

儿童 S₂ 髂骨螺钉置钉可行性分析及钉道规划

江春宇¹, 娄桢祺¹, 汤文瑞², 黄志海¹, 卢厚微¹, 蒋毅¹

(1. 嘉兴学院附属医院骨科, 浙江 嘉兴 314000; 2. 嘉兴学院附属医院放射科, 浙江 嘉兴 314000)

【摘要】 目的: 利用计算机三维重建及模拟置钉技术评估 S₂ 髂骨螺钉在国人儿童应用可行性, 且优化测量其钉道参数。方法: 选取 2018 年 12 月至 2020 年 12 月行骨盆 CT 扫描且年龄 5~16 岁的儿童骨盆影像学资料 83 例, 排除骨折、畸形、肿瘤等情况, 其中男 44 例, 女 39 例, 年龄 (10.66±3.52) 岁, 依据年龄分为 4 组 (A 组 5~7 岁; B 组 8~10 岁; C 组 11~13 岁; D 组 14~16 岁)。将获得的原始 CT 数据导入 Mimics 软件中, 三维重建骨盆骨性结构, 并在三维视图模拟分别以螺钉最大头倾角、最小头倾角置入直径 6.5 mm S₂ 髂骨螺钉。随后在 3-Matic 软件中分别测量最大头倾角和最小头倾角下螺钉冠状位夹角、矢状位尾倾角、横断位外展角、置钉总长度、骶骨内螺钉长度、髂骨宽度、进钉点距皮肤距离。比较分析不同年龄段儿童 S₂ 髂骨螺钉置钉参数间的差异及性别与左右侧别间差异。结果: 83 例儿童均可置入直径 6.5 mm S₂ 髂骨螺钉。各置钉参数左右侧别间比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。5~7 岁儿童螺钉冠状位角度小于其他年龄段 ($P<0.05$); 但在螺钉矢状位角度上, 在螺钉最大头倾角下 5~7 岁儿童可获得较大角度, 但在最小头倾角下较大角度获得年龄组为 11~13 岁。螺钉横断位角度各年龄组差异无统计学意义 ($P>0.05$)。5~7 岁男童在最大头角下的冠状位角度和最小头倾角下的矢状位角度均大于女童 ($P<0.05$); 8~10 岁女童最小头倾角下的冠状位角度大于男童 ($P<0.05$); 其余置钉角度参数男女性别间差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。各年龄组间, 髂骨最小宽度、最长钉道距离及骶骨内螺钉长度差异随年龄增长, 均呈增长趋势 ($P<0.05$)。5~7 岁及 8~10 岁女童皮肤距离均大于男性 ($P<0.05$)。男童在 14~16 岁髂骨最小宽度宽于同阶段女童 ($P<0.05$)。而 5~7 岁及 11~13 岁女童, 最长钉道距离长于同阶段男童 ($P<0.05$)。结论: 5~16 岁儿童骨盆可安全容纳直径 6.5 mm S₂ 髂骨螺钉置入, 但是由于儿童骨盆骨性结构处于发育生长期, 需精准评估, 规划合理钉道、选择合适螺钉长度。

【关键词】 儿童; 三维重建; S₂ 髂骨螺钉; 解剖学

中图分类号: R687.3

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.11.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Feasibility analysis and nail planning of S₂ iliac crest screw placement in children

JIANG Chun-yu¹, LOU Zhen-qi¹, TANG Wen-ru², HUANG Zhi-hai¹, LU Hou-wei¹, JIANG Yi¹ (1. Department of Orthopaedics, Affiliated Hospital of Jiaxing University, Jiaxing 314000, Zhejiang, China; 2. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Jiaxing University, Jiaxing 314000, Zhejiang, China)

ABSTRACT Objective To evaluate the feasibility of S₂ alar iliac screw insertion in Chinese children using computerized three-dimension reconstruction and simulated screw placement technique, and to optimize the measurement of screw parameters. **Methods** A total of 83 pelvic CT data of children who underwent pelvic CT scan December 2018 to December 2020 were retrospectively analyzed, excluding fractures, deformities, and tumors. There were 44 boys and 39 girls, with an average age of (10.66±3.52) years, and were divided into 4 groups based on age (group A: 5 to 7 years old; group B: 8 to 10 years old; group C: 11–13 years old; group D: 14 to 16 years old). The original CT data obtained were imported into Mimics software, and the bony structure of the pelvis was reconstructed, and the maximum and minimum cranial angles of the screws were simulated in the three-dimensional view with the placement of 6.5 mm diameter S₂ alar iliac screws. Subsequently, the coronal angle, sagittal angle, transverse angle, total length of the screw, length of the screw in the sacrum, width of the iliac, and distance of the entry point from the skin were measured in 3-Matic software at the maximum and minimum head tilt angles, respectively. The differences among the screw parameters of S₂ alar iliac screws in children of different ages and the differences between gender and side were compared and analyzed. **Results** In all 83 children, 6.5 mm diameter S₂ iliac screws could be placed. There was no significant difference between the side of each screw placement parameter. The 5 to 7 years old children had a significantly

基金项目: 嘉兴市重点扶持学科(编号: 2019-fc-01); 嘉兴市科技计划(编号: 2021AD30165); 嘉兴市第一医院启明星人才项目(编号: 2020-QMX-10)

Fund program: Jiaxing Key Supported Disciplines (No. 2019-fc-01)

