

·综述·

骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折及辅助置钉技术的研究进展

孟士超¹ 吴斗² 赵恩哲² 郜振武² 刘强²

【摘要】 骨盆后环骨折,即 Tile B 和 Tile C 型骨盆骨折,对于不稳定骨盆骨折,需手术治疗。微创骶髂螺钉内固定作为一种有效治疗方法,以其感染风险低,术中失血少,侵入性小,术后可早期功能锻炼的特点,已广泛应用于临床当中。但骶髂螺钉内固定根据其生物力学特性,对其置钉数量、骶椎置钉节段及是否应用骶髂贯穿螺钉仍存在争议。同时多种辅助置钉技术已在骨科术中开展,提高了置钉安全性及精准性,也已在临床广泛应用。但不同辅助技术仍存在不足,笔者就骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折及辅助置钉技术的研究进展综述如下。

【关键词】 骶髂螺钉; 骨盆; 骨折; 骨科机器人; 3D打印技术

Research on novel sacroiliac screw in the treatment of posterior pelvic ring fracture and auxiliary placement techniques Meng Shichao¹, Wu Dou², Zhao Enzhe², Gao Zhenwu², Liu Qiang². ¹Third Clinical Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China; ²Department of Orthopaedics, Shanxi Bethune Hospital, Taiyuan 030032, China

Corresponding author: Wu Dou, Email: douwu0656@163.com

【Abstract】 Fractures of the posterior ring of the pelvis, as Tile B and Tile C pelvic fractures, need surgical treatment for unstable pelvic fractures. As an effective treatment, minimally invasive sacroiliac screw fixation has been widely used in clinic because of its low risk of infection, less blood loss, less invasion and early functional exercise after operation. However, according to the biomechanical characteristics of sacroiliac screw internal fixation, there is still controversy about the number of screws, the segment of sacroiliac screw placement and whether to use sacroiliac penetrating screw. At the same time, a variety of auxiliary nail placement techniques have been carried out in orthopedic surgery, which have improved the safety and accuracy of nail placement, and have been widely used in clinic, but different auxiliary techniques are still inadequate. The research progress of sacroiliac screw in the treatment of posterior pelvic ring fracture and auxiliary nail placement are summarized as follows.

【Key words】 Sacroiliac screw; Pelvis; Fractures; Orthopedic robot; 3D printing technology

骨盆后环骨折,即 Tile B 和 Tile C 型骨盆骨折,在不稳定型骨盆骨折中,属于高发病率和高死亡率的骨折类型^[1],其发生率占 17%~30%^[2]。通过手术实现骨盆前、后环的复位和稳定,是目前治疗的金标准^[3],但具体手术方式、内固定选择以及对应的预后是存在争议的。重建骨盆后环的稳定可通过开放或闭合两种手术方式实现,二者生物力学稳定性相近,且 2 枚骶髂螺钉维持复位性,优于可调式微创接骨板与张力带接骨板^[4-5]。有研究证明,骶髂螺钉固定的抗垂直剪切力和抗旋转力较其他内固定材料更优^[6]。传统的切开复位内固定可实现骨折复位,早期负重和活动,住院时间更短,较非手术治疗预后更好,且死亡率更低,但存在出血量大、伤口感染率高的问题^[3]。

自 1989 年提出经皮骶髂螺钉(S₁螺钉)治疗骨盆后环骨折以来,S₁螺钉被认为是治疗骨盆后环骨折的“金标准”^[7]。经皮骶髂螺钉固定可减少感染风险,减少术中失血量,是一种侵入性较小的有效治疗方法。一些作者认为经皮 S₁螺钉固定是唯一重建骨盆后环稳定的微创技术^[8]。但是,随着上骶椎(S₁)畸形得到广泛认可,和术者对生物力学稳定性的要求越来越高,人们开始探索经皮第二骶椎(S₂)螺钉固定技术及骶髂贯穿螺钉的临床应用。

传统徒手置钉对于年轻外科医师更具挑战性,导致螺钉位置偏移的风险较高。同时,术中需要 C 臂引导下反复透视,增加了电离辐射的损伤风险,而且螺钉位置偏移的风险较高。在正常患者中,内固定错位发生率可达 12%,在骶骨解剖变异的病例中,错位发生率甚至达到 28%^[9]。最常见的是损伤闭孔神经和腰骶干以及髂内动静脉,发生率高达 8%。此外还包括胃肠道和泌尿生殖系统损伤等并发症^[10]。同时,螺钉错位会增加内固定失败率,导致预后不良,翻修率升高^[11]。因此,计算机导航辅助、3D 打印个体化导航模板、骨科机器人

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2021.03.011

基金项目: 山西省自然科学基金(201901D111406)

