

## 骨盆骨折后环损伤的诊断及治疗研究进展\*

谭 振<sup>1</sup>, 王光林<sup>1,2,△</sup>

1. 四川大学华西医院 骨科(成都 610041); 2. 广安市人民医院 骨科(广安 638500)

**【摘要】** 骨盆骨折是创伤骨科常见疾病之一,随着我国交通事故、高坠伤、挤压伤等事故的不断增加,骨盆骨折的发病率也逐年升高。由于骨盆的骨及韧带结构与盆腔、神经血管、空腔脏器及泌尿生殖结构紧密相邻,所以骨盆骨折的早期诊断及治疗是预防骨盆骨折早期并发症及晚期后遗症的主要手段。骨盆后环损伤的治疗一直是骨盆骨折治疗的重点。骨盆后环损伤的治疗主要采用外固定和内固定治疗,其适应症仍是骨盆骨折治疗的争论焦点,但对于不稳定型骨盆后环损伤,急诊行外固定治疗在急诊抢救中起到非常重要的作用。骨盆后环损伤常伴有神经损伤(腰骶丛神经损伤),其常导致疼痛、功能障碍等并发症的发生,由于其难治性,学者们对其展开了大量的基础研究,以期从基础研究获得临床创新的成功,从而在一定程度上修复神经损伤,降低骨盆后环损伤引起的并发症。因此,在创伤骨科规范诊疗的基础上,关注和应用这些进展,适时开展基础和临床研究,能提高骨盆骨折的诊治水平,达到更好为患者诊治、改善生存和预后的目的。

**【关键词】** 骨盆骨折后环损伤 骶髂关节脱位 骶髂螺钉 微创 不稳定型骶骨骨折 周围神经损伤

**Advances in Diagnosis and Treatment of Posterior Distal Injury of Pelvic Fracture** TAN Zhen<sup>1</sup>, WANG Guang-lin<sup>1,2,△</sup>. 1. Department of Orthopaedics, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Orthopaedics, Guang'an People's Hospital, Guang'an 638500, China

△ Corresponding author, E-mail: wglfrank@163.com

**【Abstract】** Pelvic fracture is one of the common diseases of traumatic orthopedics. With the increase of accidents such as traffic accidents, high craters and crush injuries in China, the incidence of pelvic fractures is also increasing year by year. Since pelvic bones and the ligament structure are close to neurovascular, cavity organs and the urogenital structure, early diagnosis and treatment of pelvic fractures is essential for preventing early complications and late sequelae. The treatment of pelvic ring injury has been the focus of pelvic fracture treatment, which determines the outcome of treatment. The application of external fixation and internal fixation to pelvic fracture is still subject to ongoing debate. For unstable pelvic ring injury, emergency external fixation plays a very important role. Pelvic ring injury is often accompanied with nerve injury (lumbosacral plexus injury), which often leads to pain, dysfunction and other complications. Because of its refractory, extensive studies have been undertaken to identify clinical innovations that may be able to repair nerve damage and reduce complications. These research advances can help improve the diagnosis and treatment of pelvic fractures and patient survival and prognosis.

**【Key words】** Pelvic fracture after ring injury Sacroiliac joint dislocation Sacroiliac screw Minimally invasive Unstable sacral fracture Peripheral nerve injury

在骨盆骨折中,后环损伤占到骨盆骨折的28%~45%<sup>[1]</sup>,后环损伤时神经血管易受累,且严重影响骨盆稳定性,治疗上尤为困难。骨盆骨折后环损伤主要可能累及髂骨、骶髂关节、骶骨,其中骶髂关节损伤是最常见的骨盆后环损伤。在骨盆骨折后环损伤中,骶髂关节脱位、经骶骨的骨折脱位因其解剖位置深,前方临近重要的血管及神经,是骨盆骨折后环损伤最难治疗的类型。但随着急诊医学、麻醉

学、计算机辅助科学等的不断进步,骨科内固定材料的不断发展,使得骨盆骨折后环损伤患者能够得到更好的治疗。本专题分别关注了骶髂关节脱位的分型及治疗、骶髂关节螺钉微创治疗骨盆后环损伤、不稳定型骶骨骨折的手术优化以及自体静脉神经导管修复周围神经的基础研究等问题,现做简要述评。

### 1 骶髂关节脱位的分型及治疗

人体的双侧骶髂关节是稳定骨盆后环最为重要的因素,其同时也是人身体中最为稳定的关节之一。因此,在骨盆骨折中,骶髂关节损伤意味着骨盆骨折患者受到严重的损伤,若骨盆骨折骶髂关节脱位常

