

骨盆髌臼骨折微创螺钉内固定的解剖研究及临床应用

贾健

天津市天津医院创伤骨科骨盆病区,天津 300211

Email: jiajianpelvis@163.com

【摘要】 闭合复位经皮螺钉固定微创治疗具有明显的生物学和生物力学优势,可独立用于骨盆髌臼骨折的手术治疗,也可作为开放复位内固定的补充手段。骨盆髌臼骨性螺钉通道(osseous fixation pathway, OFP)是实现骨盆髌臼骨折微创治疗的解剖基础。骨盆髌臼OFP由前方、中部及后方通道三部分组成。骨盆前方OFP包括耻骨上支通道(也称髌臼前柱通道)和耻骨下支通道。耻骨上支通道主要用于治疗髌臼横形、“T”型、前柱骨折及多数耻骨上支骨折,耻骨下支通道主要用于治疗耻骨下支骨折。骨盆中部OFP包括髌前下棘至髌后方的LC-II通道、臀中肌柱通道及髌嵴通道。LC-II通道用于治疗骨盆新月样骨折、髌骨翼骨折及某些髌臼高位前柱骨折;臀中肌柱通道主要用于治疗某些髌骨骨折或髌臼骨折;髌嵴通通常用于治疗单纯髌骨翼骨折或累及髌嵴的髌臼骨折。骨盆后方OFP包括髌臼后柱通道、骶髌通道和骶骨通道。髌臼后柱通道用于治疗累及后柱的髌臼骨折。骶髌通道主要适用于:骨盆旋转或垂直不稳定型损伤;骶髌关节脱位或骨折脱位;污染相对轻微的骨盆后环开放性损伤;老年骶骨(不全)骨折;耻骨联合钢板内固定术后,骶骨骨折端残存间隙;某些创伤性脊柱骨盆分离;与髌腰内固定协同,治疗骨盆骨折伴腰骶结合部损伤等。骶骨通道主要适用于:双侧骶髌关节脱位及某些骨盆新月样骨折;双侧骶骨骨折;累及Denis III区的骶骨骨折;骨质疏松性骶骨不全骨折等。目前骨盆髌臼骨折的微创治疗依然面临极大挑战,充分认识螺钉通道形态、深刻理解术中影像表现、努力提高骨折复位质量、不断积累手术操作经验,是实现骨盆髌臼骨折微创、精准治疗的有效途径。

【关键词】 骨盆;髌臼;骨折;最小侵入性外科手术;教育,医学,继续;骨性螺钉通道

DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-202300802-00066

Anatomical study and clinical application of osseous fixation pathway in pelvic and acetabular fracture management

Jia Jian

Department of Plevic Trauma, Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China

Email: jiajianpelvis@163.com

【Abstract】 Closed reduction percutaneous screw fixation offers significant biological and biomechanical advantages and can be employed independently for the surgical treatment of pelvic acetabular fractures, as well as serving as a complementary method to open reduction internal fixation. The osseous fixation pathway (OFP) constitutes the anatomical foundation for the minimally invasive approach to pelvic and acetabular fracture management. The pelvis's OFP can be categorized into anterior, middle, and posterior parts. The anterior OFP encompasses both the superior pubic/anterior column and inferior pubic OFPs. The former is primarily utilized for addressing transverse and T-shaped acetabular fractures, as well as anterior column and superior pubic fractures. The latter is predominantly applied to inferior pubic fractures. The middle OFP includes the anterior inferior iliac spine to the posterior iliac crest (LC-II) OFP, the gluteus medius column OFP, and the iliac crest OFP. The LC-II OFP is primarily designated for pelvic crescent, iliac wing, and select high anterior column acetabular fractures. The gluteus medius column OFP is used for the treatment of some iliac fractures or acetabular fractures. And the iliac crest OFP is used for the treatment of simple iliac wing fractures or acetabular fractures involving the iliac crest. The posterior OFP includes the posterior column of the acetabulum OFP, sacroiliac OFP, and sacral OFP. The posterior column of the acetabulum OFP is used for the treatment of acetabular fractures involving the posterior column; the sacroiliac OFP is mainly utilized for a range of pelvic injuries, including pelvic rotational or vertical unstable pelvic injury, sacroiliac dislocation or fracture dislocation; open injury of the posterior ring of the pelvis with relatively mild contamination; elderly sacral (incomplete) fractures; residual gap at the end of sacral fracture after pubic symphysis and plate internal fixation; certain traumatic spinopelvic dissociation; in combination with lumbopelvic fixation for the treatment of pelvic fractures with lumbosacral junction injury. Sacral OFP is advised for treating bilateral sacroiliac dislocation and certain crescent-like pelvic fractures; bilateral sacral fractures; sacral fractures involving Denis III zone, osteoporotic sacral incomplete fractures. The pursuit of minimally invasive treatment modalities for pelvic and acetabular fractures comes with challenges. A comprehensive understanding of OFP morphology and intraoperative imaging, coupled with a commitment to enhancing fracture reduction quality and surgical proficiency, is imperative for the precise management of such injuries.

【Key words】 Pelvis; Acetabulum; Fractures, bone; Minimally invasive surgical procedures; Education, medical, continuing; osseous fixation pathway

DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20230802-00066



高能暴力所致的骨盆髌臼骨折常伴有合并损伤及血液动力学不稳定。多数危重病例早期必须按照损害控制原则决策治疗方案以最大限度地保留患者的生理潜能为后续治疗创造条件。在创伤急救和重症医学的支持下,目前绝大部分边缘患者能平稳度过生命危险期,从而进入骨折治疗的决定性阶段。临床上恢复骨盆环结构的完整性及髌臼骨折的解剖关系始终是外科治疗的首要目标。长期以来切开复位坚强固定已演变成骨折治疗的主导方向和既定模式。在不断追求提高骨折内固定强度的背景下,术中扩大化显露、软组织广泛剥离,使手术时间明显延长及术中出血量随之增加,都将给患者带来不同程度的附加损害和二次打击。文献报道骨盆髌臼骨折手术并发症的发生率分别为26%和40%^[1-2]。

随着人口老龄化的加速,低能暴力所致的骨盆髌臼骨折日渐增多。这种与骨质疏松相关的骨折往往因患者的慢性健康状态不良使手术风险增加。此外,骨量丢失、骨微细结构破坏及骨质量下降等均可造成骨折复位困难、修复缓慢、软骨内化骨时间延长、内固定松动、骨不连或畸形愈合等一系列临床问题。Daurka等^[3-4]通过循证研究证实老年髌臼骨折的手术治疗中解剖复位率仅45.3%(范围25%~61%)、复位不良占13.9%(范围5%~36%)、二期人工关节置换占23.1%,总体并发症发生率为39.8%。如何以最小的代价提高老年骨盆髌臼骨折的临床疗效,已成为当务之急。

