

## 临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.003371

## 3 种骶 2 髂骨螺钉置钉技术准确性的比较研究

桑昌敏<sup>1</sup>, 黄忠仁<sup>2</sup>, 刘志铭<sup>3</sup>, 周振海<sup>3</sup>, 邓文强<sup>3</sup>, 曹 凯<sup>3</sup>

(1. 九江学院附属医院骨科, 九江 332000; 2. 南昌大学第一附属医院影像科, 南昌 330006;

3. 南昌大学第一附属医院骨科医院, 南昌 330006)

**【摘要】目的:**比较传统徒手置钉, 3D 打印模板引导技术(three-dimensional printed template guided technique, TGT)和 ball tip 置钉技术在置入骶 2 髂骨(s2 alar-iliac, S2AI)螺钉的准确性。**方法:**回顾分析接受 S2AI 螺钉放置的 145 例患者, 按置钉技术不同将其分为徒手技术组(36 例)、TGT 技术组(48 例)和 ball tip 技术组(61 例)。所有患者术前行骨盆 CT 确认最佳 S2AI 螺钉的最佳轨道参数, 术后 CT 扫描评估螺钉轨迹的准确性, 比较 3 种技术的置钉准确性。**结果:**3 组患者 S2AI 螺钉的最佳轨道参数差异均无统计学意义( $P>0.05$ ); 3 组患者共置入 S2AI 螺钉 290 枚。其中, 传统徒手技术组 72 枚, TGT 技术组 96 枚, ball tip 技术组 122 枚。传统徒手组置钉不准确率为 18.1%(13/72), TGT 技术组置钉不准确率 3.1%(3/96), ball tip 组置钉不准确率为 4.1%(5/122); TGT 技术组置钉准确性高于传统徒手技术组, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ); ball tip 技术组置钉准确性也高于传统徒手技术组, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ); TGT 技术组置钉准确性虽高于 ball tip 技术组, 但差异无统计学意义( $P>0.05$ )。**结论:**TGT 技术和 ball tip 技术均为 S2AI 螺钉置入的可靠技术, 二者的准确性均明显高于徒手技术, 但 ball tip 技术操作简单。

**【关键词】**徒手技术; ball tip 技术; 3D 打印模板引导技术; 骶 2 髂骨螺钉; 腰骶骨盆固定

**【中图分类号】**R68

**【文献标志码】**A

**【收稿日期】**2023-09-01

### Comparison of accuracy of three kinds of second sacral alar iliac screw placement techniques

Sang Changmin<sup>1</sup>, Huang Zhongren<sup>2</sup>, Liu Zhiming<sup>3</sup>, Zhou Zhenhai<sup>3</sup>, Deng Wenqiang<sup>3</sup>, Cao Kai<sup>3</sup>

(1. Department of Orthopedics, Jiujiang University Affiliated Hospital; 2. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Nanchang University; 3. Orthopedic Hospital, The First Affiliated Hospital of Nanchang University)

**【Abstract】Objective:** To compare the accuracy of the conventional freehand technique, three-dimensional printed template-guided technique(TGT), and ball tip technique for second sacral alar iliac(S2AI) screw placement. **Methods:** One hundred and forty-five patients who underwent S2AI screw placement were retrospectively reviewed. According to the screw placement techniques, they were divided into freehand technique group(36 cases), TGT group(48 cases), and ball tip technique group(61 cases). All the patients underwent computed tomography before operation to identify the parameters of the optimal trajectory of S2AI screws and also after operation to assess the accuracy of the screw trajectory. The accuracy of screw insertion with the three techniques was compared. **Results:** There were no significant differences in the optimal trajectory parameters of S2AI screws between the three groups( $P>0.05$ ). A total of 290 S2AI screws were placed, with 72 in the conventional freehand technique group, 96 in the TGT group, and 122 in the ball tip technique group. The inaccuracy rate of screw placement was 18.1%(13/72) for the freehand group, 3.1%(3/96) for the TGT group, and 4.1%(5/122) for the ball tip group. The accuracy of the TGT group was significantly higher than that of the freehand group( $P<0.05$ ). The accuracy of the ball tip group was also significantly higher than that of the freehand group( $P<0.05$ ). The accuracy of screw placement was higher in the TGT group than in the ball tip group, but the difference was not statistically significant( $P>0.05$ ). **Conclusion:** The TGT technique and ball tip technique are reliable approaches to S2AI screw placement, both with significantly higher accuracy compared with the freehand technique, and in addition, the ball tip technique is easier to perform compared with the other two techniques.