作者单位: 030001 太原,山西医科大学第三临床医院¹; 030032 太原,山西白求恩医院骨科²

通信作者: 吴斗, Email: douwu0656@163.com

和体外导向器的临床应用随之产生。这些先进的辅助置钉技术提供了精确和safe的手术方式,降低了手术难度。基于以上讨论,如何选择骶髂螺钉数量、长度、位置以及有效利用辅助置钉技术,是当前研究的热点。下文笔者就骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折及辅助置钉技术的研究进展展开综述。

一、骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折

经髂骨、骶髂关节置入1至2枚空心螺钉,远端达骶椎椎体中线对侧,可以为骨盆后环提供坚强固定。研究表明,骨盆骨折复位不良和畸形愈合会导致慢性疼痛和功能减退^[9]。但治疗骨盆后环损伤的最佳术式是存在争议的。在最近的一篇Meta分析中,Papakostidis等^[12]对652例经后路固定骶髂关节患者随访,73%的患者复位满意,19%的患者复位良好,7%的患者复位不良。在另一项研究中,Lindsay等^[13]比较了在不稳定骨盆后环损伤中,闭合复位经皮骶髂螺钉内固定(closed reduction and percutaneous fixation, CRPF)和切开复位内固定(open reduction internal fixation, ORIF)的作用,发现只有当符合满意的复位时,这些技术才具有可比性;对于维持不稳定骨盆后环损伤的复位,CRPF与ORIF效果一致。所以在不需要切开复位的情况下,临床首选就CRPF手术。CRPF的优点是患者仰卧位即可满足手术要求,手术时间短,出血量少,易于前环稳定,感染率低。在术前,最重要的治疗是早期通过骨牵引纠正垂直移位,避免移位过大,并做到损伤控制。在骨科术前有效减少住院不良事件和其他手术打击,是骨折复位固定的有利因素^[14]。

(一)置钉数量及骶椎置钉节段

Zhang等^[15]通过建立不稳定Tile B型和Tile C型骨盆环损伤的有限元模型,采用单枚S₁螺钉(S₁-1)、单枚S₂螺钉(S₂-1)、两枚S₁螺钉(S₁-2)以及单枚S₁和单枚S₂螺钉的组合(S₁-S₂)进行建模,比较四种固定方法对旋转和垂直型不稳定骨盆骨折的生物力学测试结果,记录并分析双侧站立时的螺钉位移和折弯的数值。结果显示在Tile B型和C型骨折中,S₂-1组移位最大,分别为1.58 mm和1.90 mm,且螺钉折弯角度最大,分别为1.55°和1.95°。螺钉位移、折弯的数值由大到小依次为S₂-1、S₁-1、S₁-2和S₁-S₂。该研究证实,单螺钉S₁内固定是治疗Tile B型骨折的理想内固定方法;对于Tile C型骨折,骨盆后环处的剪切力更大,为防止螺钉弯曲和断裂受损,可以考虑使用双螺钉内固定(S₁-S₂),以增加生物力学稳定性。在四种固定方式中,S₂-1固定的稳定性最差,这可能是由于S₂螺钉轴线距S₁终板更远,力臂增大,扭矩增加,导致螺钉位移增大。双螺钉固定时,S₁-S₂内固定比S₁-2内固定更稳定,且两枚螺钉放置得越紧密,位移就越大。同时,骨盆的不对称性提供了固有的侧向弯曲稳定性,而不同固定方式对螺钉折弯影响差异不明显,这与以前的研究一致^[16]。但这项研究有其局限性:首先,该研究是基于实现解剖复位为实验条件的;第二,该模型没有考虑骨密度。老年脆性骨盆骨折是目前研究热点,可以预计,骨质疏松模型会显示更大的内固定移位^[17-18]。在生物力学研究方面,也证实了在固定骨盆后环损伤时,2枚骶髂螺钉较1枚螺钉更稳定^[19-20]。

目前临床治疗仍存在争议,最新研究表明^[21],骨盆后环损伤最佳内固定方式为改良后的三角固定系统,其次是S₁-S₂螺钉内固定、S₁螺钉内固定和钢板内固定。在传统的三角固定系统(triangular osteosynthesis, TOS)中,椎弓根螺钉固定在L₄和L₅之间或L₅和S₁之间,连杆需要预弯,这可能会降低其强度。此外,在临床应用中,可能需要切断椎旁肌肉以插入连杆。因此,传统的TOS手术费时费力,同时会造成较大的创伤。改良TOS固定方法采用椎弓根螺钉固定L₅、L₄,在这种情况下,更容易满足连杆预弯要求,其强度也将保持不变。考虑到在垂直剪切损伤中,骶髂螺钉失效的发生率较高,在未来应对改良TOS的性能展开研究,包括长期稳定性,周围软组织应力性退变和内固定松动失效等^[22]。

