

文章编号 1006-8147(2017)03-0247-05

论 著

TiRobot 手术机器人辅助经皮骶髂螺钉固定治疗 骨盆后环不稳定损伤

蒋侃凌¹, 田 维², 贾 健²

(1. 天津医科大学研究生院, 天津 300070; 2. 天津市天津医院骨盆科, 天津 300211)

摘要 目的: 探讨运用 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统辅助经皮骶髂螺钉固定治疗骨盆后环不稳定损伤患者的安全性和可行性。方法: 回顾性分析运用 TiRobot 手术机器人经皮置入骶髂螺钉治疗骨盆后环不稳定损伤的 20 例病例, 其中男 12 例, 女 8 例; 年龄 31~58 岁; 依据 AO/OTA 损伤分型: B 型损伤 14 例, C 型损伤 6 例。结果: 20 例患者共置入 34 枚螺钉, 术中骶髂螺钉设计规划置入时间 10~28 min, 术中透视时间 6~12 s, 手术出血量 10~120 mL。术后复查所有患者螺钉置入位置满意, 无 1 例螺钉错位、切出骨质或切入骶孔及骶管, 无切口感染、手术导致的血管神经并发症。术后复查采用 Majeed 评分标准, 优 12 例, 良 5 例, 可 3 例, 总体优良率 85%。结论: 运用 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统经皮骶髂螺钉固定治疗骨盆后环不稳定性损伤患者是提高骨盆微创手术效果安全有效的手段。

关键词 计算机辅助; 骶髂关节; 内固定器; 骨盆

中图分类号 R683.3

文献标志码 A

TiRobot surgical robotic navigation and location system assisted percutaneous iliosacral screws for treatment of unstable pelvic posterior ring injuries

JIANG Kan-ling¹, TIAN Wei², JIA Jian²

(1. Graduate School, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; 2. Department of Pelvis, Tianjin Hospital of Tianjin, Tianjin 300211, China)

Abstract **Objective:** To evaluate effects and safety of using TiRobot surgical robotic navigation and location system assisted percutaneous iliosacral screws for treatment of unstable pelvic posterior ring injuries. **Methods:** Twenty patients with unstable pelvic posterior ring injuries, who were treated using new surgical robotic insertion percutaneous iliosacral screws, were analyzed retrospectively. There were 12 men cases, 8 female cases, age: 31~58 years. According to AO/OTA classification, there were 14 cases of type B, 6 cases of type C. **Results:** There were total of 34 iliosacral screws inserted in 20 patients. In the operation, the insertion time of iliosacral screws was 10~28 min, fluoroscopy time was 6~12 s and the blood loss was 10~120 mL. The review of screw position was satisfactory in all the 20 cases. None of the screws were malpositioned, penetrated bone cortex or entranced the sacral canal and sacral foramen after surgery. There were no wound infection and neurovascular injury in 20 cases. Based on the Majeed functional scoring, the results were excellent in 12 cases, good in 5 cases and plain in 3 cases. The excellent and good rates was 85%. **Conclusion:** Using TiRobot surgical robotic navigation and location system insertion percutaneous iliosacral screws for treating unstable pelvic posterior ring injuries may be an effective and safe to improve pelvic invasive surgical results.

Key words computer-assisted; sacroiliac joint; internal fixators; pelvis

骨盆骨折约占全身骨折的 3%^[1], 其中后环不稳定损伤的发生率为 17%~30%^[2-3]。对于存在移位明显或并发神经损伤等手术指征的患者, 既往选择切开复位内固定 (open reduction and internal fixation, ORIF) 以减少患者卧床时间, 减轻患者神经症状, 获得更好的功能恢复从而降低致残率^[4-5]。但 ORIF 常常伴随扩大的手术切口、大量的软组织剥离、较多的术中出血及较高的术后切口感染 (surgical site infection, SSI) 等风险^[6-7]。随着微创理念的深入及相

关技术的发展, 在计算机导航手术机器人辅助下经皮骶髂螺钉固定不稳定性骨盆后环损伤的治疗方式已被越来越多的骨科医师所采用, 成为该领域发展的趋势。本文回顾分析在新型 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统辅助下经皮骶髂螺钉固定治疗骨盆后环不稳定损伤 20 例病患的相关临床资料, 探讨各类导航技术在骨盆后环损伤的应用现状, 评估该导航系统的安全性及可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集自 2016 年 2 月~5 月天津医院收治的符合纳入标准的 20 例骨盆后环不稳定损