通讯作者: 娄桢祺 E-mail: louzhenqi9265@outlook.com

Corresponding author: LOU Zhen-qi E-mail: louzhenqi9265@outlook.com

smaller screw coronal angle than other age groups, but in the screw sagittal angle, the difference was more mixed. The 5 to 7 years old children could obtain a larger angle at the maximum head tilt angle of the screw, but at the minimum cranial angle, the larger angle was obtained in the age group of 11 to 13 years old. There were no significant differences among the age groups. The coronal angle and sagittal angle under maximum cephalic angle and minimum cranial angle of 5 to 7 years old male were $(40.91 \pm 2.91)^\circ$ and $(51.85 \pm 3.75)^\circ$ respectively, which were significantly greater than in female. The coronal angle under minimum cranial angle was significantly greater in girls aged 8–10 years old than in boys. For the remaining screw placement angle parameters, there were no significant differences between gender. The differences in the minimum iliac width, the screw length, and the length of the sacral screws showed an increasing trend with age in all age groups. The distance from the screw entry point to the skin in boys were significantly smaller than that of girls. The minimum width of the iliac in boys at 14 to 16 years of age were significantly wider than that in girls at the same stage. In contrast, in girls aged 5 to 7 years and 11 to 13 years, the screw length was significantly longer than that of boys at the same stage. **Conclusion** The pelvis of children aged 5 to 16 years can safely accommodate the placement of 6.5 mm diameter S₂ alar iliac screws, but the bony structures of the pelvis are developing and growing in children, precise assessment is needed to plan a reasonable screw trajectory and select the appropriate screw length.

KEYWORDS Children; Three-dimensional reconstruction; S₂ alar iliac screw; Anatomy

当患者存在脊柱侧后凸畸形、骶骨肿瘤、严重腰椎滑脱等疾病,或行三柱截骨、长节段内固定时,需要在腰骶区行坚强固定^[1-2]。S₁螺钉是临床上应用较为广泛的脊柱-骨盆内固定方式,但其由于钉道较短,且骶骨骨质多为松质骨,其钉道强度较低,假关节发生率及内固定失败率较高^[3]。髂骨螺钉虽然增加了螺钉的拔出力,且减少了假关节率的发生,但是该技术术中软组织损伤较大,螺钉切迹较高,同时需要配置单独连接器^[4-5]。S₂髂骨螺钉在2007年由 Sponseller 和 Kebaish 提出^[6],该技术减少了术中软组织的剥离,且能维持较好的螺钉强度及螺钉顺应性^[7]。同时,相对于髂骨螺钉,S₂髂骨螺钉在减少术区感染、减少伤口开裂、减少再手术发生率等并发症上具有优势^[8-9]。目前,S₂髂骨螺钉已逐渐在成人患者中开展应用,且获得良好的临床效果^[10]。但是在儿童患者中,由于儿童骨骼发育尚不完全,骨盆骨性结构较小,S₂髂骨螺钉各项置钉参数较成人有较大不同,目前临床应用较少,且缺乏详细的儿童 S₂髂骨螺钉置钉形态解剖学参数研究。因此,本研究利用计算机三维重建模拟置钉及优化测量技术,回顾性分析国人儿童骨盆 CT 数据,目的在于测量儿童 S₂髂骨螺钉相关形态解剖学参数,分析国人儿童 S₂髂骨螺钉置钉参数,规划安全钉道。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:年龄 5~16 岁;骨盆骨性结构正常,无创伤、畸形、肿瘤和感染等疾患。排除标准:CT 扫描影像模糊,扫描层厚 > 2 mm;既往骨盆手术史,骨盆骨性结构异常,存在肿瘤、骨折、畸形等情况。

1.2 临床资料

利用计算机三维重建与模拟置钉技术回顾性分析 2018 年 12 月至 2020 年 12 月因外伤、骨盆区疼

痛等原因在嘉兴学院附属医院行骨盆螺旋 CT 扫描的患儿影像学原始数据。根据上述纳入及排除标准,共纳入儿童骨盆 CT 数据 83 例,其中男 44 例,女 39 例,年龄 (10.66 ± 3.52) 岁。将纳入数据依据年龄分成 5 组:A 组,5~7 岁(19 例,男 11 例,女 8 例);B 组 8~10 岁(22 例,男 12 例,女 10 例);C 组 11~13 岁(19 例,男 9 例,女 10 例);D 组 14~16 岁(23 例,男 12 例,女 11 例)。本研究得到嘉兴学院附属医院伦理委员会批准(伦理编号:LS2021-KY-397)。

1.3 研究方法

1.3.1 骨盆骨性结构三维构建及 S₂AI 螺钉模拟置入 将 CT 扫描数据以 DICOM 格式导入 Mimics 19.0 软件中(Materialise 公司,比利时),利用 Bone-segmentation 工具对骨盆骨性结构进行骨性阈值分割,生成髂骨及骶骨三维蒙版,并进行必要的切割和光滑处理,获得骨盆三维重建模型。随后在三维视图中利用 CAD Objects 工具建立直径 6.5 mm 虚拟螺钉,以 S₁ 后孔外、下方各 1 mm 作为进钉点,分别以最大及最小头倾角置入虚拟螺钉。在三维视图中确保螺钉在对应角度下获得最长钉道,且未对周围髂骨骨皮质造成损害。

1.3.2 S₂ AI 螺钉置钉参数测量 将模拟置钉后的三维重建模型导入 3-Matic Research 11.0 软件中(Materialise 公司,比利时),在 Analyze、Sketch 等工具辅助下,建立正中矢状位、冠状位及横断位平面,并测量以下置钉参数:(1)螺钉冠状位角度(coronal angle)。冠状位上螺钉中轴线与横断位平面所成夹角,定义在最大头倾角下获得的角为 Cor1,最小头倾角下获得的角为 Cor2。(2)螺钉矢状位角度(sagittal angle)。矢状位上螺钉中轴线与冠状位平面所成夹角,定义在最大头倾角下获得的角为 Sag1,最小头倾角下获得的角为 Sag2。(3)螺钉横断位角

