

后路经椎间隙截骨的临床分型及应用

王 岩

(中国人民解放军总医院骨科 100853 北京市)

【摘要】目的:介绍脊柱后路经椎间隙截骨术(trans-intervertebral space osteotomy, TIO)的技术理念、临床分型和应用策略。**方法:**根据 TIO 技术特点、手术操作过程中截骨切除范围所涉及的解剖结构,将其分为 3 大类型及 2 种扩大(+)型:围绕椎间盘及关节突关节为 I 型,扩大至楔形切除椎间隙一侧终板为 II 型(头尾双侧终板则为 II+型)。扩大至楔形切除椎间隙一侧椎弓根为 III 型(双侧椎弓根则为 III+型);收集 2003 年 1 月~2012 年 12 月接受后路经椎间隙截骨术治疗的 30 例胸腰椎侧后凸畸形患者的临床资料,其中男 12 例,女 18 例,年龄 29~69 岁(51.4±10.4 岁)。由 5 位脊柱外科医师先后对患者的临床资料进行独立评估与分型(间隔 2 周),进行 Kappa 一致性检验以分析其可信度及可重复性。**结果:**30 例患者中行 I 型 TIO 15 例, II 型 TIO 6 例, II+型 TIO 3 例, III 型 TIO 4 例, III+型 TIO 2 例。观察者间一致性的 Kappa 系数 0.806~0.953; 观察者内一致性的 Kappa 系数为 0.837~0.953,可信度及可重复性满意。**结论:**经椎间隙截骨临床分型实用可靠,可作为理论基础用于比较不同研究中经椎间隙截骨技术的手术效果,有利于指导脊柱侧后凸畸形的截骨矫形治疗。

【关键词】经椎间隙截骨;脊柱截骨矫形术;分型

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.11.02

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-11-0967-09

Clinical classification of posterior trans-intervertebral space osteotomy in kyphotic and scoliotyphotic spinal deformity/WANG Yan//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(11): 967-975

【Abstract】 Objectives: To clarify the definition of trans-intervertebral space osteotomy (TIO) and to propose a clinical classification of TIO based on the extent of osseous resection. **Methods:** The clinical data of 30 patients of kyphotic and kyphoscoliotic spinal deformity underwent TIO correction surgery from January 2003 to December 2012 [12 males and 18 females, aged from 29 to 69 years old (51.4±10.4 years old)] were included. According to the intraoperative extent of osseous resection and the involved anatomical structures, the TIO was classified into three main types and two additional subtypes (plus type): type I, the resection included posterior facet joints with or without the intervertebral disc; type II, the resection included the facet joints, intervertebral disc, and bony wedge of adjacent vertebra including either adjacent endplate; type III, the resection included facet joints, intervertebral disc, and bony wedge of inferior vertebra including pedicle. The type II and type III had plus type (+ type), respectively. Five spinal surgeons evaluated and classified the cases in sequence according to the above-mentioned classification to collect the evaluation data. Two weeks later, the same five surgeons conducted a second evaluation and classified all the same cases in a different order and their evaluation results were collected again. Fleiss' Kappa coefficients were performed to evaluate the reliability and reproducibility of the classification. **Results:** There were 15 cases of type I TIO, 6 cases of type II, 3 cases of type II+, 4 cases of type III and 2 cases of type III+ among the 30 cases. The inter-observer reliability with a Kappa coefficient of 0.806-0.953; the inter-observer reliability with a Kappa coefficient of 0.837-0.953, indicating a satisfying reliability and reproducibility. **Conclusions:** The proposed clinical TIO classification was practical and validated reliable. It could be utilized for outcome analyze for studies of various TIO techniques as basic theory, which contributing to the surgical treatment of kyphotic and scoliotyphotic spinal deformity.

【Key words】 Trans-intervertebral space osteotomy; Spinal osteotomy; Osteotomy classification

作者简介:男(1962-),教授,主任医师,博士生导师,研究方向:脊柱外科、关节外科

电话:(010)66939429 E-mail:yanwang301@163.com

【Author's address】 Department of Orthopaedics, General Hospital of Chinese People's Liberation Army, Beijing, 100853, China

脊柱椎体间隙(椎间隙)由椎间盘、韧带及后方关节突关节所连接,提供了椎体节段间的活动度。经椎间隙入路是脊柱退行性疾病常用的手术入路之一^[1,2]。但其在截骨矫形手术中的重要性未得到充分重视。笔者首次提出经椎间隙截骨术(trans-intervertebral space osteotomy, TIO)的概念,将其定义为:脊柱截骨切除范围围绕椎间隙结构、矫形的旋转中心位于椎间隙内、内固定以截骨间隙为中心的脊柱截骨矫形技术。以 Smith-Petersen 截骨术(Smith-Petersen osteotomy, SPO)、Ponte 截骨术等后柱截骨矫形技术为雏形,囊括合并关节突切除的后路腰椎椎体间融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)、经椎间孔腰椎椎体间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)等常用术式。近年来随着 TIO 逐渐完善,在减少术中出血、手术时间及神经损伤等并发症方面有一定优势^[3-6]。王岩、张雪松等^[7-9]最早开展了以经椎间隙楔形截骨为代表的各型 TIO 治疗陈旧性创伤性、结核性等后凸及侧后凸畸形,效果良好。目前 TIO 及其衍生的截骨矫形技术已被广泛报道,但各报道中的命名混乱,缺少对该技术的概念、操作系统阐述及分型。笔者对 TIO 进行分析总结,提出一种临床分型方法,报道如下。

1 资料与方法

1.1 分型方法

根据 TIO 技术特点、手术操作过程中截骨范围所涉及的解剖结构由少到多的变化,将其分为 3 大类型及 2 种扩大(+)型:Ⅰ型 TIO,切除范围为脊柱后柱关节突关节,部分棘突及椎板,切除或保留该椎间隙层面的椎间盘;Ⅱ型 TIO,切除范围为关节突关节、部分棘突及椎板、椎间盘、相邻椎体包括终板在内的楔形骨质;Ⅲ型 TIO,切除范围为关节突关节、棘突及椎板、椎间盘、楔形切除目标间隙尾侧椎体的椎弓根及部分椎体。Ⅱ、Ⅲ型进一步分为标准和扩大(+)型两个亚型:Ⅱ+型 TIO,在Ⅱ型 TIO 切除范围基础上,范围扩大至另一侧相邻终板在内的楔形骨质;Ⅲ+型 TIO,在Ⅲ型 TIO 切除范围基础上,范围扩大至头侧椎体终板或椎弓根在内的楔形骨质。具体分型方法见图 1。