作者简介 蒋侃凌 (1991-), 男, 硕士在读, 研究方向: 创伤骨盆骨折;
通信作者: 贾健, E-mail: professorjiajian@126.com。

伤病例资料。所有病患均签署相关协议,通过医院伦理委员会审查并备案。其中男性患者 12 例,女性患者 8 例;年龄 31~58 岁,平均年龄 42.6 岁,体质指数(body mass index,BMI)22~39.6,平均 30.2;高处坠落伤 8 例,车祸伤 8 例,挤压伤 4 例;对所有病例根据损伤严重程度评分(injury severity score,ISS),平均 24.2 分(16~36)。骨盆损伤按照 AO-OTA 分型,B1.2 型 4 例,B2.1 型 2 例,B2.2 型 2 例,B3.1 型 6 例,C1.2 型 2 例,C1.3 型 2 例,C3.1 型 1 例,C3.2 型 1 例。其中伴有失血性休克 2 例,头颅外伤 1 例,胸部并发伤 6 例,脾破裂 1 例,股骨骨折 2 例,胫腓骨骨折 2 例,跟骨骨折 2 例,Morel-lavallee 损伤 1 例。所有病患根据骨科损伤控制原则(damage control orthopaedics,DCO)进行处理,受伤至手术时间平均 13.8 d(10~32 d)。

1.2 术前准备 所有患者术前均行骨盆正位、出口位、入口位、骨盆三维 CT 影像学检查确定骨折类型,明确骨折移位情况,并根据相关 CT 数据打印骨盆等比例 3D 模型,进行模拟手术,确定骶骨是否适合螺钉置入及可用螺钉直径长度等数据。存在垂直不稳定的病患行下肢牵引,纠正骨折垂直移位。

根据术前 CT 影像资料及等比例骨盆 3D 模型评估患者骶骨形态。将骶骨前庭可用螺钉三维通道最小直径小于 10 mm、在冠状面骶骨前庭头尾侧斜倾角度大于 25°、在骶骨轴位面骶骨前庭前后移位角度大于 10°,或者骶骨前庭严重倾斜影响髂骨皮质高密度区(ilial cortical densities,ICD)作为术中影像定位标志的骶骨形态定义为骶骨形态异常(sacral dysmorphism)^[8]。根据以上标准共有 6 例患者被划分为骶骨形态异常。

1.3 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统 手术操作采用 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统(北京天智航医疗科技股份有限公司),C 型臂 X 线机(Arcadis orbic 3D,Siemens,Germany),7.3mm/6.5mm 空心螺钉,全碳素纤维骨科手术床,所有患者均在全麻后取仰卧位。对于 2 例骶骨骨折移位>10 mm 经牵引后移位改善不明显的患者先后路髂腰钉棒协助骶骨复位;对于 4 例耻骨联合分离>2.5 cm 的患者则先行前路钢板固定耻骨联合,待相关损伤处理完成后再行后环骶螺钉固定。

1.3.1 手术设计与规划 术者立于患者伤侧,连接相关设备,C 型臂放置在术者对侧,6 轴机械臂放置于患侧,操控台、C 型臂显示器放置于术者对侧无菌区外。追踪器放置于床尾无菌区外侧(图 1)。定位标尺需放在 C 型臂透视中央,出口位、入口位注册图

像要求定位标尺上的 10 个定位点全部清晰、可辨地显露在所需的透视野内。选取合适出入口位图像,作为注册图像显示在操控台上,依据所选取的图像设计适当的进针位置及进针角度,完成规划(图 2、3)。



图 1 手术室布局及相关导航设备

Fig 1 Operating room layout and navigation equipment

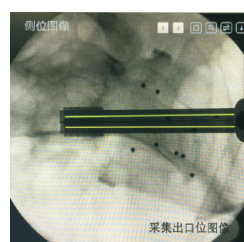


图 2 规划出口位

Fig 2 Planned outlet view

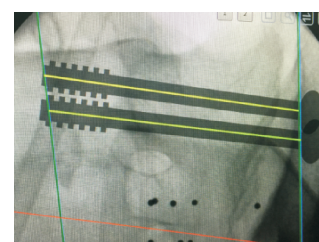


图 3 规划入口位

Fig 3 Planned inlet view

1.3.2 螺钉置入 当完成手术设计与规划后,踩住脚踏开关,使机械臂各关节处于活动状态,在操控台操作页面由操作者点击“运动”按钮,随后拥有 6 个自由度的拟真机械手臂根据导航信息将导针套管固定在患者体表对应位置,松开脚踏,使机械臂各关节紧锁,术者沿套管定位处做长度 1~3 cm 的小切口,钝性分离皮下组织、筋膜、肌肉,使导针套管尖端顶住髂骨外板处。依据系统导航信息打入导针,运用过程中导航系统实时进行导针位置的校正并补偿位置缺省值,导针进针长度以至骶骨中线为宜,测量螺钉长度,沿导针拧入螺钉,拔出导针,术后照相。最后冲洗伤口逐层缝合,放置引流条(图 4)。

