

临床论著

同侧双枚第 2 骶椎骶髂螺钉固定钉道的影像学研究

汤子洋¹, 胡宗杉², 朱泽章^{1,2}, 辛小燕³, 张艳秋³, 钱至恺¹, 马鸿儒², 邱勇^{1,2}, 刘臻^{1,2}

(1 南京医科大学鼓楼临床医学院; 2 南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科;

3 南京大学医学院附属鼓楼医院医学影像科 210008 南京市)

【摘要】目的:模拟正常成人骨盆置入同侧双枚第 2 骶椎骶髂(second sacral alar-iliac, S2AI)螺钉, 测量钉道的影像学参数, 评估同侧双枚 S2AI 螺钉置钉的安全性与可行性。**方法:**回顾性分析 2019 年 1 月~2020 年 7 月于我院行骨盆 CT 平扫及三维重建的患者影像学资料, 选取骨盆无解剖学异常者 50 例, 其中男性 25 例, 女性 25 例, 年龄 25~75 岁, 平均 55.7±12.3 岁。在 Light Speed 影像学工作站上模拟同侧两枚 S2AI 螺钉的固定钉道: 选取第 1 骶孔外缘 1mm 的垂线和上缘 1mm 的水平线的交点为近端 S2AI 螺钉的进钉点, 选取第 1 骶孔与第 2 骶孔外缘 1mm 处连线的中点为远端 S2AI 螺钉的进钉点, 分别以两个进钉点为中心, 对其三维骨盆图像进行旋转、切割, 以得到髂骨髓腔最长与最宽的理想钉道。测量钉道的尾倾偏角(sagittal angle, SA)、外向偏角(transverse angle, TA)、钉道最大长度(maximal length, ML)、钉道在骶骨内的长度(sacral length, SL)、进钉点与皮肤的垂直距离(skin distance, SD)。同性别 S2AI 螺钉钉道参数之间比较采用配对设计 *t* 检验, 不同性别参数之间比较采用完全随机设计 *t* 检验。**结果:**所有研究对象双侧均能建立出理想的 S2AI 螺钉钉道, 男性近端的 S2AI 螺钉钉道 SA 为 42.31°±3.71°, TA 为 37.31°±2.39°, ML 为 105.51±5.92mm, SL 为 29.32±3.87mm, SD 为 26.52±3.31mm; 远端 S2AI 螺钉钉道的 SA 为 24.57°±2.17°, TA 为 41.65°±2.39°, ML 为 125.89±6.01mm, SL 为 48.57±11.34mm, SD 为 43.53±8.01mm; 男性的两枚螺钉钉道的 SA、TA、ML、SL 组间比较存在统计学差异 (*P*<0.05), SD 组间比较无统计学差异 (*P*=0.078)。女性近端的 S2AI 螺钉钉道的 SA 为 43.05°±3.05°, TA 为 36.53°±1.98°, ML 为 102.38±7.44mm, SL 为 31.31±4.11mm, SD 为 28.01±2.91mm; 远端的 S2AI 螺钉钉道的 SA 为 29.38°±2.67°, TA 为 40.96°±2.58°, ML 为 118.74±6.68mm, SL 为 51.87±10.52mm, SD 为 47.72±12.63mm; 女性的两枚螺钉钉道的 SA、TA、ML、SL 组间比较存在统计学差异 (*P*<0.05), 而 SD 的组间比较无统计学差异 (*P*=0.223)。将不同性别患者两枚 S2AI 螺钉的钉道参数进行比较分析, 无论对于近端还是远端的螺钉, 男性均具有更大的 ML (*P*<0.05)。远端的 S2AI 螺钉, 男性与女性 SA 的差异有统计学意义 (*P*<0.001)。**结论:**国人正常成人骨盆中可以构建出双枚 S2AI 螺钉钉道, 近端的 S2AI 螺钉比远端的螺钉更为尾倾及内收; 与男性相比, 女性的钉道更为尾倾且更短。

【关键词】 骶髂螺钉; 内固定; 骨盆; CT 测量

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.10

中图分类号: R322.7, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-05-0450-07

Imaging study of unilateral/bilateral dual second sacral alar-iliac screws placement in adults/TANG Ziyang, HU Zongshan, ZHU Zezhang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(5): 450-456