1.2 手术方法

1.2.1 Ⅰ型 TIO Ⅰ型 TIO 术在每个间隙可实现约 10°的矫形,合并椎间盘切除、Cage 置入可实现约 15°的矫形^[10,11]。对休门氏病胸椎后凸畸形等较平滑的弓状畸形、后柱发育不良所致的脊柱侧凸以及伴有轻中度失平衡的退行性脊柱侧凸,行多节段Ⅰ型 TIO。退行性脊柱侧凸合并腰椎管狭窄、腰椎间盘突出症或椎间隙塌陷导致神经受压时,行Ⅰ型 TIO 同时切除责任椎间盘、置入椎间融合器以充分减压、保证椎间孔的高度,置入可膨胀式或楔形椎间融合器以适当延长前柱,帮助恢复椎间隙高度,更好地重建腰前凸,恢复脊柱矢状面序列;对于冠状面失平衡患者,行Ⅰ型 TIO 的同时在冠状面畸形的凹侧置入椎间融合器实现不对称闭合,实现椎体水平化。

常规后路正中切口显露目标间隙头尾侧椎体,并置入椎弓根螺钉,切除后柱结构,包括头侧椎体椎弓根尾侧 0.5cm 以下椎板及棘突;关节突关节需要完全切除,在直视下进行神经根减压,并实现僵硬椎间隙的松解。保留前纵韧带及纤维环外层作为张力带,同时容纳植骨颗粒。在进行椎间隙松解后再连接预弯的钛棒以使节段椎体适应钛棒的曲度。

1.2.2 Ⅱ型 TIO Ⅱ/Ⅱ+型 TIO 可实现 20°~25°的矫形^[12]。对于终板破坏性病变所导致的畸形,在病变间隙行Ⅱ+型 TIO;对于一般的胸腰段及腰段侧后凸或后凸畸形,截骨部位选择在畸形顶点或顶椎的相邻椎间隙。存在冠状面畸形、截骨间隙不平整、椎体冠状面不对称时,行Ⅱ型 TIO 的同时对终板进行不对称切除。合并骨质疏松时在截骨间隙相邻节段置入椎弓根螺钉以利于截骨间隙的力学稳定,并保留腹侧部分终板避免椎体塌陷。

常规显露并于目标间隙头尾侧各置入 3~4 对椎弓根螺钉。Ⅱ型 TIO 的减压范围包括目标间隙头侧椎体的棘突、椎板和下关节突。完成关节突关节切除后,充分显露椎间隙水平的硬膜囊及下行神经根,按椎间融合术操作处理拟保留侧的终板,拟切除侧终板连同髓核组织及软骨终板同时被切除。由于椎体骨性终板中央不规则的自然凹陷,截除后外侧终板使其接触面平整;骨质缺损时辅以植骨材料以闭合截骨间隙。Ⅱ+型 TIO 在上述基础上,同时楔形切除目标间隙头尾两侧终板,

闭合截骨间隙前在椎间隙内置入普通或可膨胀式 Cage, 在间隙前方作为铰链点提供更大的矫形角度, 在脊髓电生理监测下适度加压闭合截骨间隙。

1.2.3 III 型 TIO III/III+型 TIO 可实现超过 40° 的矫形^[7,8]。III 型 TIO 的截骨部位选择在畸形顶点或畸形塌陷椎体的头侧间隙; III+型 TIO 部位选择畸形塌陷椎体之间的椎间隙, 仅在脊髓圆锥以下水平应用。III 型 TIO 用于角状后凸畸形、合并

前方椎体塌陷及发育不良的侧后凸或后凸畸形, 如陈旧性创伤后凸畸形、先天性脊柱后凸畸形、结核后脊柱后凸畸形、强直性脊柱炎后凸畸形、Kümmell's 病后凸畸形等。角状后凸畸形 $>70^\circ$, 后凸顶点为双椎体塌陷或由两个以上发育不良椎体构成, 则使用 III+型 TIO; 合并严重失平衡需要 VCR 技术矫形而患者一般情况难以耐受时, 使用 III+型 TIO。对冠状面畸形, 两侧按术前设计进行

