gast A, Smith TH. Deformity planning for sagittal plane corrective osteotomies of the spine in ankylosing spondylitis[J]. Eur Spine J, 2000, 9(6): 492-498.
- Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. Neurosurgery, 2014, 74(1): 112-120.
- Ames C, Smith JS, Eastlack R, et al. Reliability assessment of a novel cervical spine deformity classification system[J]. J

- Neurosurg Spine, 2015, 23(6): 673–683.
13. Arun R, Dabke HV, Mehdian H. Comparison of three types of lumbar osteotomy for ankylosing spondylitis: a case series and evolution of a safe technique[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2252–2260.
 14. Smith–Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis[J]. *J Bone Jt Surg Am*, 1945, 27(1): 1–11.
 15. Hehne HJ, Zielke K, Böhm H. Polysegmental lumbar osteotomies and transpedicled fixation for correction of long curved kyphotic deformities in ankylosing spondylitis: report on 177 cases[J]. *Clin Orthop Rel Res*, 1990, 258: 49–55.
 16. Van Royen BJ, Kleuver M, de Slot GH. Polysegmental lumbar posterior wedge osteotomies for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(2): 104–110.
 17. Kim KT, Jo DJ, Lee SH, et al. Does it need to perform anterior column support after Smith–Petersen osteotomy for ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(5): 985–991.
 18. Ponte A, Orlando G, Siccardi GL. The true Ponte osteotomy: by the one who developed it[J]. *Spine Deform*, 2018, 6(1): 2–11.
 19. Pizones J, Sánchez–Mariscal F, Zúñiga L, et al. Ponte osteotomies to treat major thoracic adolescent idiopathic scoliosis curves allow more effective corrective maneuvers[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(7): 1540–1546.
 20. 张杨璞, 海涌, 陶鲁铭, 等. 多节段非对称 Ponte 截骨与全脊椎截骨术治疗重度僵硬性成人特发性脊柱侧后凸的影像学差异分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(6): 498–504.
 21. Halanski MA, Cassidy JA. Do multilevel Ponte osteotomies in thoracic idiopathic scoliosis surgery improve curve correction and restore thoracic kyphosis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(5): 252–255.
 22. Qian BP, Wang XH, Qiu Y, et al. The influence of closing–opening wedge osteotomy on sagittal balance in thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis [J]. *Spine*, 2012, 37(16): 1415–1423.
 23. Chang KW, Chen HC, Chen YY, et al. Sagittal translation in opening wedge osteotomy for the correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(10): 1137–1142.
 24. Simmons ED, DiStefano RJ, Zheng Y, et al. Thirty–six years experience of cervical extension osteotomy in ankylosing spondylitis[J]. *Spine*, 2006, 31(26): 3006–3012.
 25. Koller H, Meier O, Zenner J, et al. Noninstrumented correction of cervicothoracic kyphosis in ankylosing spondylitis: a critical analysis on the results of open–wedge osteotomy C7–T1 with gradual Halo–Thoracic–Cast based correction[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(4): 747–758.
 26. Safain MG, Burke SM, Riesenburger I, et al. The effect of spinal osteotomies on spinal cord tension and dural buckling: a cadaveric study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 23(1): 120–127.
 27. Maciejczak A, Wolan–Nieroda A, Guzik A. C7 extension crosswise osteotomy: a novel osteotomy for correction of chin–on–chest deformity in a patient with ankylosing spondylitis [J]. *J Neurosurg Spine*. doi: 10.3171/2020.7.SPINE20258. Online ahead of print.
 28. Park YS, Kim HS, Baek SW, et al. Preoperative computer–based simulations for the correction of kyphotic deformities in ankylosing spondylitis patients[J]. *Spine J*, 2014, 14(10): 2420–2424.
 29. Arun R, Dabke HV, Mehdian H. Comparison of three types of lumbar osteotomy for ankylosing spondylitis: a case series and evolution of a safe technique[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2252–2260.
 30. Qian BP, Jian J, Qiu Y, et al. Radiographical predictors for postoperative sagittal imbalance in patients with thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis after lumbar pedicle subtraction osteotomy [J]. *Spine*, 2013, 38(26): E1669–1675.
 31. Tabaraee E, Theologis AA, Funao H, et al. Three–column osteotomies of the lower cervical and upper thoracic spine: comparison of early outcomes, radiographic parameters, and peri–operative complications in 48 patients[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(Suppl 1): S23–30.
 32. 乔木, 钱邦平, 邱勇, 等. 顶椎远端截骨治疗强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(10): 868–874.
 33. Enercan M, Ozturk C, Kahraman S, et al. Osteotomies/spinal column resections in adult deformity[J]. *Eur Spine J*, 2012, 22(Suppl 2): S254–264.