近年来,随着治疗理念的更新,骨盆髌臼骨折的微创治疗取得了一定进展,为减少医源性损伤、实现加速康复提供了可能。日益增长的临床需求以及手术方式转变促进了微创技术的完善。经皮螺钉固定是骨盆髌臼骨折微创治疗的重要手段之一,骨折间接复位是实现微创治疗的前提,螺钉精准置入是优化内固定强度的关键。闭合复位经皮螺钉固定具有明显的生物学和生物力学优势,可独立用于骨盆髌臼骨折的手术治疗,也可作为开放复位内固定的补充手段。然而,对移位严重的髌臼骨折,解剖复位坚强固定仍然是外科治疗的金标准。

骨盆髌臼骨折的微创治疗有赖于对螺钉骨性通道(osseous fixation pathway, OFP)的深入理解^[5-6](图1)。结构复杂的OFP可设想为能容纳螺钉通过的圆柱形管道,其中螺钉位置、数量、直径和长度的选择取决于OFP的解剖形态及其个体差异。骨折复位不良使OFP的几何面积减小、接触稳定性下降,从而对螺钉安全构成威胁;螺钉位置不当可导致内固定失效,骨折复位丢失,甚至血管、神经损伤等并发症。

计算机导航系统可提供多视角三维立体图像,能预览通道边界,并将手术器械的相对位置、螺钉角度和深度变化等以虚拟的形式实时显示,从而引导内植物精准置入,同时减少了术中辐射。不足之处在于术中对选定的解剖参照点匹配注册、钉道准备、建立手术路径以及内植物的瞬态跟踪等均耗时过长。此外,影像漂移会影响导航精度,延长手术时间。因受到各种局限,目前临床上还一时难以普及和推广。随着骨科手术机器人的临床应用日渐成熟,微创螺钉固定的

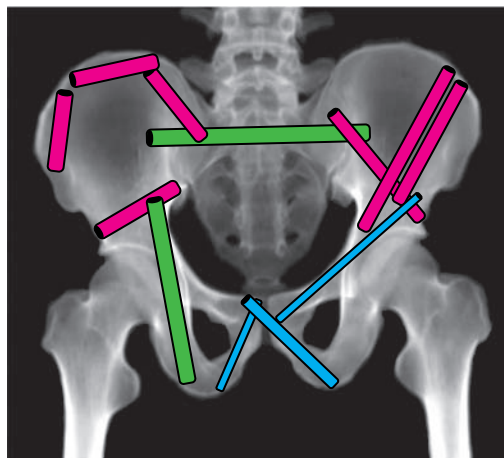


图1 骨盆髌臼螺钉骨性通道示意图,由前方[耻骨上支(髌臼前柱)通道、耻骨下支通道]、中部(LC-II通道、臀中肌柱通道、髂嵴通道)及后方(髌臼后柱通道、骶髂通道、骶骨通道)三部分组成

精准度已提升到一个新的水平,然而任何先进的影像设备及手术定位系统都离不开基于二维图像的信息整合。X线透视下螺钉经皮固定仍然是目前乃至将来一段时间内最为重要的技术支撑^[5-6]。

本文通过系统复习骨盆髌臼螺钉通道的三维解剖形态及其放射影像特征,将骨盆髌臼OFP分为前方、中部及后方通道三部分,分别叙述各自OFP的解剖形态、影像学特征及其临床应用。

一、耻骨上支通道

(一)解剖形态

耻骨上支通道(也称髌臼前柱通道)位于耻骨联合与髌臼上方的髂骨外板之间,包括耻骨上支全长、髌臼前壁及髌臼上方。OFP的关键骨性边界分别为耻骨支前上方、耻骨结节、闭孔血管神经沟及髌关节。解剖分布自外向内依次为髌臼上区、髂前下棘区、髌臼区、髌臼横韧带区、耻骨上支区、耻骨结节区及耻骨联合区。

髌臼前柱是具有一定弧度(髌耻曲度)的不规则柱状体。耻骨上支呈弓状,表面凹凸不平,其前方因耻骨结节、耻骨肌凹陷、髌耻隆起、髌腰肌下间隙而错落起伏。耻骨上支后内侧骨皮质表面平坦,在耻骨联合附近向前上方扭转;耻骨上支下方骨皮质狭窄变钝,外侧边缘凹陷。耻骨上支的横断面形态在耻骨联合处呈椭圆形、在耻骨支中部呈三角形、在髌耻隆起处呈圆形、在髌腰肌处呈卵圆形、在髌臼前壁呈三角形。耻骨上支的髓腔容量与螺钉通道基本一致,最狭窄处分别位于髌腰肌下间隙及闭孔神经血管沟,这是螺钉穿出骨皮质的常见部位。

(二)影像学特征

前柱OFP的绝对安全区位于通道的后(内)上方,其皮质骨边缘是术中影像显示的重点。

1. 髌骨入口位像:在骨盆入口位的基础上向健侧倾斜20°~25°,能显示耻骨上支内、外侧的骨皮质边缘。调整投照角度更有利于观察耻骨上支内侧扁平的皮质骨面。术中要尽量避免耻骨上、下支发生影像重叠。

2. 闭孔出口位像: 在骨盆出口位的基础上向患侧倾斜 20°~25°, 能显示耻骨支上、下缘的骨皮质边界, 有助于评价螺钉长度及其与髋关节的邻近距离。

(三) 临床应用

患者术中可取仰卧位或侧卧位。主要适用于髋臼横形、“T”型、前柱骨折及多数耻骨上支骨折。

手术适应证主要包括: (1) 骨折无明显移位或移位 < 2~3 mm; (2) 骨折存在潜在不稳定; (3) 术中能闭合复位成功; (4) 髋臼内无游离骨块; (5) 髋臼前柱无严重解剖变异等。

手术相关风险主要包括: (1) 螺钉穿入髋关节; (2) 股血管神经、闭孔血管神经以及“死亡冠”(也称闭孔动脉变异支) 损伤等。

1. 顺行髋臼前柱螺钉: 闭孔出口位像上螺钉进钉点位于臀中肌柱白顶上 1~2 mm 处, 优点是能避免精索周围切口。螺钉路径包括自由钉道(即安全区内螺钉在允许的误差内通过的钉道, 使用频率最高, 图 2)、“in-out-in”切割钉道(经三层骨皮质固定, 力学稳定性好)及几何钉道(沿通道模拟中轴线走行的理想化路径, 螺钉应力分布更加合理)。

2. 逆行髋臼前柱螺钉: 骨盆入口位像上螺钉进钉点位于耻骨结节。可用于治疗多数 Nakatani I、II 区耻骨上支骨折。与顺行螺钉相比更易松动、失效, 这可能与骨折类型复杂或螺钉长度不足等有关^[7-10]。

治疗双侧耻骨支骨折, 为缩短手术时间、减少 X 线暴露, 可一侧使用顺行螺钉固定、另一侧逆行固定。术中依耻骨上支的解剖形态及通道大小合理选择螺钉规格。前柱螺钉的失败率为 15%, 常见于高龄骨质疏松性骨折、女性患者及耻骨上支 Nakatani II 区骨折^[9-10]。

