

临床论著

高位骶骨肿瘤切除内固定术后内置物断裂原因分析

姬涛, 郭卫, 杨荣利, 汤小东

(北京大学人民医院骨与软组织肿瘤治疗中心 100044 北京市)

【摘要】目的:探讨高位骶骨肿瘤切除腰骶内固定术后内置物断裂原因及其处理方法。**方法:**2007 年 1 月~2013 年 10 月共 12 例高位骶骨肿瘤切除腰骶内固定术后内置物断裂病例,均接受翻修手术治疗。其中男 4 例,女 8 例,年龄 33.4 ± 15.6 岁(18~62 岁)。记录与内固定断裂可能相关数据:肿瘤累及范围,内置物断裂部位,金属连接棒直径,植骨愈合情况,固定节段及患者体重指数(BMI)。**结果:**肿瘤累及 S1~S5 7 例, S2~S5 5 例。腰椎椎弓根螺钉置于 L2、L3 节段 1 例, L3、L4 节段 4 例, L4、L5 节段 7 例。内置物断裂出现在术后 17.1 ± 4.7 个月(8~24 个月)。金属连接棒断裂 10 例,其中单侧金属连接棒断裂 8 例,双侧金属连接棒断裂 2 例;髂骨固定螺钉断裂 2 例。髂骨螺钉松动 4 例。4 例患者采用直径 5.5mm 金属连接棒,其中 2 例为双侧金属连接棒断裂。6 例患者出现植骨未愈合,其中 3 例患者术后接受放疗治疗。BMI>25 的患者共 5 例。翻修手术:5 例患者仅行内固定取出;7 例患者行内固定取出,再次固定+植骨,其中 2 例行自体腓骨移植重建。2 例患者分别在初次翻修后 12 个月和 21 个月再次出现单侧金属连接棒的断裂,均再次接受翻修手术,二次翻修手术后分别随访 10 个月和 8 个月未再出现断裂。**结论:**高位骶骨肿瘤切除内固定术后,内置物断裂中最常见为一侧金属连接棒的断裂;内固定失败可能与金属连接棒过细、植骨不愈合、患者体重指数过大及固定节段不合理有关;通过合理的翻修手术可较好地解决内固定断裂问题。

【关键词】 骨肿瘤;骶骨肿瘤;腰骶部重建;内固定断裂;翻修手术

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.01.07

中图分类号: R738.1, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2015)-01-0039-06

Hardware failure of lumbosacral reconstruction after sacral tumor resection, causes analysis/JI Tao, GUO Wei, YANG Rongli, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(1): 39-44

【Abstract】 Objectives: To investigate the causes of failed lumbosacral reconstruction after sacral tumor resection and its intervention. **Methods:** 12 patients diagnosed with high sacrum tumor and complicated with hardware failure following tumor resection and lumbosacral reconstruction during January 2007 and October 2013 were reviewed retrospectively. All 12 patients received revisional surgical intervention. There were 4 males and 8 females with an average age of 30.4 years(18~62 years). The data related to failure were recorded, which included sacral defect, location of breakage, the diameter of rod, the union of bony graft and BMI of patients. **Results:** There were 7 cases of S1-S5 involvement and S2-S5 involvement in 5 cases. The lumbar pedicle screws were inserted in L2 and L3 in 1 case, L3 and L4 in 4, L4 and L5 in seven cases. The breakage occurred at an average age of 17.1 months(range, 8-24 months) after primary surgery. The most common cause for the failure was the breakage of rod, which occurred in 10 patients with 2 bilateral sides and 8 unilateral. Iliac screw breakage and loosening were observed in 2 and 4 cases respectively. The 5.5mm-diameter rod was used in 4 cases, 2 of them were noted bilateral breakage. Non-union of allograft was observed in 6 patients, 3 of them received radiation therapy after reconstruction. 5 out of 12 patients had BMI above 25. The implant was removed in 5 patients. Revision and bone graft were performed in 7 patients. Free fibular graft was used in 2 patients. 2 patients were noted breakage again at 12 and 21 months respectively and all received revisional surgery. No further breakage was observed in these 2 patients after 10 and 8 months follow-up respectively. **Conclusions:** The reconstruction of lumbosacral after high level sacral tumor resection still remains challenging. Rod breakage is most common for hardware failure. The possible reasons are non-union of allo/autograft, compared small diameter of connection rod, Improper level of pedicle screw insertion and patients'

第一作者简介:男(1980-),主治医师,研究方向:骨与软组织肿瘤临床与基础研究

电话:(010)88326157 E-mail:jitaomd@163.com

high BMI, all these can be treated by revisional surgery.