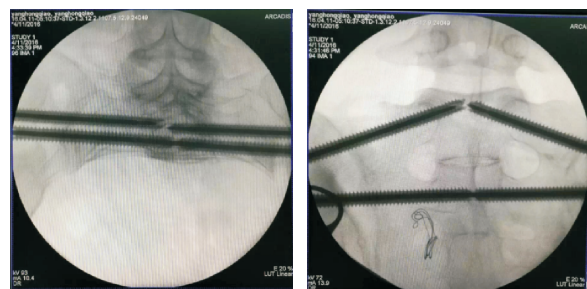


图 4 术后入口位、正位片

Fig 4 Postoperative inlet and anteroposterior view

1.4 术后处理 术后 48 h 预防感染治疗,同时维持 4 周预防深静脉血栓治疗,术后 72 h 复查骨盆出

口位、入口位、正位及三维 CT,留存影像学资料。因此次入组患者 BMI 指数相对较高,术后康复训练开始时间相对较晚。术后 1 周可在床上翻身,同时练习主动收缩双下肢肌肉及主动练习屈髋屈膝,术后 2~3 周可坐起,术后 6~8 周可在助行器帮助下双下肢逐步负重练习,术后 12~18 周可尝试完全负重行走。

1.5 随访方法、疗效评价标准 术后 4 周、8 周、12 周随访。复查项目包括:(1)X 线(出口位、入口位、骨盆正位)、骨盆三维 CT,评价骶髂螺钉固定位置及精度;(2)询问患者日常生活活动情况,包括腰骶部疼痛、步态、助行器下行走距离、站立情况,并根据相关病人检查并记录神经恢复情况。末次复查时记录功能评分,并留存患者影像学资料。采用 Majeed 评分标准评价临床疗效。

1.6 螺钉置钉位置及精度评价 根据患者末次复查留存影像学资料,根据 CT 影像资料评价螺钉切出距离,计算切出率。正确螺钉置入位置为螺钉位于骶骨骨质界限内,无切出骶骨前后缘、骶管或骶孔。螺钉切出程度根据 Lonstein 评价标准分为 4 个等级,0 级:螺钉无切出;I 级:螺钉切出距离 ≤ 2 mm;II 级:螺钉切出距离在 2~4 mm;III 级:螺钉切出距离 ≥ 4 mm。将术中机器人规划置钉位置出入口位平片与术后实际置钉位置出入口位平片导入 Beyond Compare 软件,进行相关比较及处理计算,得出实际置钉位置与术中规划螺钉位置的位置误差及角度误差,评价机器人置钉精度^[9]。

2 结果

2.1 一般结果 所有手术均由同一组医生及器械操作人员完成。20 例患者术中骶髂螺钉设计规划置入时间 10~28 min,平均(17.5 \pm 5.4)min,平均每枚螺钉设计规划置入时间 10.3 min;术中出血(只记录骶髂螺钉置钉过程中的切口出血,不包含其他术式的出血)10~120 mL,术中透视时间(C-arm 显示总透视时间)2~12 s,平均(7.1 \pm 3.0)s,平均每枚螺钉透视时间 4.2 s。

2.2 置入螺钉数量 20 例患者中 10 例患者置入 1 枚骶髂螺钉,8 例患者置入 2 枚骶髂螺钉(2 例 S1 椎体同侧 2 枚、6 例 S1 椎体双侧各 1 枚),2 例患者置入 4 枚骶髂螺钉(1 例为 S1 椎体双侧各 2 枚,1 例为 S1 椎体双侧各 1 枚及 S2 椎体双侧各 1 枚),共计置入螺钉 34 枚,平均每人植入螺钉 1.7 枚。其中骶骨发育不良的 6 例患者共置入 10 枚螺钉。

2.3 治疗结果及术后并发症 所有病例手术切口均一期愈合,无切口感染、手术导致的血管神经硬膜损伤及螺钉松动、继发移位等并发症。

2.4 随访术后功能恢复 所有病例术后均获得随访,随访时间 3~6 个月,平均 4.2 个月。根据 Majeed 评分标准,优 12 例,良 5 例,可 3 例,优良率 85%(17/20)。在 3 例评价可的患者中,有 2 例患者术前从事重体力活动,术后仍处于休息状态,并未进入工作状态;1 例病患由于术后时间较短,在进行辅助行走活动中出现腰骶部不适,复查时建议其暂缓负重。