【Abstract】 Objectives: To simulate placing two ipsilateral S2AI screws in the pelvis of normal adults and measure the imaging parameters of the screw trajectories, and to investigate the feasibility and safety of such technique. **Methods:** The imaging data of patients who received plain CT scan and three-dimensional reconstruction of the pelvis in our hospital from January 2019 to July 2020 were selected, and 50 patients with no anatomical abnormalities in the pelvis were also selected. There were 25 males and 25 females, aged from 25 to 75 years old, with an average of 55.7±12.3 years old. The fixation trajectories of two S2AI screws on the same side was simulated on the Light Speed system: the intersection point of the vertical line 1mm at the

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 82072518)

第一作者简介: 男(1997-), 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科

电话: (025)83106666 E-mail: 734403853@qq.com

通讯作者: 刘臻 E-mail: drliuzhen@163.com

outer edge of the 1st dorsal foramen and the horizontal line 1mm at the upper edge was selected as the anchoring point of the proximal S2AI screw, and the midpoint of the connection between the 1st dorsal foramen and the outer edge of the 2nd dorsal foramen 1mm was selected as the anchoring point of the distal S2AI screw. Then the three-dimensional pelvis images were rotated and cut with the two anchoring points as the center, so as to obtain the ideal trajectories. After the construction of the trajectories, the imaging parameters were measured, including sagittal angle(SA), transverse angle(TA), maximal length(ML), sacral length(SL), and skin distance (SD). Paired-samples' *t* test was used to compare the parameters of S2AI screws in the same gender, and independent-samples' *t* test was used to compare the parameters between different genders.

Results: The trajectories of virtual bilateral dual S2AI screws could be constructed on every patients' pelvic CT scan images. The imaging parameters of male's proximal S2AI screw were SA: $42.31^{\circ} \pm 3.71^{\circ}$, TA: $37.31^{\circ} \pm 2.39^{\circ}$, ML: $105.51 \pm 5.92\text{mm}$, SL: $29.32 \pm 3.87\text{mm}$, SD: $26.52 \pm 3.31\text{mm}$, and of the distal S2AI screw were: SA: $24.57^{\circ} \pm 2.17^{\circ}$, TA: $41.65^{\circ} \pm 2.39^{\circ}$, ML: $125.89 \pm 6.01\text{mm}$, SL: $48.57 \pm 11.34\text{mm}$, SD: $43.53 \pm 8.01\text{mm}$. There were statistically significant differences between the SA, TA, ML, SL($P < 0.05$), but there was no statistical difference between the values of SD ($P = 0.078$). For female, the imaging parameters of proximal S2AI screw were: SA: $43.05^{\circ} \pm 3.05^{\circ}$, TA: $36.53^{\circ} \pm 1.98^{\circ}$, ML: $102.38 \pm 7.44\text{mm}$, SL: $31.31 \pm 4.11\text{mm}$, SD: $28.01 \pm 2.91\text{mm}$, and the imaging parameters of distal S2AI screw were: SA: $29.38^{\circ} \pm 2.67^{\circ}$, TA: $40.96^{\circ} \pm 2.58^{\circ}$, ML: $118.74 \pm 6.68\text{mm}$, SL: $51.87 \pm 10.52\text{mm}$, SD: $47.72 \pm 12.63\text{mm}$. There were statistically significant differences between the SA, TA, ML, SL($P < 0.05$), but there was no statistical difference between the values of SD($P = 0.223$). The screw trajectories parameters of two S2AI screws from patients of different genders were compared and analyzed. Both proximal and distal screws showed that males had larger ML($P < 0.05$). At the same time, for distal S2AI screws, the difference in SA between men and women was statistically significant($P < 0.001$). **Conclusions:** Generally, the proximal S2AI screw is more tailward and adducted than the distal S2AI screw. And the females' screw trajectories are more tailward and shorter than males'.

【Key words】 Sacral alar-iliac screw; Internal fixation; Pelvis; CT measurement

【Author's address】 Department of Spine Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, the Clinical College of Nanjing Medical University, Nanjing, 210008, China

脊柱矫形手术常需要进行牢固的骨盆固定以获得坚固稳定的腰骶部融合^[1-2]。其中,经第2骶椎骶髂(second sacral alar-iliac, S2AI)螺钉固定技术由 Sponseller 等^[3]提出,并在临床实践中得到了广泛运用。该技术使用螺钉穿过骶髂关节,形成极为稳定的三皮质固定。与其他固定技术相比,该技术具有软组织损伤小,螺钉切迹低,无需使用连接杆,并发症发生率低等优势^[4-6]。然而,准确地置入 S2AI 螺钉具有较高的技术难度,往往需要术中导航系统的引导^[7-9]。Zhu 等^[10]在一项解剖学研究中阐述了中国人群 S2AI 螺钉钉道的各影像学参数,为徒手置入 S2AI 螺钉提供了理论支撑。本中心据此将 S2AI 固定技术用于各类严重脊柱侧后凸畸形的治疗中并取得了良好疗效^[11-13]。O'Brien 等^[14]、Fang 等^[7]以及 Jabbar 等^[15]均提出了不同的进钉点,且均能规划出良好的 S2AI 螺钉钉道,提示我们存在同时置入多枚 S2AI 螺钉的可能性。