【Key words】 Orthopaedic oncology; Sacral tumor; Lumbosacral reconstruction; Breakage; Revision surgery

【Author's address】 Musculoskeletal Tumor Center, People's Hospital, Peking University, Beijing, 100044, China

骶骨肿瘤切除一直是骨肿瘤外科治疗领域的难题。由于解剖部位复杂,术前放化疗,且复发病例较为常见,这些都增加了该部位手术切除的难度^[1,2]。肿瘤切除后腰骶部应力传导的恢复和稳定性的重建直接决定着患者术后功能和生活质量。骶骨不仅内部有重要的骶神经,同时骶髂关节也是连接中轴骨和下肢骨的唯一结构。这一部位肿瘤手术切除后对神经功能和结构稳定性有着较大影响^[3]。有研究对腰骶部退行性病变融合固定后金属内置物断裂进行了回顾分析^[4,5],但对于骶骨肿瘤切除内固定术后金属内置物断裂的研究较少。骶骨肿瘤切除后,局部结构缺损及重建方式的特点包括:骨缺损范围大,对局部稳定性破坏程度严重,重建方式差异较大^[6-8],高位骶骨^[9]的切除将会严重影响骶髂关节的连续性。文献报告的骶骨肿瘤切除重建病例,多侧重于切除和重建技术,专门讨论内固定失败的研究较少^[10-14]。本研究通过回顾高位骶骨(本文指 S1、S2 椎体)肿瘤切除内固定术后腰骶内置物断裂病例,总结内置物断裂特点,探讨处理方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料

病例纳入标准:高位骶骨肿瘤切除,肿瘤切除后重建腰骶部连续性,术后随访时发现内置物断裂,因内置物断裂而进行翻修手术。2007 年 1 月~2013 年 10 月因骶骨肿瘤(均累及高位骶骨)切除重建术后内固定断裂并在我院接受翻修手术治疗的患者共 12 例。接受翻修病例占该期间收治高位骶骨肿瘤切除内固定病例的 2.6%(12/470)。其中男性 4 例,女性 8 例;年龄 33.4 ± 15.6 岁(18~62 岁),体重 68.9 ± 16.9 kg(55~85 kg)。病理诊断:骨巨细胞瘤 4 例,软骨肉瘤 2 例,脊索瘤 2 例,骶骨神经神经纤维瘤 1 例,骨肉瘤 1 例,尤文肉瘤 1 例,动脉瘤样骨囊肿 1 例。所有患者肿瘤切除手术均在我院进行。其中 3 例为肿瘤复发后行再次切除内固定。本组病例详细资料见表 1。

1.2 肿瘤切除手术方式

6 例行前后联合入路手术,6 例行单纯后路手术。当肿瘤累及 S1 椎体时采用前后联合入路进行肿瘤切除,前路游离髂血管,结扎供瘤血管,充分显露肿瘤,切除椎间盘。后路根据术前 MRI 检查确定肿瘤累及范围,确定骶骨切除范围。在肿瘤切除前常规在 L3、L4 或 L4、L5 节段双侧椎弓根置入万向椎弓根螺钉,直径为 6.5 mm,长度 45 mm。在肿瘤切除后进行髂骨螺钉留置,显露骶髂关节髂骨侧,并去除双侧髂后上棘置钉点周围骨质,用探锥从髂后上棘位置向髂前下棘方向在坐骨切迹上方准备骨道,确认位置满意后,每侧选用 1~2 枚髂骨螺钉进行固定,直径 7.0 mm,长度 50~65 mm。用预弯金属棒连接双侧腰椎及髂骨螺钉,棒直径为 5.5 mm 或 6.0 mm。常规进行腰椎-髂骨或骶骨-髂骨植骨,植骨材料为自体髂后截骨块及松质骨条,最后加压固定。术后预防应用抗生素至引流管拔除,一般患者卧床 7~10 d,之后在患者可耐受的情况下逐渐坐起并下地站立行走。如出现脑脊液漏,采用保守治疗。术后每 3 个月复查一次。