\* 四川省科技厅科技支撑计划项目(No. 2013FZ0066)、四川省卫生和计生委员会普及应用项目(No. 17PJ128)和广安市2016年创新基金项目资助

△ 通信作者, E-mail: wglfrank@163.com

常预示着患者遭受了可能危及生命的严重损伤。

骨盆骨折根据其稳定性可以分为稳定型和不稳定型骨盆骨折,其稳定型的评估的决定因素是后方涉及到骶骨、髂骨的骶髂关节是否稳定。不稳定型骶髂关节可以分为部分不稳定骶髂关节、完全不稳定骶髂关节。20 世纪 80 年代,随着专家学者对骨盆骨折的认识不断加深,学者 Tile 根据受伤机制(前后挤压、侧方挤压和垂直分离)把骨盆骨折分为稳定型、旋转不稳定型、旋转与垂直不稳定型的 Tile 分型。后来学者们根据综合损伤机制、骨盆稳定程度把 Tile 分型进行改良形成 Tile AO Muller 分型。Tile AO Muller 分型仅对后环旋转不稳定及垂直不稳定进行划分,但该分型不能对骶髂关节脱位做出准确的分型,同时在后期的治疗过程中指导作用较弱。部分学者在临床中发现一部分骶髂关节脱位的患者表现为髂后翼主要骨折块向骶髂关节前方脱位,被学者们称作为骶髂关节前脱位,在治疗上主要可采用行前方髂窝入路撬剥复位、经皮骶髂关节螺钉固定术或双钢板固定术<sup>[2-7]</sup>。同时在临床上学者们常见的骶髂关节脱位是骶髂关节后脱位及新月形骨折脱位<sup>[8-13]</sup>。对于骶髂关节后脱位行骶髂关节后入路计算机导航下微创骶髂关节螺钉内固定术取得了较好的效果。同时在骶髂关节脱位中,学者们经常会遇到特殊的经骶骨骨折的骶髂关节脱位,该类骨折患者因常合并有神经损伤,其预后相对较差,学者们主要采用经后路脊柱骨盆固定(闭口万向螺钉骶髂固定系统联合后路部分脊柱内固定系统)术以及闭口万向螺钉骶髂固定系统联合后路部分脊柱内固定系统的腰椎-骨盆内固定术等方法进行固定<sup>[14]</sup>。

谭振等<sup>[15]</sup>总结了 25 例骶髂关节脱位的患者,根据骶髂关节脱位方向,是否合并髂骨、骶骨骨折及骨折形态等将骶髂关节脱位患者分为 4 型。I 型(骶髂关节前脱位),髂后翼主要骨折块向骶髂关节前方脱位;II 型(骶髂关节后脱位),髂后翼主要骨折块向骶髂关节后方脱位;III 型(新月形骨折脱位),髂后翼向上脱位伴经髂翼后上斜行骨折(根据 DAY 等<sup>[13]</sup>的研究中对新月形骨折脱位分为 3 种亚型);IV 型(经骶骨骶髂关节脱位):经骶骨骨折伴骶髂关节脱位。对 I 型骶髂关节脱位行前方髂窝入路撬剥复位、经皮骶髂关节螺钉固定术;II 型骶髂关节脱位行骶髂关节后方入路计算机导航下骶髂关节螺钉内固定术;III A 型、III B 型骶髂关节脱位行骶髂关节后方入路重建钢板固定术;III C 型骨折骶髂关节脱位

行闭合复位经皮骶髂关节螺钉内固定术;IV 型骶髂关节脱位行经后路脊柱骨盆固定(闭口万向螺钉骶髂固定系统联合后路部分脊柱内固定系统)术,且均取得了较好的治疗效果。

## 2 骶髂关节螺钉微创治疗骨盆后环损伤的研究进展

骨盆骨折约占全身骨折的 4.21%,其中稳定的骨盆骨折以保守治疗为主,不稳定骨盆骨折尤其是后环骨折,保守治疗临床效果差,并发症发生率高,手术治疗已成为共识。骨盆后环损伤现主要采用的经前路钢板螺钉内固定<sup>[13, 16]</sup>、经皮骶髂关节螺钉固定、腰椎骨盆固定等手术方式。