(二)骶髂贯穿螺钉的应用

由于S₂骶髂螺钉置入难度大、风险高,在临床尚未得到广泛应用。一方面,CT测量研究表明,在正常解剖条件下,S₂椎体的置钉安全区小于S₁椎体,置钉角度的容错率较低^[23]。另一方面,术中需要清晰的透视图像来辨别解剖结构。Hinsche等^[24]使用骨盆标本比较了基于X线透视的多平面图像导航系统和基于标准透视的S₁和S₂骶髂关节置钉。结果表明,无论采用何种方法,S₂置钉的失败率均高于其他方法,进一步研究发现常规透视出口位不能充分显示S₂椎弓根,置钉存在风险。

而在单枚螺钉的情况下,S₁骶髂贯穿螺钉的长度比标准的骶髂螺钉要长,并达到对侧皮质固定,有生物力学研究显示,一枚骶髂贯穿螺钉和一枚骶髂螺钉的组合较两枚标准骶髂螺钉可提供更高的稳定性,抗垂直剪切力更佳^[25-26],成为外科医生研究及临床应用的热点。然而,在Salari等^[27]研究中发现,在长螺钉没有穿透对侧骶髂关节的情况下,标准骶髂螺钉和长骶髂螺钉的稳定性没有显著差异,这表明当螺纹穿过对侧骶髂关节和髂骨皮质时,稳定性最高。

为防止健侧骶髂关节疼痛、僵硬和延迟康复,一些外科医生避免固定健侧骶髂关节。但在Heydemann等^[28]报告中,使用骶髂贯穿螺钉行后路骨盆固定的53名患者,一年后随访,疼痛和功能评分较标准骶髂螺钉固定患者无显著差异。然而在该研究中,只纳入年轻患者(平均年龄41岁),所以不可能与老年患者进行直接比较。目前尚不清楚老年脆性骨盆骨折选择何种固定方式有更好的临床效果,这可能是未来研究的主题。

S₁骶髂贯穿螺钉置入的术中难点是寻找安全的骨性通道,以避免神经压迫或血管损伤,并在置入过程中保持螺钉导针的轨迹和方向不偏转。由于骨性通道狭窄,容错率低,这意味着即使导针稍有偏转也可能导致错位置钉,损伤神经、血管^[29]。此外,较厚的软组织、手术中错误的骶骨侧位透视图像和患者的术中体位也可能干扰手术^[30],所以术前需详细评估患者骨盆CT数据,制定周密术前计划。

但是多项研究讨论了骶髂关节正外侧的髂前致密区与骶翼前皮质的解剖关系,这对于确定安全骨性通道和合适的置钉点至关重要^[31]。在真实的骶骨侧位透视图像上,二者是

共面的。但对于骶骨变异的患者,二者在侧位相解剖夹角变大, S_1 置钉即存在风险^[32,33]。对于骶骨变异的患者, S_2 节段变异率低,更适合置入骶髂贯穿螺钉^[34],这就需要在术中应用辅助置钉技术。

(三)全螺纹螺钉或部分螺纹螺钉的选择

有生物力学研究显示,全螺纹螺钉可以提供更强的刚度,降低内固定失败的风险^[35]。但是,为了达到加压效果,最好使用部分螺纹螺钉从而复位增宽的骶髂关节。如果对于经骶椎间孔骨折、骨质疏松患者,应使用全螺纹螺钉以避免加压效应,可以减少神经损伤^[36]。

(四)治疗老年脆性骨盆骨折

为了优化骶髂螺钉在骨质疏松骨中的置钉位置,Thiesen等^[37]研究利用CT数据创建彩色编码的骨盆三维模型热图,可视化并确定骨盆后环中的骨量分布,区分正常骨盆和骨密度减低骨盆的骨分布模型,并在健康和骨质疏松的骨盆中确定 S_1 和 S_2 中骨量较好的区域。通过测量324例第5腰椎(L_5)和 S_1 和 S_2 置钉通道的骨密度及热图平均密度值,发现 L_5 热图平均密度值 ≤ 100 HU的患者骨密度明显减低,且发现 L_5 骨密度与 S_1 、 S_2 骨密度呈显著正相关, S_1 置钉通道骨密度显著高于 S_2 。 S_2 椎体前1/3和上部的骨密度较高,而 S_1 椎体的骨密度后部和上部骨质较致密,前1/3明显低于中部,椎体上部明显高于中段。但是有生物力学研究表明^[26],骶髂贯穿螺钉的最佳位置是在 S_1 椎体的前部,该区域的螺纹张力最大。且有回顾性分析^[38]显示,放置在椎体中央的螺钉松动率明显高于椎体前部的螺钉松动率,但该研究通过分析术后入口位来定义螺钉位置,不如CT图像准确,这可能影响了他们的结果。而且,螺钉的稳定性通常是通过固定前皮质来确保的,而不只固定单纯松质骨。在健康的骨骼中,将螺钉放置在 S_1 椎体的中央上部可以获得更好的螺钉固定效果。螺钉松动和皮质接触的确切作用可能是未来生物力学研究的主题,可以通过骨量分布的彩色编码热图,帮助外科医生决定最合适的骶髂螺钉置钉通道。