**【Key words】** freehand technique; ball tip technique; three-dimensional printed template-guided technique; second sacral alar iliac screw; lumbosacropelvic fixation

作者介绍: 桑昌敏, Email: scm721128@sina.com,

研究方向: 骨科学、脊柱畸形、脊柱退行性变。

通信作者: 曹 凯, Email: kaichaw@126.com。

基金项目: 江西省“双千项目”资助项目(编号:jxsq202320102); 南昌大学第一附属医院临床培养资助项目(编号:YFYLCYJPY202202)。

优先出版: <https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20231120.1645.014>

(2023-11-23)

腰骶骨盆固定在涉及腰骶部固定、融合的手术中具有不可或缺的作用,特别是对于一些需要长节段固定或腰骶部畸形矫正的手术<sup>[1-2]</sup>。坚强的腰骶骨盆固定可以有效避免生物力学失败,减少手术并发症及再次手术的概率。目前,已有多种骨盆固定技术,包括髂骨螺钉,骶髂螺钉及S2骶髂螺钉(S2 alar-iliac screws, S2AI)应用于临床<sup>[3-4]</sup>。其中, S2AI螺钉由于具有螺钉尾远离皮肤、无切口过度暴露、更强的抗拔出强度和便于与腰椎椎弓根螺钉相连接等优点,已经逐渐成为最常用、可靠的腰骶骨盆固定技术<sup>[5-6]</sup>。然而, S2AI螺钉的准确置入对于经验不足的脊柱外科医生来说仍然具有挑战性。S2AI螺钉的不准确置入可能导致重要血管的损伤,如髂内动脉,臀上动脉等,这些血管的损伤可造成盆腔内出血,严重者危及患者生命<sup>[7-8]</sup>。因此,如何提高S2AI螺钉置入的准确性是脊柱外科亟须解决的问题。在长期的临床工作中,本团队先后开展了3D打印模板引导技术(three-dimensional printed template guided technique, TGT)和ball tip徒手置钉技术用于S2AI螺钉的置入。本研究将对这两种技术与传统徒手置钉技术进行比较,并评估在S2AI螺钉置入方面的准确性和安全性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾分析2015年4月至2022年10月南昌大学第一附属

医院与南昌大学第二附属医院使用S2AI螺钉行腰骶骨盆固定的145例患者资料。纳入标准:①患者诊断为脊柱畸形,退行性脊柱侧凸,慢性腰骶部感染,腰骶部结核及腰骶部肿瘤需要行腰骶部固定融合;②患者年龄大于18岁;③使用徒手置钉、TGT技术或ball tip技术行S2AI腰骶骨盆固定。排除标准:①采用其他技术置入S2AI螺钉;②资料不完整的患者。所有S2AI螺钉的置入都由本中心同一名高年资医师完成。所有患者均在术前及术后接受了骨盆CT扫描。术前CT用于评估患者骨盆的结构及S2AI螺钉最佳轨道参数,术后骨盆CT用于评估S2AI螺钉置入的准确性。本研究经医院伦理委员会批准(批号:jjuhmer-a-2019-0803),所有患者均获得书面知情同意。145例患者根据所使用的置钉技术,分为传统徒手技术组、TGT技术组和ball tip技术组。其中,传统徒手技术组患者36例,TGT技术组患者48例,ball tip技术组患者61例,3组患者性别、年龄、身高、体质量和体质指数(body mass index, BMI)比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表1。