在临床实践中我们发现,对于部分严重侧后凸畸形患者,单枚 S2AI 螺钉有时并不能提供足够

强度的远端固定。Park 等^[16]报道了1例双侧置入双枚 S2AI 螺钉的病例,创造性地提出了同侧双枚 S2AI 螺钉固定技术。但是,该研究为个案报道,并未对同侧双枚 S2AI 螺钉的解剖学进行系统报道。因此本研究通过回顾性模拟正常成人同侧双枚 S2AI 螺钉钉道的置入,目的在于:(1)测量同侧双枚 S2AI 螺钉固定钉道各影像参数;(2)探讨此骨盆固定技术的可行性及安全性。

1 资料与方法

1.1 纳入及排除标准

纳入标准:(1)于我院行骨盆 CT 检查;(2)CT 证实骨盆形态无异常;(3)骨盆以及髋关节无内固定或金属置入史;(4)骨盆 CT 图像数据完整,可进行三维重建;(5)年龄大于 20 岁。

排除标准:(1)既往有代谢性骨病及激素等药物应用史;(2)存在严重骨盆畸形;(3)存在骶骨骨盆部位肿瘤、腰骶骨盆部位手术史;(4)X 线片及 CT 检查显示存在骨盆骨折、旋转及倾斜等。

1.2 一般资料

依据上述纳入以及排除标准,纳入自 2019 年 1 月~2020 年 7 月于我院行骨盆 CT 平扫及三维重建检查患者 50 例,其中男性、女性各 25 例,年龄 25~75 岁,平均 55.7 ± 12.3 岁。其中,腰椎间盘突出症 21 例,腰椎滑脱 13 例;尾骨骨折 7 例,腰椎骨折 9 例。本研究取得所有患者知情同意,并经本单位伦理委员会批准。

1.3 研究方法

采用 Light Speed 32 层螺旋 CT (General Electric, 美国)行全骨盆轴位连续扫描,技术参数:层厚 2mm,层距 2mm,电压 120kV,电流 220mA;由两名影像科医师将扫描数据进行三维重建,间距 1mm,层厚 1mm,重建阈值为 300Hu,重建结束后得到骨盆三维图像。应用 Light Speed 工作站对骨盆三维图像进行前后旋转和切割处理,在工作站上模拟同侧两枚 S2AI 螺钉的固定钉道。具体方法:首先确定 S2AI 螺钉进钉点,依据 Park 等^[16]的报道以及分析,选取第 1 骶孔外缘 1mm 的垂线和上缘 1mm 的水平线的交点为位于近端 S2AI 螺钉的进钉点,选取第 1 骶孔与第 2 骶孔外缘 1mm 处连线的中点为位于远端 S2AI 螺钉的进钉点(图 1)。然后前后旋转三维骨盆图像,得

到髂骨髓腔最长与最宽的横断面,在此平面从进钉点画出一条穿行髂骨中央部位,并且两条彼此在空间不相交的直线,即为模拟的双枚 S2AI 螺钉置入钉道。

1.4 影像学参数

运用 Light Speed 工作站测量模拟的 2 枚 S2AI 螺钉参数。

(1)尾倾偏角(sagittal angle,SA):钉道在矢状面上的投影与水平线的夹角;(2)外向偏角(transverse angle,TA):钉道在横断面上的投影与正中线的夹角;(3)钉道最大长度(maximal length,ML):横断面上钉道的最长距离;(4)钉道在髂骨内的长度(sacral length,SL):横断面上钉道穿骶髂关节之前在髂骨内的穿行距离;(5)进钉点与皮肤的垂直距离(skin distance,SD):横断面上进钉点与皮肤的最短垂直距离(图 2)。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 22.0 (SPSS, 美国)统计软件包对数据进行统计处理,经正态性检验,对服从或近似服从正态分布的数据采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示;同性别不同 S2AI 螺钉钉道参数之间比较采用配对设计 t 检验,不同性别参数之间比较采用完全随机设计 t 检验,检验水准取双侧 0.05。