度(transverse angle)。横断位上螺钉中轴线与矢状位平面所成夹角,定义在最大头倾角下获得的角为 Tsv1,最小头倾角下获得的角为 Tsv2。(4)髂骨最小宽度(ilic width)。髂骨在横断位上最狭窄距离,定义在最大头倾角下获得的宽度距离为 IW1,最小头倾角下获得的宽度距离为 IW2。(5)最长钉道距离(screw length)。模拟螺钉在不破坏髂骨周围骨皮质情况下能获得的最长距离,定义在最大头倾角下获得的钉道长度为 SL1,最小头倾角下获得的钉道长度为 SL2。(6)钉道骶骨内长度(sacral distance)。虚拟螺钉在骶骨骨质内的钉道长度,定义在最大头倾角下获得的骶骨内长度为 SD1,最小头倾角下获得的

骶骨内长度为 SD2。(7)皮肤距离(Skin Distance)。进钉点和皮肤间的垂直距离。见图 1、图 2。为评价数据测量结果一致性,上述参数测量由 2 名研究者完成(本文第 1 作者与第 2 作者),结果取平均值。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件对所测量数据进行统计学分析,定量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,测量数据一致性检验采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)值进行评价,左右侧数据对比采用配对 *t* 检验,男女性别间对比采用独立样本 *t* 检验,各年龄组参数分析采用单因素 ANOVA 方差分析,两两比较采用 *q* 检验,检验水准 α 值取双侧

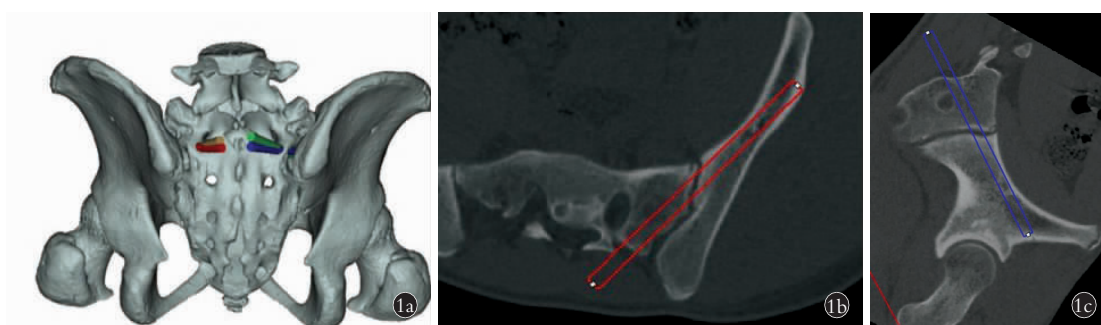


图 1 14 岁男童骨盆三维重建及置钉参数测量示意图 1a. 骨盆骨性结构三维重建及双侧 S₂ 髂骨螺钉置入后示意图 1b. S₂ 髂骨螺钉进钉点至皮肤距离、螺钉骶骨内长度、髂骨内螺钉钉道最小髂骨宽度测量示意 1c. S₂ 髂骨螺钉钉道总长度测量示意

Fig.1 The three-dimensional reconstruction of the pelvis and measurement of screw placement parameters in a 14-year-old boy 1a. The three-dimensional reconstruction of the bony pelvic structures and bilateral sacral 2 iliac screws simulated placement 1b. Measurement of the distance from the screw entry point of the sacral 2 iliac screws to the skin, the intersacral length of the screws, and the minimum iliac width 1c. Measurement of the sacral 2 iliac screws length