(五)骶髂螺钉取出

虽然大多数外科医生认为,螺钉错位并伴有症状的情况下,才有必要取出植入物,但骶髂螺钉取出的适应症一直存在争议。而螺钉无错位或无内固定失效的情况下,只有出现并发症才取出植入物,还是常规取出螺钉,其益处一直存在不确定性。有研究^[39]显示,置钉术后有症状的患者在取出内植物后,只有大约三分之一患者的症状得到了缓解。该研究对19例骨盆后环骨折患者进行回顾性研究,所有患者均接受标准骶髂螺钉固定并取出内固定物,至少置入一枚 S_1 螺钉,有9例患者同时置入一枚 S_2 螺钉。螺钉取出术中7例(37%)需要额外的骨科手术器械或手术时间较置入螺钉时间延长10分钟以上,该研究认为取出螺钉垫圈是主要因素。同时取出螺钉术后并发症发生率为1/19(12.8%),表现为尿路感染。

二、骶髂螺钉辅助置钉技术

(一)O-ARM导航系统辅助置钉

O-ARM导航系统是新一代的术中成像平台,可提供实

时三维图像。Merritt等^[40]证明应用O-ARM导航系统辅助骶髂螺钉置入治疗骶骨骨折,可提高置钉准确性,缩短手术时间,减少术后并发症。

与传统术中C臂透视导航相比,O-ARM导航系统明显缩短手术时间。Lu等^[41]研究中使用的O-ARM导航系统由O-ARM手术透视系统、显示图像系统和美敦力手术导航系统组成。它可以在60 s内完成高质量的图像采集、三维重建和传输过程,扫描的数据可以直接传输到导航计算机进行自动匹配和配准,与术前CT导航、术中二维C臂导航等相比,明显简化了配准过程,进一步缩短了手术时间^[42]。该研究中O-ARM导航系统术中仅需13 s即可获得高质量图像,30 s内即可完成三维重建,与美敦力导航系统连接后自动完成配准。

该导航系统可以直观地显示手术器械与重要解剖结构相对位置关系,明确提高置钉准确性^[43]。在Lu等^[41]的研究中,O-ARM辅助骶髂螺钉置入的总体优良率为95.45%,没有螺钉穿过骶椎椎弓根或骶椎皮质进入骶管或骨盆。而C臂螺钉置入优良率为73.91%,在C臂组中,6例(26.09%)螺钉放置不良,且螺钉放置不良只能通过术后CT扫描证实。相比之下,O-ARM组仅有1例(4.55%)螺钉放置不良,归因于术中参考架位移,导致图像漂移,继而螺钉错位。同时O-ARM导航系统可以在置钉后立即对术区进行3D扫描,及时修正或取出错位的螺钉,以避免再次手术。

对于该技术应用于辅助骶髂螺钉置入术中,术后并发症报道无明显神经症状^[41,44],Lu的研究中2例术后出现左下肢麻木,经脱水、激素、营养神经治疗等对症治疗后3个月缓解;在术后1个月和3个月,O-ARM组的Majeed功能评分明显高于C臂对照组。

但该导航系统也存在不足:(1)在主要手术操作前,需要将定位标志固定在健侧髂嵴或耻骨联合,这是一项有创性操作,同时在每次插入导针之前,必须使用智能可识别套筒接触定位标志,以验证导航图像是否与解剖标志相对应。参照框应尽可能靠近手术区域(骶骨外侧的进针点),因为参照框距离手术区域太远也会造成图像漂移,造成置钉错位^[45]。同时术中需保持定位标志和患者体位的绝对稳定,是O-ARM导航准确置钉的重要前提。定位标志的松动或相对患者骨盆位移均会导致图像漂移,最终置钉失败。(2)只有经过专业技术人员的培训,才能使用导航计算机及成像传输系统,学习曲线长;且需要定期设备维护,导致了额外的成本。同时对手术室设施有客观要求,手术室的容积、通道、墙壁保护和地板强度必须考虑到每台机器的特点^[46-47]。总之,O-ARM导航系统在骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折中的优越性已被证明,而人类-机器人协同操作很快接踵而至,需要我们更好的将二者结合,发挥优势。