1.3 观察指标

包括肿瘤累及范围、内置物断裂部位、金属连接棒直径、植骨愈合情况、螺钉固定节段、患者体重指数(BMI)。分析以上指标与内置物断裂发生可能存在的关系。

2 结果

12 例患者在术后 17.1 ± 4.7 个月(8~24 个月)出现内置物断裂,其中 2 例患者存在不同程度的骶尾部疼痛症状;其他患者均在术后常规复查时发现内置物断裂,无明显症状,但在随诊过程中出现断裂内置物不同程度移位。断裂位置详见表 1。

肿瘤切除范围:S1~S5 共 7 例,S2~S5 共 4 例,S2 及部分髂骨 1 例。12 例患者中,8 例为单侧金属连接棒断裂,2 例为双侧金属连接棒断裂,2 例为髂骨固定螺钉断裂。金属连接棒断裂的 10 例患者中(图 1~3),金属棒直径为 5.5 mm 患者 4 例(双侧金属棒断裂 2 例),金属棒直径为 6.0 mm 患

表 1 12 例患者资料

Table 1 Demographics of the current 12 patients

No.	性别 Sex	年龄 Age	BMI	诊断 Diagnosis	累及范围 Involved sacrum	断裂位置 Breakage	螺钉松动 Screw loosening	植骨未愈合 Nonunion
1	男 Male	62	24.5	软骨肉瘤 Chondrosarcoma	S1~S5	双棒 Bilateral rods	是 Yes	是 Yes
2	女 Female	18	23.0	神经纤维瘤 Neurofibroma	S2~S5	单棒 Unilateral rod	是 Yes	是 Yes
3	女 Female	24	24.1	骨巨细胞瘤 Giant cell tumor	S1~S5	单棒 Unilateral rod		
4	男 Male	23	23.5	骨肉瘤 Osteosarcoma	S1~S5	单棒 Unilateral rod		是 Yes
5	女 Female	34	31.2	脊索瘤 Chordoma	S2~S5	双棒 Bilateral rods		是 Yes
6	女 Female	40	23.9	骨巨细胞瘤 Giant cell tumor	S1~S5	单棒 Unilateral rod		是 Yes
7	女 Female	31	20.7	软骨肉瘤 Chondrosarcoma	S1~S5	单棒 Unilateral rod		
8	男 Male	19	26.7	尤文肉瘤 Ewing's sarcoma	S2~S5	髂骨螺钉 Iliac screws	是 Yes	
9	女 Female	37	28.7	骨巨细胞瘤 Giant cell tumor	S2~S5	单棒 Unilateral rod		
10	女 Female	20	21.0	动脉瘤样骨囊肿 Aneurysmal bone cyst	S2~S5	髂骨螺钉 Iliac screws		
11	男 Male	41	27.8	骨巨细胞瘤 Giant cell tumor	S1~S5	单棒 Unilateral rod	是 Yes	是 Yes
12	女 Female	56	25.1	脊索瘤 Chordoma	S1~S5	单棒 Unilateral rod		

者 6 例。髂骨螺钉松动 4 例,出现在术后平均 15.2 个月,未进行特殊处理,均是在内固定系统其他部位断裂接受翻修手术时进行更换。植骨未愈合患者 6 例,其中 4 例为 S1~S5 切除病例且均出现连接棒断裂;植骨未愈合患者中 3 例术后曾接受放疗。4 例患者髂骨固定螺钉松动,其中 2 例为术前影像学检查发现,2 例为翻修手术中探查发现。固定节段:腰椎椎弓根螺钉置于 L2、L3 节段 1 例(图 1),L3、L4 为 4 例, L4、L5 为 7 例。BMI(25~28)为过重患者共 3 例,肥胖(28~32)患者为 2 例。

