

综述

强直性脊柱炎后凸畸形手术相关研究进展

Research progress of surgical treatment for ankylosing spondylitis kyphosis

姚子明, 郑国权, 王 征, 王 岩

(解放军总医院骨科 100853 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.02.13

中图分类号: R593.23, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2016)-02-0176-06

强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)是以骶髂关节和脊柱附着点炎症为主要症状、以全身广泛关节韧带骨化为特征的慢性炎症疾病^[1]。疾病后期可导致脊柱后凸畸形(腰前凸减小甚至变为后凸,胸腰段后凸,颈胸段后凸)^[2],部分患者伴有髋关节强直,严重影响患者平视、平卧、行走等功能,脊柱后凸严重时会导致消化及呼吸功能受损^[3,4],降低患者生活质量,往往需要进行手术矫正。近年来,国内外脊柱外科界对于 AS 后凸畸形手术相关的研究主要集中在分型、截骨技术、矫形设计和功能改变等方面。笔者从以上四个方面对 AS 后凸畸形手术相关的研究进展进行综述。

1 AS 后凸畸形分型

Kim 等^[5]总结行手术治疗的 248 例 AS 后凸畸形患者资料,于 2015 年提出根据侧位 X 线片上后凸顶点的位置(后凸顶点定义为距离 C2 椎体中心与骶骨上终板中心连线最远的椎体)分为四型:颈胸椎型,后凸顶点位于 C1 至 T3;中胸椎型,后凸顶点位于 T4~T9;胸腰椎型,后凸顶点位于 T10~L2;腰椎型,后凸顶点位于 L3 以下。各型比例分别为颈胸椎型 1%,中胸椎型 21%,胸腰椎型 71%,腰椎型 7%。对于不同后凸类型,采取不同的截骨方法,中胸椎型适合应用多节段经椎间关节 V 形截骨(Smith-Peterson osteotomy, SPO)或联合腰段脊髓圆锥以下的截骨,胸腰椎型适合于 L2(脊髓圆锥以下)行截骨,计划截骨角度在 30°左右可行经椎弓根截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO),计划截骨角度在 40°~45°时可行 PSO+SPO,或后路全脊椎切除术或 PSO+部分 PSO。该分型的缺点在于没有考虑到多部位同时存在后凸畸形的情况,也没有具体对应分型的手术方式。

郑国权等^[6]于 2015 年提出 AS 后凸畸形的 301 分型系统,该分型系统是依据手术治疗的 309 例患者的资料,同样根据后凸顶点的位置分为腰椎型(I 型)、胸腰椎型

(II 型)、胸椎型(III 型)及颈椎或颈胸交界型(IV 型),除 I 型外其他各型再分为 2 个亚型:正常腰椎前凸为 A 亚型,腰椎后凸为 B 亚型;各型比例分别为 I 型 16.8%,II A 型 49.5%,II B 型 22.7%,III A 型 8.1%,III B 型 2.6%,IV 型 0.3%;观察者间可信度为 73.3%~86.7%,可重复性为 83.3%~93.3%。针对不同的分型,作者还提出了具体的截骨策略:I 型,根据需要的截骨角度行腰段(L2~L5)单节段或双节段 PSO;II A 型,可胸腰段多节段 SPO 或者 L2 单节段 PSO;II B 型,可行 L2 或者 L3 的 PSO 以重建腰前凸,然后根据胸腰段后凸角度选择胸腰段再行一个 PSO 或多个 SPO;III A 型,在脊髓圆锥以下(即 L2 或 L3)单节段 PSO,然后局部行 SPO;III B 型,患者行双节段 PSO(T12+L2 或 L1+L3);IV A 型,需行 C7 截骨治疗;IV B 型,除了 C7 截骨外,作者推荐在 L2 或 L3 节段行单节段 PSO。