(二)3D打印个体化导航模板

该技术是基于患者骨盆CT数据三维图像重建和逆向工程而设计的个性化导航模板,为置入导针提供了除计算机3D导航、机器人导航以外的选择方案,可在中等和初级医院应用拓展^[48]。Wu等^[49]设计的一款组配式3D打印导航模板,

由底板和导管组成。该装置的特点在于可拆卸并在切口处组装,并可以在不更换底板的情况下置入多个螺钉。其优势在于通过术中组配导管,减少了皮肤张力对置入螺钉的准确性,特别是对于S₁骶髂贯穿螺钉;其次,对于需要放置多枚螺钉的患者,不需取出引导底板即可完成置钉,提高了准确性。但这类技术有共同的不足:需要大约5厘米的切口和剥离骨面软组织,以提供与底板匹配的清晰骨面,一旦有软组织残留,或者骨性标志不能约束导板导致二者产生相对移位,就会造成误差,同时剥离软组织过大又会造成神经、血管损伤^[50]。Yang等^[51]根据相同原理设计了一款体外导向模板,该器械适用于急诊行骨盆外固定架患者。他将导板与外固定针相结合,不需要切口放置导板,且可以结合Starr架复位固定骨折,为该项技术提供了新思路。

(三)“天玑”骨科手术机器人导航系统

我国拥有该系统自主知识产权,也是第一款获得中国食品药品监督管理局认证的万能骨科导航机器人,适用于空心螺钉微创治疗骨折移位小或经闭合/有限切开复位的骨盆髌臼损伤^[52]。该系统主要由手术规划和控制系统、机械臂、光学示踪系统组成,对于该系统辅助骶髂螺钉置入,主要操作过程如下^[52]:常规消毒麻醉后,患者保持仰卧位或俯卧位,在行闭合或有限切开骨折复位后,将示踪器固定于健侧骨性标志,并组装机械臂及余光学示踪器,通过位于患者脚侧的光学示踪系统及C型臂或O型臂完成影像信息采集,数据上传至主机控制系统,医生在主机手术规划系统制定螺钉入路,自动操控机械臂远端带有光学示踪的定位导向器移至预定入钉点,完成导针置入,随后由医生在导针引导下完成螺钉置入。需要注意的是,在骨盆后环损伤术中图像导航图像采集,需标准的骨盆入口、出口位,骨盆侧位,同时在图像传输过程中,必须保持光学示踪器不被遮挡,且相对于术区位置,定位于骨性标志的示踪器不能产生位移。

近期多项研究表明:机器人辅助骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折提高了安全性和准确性,可以减小手术创伤及失血量、缩短手术时间,减少电离辐射,提高了手术效率^[53-54]。其优势在于:精确度可达亚毫米级,无需重复术中检查;传统的导航系统不能实现对患者空间位置的实时反馈,手术过程中术区相对定位器的位移容易导致导航系统和实际位置的图像漂移,TiRobot使用电子光学跟踪系统实时捕捉患者的空间位置,并反馈给术者以避免置钉失败;增加了机械臂部分,提高了操作的稳定性,降低了误差。但其仍有不足:首先,机械臂在运动过程中的空间位置依赖于光学跟踪,一旦跟踪器与光学跟踪装置之间的路径被遮挡,机器人就会无法完成定位;其次,机器人手术成本高,普及难度大;第三,设备需要专业技术人员定期维护,且对手术室设备有客观要求,这无形增加了手术成本^[52]。

但总体而言,机器人辅助治疗是多学科交互发展的重大创新,随着智能图像识别与重建、自动手术规划、智能人机交互、5G时代的远程手术、增强现实技术的发展,骨科机器人必将为骨科现代化做出更大贡献^[14,55,56]。