翻修手术方式:如植骨愈合,腰椎-髂骨连续性恢复,则仅行内固定取出,共 5 例患者仅行内固定取出;如植骨未愈合,行断裂内固定取出,再次植骨+钉棒系统固定,有 7 例患者行内固定翻修,再次固定+植骨(1 例植骨愈合患者因髂骨螺钉松动在髂骨侧进行了植骨,所以归入再次固定+植骨的病例中),其中 2 例行自体腓骨移植重建。2 例患者(表 1 中患者 5 和 11)分别在初次翻修后 12 个月(患者 5)和 21 个月(患者 11)再次出现单侧金属连接棒断裂,均再次接受翻修手术,二次翻修手术后分别随访 10 个月和 8 个月未再出现内置物断裂。

3 讨论

累及高位骶骨的肿瘤切除后缺损重建较为困难。虽然文献中报道的多种重建方法均可提供术后即刻稳定性,但是大多数学者推荐全骶骨切除术后卧床制动一段时间,待创面稳定、瘢痕逐渐形成后再进行站立^[15,16]。高位骶骨切除对于骶髂关节的稳定性影响较大,一般认为骶髂关节如果能保留一半或在 S2 神经孔以下进行骶骨切除对骶髂关节结构及稳定性影响不大^[17]。本组病例中,7 例患者为 S1~S5 的缺损,S1 切除后骶髂关节完全丧失,稳定性完全依赖金属内固定,金属内置物断裂风险显著增加。Gunterberg 等^[18]通过尸体研究发现,通过 S1 神经孔横断骶骨后骶髂关节强度下降 50%。高位骶骨切除后重建方法,最早为髂骨棒联合 Harrington 钩棒,随着内固定发展,出现了 CD 系统结合髂骨棒重建,后来应用比较广泛的是 Galveston 技术^[19]。目前对于骶骨肿瘤切除后腰-骶、腰-髂重建,内置物应用最为广泛的是脊柱内固定系统。目前重建方法在结构上分为两类^[20],一类为“教堂式”重建,即通过髂骨螺钉及钉棒系统将下位腰椎直接支撑于髂骨上;另一类是经髂骨棒重建,即通过植骨块或内固定物将两侧髂骨连接,恢复骨盆后环,并通过钉棒系统与横向的金属