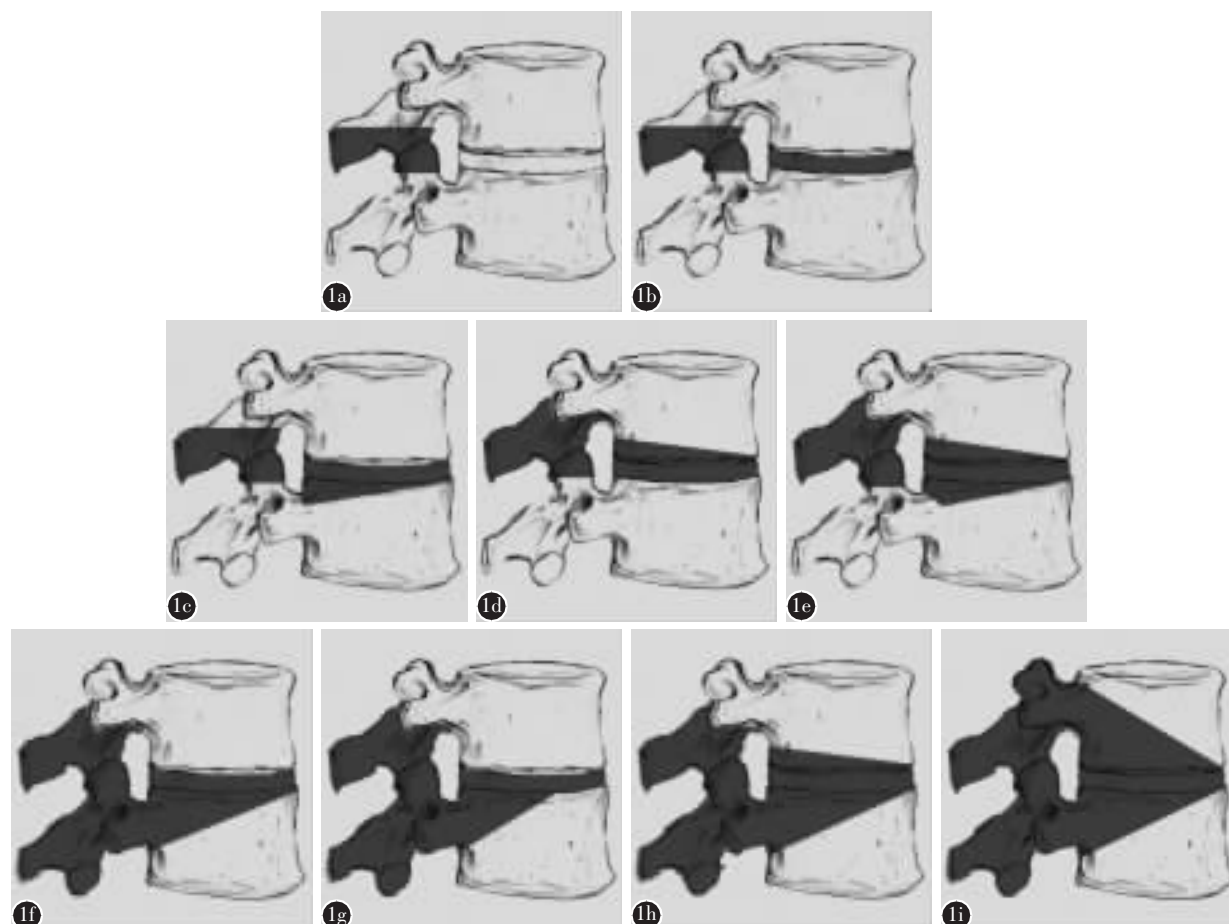


图 1 各型经椎间隙截骨楔形切除范围示意 **a、b** I 型 TIO, 切除目标椎间隙的关节突关节, 及头侧相邻椎体相应水平的部分椎板、棘突, 可选择同时切除该椎间隙的间盘及后纵韧带 **c、d** II 型 TIO, 在 I 型 TIO 处理间隙的基础上额外切除目标间隙头侧或尾侧相邻终板在内的楔形骨质; 当切除目标间隙头侧椎体下终板时, 后方切除全椎板、棘突 **e** II+型 TIO, 在 II 型 TIO 基础上将截骨切除范围扩大至另一侧相邻终板在内的楔形骨质 **f、g** III 型 TIO, 在 I 型 TIO 处理间隙的同时切除包括尾侧椎弓根在内的楔形骨质; 根据楔形切除骨质范围的不同, 截骨闭合的铰链点可在椎间隙腹侧缘至终板中点间变化 **h、i** III+型 TIO, 在 III 型 TIO 基础上将截骨切除范围扩大至头侧椎体终板或椎弓根在内的楔形骨质

Figure 1 Graphical illustration of the TIO classification **a, b** Type I TIO: the osteotomy resection including facet joints, partial rostral lamina and spinous process in target intervertebral space. The disc could be resected with posterior longitudinal ligament for intervertebral space preparation **c, d** Type II TIO: addition resection of bony wedge of adjacent rostral or caudal endplate on the basis of type I TIO with space preparation; when resecting rostral endplate, the laminectomy of rostral vertebra should be performed **e** Type II+ TIO: addition resection of bony wedge of the other adjacent endplate on the basis of type II TIO **f, g** Type III TIO: addition resection of bony wedge including caudal pedicles on the basis of type I TIO with space preparation; the center of rotation could be determined by resection range **h, i** Type III+ TIO: addition resection of bony wedge including rostral endplate or pedicles on the basis of type III TIO

不对称截骨以实现闭合后整体平衡(图 2)。

Ⅲ型 TIO 间隙头尾侧各 3~4 对椎弓根螺钉节段内固定以满足稳定性需求。自后方充分减压,切除目标间隙尾侧椎体的全椎板,保护节段血管并从椎弓根外侧切断横突。充分止血,从开放的椎管内显露其椎弓根内侧壁,并切除该椎体的上关节突至椎弓根。从背侧切开椎间盘后去除髓核组织,尽可能在椎间隙内部预留截骨空间。从椎弓根基底部横行离断椎弓根,将椎弓根整个从椎体截除以显露其基底。从椎弓根基底部合适位置斜向头侧椎间隙内部以确定截骨平面,置入开路锥向椎间隙前缘或终板中点方向进锥直至间隙内部(图 3);透视下确认待切除的楔形范围。Ⅲ+型 TIO 在Ⅲ型 TIO 切除范围的基础上额外楔形切除截骨间隙头侧包括终板或椎弓根在内的部分椎体,其头侧减压范围扩大至头侧椎全部后柱结构。畸形塌陷椎从后方难以辨认时,在椎管内探查椎间孔以确认椎弓根位置。利用临时棒固定维持截骨闭合前的稳定性,在脊髓电生理监测下缓慢加压以闭合间隙。

1.3 分型应用

收集 2003 年 1 月~2012 年 12 月在中国人民解放军总医院骨科接受后路 TIO 治疗的脊柱侧后凸畸形患者的临床和影像学资料共 30 例。其中男 12 例,女 18 例,年龄 51.4 ± 10.4 岁。纳入标准:

(1)诊断为脊柱后凸或脊柱侧后凸畸形;(2)伴有冠状面失平衡和/或矢状面失平衡;(3)接受后路 TIO 矫形;(4)具有完整的术中资料及影像学随访资料。排除标准:(1)脊柱翻修手术;(2)合并急性感染或恶性肿瘤;(3)同时使用两种及以上类型的截骨术;(4)冠状面上向凸侧的失平衡。

1.4 分型的一致性检验

根据所提出的 TIO 分型方法,对 5 名脊柱外科医师进行该分型方法的培训;由此 5 名医师对纳入研究的 30 例患者的临床及影像学资料按顺序进行评估分型,收集并统计结果,进行分型的观察者间可信度分析;2 周后,同样由此 5 名医师对打乱顺序后的所有病例进行第二次评估分型,收集和统计数据与前次比较,进行该分型的观察者内可重复性分析。