由于骨盆骨折的患者经常合并有其他脏器的复合伤导致患者可能不能耐受开放骨折内固定手术。随着微创理念及计算机技术、内固定系统的发展,微创手术因其手术创伤小、恢复快的特点越来越多的为临床医生所应用<sup>[17-21]</sup>。1989 年 MATTA 等<sup>[22]</sup>报道了经皮植入骶髂关节螺钉固定骶髂关节及骶骨纵行骨折,认为骶髂关节螺钉固定是一种“中心性固定”,强度优于钢板内固定,具有手术创伤小、稳定性好和并发症少等优点。自此骶髂关节螺钉作为微创手术器械进入骨盆后环损伤内固定治疗的“舞台”,同时, MATTA 等提出的“中心性固定”思想也渐渐为骨科同仁们所接受、发展。对于骨盆后环损伤的微创治疗,现阶段主要采用计算机导航下经皮骶髂螺钉内固定进行治疗。骶髂关节螺钉治疗骨盆后环损伤的适应症主要为:①手术区域皮肤完整;②骶髂关节脱位合并骶髂韧带损伤致骨盆环不稳定者;③骶管孔区骨折,可能合并神经受损者;④髂骨或骶骨骨折伴骶髂韧带损伤或骶髂关节脱位致骨盆环不稳定者,⑤不伴有腰椎-骨盆分离患者。

MATTA 等<sup>[23]</sup>研究表明,骶髂螺钉产生的拉力可更有效地对抗垂直剪力和扭力,且可避免切开复位手术的创面大、术中出血多、术后疼痛剧烈及影响早期康复等缺点。谭振等<sup>[24]</sup>对计算机导航辅助下经皮骶髂螺钉与骶髂关节前路钢板内固定两种经典的治疗骨盆 Tile C1 型骨折方式进行了对比研究,发现骶髂关节前路钢板内固定与计算机导航辅助下微创经皮骶髂螺钉均是治疗 Tile C1 型骨盆骨折的有效方法,两者远期疗效相似,但计算机导航辅助下经皮骶髂螺钉治疗骨盆 Tile C1 型骨折具有创伤小、出血少、术后恢复快等优点。同时大量学者研究表明,骶髂螺钉内固定可安全、有效地治疗骨盆后环

骨折。而由于骶髂关节及其周围解剖结构的特殊性,术中需十分注意进钉点和进钉方向以及骶髂螺钉长度。ROUTT等<sup>[25]</sup>研究报道S1椎体有一范围狭窄的安全区,其前方是有L5神经根及髂血管走形的髂骨翼斜坡皮质,后方是S1神经根孔,由于进钉方向前后4°的偏差就有可能穿透髂骨前方皮质或进入S1神经孔,因此必须在透视辅助下将骶髂螺钉植入此安全区,否则可能会损伤髂血管、骶神经等重要结构而造成严重的手术并发症<sup>[26]</sup>。BARRICK等<sup>[27]</sup>研究发现,相较于单纯应用X线监测,计算机辅助导航结合CT监测下完成经皮骶髂螺钉植入的准确性更高,并发症发生率更低。因此精确的植入骶髂关节螺钉是避免骨盆后环损伤并发症发生的重要手段。ZHANG等<sup>[28]</sup>在一项40例标本的尸体上研究发现,骶髂关节螺钉从髂骨翼各方向切出时概率分别为后上方12.5%(5/40)、后下方0%(0/40)、前上方70%(28/40)、前下方20%(8/40),该研究表明骶髂关节螺钉的植入应植入后下方。唐凡等<sup>[29]</sup>在对正常人骨盆的数据进行三维有限元重建后得出模型,探索最佳的微创螺钉的钉道设计发现,进钉点位于髂后上棘上方3 cm处,进钉方向指向同侧髂前下棘处、进钉点位于髂后上棘处,进钉方向指向同侧髂前下棘处两个钉道可作为骶髂关节螺钉植入S1的主钉道,进钉点位于髂后上棘上方3 cm处、进钉方向指向同侧髂嵴最高点下1 cm处植入骶髂关节螺钉可以作为辅钉道。

### 3 不稳定型骶骨骨折的手术优化

高能量损伤所致的不稳定型骨盆骨折是临床治疗的难题,在骨盆骨折中有17%~30%的患者合并不稳定型骶骨骨折<sup>[30]</sup>,伤情复杂,通常合并其他损伤,在所有骨折病例中发病率较低,特殊类型的骶骨骨折可引起脊柱-骨盆不稳定。不稳定型骶骨骨折可造成骨盆后环破坏、骨盆环旋转和垂直不稳定,严重时出现腰椎-骨盆分离和马尾神经损伤<sup>[31]</sup>。

