

临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.001706

经皮骶髂关节螺钉固定变异骶骨的影像学初步研究

谭 山,高仕长,张安维

(重庆医科大学附属第一医院骨科,重庆 400016)

【摘要】目的:探讨变异第一骶椎(the first sacral vertebra,S1)骶髂螺钉的安全置钉范围和适应证。**方法:**连续收集我院 267 例成人骨盆 CT 数据,利用 Mimics16.0 软件三维重建骨盆及其周围皮肤,筛选变异 S1 椎,置入虚拟横行贯穿双侧骶髂关节螺钉,若不能安全置入者,则置入常规单侧骶髂螺钉,测量其安全置钉范围,确定体表进钉点 P1,髂前上棘及髂嵴体表定位点 N1、M1,并测量各点间距离。**结果:**267 例标本中 30.3%的 S1 椎为“主要变异”(不能横置 S1 贯穿骶髂螺钉)。中心螺钉体表进钉点与定位点间距离 P1N1:(162.52 ± 21.23) mm(男),(163.52 ± 20.39) mm(女)($P=0.761$);P1M1:(129.29 ± 17.38) mm(男),(111.56 ± 17.84) mm(女)($P=0.000$);M1N1:(146.92 ± 11.08) mm(男),(146.72 ± 15.05) mm(女)($P=0.924$)。螺钉前倾角:(21.80 ± 3.56)°(男),(19.97 ± 3.02)°(女)($P=0.000$);头倾角:(29.97 ± 5.38)°(男),(28.15 ± 6.21)°(女)($P=0.047$)。螺钉在骶骨 Denis III 区内长度:(14.41 ± 4.40) mm(男),(14.09 ± 5.04) mm(女)($P=0.665$),在 II、III 区内长度和:(36.25 ± 3.40) mm(男),(38.04 ± 4.60) mm(女)($P=0.005$)。**结论:**无论男女,当 S1 椎为主要变异时,S1 骶髂螺钉进钉点较正常骶骨进钉点偏后、偏尾侧,螺钉方向前倾 20°,头倾 30°左右,适合固定骶骨 Denis I 区骨折及骶髂关节脱位。

【关键词】变异骶骨;骶髂螺钉;影像解剖学**【中图分类号】**R683.6**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2016-12-20

Percutaneous sacroiliac screw fixation of dysplastic sacra: a primary image study

Tan Shan, Gao Shichang, Zhang Anwei

(Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the safety zone and indications of placing the upper sacral sacroiliac screw into the dysplastic sacra based on CT data. **Methods:** Totally 267 three-dimensional models of pelvis were reconstructed by Mimics (Materialize's interactive medical image control system) 16.0 software based on CT data and then the dysplastic sacra were detected. The virtual transverse screw which pass through the bilateral sacroiliac joint was planned to place into the dysplastic sacra, if not safe to be placed, the conventional unilateral sacroiliac screw was placed, and then the safety zone was measured. The skin around pelvic surface was reconstructed, and then the surface projections of the upper sacral central screw's entry point P, anterior superior iliac spine's vertex N, iliac crest point M were determined as P1, N1 and M1, respectively. The lengths of P1N1, P1M1 and M1N1 were measured in section. **Results:** Among 267 specimens, 30.3 percent of sacra belonged to main dysplasia (upper sacral transverse sacroiliac screw could not be placed) and 9.0 percent of sacra belonged to minor dysplasia (upper sacral transverse sacroiliac screw could be placed). For the main dysplastic sacra, the length of P1N1 was (162.52 ± 21.23) mm in male and (163.52 ± 20.39) mm in female ($P=0.761$). The length of P1M1 was (129.29 ± 17.38) mm in male and (111.56 ± 17.84) mm in female ($P=0.000$). The length of M1N1 was (146.92 ± 11.08) mm in male and (146.72 ± 15.05) mm in female ($P=0.924$). The angle of the central screw oriented from posterior to anterior was (21.80 ± 3.56)° in male and (19.97 ± 3.02)° in female ($P=0.000$). The angle oriented from caudal to cranial was (29.97 ± 5.38)° in male and (28.15 ± 6.21)° in female ($P=0.047$). The length of the central screw in the Denis III zone was (14.41 ± 4.40) mm in male and (14.09 ± 5.04) mm in female ($P=0.665$); the length in the Denis II and III zones was (36.25 ± 3.40) mm in male and (38.04 ± 4.60) mm in female ($P=0.005$). **Conclusion:** When the upper sacra have the feature of 'the sacrum is not recessed within the pelvis' and/or 'the alar slope is acute', the entry point of the upper sacral sacroiliac screw is more backward and caudal than the normal pelvic, and the angle oriented from posterior to anterior is about 20°, from caudal to cranial is about 30°. For the