以上两种分型系统中,后者更加系统并进行了可信度和可重复性研究,作者也针对不同类型后凸提出了不同的手术策略^[6],是目前指导临床手术决策比较合适的分型方法。

2 截骨方法

按照脊柱截骨矫形后的三柱变化,临床常用的截骨方法主要有:开张型截骨(opening wedge osteotomy, OWO)、闭合型截骨(closing wedge osteotomy, CWO)和闭合-开张型截骨(closing-opening wedge osteotomy, COWO)。2014 年 Schwab 等^[7]根据截骨程度的不同将截骨手术分为 6 级(图 1),按照 Schwab 等提出的截骨分级方法,OWO 属于 2 级截骨,CWO 和 COWO 属于 3 级截骨。

2.1 OWO

开张型截骨主要是指 SPO,该术式由 Smith-Peterson 等^[8]于 1945 年首先描述,通过切除关节突等后方结构,以椎体后缘为铰链轴闭合后柱、张开前柱的椎间盘间隙实现对后凸的矫正。严格意义上 SPO 的切除范围仅限于上下关节突、棘突、椎板,后来有学者扩大切除范围至椎弓根,但任何切除部分椎体骨质的术式不应包括在 SPO 内^[9]。

采取 SPO 截骨术时,后凸畸形的矫正均匀分布在脊柱多个节段,且矫正度数大小可根据矫正的要求适当增加

第一作者简介:男(1985-),博士在读,研究方向:脊柱外科

电话:(010)66938402 E-mail:yzm301@aliyun.com

通讯作者:王岩 E-mail:yanwang301@yahoo.com

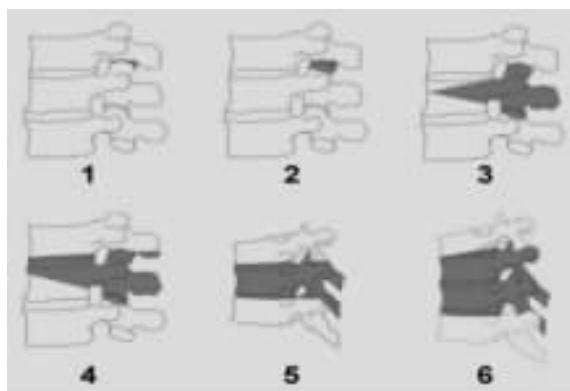


图1 Schwab等^[6]提出的脊柱截骨手术6级分法

或减少截骨节段,应力比较分散,有利于脊柱矢状面圆滑生理曲线的恢复,可很好地改善外观^[8,9]。但是该术式要求前柱适当张开,因此限制了单节段 SPO 截骨的矫形能力,一般单节段截骨可获得 10°左右矫正^[2,8]。如果单节段矫形过度,前柱张开过大,会有大血管损伤的风险^[10,11]。2006 年 Chang 等^[12]报道 127 例行 OWO 截骨的 AS 后凸畸形患者,有 27% (34 例) 发生了矢状面移位 (sagittal translation, ST),发生 ST 的患者中 15% 有神经系统并发症,而未发生 ST 的患者中仅有 2%。

2.2 CWO

目前常用的 CWO 主要是指 PSO 及其改良术式,根据术前设计的截骨角度,后路切除椎板、椎弓根、横突,并楔形截除前方椎体,直达前方骨皮质,造成前窄后宽的截骨间隙,以椎体前方的皮质骨为铰链,闭合前中柱的楔形间隙。当后凸畸形严重,单节段 PSO 无法取得较好的矢状面平衡时,可行双节段 PSO。同时不对称的 PSO 截骨可以同时矫正冠状面畸形^[13]。该术式目前已成为矫正 AS 胸腰段后凸畸形的最常用术式。近些年文献报道的 PSO 多集中在双节段截骨。

多数文献报道的 PSO 截骨一般选择在腰前凸顶点区域即 L2 或 L3 施行,单节段 PSO 截骨平均可获得 30°~40°矫正^[14-18]。Debarge 等^[17]与 Kiaer 等^[18]认为单节段 PSO 最大可获得 40°矫正,如果需要的截骨角度超过该度数应行双节段截骨矫形。若单节段矫形度数过大,一方面可以造成椎管在矢状面上的成角,易发生脊柱失稳,另一方面由于脊髓的过度短缩堆积而加大神经损伤的风险^[14,19,20]。