自20世纪80年代以来国内外主要采用切开复位内固定治疗不稳定骶骨骨折,通过准确复位和牢固固定,可以矫正畸形,利于患者早期活动及康复,同时预防晚期骨不连接和骨盆不稳,争取达到患者术后无痛和功能恢复满意的目的。不稳定骶骨骨折早期主要采用骶骨棒、后方张力带钢板、骶髂关节螺钉固定等固定方式进行治疗。但学者们研究发现骶骨棒、后方张力带钢板及骶髂螺钉固定后固定强度不够,骨折复位固定后在垂直方向上的稳定性难以

维持,达不到早期负重、下地活动的目的,不适宜治疗复杂的伴有垂直及旋转移位的不稳定型骶骨骨折<sup>[31-32]</sup>。

由于骶骨棒、后方张力带钢板及骶髂螺钉等固定方式存在骨折垂直移位等问题的存在,学者们进一步将运用于脊柱的椎弓根螺钉系统扩展到髂骨上,成为腰椎-骨盆固定技术,该技术成功解决了骨折垂直移位的问题<sup>[33]</sup>。随着该技术理念的发展, SCHILDHAUER等<sup>[34]</sup>在此基础上改进提出了三角固定技术,骨折的垂直稳定性由脊柱-骨盆固定来实现,同时通过联合横向固定将纵向受力从下位腰椎转移至髂骨,从而获得更坚强的固定。研究表明采用三角固定技术对不稳定型骶骨骨折伴有脊柱-骨盆分离进行早期开放复位、坚强固定、神经减压,可使患者早期康复锻炼,改善神经功能,显著降低死亡率及致残率,促进患者更早及更好的恢复、回归社会<sup>[30, 35-37]</sup>。

本专题中李亮等<sup>[38]</sup>对22例(28侧)通用脊柱内固定系统(USS)联合骶髂螺钉与25例(39侧)闭口万向螺钉(closed multi-axial screws, CMAS)骶髂固定系统的腰椎-骨盆内固定方法治疗不稳定型骶骨骨折进行前瞻性研究。对比两组患者的手术时间、术中出血量、骨折的复位MATTAP评分、末次随访时MAJEED功能评分、对有骶神经症状的患者进行GIBBONS骶神经损伤分级及术后并发症发生情况发现,USS联合骶髂螺钉与CMAS骶髂固定系统经后路部分脊柱内固定系统的腰椎-骨盆内固定方法均可以为不稳定型骶骨骨折提供坚强而有效的固定,从而实现早期完全负重,并可在术中对骶神经进行探查及减压以促进神经功能恢复。但CMAS骶髂固定系统联合后路部分脊柱内固定系统组临床效果优于USS联合骶髂螺钉组,且术中操作相对简单、不需要借助特殊设备、手术时间更短且不易造成术中医源性神经损伤的优点,是治疗不稳定型骶骨骨折较为理想的方法。

### 4 自体静脉神经导管修复周围神经缺损的研究进展

在骨盆后环损伤的患者中50%以上的患者并存着神经损伤导致的神经功能障碍(性功能障碍、慢性神经性疼痛等)<sup>[39]</sup>。但周围神经损伤的再生与修复一直是临床治疗的难题<sup>[40-44]</sup>,其治疗费用昂贵,疗效欠佳,给家庭及社会带来极大损失和负担,故神经再生与功能重建成为周围神经损伤的研究热点。

大量基础和临床研究表明,自体静脉神经导管可在一定程度上修复周围神经缺损,是一种较好的周围神经缺损修复方法。自体静脉神经导管因人体静脉分布广泛、取材方便,创伤小,并发症少,无排斥反应,促进营养物质的渗入,促进雪旺细胞的黏附、增殖、分化及血管再生,促进神经纤维再生等优点获得学者们的青睐<sup>[45-47]</sup>。TSENG 等<sup>[48]</sup>研究表明,雪旺细胞来自神经断端,自体静脉神经导管的胶原、层粘连蛋白具有促进神经生长的作用。POGREL 等<sup>[49]</sup>发现自体静脉神经导管的内皮细胞能释放 NGF,在促进雪旺细胞生长及迁徙的同时亦促进神经纤维的再生。LAVASANI 等<sup>[50]</sup>通过对比研究完全脱细胞的自体静脉神经导管与未处理的静脉导管,发现未处理组神经再生情况显著好于脱细胞组,表明血管壁来源的细胞能够促进神经再生。

尽管自体神经移植是治疗长段神经缺损的首选方案<sup>[43]</sup>,但因存在来源有限、供区神经大小及长度与移植区不匹配、增加供区相应并发症(如感觉障碍、神经瘤)的发生等缺点<sup>[40]</sup>,限制了该方法的临床应用。