图 1 选取第 1 骶孔外缘 1mm 的垂线和上缘 1mm 的水平线的交点为近端 S2AI 螺钉的进钉点,选取第 1 骶孔与第 2 骶孔外缘 1mm 处连线的中下 1/3 交点为远端 S2AI 螺钉的进钉点 图 2 a 尾倾偏角(sagittal angle,SA),即钉道在矢状面上的投影与水平线的夹角 b 外向偏角(transverse angle,TA),即钉道在横断面上的投影与正中线的夹角。钉道最大长度(maximal length,ML),即横断面上钉道的最长距离。钉道在髂骨内的长度(sacral length,SL),即横断面上钉道穿骶髂关节之前在髂骨内的穿行距离。进钉点与皮肤的垂直距离(skin distance,SD),即横断面上进钉点与皮肤的最短垂直距离

Figure 1 The anchoring point of the proximal S2AI screw was 1mm upper and 1mm lateral to the S1 dorsal foramen. And the anchoring point of the distal S2AI screw, was the middle of the line between 1mm lateral to the S1 dorsal foramen and 1mm lateral to the S2 dorsal foramen **Figure 2** a Sagittal angle (SA): caudal trajectory angulation in the sagittal plane b Transverse angle (TA): lateral trajectory angulation in the transverse plane. Maximal length(ML): maximal distance of the trajectory from S2 ala to the anterior inferior iliac spine. Sacral length (SL): intra-sacral trajectory length. Skin distance (SD): the vertical distance of the starting point to the skin

2 结果

在本研究中,所有的研究对象的左右双侧均能从预定的进钉点建立出理想的双枚 S2AI 螺钉钉道。钉道穿行于骶骨与髂骨中,穿过骶髂关节,且 2 枚螺钉的钉道未相交。对左右两侧的螺钉钉道进行统计学分析后发现,左右两侧对应螺钉钉道参数差异并无统计学意义($P>0.05$),故将左右两侧对应螺钉的钉道参数一起进行统计学分析,统计结果见表 1。

男性近端 S2AI 螺钉钉道的 SA 与远端差异有统计学意义($t=14.611, P<0.001$),女性近端的 SA 与远端之间存在统计学差异($t=18.475, P<0.001$)。女性近端螺钉的 SA 与男性相比无统计学差异($t=0.674, P=0.504$);而女性的远端的 SA 与男性相比有统计学差异($t=4.872, P<0.001$)。

男性近端 S2AI 螺钉钉道的 TA 与远端差异有统计学意义($t=5.76, P<0.001$);女性近端的 TA 与远端相比有统计学差异($t=6.094, P<0.001$)。女性近端螺钉的 TA 与男性相比无统计学差异($t=1.123, P=0.269$);女性的远端的 TA 与男性相比无统计学差异($t=0.878, P=0.235$)。

男性近端 S2AI 螺钉钉道的 ML 与远端相比有统计学差异($t=8.694, P<0.001$);女性近端的 ML 与远端相比有统计学差异($t=6.094, P<0.001$)。女性近端螺钉的 ML 与男性相比有统计学差异($t=3.353, P=0.002$);女性的远端螺钉的 ML 与男性相比有统计学差异($t=3.563, P=0.001$)。

男性近端 S2AI 的 SL 与远端存在统计学差异($t=2.749, P=0.008$);女性近端的 SL 与远端有统计学差异($t=3.276, P=0.002$)。女性近端螺钉的 SL

与男性相比无统计学差异($t=1.763, P=0.084$);女性的远端的 SL 与男性相比无统计学差异($t=1.690, P=0.098$)。

男性近端 S2AI 的 SD 与远端相比无统计学差异($t=1.806, P=0.078$);女性近端的 SD 与远端无统计学差异($t=1.235, P=0.223$)。女性近端螺钉的 SD 与男性相比无统计学差异($t=1.033, P=0.307$);女性的远端的 SD 与男性相比无统计学差异($t=1.401, P=0.168$)。

3 讨论

目前, S2AI 螺钉固定技术已经被广泛地应用于先天性脊柱侧凸、神经肌源性脊柱侧凸、退变性脊柱侧后凸、骨盆恶性肿瘤、严重腰椎滑脱以及骨盆骨折等疾病的治疗中,以达到满意的远端固定强度^[1,2,4]。基于 Park 等^[16]对于同侧双枚 S2AI 螺钉固定技术的报道,我们将同侧双枚 S2AI 螺钉固定技术运用于一些单枚 S2AI 螺钉并不能提供足够的远端固定强度的严重侧后凸畸形的治疗中,并取得了良好疗效^[17]。