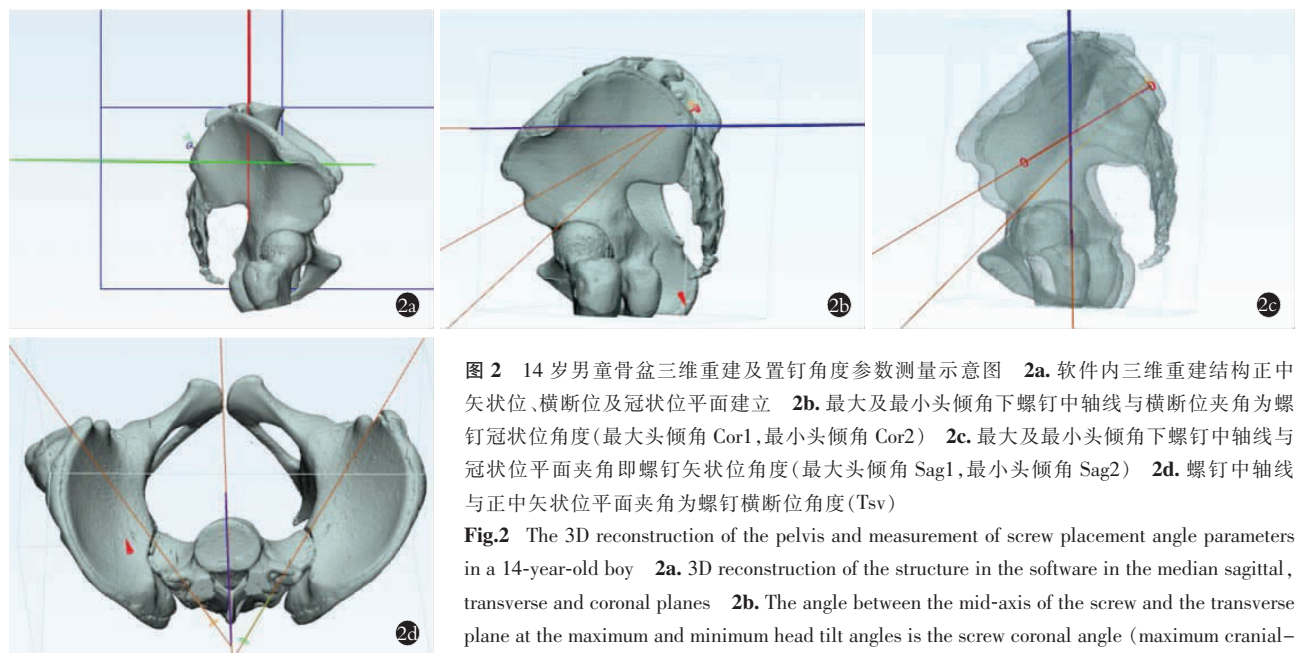


图 2 14 岁男童骨盆三维重建及置钉角度参数测量示意图 2a. 软件内三维重建结构正中矢状位、横断位及冠状位平面建立 2b. 最大及最小头倾角下螺钉中轴线与横断位夹角为螺钉冠状位角度(最大头倾角 Cor1,最小头倾角 Cor2) 2c. 最大及最小头倾角下螺钉中轴线与冠状位平面夹角即螺钉矢状位角度(最大头倾角 Sag1,最小头倾角 Sag2) 2d. 螺钉中轴线与正中矢状位平面夹角为螺钉横断位角度(Tsv)

Fig.2 The 3D reconstruction of the pelvis and measurement of screw placement angle parameters in a 14-year-old boy 2a. 3D reconstruction of the structure in the software in the median sagittal, transverse and coronal planes 2b. The angle between the mid-axis of the screw and the transverse plane at the maximum and minimum head tilt angles is the screw coronal angle (maximum cranial-Cor1, minimum cranial-Cor2) 2c. The angle between the mid-axis of the screw and the coronal plane at the maximum and minimum head tilt angles plane angle that is the screw sagittal angle (maximum cranial-Sag1, minimum cranial-Sag2) 2d. The angle screw axis and the median sagittal plane the screw transverse angle (Tsv)

0.05。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

83 例儿童骨盆三维重建结构左右双侧均可容纳直径 6.5 mm S₂ 髂骨螺钉置入。2 位观察者测量数据组间及组内 ICC 值均 > 0.75 , 测试者间信度较好。

2.1 儿童 S₂ 髂骨螺钉安全角度范围测量结果

冠状位角度在高年龄段组(11~13 岁, 14~16 岁)较 5~7 岁组显著增大($P < 0.05$), 且在 8~10 岁和 14~16 岁阶段增长趋于平稳; 最大头倾角下的矢状位角度在 5~7 岁及 11~13 岁分别为 $(35.77 \pm 3.03)^\circ$ 和

$(35.15 \pm 3.22)^\circ$, 大于 8~10 岁和 14~16 岁儿童 ($P < 0.05$)。8~10 岁儿童最小头倾角下矢状位角度最小, 为 $(50.35 \pm 4.23)^\circ$, 而在 11~13 岁年龄组最大, 为 $(54.82 \pm 4.18)^\circ$, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。横断位角度各年龄组间数据差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。上述置钉角度参数, 5~7 岁男童在最大头角下的冠状位角度和最小头倾角下的矢状位角度大于女童 ($P < 0.05$)。但 8~10 岁男童最小头倾角下的冠状位角度小于同龄女童 ($P < 0.05$)。其余角度参数在男女性别间差异均无统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。左

表 1 各年龄组儿童 S₂ 髂骨螺钉相关参数测量结果 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Measurement results of related parameters of sacral 2 alar iliac screw in children of different age groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	Cor1/ $^\circ$	Cor2/ $^\circ$	Sag1/ $^\circ$	Sag2/ $^\circ$	Tsv1/ $^\circ$	Tsv2/ $^\circ$	IW1/ mm	IW2/ mm	SL1/ mm	SL2/ mm	SD1/ mm	SD2/ mm	Skin D/ mm
A 组	19	39.71 \pm 3.67 ^{&*&#x27;}	17.82 \pm 3.86 ^{&*&#x27;}	35.77 \pm 3.03 ^{&#x27;}	51.67 \pm 3.51 [*]	40.77 \pm 3.82	40.39 \pm 4.17	8.09 \pm 0.64 ^{&*&#x27;}	8.09 \pm 0.66 ^{&*&#x27;}	58.91 \pm 3.76 ^{&*&#x27;}	56.99 \pm 4.37 ^{&*&#x27;}	12.76 \pm 1.68 ^{&*&#x27;}	12.56 \pm 1.85 ^{&*&#x27;}	37.13 \pm 4.30 ^{&#x27;}
B 组	22	45.15 \pm 3.33 ^y	22.52 \pm 3.32	32.43 \pm 3.22 [*]	50.35 \pm 4.23 ^{&#x27;}	40.83 \pm 4.08	39.84 \pm 3.38	10.23 \pm 1.56 ^{&#x27;}	10.23 \pm 1.52 ^{&#x27;}	70.75 \pm 3.04 ^{&#x27;}	68.47 \pm 2.61 ^{&#x27;}	15.77 \pm 1.35 ^{&#x27;}	15.93 \pm 1.36 ^{&#x27;}	38.43 \pm 3.27 ^{&#x27;}
C 组	19	46.24 \pm 3.82	22.42 \pm 3.10	35.15 \pm 3.22	54.82 \pm 4.18 ^y	40.83 \pm 3.93	39.64 \pm 3.80	12.44 \pm 2.48 ^y	12.47 \pm 2.48 ^y	89.66 \pm 4.61 ^y	88.43 \pm 4.24 ^y	20.76 \pm 2.57 ^y	21.01 \pm 2.44 ^y	41.21 \pm 3.60
D 组	23	48.57 \pm 4.66	21.22 \pm 3.19	33.68 \pm 3.40	52.51 \pm 3.88	41.68 \pm 3.46	40.16 \pm 3.24	13.86 \pm 2.47	13.78 \pm 2.40	101.87 \pm 3.70	100.62 \pm 3.76	24.29 \pm 2.59	26.95 \pm 3.14	41.96 \pm 3.28
F 值		36.926	16.575	8.244	9.086	0.571	0.327	68.717	69.616	1069.762	1130.854	252.572	406.963	16.512
P 值		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.635	0.806	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