1.5 统计学分析

使用 SPSS 26.0 软件计算出 Kappa 系数。根据 Kappa 系数来评估该分型系统的可信度和可重复性,Kappa 系数的值 0~0.20,则认为“一致程度低”,0.21~0.40 为“一致程度初步满意”,0.41~0.60 为“一致程度中等满意”,0.61~0.80 为“一致程度满意”,0.81~1.00 为“一致程度相当满意”^[13]。

2 结果

2.1 分型情况

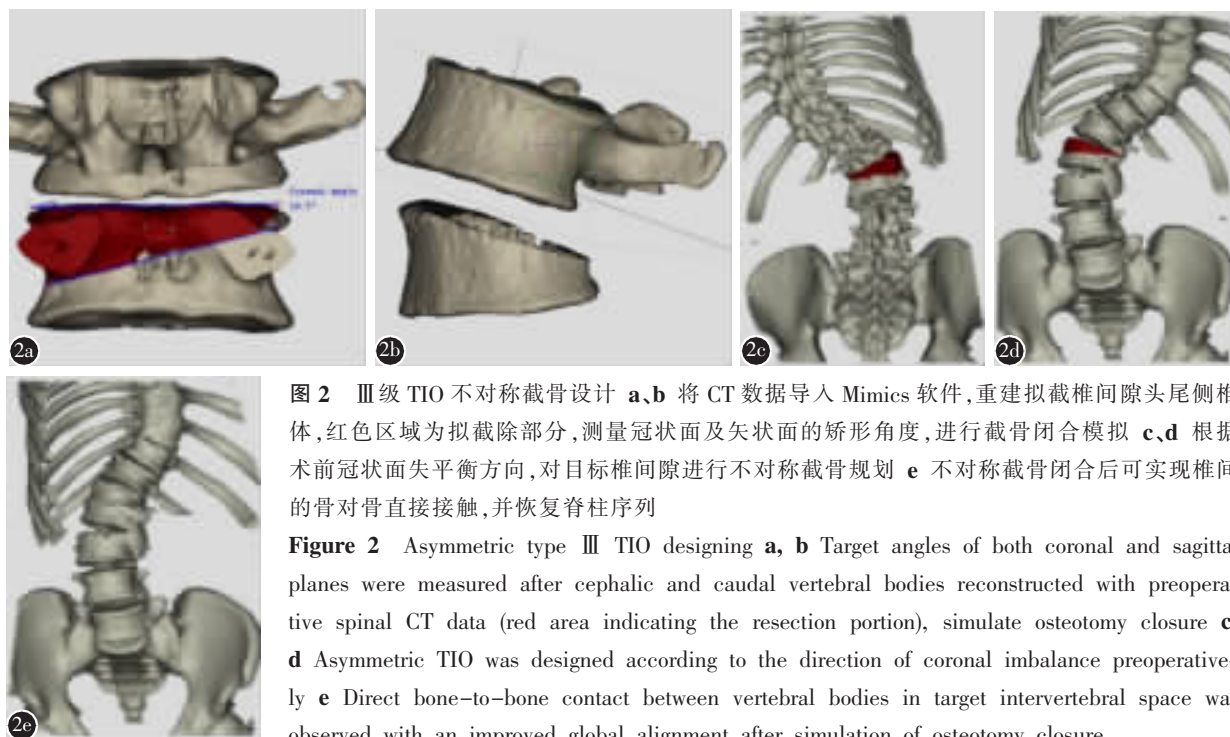


图 2 Ⅲ级 TIO 不对称截骨设计 a、b 将 CT 数据导入 Mimics 软件,重建拟截椎间隙头尾侧椎体,红色区域为拟截除部分,测量冠状面及矢状面的矫形角度,进行截骨闭合模拟 c、d 根据术前冠状面失平衡方向,对目标椎间隙进行不对称截骨规划 e 不对称截骨闭合后可实现椎间的骨对骨直接接触,并恢复脊柱序列

Figure 2 Asymmetric type III TIO designing a, b Target angles of both coronal and sagittal planes were measured after cephalic and caudal vertebral bodies reconstructed with preoperative spinal CT data (red area indicating the resection portion), simulate osteotomy closure c, d Asymmetric TIO was designed according to the direction of coronal imbalance preoperatively e Direct bone-to-bone contact between vertebral bodies in target intervertebral space was observed with an improved global alignment after simulation of osteotomy closure

5位脊柱外科医师对30例患者后路经椎间隙截骨情况的先后两次分型结果见表1。5位医师首次分型一致百分比92.3%；第二次分型一致百分比为94.7%。两次分型中,医师1有3例先后分型不一致,医师2有2例分型不一致,医师3、医师4、医师5先后分型各有1例不一致。存在不一致的病例经5位医师讨论后由本文作者判定。最终分型结果为:I型TIO 15例(图4),II型TIO 6例(图5),II+型TIO 3例(图6),III型TIO 4例(图7),III+型TIO 2例(图8)。

2.2 一致性检验

5 位脊柱外科医师对 TIO 病例的临床分型一致性检验结果见表 2。分型的观察者间一致性 Kappa 系数为 0.806~0.953; 第二次分型的 Kappa 系数提升至 0.922。前后两次分型观察者内一致性 Kappa 系数为 0.837~0.953, 观察者间和观察者内一致性分析结果均为“一致程度相当满意”。