在临床实践中我们发现,在一些极为严重的脊柱侧后凸畸形中,同侧单枚 S2AI 螺钉有时并不能提供足够的远端固定强度。在这种情况下,同侧双枚 S2AI 螺钉固定技术可作为一种行之有效的补充策略。本中心在既往研究中已经证实双枚 S2AI 螺钉固定技术的临床疗效并提出了其适应证:(1)胸腰椎多节段椎体无法置钉,但需保持置入物密度;(2)行序贯矫形的手术策略时单枚 S2AI 螺钉的置入无法有效地分散腰骶部的应力;(3)行复杂腰骶部畸形翻修手术时^[17]。

表 1 50 例患者双侧双枚 S2AI 螺钉钉道参数

Table 1 Trajectory parameters of dual S2AI screws in 50 patients

	男性(n=50) Male			女性(n=50) Female		
	近端 S2AI 螺钉 Proximal screw	远端 S2AI 螺钉 Distal screw	P 值 P value	近端 S2AI 螺钉 Proximal screw	远端 S2AI 螺钉 Distal screw	P 值 P value
尾倾偏角(°) Sagittal angle	42.31±3.71	24.57±2.17	0.001	43.05±3.05	29.38±2.67 ^②	0.001
外向偏角(°) Transverse angle	37.31±2.39	41.65±2.39	0.001	36.53±1.98	40.96±2.58	0.001
钉道最大长度(mm) Maximal length	105.51±5.92	125.89±6.01	0.001	102.38±7.44 ^①	118.74±6.68 ^②	0.001
钉道在骶骨内长度(mm) Sacral length	29.32±3.87	26.52±3.31	0.008	31.31±4.11	28.01±2.91	0.002
进钉点与皮肤的距离(mm) Skin distance	48.57±11.34	43.53±8.01	0.078	51.87±10.52	47.72±12.63	0.223

注:①与男性近端 S2AI 螺钉相比 $P<0.05$;②与男性远端 S2AI 螺钉相比 $P<0.05$

Note: ①Compared with the proximal S2AI screw in male, $P<0.05$; ②Compared with the distal S2AI screw in male, $P<0.05$

在神经纤维瘤病等疾病的手术中,由于椎体的萎缩性改变,椎弓根常变形、狭窄甚至缺如,解剖结构混乱,易发生置钉困难,常常面临胸腰椎多个节段无法置钉的情况,远端若以单枚 S2AI 螺钉固定则无法提供足够的力学强度支撑,此时,就需要双枚 S2AI 螺钉固定技术来提供更强的远端生物力学刚度和更坚强固定。同时,双枚 S2AI 螺钉的内固定结构还可以在提高置入物密度的同时尽可能分散应力,通过与卫星棒的配合使用可以有效地矫正严重的冠状面失平衡。并且双枚 S2AI 螺钉固定技术也能够很好地运用于复杂翻修手术中,进一步降低手术创伤,减少术后并发症的发生。因此,如何准确地置入双枚 S2AI 螺钉是将这一技术运用于临床实践的重点问题。本研究首次通过影像学评估在一侧同时规划置入两枚 S2AI 螺钉钉道,并测量其钉道参数,对于 S2AI 固定技术的解剖学研究是很好的补充。并为临床中徒手置入双枚 S2AI 螺钉提供影像学参数。

Takaso 等^[18]和 Takei 等^[19]对于神经肌源性脊柱侧凸患者的下端固定椎的选择进行的研究表明:当侧凸 Cobb 角 $>80^\circ$, 骨盆倾斜 (pelvic obliquity, PO) $>15^\circ$ 时,远端固定至 L5 并不能提供足够的内固定强度,需行骨盆固定以获得对侧凸以及冠状面失平衡的良好矫正。在诸多的骨盆固定技术中,Sponseller 等^[3]提出的 S2AI 螺钉固定技术,与传统的 Galveston 棒技术、髂骨螺钉 (iliac screw, IS) 固定技术等骨盆固定技术相比,具有术中暴露少,切迹低,力学稳定等优势。