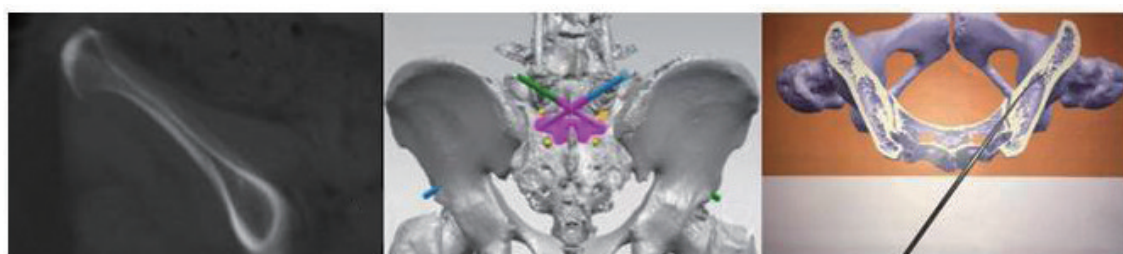
### 1.2 手术过程

患者全身麻醉后取俯卧位。所有患者均行后入路操作,骨膜下剥离并充分暴露解剖标志,包括S2AI置钉起点。传统徒手技术按照O'Brien JR等<sup>[9]</sup>描述的方法操作,TGT技术和ball tip技术参照本团队前期研究的方法操作<sup>[10-11]</sup>。3种S2AI螺钉置钉方法见图1。

1.2.1 传统徒手置钉技术 取后路正中切口,显露腰骶部后方结构,显露S<sub>1</sub>孔,确认进钉点,进钉点位于S<sub>1</sub>孔下方、外侧1 mm,使用2.5 mm电钻开路,方向朝向股骨大转子,头倾20°~30°,外展40°~50°进入,C臂透视确定钉道方向,继续开路至骶髂关节,穿破骶髂关节后,反复透视确定泪滴位置,然

表1 3组患者的基本资料比较( $\bar{x} \pm s; n/n$ )

项目	传统组( $n=36$ )	TGT组( $n=48$ )	Ball tip组( $n=61$ )	$\chi^2/F$ 值	$P$ 值
性别(男/女)	20/16	27/21	32/29	0.178	0.915
年龄(岁)	$64.5 \pm 11.3$	$59.8 \pm 8.7$	$59.3 \pm 11.2$	3.094	0.058
身高(cm)	$169.5 \pm 4.9$	$168.5 \pm 5.2$	$169.2 \pm 8.3$	0.366	0.694
体质量(kg)	$74.3 \pm 6.9$	$73.5 \pm 8.7$	$75.1 \pm 9.5$	0.461	0.632
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	$26.8 \pm 1.9$	$26.5 \pm 2.6$	$26.2 \pm 2.3$	0.345	0.709



A. 术中透视所见泪滴图像

B. 3D TGT模板示意

C. 探针用于置钉轨道的创建

图1 3种S2AI螺钉置钉方法

后继续在髂骨内前行,直至到达髂骨皮质,探针探查钉道四壁及底部的完整性,确认无穿破后,测量钉道长度后置入直径 7.5 mm 的螺钉。再次 C 臂透视确认螺钉位置准确性。

**1.2.2 TGT** 所有患者术前行骨盆薄层 CT 并将数据拷贝至 3D 打印公司,根据患者骨盆测量参数,制备患者术中用特异性的 3D 打印导板,消毒、备用。取后路正中切口,显露腰骶部后方结构。显露完成后,彻底清除操作区域软组织,清晰暴露 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 孔,确认进钉点,进钉点位于 S<sub>1</sub> 和 S<sub>2</sub> 孔中点偏外,并位于 L<sub>5</sub>、S<sub>1</sub> 椎弓根螺钉连线的延长线稍内。将预先制备的 3D 引导模板与骶骨背骨紧密匹配,然后使用 2.5 mm 的电钻开道,延导板方向和角度钻入骶骨、穿过骶髂关节,并在髂骨行进直达皮质,探针检查钉道完整性,确认钉道无穿破,测量钉道长度后置入直径 7.5 mm 的螺钉,C 臂透视检查螺钉位置准确性。