3 讨论

本研究首次明确了 TIO 的概念。各型 TIO 技

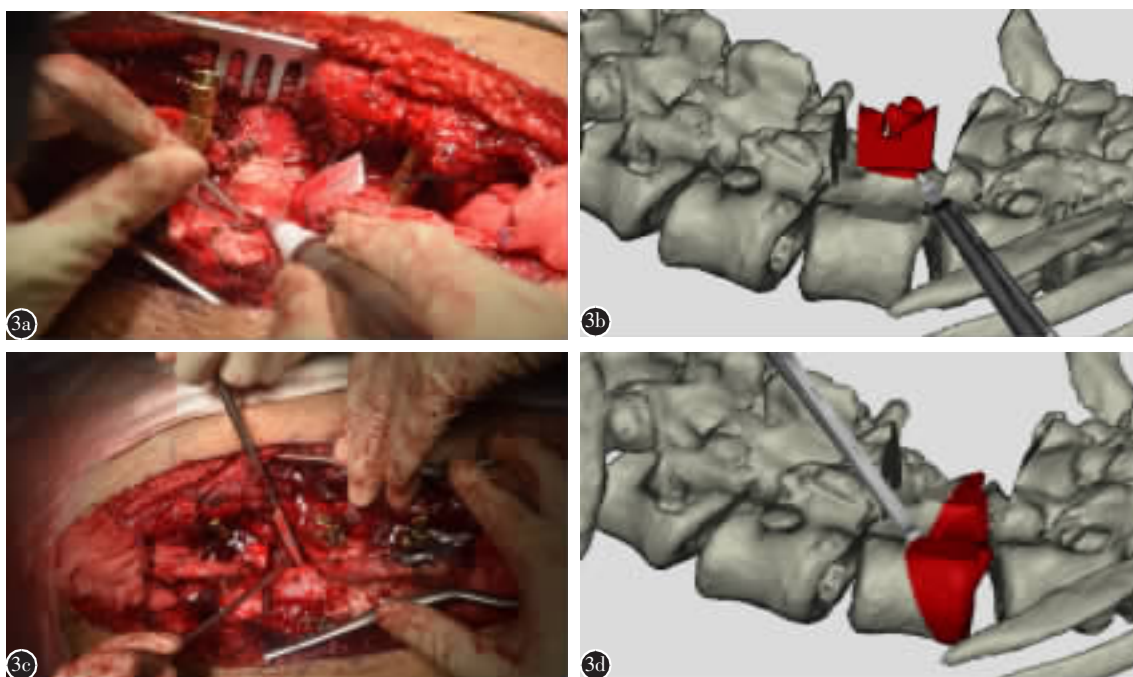


图3 III型 TIO 术中图片及三维示意图(红色为拟截除部分) **a、b** 后方彻底减压后,神经剥离子保护内侧硬膜囊及下行神经根,使用超声骨刀从椎弓根基底部将椎弓根整体离断 **c、d** 两侧椎弓根整块切除后,从椎弓根基底部置入截骨器械,朝向椎间隙方向进行截骨操作

Figure 3 Intraoperative image and diagram of single level type III TIO **a, b** After adequate posterior decompression, the pedicle was removed from the base with ultrasonic bone scalpel with care taken to protect the medial dural sac and the traversing nerve root **c, d** After bilateral pedicle excision, osteotomy was performed from cancellous bone of the pedicle base toward the intervertebral space

表 1 5 位脊柱外科医师对 30 例患者的 TIO 分型结果

Table 1 The classifying result of 5 spinal surgeons for 30 TIO cases

[illegible]