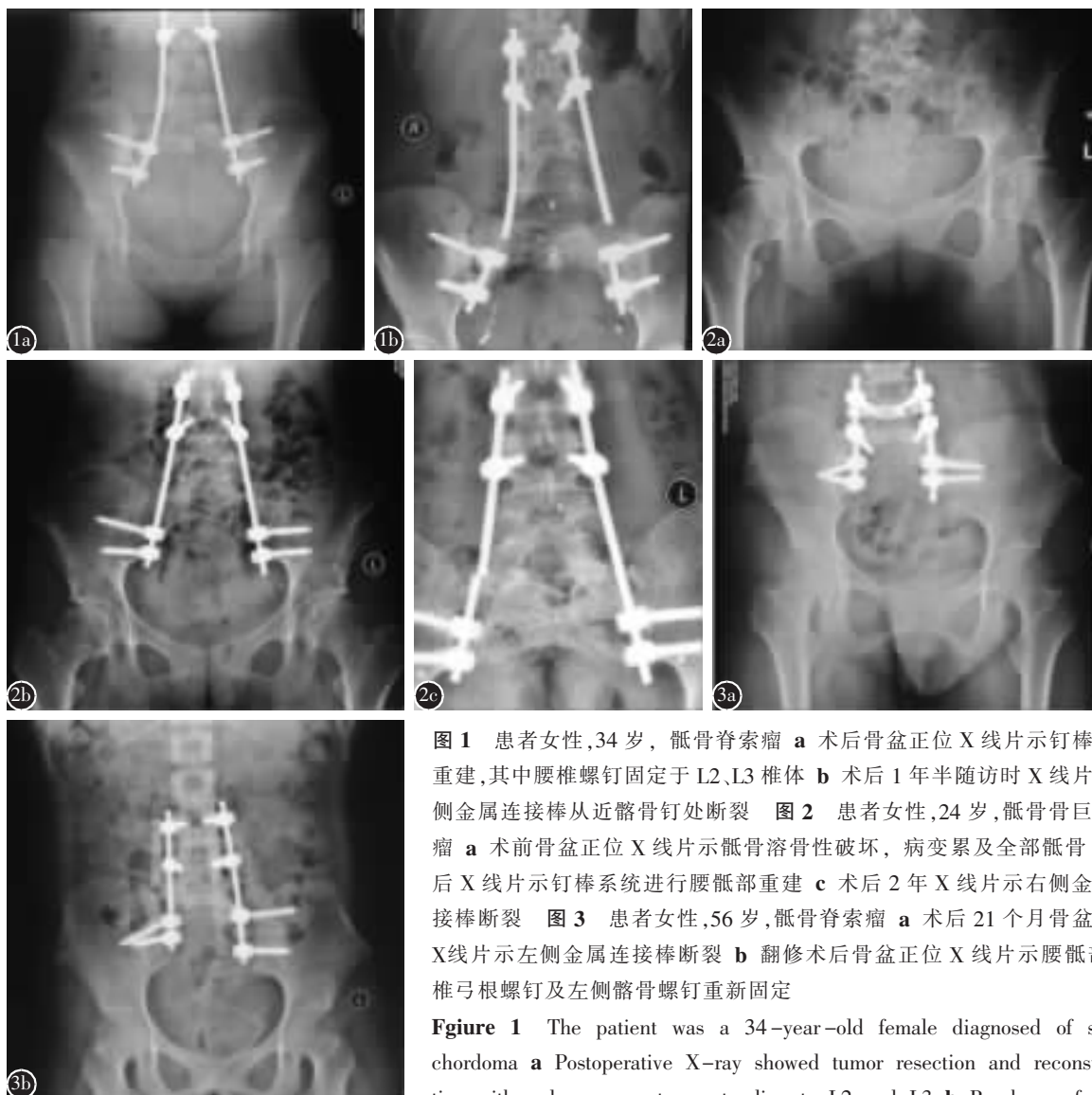


图 1 患者女性,34 岁,骶骨脊索瘤 **a** 术后骨盆正位 X 线片示钉棒系统重建,其中腰椎螺钉固定于 L2、L3 椎体 **b** 术后 1 年半随访时 X 线片示双侧金属连接棒从近髂骨钉处断裂 **图 2** 患者女性,24 岁,骶骨骨巨细胞瘤 **a** 术前骨盆正位 X 线片示骶骨溶骨性破坏,病变累及全部骶骨 **b** 术后 X 线片示钉棒系统进行腰骶部重建 **c** 术后 2 年 X 线片示右侧金属连接棒断裂 **图 3** 患者女性,56 岁,骶骨脊索瘤 **a** 术后 21 个月骨盆正位 X 线片示左侧金属连接棒断裂 **b** 翻修术后骨盆正位 X 线片示腰骶部 L3 椎弓根螺钉及左侧髂骨螺钉重新固定

Figure 1 The patient was a 34-year-old female diagnosed of sacral chordoma **a** Postoperative X-ray showed tumor resection and reconstruction with rod-screw system extending to L2 and L3 **b** Breakage of bilateral rod was found at 1.5 year postoperatively **Figure 2** The patient was a 24-year old female diagnosed of sacral giant cell tumor **a** Preoperative AP X-ray showed whole sacrum involved **b** Immediate postoperative AP X-ray **c** Right rod breakage was observed at 2 years after primary surgery **Figure 3** The patient was a 56-year-old female diagnosed of sacral chordoma **a** The AP pelvic film taken 21 months after primary surgery showed left rod breakage **b** AP X-ray showed lumbosacral fixation after revision surgery. The newly implanted L3 pedicle screws and left iliac screws

eral rod was found at 1.5 year postoperatively

Figure 2 The patient was a 24-year old female diagnosed of sacral giant cell tumor **a** Preoperative AP X-ray showed whole sacrum involved **b** Immediate postoperative AP X-ray **c** Right rod breakage was observed at 2 years after primary surgery **Figure 3** The patient was a 56-year-old female diagnosed of sacral chordoma **a** The AP pelvic film taken 21 months after primary surgery showed left rod breakage **b** AP X-ray showed lumbosacral fixation after revision surgery. The newly implanted L3 pedicle screws and left iliac screws