 34. Kawahara N, Tomita K, Kobayashi T, et al. Influence of acute shortening on the spinal cord: an experimental study [J]. *Spine*, 2005, 30(6): 613–620.
 35. Arlet V. Spinal osteotomy in the presence of massive lumbar epidural scarring[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(Suppl 1): S93–106.
 36. Cheng J, Song K, Liang Y, et al. Spontaneous remodeling of spinal canal after sagittal translation in pedicle subtraction osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *World Neurosurg*, 2019, 128: e245–e251.
 37. Lee KH, Kim KT, Kim YC, et al. Radiographic findings for surgery–related complications after pedicle subtraction osteotomy for thoracolumbar kyphosis in 230 patients with ankylosing spondylitis[J]. *J Neurosurg Spine*. doi: 10.3171/2020.3.SPINE191355. Online ahead of print.
 38. Park JS, Kim J, Joo IH, et al. Analysis of risk factors for sagittal translation after pedicle subtraction osteotomy in patients with ankylosing spondylitis[J]. *Spine J*, 2018, 18(8): 1356–1362.
 39. O’shaughnessy BA, Kuklo TR, Hsieh PC, et al. Thoracic

- pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal spinal deformity[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(26): 2893–2899.
40. Hu FQ, Hu WH, Zhang H, et al. Pedicle subtraction osteotomy with a cage prevents sagittal translation in the correction of kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2018, 131(2): 200–206.
41. Wollowick AL, Kelly MP, Riew DK. Pedicle subtraction osteotomy in the cervical spine[J]. *Spine*, 2012, 37(5): E342–348.
42. Deviren V, Scheer JK, Ames CP. Technique of cervicothoracic junction pedicle subtraction osteotomy for cervical sagittal imbalance: report of 11 cases[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 15(2): 174–181.
43. Kawahara N, Tomita K, Baba H, et al. Closing–opening wedge osteotomy to correct angular kyphotic deformity by a single posterior approach[J]. *Spine*, 2001, 26(4): 391–402.
44. Ji ML, Qian BP, Qiu Y, et al. Change of aortic length after closing opening wedge osteotomy for patients with ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphosis[J]. *Spine*, 2013, 38(22): E1361–1367.
45. Bourghli A, Boissiere L, Vital JM, et al. Modified closing–opening wedge osteotomy for the treatment of sagittal malalignment in thoracolumbar fractures malunion[J]. *Spine J*, 2015, 15(12): 2574–2582.
46. Chang KW, Cheng CW, Chen HC, et al. Closing–opening wedge osteotomy for the treatment of sagittal imbalance [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2008, 33(13): 1470–1477.
47. Zhang X, Zhang Z, Wang J, et al. Vertebral column decancellation: a new spinal osteotomy technique for correcting rigid thoracolumbar kyphosis in patients with ankylosing spondylitis[J]. *Bone Joint J*, 2016, 98–B(5): 672–678.
48. Wang T, Zheng G, Wang Y, et al. Comparison of 2 surgeries in correction of severe kyphotic deformity caused by ankylosing spondylitis: vertebral column decancellation and pedicle subtraction osteotomy [J]. *World Neurosurg*, 2019, 127: E972–978.
49. Mehdi SMH, Ranganathan A. A safe controlled instrumented reduction technique for cervical osteotomy in ankylosing spondylitis[J]. *Spine*, 2011, 36(9): 715–720.
50. Wang Y, Zhang YG, Mao KY, et al. Transpedicular bivertebrae wedge osteotomy and discectomy in lumbar spine for severe spondylitis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2010, 23(3): 186–191.
51. Atici Y, Akman YE, Balioglu MB, et al. Two level pedicle subtraction osteotomies for the treatment of fixed sagittal plane deformity: computer software assisted preoperative planning and assessing[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(8): 2461–2470.
52. Zheng GQ, Song K, Zhang YG, et al. Two–level spinal osteotomy for severe thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *Spine*, 2014, 39(13): 1055–1058.
53. Liu C, Zheng G, Guo Y, et al. The safe correction angle of osteotomy at T12 and L1 for ankylosing spondylitis kyphosis: patients with 2–level osteotomy [J]. *Spine*, 2017, 30(7): E942–947.
54. Hua WB, Zhang YK, Liu XZ, et al. Analysis of sagittal parameters in patients undergoing one– or two–level closing wedge osteotomy for correcting thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis[J]. *Spine*, 2016, 42(14): E848–854.
55. Zhong W, Chen Z, Zeng Y, et al. Two–level osteotomy for the corrective surgery of severe kyphosis from ankylosing spondylitis: a retrospective series[J]. *Spine*, 2019, 44(23): 1638–1646.
56. Van Royen BJ, De Gast A. Lumbar osteotomy for correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis: a structured review of three methods of treatment[J]. *Ann Rheum Dis*, 1999, 58(7): 399–406.