术均使用临床上广泛应用的脊柱后正中入路,在某种程度上骨性截除并闭合椎间隙,处理间隙后,

利用椎间融合力学成骨环境优势的同时实现矫形。由于缺乏明确定义,TIO 技术在各研究报道中

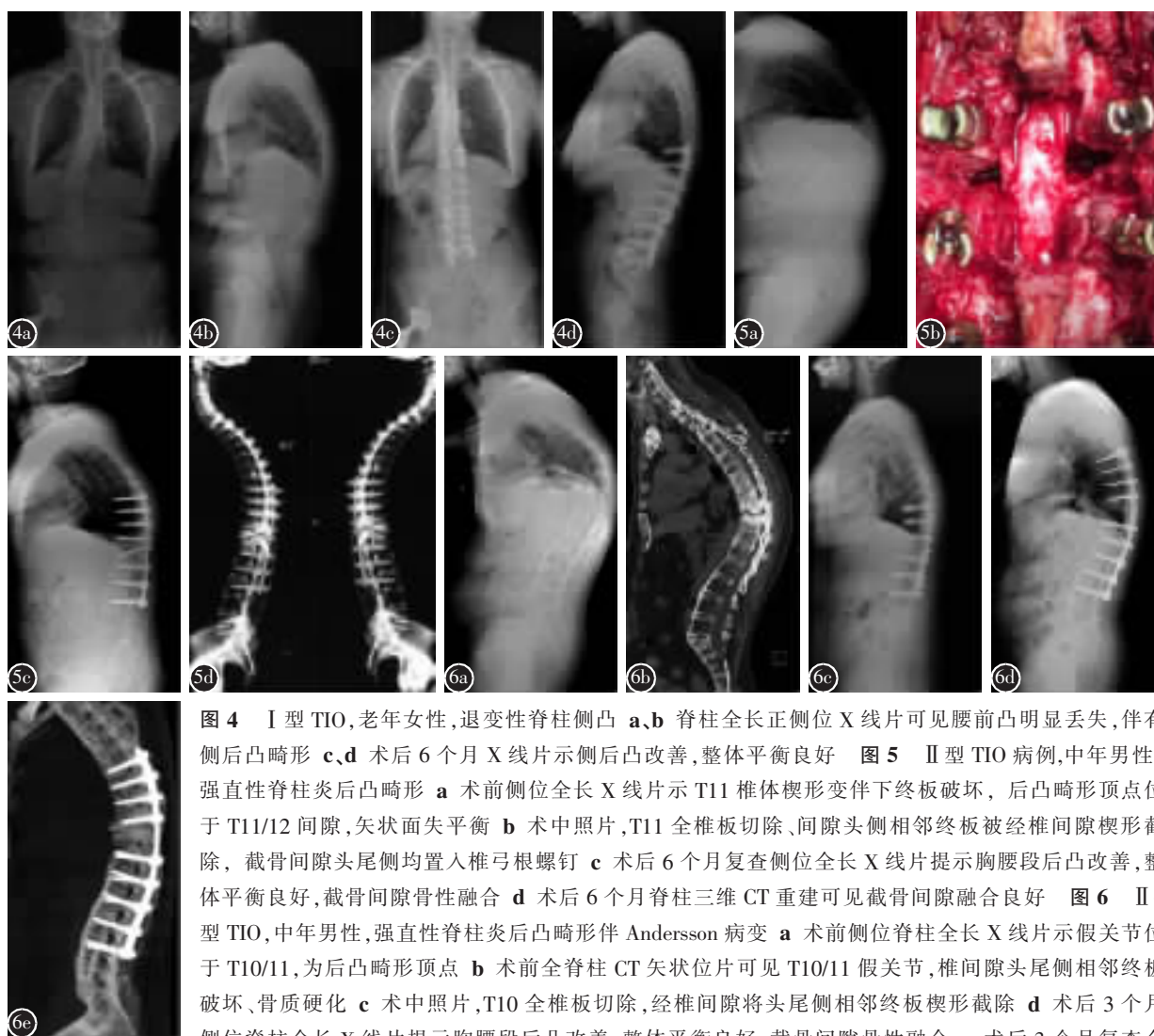


图 4 I 型 TIO,老年女性,退变性脊柱侧凸 a、b 脊柱全长正侧位 X 线片可见腰前凸明显丢失,伴有侧后凸畸形 c、d 术后 6 个月 X 线片示侧后凸改善,整体平衡良好 图 5 II 型 TIO 病例,中年男性,强直性脊柱炎后凸畸形 a 术前侧位全长 X 线片示 T11 椎体楔形变伴下终板破坏,后凸畸形顶点位于 T11/12 间隙,矢状面失平衡 b 术中照片,T11 全椎板切除、间隙头侧相邻终板被经椎间隙楔形截除,截骨间隙头尾侧均置入椎弓根螺钉 c 术后 6 个月复查侧位全长 X 线片提示胸腰段后凸改善,整体平衡良好,截骨间隙骨性融合 d 术后 6 个月脊柱三维 CT 重建可见截骨间隙融合良好 图 6 II+ 型 TIO,中年男性,强直性脊柱炎后凸畸形伴 Andersson 病变 a 术前侧位脊柱全长 X 线片示假关节位于 T10/11,为后凸畸形顶点 b 术前全脊柱 CT 矢状位片可见 T10/11 假关节,椎间隙头尾侧相邻终板破坏、骨质硬化 c 术中照片,T10 全椎板切除,经椎间隙将头尾侧相邻终板楔形截除 d 术后 3 个月侧位脊柱全长 X 线片提示胸腰段后凸改善,整体平衡良好,截骨间隙骨性融合 e 术后 3 个月复查全脊柱 CT 三维重建示截骨间隙骨性融合良好

Figure 4 Case of type I TIO, geriatric female with degenerative scoliosis a, b A significant loss of lumbar lordosis accompanied with thoracolumbar kyphosis was observed from the full-length AP and lateral X-ray c, d Postoperative full-length radiology showed significant improvement of sagittal alignment with coronal balance **Figure 5** Case of type II TIO, middle-age male with ankylosing spondylitis kyphotic deformity (ASKD) who suffered from trauma causing T11 fracture before admission a Preoperative full-length lateral X-ray showed wedge-shaped T11 vertebra and disrupted inferior endplate with the apex of kyphosis located at T11/12 level b T11 laminectomy with trans-intervertebral wedge resection of adjacent rostral endplate with segmental instrumentation by pedicle screw c Full-length lateral X-ray at 6 months' follow-up showed improved thoracolumbar kyphosis, sagittal balance and bony fusion in osteotomy level d 3D reconstruction of full spine at 6 months' follow-up showed solid fusion **Figure 6** Case of type II+ TIO, middle-age male with ASKD accompanied with Andersson lesion at T10/11 a Preoperative full-length lateral X-ray showed pseudarthrosis at T10/11 level which is the apex of kyphotic deformity b Preoperative sagittal CT of full spine showed pseudarthrosis with disruption of both adjacent endplates c Intraoperative image of type II+ TIO: T10 laminectomy with trans-intervertebral wedge resection of both adjacent endplates d Full-length lateral X-ray at 3 months' follow-up showed improved thoracolumbar kyphosis with global balance and bony fusion in osteotomy level e 3D reconstruction of full spine at 3 months' follow-up confirmed solid fusion

的命名较为混乱。不同学者将 TIO 命名为脊柱间盘截骨术 (bone disc osteotomy)^[14]、骨-间盘-骨截骨术 (bone-disc-bone osteotomy)^[15]、扩大经椎弓根截骨术 (extended pedicle subtraction osteotomy)^[16]以及 SRS-Schwab 4 级截骨术 (SRS-Schwab grade 4 osteotomy)。

本研究提出的 TIO 临床分型根据切除范围围绕关节突、椎间盘、终板、椎弓根及部分椎体将 TIO 分为 3 大类型及 2 种扩大(+)型,类似于其他截骨分型系统,本分型按解剖结构截除程度递进以便于理解。SRS-Schwab 截骨分型将脊柱截骨技术分为 6 级^[17],为脊柱截骨技术提供一种有效的交流语言,但不足以有效概括 TIO 术式。临床上应用广泛的经椎弓根椎体截骨 (pedicle subtraction osteotomy, PSO) 技术被归类为 SRS-Schwab 3 级截骨,由于椎弓根在矢状面上更靠近椎体头

侧^[18],截骨槽顶点通常也更靠近头侧,因此截骨后头侧剩余椎体往往较为薄弱且形态不规则,很难实现精准闭合截骨间隙;由于截骨椎头侧椎间盘的残余导致截骨面微动,增加了术后截骨区域假关节形成的风险^[19,20]。截骨技术的三要素包括切除范围、矫形几何学和内固定方式^[9],各类截骨术式均是以上要素的组合变化,截骨技术的具体切除范围应视畸形具体情况而定。基于以上特点,Ⅱ、Ⅲ型 TIO 改良了切除范围,实现截骨面的骨对骨直接接触。截骨间隙的成骨环境在去硬化骨后进一步得到优化。对于畸形顶点位于椎间隙的情况,TIO 可以有效提高矫形率^[9]。TIO 通过充分减压,截骨复位时硬膜囊向背侧移位替代直接短缩,减少了严重神经并发症的风险^[21]。当Ⅱ型 TIO 切除目标间隙相邻终板而不涉及椎弓根时,在目标间隙相邻椎弓根可行行节段椎弓根螺钉置入,从