注: A 组, 5~7 岁; B 组 8~10 岁; C 组 11~13 岁; D 组 14~16 岁。与 B 组比较, ^{'} $P < 0.05$; 与 C 组比较, ^{*} $P < 0.05$; 与 D 组比较, ^y $P < 0.05$ 。最大头倾角 Cor1, 最小头倾角 Cor2, 最大头倾角 Sag1, 最小头倾角 Sag2, 螺钉横断位角度 Tsv, 最大头倾角下髂骨最小宽度 IW1, 最小头倾角下髂骨最小宽度 IW2, 最大头倾角下钉道最长距离 SL1, 最小头倾角下钉道最长距离 SL2, 最大头倾角下钉道骶骨内长度 SD1, 最小头倾角下钉道骶骨内长度 SD2, 进钉点和皮肤间距离 Skin D。下同

表 2 各年龄组儿童男女性别间螺钉角度参数测量结果 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Measurement results of screw angle parameters in different age groups between genders ($\bar{x} \pm s$)

置钉 参数	A 组 (n=19 例)				B 组 (n=22 例)				C 组 (n=19 例)				D 组 (n=23 例)			
	男 11 例	女 8 例	t 值	P 值	男 12 例	女 10 例	t 值	P 值	男 9 例	女 10 例	t 值	P 值	男 12 例	女 11 例	t 值	P 值
Cor1	40.91 \pm 2.91	38.06 \pm 4.05	2.528	<0.05	44.90 \pm 3.10	45.46 \pm 3.65	-0.552	0.584	46.20 \pm 4.60	46.28 \pm 3.09	-0.070	0.945	49.79 \pm 4.78	47.24 \pm 4.23	1.908	0.063
Cor2	18.01 \pm 3.94	17.56 \pm 3.86	0.343	0.733	20.81 \pm 2.67	24.56 \pm 2.88	-4.478	<0.05	22.05 \pm 2.95	22.77 \pm 3.27	-0.709	0.483	21.78 \pm 3.09	20.61 \pm 3.24	1.257	0.215
Sag	36.10 \pm 3.12	38.02 \pm 5.25	-1.413	0.166	33.26 \pm 4.14	36.24 \pm 5.95	-2.018	0.059	35.20 \pm 3.45	35.10 \pm 3.08	0.089	0.929	33.15 \pm 3.97	34.27 \pm 2.63	-1.126	0.266
Sag2	51.85 \pm 3.75	46.27 \pm 6.98	3.178	<0.05	51.02 \pm 4.70	49.54 \pm 3.52	1.163	0.251	54.67 \pm 4.87	54.98 \pm 3.58	-0.225	0.823	52.59 \pm 4.18	52.41 \pm 3.62	0.157	0.876
Tsv1	40.89 \pm 3.57	40.60 \pm 4.25	0.235	0.815	40.56 \pm 4.45	41.15 \pm 3.68	-0.473	0.639	40.96 \pm 4.27	40.71 \pm 3.70	0.195	0.846	41.44 \pm 3.38	41.93 \pm 3.62	-0.476	0.636
Tsv2	40.42 \pm 3.73	40.35 \pm 4.85	0.053	0.958	39.87 \pm 3.87	39.80 \pm 2.79	0.062	0.951	39.35 \pm 3.44	39.91 \pm 4.16	-0.443	0.660	40.33 \pm 3.04	39.98 \pm 3.51	0.367	0.715

单位: $^\circ$

右侧对比数据差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 3。

2.2 儿童 S₂ 髌骨螺钉长度及距离范围测量结果

各年龄组间,髌骨最小宽度、最长钉道距离及髌骨内螺钉长度差异随年龄增长,均呈增长趋势,差异有统计学意义($P<0.05$)。但皮肤距离增长在 5~7 岁与 8~10 岁年龄段较为平稳,组间差异无统计学意义($P>0.05$),但是 11~13 岁增长较快,较 5~7 岁及 8~10 岁年龄段数据差异有统计学意义($P<0.05$),但随后在 14~16 岁年龄段增长缓慢。见表 1。男女性别间,14~16 岁男童髌骨最小宽度大于女童 ($P<0.05$),

5~7 岁及 11~13 岁女童最长钉道距离均大于男童 ($P<0.05$);但在 14~16 岁儿童中,男童最小头倾角下获得的钉道长度大于女童($P<0.05$)。5~7 岁男童髌骨内钉道长度小于女童($P<0.05$),但在 8~10 岁阶段,男童髌骨内钉道长度大于女童($P<0.05$),但在其他组性别间差异无统计学意义($P>0.05$)。5~7 岁及 8~10 岁女童皮肤距离大于男童,但在 11~13 岁、14~16 岁儿童数据中,性别差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 4。髌骨最小宽度、最长钉道距离、髌骨内螺钉长度和皮肤距离左右双侧参数测量结果差异无统计