3. 髋臼前柱短通道螺钉: 为解决前柱螺钉因通道曲折狭窄不适于全长固定的问题, 有学者以髋臼横韧带为界将前柱 OFP 分为内、外两个部分^[6]。据此可根据骨折类型的不同选择短通道固定。

(1) 前柱外侧通道螺钉: 进钉点位于骨盆前后位像的泪滴处, 出钉点指向髋臼外侧, 特别适用于女性和骨盆较小的患者。

(2) 前柱内侧通道螺钉: 进钉点位于耻骨结节上方、出钉点指向髋臼切迹, 主要用于治疗 Nakatani I 区骨折(图 3)。

Ochs 等^[11]对 260 例成人髋臼前柱的 CT 测量结果证实, 螺钉的理想长度为男性(111.5±7.4) mm、女性(100.6±7.6) mm; 螺钉的合适直径为男性(9.2±1.2) mm、女性(7.0±1.0) mm。Routt 等^[12]认为常规使用直径 6.5 mm 的螺钉逆行固定前柱骨折并非适用于所有患者, 因此推荐使用直径 3.5 mm 或 4.5 mm 的螺钉进行固定, 对耻骨上支狭窄的患者早期提供了良好的稳定, 但远期螺钉断裂的发生率较高。Mouhsine 等^[13]应用直径 7.3 mm 的螺钉治疗 21 例患者, 术后无固定失效。Starr 等^[14]为获得刚性稳定甚至使用直径 8.0 mm 的螺钉固定。

髋臼前柱的 OFP 有明显的种族和性别差异。Chen 等^[15]对 164 例中国成人髋臼前柱的 CT 测量结果证实, 钉道最大的虚拟长度为(109.4±9.0) mm, 男性为(113.8±7.1) mm、女性为(105.2±8.5) mm; 钉道最大的虚拟直径为(8.2±1.2) mm, 男性为(8.8±1.0) mm、女性为(7.6±1.1) mm。该结论在一定程度上为前柱螺钉的选择提供了理论依据。目前认为男性患者可置入 6.5、7.0、7.3 mm 或更大的螺钉, 而女性患者(15.4%) 不推荐使用直径 6.5 mm 以上的螺钉。

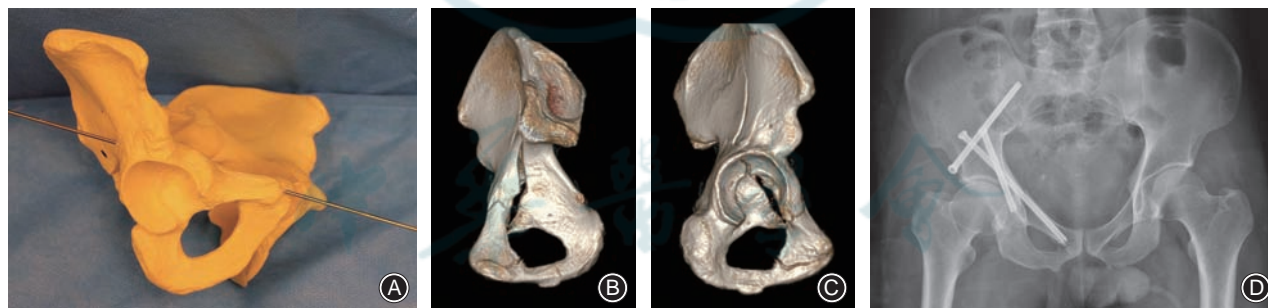


图 2 骨盆前方耻骨上支通道(髋臼前柱通道)示意图及手术前后放射学影像 A 耻骨上支通道及其导针置入 B, C 术前 CT 三维重建示髋臼双柱骨折、轻度移位 D 术后骨盆正位 X 线片示骨折应用耻骨上支通道、髋臼后柱通道及骨盆 LC-II 通道螺钉固定

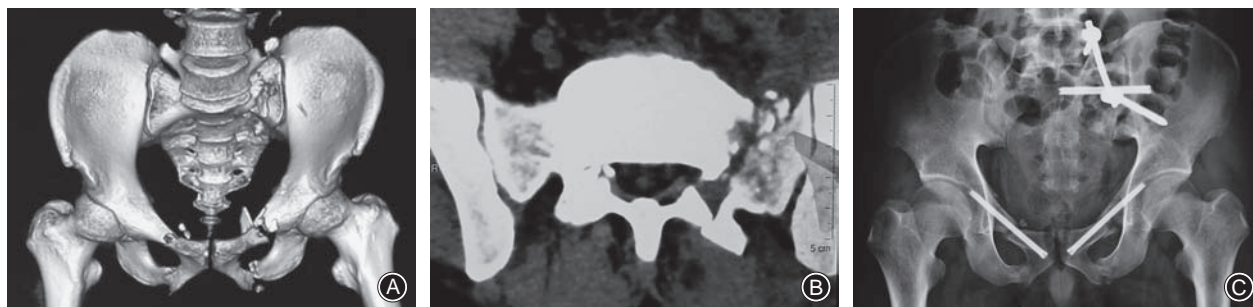


图 3 骨盆前方耻骨上支短通道逆行固定手术前后放射学影像 A 术前 CT 三维重建示双侧耻骨上、下支骨折及左侧骶骨 Denis II 区骨折 B 术前 CT 横断面重建示骶骨纵行骨折合并 L5/S1 关节突脱位、绞锁(腰骶结合部损伤) C 骶骨骨折切开复位髂腰三角固定; 双侧耻骨上、下支应用逆行短通道螺钉固定

二、耻骨下支通道

(一)解剖形态

包括耻骨下支全长,起于近耻骨联合的耻骨上支,止于坐骨结节;耻骨下支扁平,内侧厚度明显大于外侧。通道全长固定非常困难。

(二)影像学特征

应用改良的骨盆高位入口位和闭孔出口位像。入口位投照时可再适当增加 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 的倾斜角度,从而获得通道正位影像以充分显示耻骨下支前后方的皮质骨板。出口位投照时通过调整透视角度,能确定耻骨下支通道的内、外边界;其缺点是可能干扰手术区域,妨碍螺钉顺利置入。

(三)临床应用

主要用于治疗耻骨下支骨折。术中可顺行经同侧或对侧耻骨上支固定,也可逆行通过坐骨结节固定。耻骨联合交叉螺钉固定常用于治疗骨质疏松性骨折、粉碎骨折及骨折内固定术后翻修等。

三、髂前下棘至髂骨后方的LC-II通道

(一)解剖形态

位于骨盆中部髂骨内、外板之间,由髂前下棘经髌白及坐骨大切迹上方至骶髂关节外侧。该通道因用于治疗骨盆新月样骨折(LC-II型)而得名,起于髂前下棘、止于髂后上棘,其进钉点和出钉点均可在皮下触及,固定方向可从前向后或由后向前(图4)。