McCord 等^[20]以及 Burns 等^[21]进行的生物力学研究均表明:S2AI 螺钉穿过骶髂关节,在髌臼上的骨质中形成三皮质的稳定结构,可以建立出极好的腰骶部钉道,并且无需连接模块,可以在椎弓根螺钉的同一力线上提供极佳的力学强度支撑。但也正因为 S2AI 螺钉穿过骶髂关节且行走于髂骨翼内这一特殊的钉道要求,使得准确置入 S2AI 螺钉的难度较大,且 S2AI 螺钉的置入位置周围解剖结构十分复杂,过大以及过小的 SA 或 TA 均可能导致髌关节、臀部血管神经、腹侧盆腔脏器的损伤。因此,准确置入 S2AI 螺钉需要术中导航系统的引导。但导航系统价格昂贵,因此如何徒手准确置入 S2AI 螺钉是一个重要的问题。近年来 S2AI 螺钉钉道的解剖学研究也逐渐受到重视^[7-9,14,15]。传统的 S2AI 螺钉进钉点由 O'Brien 等^[14]提出,位

于第 1 骶孔外缘 1mm 的垂线与下缘 1mm 水平线的交点处。Fang 等^[18]在一项对 S2AI 螺钉徒手置钉技术的研究中选取第 1 骶孔与第 2 骶孔外缘连线中点为进钉点,而 Jabbar 等^[15]在一项解剖学研究中提出选取第 1 骶孔,第 2 骶孔外缘连线中点外侧 10mm、近骶髂关节处为进钉点。这些研究中均能规划出良好的 S2AI 螺钉的钉道,这些不同进钉点的选取提示我们存在同时置入多枚 S2AI 螺钉的可能性。

Zhu 等^[10]以及袁硕等^[22]选取第 1 骶孔外缘 1mm 的垂线和下缘 1mm 的水平线的交点作为进钉点。根据正常中国人的骨盆 CT 进行 S2AI 螺钉钉道的模拟与测量,提出了中国人单枚 S2AI 螺钉钉道的解剖学参数。他们发现,男性钉道参数为 SA: $29.56^\circ \pm 8.38^\circ$, TA: $36.11^\circ \pm 3.38^\circ$; 女性钉道参数为 SA: $35.11^\circ \pm 7.03^\circ$, TA: $36.69^\circ \pm 3.21^\circ$, 其中,女性的 S2AI 螺钉钉道相比于男性更为偏头倾。这些影像学测量的参数为在中国人群中徒手置入单枚 S2AI 螺钉提供了解剖学的基础。

为了避免螺钉钉道的相互重合和碰撞,本研究选取了不同的进钉点,发现对于男性而言,处于近端的 S2AI 螺钉有更大的 SA 角,而 TA 角与 Zhu 等的测量数据相比,差异无统计学意义。而位于远端的 S2AI 螺钉,则有以更小的 SA 角及更大的 TA 角。在女性的测量数据中,处于近端的 S2AI 螺钉有更大的 SA 角,而 TA 角与 Zhu 等的测量数据相比差异无统计学意义;处于远端的 S2AI 螺钉,则有以更小的 SA 角及更大的 TA 角。

本研究还发现,对于正常的成人骨盆,近端的 S2AI 螺钉比远端的 S2AI 螺钉钉道更为尾倾,同时更为内收,这可能是由骨盆的解剖形态所决定的,这一点在既往的文献中还未有提及。另外,本研究中,男性与女性远端 S2AI 螺钉的 SA 具有统计学差异,即女性的远端 S2AI 螺钉钉道与男性的相比更为偏尾倾,与 Zhu 等以及袁硕等的结论相似。但同时我们也注意到,对于近端 S2AI 螺钉钉道的 SA,男性与女性的差异并没有统计学意义。对于不同性别之间 TA 的差异,我们的研究结果也与既往的研究类似,即对于双枚 S2AI 螺钉的钉道,男性与女性的 TA 的差异无统计学意义。

本研究测量了 S2AI 螺钉钉道的最大长度,发现无论是近端的 S2AI 螺钉还是远端的 S2AI 螺钉,男性的 S2AI 螺钉钉道的 ML 均比女性的要

长,差异有统计学意义。而对同性别患者的两枚螺钉的钉道进行分析后发现,远端 S2AI 螺钉 ML 均比近端 S2AI 螺钉的 ML 长,两者的差距有统计学意义。Park 等^[23]在一项对于成人髂骨螺钉钉道的研究中指出:成人的髂骨螺钉钉道长度平均男性为 $140.6\pm 6.8\text{mm}$,女性平均为 $140.6\pm 5.3\text{mm}$ 。明显长于本研究构建出的 S2AI 螺钉的钉道,但考虑到 S2AI 螺钉由于穿越骶髂关节形成三皮质固定,在生物力学稳定性上仍然具有显著的优势^[20,21],而且 S2AI 螺钉不用依托于连接模块的协助,避免了 IS 螺钉应力易集中于连接杆的缺陷,力学上更为稳定。在既往的诸多文献中,手术中置入的 S2AI 螺钉大多为直径 7.5mm、长度 85~95mm^[4,5,16,24],本研究中规划出的双枚 S2AI 螺钉的钉道长度均可以满足置入螺钉的要求。