2014 年 Zheng 等^[21]报道 48 例患者行双节段 PSO 截骨矫形,截骨位置选择在 T12 和 L2,及 L1 和 L3,颌眉角平均获得 60°矫正,上下两个节段 PSO 分别获得 24.9°和 38.1°的矫正,矢状面偏移 (sagittal vertical axis, SVA) 平均恢复 16.3cm,同时患者的功能获得显著提高。他们认为双节段 PSO 的适应证为局部后凸畸形严重 (预计截骨角度 > 40°) 和胸腰段后凸同时伴有腰前凸严重丢失,相对于单节段大角度的截骨,双节段 PSO 恢复脊柱序列更接近正常生理曲度。Xu 等^[22]比较了单节段 PSO 截骨与双节段 PSO

截骨治疗 AS 后凸畸形患者资料,指出双节段 PSO 截骨对于胸腰段后凸及腰前凸丢失严重的患者有更好的矫形效果,虽然双节段截骨手术时间和术中出血量均多于单节段截骨,但两组患者的并发症发生率无明显差异。

与 SPO 不同,PSO 截骨时椎间盘及脊柱前缘骨皮质均未张开,减少了前纵韧带和腹主动脉撕裂的风险^[23]。Liu 等^[24]2015 年进行的 Meta 分析显示 PSO 手术相关并发症发生率为 28%,其中神经系统并发症发生率为 5%,永久性神经损伤的发生率为 1.2%,术中硬膜撕裂的发生率为 4%。总体来讲,PSO 的并发症发生率并不高于 SPO。

2.3 COWO

该术式是在 CWO 的基础上演变而来,截骨椎上下端脊柱以短缩的中柱为铰链,折断前皮质后张开。Chang 等^[25]报道平均单节段 COWO 可获得 42.2°矫正,最大获得 60°矫正,并证实单节段截骨矫形时,COWO 比 PSO 矫形力度更强,且未发生因前柱张开造成的血管损伤。2012 年 Qian 等^[15]比较了 CWO 与 COWO 两种术式治疗 AS 后凸畸形的效果,发现 COWO 组患者获得更大的腰前凸和 SVA 矫正,平均单节段截骨角度 (41.8°) 明显大于 CWO (31.9°)。此外行 CWO 截骨椎体的高度短缩 (1.3cm) 明显大于 COWO 组 (0.7cm),两组的功能改善和并发症发生率无明显差别。

近年来,脊柱外科医生对 COWO 进行了改良。Wang 等^[26]将传统的全脊椎切除术与“蛋壳技术”相结合进行改良,发展成为脊柱去松质骨截骨 (vertebral column decancellation, VCD)。齐鹏等^[27]比较了单节段 VCD 截骨与双节段 PSO 截骨矫正 AS 后凸畸形的临床效果,指出对于局部后凸畸形需行 40°~65°截骨角度时,单节段 VCD 可取得与双节段 PSO 相似的矫正效果,且术中出血量更少,手术时间更短,在重建矢状面平衡与改善生活质量方面效果满意。2010 年 Wang 等^[28]提出经椎弓根双椎体边缘截骨术,将上位椎体的下部分、下位椎体的上缘及中间的椎间盘进行 V 形截除,闭合截骨间隙时张开前柱,他们报道的单节段截骨平均可获 64°矫正,主要适用于颌眉角大于 90°的患者。2013 年 Ji 等^[29]研究了 21 例 AS 胸腰段后凸畸形患者行 COWO 后腹主动脉的改变情况,发现术后腹主动脉平均被拉伸了 2.2cm,直径平均减小了 0.41cm,尽管如此,未发生主动脉撕裂等并发症。Qian 等^[15]比较了 35 例行 CWO 患者和 29 例行 COWO 患者,手术相关并发症发生率无明显差异。

2.4 特殊部位截骨

2.4.1 颈胸段 部分 AS 患者后凸畸形会累及颈胸段,典型特征为“颌胸畸形”,导致患者视野受限,平视功能丧失,严重者出现张口困难,影响吞咽。颈胸段后凸畸形的另一个特点是由于脊柱僵直,骨质疏松,颈椎稳定性相对较差,容易发生病理性骨折。文献报道的 AS 颈胸段后凸畸形患者中,颈椎骨折发生率为 30%~40%^[30]。