作者介绍:谭 山, Email: 461744184@qq.com,

研究方向:骨科临床解剖学。

通信作者:高仕长, Email: 778925053@qq.com。

基金资助:重庆市科委资助项目(编号:cstc2012ggyyjs0205)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20180611.0951.002.html>

(2018-06-11)

dysplastic sacra, the upper sacral sacroiliac screw is recommended to fix Denis I zone sacral fracture and the sacroiliac dislocation. And there is no significant difference between man and women.

【Key words】dysplastic sacra; sacroiliac screw; anatomy imaging

骨盆后环是负重的主要结构, 占整个骨盆负重的 60%, 因此后环解剖复位和固定是手术治疗的主要目标。经皮骶髂关节螺钉固定技术已成为稳定骶髂关节脱位和骶骨骨折的主要方法^[1]。该手术方式需要医生拥有丰富的经验、娴熟的技术以及对骶骨解剖影像学及形态学的清晰认识, 尤其是对骶骨变异的准确认知^[2]。骶骨变异使骶髂关节螺钉的错置率显著增加, 从而导致骨盆后环的稳定性降低和(或)造成医源性神经、血管损伤。虽然目前已有一些关于变异骶骨的解剖学研究^[1-6], 但对其安全置钉区域的研究甚少。

正确的进钉点以及进钉角度是保证骶髂螺钉安全置入的前提^[7]。为提高螺钉置入的安全性, 我们利用 Mimics 软件重建骨盆三维模型, 通过逆向工程技术, 首先确定变异第一骶椎(the first sacral vertebra, S1)骶髂螺钉的骨面进钉点, 然后建立骨面进钉点与髂前上棘、髂嵴定位点的关系, 最后将该 3 点投影到体表皮肤上, 从而建立起体表进钉点与体表定位点的关系。反过来, 术者可通过触摸髂前上棘和髂嵴, 确定 2 个体表定位点, 进一步确定骶髂螺钉体表进钉点。

1 材料和方法

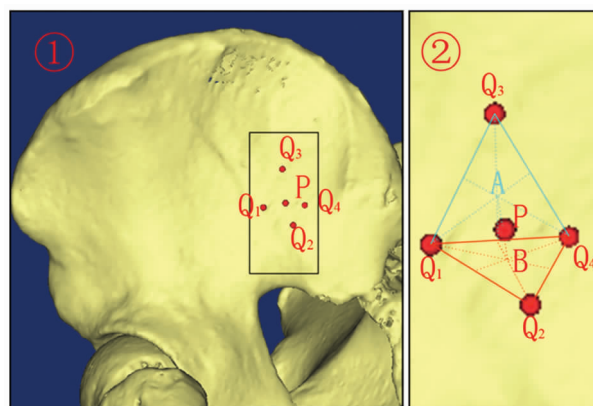
1.1 标本收集

连续收集我院 2013 年 1 月至 2015 年 1 月的 267 例成人骨盆 64 排螺旋 CT(SIMENS 公司)数据(DICOM 格式文件), 用 Mimics 16.0 软件重建骨盆三维模型后, 将其置于标准骨盆出口位, 按 Roult^[8]提出的方法选出变异骶骨, 记录变异类型, 并排除骨盆肿瘤、感染、骨折等其他病变。

1.2 S1 中心螺钉安全置钉范围测量

在 Mimics 16.0 软件中模拟 4 枚直径 7.3 mm 虚拟螺钉置入骶髂关节前上、前下、后上、后下部。螺钉从 S1 椎体上方皮质穿入, 其中前上螺钉不穿出 S1 椎体前方皮质, 与骶骨翼前上缘相切后在髂骨外侧面相交于点 Q₁; 前下螺钉不穿出 S1 椎体前方皮质, 与第一骶孔前上缘皮质相切后在髂骨外侧面相交于点 Q₂; 后上螺钉不穿出 S1 椎体后方皮质, 与骶骨翼后