(四)体外导向器

连永生等^[57]设计一款骶髂螺钉体外导向器,该器械主要由定位器、角度调节器等组成。角度调节器远端带有导针导向孔。术者根据患者术前CT模拟置钉,测量S₁水平面置入角TSA、矢状面置入角SSA及体外进针点与中线间距,结合术中C臂透视定位,在该器械引导下完成S₁单枚骶髂螺钉导针单侧置入,完成置钉。在本项研究中,为15位患者共置钉18枚且术后复查CT,螺钉位置满意。Pan等^[58]根据相同原理研制了另一款骶髂螺钉体外导向器,并进行了初步临床应用。该导向器由一个可调节高度及验证水平的三脚架、一个角度控制齿轮和一个导向套筒组成,导向套筒的远端可拆卸和灭菌。角度控制齿轮包含三个角度调整旋钮,可在三个平面内(横截面、矢状面和冠状面)调整导轨并锁定,然后根据术前CT扫描获得的参数,确定最佳的置钉角度和入钉点,调整导向器的三个角度,完成导针置入。在该研究中,为8例骶髂关节骨折脱位患者置钉8枚,术后复查螺钉置入满意,且无并发症。这两款导向器的优势在于结合术前患者CT测量数据,应用导向器,降低了手术难度,提高了置钉准确性及安全性,且减少了术中透视次数,在有CT扫描的基层医院亦可完成手术。但该器械需结合术中体表中线投射定位确定进钉点,导向器只能间接验证与人体三维平面完全一致,所设置角度调节器易产生误差导致置钉失败,需术者根据透视结果验证置钉结果。

Zheng等^[59]点对点同轴原理,研制了一款导向器辅助骶髂贯穿螺钉置入。该装置由两个可拆卸及组合的直角手柄组成。两个手柄可以在远端形成同轴通道,并可以通过两个套管,完成导针置入。在该研究中,应用该装置共为20例患者完成骶髂贯穿螺钉置入,螺钉位置满意,术后无并发症。该装置的特点在于手术持续时间和透视曝光次数显著减少,而且不需要昂贵的手术器械,因为导向装置的制造比机器人、O臂导航系统或3D导航模板更简单、更便宜^[52]。但需要术者具有丰富的手术经验,正确解读术中影像,以验证复位和植入。同时,术中需获得标准骶骨侧位,以确定导针的进针点和对侧出针点。

综上所述,微创骶髂螺钉治疗不稳定骨盆后环骨折,选择合适的螺钉数目、固定骶椎节段及配合辅助置钉系统,如果在没有螺钉移位的情况,最终可以获得良好的治疗效果,但二者均是在有效复位的前提下才能发挥其满意的作用。这就需要术者严格把握骨盆后环骨折手术适应症,熟练掌握复位技术,从生物力学的角度理解骨质量或骨密度与手术效果和长期预后之间的关系,灵活运用不同内固定方式,并不断学习、掌握最新的辅助置钉系统,从而取得更好的临床疗效。

参 考 文 献

- 1 Ruatti S, Guillot S, Brun J, et al. Which pelvic ring fractures are potentially lethal? [J]. Injury, 2015, 46(6): 1059-1063.
- 2 McLachlin S, Lesieur M, Stephen D, et al. Biomechanical analysis of