图 7 Ⅲ型 TIO,老年女性,创伤性后凸畸形 **a** 术前侧位全长 X 线片示明显的胸腰段后凸畸形,L1 椎体楔形变 **b** 术中照片,T12、L1 全椎板切除,L1 椎弓根在内的部分椎体被经椎间隙楔形截除,加压闭合前钛棒临时固定 **c** 术后 6 个月复查侧位全长 X 线片示胸腰段后凸畸形矫正,矢状面序列良好,截骨间隙骨性融合,T12、L1 椎间孔合并 **图 8** Ⅲ+型 TIO,中年男性,强直性脊柱炎后凸畸形伴双髋强直 **a** 术前外观照,患者全脊柱僵硬后凸,平视困难,矢状面严重失代偿 **b** 术中照片,L2、L3 全椎板切除,以间隙为中心同时楔形切除 L2、L3 椎弓根在内的楔形骨质 **c** 二期全髋关节置换术后 6 个月复查侧位 X 线片示 L2/3 截骨间隙骨质直接接触,截骨间隙骨性融合 **d** 术后 6 个月外观照,后凸畸形矫正、恢复直立,水平视线范围良好,矢状面平衡改善

Figure 7 Case of type Ⅲ TIO, geriatric female suffered from post-traumatic

kyphosis **a** Preoperative full-length lateral X-ray showed significant thoracolumbar kyphosis with wedged L1 vertebra **b** Intraoperative image: T12 and L1 laminectomy with trans-intervertebral wedge resection of caudal pedicles and vertebral body; temporary rods were utilized to stabilize before osteotomy closure **c** Full-length lateral X-ray at 6 months' follow-up showed thoracolumbar kyphosis was corrected with an improved sagittal alignment. Bony fusion in osteotomy level was observed with foramen combined **Figure 8** Case of type Ⅲ+ TIO, middle-age male suffered from severe ASKD **a** Preoperative appearance photograph showed difficulty in horizontal gaze and sagittal decompensation with significant rigid kyphosis **b** Intraoperative image: L2 and L3 laminectomy with trans-intervertebral wedge resection of both pairs of adjacent pedicles **c** Lateral X-ray at 6 months' follow-up after second staged hip surgery showed improved sagittal alignment and direct bony contact at the L2/3 level with solid fusion **d** The appearance photograph at 6 months' follow-up showed an upright posture, improved visual field and sagittal balance

而减少尾侧固定椎。根据椎弓根和椎旁血管的解剖位置,Ⅲ型 TIO 切除目标间隙尾侧的椎弓根。由于超声骨刀技术的发展和普及,TIO 相比传统三柱截骨矫形技术可缩短手术时间、减少出血及神经并发症^[4]。此外,多节段的 I 型 TIO 针对非角状后凸应用时可重建出更为协调的生理曲度^[23]。TIO 相较于 PSO、VCR 等传统三柱截骨技术更为安全和简便,具有很大的临床应用潜力,存在对其进行临床分型的必要性。

本临床分型中各型 TIO 在不同的历史时期被报道。回顾脊柱截骨矫形技术与经椎间隙入路的发展史,TIO 可追溯至早期的单纯后柱截骨,SPO 截骨术最早由 Smith Petersen 于 1945 年报道用于治疗强直性脊柱炎后凸畸形^[23],其部分切除关节突关节,通过使骨化的前纵韧带断裂而张开椎间隙实现矫形;因概念逐渐模糊目前的 SPO 截骨术通常指单节段后柱截骨矫形术。Ponte 于 1984 年报道了 Ponte 截骨术,用于治疗休门氏胸椎后凸畸形^[24],其相比 SPO 更为完全地切除关节突关节,其使得椎间隙在冠状面上获得了一定的活动度。这类技术均利用了椎间隙的活动度,通过部分骨质切除松解、后方加压短缩实现矫形,本质上为 TIO 的雏形。PLIF 在 1953 年由 Cloward^[25]推

广用于治疗腰椎退行性疾病。Brantigan 等^[26]改进了 PLIF 联合椎弓根螺钉内固定及聚醚醚酮(polyetheretherketone,PEEK)Cage 置入,然而因关节突关节外侧部分的保留,其原术式并无三维矫形能力。Harms 等^[27]于 1982 年首次报道了 TLIF 技术,该技术通常在脊柱侧凸的凹侧使用,通过扩大切除一侧关节突而得以松解软组织并辅助矫形。本中心常用的椎间融合技术通常为 PLIF 与 TLIF 的改良术式,通过对关节突关节完全切除,扩大椎间孔的同时获得冠、矢两个平面上的活动及矫形能力,本研究将其归类为 I 型 TIO。2009 年张雪松、王岩等首次报道了经椎间隙楔形截骨术治疗陈旧性创伤后凸畸形^[8]。本研究将其归类为Ⅲ型 TIO 技术。其后,本中心先后报道了将Ⅲ+型 TIO 应用于强直性脊柱炎后凸畸形、Pott's 后凸畸形等,减少了三柱截骨技术的出血、神经损伤等主要并发症^[3-6]。2015 年,Berjano 等^[28]报道了边角截骨术(corner osteotomy)治疗胸腰椎后凸畸形,该技术通过控制截骨范围将截骨闭合的铰链点置于终板中点^[28],为Ⅲ型 TIO。后针对强直性脊柱炎患者 Andersson 损伤的情况,TIO 改良发展出楔形切除终板的术式^[29,30],为Ⅱ型/Ⅱ+型 TIO。当矢状面上楔形切除范围在各级以内,即使在冠状面上不对称应用,也归类于该级截骨,因此本临床分型不下设冠状面修正参数。

综上,笔者首次明确定义了 TIO,并提出了其临床分型。该分型可作为理论基础比较不同研究中经椎间隙截骨技术的手术效果,有利于指导脊柱侧后凸畸形的截骨矫形治疗。但本研究未对 TIO 的截骨矫形的能力进行定量分析,TIO 的矫形效应与矢状面参数及骨盆情况的关联需要多中心、大样本的相关研究及长期随访以进一步考察。

4 参考文献

1. de Kunder SL, Rijkers K, Caelers I, et al. Lumbar interbody fusion: a historical overview and a future perspective[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(16): 1161-1168.
2. Memtsoudis SG, Vougioukas VI, Ma Y, et al. Perioperative morbidity and mortality after anterior, posterior, and anterior/posterior spine fusion surgery[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2011, 36(22): 1867-1877.
3. Wang Y, Zhang Y, Mao K, et al. Transpedicular biverbrae wedge osteotomy and discectomy in lumbar spine for severe ankylosing spondylitis[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(3): 186-191.