Chang 等^[24]在一项解剖学研究中提出:S2AI 螺钉的进钉点要比 IS 螺钉的进钉点离皮肤更远,S2AI 螺钉进钉点比 IS 螺钉进钉点平均深 15mm 左右。且既往的文献中已经指出:相比于 IS 螺钉,S2AI 螺钉术中无需暴露髂后上棘等解剖结构,软组织剥离相对较少^[6,12,21]。这些因素的存在从而使得 S2AI 螺钉相较于 IS 螺钉术后感染的发生率较低^[6,12]。Ishida 等^[25]在一项 S2AI 螺钉与 IS 螺钉的对比研究中指出,S2AI 螺钉比 IS 螺钉有着更好的软组织覆盖,进钉点与皮肤的垂直距离(skin distance,SD)大于 23mm 时,不易产生有症状的螺钉突出。在本研究中,我们构建出的 S2AI 螺钉钉道的 SD 平均都在 43mm 以上,根据 Ishida 等的研究,均能够较好地防止发生有症状的螺钉突出。

然而,本研究存在一定的局限性。首先,本研究是一个单中心的回顾性研究,入选样本量较小,可能引起一定的选择偏倚以及相关误差,作为对于正常人群影像学参数的研究,后续应进一步行大样本量研究以验证。其次,本研究中我们只针对正常成人骨盆进行了双枚 S2AI 螺钉的钉道研究,对青少年以及骨盆有畸形者我们并未纳入,这有待后续的研究进一步完善。最后,目前采用双枚 S2AI 螺钉固定技术的病例较少,未能在实际的临床研究中得以验证体现,这些有待后续的研究进一步完善。

4 小结

同侧双枚 S2AI 螺钉固定技术在成人中是安

全且可行的,借助 CT 图像在正常成人骨盆中可以构建出理想的双枚 S2AI 螺钉的钉道并测量其参数。SA、TA 和 ML 的大小决定了 S2AI 螺钉的位置,总体而言,近端 S2AI 螺钉比远端 S2AI 螺钉更为尾倾以及内收;而与男性相比,女性的 S2AI 螺钉钉道更为尾倾且更短。术前的 CT 重建对于安全准确的置入 S2AI 螺钉是非常重要的。

5 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. Dayer R, Ouellet JA, Saran N, et al. Pelvic fixation for neuromuscular scoliosis deformity correction[J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2012, 5(2): 91-101.
3. 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.
4. Montero CS, Meneses DA, Alvarado F, et al. Outcomes and complications of S2 alar iliac fixation technique in patients with neuromuscular scoliosis: experience in a third level pediatric hospital[J]. J Spine Surg, 2017, 3(4): 519-524.
5. Lee MC, Jarvis C, Solomito MJ, et al. Comparison of S2-Alar and traditional iliac screw pelvic fixation for pediatric neuromuscular deformity[J]. Spine J, 2018, 18(4): 648-654.
6. Smith EJ, Kyhos J, Dolitsky R, et al. S2 alar iliac fixation in long segment constructs, a two- to five-year follow-up [J]. Spine Deform, 2018, 6(1): 72-78.
7. Fang T, Glenn S, Schroeder GD, et al. The accurate free-hand placement of S2 alar iliac (S2AI) screw[J]. Clin Spine Surg, 2018, 33(3): 102-103.
8. Hu X, Lieberman IH. Robotic-guided sacro-pelvic fixation using S2 alar-ilic screws: feasibility and accuracy [J]. Eur Spine J, 2017, 26(3): 720-725.
9. Yilmaz E, Abdul-Jabbar A, Tawfik T, et al. S2 alar-ilic screw insertion: technical note with pictorial guide[J]. World Neurosurg, 2018, 113: e296-e301.
10. Zhu F, Bao HD, Yuan S, et al. Posterior second sacral alar iliac screw insertion: anatomic study in a Chinese population [J]. Eur Spine J, 2013, 22(7): 1683-1689.
11. 刘臻,邱勇,胡宗杉,等.经第2骶椎骶髂螺钉固定技术在成人脊柱侧后凸畸形中的应用[J].中华骨科杂志,2016, 36(10): 584-590.
12. 刘臻,李劼,赵志慧,等.重度神经肌源性脊柱侧凸伴骨盆倾斜三种内固定模式的比较研究[J].中华骨科杂志,2018, 38(4): 193-203.
13. 乔军,邱勇,朱泽章,等.合并骨盆倾斜的先天性脊柱侧凸