- anterior ring fixation of the ramus in type C pelvis fractures [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018, 44(2): 185-190.
- 3 Santoro G, Braidotti P, Gregori F, et al. Traumatic sacral fractures: navigation technique in instrumented stabilization [J]. *World Neurosurg*, 2019, 131: 399-407.
- 4 Elzohairy MM, Salama AM. Open reduction internal fixation versus percutaneous iliosacral screw fixation for unstable posterior pelvic ring disruptions [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(2): 223-227.
- 5 吴涛, 程晓东, 崔蕴威, 等. 不同内固定方式固定骶髂关节脱位的三维有限元分析 [J]. *河北医科大学学报*, 2018, 39(9): 1026-1030.
- 6 Zheng Z, Zhang Y, Hou Z, et al. The application of a computer-assisted thermoplastic membrane navigation system in screw fixation of the sacroiliac joint--a clinical study [J]. *Injury*, 2012, 43(4): 495-499.
- 7 Matta J M, Saucedo T. Internal fixation of pelvic ring fractures [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, undefined: 83-97.
- 8 Mendel T, Radetzki F, Wohlrab D, et al. CT-based 3-D visualisation of secure bone corridors and optimal trajectories for sacroiliac screws [J]. *Injury*, 2013, 44(7): 957-963.
- 9 Long T, Li KN, Gao JH, et al. Comparative study of percutaneous sacroiliac screw with or without TiRobot assistance for treating pelvic posterior ring fractures [J]. *Orthop Surg*, 2019, 11(3): 386-396.
- 10 Zwingmann 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.
- 11 Boudissa M, Roudet A, Fumat V, et al. Part 1: outcome of posterior pelvic ring injuries and associated prognostic factors - a Five-Year retrospective study of one hundred and sixty five operated cases with closed reduction and percutaneous fixation [J]. *Int Orthop*, 2020, 44(6): 1209-1215.
- 12 Papakostidis C, Kanakaris NK, Kontakis G, et al. Pelvic ring disruptions: treatment modalities and analysis of outcomes [J]. *Int Orthop*, 2009, 33(2): 329-338.
- 13 Lindsay A, Tornetta P3, Diwan A, et al. Is closed reduction and percutaneous fixation of unstable posterior ring injuries as accurate as open reduction and internal fixation? [J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(1): 29-33.
- 14 张英泽. 创伤骨科治疗的现状与展望 [J]. *中华外科杂志*, 2019, 57(1): 19-22.
- 15 Zhang LH, Peng Y, Dub C, et al. Biomechanical study of four kinds of percutaneous screw fixation in two types of unilateral sacroiliac joint dislocation: A finite element analysis [J]. *Injury*, 2014, 45(12): 2055-2059.
- 16 Wang M, Dumas GA. Mechanical behavior of the female sacroiliac joint and influence of the anterior and posterior sacroiliac ligaments under sagittal loads [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1998, 13(4/5): 293-299.
- 17 李明, 童培建, 陈华, 等. 老年脆性骨盆骨折围术期治疗的热点问题 [J]. *中华创伤杂志*, 2020, 36(8): 678-685.
- 18 张英泽. 不同历史阶段老年骨科治疗方式的回顾与展望 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2018, 4(1): 1-3.
- 19 Khaled SA, Soliman O, Wahed MA. Functional outcome of unstable pelvic ring injuries after iliosacral screw fixation: single versus two screw fixation [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2015, 41(4): 387-392.
- 20 Salásek M, Pavelka T, Křen J, et al. [Minimally invasive stabilization of posterior pelvic ring injuries with a transiliac internal fixator and two iliosacral screws: comparison of outcome] [J]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2015, 82: 41-7.
- 21 Lu YT, He YQ, Li WT, et al. Comparison of biomechanical performance of five different treatment approaches for fixing posterior pelvic ring injury [J]. *J Healthe Eng*, 2020: 1-11.
- 22 Santolini Emmanuele, Kanakaris Nikolaos K, Giannoudis Peter V. Sacral fractures: issues, challenges, solutions [J]. *EFORT Open Rev*, 2020, 5: 299-311.
- 23 Carlson D, 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.
- 24 Hinsche AF, Giannoudis PV, Smith RM. Fluoroscopy-based multiplanar image guidance for insertion of sacroiliac screws [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2002 (395): 135-144.
- 25 Zhao Y, Li JM, Wang D, et al. Comparison of stability of two kinds of sacro-iliac screws in the fixation of bilateral sacral fractures in a finite element model [J]. *Injury*, 2012, 43(4): 490-494.
- 26 Zhao Y, Zhang S, Sun T, et al. Mechanical comparison between lengthened and short sacroiliac screws in sacral fracture fixation: A finite element analysis [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2013, 99(5): 601-606.
- 27 Salari P, Moed BR, Bledsoe JG. Supplemental S1 fixation for type C pelvic ring injuries: biomechanical study of a long iliosacral versus a transsacral screw [J]. *J Orthop Traumatol*, 2015, 16(4): 293-300.
- 28 Heydemann J, Hartline B, Gibson ME, et al. Do transsacral-transiliac screws across uninjured sacroiliac joints affect pain and functional outcomes in trauma patients? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2016, 474(6): 1417-1421.
- 29 Michael JG, Routt MC. Transiliac - transsacral screws for posterior pelvic stabilization [J]. *J Orthop Trauma*, 2011, 25(6): 378-384.
- 30 Eastman JG, Kuehn RJ, Chip RJ. Useful intraoperative technique for percutaneous stabilization of bilateral posterior pelvic ring injuries [J]. *J Orthop Trauma*, 2018, 32(5): e191-e197.
- 31 Miller AN, Routt MJ. Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2012, 20(1): 8-16.
- 32 Giannoudis PV, Papadokostakis G, Alpantaki K, et al. Is the lateral sacral fluoroscopic view essential for accurate percutaneous sacroiliac screw insertion? An experimental study [J]. *Injury*, 2008, 39(8): 875-880.
- 33 König MA, Sundaram RO, Saville P, et al. Anatomical considerations for percutaneous trans ilio-sacroiliac S1 and S2 screw placement [J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(6): 1800-1805.
- 34 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.
- 35 Weil YA, Qawasmi F, Liebergall M, et al. Use of fully threaded cannulated screws decreases femoral neck shortening after fixation of femoral neck fractures [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2018, 138(5): 661-667.
- 36 Lichte Philipp, Alabdulrhaman Hatem, Pishnamaz Miguel, et al. [Percutaneous screw techniques for the pelvic ring and acetabulum] [J]. *Unfallchirurg*, 2019, 122: 387-403.
- 37 Thiesen DM, Ntalos D, Berger-Groch J, et al. The three-dimensional bone mass distribution of the posterior pelvic ring and its key role in transsacral screw placement [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 5690.