上缘相切后在髂骨外侧面相交于点 Q₃; 后下螺钉不穿出 S1 椎体后方皮质, 与第一骶孔后上缘相切后在髂骨外侧面相交于点 Q₄。因不规则四边形的重心点能较好代表其中心位置, 所以确定四边形 Q₁Q₂Q₃Q₄ 的重心为中心螺钉的进钉点 P (图 1)。



可见不规则四边形 Q₁Q₂Q₃Q₄ 被分为三角形 Q₁Q₃Q₄ 和 Q₁Q₂Q₄, A、B 两点分别为两三角形各顶点到对边中点连线的交点, 即三角形重心, AB 连线中点 P 即为四边形 Q₁Q₂Q₃Q₄ 的重心点

A. S1 中心螺钉及 4 枚虚拟螺钉

在髂骨外侧面的穿出点

B. 图 A 中黑色方框

部分的放大图

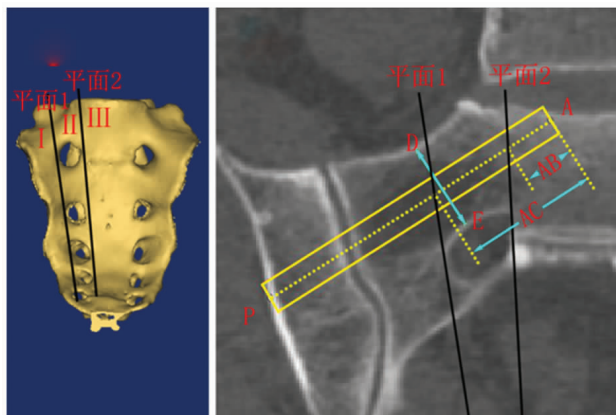
图 1 进钉点 P 的确定

将点 P 作为骨面进钉点, 在水平面和冠状面上分别前后和上下移动中心螺钉钉尖, 计算螺钉前后倾和头尾倾的安全范围, 其中前倾不穿出骶骨翼前方皮质, 后倾不穿出骶骨翼后方皮质, 头倾不穿出骶骨翼上缘皮质, 尾倾不超过第一骶孔上缘。读取螺钉两端中心点三维坐标 XYZ 值, 应用反三角函数计算螺钉前后及头尾倾角, 即前后倾角 = $\arctan(Y/\sqrt{X^2+Z^2})$; 头尾倾角 = $\arctan(Z/\sqrt{X^2+Y^2})$ 。假定前倾角和头倾角为正值, 后倾角和尾倾角为负值, 将它们的均值作为中心螺钉最佳进钉方向。按最佳进钉方向置钉, 测量 Denis III 区^[9]内螺钉长度(AB), Denis III 区和 II 区内螺钉长度之和(AC)以及冠状面上椎弓根最狭窄处与螺钉长轴垂直的距离即安全范围的最小直径(DE)(图 2)。

1.3 中心螺钉骨面及体表进钉点定位距离的测量

测量骨面进钉点 P 到髂前上棘顶点 N 的距离, 经点 P 作 PN 的垂线与髂嵴相交于点 M, 测量 PM 的长度并沿髂嵴分段测量 MN 的长度(图 3A)。重建人体骨盆表面软组织, 将

骨盆沿人体矢状面向前移动,与体表相切得到髂前上棘顶点 N 的体表投影点 N1;将骨盆沿人体冠状面向外移动,与体表相切得到点 M 的体表投影点 M1;延长中心螺钉,与皮肤交于点 P1,沿体表皮测量各投影点间的距离(图 3B)。