**1.2.3 ball tip 技术** 取后路正中切口,显露腰骶部后方结构。显露完成后,确定进钉点,进钉点位于 S<sub>1</sub> 和 S<sub>2</sub> 孔中点偏外,并位于 L<sub>5</sub>、S<sub>1</sub> 椎弓根螺钉连线的延长线稍内。使用椎弓根螺钉开路锥开路,方向及角度朝向同侧大转子上两指,当开路锥突破骶髂关节后,使用特制的 ball tip 探针代替开路锥,并用锤子将其轻轻敲入,特质的 ball tip 探针会在髂骨松质骨内寻找最佳的置钉通道,通过重复进出探针扩大通道后,使用软探针探查通道四周及底部完整性,确认通道完整无穿破后测量钉道长度并置入直径 7.5 mm 的螺钉,C 臂透视检查螺钉位置准确性。

### 1.3 S2AI 螺钉最佳轨道骨盆参数分析

所有患者术前行骨盆 CT 扫描,将所有数据使用 UG 软件(西门子,美国)模拟 S2AI 螺钉的最佳轨迹。最佳轨迹定义为:经进钉点并通过坐骨切迹上方泪滴中心的直线。测量最佳轨迹的以下参数,①头倾角(cephalocaudal angle, CA):矢状面钉道与水平线的夹角;②外展角(mediolateral angle, MA):冠状面上钉道与中垂线之间的夹角;③钉道最大长度(maximal length of pathway, ML):钉道在骨盆内的最长距离;④钉道最窄宽度(narrowest width of pathway, NW):钉道在骨盆内最窄处的距离;⑤坐骨结节距离(sciatic notch distance, SD):泪滴中心到坐骨切迹的距离;⑥背孔距离(dorsal foramen distance, DD):进钉点和 S<sub>1</sub> 孔之间的距离。

### 1.4 置钉准确性测量

对所有 S2AI 螺钉进行骨盆 CT 扫描后,将未侵犯及突破髂骨内、外侧皮质骨或坐骨切迹的螺钉定义为准确置入,将侵犯或突破髂骨内、外侧皮质骨或坐骨切迹的螺钉被定义为不准确置入。并根据 Oh CH 等<sup>[12]</sup>的描述,将螺钉穿破皮质的严重程度分为 4 个等级;0 级为螺钉没有侵犯髂骨骨皮质,完全位于髂骨松质骨内;1 级为轻度破裂,螺钉尖端突破髂骨皮质,但距离骨皮质边界 <3 mm;2 级定义为中度破裂,螺钉尖端距离骨皮质边界 3~6 mm;3 级定义为重度破裂,螺钉尖端距离骨皮质边界 >6 mm。1~3 级均被定义为螺钉的不准确置入。

### 1.5 统计学方法

使用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计量资料用均值 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,比较采用单因素方差分析,计数资料用频数表示,比较采用卡方检验,检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 3 组患者 S2AI 螺钉最佳轨道参数比较

本研究中,3 组患者术前均接受了骨盆 CT 扫描,并通过分析获得 S2AI 螺钉最佳轨道参数,结果发现 3 组患者的 CA、MA、ML、NW、SD、DD 比较差异均无统计学意义,见表 2。