目前,自体静脉神经导管修复短距离( $<3$  cm)周围神经缺损虽取得较好效果<sup>[51]</sup>,但随着神经缺损距离增加,其修复效果也越差。其原因主要是导管内壁的静脉瓣影响神经生长、导管支撑性能差、易塌陷、种子细胞及营养物质有限,影响了神经再生<sup>[52-55]</sup>。鉴于上述缺点,自体静脉神经导管经历了较多改进,包括自体静脉内翻,神经导管内复合自体非神经组织、细胞、组织工程产物或结合基因技术改造等<sup>[56-57]</sup>。但研究表明,上述改进方法的效果需要进一步验证。LI 等<sup>[58]</sup>在修复新西兰大白兔面神经损伤的研究中发现,自体静脉内翻组神经再生效果并未显著提高,认为无需将静脉内翻后修复神经缺损。ULKÜR 等<sup>[59]</sup>对自体神经移植、标准自体静脉神经导管、复合新鲜骨骼肌的自体静脉神经导管修复周围神经缺损的效果进行研究时发现,复合骨骼肌导管组的效果最差。其原因可能是导管内骨骼肌组织吸收困难,其持续的存在影响神经组织再生。多项研究证实,分化或未分化的胚胎干细胞、BMSCs 注入静脉导管内,均能显著提高神经再生<sup>[60-61]</sup>。但胚胎干细胞来源有限,且存在医学伦理问题;而骨髓获取的操作有创、痛苦,且往往获得量极少,因而限制了两者的临床应用。根据自体静脉神经导管,改进的自体静脉内翻,神经导管内复合自体非神经组织、细胞、组织工程产物或结合基因技术

在修复周围神经缺损的经验教训,本专题中孟维焜等<sup>[62]</sup>探索性的将血管支架植入静脉神经导管内,获得具有较好的支撑性能的血管支架支撑静脉神经导管用来修复新西兰兔 10 mm 的腓总神经缺损,并以自体神经移植和常规自体静脉神经导管作为对照,在观察新西兰兔的足跟部溃疡恢复情况、展趾反射评分、电生理检测、腓肠肌湿重比等各项指标后均表明受血管支架支撑的静脉导管更利于神经的再生。术后组织切片染色及透射电镜结果也表明血管支架支撑自体静脉导管组再生神经纤维的质量稍逊于自体神经移植组,但要远好于常规自体静脉导管组,为周围神经的损伤修复提供了思路。

本专题总结了骨盆骨折后环损伤中骶髂关节脱位的分型及治疗,填补骨盆后环损伤中骶髂关节分型的空白;其次,我们也对骶髂关节螺钉微创治疗骨盆后环损伤的适应症、生物力学、植钉钉道等进行总结,为骶髂关节微创治疗骨盆后环损伤提供一定的临床基础;同时,我们对骨盆后环损伤中特殊的不稳定骶骨骨折的手术方式及疗效进行总结,供同仁参考。并且我们还对骨盆后环损伤导致的周围神经损伤进行了基础研究,为周围神经缺损的治疗提出新的思路。在骨盆后环损伤中,不管是骨盆后环损伤的治疗理念和手术技术,还是对于并发症的处理都在不断的进步更新,关注和运用这些进展,并及时对其进行总结,则可以对骨盆后环损伤患者提供更好、更规范有效的临床治疗。

## 参 考 文 献

- [1] VAN DEN BOSCH EW, VAN DER KLEYN R, HOGERVORST M, *et al.* Functional outcome of internal fixation for pelvic ring fractures. *J Trauma*, 1999, 47(2): 365-71.
- [2] XIAO J, ZUO J, WANG Y, *et al.* Anterior fracture dislocation of the sacroiliac joint: a case report and literature review. *Technol Health Care*, 2017, 25(4): 803-808.
- [3] LIU Y, WANG J, ZHANG Y. Occult external iliac vein injury after anterior dislocation of the sacroiliac joint in adult patient. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2017, 51(2): 169-171.
- [4] 吴宏华, 吴新宝, 李宇能, 等. 伴有骶髂关节完全性前脱位的骨盆骨折治疗. *北京大学学报*, 2015, 47(2): 276-280.
- [5] ZHANG H, JIN L, LI W, *et al.* Anterior dislocation of the sacroiliac joint with complex fractures of the pelvis and femur in children: a case report. *J Pediatr Orthop B*, 2013, 22(5): 424-426.
- [6] BOUGUENNEC N, GOUIN F, PIETU G. Isolated anterior unilateral sacroiliac dislocation without pubic arch disjunction. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2012, 98(3): 359-362.