黑色直线将骶骨分为 Denis I、II、III 区

A. 骶骨正面观 B. CT 冠状面中垂直于冠状面的平面 1、2

图 2 安全范围最小直径以及骶骨 Denis II、III 区内螺钉长度的测量

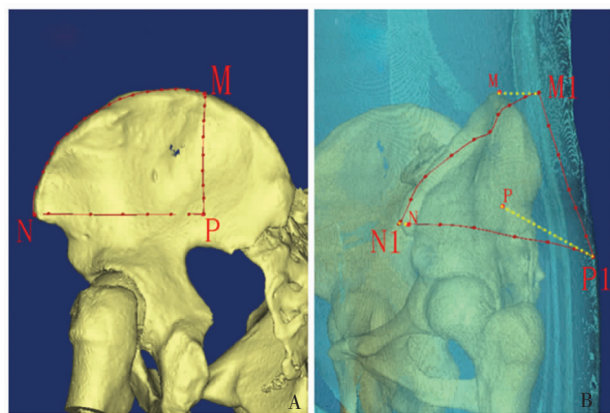


图 3 S1 中心螺钉骨面及体表进钉点定位距离的测量

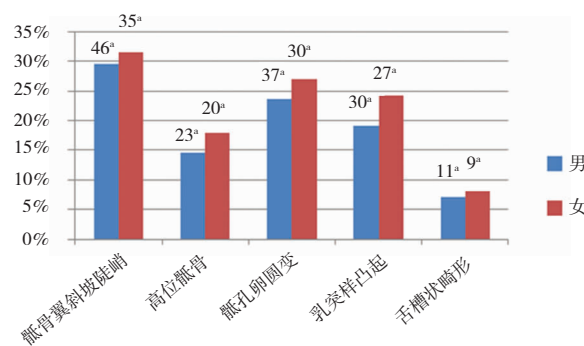
1.4 数据处理

使用 SPSS 19.0 统计软件行数据分析,骶骨变异率的差异做卡方检验,同一椎体同一参数不同性别或不同组别间数据差异行独立样本 t 检验。多组间差异比较行单因素方差分析,组内两两比较行独立样本 t 检验, P 值经 Bonferroni 法校正。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 变异率统计

从 267 例标本(男性 156 例,女性 111 例)中发现 105 例变异骶骨,总变异率为 39.3%。男性为 34.6%(54/156),女性为 45.9%(51/111),两者间差异无统计学意义($\chi^2=3.489, P=0.062$)。不同类型的变异率详见图 4,其中“骶骨翼斜坡陡峭”为最常见变异类型,男女性分别为 29.5%和 31.5%,两者间差异无统计学意义($\chi^2=0.128, P=0.720$),其余各变异类型男女间差异均无统计学意义。与 Roult 等^[8]提出的在骨盆出口位 X 片上观察“残余椎间盘”相比,在 CT 矢状位上,“残余椎间盘”可见于每例标本,所以不再将其视为一种变异类型。



注:a 为各变异类型实际例数

图 4 骶骨变异率统计

置入横行贯穿双侧骶髂关节 S1 螺钉发现,当存在“高位骶骨”和(或)“骶骨翼斜坡陡峭”时,螺钉穿出骨皮质,我们将此类变异定义为“主要变异”,其余变异定义为“次要变异”。其中主要变异又可分为两类:一类是仅有“斜坡陡峭”伴随其他变异,定义为“主要变异 A 组”,另一类为“斜坡陡峭”合并“高位骶骨”并伴随其他变异,定义为“主要变异 B 组”。

主要变异组共 81 例,占有标本的 30.3%,其中 A 组占 14.2%,B 组占 16.1%,A、B 两组变异类型组合情况详见表 1。

次要变异组共 24 例,占有标本的 9.0%,其中“骶髂关节舌槽状畸形”11 例;“骶骨乳突样凸起”7 例;“骶孔卵圆变”6 例。

表 1 主要变异组伴随次要变异情况

	无伴随变异	伴随 1 种变异			伴随 2 种变异			伴随 3 种变异	总数
		①	②	③	①+②	①+③	②+③	①+②+③	
A 组	1	10	8	0	14	2	2	1	38
B 组	2	13	8	0	14	2	0	4	43

注:①为“骶孔卵圆变”;②为“骶骨乳突样凸起”;③为“骶髂关节舌槽状畸形”

2.2 中心螺钉倾角值

主要变异组中心螺钉约有 20°前倾角和 30°头倾角(表2)。主要变异和次要变异组中心螺钉安全倾角范围详见表3。在主要变异组中,前后,头尾方向最佳角度 A、B 组间差异均无统计学意义。

表2 比较主要变异组男女间 S1 中心螺钉最佳进钉角度

	男 (n=46)	女 (n=35)	t 值	P 值
最佳前倾角	21.80 ± 3.56	19.97 ± 3.31	3.901	0.000
最佳头倾角	29.97 ± 5.38	28.15 ± 6.21	1.998	0.047