不同于胸腰段后凸畸形,颈胸段后凸畸形的手术方式相对局限。文献^[31,32]报道的主要有两种:一种是 C7~T1

伸展性截骨,另一种是于 C7 行 PSO 截骨。前者通过切除 C6、C7、T1 椎板,沿 C7 椎弓根基底部切除部分椎弓根,然后使用头环牵引患者颈部直至 C7 腹侧发生骨折,畸形矫正后使用 Halo-vest 外固定架固定^[31]。该术式造成了颈椎前柱张开,有损伤前方器官的风险;另外,脊柱三柱断开后,失去稳定性,容易造成截骨断端移位和脊髓神经损伤。后者同样切除 C7 椎板、C6 和 T1 的部分椎板,经椎弓根楔形截除椎体后,颈椎使用侧块螺钉,胸椎使用椎弓根螺钉固定,通过加压内置物,缓慢闭合截骨间隙,矫正后凸畸形。相较而言,C7 行 PSO 时前柱不张开,不会牵拉脊柱前方组织,减少了前纵韧带和气管、食管撕裂的危险,同时截骨接触面积大,有利于截骨面的融合,避免矫正丢失^[32]。也有部分学者报道经过上胸椎截骨,但相较而言,下颈椎截骨可以提供更好的矫正效果,手术时间也更短^[33]。

2.4.2 经骨折处截骨 AS 后期由于纤维环、前纵韧带、小关节囊及黄韧带广泛骨化导致脊柱脆性增加,在轻微外伤的情况下就可能发生骨折^[34],骨折线可经过椎体或椎间盘。最初骨折比较隐匿,也被称为 Andersson 变性,随着患者活动增加,骨折处逐渐形成假关节。伴有骨折的 AS 患者往往出现背部疼痛或神经系统症状,该类患者手术目的主要是重建脊柱稳定性,充足的椎管减压及获得坚强融合。既往文献报道有经前路、后路或前后路联合的手术方式^[35,36],近几年经骨折处后路截骨融合报道多见。

2012 年 Qian 等^[37]报道 7 例 AS 胸腰段后凸畸形患者行假关节处截骨矫正,术前均有背痛,3 例患者有神经系统受损的表现,术后后凸由 75° 改善至 30°,背痛缓解,神经功能完全恢复,且均获得了坚强融合。同时,作者强调对于前中柱有骨缺损的病例,二期行前路植骨融合是必要的。2015 年 Zhang 等^[38]报道于 Andersson 病变或假关节处采用经椎弓根双椎体边缘截骨治疗 AS 后凸畸形患者 17 例,局部后凸矫正平均为 24.2°,患者疼痛情况和功能评价有明显改善,且均获得坚强融合。

3 截骨设计

AS 患者由于脊柱强直,手术矫正后的脊柱形态与位置往往固定不变,无法像其他类型的后凸畸形一样未固定节段有活动代偿功能。另外,AS 患者颈椎和髋关节往往有不同程度的受累,活动范围下降,因此,为满足患者术后平视能力及站、坐功能,术前截骨设计不能仅考虑恢复正常的脊柱序列。

3.1 恢复脊柱序列

肖联平等^[39]报道采用“剪纸法”,术前拍摄站立位侧 X 线片,按照 1:1 比例放大至纸样上,然后模拟术中截骨位置,将纸样剪切模拟矫正,同时测量患者颌眉角,最终确定截骨角度这种传统的截骨设计方法直观易懂,但一方面应用相对复杂,另一方面该方法注重脊柱序列的重建,但未考虑骨盆的代偿作用。Ondra 等^[40]提出以具体的参数指导截骨设计:即以矢状面平衡距离=0cm 作为矢状面重建的

标准,通过三角函数将 C7 重置于 S1 后缘正上方,以此明确截骨角度。与传统剪纸法一样,该法同样仅仅局限于脊柱序列的重建,忽视了骨盆代偿作用,截骨角度往往偏小。