57. Hu X, Thapa AJ, Cai Z, et al. Comparison of Smith–Peterson osteotomy, pedicular subtraction osteotomy, and polysegmental wedge osteotomy in treating rigid thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis a systemic review and meta–analysis[J]. *BMC Surg*, 2016, 16: 4.
58. Akamaru T, Kawahara N, Sakamoto J, et al. The transmission of stress to grafted bone inside a titanium mesh cage used in anterior column reconstruction after total spondylectomy: a finite–element analysis [J]. *Spine*, 2005, 30(24): 2783–2787.
59. Xin Z, Zheng G, Huang P, et al. Clinical results and surgery tactics of spinal osteotomy for ankylosing spondylitis kyphosis: experience of 428 patients[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 330.
60. Qian BP, Ji ML, Jian J, et al. Anatomic relationship between superior mesenteric artery and aorta before and after surgical correction of thoracolumbar kyphosis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(7): E293–298.
61. Quillet JA, Ravinsky RA, Brodt ED, et al. Vertebral osteotomies in ankylosing spondylitis–comparison of outcomes following closing wedge osteotomy versus opening wedge osteotomy: a systematic review [J]. *Evid Based Spine Care J*, 2013, 4(1): 18–29.
62. Kim HJ, Piyaskulkaew Riew D. Comparison of Smith–Peterson osteotomy versus pedicle subtraction osteotomy versus anterior–posterior osteotomy types for the correction of cervical spine deformities[J]. *Spine*, 2015, 40(3): 143–146.
63. Wang T, Song D, Zheng G, et al. Staged cervical osteotomy: a new strategy for correcting ankylosing spondylitis thoracolumbar kyphotic deformity with fused cervical spine [J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 108.
64. 邱勇, 王斌, 朱锋, 等. 退变性腰椎侧凸的冠状面失衡分型及对截骨矫形术式选择的意义[J]. *中华骨科杂志*, 2009, 29(5): 418–423.

65. Bridwell KH. Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity[J]. *Spine*, 2006, 31(19 Suppl): S171-178.
66. Tu Q, Ding HW, Chen H, et al. Three-dimensional-printed individualized guiding templates for surgical correction of severe kyphoscoliosis secondary to ankylosing spondylitis: outcomes of 9 cases[J]. *World Neurosurg*, 2019, 130: e961-e970.
67. 李超, 牛国旗, 蒋维利, 等. 个体化 3D 打印导向模板辅助胸腰椎椎弓根螺钉置入在强直性脊柱炎中的应用研究[J]. *中国骨伤*, 2020, 33(7): 649-654.
68. MacLennan A. Scoliosis[J]. *BMJ*, 1922, 2: 865-866.
69. Suk SI, Kim JH, Kim WJ, et al. Posterior vertebral column resection for severe spinal deformities[J]. *Spine*, 2002, 27(21): 2374-2382.
70. Lenke LG, Sides BA, Koester LA, et al. Vertebral column resection for the treatment of severe spinal deformity[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468(3): 687-699.
71. Kim KT, Park DH, Lee SH, et al. Results of corrective osteotomy and treatment strategy for ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. *Clin Orthop Surg*, 2015, 7(3): 330-336.
72. Bourqui M, Gerster JC. Ankylosing spondylitis presenting as spondylodiscitis[J]. *Clin Rheumatol*, 1985, 4(4): 458-464.
73. Kim KT, Lee SH, Suk KS, et al. Spinal pseudarthrosis in advanced ankylosing spondylitis with sagittal plane deformity: clinical characteristics and outcome analysis[J]. *Spine*, 2007, 32(15): 1641-1647.
74. Qian BP, Qiu Y, Wang B, et al. Pedicle subtraction osteotomy through pseudarthrosis to correct thoracolumbar kyphotic deformity in advanced ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(4): 711-718.
75. Zhang X, Wang Y, Wu B, et al. Treatment of Andersson lesion-complicating ankylosing spondylitis via transpedicular subtraction and disc resection osteotomy, a retrospective study[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(8): 2587-2595.
76. 梁彦, 赵永飞, 朱震奇, 等. 脊柱后路截骨治疗强直性脊柱炎后凸畸形合并 Andersson 损伤 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(11): 967-971.
77. Wei HY, Dong CK, Zhu YT, et al. A modified posterior wedge osteotomy with interbody fusion for the treatment of thoracolumbar kyphosis with Andersson lesions in ankylosing spondylitis: a 5-year follow-up study[J]. *Chin Med J(Engl)*, 2020, 133(2): 165-173.
78. 王雅辉, 刘正蓬. 3D 打印辅助与经后路椎弓根钉棒内固定治疗强直性脊柱炎并胸腰椎骨折的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(23): 2190-2194.
- (收稿日期:2020-10-28 末次修回日期:2021-03-14)
(本文编辑 李伟霞)