表3 主要变异和次要变异骶骨 S1 中心螺钉安全倾角范围

		主要变异	次要变异
前后倾安全范围	男	16.36 ~ 27.24	-3.03 ~ 4.49
	女	16.06 ~ 23.89	-2.18 ~ 4.93
头尾倾安全范围	男	23.37 ~ 36.57	-5.92 ~ 7.11
	女	22.65 ~ 33.64	-5.82 ~ 7.76

2.3 适应证及安全范围最小直径

主要变异组中,螺钉在骶骨 Denis III 区内长度男性为 (14.41 ± 4.40) mm, 女性为 (14.09 ± 5.04) mm, 差异无统计学意义 ($t=0.438, P=0.662$), 其中约 70% 小于 16 mm, 100% 不足 32 mm。螺钉在 II、III 区内长度和男性为 (36.25 ± 3.40) mm, 女性为 (38.04 ± 4.60) mm, 差异有统计学意义 ($t=-2.838, P=0.005$), 其中约 90% 超过 32 mm, 100% 超过 16 mm(图5)。

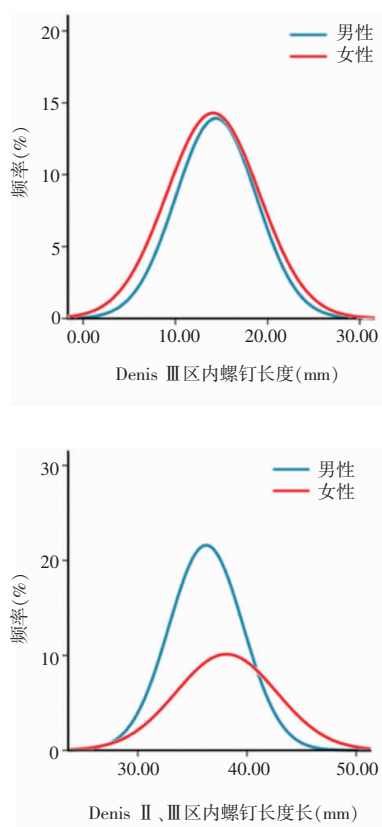


图5 主要变异组螺钉在 Denis II、III 区内长度分布频率

安全范围最小直径组间差异有统计学意义 ($F=9.022, P=0.000$), 详见表4。主要变异组安全范围最小直径男、女间差异有统计学意义 ($t=3.750, P=0.000$), 次要变异组无统计学意义 ($t=1.511, P=0.138$)。主要变异 A、B 两组同性别间差异比较发现, 无论螺钉在 Denis II、III 区内长度还是安全范围最小直径均无统计学意义。

表4 比较主要变异和次要变异置钉安全范围最小直径(mm)

		主要变异组 (n _男 =46, n _女 =35)	次要变异组 (n _男 =8, n _女 =16)	t 值	P 值
安全范围	男	16.31 ± 2.40	17.51 ± 2.25	-1.863	0.065
最小直径	女	15.07 ± 1.58 ^a	16.58 ± 1.91	-4.171	0.000

注: 经 Bonferroni 多重比较校正, $P<0.0125$ 时认为差异有统计学意义; a, 同组不同性别间比较, 差异有统计学意义 ($P<0.0125$)

2.4 中心螺钉进钉点定位距离

PN ($F=13.217, P=0.000$)、PM ($F=103.367, P=0.000$)、MN ($F=100.444, P=0.000$)、P1N1 ($F=80.948, P=0.000$)、P1M1 ($F=214.077, P=0.000$) 以及 M1N1 ($F=14.748, P=0.000$) 的组间差异均有统计学意义, 详见表5。同性别间比较, 主要变异组中心螺钉进钉点的骨面及体表定位距离均比次要变异组长 ($P=0.000$), 其中 P1N1 和 P1M1 的差异最为显著。主要变异 A、B 组同性别间差异均无统计学意义。

表5 比较主要变异和次要变异组 S1 中心螺钉进钉点的骨面及体表定位距离(mm)