### 2.2 3 种技术螺钉准确性比较

本研究中,共置入 S2AI 螺钉 290 枚。传统徒手技术组 72 枚,TGT 技术组 96 枚,ball tip 技术组 122 枚。术后骨盆 CT 显示,徒手组中 13 枚螺钉不准确置入(18.1%, 13/72),1 级 6 枚,2 级 5 枚,3 级 2 枚。其中穿透前方皮质 3 枚,穿透后方皮质 10 枚。TGT 组 3 枚螺钉不准确置入(3.1%, 3/96),1 级,穿透后方皮质。ball tip 组 5 枚螺钉不准确置入(4.1%, 5/122),1 级 4 枚,2 级 1 枚,均穿透后方皮质(图 2)。图 2A 为 1 例重度僵硬型脊柱畸形患者使用传统徒手技术置入 S2AI 螺钉,术后 CT 示螺钉突破内侧髂骨皮质;图 2B 为 1 例退变性脊柱侧弯患者行腰骶部长节段固定融合,使用 TGT 技术置入 S2AI 螺钉,术后 CT 示螺钉准确置入。图 2C 为 1 例脊柱畸形患者行翻修手术,使用 Ball tip 技术置入 S2AI 螺钉,术后 CT 示螺钉置入准确。相比于传统徒手技术,TGT 技术和 ball tip

表 2 3 组患者 S2AI 螺钉最佳轨道参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

项目	传统组(n=36)	TGT 组(n=48)	Ball tip 组(n=61)	F 值	P 值
CA(°)	31.5 ± 8.8	35.1 ± 7.0	34.2 ± 5.9	2.798	0.061
MA(°)	40.7 ± 5.2	45.1 ± 4.1	42.9 ± 4.7	2.434	0.088
ML(mm)	111.4 ± 9.6	111.9 ± 8.4	110.4 ± 9.3	0.372	0.681
NW(mm)	15.4 ± 2.6	15.0 ± 2.3	14.9 ± 3.5	0.343	0.708
SD(mm)	11.6 ± 1.4	10.9 ± 1.6	11.3 ± 2.2	1.554	0.224
DD(mm)	4.5 ± 1.6	5.0 ± 1.1	5.9 ± 1.4	1.513	0.233





A. 传统徒手技术置入S2AI螺钉



B. TGT技术置入S2AI螺钉



C. Ball tip技术置入S2AI螺钉

图2 3种技术置入S2AI螺钉的患者CT资料

技术提高了S2AI螺钉的置钉准确性,差异有统计学意义 ( $\chi^2=10.641, P=0.002; \chi^2=10.479, P=0.003$ ), 而尽管TGT技术

组置钉准确性高于ball tip技术,但差异无统计学意义 ( $\chi^2=0.143, P=0.704$ ), 见表3。

表 3 3 种置钉技术置钉准确性比较

项目	传统组 (n=72)	TGT 组 (n=96)	Ball tip 组 (n=122)
无皮质穿破	59	93	117
穿破皮质	13	3	5
穿破等级			
0 级	59	93	117
1 级	6	3	4
2 级	5	0	1
3 级	2	0	0
穿破位置			
前方	3	0	0
后方	10	3	5
侧方	0	0	0

### 3 讨 论

与其他腰骶骨盆固定技术相比,S2AI 螺钉具有内固定稳定,抗拔出强度优良,更易于与腰椎椎弓根螺钉相连接等优点<sup>[8,13-14]</sup>。并且,S2AI 螺钉钉尾位置较深,可被皮下组织覆盖,显著降低了局部皮肤溃疡和深部感染的发生率<sup>[5-6]</sup>。尽管先前的研究证实了 S2AI 螺钉在腰骶骨盆固定方面的优势,但使用徒手技术置入 S2AI 的准确性始终不令人满意。Shillingford JN 等<sup>[2]</sup>的一项研究中,使用徒手技术置入 100 枚 S2AI 螺钉,其中 8 枚穿破皮质,皮质穿孔率为 8%。而在本研究中,徒手技术组共 13 (13/72, 18.1%) 枚 S2AI 螺钉穿破皮质。S2AI 螺钉的不准确置入会造成髂骨皮质的破裂,不但导致螺钉固定强度的下降,还可能造成重要的血管、神经损伤。特别是骨盆前壁破裂造成的髂内动脉损伤和骨盆后壁破裂造成的臀上动脉损伤<sup>[8,15]</sup>。此外,螺钉侵犯坐骨切迹可能导致坐骨神经、阴部神经或阴部内血管损伤<sup>[16]</sup>。因此,对于脊柱外科医师而言,提高 S2AI 螺钉置入的准确性至关重要。S2AI 螺钉的准确置入非常依赖于骨盆的解剖学参数,徒手置入技术需要在术中反复透视以确定泪滴的位置,增加患者及医务人员的射线暴露,且准确性不高,极大地妨碍了 S2AI 螺钉在脊柱手术中的应用。为了克服上述困难,本研究分别采用了 TGT 技术和 ball tip 技术用于 S2AI 螺钉的置入,并将 3 种 S2AI 螺钉的置钉准确性进行了比较,结果显示 TGT 技术和 ball tip 技术均