随着对脊柱-骨盆参数和骨盆旋转代偿作用的深入认识,之后的研究逐步将骨盆的旋转情况考虑到截骨矫正的设计方案中。Van Royen 等^[41]将反映骨盆位置参数性参数骶骨倾斜角设定为 40°,在此基础上,以截骨椎体前缘作为旋转中心,将 C7 重置于骶骨后上缘前方 7.5cm 处。Song 等^[42]报道肺门可以近似作为 AS 后凸畸形的躯干重心,并以此代替 C7 作为矢状面重建的影像学标志。作者提出利用公式 $iPT=0.37 \times PI-7^\circ$ (iPT :理论骨盆倾斜角; PI :骨盆入射角)得出理论 PT 值,通过髋轴中心画出 iPT 线,即为骨盆中立位线。同样以截骨椎体前缘作为旋转中心,将肺门重置于 iPT 线上(图 2a)。该方法通过骨盆参数间的相关性预测不同患者的骨盆中立位状态,更为个性化。同时,该方法也可以用于双节段 PSO 截骨设计(图 2b)。

此外,截骨设计完成后,Yang 等^[43]提出可以根据术前的截骨设计,术前进行精确的预弯棒,便于角度的测量,节省手术时间。

3.2 颈椎活动受限对截骨设计的影响

2003 年 Suk 等^[44]首先提出颌眉角的概念,以评价 AS 后凸畸形患者伴颈椎强直时平视能力。让患者过伸膝、髋关节,下颌与眉弓连线与垂线的夹角即为颌眉角。Suk 指出颌眉角处于 $-10^\circ \sim 10^\circ$ 患者可获得最好的平视能力。因此,对于此类患者进行矫正设计时必须考虑颌眉角的纠正。2014 年宋凯等^[45]也对颈椎强直的 AS 患者进行随访,发现尽管 $-10^\circ \sim 10^\circ$ 的颌眉角虽然能使患者获得最好的平视能力,但同时带来了下视能力的不足,如家务劳动、伏案工作等受限。作者通过对患者主观满意度调查显示,颈椎强直的患者在获得 $10^\circ \sim 20^\circ$ 的颌眉角时能够取得最优的整体满意度。

当颈部活动受限将颌眉角纳入考虑时的截骨角度



图 2 肺门法截骨设计示意图^[42] a L2 单节段截骨设计,理论截骨角度为 α b L1/L3 双节段截骨,L3 截骨 40° ,L1 截骨角度为 $\alpha-40^\circ$

α =术前颌眉角- 10° + Δ PT, Δ PT 为骨盆倾斜角术前的变化值, 可通过肺门法计算得出^[45]。此外, 截骨角度也受截骨位置的影响, 具体的方法可参考相关文献^[45]。总体来讲, 对于颈椎强直的患者进行手术设计时, 一定为颌眉角预留可控空间, 截骨角度宁小勿大, 避免术后平视困难。

3.3 髋关节活动受限对截骨设计的影响

AS 患者脊柱后凸伴髋关节活动受限的情况并不罕见, 部分髋关节强直患者需要进行后凸矫形和全髋关节置换术 (total hip replacement, THR), 但此种情况下两部位手术的先后次序如何, 历年来的研究仍有争论, 但总体的认识在逐步深入。早在 1963 年就有学者^[46]提出应先行 THR, 再行脊柱截骨术。Mahesh 等^[47]认为行 THR 后, 髋关节活动范围增加和疼痛减轻有利于判断残留的脊柱畸形程度。这种早期的报道没有意识到骨盆代偿对髋臼假体的影响。2014 年 Zheng 等^[48]报道 28 例同时需行 THR 和脊柱矫形手术的 AS 患者, 6 例患者先行 THR, 其中 2 例患者出现术后早期髋关节前脱位, 其余 22 例患者先后行后凸矫形, 未发生脊柱或关节的并发症, 作者据此认为先行脊柱截骨后行 THR 是合理的, 因为脊柱矫形后可以给髋臼假体放置时提供参考。2015 年宋凯等^[49]对该类患者进行系统的功能评价, 指出先行脊柱矫形术后患者活动能力是下降的, 行 THR 后恢复并提高; 先行 THR 后患者活动能力提高, 脊柱矫形后再次提高, 据此作者指出从功能方面考虑先 THR 更有利于患者生活质量改善。因此, 髋关节强直时, THR 与脊柱矫形手术的先后顺序尚未达成共识。