		主要变异组 (n _男 =46, n _女 =35)	次要变异组 (n _男 =8, n _女 =16)	t 值	P 值
PN	男	105.58 ± 6.00	98.72 ± 6.67	4.160	0.000
	女	105.58 ± 7.00	98.59 ± 7.98	4.476	0.000
PM	男	74.64 ± 7.00	60.67 ± 4.42	7.706	0.000
	女	62.15 ± 6.34 ^a	54.88 ± 4.52 ^a	5.826	0.000
MN	男	155.91 ± 7.61	133.55 ± 8.82	10.572	0.000
	女	145.60 ± 7.51 ^a	129.16 ± 10.87	8.865	0.000
P1N1	男	162.52 ± 21.23	112.45 ± 11.03	9.192	0.000
	女	163.52 ± 20.39	111.58 ± 18.34	12.305	0.000
P1M1	男	129.29 ± 17.38	59.93 ± 6.51	15.720	0.000
	女	111.56 ± 17.84 ^a	57.76 ± 6.49	16.531	0.000
M1N1	男	146.92 ± 11.08	132.35 ± 9.93	4.920	0.000
	女	146.72 ± 15.05	132.09 ± 16.80	4.392	0.000

注: 经 Bonferroni 多重比较校正, $P<0.0125$ 时认为差异有统计学意义; a, 同组不同性别间比较, 差异有统计学意义 ($P<0.0125$)

3 讨论

3.1 骶骨变异

20 世纪 90 年代早期, 经皮螺钉技术开始用于骶髂关节固定, 因其具有手术时间短、出血少、软组

织损伤轻、感染风险低以及能够早期承重^[10]等优点,临床上常作为后环固定的首选方法。研究发现螺钉错置率为 3%~25%^[11-12],神经损伤率可达 18%^[13-15],其中骶骨变异被认为是骶髂关节置钉的高危因素^[6,8,16]。

1996年,Routt 等^[8]首次通过观察骨盆出口位片、侧位片以及骶髂关节 CT 平扫片,提出了“高位骶骨”“乳突样凸起”“骶孔卵圆变”“骶骨翼斜坡陡峭”“残余椎间盘组织”以及“骶髂关节舌槽状畸形”6 种变异类型,其中“高位骶骨”表现为 S1 椎体上表面平两侧髂嵴后份(图 6AB 横行虚线),骶骨未陷入到骨盆内;“乳突状凸起”位于骶骨翼上(图 6A 绿色箭头);“残余椎间盘”(图 6A 方框)在 CT 矢状位片上更容易看到(图 6C);“骶骨翼斜坡陡峭”表现为骶骨翼呈内高外低斜行走行(图 6B 箭头);“骶孔卵圆变”为圆形骶孔卵圆变(图 6B 椭圆虚线);“骶髂关节舌槽状畸形”(图 6D)表现为骶髂关节面前半部分两侧平行走形(红色箭头),后半部分骶骨向内凹陷,髂骨向内突出,形成相互咬合的状态(绿色箭头)。

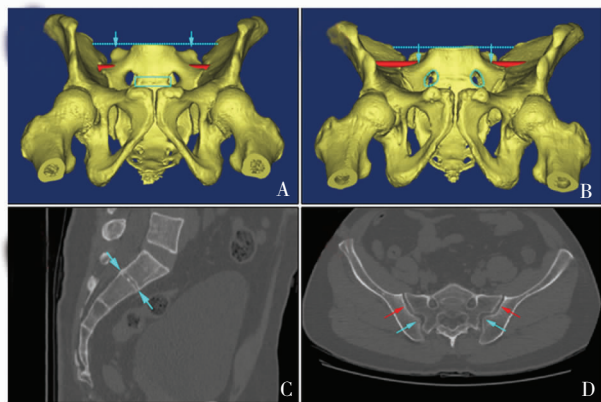


图 6 骶骨变异特点

Routt 等^[8]认为骶骨变异率为 35%(28/80)(男:30%,女:41%),本次研究中发现 39.3%(男:34.6%,女:45.9%)的变异骶骨与 Routt 的结果相似。Hasenboehler 等^[5]按其定义的变异类型(斜坡陡峭、残余横突、第一骶孔畸形、腰椎骶化或骶椎腰化),从 344 例标本中发现了 14.5%(男:12.2%;女:19.2%)的变异骶骨。Wu 等^[16]从 203 例中国人群骨盆标本中筛选出了 58.1%(男:57.4%;女:59.5%)的变异骶骨(腰椎骶化、隐性脊柱裂、副耳状面、骶骨偏态)。可见各作者报道的骶骨变异率差异很大,这可能与其定义的变异类型不同有关,其中 Routt 的分类方法更有