表 3 各年龄组儿童左右侧间螺钉角度参数测量结果($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Measurement results of screw angle parameters in different age groups between the left and right sides($\bar{x}\pm s$)

单位:°

置钉参数	A 组(n=19 例)				B 组(n=22 例)				C 组(n=19 例)				D 组(n=23 例)			
	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值
Cor1	39.63±3.99	39.79±3.44	-0.528	0.604	45.45±3.60	44.85±3.10	0.995	0.331	46.19±3.98	46.30±3.76	-0.300	0.767	48.53±4.74	48.60±4.68	-0.297	0.769
Cor2	17.70±3.86	17.94±3.96	-0.762	0.456	22.55±3.39	22.48±3.33	0.308	0.761	22.45±3.21	22.39±3.08	0.154	0.879	21.26±3.23	21.18±3.19	0.394	0.698
Sag1	35.74±2.90	35.79±3.24	-0.132	0.897	32.17±3.88	32.69±3.47	-1.509	0.146	35.25±3.11	35.05±3.40	0.433	0.670	33.71±3.65	33.66±3.22	0.149	0.883
Sag2	51.40±3.48	51.94±3.61	-1.540	0.141	50.12±4.19	50.57±4.35	-0.795	0.435	54.98±4.40	54.68±4.07	0.636	0.532	52.52±4.15	52.49±3.68	0.073	0.943
Tsv1	41.13±4.63	40.40±2.88	1.081	0.294	41.11±4.24	40.55±4.00	0.722	0.479	41.05±3.71	40.61±4.22	0.459	0.651	41.50±3.81	41.85±3.16	-0.380	0.708
Tsv2	41.11±4.30	39.67±4.03	1.760	0.096	40.14±3.34	39.54±3.48	1.002	0.328	39.67±4.01	39.62±3.68	0.045	0.965	40.28±3.77	40.05±2.70	0.279	0.783

表 4 各年龄组儿童男女性别间螺钉长度和距离参数测量结果($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 Measurement results of screw length and distance parameters in different age groups between genders($\bar{x}\pm s$)

单位:mm

置钉参数	A 组(n=19 例)				B 组(n=22 例)				C 组(n=19 例)				D 组(n=23 例)			
	男 11 例	女 8 例	t 值	P 值	男 12 例	女 10 例	t 值	P 值	男 9 例	女 10 例	t 值	P 值	男 12 例	女 11 例	t 值	P 值
IW1	8.18±0.64	7.97±0.65	1.019	0.315	10.34±1.56	10.09±1.59	0.525	0.602	12.30±2.52	12.56±2.50	-0.325	0.747	15.37±2.03	12.22±1.78	5.582	<0.05
IW2	8.20±0.68	7.96±0.64	1.099	0.279	10.41±1.59	10.03±1.03	0.813	0.421	12.35±2.49	12.59±2.53	-0.294	0.711	15.27±1.96	12.17±1.68	5.731	<0.05
SL1	57.02±2.65	61.60±3.55	-4.456	<0.05	70.22±2.67	71.38±3.39	-1.277	0.209	87.21±4.43	91.87±3.61	-3.566	<0.05	102.44±3.81	101.24±3.57	1.107	0.274
SL2	54.51±2.84	60.41±3.78	-5.488	<0.05	68.00±2.26	69.03±2.94	-1.319	0.194	86.29±4.36	90.35±3.13	-3.325	<0.05	102.56±3.58	98.51±2.69	4.303	<0.05
SD1	12.30±1.64	13.40±1.55	-2.085	<0.05	16.51±1.00	14.77±1.01	6.124	<0.05	20.90±2.45	20.63±2.72	0.321	0.750	24.62±2.40	23.94±2.63	0.910	0.368
SD2	12.06±1.74	13.24±1.82	-2.027	<0.05	16.74±0.92	14.97±1.18	5.568	<0.05	21.72±2.08	20.36±2.61	1.769	0.085	27.27±1.82	26.60±2.76	0.988	0.328
Skin D	34.61±3.18	40.60±3.03	-5.851	<0.05	36.69±2.87	40.51±2.42	-4.715	<0.05	40.48±4.25	41.86±2.85	-1.185	0.244	42.60±3.62	41.27±2.77	1.392	0.171

学意义($P>0.05$)。见表 5。

3 讨论

骶髂关节周围解剖结构复杂,髂血管、腰骶干及马尾等结构的损伤会造成严重的手术并发症,使得该区域置钉难度大,风险较高,因此,精准的钉道设计对于 S₂ 髂骨螺钉的安全置入尤为重要^[11-12]。O'BRIEN 等^[13]以 S₁ 后孔外、下方各 1 mm 作为进钉点,把控 40°左右外倾及 33°左右头倾置钉可获得 84 mm 长度钉道距离。SHILLINGFORD 等^[14]通过 100 枚 S₂ 髂骨螺钉徒手置入,测量得(39.3±8.3)°外倾和(24.4±10.0)°头倾可获得理想钉道。但是,上述研究钉道参数主要适用于成年人,而儿童,由于处于骨骼发育阶段,骨盆骨性结构较成人差异较大。目前,针对儿童 S₂ 髂骨螺钉形态解剖学研究甚少。SHEN 等^[15]通过 120 例儿童骨盆 CT 二维平面测量认为,儿童 S₂ 髂骨螺钉置入时应保持(44.03±4.43)°~(53.15±4.68)°冠状位角度和(49.40±5.90)°~(54.44±2.99)°横断位角度。而 TAVARES-JUNIOR 等^[16]通过 25 例骨盆三维重建结构置钉测量得儿童 S₂ 髂骨螺钉置入外展角应控制在 31.96°,头倾角应为 30.50°,可获得 104.13 mm 的螺钉置入长度。本研究通过螺钉中轴线与横断位、冠状位及矢状位成角来判断螺钉进钉角度方向。笔者认为,儿童 S₂ 髂骨螺钉置入时,螺钉冠状位角度可控制在 20°~45°,矢状位角度可控制在 35°~50°,而横断位外展角度可维持在 40°左右。但是由于儿童处于生长发育高峰,各年龄段儿童 S₂ AI 置钉角度参数存在有一定的差异,