(二)影像学特征

1.泪滴位像:获得出口位像,再向患侧旋转约 20° ,使髂前下棘与髂后上棘重叠,此时髌白上方形成的泪滴状透明影像是螺钉通道的轴向开口,其进钉点即位于通路中央。

2.髂骨正位像:首先获得入口位像,再向患侧旋转 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,可自上而下直接俯视髂骨翼,用于观察髂骨后方内、外侧骨皮质。

3.髂骨斜位像:能显示髌白前壁、后柱、白顶、坐骨大切迹及髂前上、下棘,髂后上、下棘的显示由于受到髂骨侧块和骶髂关节遮挡常需仔细辨识。

4.LC-II全长像:是改良的髂骨斜位像,首先透视髂骨斜位显示髂前下棘后,再向出口位方向倾斜少许,直至髂后上棘与S₁椎体重叠,并获得清晰显示。可用于判断螺钉长度。

(三)临床应用

在治疗骨盆新月样骨折、髂骨翼骨折及某些髌白高位前柱骨折时,可根据骨折类型的不同采取经皮或开放手术,选择顺行或逆行螺钉固定。此外,LC-II的髂后上棘进钉点也是髂腰固定髂骨通路的进钉点。

四、臀中肌柱通道

(一)解剖形态

通道走向为由臀中肌附丽处的髂骨翼分别指向髌白上方或四边体区域。

(二)影像学特征

闭孔斜位像显示髂骨内、外板,并判断螺钉深度。髂骨斜位像显示螺钉前后方向的走行。

(三)临床应用

可治疗某些髂骨骨折或髌白骨折,也可作为术中骨折复位或骨盆前方支架的穿针通道。

髌白上横行螺钉可用于支撑白顶及向内侧移位的四边体骨板,其进钉点在髂前下棘髌白上10 mm处,出钉点在髌关节内侧及四边体上方(图5)。

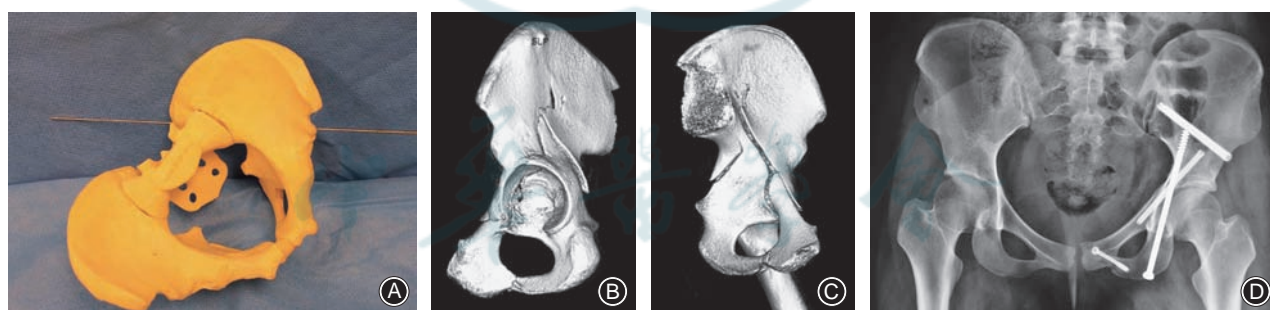


图4 骨盆中部LC-II通道示意图及手术前后放射学影像 A 骨盆LC-II通道及其导针置入 B、C 术前CT三维重建左侧髌白双柱骨折、轻度移位 D 术后骨盆正位X线片示髌白骨折应用前柱顺行螺钉、耻骨下支螺钉、LC-II通道螺钉及后柱逆行螺钉机器人辅助经皮固定



图5 髌白白顶上方横行通道示意图及手术前后放射学影像 A 白顶上方横行通道及其导针置入 B 术前CT三维重建右侧髌白骨折 C 术后骨盆正位X线片示髌白骨折应用骨盆重建钢板辅助白顶上方横行通道螺钉固定



五、髂嵴通道

(一)解剖形态

位于骨盆边缘沿髂嵴内、外板之间走行的表浅通道,髂嵴前方通道自髂前上棘指向髂骨翼中部,剩余部分为后方通道。髂嵴弯曲使后方通道更为狭窄,即使直视下固定也可能出现螺钉位置不当。

(二)影像学特征

闭孔斜位辅以不同角度的骨盆入口位及出口位像,可明确髂嵴内、外板及其解剖标志。此外,髂骨斜位像也可用于评估螺钉长度及其倾斜角度。

(三)临床应用

治疗单纯髂骨翼骨折或累及髂嵴的髌臼骨折。髂嵴前方手术要注意保护股外侧皮神经,必要时可沿髂嵴中部进钉至髂前上棘行反向固定。

六、髌臼后柱通道

(一)解剖形态

位于髌窝内侧至坐骨结节之间,形态不规则,由坐骨、髌臼、四边体表面及骨盆界线组成,贴近髌臼内侧并居于四边体外侧(图6)。

(二)影像学特征

1. 髌骨斜位像:能显示坐骨大切迹、髌臼后柱和前壁。此时钉道介于坐骨大、小切迹和髌臼之间。

2. 骨盆出口位像:可显示髌坐线和四边体表面,此时钉道位于髌坐线的外侧。

3. 骨盆侧位像:能显示骨盆界线,确认螺钉长度。此外,后柱正位像也具有临床实用价值。

(三)临床应用

用于治疗累及后柱的髌臼骨折。近年来有关螺钉进钉点、置入角度、螺钉长度和直径的选取,已成为临床和基础研究的主要方向。张元智等^[16]的CT测量结果表明成人髌臼后柱螺钉的最大虚拟长度男性为(141.8±7.7) mm、女性为(127.2±6.8) mm,最大虚拟直径男性为(12.9±1.5) mm、女性为(11.2±1.3) mm。据此术中可选用直径3.5 mm或4.5 mm的皮质骨螺钉单独或结合重建钢板固定,也可选用直径6.5 mm或7.3 mm的单枚螺钉或直径6.5 mm的双枚螺钉固定;其长度则根据后柱通道及骨折类型的不同而异^[16-17]。

1. 顺行后柱螺钉:患者取仰卧位或侧卧位。经髌腹股沟入路外侧窗口有限切开,沿髌骨内板骨膜下剥离。螺钉进钉

点在真骨盆边缘外侧10~20 mm处,出钉点分别指向坐骨结节或坐骨棘。其优点是便于体位摆放和术中透视;缺点是肥胖患者的腹部及高龄患者的低位肋骨可能影响导针进钉点^[18-19]。

2. 逆行后柱螺钉:患者取仰卧位、侧卧位或俯卧位。螺钉进钉点位于坐骨结节,出钉点在真骨盆边缘的髌骨内板上(图6)。其中俯卧位手术虽有利于螺钉置入,但可能给术中透视带来不便。无论选择何种体位,术中应保持髌关节适度屈曲以利于暴露坐骨结节。