棒或植骨等结构进行连接,重建腰椎到髂骨的应力传导。本研究全部病例均采用第一种重建方法,即通过脊柱内固定系统恢复腰椎至髂骨的应力传导。

Bederman 等^[10]对目前文献报道的所有全骶骨切除后腰骶部重建方法进行系统回顾,最终得到的结论是腰-髂、骨盆后环、前方椎体融合三个方面的重建都十分重要,特别是前方椎体的融合对于降低内固定失败有着积极的作用,前方椎间融合后会提高腰骶部融合率,降低后方钉棒系统应

力。目前我们应用钉棒系统将两种结构重建方法结合进行重建(图 4),即通过脊柱钉棒系统连接腰椎和双侧髂骨(类似教堂式重建),通过钉棒系统连接两侧髂骨闭合骨盆后环,并将纵向置于 L5 椎体内的椎弓根螺钉连接于横向金属棒(类似经髂骨棒连接双侧髂骨并与腰椎连接)。将植骨置于腰椎与双侧髂骨之间。这样可以闭合骨盆环并且恢复腰髂的应力传导。整个内固定系统呈“三角形”结构,支撑于腰椎与双侧髂骨之间。该重建方式较之前单纯恢复腰髂连续性更为合理,可以分

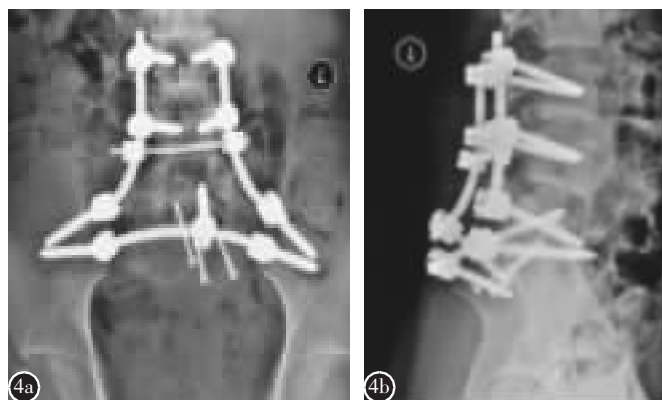


图 4 利用钉棒系统实现腰-髋及骨盆环连续性的重建,实现腰骶部“三角形”结构重建,提供早期稳定 a 骨盆正位片示腰-髋,骨盆后环均通过钉棒系统重建,并通过普通螺钉固定植于腰骶处植骨块 b 侧位 X 线片可示内固定情况

Figure 4 Both lumbosacral and posterior pelvic ring were reconstructed by screw-rod system. The "triangle" structure can provide early stability a The AP pelvic film showed lumbosacral reconstruction with rod-screw system combined with autograft fixed with screws b Lateral X-ray showed the reconstruction