- 38 Kim JW, Oh CW, Oh JK, et al. The incidence of and factors affecting iliosacral screw loosening in pelvic ring injury [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(7): 921-927.
- 39 Osterhoff G, Noser J, Sprengel K, et al. Rate of intraoperative problems during sacroiliac screw removal: expect the unexpected [J]. BMC Surg, 2019, 19(1): 39.
- 40 Liu Z, Jin M, Qiu Y, et al. The superiority of intraoperative o-arm navigation-assisted surgery in instrumenting extremely small thoracic pedicles of adolescent idiopathic scoliosis: a Case-Control study [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(18): e3581.
- 41 Lu S, Yang K, Lu C, et al. O-arm navigation for sacroiliac screw placement in the treatment for posterior pelvic ring injury [J]. Int Orthop, 2021, undefined: undefined.
- 42 He J, Tan G, Zhou D, et al. Comparison of isocentric C-Arm 3-Dimensional navigation and conventional fluoroscopy for percutaneous retrograde screwing for anterior column fracture of acetabulum: an observational study [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(2): e2470.
- 43 Verma SK, Singh PK, Agrawal D, et al. O-arm with navigation versus C-arm: a review of screw placement over 3 years at a major trauma center [J]. Br J Neurosurg, 2016, 30(6): 658-661.
- 44 Ghisla S, Napoli F, Lehoczy G, et al. Posterior pelvic ring fractures: Intraoperative 3D-CT guided navigation for accurate positioning of sacro-iliac screws [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2018, 104(7): 1063-1067.
- 45 Lu J, Chen W, Liu H, et al. Does pedicle screw fixation assisted by O-Arm navigation perform better than fluoroscopy-guided technique in thoracolumbar fractures in percutaneous surgery?: a retrospective cohort study [J]. Clin Spine Surg, 2020, 33(6): 247-253.
- 46 Tonetti J, Boudissa M, Kerschbaumer G, et al. Role of 3D intraoperative imaging in orthopedic and trauma surgery [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2020, 106(1S): S19-S25.
- 47 刘曦明, 陈龙, 汪国栋, 等. 3D导航下微创空心螺钉内固定治疗中老年Tilt骨盆骨折的疗效观察 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2018, 4(3): 151-157.
- 48 穆卫庐, 常军英, 贾东昭, 等. 3D打印手术导板引导骶髂螺钉置入的手术技术介绍 [J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(7): 767-773.
- 49 Wu C, Jy D, Li T, et al. Combined 3D printed template to guide iliosacral screw insertion for sacral fracture and dislocation: a retrospective analysis [J]. Orthop Surg, 2020, 12(1): 241-247.
- 50 王祎, 张立峰, 王斌, 等. 骶髂关节螺钉新型辅助置钉技术的研究进展 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(6): 507-511.
- 51 Yang F, Yao S, Chen KF, et al. A novel patient-specific three-dimensional-printed external template to guide iliosacral screw insertion: a retrospective study [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 397.
- 52 Wu XB, Wang JQ, Sun X, et al. Guidance for treatment of pelvic acetabular injuries with precise minimally invasive internal fixation based on the orthopaedic surgery robot positioning system [J]. Orthop Surg, 2019, 11(3): 341-347.
- 53 Liu HS, Duan SJ, Liu SD, et al. Robot-assisted percutaneous screw placement combined with pelvic internal fixator for minimally invasive treatment of unstable pelvic ring fractures [J]. Int J Med Robot, 2018, 14(5): e1927.
- 54 Wang J, Zhang T, Han W, et al. Robot-assisted S2 screw fixation for posterior pelvic ring injury [J]. Injury, 2020: S0020-1383(20)30969.
- 55 张英泽. 发现与发明对自然科学的推进作用 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2020, 6(5): 248-250.
- 56 张爱民, 方艳伟, 张英泽. 增强现实技术在创伤骨科疾病的应用现状 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2017, 3(2): 120-123.
- 57 连永生, 池永龙, 项大业, 等. 骶髂关节空心钉内固定导向器的研制及临床应用 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2011, 13(3): 238-241.
- 58 Pan WB, Liang JB, Wang B, et al. The invention of an iliosacral screw fixation guide and its preliminary clinical application [J]. Orthop Surg, 2012, 4(1): 55-59.
- 59 Zheng ZH, Xu F, Zq L, et al. A useful intraoperative technique for transiliac-transsacral screws: a point-to-point coaxial guide apparatus [J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1): 89.
- (收稿日期:2021-02-25)
(本文编辑:吕红芝)

孟士超, 吴斗, 赵恩哲, 等. 骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折及辅助置钉技术的研究进展 [J/CD]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2021, 7(3): 187-192.