提高了 S2AI 螺钉置入的准确性。

目前,3D 打印技术已经广泛应用于医学的各个领域。3D 打印模型能够帮助外科医生更好地识别解剖学的标志,简化手术过程,缩短操作时间。3D 导板是根据患者术前的 CT 参数制作出的 3D 打印导向器,术中安装后可以帮助医生快速、准确地置入螺钉并避免因轨道偏移导致的并发症。在本研究中,使用 TGT 的 S2AI 螺钉置入技术,结果显示有 3 枚 (3/96, 3.1%) 螺钉穿透皮质,与传统徒手组的 13 枚 (13/72, 18.1%) 螺钉穿透皮质相比,TGT 组的准确性显著提高。此外,TGT 技术不需要术中反复透视来确定置钉方向,这可以减少患者及术者的辐射暴露。并且,对于缺乏经验的外科医生来说,在患者存在骨盆畸形时或对骨盆解剖结构缺乏了解的情况下,TGT 技术的应用使 S2AI 的置入变得简单有效。尽管 TGT 技术在置钉准确性上表现突出,但仍然存在一些缺点。首先,模板的制作需要一定的时间,不适用于需要紧急手术的患者。此外,术中模板与骨面紧密贴合是成功使用该技术的关键,否则可能引导错误的置钉方向导致置钉失败,因此对模板的精密性有很严苛的要求。如因打印材料等因素影响了模板的精确度,导致术中无法紧密贴合,则必须放弃该技术,这增加了患者的花费。

Ball tip 探头由球形金属尖端和半柔韧性的金属轴组成,ball tip 技术最初被用于胸椎椎弓根螺钉的置入,如 Watanabe K 等<sup>[17]</sup>描述。受此方法的启发,作者团队研制了一种具有半柔韧特性的金属特殊探针,当用锤子轻敲探针尾部时,这种特殊的球尖探针在与髂骨外侧或内侧皮质相遇时可以自动弯曲,寻找髂骨内、外侧皮质之间的松质骨通道,最终在髂骨内形成一个通道。重复多次探针进出后,使用 Lenke 椎弓根探针来拓宽此通道。之后,S2AI 螺钉便顺利放置。在 ball tip 技术应用过程中,由于能够通过探针找到置钉的松质骨通道,不必继续观察泪滴内的探针位置,降低了术中透视的频率,减少辐射暴露。在 Shillingford JN 等<sup>[2]</sup>的 1 项徒手技术置入 S2AI 螺钉的研究中,只有 5% 的螺钉出现中度至重度皮质破裂,均属于骨盆后方穿孔。但在另一项研究中,皮质穿孔率很高,达到 15%<sup>[5]</sup>。本研究中,ball tip 技术组的皮质穿孔率为 4.1% (5/122),且

无中、重度皮质破裂。在常规徒手技术组中,置钉不准确率为 18.1%,且中度至重度皮质破裂率为 9.7%(7/72)。研究结果表明 ball tip 技术显著提高了 S2AI 螺钉放置的准确性,特别是避免了中、重度的皮质破裂。将 ball tip 技术应用于 S2AI 螺钉的置入,简化了置钉步骤,目前被越来越多的脊柱外科医生认可和接受。更重要的是,ball tip 技术操作简单,学习曲线短,即使是经验尚欠缺的脊柱外科医生,在明确解剖标志的情况下也能够准确置入 S2AI 螺钉。