此外,穿透骨盆界线皮质骨前要准确测量螺钉长度。传统经皮置钉存在以下问题:(1)难以确定进钉方向;(2)螺钉易误入髌关节;(3)常出现螺钉长度不足;(4)须反复多次透视;(5)对术者有较高的技术要求。

3. 魔术螺钉(magic screw):Starr等^[20]描述的magic螺钉可在一定程度上替代后柱螺钉,用于稳定四边体骨板。螺钉进钉点位于臀中肌柱的斜坡上,与前柱螺钉的进钉点非常接近;出钉点向后延伸至坐骨棘内侧。术中导针在进钉点处可能经常出现滑移转向,应借助特殊工具设法避免。

髌骨斜位像可显示通道的前后边界,从而防止螺钉突破大切迹或进入髌关节。骨盆前后位、闭孔斜位出口位及入口位像能验证导针出钉点(图7)。因螺钉通道位于髌臼的危险区内,有学者称magic螺钉的成功放置需要“超然的表现力”^[18-20]。

4. 耻骨梳螺钉(pecten screw):与后柱螺钉相似,通常用于治疗累及前柱的髌臼骨折。老年前柱骨折主要有两个关键骨块,即耻骨梳(pecten)骨块和四边体骨块。该螺钉特别适用于前柱螺钉无法固定的耻骨梳翻转骨块,螺钉经白顶内侧向后下行至坐骨棘内侧或直接通过坐骨棘。闭孔出口位像可显示螺钉进钉点,骨盆前后位、髌骨斜位像能判断螺钉出钉点。耻骨梳螺钉紧邻股神经血管束的外侧,术中应针对性规避其潜在风险。

5. 髌臼下螺钉(infraacetabular screw)又称为“模拟magic螺钉”;Culemann等^[21-23]在治疗髌臼双柱分离型骨折时应用髌腹股沟钢板结合加长螺钉,通过髌臼上、下通道对前、后柱予以同步固定,并使之形成框架稳定结构。其优点是可利用单一入路完成复杂手术且固定满意;缺点是操作难度大,有明显的学习曲线。术中借助骨盆入口位、闭孔出口位及1/3髌骨出口位像可保证螺钉安全通过。



图6 髌臼后柱通道示意图及手术前后放射学影像 A 髌臼后柱通道及其导针置入 B 术前CT三维重建示髌骨“U”形骨折合并左侧髌臼横行骨折 C 术后骨盆正位X线片示髌骨“U”形骨折应用双侧髌腰三角固定,左侧髌臼骨折应用后柱逆行螺钉固定



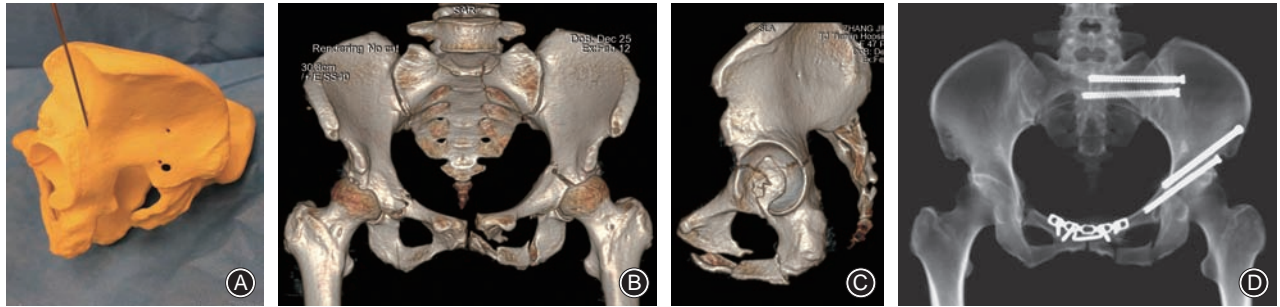


图7 骨盆魔术螺钉通道示意图及手术前后放射学影像 A 骨盆魔术螺钉通道(起于臀中肌柱接近前柱螺钉进点处,止于坐骨棘)及其导针置入 B,C 术前CT三维重建示左髋臼“T”形骨折伴耻骨联合骨折脱位及骶骨骨折,骨折均轻度移位 D 术后骨盆正位X线片示耻骨联合骨折脱位应用骨盆重建钢板固定,髋臼骨折应用魔术螺钉及前柱螺钉固定,骶骨骨折应用骶髂螺钉固定

七、骶髂通道

(一)解剖形态

骶髂通道经髂骨外板通过骶髂关节行走至 S_1 、 S_2 椎体,通道边界包括髂骨后外侧骨皮质、骶骨翼、 S_1 神经通道、骶骨近端椎体及骶管。

Carlson等^[24]对30例(男16例、女14例)随机选取的正常成人骨盆后环标本进行CT影像测量,并据此提出了骶骨“前庭(vestibule)”的概念。骶骨前庭呈纺锤形,是骶骨翼与 S_1 椎体移行处的峡部,是通道最狭窄处的三维可用空间,也是通向骶骨椎体的解剖入口。其中 S_1 前庭位于骶骨翼斜坡与骶孔之间,骶骨翼构成前庭顶部,骶孔上缘为底部。

Carlson等^[24]根据横行置入骶髂螺钉的可行性将骶骨分为三种类型:Ⅰ型,巨大型,占36.7%,螺钉可用区间 ≥ 1.20 cm,前庭出口面积为 (496 ± 39) mm²,可以横行置入直径7.3 mm的螺钉;Ⅱ型,中间型,占30%,螺钉可用区间为0.75~1.20 cm,前庭出口面积为 (494 ± 82) mm²,可容纳直径7.3 mm的螺钉横行置入,但应在模拟出口位像上注意观察螺钉的行走角度;Ⅲ型,发育不良型,占33%,螺钉可用区间 < 0.75 cm,前庭出口面积为 (493 ± 90) mm²,在模拟出口位像上观察无法横行置入螺钉。因此,不同类型骶骨前庭的出口面积及其椭圆形态几乎一致,其区别主要在于倾斜角度各不相同(Ⅲ型 $>$ Ⅱ型 $>$ Ⅰ型)。相反,随着骶骨翼斜度的增加, S_2 前庭的出口面积却逐渐增大(Ⅰ型为183 mm²、Ⅱ型为243 mm²、Ⅲ型为286 mm²)。

骨折移位可造成OFP容量改变。Reilly等^[25]的研究报告在骶骨骨折向头侧移位5、10、15和20 mm的标本上 S_1 螺钉通道峡部分别减少了18%、40%、47%及51%。当骨折移位 > 15 mm时, S_1 骨折端几乎不能同时容纳2枚螺钉通过;而骨折移位 > 20 mm时,即使单枚螺钉也难以准确通过骨折端。因此,认为对骶骨DenisⅡ区骨折,其最低复位标准为骨折移位 < 10 mm,否则可能导致螺钉置入失败。