此外, 髋关节活动范围受限, 即使没有达到 THR 的手术指征, 对截骨设计仍有较大影响。宋凯等^[49]指出脊柱矫形术会影响骨盆旋转, 继而改变 AS 患者髋关节有效运动范围, 因此截骨时应尽量满足患者的站、坐功能, 即截骨角度 α 应满足: 直立截骨最小角 $< \alpha <$ 端坐截骨最大角。未来此类患者的治疗可能需要关节外科医生和脊柱外科医生的合作, 针对不同畸形情况制定个体化的治疗方案。

总体来讲, AS 患者脊柱矫形设计时, 应考虑三大因素: 后凸畸形本身、颌眉角及髋关节活动度, 在能满足合适的颌眉角及坐、站功能的前提下, 可以尽量恢复脊柱生理曲度。

4 矫形手术对功能的影响

AS 胸腰段后凸畸形患者由于躯干弯曲, 胸骨肋骨贴近脊柱, 胸腔、腹腔容积减小, 甚至出现肋弓压迫内脏, 影响其消化和呼吸功能。另外, 患者的肋椎关节损害, 胸廓顺应性下降也可影响其呼吸功能。2015 年张云鹏等^[50]报道 AS 患者消化功能的下降与年龄、脊柱最大后凸角、服用非甾体类抗炎药与抗风湿药、饮酒和贫血有关。近几年国内外学者在脊柱矫形对心肺及消化功能的影响方面进行了深入的研究。Liu 等^[49]和 Ji 等^[51]基于手术前后腹部 CT, 研究证实 AS 胸腰段后凸畸形矫正手术可以改善膈肌旋转、增加腹腔容积 (平均约 652ml)。Liu 等^[52]利用患者的体重、进

食量和大便次数的改变来评价消化功能, 证实截骨矫形术后, AS 后凸畸形患者的消化功能有明显改善。

Zhang 等^[53]报道 28 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者行 PSO 截骨矫形术后, CT 测量证实肺容积平均增加 396ml, 且肺容积的改变与 T1~S1 后凸角的改变相关。Fu 等^[54]报道 32 例 AS 后凸畸形患者行 PSO 矫形术后, 随访 2 年, 有 85.2% 患者肺功能获得改善, 术后肺容积增加, 通气功能明显提高, 且肺功能的改善与后凸畸形的改善呈正相关。Fu 等^[55]报道 PSO 治疗 AS 后凸畸形患者 35 例, 随访 2 年时, 患者静息心率有显著下降, 术前存在左室舒张功能降低的 20 例患者中有 15 例随访时发现左室舒张功能正常。

5 小结

总之, 对 AS 后凸畸形进行分型可以更好地指导手术策略的制定, 目前提出的分型系统尚需临床应用的进一步检验。临床常用的截骨方法主要有 OWO、CWO 和 COWO, 对于不同类型的后凸畸形可以采用一种截骨术式或几种术式联合。最新的矫形设计除考虑脊柱序列的恢复外, 还应考虑到颈椎活动受限和髋关节活动受限的影响, 尽量满足患者术后的平视、站立和端坐功能, 但当髋关节强直需行 THR 时, 脊柱矫形与 THR 的先后次序目前尚未达成共识。脊柱矫形对于心肺及消化功能均有一定的改善作用, 但目前报道相对较少, 尚需更多的临床研究。

6 参考文献

- 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.
- Ragnarsdottir M, Geirsson AJ, Gudbjornsson B. Rib cage motion in ankylosing spondylitis patients: a pilot study[J]. Spine J, 2008, 8(3): 505-509.
- Liu C, Song K, Zhang Y, et al. Changes of the abdomen in patients with ankylosing spondylitis kyphosis[J]. Spine, 2015, 40(1): E43-48.
- 郑国权, 张永刚, 王岩, 等. 强直性脊柱炎后凸畸形的 301 分型[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(5): 769-774.
- Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. Neurosurgery, 2014, 74(1): 112-120.
- Smith-Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1945, 27: 1-11.
- Hehne HJ, Zielke K, Bohm H. Polysegmental lumbar osteotomies and transpedicled fixation for correction of long-curved kyphotic deformities in ankylosing spondylitis: report on 177 cases[J]. Clin Orthop Relat Res, 1990, (258): 49-55.
- Zhu Z, Wang X, Qian B, et al. Loss of correction in the