散部分集中于金属棒与螺钉尾帽处的应力,降低疲劳断裂的风险。

由于腰椎骨盆固定后力矩较长,腰骶部应力和剪切力较高,应力集中在金属内固定物,长时间会导致金属内置物的疲劳断裂^[21]。本组 12 例患者中,有 10 例患者出现了金属连接棒断裂,是最常见的内固定失败形式。本组金属连接棒断裂的病例中,4 例金属连接棒直径为 5.5mm,并且 2 例双侧金属连接棒断裂的病例所使用的金属连接棒直径均为 5.5mm,这可能与金属连接棒过细有关。对于肿瘤切除后缺损的重建应考虑使用直径较粗即 6.0mm 或 6.5mm 的金属连接棒进行重建。除了通过强度更大的金属连接棒进行固定,也有学者通过增加金属连接棒数量增加重建稳定性的。Shen 等^[22]最先报道了应用单侧双棒的技术重建腰椎至骨盆连续性的方法。该方法主要解决单根连接棒断裂的问题。为了解决单根金属连接棒出现疲劳折断的问题,近两年我中心对该类失败病例进行翻修时,采用单侧双棒固定,从而加强术后早期脊柱-骨盆的稳定性,进而为植骨愈合提供更为稳定的力学环境,达到术后早期及远期的稳定重建。Yu 等^[23]通过尸体标本对骶骨全切术后腰骶部不同重建方法进行比较发现,在恢复骨盆环结构的前提下,单侧双棒固定方法优于单侧单棒固定,可以明显降低螺钉-骨界面应力。本组病例中,腰骶之间距离大也可能是内置物断裂的危险因素,如图 3 所示,腰椎螺钉固定于 L2、L3,下方与髂骨螺钉连接,这样跨度增加,腰椎活动度大,应力更明显地集中在金属连接棒,最终出现双侧金属连接棒的断裂。在腰骶重建中,应尽可能缩短腰椎螺钉与髂骨螺钉距离,一般腰椎螺钉应固定于 L4、L5 椎体。

生物重建对于远期腰骶部稳定性至关重要,文献报道过用不同植骨材料进行生物重建,其中包括自体腓骨、大段异体骨等进行重建^[10,11,14,19,24]。我们采用的方式是保留双侧髂后上棘的截骨块,置于 L5 椎体横突或骶骨与髂骨接骨面,即原骶髂关节处。并用内固定系统加压以提高植骨愈合率。本组 12 例内固定断裂患者中,6 例植骨未融合。虽然目前没有骶骨肿瘤切除后腰骶部融合率的报道,但由于缺损较大,重建复杂,仍需要坚强的金属内置物进行固定。本研究中 6 例植骨未愈合患者中,3 例术后接受过放疗,放疗影响植骨愈合^[25]。本组 2 例患者内置物断裂翻修术后再次出现内置物断裂,考虑主要与患者 BMI 较大有关系,并且在初次翻修时仍采用了单棒固定,由于体重较大,单棒固定的稳定性无法为植骨提供稳定的环境实现骨愈合,故最终出现再次断裂。其中 1 例为本组 BMI 最大患者。第 2 次翻修为提高固定强度,均采用单侧双棒固定结合植骨,后续随访未见异常。

高位骶骨切除后的重建一直是骨科领域的难题,由于解剖部位复杂,力学环境复杂,合理的重建方法需要进一步研究,术后短期内的稳定性依靠金属内置物,然而术后远期的稳定性需要生物重建实现,即植骨愈合。早期内固定可以为植骨创造较稳定的环境保证骨愈合,后期由植骨实现应力传导而避免金属内置物的疲劳断裂。目前重建方法下,钉棒系统重建最常出现一侧金属连接棒的断裂,断裂的原因可能与金属连接棒过细、固定节段不合理、植骨不愈合及患者体重指数过大有关。通过对内置物断裂的具体原因分析,并在翻修手术时尽可能消除引起内固定失败的原因,这样通过合理的翻修手术可较好地解决内固定断裂问