TGT 技术和 ball tip 技术均为 S2AI 螺钉置入的可靠技术,二者的准确性均显著高于徒手技术。其中,ball tip 技术操作简单,可被推荐作为 S2AI 螺钉的首选置钉技术。

### 参 考 文 献

- [1] Jain A, Hassanzadeh H, Strike SA, et al. Pelvic fixation in adult and pediatric spine surgery: historical perspective, indications, and techniques: AAOS exhibit selection[J]. J Bone Joint Surg Am, 2015, 97(18):1521-1528.
- [2] Shillingford JN, Laratta JL, Tan L, et al. The free-hand technique for S2-alar-iliac screw placement: a safe and effective method for sacropelvic fixation in adult spinal deformity[J]. J Bone Joint Surg Am, 2018, 100(4):334-342.
- [3] Fang TL, Russo GS, Schroeder GD, et al. The accurate free-hand placement of S2 alar iliac (S2AI) screw[J]. Clin Spine Surg, 2020, 33(3):102-103.
- [4] Matteini LE, Kebaish KM, Volk WR, et al. An S-2 alar iliac pelvic fixation. technical note[J]. Neurosurg Focus, 2010, 28(3):e13.
- [5] O'Brien JR, Matteini L, Yu WD, et al. Feasibility of minimally invasive sacropelvic fixation: percutaneous S2 alar iliac fixation[J]. Spine, 2010, 35(4):460-464.
- [6] Sponseller PD, Zimmerman RM, Ko PS, et al. Low profile pelvic fixation with the sacral alar iliac technique in the pediatric population improves results at two-year minimum follow-up[J]. Spine, 2010, 35(20):1887-1892.
- [7] Hlubek RJ, Almefty KK, Xu DS, et al. Safety and accuracy of free-hand versus navigated iliac screws: results from 222 screw placements[J]. Spine, 2017, 42(20):1190-1196.
- [8] Yamada K, Abe Y, Satoh S. Safe insertion of S-2 alar iliac screws: radiological comparison between 2 insertion points using computed tomography and 3D analysis software[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 28(5):536-542.
- [9] O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, et al. An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement[J]. Spine, 2009, 34(12):439-442.
- [10] Zhou ZH, Zeng ZM, Yu HG, et al. The three-dimensional printed template guided technique for S2 alar iliac screw placement and a comparison with freehand technique[J]. J Orthop Surg, 2020, 28(3):1-7.
- [11] Zhou ZH, Tu C, Yu HG, et al. Ball tip technique for S2AI screw placement in sacropelvic fixation: a comparative study with conventional freehand technique[J]. Orthop Surg, 2022, 14(2):389-396.
- [12] Oh CH, Yoon SH, Kim YJ, et al. Technical report of free hand pedicle screw placement using the entry points with junction of proximal edge of transverse process and *Lamina* in lumbar spine: analysis of 2601 consecutive screws[J]. Korean J Spine, 2013, 10(1):7-13.
- [13] Fleischer GD, Kim YJ, Ferrara LA, et al. Biomechanical analysis of sacral screw strain and range of motion in long posterior spinal fixation constructs: effects of lumbosacral fixation strategies in reducing sacral screw strains[J]. Spine, 2012, 37(3):163-169.
- [14] McCord DH, Cunningham BW, Shono Y, et al. Biomechanical analysis of lumbosacral fixation[J]. Spine, 1992, 17(8 Suppl):S235-S243.
- [15] Camp JF, Caudle R, Ashmun RD, et al. Immediate complications of Cotrel-Dubousset instrumentation to the sacro-pelvis. A clinical and biomechanical study[J]. Spine, 1990, 15(9):932-941.
- [16] Mattei TA, Fassett DR. Combined S-1 and S-2 sacral alar-iliac screws as a salvage technique for pelvic fixation after pseudarthrosis and lumbosacropelvic instability: technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(3):321-330.
- [17] Watanabe K, Matsumoto M, Tsuji T, et al. Ball tip technique for thoracic pedicle screw placement in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(2):246-252.

(责任编辑:曾 玲)