- [7] FEINBLATT JS, PHIEFFER LS, LAWYER RB. Anterior sacroiliac dislocation. *Orthopedics*,2010,33(12):920.
- [8] LEE DH, JEONG WK, INNA P, *et al.* Bilateral sacroiliac joint dislocation (anterior and posterior) with triradiate cartilage injury: a case report. *J Orthop Trauma*,2011,25(12):E111-E114 [2017-01-13]. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31821148a8>.
- [9] BORRELLI J, KOVAL KJ, HELFET DL. The crescent fracture: a posterior fracture dislocation of the sacroiliac joint. *J Orthop Trauma*,1996,10(3):165-170.
- [10] SHAW JC, ROUTT MLC, GARY JL. Intra-operative multi-dimensional fluoroscopy of guidepin placement prior to iliosacral screw fixation for posterior pelvic ring injuries and sacroiliac dislocation: an early case series. *Int Orthop*,2017 Mar 29;1-7 [2017-04-03]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00264-017-3447-9>. doi: 10.1007/s00264-017-3447-9.
- [11] SAHIN O, DEMIRORS H, AKGUN RC, *et al.* Internal fixation of bilateral sacroiliac dislocation with transiliac locked plate: a biomechanical study on pelvic models. *Acta Orthop Traumatol Turc*,2013,47(6):411-416.
- [12] SHUI X, YING X, MAO C, *et al.* Percutaneous screw fixation of crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint. *Orthopedics*, 2015, 38 ( 11 ): E976-E982 [ 2017-03-28 ]. [https://www.healio.com/orthopedics/journals/ortho/2015-11-38-11/%7Bc8567dbb-5913-4958-b6c9-ed5117a724ae%7D/](https://www.healio.com/orthopedics/journals/ortho/2015-11-38-11/%7Bc8567dbb-5913-4958-b6c9-ed5117a724ae%7D/percutaneous-screw-fixation-of-crescent-fracture-dislocation-of-the-sacroiliac-joint) percutaneous-screw-fixation-of-crescent-fracture-dislocation-of-the-sacroiliac-joint. doi:10.3928/01477447-20151020-05.
- [13] DAY AC, KINMONT C, BIRCHER MD, *et al.* Crescent fracture-dislocation of the sacroiliac joint: a functional classification. *J Bone Joint Surg Br*,2007,89(5):651-658.
- [14] SOBHAN MR, ABRISHAM SMJ, VAKILI M, *et al.* Spinopelvic fixation of sacroiliac joint fractures and fracture-dislocations: a clinical 8 years follow-up study. *Arch Bone Jt Surg*,2016,4(4):381-386.
- [15] 谭 振, 黄 仲, 李 亮, 等. 骶髂关节脱位的分型方法及手术治疗方案. *四川大学学报(医学版)*,2017,48(5):661-667.
- [16] FISCHER S, VOGL TJ, MARZI I, *et al.* Percutaneous cannulated screw fixation of sacral fractures and sacroiliac joint disruptions with CT-controlled guidewires performed by interventionalists: single center experience in treating posterior pelvic instability. *Eur J Radiol*,2015,84(2):290-294.
- [17] YANO S, AOKI Y, WATANABE A, *et al.* Less invasive lumbopelvic fixation technique using a percutaneous pedicle screw system for unstable pelvic ring fracture in a patient with severe multiple traumas. *J Neurosurg Spine*,2017,26(2):203-207.