(二)影像学特征

患者过度肥胖、肠道积气、骨折复位不良等常妨碍影像显示,X线透视下置入螺钉的准确率仅为42%。因此,对目标影像的正确采集是螺钉精准置入的关键技术之一^[6,18,26]。

1. 骨盆入口位像:理想的入口位像是 S_1 与 S_2 椎体重叠并组成同心圆,其投照倾斜角度平均为25°。术中影像质量主

要与腰椎前凸角度、骶骨近端形态以及骨盆后环的损伤类型等有关。

2. 骨盆出口位像:理想的出口位像是耻骨联合上缘与 S_2 椎体的重叠影像,其投照倾斜角度平均为42°。可显示双侧骶孔、骶骨近端形态及骨折垂直移位等。

骶髂螺钉无固定的投照角度,入口位像在矢状面的倾斜角度通常为21°~33°;出口位为30°~50°,其总体范围为62°~76°(平均67°)。因此,术中应根据需要选择个体化透视角度。

3. 骨盆标准侧位像:可显示骶髂通道的4个骨性边界及坐骨大切迹,同时观察骶髂关节前方部分髂骨皮质重叠密度增高影(ilic cortical density, ICD)。标准侧位像应在骨折复位满意的基础上,双侧坐骨大切迹和ICD分别重合对齐,可间接判断骶骨翼斜坡位置。

Routt等^[27]在 S_1 椎体矢状面影像上根据ICD的位置分布将其分为三种类型:(1)正常型,仅骶骨岬位于ICD上方;(2)过渡型,位于ICD上方的椎体 $< 1/2$;(3)发育不良型,位于ICD上方的椎体 $> 1/2$ 。术中螺钉置入时其安全区均位于ICD的下方(图8)。旋转20°~30°的闭孔斜位像或髂骨切线位像能判断螺钉深度,骶椎侧块轴位像也有助于辅助固定。

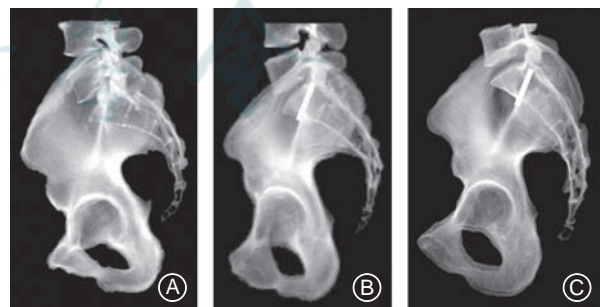


图8 骨盆CT矢状面重建像,Routt等提出的ICD(部分髂骨骨皮质重叠密度增高影)的分型方法 A 正常型 B 过渡型 C 发育不良型

骶骨近端形态异常的主要影像特征^[28-29]:(1)骨盆出口位像显示双侧髂嵴后方接近 L_5/S_1 椎间隙,且几乎与骶骨上方处于同一水平;(2)骶骨翼可见乳突状凸起;(3)大而规则的骶前孔;(4) S_1 椎体融合不全,残留椎间盘痕迹;(5)骨盆出口位像和侧位像显示骶骨翼斜坡由前下外向后上内急剧抬升;(6)CT显示骶髂关节呈“tongue-in-groove”复合结构;(7)骨盆入口位像显示骶骨翼前方可见骨皮质压迹。

骶骨近端可表现为单纯的发育不良或多种变异并存的复合畸形,近期研究显示其畸形的比例占30%~58%^[28-31]。S₁畸形使安全通道减小36%,但其三维空间的倾斜角度却随之增大,这种情况在正常与变异骶骨间的差异尤为明显。尽管如此也有安全置入螺钉的可能,前提是精确的通道评估。

Kaiser等^[28]通过对进钉角度及其固定长度的相关性研究,提出了骶骨畸形评分标准(sacral dysmorphism score, SDS),其中SDS=(S₁冠状面倾斜角)+2×(S₁轴位倾斜角)。在标准三维坐标系内可应用反三角函数计算螺钉倾斜角度,结果显示SDS分值越高畸形越重,当SDS>70分时几乎无横贯S₁的安全通道存在。Mendel等^[31]在骶骨正中矢状面上应用CT测量S₁、S₂椎体的宽高比值,提出了骶骨外侧三角(lateral sacral triangle, LST)的概念。当LST≥1.5时,S₁横行通道占95%;当LST<1.5时,S₁横行通道仅占19%。

(三)临床应用

主要适应证包括:(1)骨盆旋转或垂直不稳定型损伤;(2)骶髂关节脱位或骨折脱位;(3)污染相对轻微的骨盆后环开放性损伤;(4)老年骶骨(不全)骨折;(5)耻骨联合钢板内固定术后,闭合骶骨骨折端残存间隙;(6)某些创伤性脊柱骨盆分离;(7)与髂腰内固定协同,治疗骨盆骨折伴腰骶结合部损伤等(图9)。

手术禁忌证包括:(1)陈旧性骨折;(2)局部存在活动性感染;(3)骶骨近端严重畸形;(4)病理性肥胖;(5)骶骨横行骨折等。

Lonstein等^[32]提出了骶髂螺钉术后评价标准:0级,螺钉未穿破骨皮质;1级,螺钉穿破骨皮质<2 mm;2级,螺钉穿破骨皮质2~4 mm;3级,螺钉完全穿破骨皮质。

临床上骶髂螺钉的应用经历了X线透视、CT引导、计算机导航及骨科机器人辅助手术的发展历程,不同手术方式的临床效果相差甚远^[33-35]。目前其总体临床疗效优良率为90%~93%。影响骶髂螺钉置入的常见因素包括:(1)骶骨近端发育畸形;(2)骨折复位不良;(3)应用S₂通道;(4)单通道配布双螺钉;(5)双侧通道螺钉固定等。

并发症主要涉及臀上动静脉、闭孔动脉、髂血管、腰骶干损伤,骨折复位不良,骨折不愈合或畸形愈合,内固定失败及手术切口感染等。其中骶髂螺钉位置不当占2%~15%、血管神经腰骶干及马尾损伤占0~13%、骨折内固定术后翻修占0.8%~5.0%。

八、骶骨通道

(一)解剖形态

采用单一螺钉共用双侧骶髂通道横向贯穿骨盆中柱进行固定,手术能否成功主要取决于是否具有水平走向的骶骨全长通道及其容量。

Gras等^[30]通过对280例成人正常骨盆的CT测量证实,S₁横行通道占89.3%,平均直径为12.8 mm(范围12.1~13.5 mm);S₂横行通道占99.6%,平均直径为11.6mm(范围11.3~11.9 mm);S₁通道直径的减小与S₂通道直径的增加呈正相关,骶骨近端畸形组具备S₂横行通道者占95%,而骶骨近端正常组仅占50%。