需要精准把控个体化的置钉角度。并且,本研究未局限于单一螺钉钉道,合理的螺钉置入钉道冠状位及矢状位上可位于一定的角度调控范围内,但是,螺钉横断位角度由于髂骨宽度原因,角度安全范围有限。

髂骨翼最小宽度是限制 S₂ 髂骨螺钉置入的重要因素,ZHU 等^[17]测量得出成年国人最小髂骨宽度女性[左侧(14.76±2.46) mm、右侧(14.94±2.60) mm]显著小于男性[左侧(16.98±3.52) mm、右侧(17.00±2.81) mm]。本研究中,儿童髂骨最小宽度随年龄增长呈递增趋势,且在 5~13 年龄段,男女髂骨宽度性别间无差异,但是在 14~16 岁年龄段,男性髂骨最小宽度显著宽于女性,男性在该年龄段,骨盆发育速度显著高于女性。TAVARES-JUNIOR 等^[18]认为,S₂ 髂骨螺钉进钉点距离皮肤距离有(52.87±18.34) mm,显著大于髂骨螺钉(32.46±15.02) mm。同样,TAVARES-JUNIOR 等^[16]对儿童 S₂ 髂骨螺钉及髂骨螺钉进钉点距皮肤距离进行测量,儿童 S₂ 髂骨螺钉进钉点距皮肤距离为 39.96 mm。本研究中,测得 S₂ 髂骨螺钉进钉点距皮肤距离参数与 TAVARES-JUNIOR 等^[18]数据相仿,在 5~10 岁儿童,进钉点距皮肤距离显著小于 11~16 岁儿童,与此同时,5~10 岁儿童中,男性儿童的皮肤距离小于女性,但在 11~16 岁儿童中则无明显数据差异。钉道骶骨内长度可有助于术中判断螺钉深度及位置,ZHU 等^[17]测量认为成人 S₂ 髂骨螺钉骶骨内钉道长度范围在 26~27 mm。本研究中,骶骨内钉道长度随年龄增长递增,5~7 岁、8~10 岁、11~13 岁、14~16 岁骶骨内钉道长度分

表 5 各年龄组儿童左右侧别间螺钉长度和距离参数测量结果($\bar{x}\pm s$)

Tab.5 Measurement results of screw length and distance parameters in different age groups between sides ($\bar{x}\pm s$)

单位:mm

置钉参数	A 组(n=19 例)				B 组(n=22 例)				C 组(n=19 例)				D 组(n=23 例)			
	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值	左侧	右侧	t 值	P 值
IW1	8.09±0.64	8.09±0.67	-0.089	0.930	10.25±1.57	10.21±1.59	1.111	0.279	12.43±2.58	12.44±2.45	-0.226	0.824	13.84±2.52	13.88±2.48	-1.330	0.197
IW2	8.07±0.66	8.12±0.69	-0.841	0.412	10.26±1.55	10.21±1.54	1.230	0.232	12.49±2.53	12.46±2.50	0.755	0.460	13.78±2.42	13.79±2.42	-0.318	0.753
SL1	58.81±3.93	59.00±3.68	-0.973	0.343	70.71±3.09	70.79±3.06	-0.545	0.592	89.77±4.97	89.56±4.36	0.705	0.489	101.88±3.71	101.85±3.79	0.083	0.935
SL2	56.92±4.45	57.07±4.41	-0.634	0.534	68.48±2.67	68.46±2.62	0.079	0.938	88.25±4.08	88.61±4.49	-1.185	0.251	100.49±3.29	100.76±4.24	-0.809	0.427
SD1	12.78±1.67	12.75±1.74	0.394	0.698	15.83±1.37	15.72±1.35	1.396	0.177	20.71±2.47	20.82±2.72	-0.612	0.548	24.18±2.67	24.40±2.38	-0.913	0.371
SD2	12.61±1.77	12.50±1.97	0.455	0.654	15.95±1.35	15.91±1.41	0.474	0.640	20.90±2.43	21.12±2.51	-1.073	0.297	26.76±2.29	27.15±2.37	-1.320	0.200
Skin D	36.91±4.33	37.35±4.36	-2.012	0.059	38.48±3.43	38.38±3.19	0.684	0.520	41.14±3.77	41.28±3.53	-1.006	0.328	41.94±3.38	41.98±3.24	-0.216	0.831