题。本研究由于病例数量有限,结论仍需更多随访病例明确。

4 参考文献

1. Dhawale AA, Gjolaj JP, Holmes L Jr, et al. Sacrectomy and adjuvant radiotherapy for the treatment of sacral chordomas: a single center experience over 27 years[J]. *Spine*, 2014, 39(5): E353-359.
2. Fuchs B, Dickey ID, Yaszemski MJ, et al. Operative management of sacral chordoma[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(10): 2211-2216.
3. Li D, Guo W, Tang X, et al. Surgical classification of different types of en bloc resection for primary malignant sacral tumors[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2275-2281.
4. Harimaya K, Mishiro T, Lenke LG, et al. Etiology and revision surgical strategies in failed lumbosacral fixation of adult spinal deformity constructs[J]. *Spine*, 2011, 36(20): 1701-1710.
5. Jutte PC, Castelein RM. Complications of pedicle screws in lumbar and lumbosacral fusions in 105 consecutive primary operations[J]. *Eur Spine J*, 2002, 11(6): 594-598.
6. Fujibayashi S, Neo M, Nakamura T. Palliative dual iliac screw fixation for lumbosacral metastasis: technical note[J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 7(1): 99-102.
7. Thambiraj S, Forward DP, Thomas J, et al. A novel "pelvic ring augmentation construct" for lumbo-pelvic reconstruction in tumour surgery[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(9): 1797-1803.
8. Oshima Y, Miyoshi K, Mikami Y, et al. Pelvic ring reconstruction with a vascularized pedicle iliac bone graft for a large sacral schwannoma[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(2): 200-202.
9. Stener B, Gunterberg B. High amputation of the sacrum for extirpation of tumors: principles and technique [J]. *Spine*, 1978, 3(4): 351-366.
10. Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, et al. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(2): 305-319.
11. Varga PP, Lazary A. Chordoma of the sacrum: "en bloc" total sacrectomy and lumbopelvic reconstruction[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(6): 1039-1040.
12. Gallia GL, Suk I, Witham TF, et al. Lumbopelvic reconstruction after combined L5 spondylectomy and total sacrectomy for en bloc resection of a malignant fibrous histiocytoma[J]. *Neurosurgery*, 2010, 67(2): E498-502.
13. Wuisman P, Lieshout O, van Dijk M, et al. Reconstruction after total en bloc sacrectomy for osteosarcoma using a custom-made prosthesis: a technical note[J]. *Spine*, 2001, 26(4): 431-439.
14. Tomita K, Tsuchiya H. Total sacrectomy and reconstruction for huge sacral tumors[J]. *Spine*, 1990, 15(11): 1223-1227.
15. Doita M, Harada T, Iguchi T, et al. Total sacrectomy and reconstruction for sacral tumors [J]. *Spine*, 2003, 28(15): E296-301.
16. Zhang HY, Thongtrangan I, Balabhadra RS, et al. Surgical techniques for total sacrectomy and spinopelvic reconstruction [J]. *Neurosurg Focus*, 2003, 15(2): E5.
17. Hugate RR Jr, Dickey ID, Phimsaranti R, et al. Mechanical effects of partial sacrectomy: when is reconstruction necessary[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2006, 450: 82-88.
18. Gunterberg B, Romanus B, Stener B. Pelvic strength after major amputation of the sacrum: an experimental study [J]. *Acta Orthop Scand*, 1976, 47(6): 635-642.
19. Gokaslan ZL, Romsdahl MM, Kroll SS, et al. Total sacrectomy and Galveston L-rod reconstruction for malignant neoplasms: technical note[J]. *J Neurosurg*, 1997, 87(5): 781-787.
20. Rose PS, Sim FH, Yaszemski MJ. *Orthopaedic Oncology and Complex Reconstruction* [M]. New York: Wolters Kluwer, 2011. 83-91.
21. Stambough JL. Lumbosacral instrumented fusion: analysis of 124 consecutive cases[J]. *J Spinal Disord*, 1999, 12(1): 1-9.
22. Shen FH, Harper M, Foster WC, et al. A novel "four-rod technique" for lumbo-pelvic reconstruction: theory and technical considerations[J]. *Spine*, 2006, 31(12): 1395-1401.
23. Yu Y, Zhu R, Zeng ZL, et al. The strain at bone-implant interface determines the effect of spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a strain gauge analysis in various spinopelvic constructs[J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e85298.
24. Guo W, Tang X, Zang J, et al. One-stage total en bloc sacrectomy: a novel technique and report of 9 cases [J]. *Spine*, 2013, 38(10): E626-631.
25. Poffyn B, Sys G, Mulliez A, et al. Extracorporeally irradiated autografts for the treatment of bone tumours: tips and tricks [J]. *Int Orthop*, 2011, 35(6): 889-895.

(收稿日期:2014-08-14 末次修回日期:2014-12-28)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)