- treatment of thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis: a comparison between Smith-Petersen osteotomies and pedicle subtraction osteotomy[J]. *J Spinal Disord*, 2012, 25(7): 383-390.
10. 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 for instrumented reduction [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2252-2260.
11. Camargo FP, Cordeiro EN, Napoli MM. Corrective osteotomy of the spine in ankylosing spondylitis: experience with 66 cases[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1986, (208): 157-167.
12. 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*, 2006, 31(10): 1137-1142.
13. 朱锋, 鲍虹达, 邱勇, 等. 比较经椎弓根与 Smith-Petersen 截骨对退变性侧后凸畸形冠状矢状面平衡重建的影响[J]. *中华骨科杂志*, 2014, 34(4): 347-354.
14. 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-S178.
15. 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: a comparison with closing wedge osteotomy[J]. *Spine*, 2012, 37(16): 1415-1423.
16. Kim KT, Lee SH, Suk KS, et al. Outcome of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance of multiple etiologies: a retrospective review of 140 patients[J]. *Spine*, 2012, 37(19): 1667-1675.
17. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Sagittal balance analysis after pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 619-625.
18. Kiaer T, Gehrchen M. Transpedicular closed wedge osteotomy in ankylosing spondylitis: results of surgical treatment and prospective outcome analysis[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(1): 57-64.
19. Chen IH, Chien JT, Yu TC. Transpedicular wedge osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis: experience with 78 patients[J]. *Spine*, 2001, 26(16): E354-360.
20. Ikenaga M, Shikata J, Takemoto M, et al. Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 6(4): 330-336.
21. Zheng GQ, Song K, Zhang YG, et al. Two-level spinal osteotomy for severe thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis. Experience with 48 patients[J]. *Spine*, 2014, 39(13): 1055-1058.
22. Xu H, Zhang Y, Zhao Y, et al. Radiologic and clinical outcomes comparison between single- and two-level pedicle subtraction osteotomies in correcting ankylosing spondylitis kyphosis[J]. *Spine J*, 2015, 15(2): 290-297.
23. Bridwell KH, Lewis SJ, Lenke LG, et al. Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85-A(3): 454-463.
24. Liu H, Yang C, Zheng Z, et al. Comparison of Smith-Petersen osteotomy and pedicle subtraction osteotomy for the correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Spine*, 2015, 40(8): 570-579.
25. Chang KW, Cheng CW, Chen HC, et al. Closing-opening wedge osteotomy for the treatment of sagittal imbalance [J]. *Spine*, 2008, 33(13): 1470-1477.
26. Wang Y, Lenke LG. Vertebral column decancellation for the management of sharp angular spinal deformity[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(10): 1703-1710.
27. 齐鹏, 宋凯, 张永刚, 等. 单节段脊柱去松质骨截骨与双节段经椎弓根截骨矫正强直性脊柱炎后凸畸形的临床效果比较[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(9): 775-780.
28. Wang Y, Zhang Y, Mao K, et al. Transpedicular bivertebrae wedge osteotomy and discectomy in lumbar spine for severe ankylosing spondylitis[J]. *J Spinal Disord*, 2010, 23(3): 186-191.
29. 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: a computed tomographic study[J]. *Spine*, 2013, 38(22): E1361-1367.
30. Simmons ED, DiStefano RJ, Zheng Y, et al. Thirty-six years experience of cervical extension osteotomy in ankylosing spondylitis: techniques and outcomes[J]. *Spine*, 2006, 31(26): 3006-3012.
31. Koller H, Meier O, Zenner J, et al. Non-instrumented 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): 819-832.
32. Scheer JK, Tang JA, Buckley JM, et al. Biomechanical analysis of osteotomy type and rod diameter for treatment of cervicothoracic kyphosis[J]. *Spine*, 2011, 36(8): E519-523.
33. Theologis AA, Tabaraee E, 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.
34. Bron JL, de Vries MK, Snieders MN, et al. Discovertebral (Andersson) lesions of the spine in ankylosing spondylitis revisited[J]. *Clin Rheumatol*, 2009, 28(8): 883-892.
35. Shih TT, Chen PQ, Li YW, et al. Spinal fractures and pseudoarthrosis complicating ankylosing spondylitis: MRI manifestation and clinical significance [J]. *J Comput Assist*