Salazar等^[35]报告正常青壮年S₁椎体的骨密度明显高于S₂(P=0.0001),因此推断S₁螺钉的力学稳定性应明显优于S₂。目前,虽然缺乏对S₁、S₂螺钉各自内固定强度的深入研究,但这至少在某种程度上提示S₁螺钉作为首选固定方式有一定的理论依据。

(二)影像学特征

与骶髂通道的投照方法相同。术中可借助骨盆旋转闭孔斜位像确认螺钉进钉点和长度。

(三)临床应用

主要适应证包括:(1)双侧骶髂关节脱位及某些骨盆新月样骨折;(2)双侧骶骨骨折;(3)累及Denis III区的骶骨骨折;(4)骨质疏松性骶骨不全骨折等(图10)。

术中可选择7.0或7.3 mm的空心钉固定。S₁通道有时能允许2枚螺钉水平通过,S₂通道一般仅能容纳1枚^[36]。

九、骨盆髂臼骨折微创治疗的局限性

微创治疗的优势展现了广阔的应用前景,同时也带来了一定程度的负面影响。任何手术方案的确定均要以临床疗效为基础。(1)首先要正确理解微创概念。微创不是小切口手术,应用不当可能导致术野不清、操作困难,甚至发生医源性损伤等严重后果。微创原则应贯穿于手术过程的始终,临床上要避免走向“无微不治”的观念误区。(2)严格掌握手术指征。微创治疗是在不低于,甚至高于传统手术疗效的前提下,尽可能地减少手术相关并发症。治疗方案的确定不是对手术质量与创伤大小的折衷,而是基于微创理念的个体化选择。(3)明确螺钉通道的解剖特征。注重术前测量螺钉通道参数并规划螺钉路径。(4)重视术中影像监控,手术在非直视下进行,术中要反复进行影像验证。(5)加强术后监护。严密

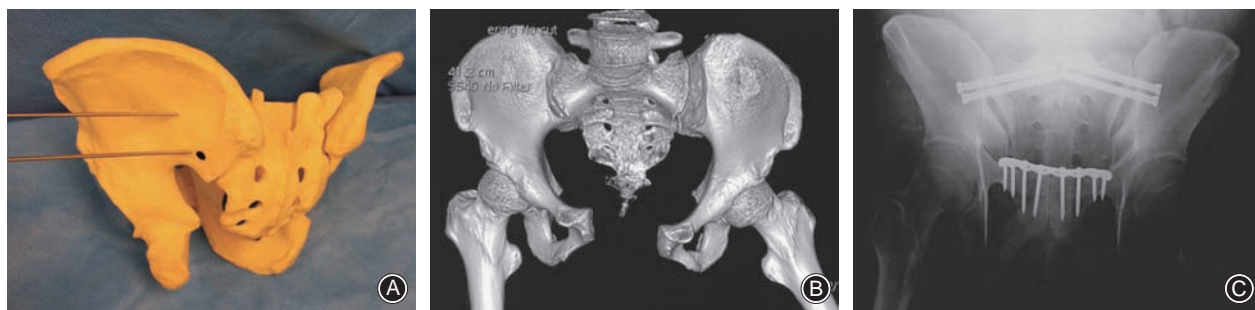


图9 骨盆骶髂螺钉通道示意图及手术前后放射学影像 A 骶髂螺钉通道及其导针置入 B 术前CT三维重建示骨盆耻骨联合分离及骶髂关节脱位 C 术后骨盆出口X线片示耻骨联合分离应用骨盆重建钢板固定,骶髂关节脱位应用S₁单通道双骶髂螺钉固定





图 10 骶骨全长通道螺钉固定手术前后放射学影像 A, B 术前 CT 三维重建示骶骨“H”形骨折(创伤性脊柱骨盆分离) C 术后骨盆正位 X 线片示骶骨“H”形骨折复位满意, 骶髂螺钉通道容量恢复后, 应用切开复位髂腰固定辅助 S₁ 全长螺钉经皮固定,

观察患者的全身情况、下肢血运、足趾活动及隐性失血。

目前骨盆髌臼骨折的微创治疗依然面临极大挑战, 充分认识螺钉骨性通道形态、深刻理解术中影像学表现、努力提高骨折复位质量、不断积累手术操作经验等, 是实现骨盆髌臼骨折微创、精准治疗的有效途径。

参 考 文 献

- [1] Pearson JM, Niemeier TE, McGwin G, et al. Spinopelvic dissociation: comparison of outcomes of percutaneous versus open fixation strategies[J]. *Adv Orthop*, 2018, 2018: 5023908. DOI: 10.1155/2018/5023908.
- [2] Mears DC, Velyvis JH, Chang CP. Displaced acetabular fractures managed operatively: indicators of outcome[J]. *Clin Orthop Relat Res.*, 2003(407): 173-186. DOI: 10.1097/00003086-200302000-00026.
- [3] Daurka JS, Pastides PS, Lewis A, et al. Acetabular fractures in patients aged > 55 years: a systematic review of the literature[J]. *Bone Joint J*, 2014, 96-B(2): 157-163. DOI: 10.1302/0301-620X.96B2.32979.
- [4] Wilson DGG, Kelly J, Rickman M. Operative management of fragility fractures of the pelvis - a systematic review[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 717. DOI: 10.1186/s12891-021-04579-w.
- [5] Bishop JA, Rutt ML Jr. Osseous fixation pathways in pelvic and acetabular fracture surgery: osteology, radiology, and clinical applications[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 72(6): 1502-1509. DOI: 10.1097/TA.0b013e318246efe5.
- [6] Banaszek D, Starr AJ, Lefavre KA. Technical considerations and fluoroscopy in percutaneous fixation of the pelvis and acetabulum [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2019, 27(24): 899-908. DOI: 10.5435/JAAOS-D-18-00102.
- [7] Rommens PM, Graafen M, Arand C, et al. Minimal-invasive stabilization of anterior pelvic ring fractures with retrograde transpubic screws[J]. *Injury*, 2020, 51(2): 340-346. DOI: 10.1016/j.injury.2019.12.018.
- [8] Shieh AK, Hayes CB, Shelton TJ, et al. Low superior pubic ramus screw failure rate with combined anterior and posterior pelvic ring fixation[J]. *J Orthop Trauma*, 2021, 35(4): 175-180. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001942.
- [9] Luksameearunothai K, Amin RM, Shafiq B, et al. Distance between reproductive structures and the insertion point of the retrograde pubic ramus screw[J]. *J Orthop Trauma*, 2020, 34(11): 578-582. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001804.
- [10] Lucas JF, Chip Rutt ML Jr, Eastman JG. Biomechanical analysis of retrograde superior ramus screw fixation constructs[J]. *J Orthop Trauma*, 2021, 35(4): 187-191. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001951.
- [11] Ochs BG, Stuby FM, Ateschrang A, et al. Retrograde lag screw placement in anterior acetabular column with regard to the anterior pelvic plane and midsagittal plane -- virtual mapping of 260 three-dimensional hemipelvises for quantitative anatomic analysis [J]. *Injury*, 2014, 45(10): 1590-1598. DOI: 10.1016/j.injury.2014.06.026.
- [12] Rutt ML Jr, Simonian PT, Grujic L. The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: a new technique[J]. *J Orthop Trauma*, 1995, 9(1): 35-44. DOI: 10.1097/00005131-199502000-00006.
- [13] Mouhsine E, Garofalo R, Borens O, et al. Percutaneous retrograde screwing for stabilisation of acetabular fractures[J]. *Injury*, 2005, 36(11): 1330-1336. DOI: 10.1016/j.injury.2004.09.016.
- [14] Starr AJ, Nakatani T, Reinert CM, et al. Superior pubic ramus fractures fixed with percutaneous screws: what predicts fixation failure?[J]. *J Orthop Trauma*, 2008, 22(2): 81-87. DOI: 10.1097/BOT.0b013e318162ab6e.
- [15] Chen KN, Wang G, Cao LG, et al. Differences of percutaneous retrograde screw fixation of anterior column acetabular fractures between male and female: a study of 164 virtual three-dimensional models[J]. *Injury*, 2009, 40(10): 1067-1072. DOI: 10.1016/j.injury.2009.01.014.
- [16] 张元智, 刘刚, 张立峰, 等. 髌臼后柱顺行骨通道螺钉钉道的数字化分析与验证[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2018, 20(5): 389-393. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2018.05.004. Zhang YZ, Liu G, Zhang LF, et al. Digital analysis and certification of osseous pathway for antegrade grewing in acetabular posterior column[J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2018, 20(5): 389-393. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2018.05.004.
- [17] Chen H, Wang G, Li R, et al. A novel navigation template for fixation of acetabular posterior column fractures with antegrade lag screws: design and application[J]. *Int Orthop*, 2016, 40(4): 827-834. DOI: 10.1007/s00264-015-2813-8.
- [18] Rutt MLC Jr, Gary JL, Kellam JF, et al. Improved intraoperative