利于指导临床安全置入 S1 骶髂螺钉。

主要变异组中 A、B 两组间差异均无统计学意义,表明“高位骶骨”和“骶骨翼斜坡陡峭”因其关注点不同被分为两类,但椎弓根均呈内高外低走行。“骶骨翼斜坡陡峭”可单独存在,但“高位骶骨”一定合并有“骶骨翼斜坡陡峭”,这可能是因为发育过程中,S1 椎的不断升高势必会提升两侧的骶骨翼,形成“骶骨翼斜坡陡峭”。另外,主要变异常伴有次要变异,如“骶孔卵圆变”和“乳突状凸起”,其中“骶孔卵圆变”可能是因为骶骨翼的不断升高将圆形骶孔牵拉为卵圆形。

3.2 主要变异骶骨 S1 置钉适应证

Denis^[9]将骶骨分为三区:骨折仅限于骶骨翼的为 I 区骨折,累及骶孔的为 II 区骨折,累及中央骶管的为 III 区骨折。主要变异组中,螺钉在 Denis III 区内长度约 70%小于 16 mm,100%不足 32 mm,而在 II、III 区内长度和均超过 16 mm,约 90%超过 32 mm。由于目前器械公司提供的 7.3 mm 拉力螺钉头部螺纹长度一般为 16 mm 或 32 mm 2 种规格,只有全部螺纹超过骨折线时才能稳定固定骶骨骨折。因此,拉力螺钉不适合固定主要变异骶骨的 Denis III 区骨折,可固定部分骨折线偏外侧的 Denis II 区骨折,而主要变异的 Denis I 区骨折、骶髂关节骨折脱位仍是 S1 骶髂关节拉力螺钉固定的适应证。

3.3 变异骶骨安全置钉

本课题组用同样的方法探讨了正常骶骨 S1 横形骶髂螺钉的安全进钉点及进钉角度^[17],其结果与次要变异组的结果十分接近,表明次要变异骶骨骶髂螺钉的进钉点及进钉角度与正常骶骨一致,故本研究认为主要变异才是影响 S1 骶髂螺钉安置的解剖因素。

在置入骶髂关节螺钉前,首先应在骨盆出口位和入口位判断 S1 椎弓根方向,若明显朝上和朝前,则可判断骶骨有主要变异,早期如果经验不足,可作骨盆 CT 加重建来判断该骶骨是否有主要变异。在 CT 冠状位图像上可见主要变异骶骨 S1 椎弓根较正常骶骨明显朝上(图 7A 红色箭头方向),在横断面上椎弓根明显朝前(图 7B 红色箭头方向)。置钉需头倾 30°、前倾 20°左右,进钉点较正常骶骨更靠后、靠尾侧。术前可通过触摸髂前上棘确定其对应的体表定位点,然后沿髂嵴走向,根据 M1N1 的长度,确定另一体表定位点 M1 的位置,进而以此两点为圆

心,以 PIN1、P1M1 的长度为半径画弧,两弧交点即为体表进钉点。术中通过骨盆侧位透视,可快速确定骨面进钉点。为避免螺钉穿出骨皮质,骨盆入口位(S1 椎体前表面重叠)上,螺钉应刚好位于 S1 前孔上方骶骨翼前缘皮质后方,出口位(耻骨联合上缘平 S2 椎体)上,螺钉应刚好位于 S1 前孔外上缘皮质外上方^[4]。需要特别注意的是,在标准骨盆侧位透视中,正常骶骨 S1 螺钉位于髂骨皮质致密线(ilial cortical density,ICD)后下方,而变异骶骨 S1 螺钉会穿越 ICD 线,钉尖位于 ICD 线前上方^[4]。