- Tomogr, 2001, 25(2): 164-170.
36. Dave BR, Ram H, Krishnan A. Andersson lesion: are we misdiagnosing it? a retrospective study of clinico-radiological features and outcome of short segment fixation[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(9): 1503-1509.
37. 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.
38. 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*, 2015, [Epub ahead of print].
39. 肖联平, 江毅, 刘智, 等. 强直性脊柱炎后凸畸形的外科治疗[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2004, 14(9): 527-530.
40. Ondra SL, Marzouk S, Koski T, et al. Mathematical calculation of pedicle subtraction osteotomy size to allow precision correction of fixed sagittal deformity[J]. *Spine*, 2006, 31(25): E973-979.
41. Van Royen BJ, De Gast A, Smit TH. Deformity planning for sagittal plane corrective osteotomies of the spine in ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(6): 492-498.
42. Song K, Zheng G, Zhang Y, et al. Hilus pulmonis as the center of gravity for AS thoracolumbar kyphosis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(12): 2743-2750.
43. Yang J, Huang Z, Grevitt M, et al. Precise bending rod technique a novel method for precise correction of ankylosing spondylitis kyphosis[J]. *J Spinal Disord*, 2013, [Epub ahead of print].
44. 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.
45. 宋凯, 张永刚, 付君, 等. 颌眉角的最优选择及其在强直性脊柱炎后凸畸形矫形设计中的应用[J]. *中国骨与关节杂志*, 2014, 3(10): 732-738.
46. Lee ML. Orthopaedic problems in ankylosing spondylitis[J]. *Rheumatism*, 1963, 19: 79-82.
47. Mahesh BH, Jayaswal A, Bhan S. Fracture dislocation of the spine after total hip arthroplasty in a patient with ankylosing spondylitis with early pseudoarthrosis[J]. *Spine J*, 2008, 8(3): 529-533.
48. Zheng GQ, Zhang YG, Chen JY, et al. Decision making regarding spinal osteotomy and total hip replacement for ankylosing spondylitis: experience with 28 patients[J]. *Bone Joint J*, 2014, 96-B(3): 360-365.
49. 宋凯, 张永刚, 付君, 等. 脊柱矫形对强直性脊柱炎胸腰段后凸畸形患者髋关节相关活动能力及生活质量的影响 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(10): 871-882.
50. 张云鹏, 钱邦平, 邱勇, 等. 强直性脊柱炎患者消化功能的影响因素分析及临床意义[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(9): 799-804.
51. Ji ML, Qian BP, Qiu Y, et al. Change in abdominal morphology after surgical correction of thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis: a computed tomographic study[J]. *Spine*, 2015, 40(23): E1244-1249.
52. Liu C, Zheng G, Zhang Y, et al. The radiologic, clinical results and digestive function improvement in patients with ankylosing spondylitis kyphosis after pedicle subtraction osteotomy[J]. *Spine J*, 2015, 15(9): 1988-1993.
53. Zhang G, Fu J, Zhang Y, et al. Lung volume change after pedicle subtraction osteotomy in patients with ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphosis[J]. *Spine*, 2015, 40(4): 233-237.
54. Fu J, Zhang G, Zhang Y, et al. Pulmonary function improvement in patients with ankylosing spondylitis kyphosis after pedicle subtraction osteotomy [J]. *Spine*, 2014, 39(18): E1116-1122.
55. Fu J, Song K, Zhang YG, et al. Changes in cardiac function after pedicle subtraction osteotomy in patients with a kyphosis due to ankylosing spondylitis[J]. *Bone Joint J*, 2015, 97-B(10): 1405-1410.

(收稿日期:2015-12-01 修回日期:2016-01-02)

(本文编辑 李伟霞)