- [18] THAKKAR SC, THAKKAR RS, SIRISREETREERUX N, *et al.* 2D versus 3D fluoroscopy-based navigation in posterior pelvic fixation: review of the literature on current technology. *Int J Comput Assist Radiol Surg*,2017,12(1):69-76.
- [19] PISHNAMAZ M, DIENSTKNECHT T, HOPPE B, *et al.* Assessment of pelvic injuries treated with ilio-sacral screws; injury severity and accuracy of screw positioning. *Int Orthop*,2016,40(7):1495-501.
- [20] TIDWELL J, CHO R, REID JS, *et al.* Percutaneous sacroiliac screw technique. *J Orthop Trauma*,2016,30(suppl 2):S19-S20.
- [21] KARABILA MA, HMOURI I, MADANI T, *et al.* Surgical management of sacroiliac joint lesions in unstable pelvic ring fractures using percutaneous iliosacral screw fixation. *Pan Afr Med J*,2016,24:168 [2017-03-21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5072880/>. doi : 10.11604/pamj.2016.24.168.8678.
- [22] MATTA JM, SAUCEDO T. Internal-fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res*,1989;83-97.
- [23] MATTA JM, TORNETTA P. Internal fixation of unstable pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res*,1996(329):129-140.
- [24] 谭 振, 方 跃, 张 晖, 等. 计算机导航辅助下经皮骶髂关节螺钉与骶髂关节前路钢板内固定治疗骨盆 Tile C1 型骨折疗效对比分析. *四川大学学报(医学版)*,2017,48(5):668-672.
- [25] ROUTT MLC, 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 Orthop Trauma*,1996,10(3):171-177.
- [26] 潘志军, 洪华兴, 黄宗坚, 等. 骶髂关节螺钉固定的钉道参数应用解剖学研究. *中国临床解剖学杂志*,2004,22(2):125-128.
- [27] BARRICK EF, O'MARA JW, LANE HE, 3rd. Iliosacral screw insertion using computer-assisted CT image guidance: a laboratory study. *Comput Aided Surg*,1998,3(6):289-296.
- [28] ZHANG J, HAMILTON R, LI M, *et al.* Evaluation of partial cut-out of sacroiliac screws from the sacral ala slope via pelvic inlet and outlet view. *Spine (Phila Pa 1976)*,2015,40(24):E1264-E1268.
- [29] 唐 凡, 闵 理, 王延岭, 等. 骨盆后环微创螺钉的钉道设计及骨盆三维有限元分析. *四川大学学报(医学版)*,2017,48(5):673-680.
- [30] YI C, HAK DJ. Traumatic spinopelvic dissociation or U-shaped sacral fracture: a review of the literature. *Injury*,2012,43(4):402-408.
- [31] MOUHSINE E, WETTSTEIN M, SCHIZAS C, *et al.* Modified triangular posterior osteosynthesis of unstable sacrum fracture. *Eur Spine J*,2006,15(6):857-863.
- [32] REILLY MC, BONO CM, LITKOUHI B, *et al.* The effect of sacral fracture malreduction on the safe placement of iliosacral screws. *J Orthop Trauma*,2006,20(1 Suppl):S37-43.
- [33] KACH K, TRENTZ O. Distraction spondylodesis of the sacrum in vertical shear lesions of the pelvis. *Unfallchirurg*,1994,97(1):28-38.
- [34] SCHILDHAUER TA, LEDOUX WR, CHAPMAN JR, *et al.* Triangular osteosynthesis and iliosacral screw fixation for unstable sacral fractures: a cadaveric and biomechanical evaluation under cyclic loads. *J Orthop Trauma*,2003,17(1):22-31.