别为 (12.76 ±1.68)、(15.77 ±1.35)、(20.76 ±2.57)、(24.29±2.59) mm,测量结果与 SHEN 等^[15]测量结果符合。JEONG 等^[19]测量成人 S₂ 髂骨螺钉钉道长度范围为 59.8~115 mm, 平均 99.8 mm。而 TAVARES-JUNIOR 等^[16]对儿童骨盆的钉道长度设计测量的螺钉长度为 (104.13±4.22) mm, 但是其研究儿童年龄选择偏大, 且样本量较小, 适用性较低。SHEN 等^[15]测量得 3~18 岁儿童 S₂ 髂骨螺钉钉道长度范围应为 50~100 mm。在本项研究与上述研究结果相似, S₂ 髂骨螺钉置入长度随年龄增长递增, 螺钉置入长度范围为 (56.99 ±4.37) mm ~ (100.62 ±3.76) mm, 且 5~13 岁女童钉道长度均较男童偏长, 但在 14~16 岁短于男童, 其与骨盆骨性结构发育程度相关。笔者认为, 对于儿童患者 S₂ 髂骨螺钉置入时, 不同年龄阶段, 由于骨盆骨性结构发育差异, 需要详细的个性化钉道规划, 选择更为合适的螺钉长度。

综上所述, 5~16 岁儿童骨盆骨性结构可安全容纳直径 6.5 mm S₂ 髂骨螺钉置入, 但是, 由于儿童骨盆处于发育阶段, 不同年龄段儿童置钉参数存在差异, 术前精准、个性化置钉规划尤为重要。但是, 本研究的样本量较小, 且纳入 CT 数据仅为正常骨性结构儿童骨盆, 脊柱一骨盆畸形儿童 S₂ 髂骨螺钉钉道参数有待进一步研究。

参考文献

[1] SPONSELLER P D, ZIMMERMAN R M, KO P S, 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.

[2] 蒋维利, 牛国旗, 周功, 等. 3D 打印技术辅助成人脊柱侧后凸畸形的术前规划及应用价值[J]. 中国骨伤, 2020, 33(2): 99-105. JIANG W L, NIU G Q, ZHOU G, et al. 3D printing technology assisted the preoperative planning and application value in adult kyphoscoliosis deformity[J]. China J Orthop Traumatol, 2020, 33(2): 99-105. Chinese.

[3] WEISENTHAL B M, DOSS D J, HENRY A L, et al. Optimal trajectory and length of S2 alar iliac screws: a 3-dimensional computed-aided design study[J]. Clin Spine Surg, 2019, 32(7): E335-E339.

[4] BURNS C B, DUA, TRASOLINI N A, et al. Biomechanical comparison of spinopelvic fixation constructs: iliac screw versus S₂-alar-iliac screw[J]. Spine Deform, 2016, 4(1): 10-15.

[5] EMAMI A, DEVIREN V, BERVEN S, et al. Outcome and complications of long fusions to the sacrum in adult spine deformity: luque-galveston, combined iliac and sacral screws, and sacral fixation[J]. Spine, 2002, 27(7): 776-786.

[6] NANDA A, MANGHWANI J, KLUGER P J. Sacropelvic fixation techniques-Current update[J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11

(5): 853-862.

[7] HOERNSCHEMEYER D G, PASHUCK T D, PFEIFFER F M. Analysis of the S₂ alar-iliac screw as compared with the traditional iliac screw: does it increase stability with sacroiliac fixation of the spine[J]. Spine J, 2017, 17(6): 875-879.

[8] ELDER B D, ISHIDA W, LO S L, et al. Use of S₂-alar-iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation[J]. Spine, 2017, 42(3): E142-E149.

[9] WU A, CHEN D, CHEN C H, et al. The technique of S₂-alar-iliac screw fixation: a literature review[J]. AME Med J, 2017, 2: 179.

[10] ISHIDA W, ELDER B D, 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 Neurosurg, 2016, 93: 253-260.

[11] 蔡鸿敏, 刘又文, 李红军, 等. S₂ 骶髂螺钉的置入技术[J]. 中国骨伤, 2015, 28(10): 910-914. CAI H M, LIU Y W, LI H J, et al. S₂ iliosacral screw insertion technique[J]. China J Orthop Traumatol, 2015, 28(10): 910-914. Chinese.

[12] 蔡鸿敏, 成传德, 吴学建, 等. 标准骶骨侧位像上骶神经根管前缘线对置入骶髂螺钉的作用[J]. 中国骨伤, 2014, 27(4): 326-330. CAI H M, CHENG C D, WU X J, et al. Effect of the anterior aspect of sacral nerve root tunnel on iliosacral screw placement on the standard lateral image of sacrum[J]. China J Orthop Traumatol, 2014, 27(4): 326-330. Chinese.

[13] O'BRIEN J R, YU W D, BHATNAGAR R, et al. An anatomic study of the S₂ iliac technique for lumbopelvic screw placement[J]. Spine, 2009, 34(12): E439-E442.

[14] SHILLINGFORD J N, LARATTA J L, 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.

[15] SHEN Z H, WANG K, CHEN D, et al. Morphometric characteristics of sacral-2 alar iliac screw fixation in pediatric population[J]. Spine, 2019, 44(10): E571-E578.

[16] TAVARES-JUNIOR M C M, SANCHEZ F B, ITURRALDE J D U, et al. Comparative tomographic study of the iliac screw and the S₂-alar-iliac screw in children[J]. Clinics, 2020, 75: e1824.

[17] ZHU F, BAO H D, 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.

[18] TAVARES-JUNIOR M C M, DE SOUZA J P V, ARAUJO T P F, et al. Comparative tomographic study of the S₂-alar-iliac screw versus the iliac screw[J]. Eur Spine J, 2019, 28(4): 855-862.

[19] JEONG S T, PARK Y S, JUNG G H. Computational simulation of sacral-alar-iliac (S₂AI) screw fixation of pelvis and implications for fluoroscopic procedure: a cadaver study[J]. J Orthop Surg, 2019, 27(1): 2309499019836246.

(收稿日期: 2022-02-20 本文编辑: 王玉蔓)