综述

非融合技术对早发型先天性脊柱侧凸患者
胸廓及肺功能改善的研究进展Advances in research on the improvement of thoracic and pulmonary function
by non-fusion technique in early-onset congenital spinal malformation

吕 欣, 王 冰, 吕国华, 李亚伟, 蒋 彬, 谭人淳, 戴瑜亮, 徐精宏, 姜家炯

(中南大学湘雅二医院脊柱外科 脊柱畸形专病中心 410011 湖南省长沙市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.05.11

中图分类号: R682.1, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-05-0456-08

先天性脊柱侧凸(congenital scoliosis, CS)是妊娠 4~6 周脊柱形成和/或分节障碍、非对称生长所致^[1], 在新生儿中发病率约为 1/2000^[2]。早发型先天性脊柱侧凸是指 10 岁以前出现明显畸形或躯干失代偿的 CS, 因其发病早、进展

快而提倡早期手术治疗, 治疗的首要目标是防止畸形进展、纠正脊柱平衡、保留生长潜能的同时扩大胸腹腔容积, 以保证心肺和腹部器官正常发育。由于过早的长节段融合可能使脊柱纵向生长受限、胸廓发育停滞, 导致上下躯干比例失调、冠状面出现曲轴现象及肺部发育受限等情况, 因此, 非融合技术逐渐应用于早发型 CS 的治疗中, 其能否达到早发型 CS 的治疗目标、实现胸廓容积的扩大及肺功能的改善也越来越受到重视。为此, 笔者就非融合技术治疗早发型 CS 术后对胸廓和肺发育的影响及评价方法的相

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81871748); 中南大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(206021704)

第一作者简介:女(1995-), 博士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科
电话: (0731)85295125 E-mail: xinlv2013@csu.edu.cn

通讯作者:王冰 E-mail: bingwang20021972@aliyun.com

- 行脊柱矫形术后骨盆倾斜的转归[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(4): 236-241.
14. 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.
15. Jabbar AA, Yilmaz E, Iwanaga J, et al. Neurovascular relationships of S2AI screw placement: anatomic study[J]. World Neurosurg, 2018, 116: e108-e112.
16. Park P, Lin J, Makhni M, et al. Dual S2 alar-ilial screw technique with a multirod construct across the lumbosacral junction: obtaining adequate stability at the lumbosacral junction in spinal deformity surgery[J]. Neurospine, 2020, 17(2): 466-470.
17. 汤子洋, 胡宗杉, 刘臻, 等. 双枚经第 2 骶椎骶髂螺钉固定技术在严重脊柱侧后凸畸形中的应用 [J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(24): 1659-1669.
18. Takaso M, Nakazawa T, Imura T, et al. Can the caudal extent of fusion in the surgical treatment of scoliosis in duchenne muscular dystrophy be stopped at lumbar 5[J]. Eur Spine J, 2010, 19(5): 787-796.
19. Takei S, Miyagi M, Saito W, et al. Safety and efficacy of treatment for scoliosis secondary to spinal muscular atrophy fused to lumbar 5 level[J]. Spine Surg Relat Res, 2018, 2(4): 294-298.
20. McCord DH, Cunningham BW, Shono Y, et al. Biomechanical analysis of lumbosacral fixation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1992, 17(8 Suppl): S235-243.
21. Burns CB, Dua K, Trasolini NA, et al. Biomechanical comparison of spinopelvic fixation constructs: iliac screw versus S2-Alar-Iliac screw[J]. Spine Deformity, 2016, 4(1): 10-15.
22. 袁硕, 邱勇, 朱锋, 等. 成人后路经第 2 骶椎骶髂螺钉固定钉道的 CT 测量[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(12): 987-991.
23. Park YS, Hyun SJ, Park JH, et al. Radiographic and clinical results of freehand S2 alar-ilial screw placement for spinopelvic fixation: an analysis of 45 consecutive screws[J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(7): E877-E882.
24. Chang TL, Sponseller PD, Kebaish KM, et al. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar-ilial fixation versus traditional iliac fixation[J]. Spine, 2009, 34(5): 436-440.
25. Ishida W, Elder BD, Holmes C, et al. S2-Alar-Iliac screws are associated with lower rate of symptomatic screw prominence than iliac screws: radiographic analysis of minimal distance from screw head to skin [J]. World Neurosurgery, 2016, 93: 253-260.

(收稿日期: 2021-02-06 修回日期: 2021-03-15)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)