- [35] LATENSER BA, GENTILELLO LM, TARVER AA, *et al.* Improved outcome with early fixation of skeletally unstable pelvic fractures. *J Trauma*,1991,31(1):28-31.
- [36] HU X, PEI F, WANG G, *et al.* Application triangular osteosynthesis for vertical unstable sacral fractures. *Eur Spine J*,2013,22(3):503-509.
- [37] ADELVED A, TOTTERMAN A, GLOTT T, *et al.* Long-term functional outcome after traumatic lumbosacral dissociation. *Injury*,2016,47(7):1562-1568.
- [38] 李亮, 黄仲, 谭振, 等. USS联合骶髂关节螺钉与CMAS骶髂固定系统治疗不稳定型骶骨骨折疗效比较. *四川大学学报(医学版)*,2017,48(5):681-686.
- [39] VALLIER HA, CURETON BA, SCHUBECK D. Pelvic ring injury is associated with sexual dysfunction in women. *J Orthop Trauma*,2012,26(5):308-313.
- [40] GU X, DING F, WILLIAMS DF. Neural tissue engineering options for peripheral nerve regeneration. *Biomaterials*,2014,35(24):6143-6156.
- [41] COHEN J, KRIGER Y. Injury and repair of the peripheral nerve. *Harefuah*,2011,150(6):537-550.
- [42] GRIFFIN JW, HOGAN MV, CHHABRA AB, *et al.* Peripheral nerve repair and reconstruction. *J Bone Joint Surg Am Volume*,2013,95(23):2144-2151.
- [43] PANG Y, HONG Q, ZHENG J. Sensory reinnervation of muscle spindles after repair of tibial nerve defects using autogenous vein grafts. *Neural Regen Res*,2014,9(6):610-615.
- [44] IJPM A, NICOLAI J-PA, MEEK MF. Sural nerve donor-site morbidity—Thirty-four years of follow-up. *Ann Plast Surg*,2006,57(4):391-395.
- [45] RISITANO G, CAVALLARO G, MERRINO T, *et al.* Clinical results and thoughts on sensory nerve repair by autologous vein graft in emergency hand reconstruction. *Chir Main*,2002,21(3):194-197.
- [46] MARCOCCIO I, VIGASIO A. Muscle-in-vein nerve guide for secondary reconstruction in digital nerve lesions. *J Hand Surg Am*,2010,35(9):1418-1426.
- [47] ACAR M, KARACALAR A, AYYILDIZ M, *et al.* The effect of autogenous vein grafts on nerve repair with size discrepancy in rats: An electrophysiological and stereological analysis. *Brain Res*,2008,1198:171-181.
- [48] TSENG CY, HU GL, AMBRON RT, *et al.* Histologic analysis of Schwann cell migration and peripheral nerve regeneration in the autogenous venous nerve conduit (AVNC). *J Reconstr Microsurg*,2003,19(5):331-340.
- [49] POGREL MA. Nerve growth factor is expressed in rat femoral vein. *J Oral Maxillofac Surg*,2002,60(7):729-733.
- [50] LAVASANI M, GEHRMANN S, GHARAIBEH B, *et al.* Venous graft-derived cells participate in peripheral nerve regeneration. *PLoS One*,2011,6(9):e24801 [2017-03-15]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024801>.
- [51] DEMIR A, SIMSEK T, ACAR M, *et al.* Comparison between flexible collagen and vein conduits used for size-discrepant nerve repair; an experimental study in rats. *J Reconstr Microsurg*,2014,30(5):329-334.
- [52] JEON WJ, KANG JW, PARK JH, *et al.* Clinical application of inside-out vein grafts for the treatment of sensory nerve segmental defect. *Microsurgery*,2011,31(4):268-273.
- [53] COUTURIER CA, DAUGE MC, HENIN D, *et al.* Nerve repair using a composite graft of vein and denatured skeletal muscle; morphologic analysis. *J Reconstr Microsurg*,2002,18(8):681-688.
- [54] ZHANG F, BLAIN B, BECK J, *et al.* Autogenous venous graft with one-stage prepared Schwann cells as a conduit for repair of long segmental nerve defects. *J Reconstr Microsurg*,2002,18(4):295-300.
- [55] STRAUCH B, RODRIGUEZ DM, DIAZ J, *et al.* Autologous schwann cells drive regeneration through a 6-cm autogenous venous nerve conduit. *J Reconstr Microsurg*,2001,17(8):589-595.
- [56] BATTISTON B, GEUNA S, FERRERO M, *et al.* Nerve repair by means of tubulization; literature review and personal clinical experience comparing biological and synthetic conduits for sensory nerve repair. *Microsurgery*,2005,25(4):258-267.
- [57] GEUNA S, TOS P, TITOLO P, *et al.* Update on nerve repair by biological tubulization. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj*,2014,7,9(1):3 [2017-03-21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3953745/>. doi: 10.1186/1749-7221-9-3.
- [58] LI Y, GAO Z, WANG Z, *et al.* Autogenous inside-out versus standard vein and skeletal muscle-combined grafting for facial nerve repair. *Neural Regeneration Research*,2010,5(4):282-286.
- [59] ULKUR E, YUKSEL F, ACIKEL C, *et al.* Comparison of functional results of nerve graft, vein graft, and vein filled with muscle graft in end-to-side neurotaphy. *Microsurgery*,2003,23(1):40-48.
- [60] HAGHIGHAT A, MOHAMMADI R, AMINI K. Transplantation of undifferentiated bone-marrow stromal cells into a vein graft accelerates sciatic nerve regeneration in streptozotocin induced diabetic rats. *Curr Neurovasc Res*,2014,11(3):230-241.
- [61] SEYED FOROUTAN K, KHODARAHMI A, ALAVI H, *et al.* Bone marrow mesenchymal stem cell and vein conduit on sciatic nerve repair in rats. *Trauma Mon*,2015,20(1):e23325 [2017-03-21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4362034/>. doi: 10.5812/traumamon.23325.
- [62] 孟维锐, 黄仲, 谭振, 等. 血管支架支撑静脉神经导管修复兔周围神经缺损的实验研究. *四川大学学报(医学版)*,2017,48(5):687-692.

(2017-05-14 收稿, 2017-07-09 修回)

编辑 汤洁