表 2 TIO 分型的可信度和可重复性分析

Table 2 The inter- and intra-observer reliability of TIO classification system

	一致的例数(n) Identical case	一致百分比(%) Identical rate	Kappa值 Kappa value
观察者间 Inter-observer			
1-2	27	90.0	0.855
1-3	27	90.0	0.809
1-4	28	93.3	0.951
1-5	27	90.0	0.806
2-3	29	96.7	0.953
2-4	28	93.3	0.903
2-5	29	96.7	0.952
3-4	27	90.0	0.856
3-5	28	93.3	0.905
4-5	27	90.0	0.854
观察者内 Intra-observer			
1	27	90.0	0.837
2	28	93.3	0.904
3	29	96.7	0.953
4	29	96.7	0.951
5	29	96.7	0.951

4. Huang Y, Hu W, Li J, et al. Transpedicular bi-vertebrae wedge osteotomy in treatment of post-tubercular spinal deformity: a retrospective study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 345.
5. Zhang X, Zhang X, Zhang Y, et al. Modified posterior closing wedge osteotomy for the treatment of posttraumatic thoracolumbar kyphosis[J]. *J Trauma*, 2011, 71(1): 209–216.
6. Zhang X, Hu W, Yu J, et al. An effective treatment option for Kümmell disease with neurological deficits: modified transpedicular subtraction and disc osteotomy combined with long-segment fixation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(15): E923–E930.
7. 王岩, 毛克亚, 张永刚, 等. 双椎体截骨术矫正重度强直性脊柱炎后凸畸形[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(2): 108–112.
8. 张雪松, 王岩, 张永刚, 等. 改良经椎弓根截骨治疗陈旧性胸腰段脊柱骨折后凸畸形[J]. *中华外科杂志*, 2009, 47(18): 1383–1386.
9. 刘昊, 张雪松, 张永刚, 等. 经椎弓根+椎间盘截骨和单纯经椎弓根截骨治疗陈旧性脊柱骨折后凸畸形的前瞻性研究 [J]. *中国骨肿瘤骨病*, 2011, 10(2): 148–152.
10. Lee MJ, Wiater B, Bransford RJ, et al. Lordosis restoration after Smith–Petersen osteotomies and interbody strut placement: a radiographic study in cadavers[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(25): E1487–1491.
11. 张国莹, 张永刚, 张雪松, 等. 特发性脊柱侧凸多节段 Ponte 截骨术对恢复胸椎后凸的疗效[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2012, 26(10): 1197–1201.
12. Liang Y, Tang X, Zhao Y, et al. Posterior wedge osteotomy and debridement for Andersson lesion with severe kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 54.
13. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data[J]. *Biometrics*, 1977, 33(1): 159–174.
14. Rajasekaran S, Rajoli SR, Aiyer SN, et al. A classification for Kyphosis based on column deficiency, curve magnitude, and osteotomy requirement[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(13): 1147–1156.
15. Enercan M, Ozturk C, Kahraman S, et al. Osteotomies/spinal column resections in adult deformity[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(Suppl 2): S254–264.
16. Ha AS, Cerpa M, Lenke LG. State of the art review: vertebral osteotomies for the management of spinal deformity [J]. *Spine Deform*, 2020, 8(5): 829–843.
17. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. *Neurosurgery*, 2014, 74(1): 112–120.
18. Abumi K, Panjabi MM, Duranceau J. Biomechanical evaluation of spinal fixation devices(Part III): stability provided by six spinal fixation devices and interbody bone graft[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1989, 14(11): 1249–1255.
19. Dickson DD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Risk factors for and assessment of symptomatic pseudarthrosis after lumbar pedicle subtraction osteotomy in adult spinal deformity [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(15): 1190–1195.
20. Buell TJ, Nguyen JH, Mazur MD, et al. Radiographic outcome and complications after single-level lumbar extended pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal malalignment: a retrospective analysis of 55 adult spinal deformity patients with a minimum 2-year follow-up [J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 30(2): 242–252.
21. 王岩. 进一步提高对脊柱截骨安全性的认识[J]. *中华外科杂志*, 2010, 48(22): 1681–1682.
22. Zhang Y, Tao L, Hai Y, et al. One-Stage posterior multiple-level asymmetrical Ponte osteotomies versus single-level posterior vertebral column resection for severe and rigid adult idiopathic scoliosis: a minimum 2-year follow-up comparative study [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44 (20): E1196–E1205.
23. Smith–Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1969, 66: 6–9.
24. Ponte A, Vero B, Siccardi GL. Surgical treatment of Scheuermann’s kyphosis[M]//Winter RB. Progress in spinal pathology: kyphosis. Bologna: Aulo Gaggi, 1984. 75–80.
25. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion (I): Indications, operative technique, after care[J]. *J Neurosurg*, 1953, 10(2): 154–168.
26. Brantigan JW, Neidre A, Toohey JS. The lumbar I/F cage for posterior lumbar interbody fusion with the variable screw placement system: 10-year results of a food and drug administration clinical trial[J]. *Spine J*, 2004, 4(6): 681–688.
27. Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction–reposition and anterior fusion (author’s transl)[J]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1982, 120(3): 343–347.
28. Berjano P, Pejrona M, Damilano M, et al. Corner osteotomy: a modified pedicle subtraction osteotomy for increased sagittal correction in the lumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24 (Suppl 1): 58–65.
29. 王尧, 张雪松, 胡文浩, 等. 经椎弓根及椎间盘截骨治疗强直性脊柱炎合并 Andersson 骨折[J]. *脊柱外科杂志*, 2016, 14 (2): 65–69.
30. 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.

(收稿日期:2021-09-09 修回日期:2021-10-17)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)