- fluoroscopy for pelvic and acetabular surgery[J]. *J Orthop Trauma*, 2019, 33 Suppl 2: S37 - S42. DOI: 10.1097/BOT.00000000000001403.
- [19] Jung GH, Lee Y, Kim JW, et al. Computational analysis of the safe zone for the antegrade lag screw in posterior column fixation with the anterior approach in acetabular fracture: a cadaveric study[J]. *Injury*, 2017, 48(3): 608 - 614. DOI: 10.1016/j.injury.2017.01.028.
- [20] Starr AJ, Reinert CM, Jones AL. Percutaneous fixation of the columns of the acetabulum: a new technique[J]. *J Orthop Trauma*, 1998, 12(1): 51-58. DOI: 10.1097/00005131-199801000-00009.
- [21] Culemann U, Marintschev I, Gras F, et al. Infra-acetabular corridor--technical tip for an additional screw placement to increase the fixation strength of acetabular fractures[J]. *J Trauma*, 2011, 70(1): 244-246. DOI: 10.1097/TA.0b013e3181f45f91.
- [22] Baumann F, Schmitz P, Mahr D, et al. A guideline for placement of an infra-acetabular screw based on anatomic landmarks via an intra - pelvic approach[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1): 77. DOI: 10.1186/s13018-018-0786-1.
- [23] Kanezaki S, Miyazaki M, Notani N, et al. Analysis of computed tomography-based infra-acetabular morphometry to assess the feasibility of infra - acetabular screws[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2020, 140(3): 359-364. DOI: 10.1007/s00402-019-03280-x.
- [24] Carlson DA, Scheid DK, Maar DC, et al. Safe placement of S1 and S2 iliosacral screws: the "vestibule" concept[J]. *J Orthop Trauma*, 2000, 14(4): 264-269. DOI: 10.1097/00005131-200005000-00007.
- [25] Reilly MC, Bono CM, Litkouhi B, et al. The effect of sacral fracture malreduction on the safe placement of iliosacral screws[J]. *J Orthop Trauma*, 2003, 17(2): 88 - 94. DOI: 10.1097/00005131-200302000-00002.
- [26] Eastman JG, Routt ML Jr. Correlating preoperative imaging with intraoperative fluoroscopy in iliosacral screw placement[J]. *J Orthop Traumatol*, 2015, 16(4): 309-316. DOI: 10.1007/s10195-015-0363-x.
- [27] Routt ML Jr, Nork SE, Mills WJ. Percutaneous fixation of pelvic ring disruptions[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2000(375): 15 - 29. DOI: 10.1097/00003086-200006000-00004.
- [28] 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. DOI: 10.2106/JBJS.M.00895.
- [29] Khan JM, Lara DL, Marquez-Lara A, et al. Intraoperative CT and surgical navigation for iliosacral screws: technique for patients with sacral dysmorphism[J]. *J Orthop Trauma*, 2018, 32 Suppl 1: S24-S25. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001213.
- [30] Gras F, Gottschling H, Schröder M, et al. Transsacral osseous corridor anatomy is more amenable to screw insertion in males: a biometric analysis of 280 pelves[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2016, 474(10): 2304-2311. DOI: 10.1007/s11999-016-4954-5.
- [31] Mendel T, Noser H, Kuervers J, et al. The influence of sacral morphology on the existence of secure S1 and S2 transverse bone corridors for iliosacroiliac screw fixation[J]. *Injury*, 2013, 44(12): 1773-1779. DOI: 10.1016/j.injury.2013.08.006.
- [32] Lonstein JE, Denis F, Perra JH, et al. Complications associated with pedicle screws[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1999, 81(11): 1519-1528. DOI: 10.2106/00004623-199911000-00003.
- [33] Banierink H, Meesters AML, Ten Duis K, et al. Does 3D-assisted operative treatment of pelvic ring injuries improve patient outcome? -a systematic review of the literature[J]. *J Pers Med*, 2021, 11(9): 930. DOI: 10.3390/jpm11090930.
- [34] Shannon SF, Oppizzi G, Schloss MG, et al. Do fully threaded transiliac-transsacral screws improve mechanical stability of vertically unstable pelvic fractures? a cadaveric biomechanical analysis[J]. *J Orthop Trauma*, 2021, 35(1): e18 - e24. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001857.
- [35] Salazar D, Lannon S, Pasternak O, et al. Investigation of bone quality of the first and second sacral segments amongst trauma patients: concerns about iliosacral screw fixation[J]. *J Orthop Traumatol*, 2015, 16(4): 301-308. DOI: 10.1007/s10195-015-0354-y.
- [36] Sanders D, Fox J, Starr A, et al. Transsacral-transiliac screw stabilization: effective for recalcitrant pain due to sacral insufficiency fracture[J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(9): 469 - 473. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000596.

(收稿日期:2023-08-02)

(本文编辑:王辰)