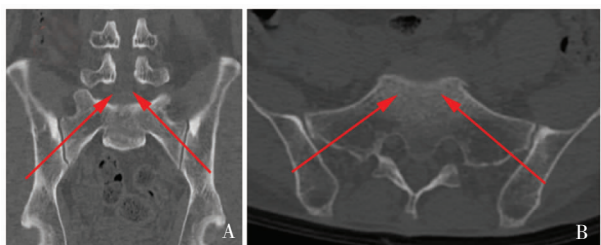


图 7 利用 CT 图像识别主要变异骶骨

随着计算机辅助技术的发展,三维导航下经皮骶髂螺钉置入技术正在逐渐兴起,相比于传统方式其主要优点在于螺钉置入精度高,放射暴露时间少,但由于设备采购费高、病人治疗费用高,难以在所有医院普及;另外,导航系统学习曲线长、术前注册时间长,在透视监视下经皮置入骶髂螺钉目前仍占主导地位^[18]。

参 考 文 献

- [1] Conflitti JM, Graves ML, Chip Routt ML Jr. Radiographic quantification and analysis of dysmorphic upper sacral osseous anatomy and associated iliosacral screw insertions[J]. J Orthop Trauma, 2010, 24(10): 630-636.
- [2] Karachalios T, Zibis AH, Zintzaras E, et al. An anatomical update on the morphologic variations of S1 and S2[J]. Orthopedics, 2010, 33(10): 733.
- [3] Kaiser SP, Gardner MJ, Liu J, et al. Anatomic determinants of sacral dysmorphism and implications for safe iliosacral screw placement[J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(14): e120.
- [4] Miller AN, Routt ML. Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2012, 20(1): 8-16.
- [5] Hasenboehler EA, Stahel PF, Williams A, et al. Prevalence of sacral dysmorphism in a prospective trauma population: implications for a "safe" surgical corridor for sacro-iliac screw placement[J]. Patient Saf Surg, 2011, 5(1): 8.
- [6] Gardner MJ, Morshed S, Nork SE, et al. Quantification of the upper and second sacral segment safe zones in normal and dysmorphic sacra[J]. J Orthop Trauma, 2010, 24(10): 622-629.
- [7] Zwillingmann J, Hauschild O, Bode G, et al. Malposition and revision rates of different imaging modalities for percutaneous iliosacral screw fixation following pelvic fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2013, 133(9): 1257-1265.
- [8] Routt ML, Simonian PT, Agnew SG, et al. Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of iliosacral screws: a cadaveric and clinical study[J]. J Orthop Trauma, 1996, 10(3): 171-177.
- [9] Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases[J]. Clin Orthop Relat Res, 1988, 227: 67-81.
- [10] Iorio JA, Jakoi AM, Rehman S. Percutaneous sacroiliac screw fixation of the posterior pelvic ring[J]. Orthop Clin North Am, 2015, 46(4): 511-521.
- [11] Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, et al. Percutaneous iliosacral screw fixation in S1 and S2 for posterior pelvic ring injuries: technique and perioperative complications[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2011, 131(6): 809-813.
- [12] Tonetti J, Carrat L, Blendea S, et al. Clinical results of percutaneous pelvic surgery. Computer assisted surgery using ultrasound compared to standard fluoroscopy[J]. Comput Aided Surg, 2001, 6(4): 204-211.
- [13] Routt ML, Simonian PT, Mills WJ. Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique[J]. J Orthop Trauma, 1997, 11(8): 584-589.
- [14] Keating JF, Werier J, Blachut P, et al. Early fixation of the vertically unstable pelvis: the role of iliosacral screw fixation of the posterior lesion[J]. J Orthop Trauma, 1999, 13(2): 107-113.
- [15] van den Bosch EW, van Zwienen CM, van Vugt AB. Fluoroscopic positioning of sacroiliac screws in 88 patients[J]. J Trauma, 2002, 53(1): 44-48.
- [16] Wu LP, Li YK, Li YM, et al. Variable morphology of the sacrum in a Chinese population[J]. Clin Anat, 2009, 22(5): 619-626.
- [17] 张安维, 高仕长, 刘杰, 等. 骶骨 Denis III 区骨折经皮横形骶髂螺钉固定的影像解剖学研究[J]. 重庆医科大学学报, 2016, 41(2): 124-129.
- [18] 贾帅军, 吕尚军, 贺利军, 等. 三维导航技术辅助经皮骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折[J]. 创伤外科杂志, 2014, 16(6): 506-510.

(责任编辑: 方 济)