2.5 螺钉置钉精度 20 例患者骶髂螺钉术后复查无 1 例切出,切出率为 0,切出评级为 0 度。20 例患者最终置钉位置与术前机器人模拟规划置钉位置的误差为:位置误差为(1.9 \pm 0.93)mm,角度误差为(1.98 \pm 0.84)°。

3 讨论

3.1 传统骶髂螺钉置钉技术及新型骶髂螺钉导航技术的临床应用 经皮骶髂螺钉固定技术相比于传统的切开复位 ORIF 技术,有更可靠的生物力学稳定性,更短的手术时间,更小的手术创伤以及相对良好的治疗结果,因而应用广泛,该技术已经成为治疗骨盆后环不稳定性损伤的常规手段之一。但骨盆后环是一个复杂的不规则的解剖结构,特别是骶骨前庭^[9]最狭窄处三维可用螺钉空间的变异,是造成骶髂螺钉置钉困难的主要限制因素。在传统 C 臂透视下对于置钉入点的选择因术者手术经验的差异及周围软组织对导针套管的挤压移位从而难以把握入钉点的位置,并且由于在置钉过程中反复钻孔定位入钉点,造成入钉点周围骨质破坏,术后负重活动可导致螺钉周围骨质支撑力不足引发螺钉移位;且入钉过程中术者需反复调整 C 臂位置来确定螺钉走形与骶骨边缘的位置关系,导致术者及患者辐射暴露时间增加,手术时间延长;这些不利因素最终导致骶髂螺钉置钉错位率、术后螺钉继发移位率、术后骶神经损伤等并发症发生率较高^[10-12]。近几年随着计算机辅助骨科技术(computer-assisted orthopedic surgery,CAOS)的发展,越来越多的导航设备运用于该项技术中,力求在保障置钉质量的同时能更快的完成手术,减少术中辐射暴露时间,降低手术并发症的发生。

传统的二维导航技术是将获得的多个平面的影像资料导入导航系统,术者需在术中不断地调整 C 臂位置采集影像资料,在多个平面的影像中观察导航工具的位置,最终完成骶髂螺钉的置入。运用二维导航技术与传统置钉技术相比提高了置钉精度,减少了术中辐射暴露时间^[13]。但该技术主要缺陷在于二维导航所采集图像相比于三维导航图像缺乏图像的

立体性,且图像中的虚拟螺钉位置不会随着进针位置的改变而改变,缺乏对螺钉在骶骨骨质内位置的实时动态观察,不利于在骶骨发育不良的患者中应用。

随着新型三维导航技术的发展,越来越多的研究结果提示,相比于传统置钉技术及传统的二维导航技术,三维导航技术可以提高置钉的精确度^[14]。在 Matityahu^[8]的多中心随机试验研究结果中发现,运用术中三维影像导航技术不仅可以提升导航图像质量,而且无论患者骶骨形态是否正常该技术都能提高骶髂螺钉的置入精度。三维导航技术的优势在于:(1) 三维导航技术相比于二维导航技术能提供轴位图像^[15],该图像能为术者提供更多的观察角度,帮助术者设计出更为安全的置钉点及螺钉置钉通道,同时三维导航技术允许术者术中实时观察置钉器械在不同平面的位置,从而提高置钉精确率。(2) 相对于传统 C 型臂影像透视技术,运用三维影像透视技术术中成像质量明显提高,且对患者肠胀气、粪块堆积等干扰因素不敏感。三维导航技术的主要劣势在于:(1) 三维 C 臂导航技术其扫描范围窄(扫描范围 12.5 cm³)且对单一部位需行反复多次的三维扫描,增加了患者辐射暴露时间,拖慢了手术进程。(2) 三维 CT 导航技术对于骨盆后环损伤的适用范围较窄。在 Zwingmann^[16]的 Mate 分析中指出 CT 导航只适用于无需复位或无需其他手术固定的骨盆骨折,该技术并不适用于 TileB/C 型骨折;而在 Arand^[17]的研究中同样也指出 CT 导航适用于术前术中骨盆结构没有明显变化的骨盆肿瘤切除及骶髂关节融合手术。(3) 三维导航中病人辐射暴露剂量相比于其他导航技术较多,在 Theologis^[18]相关研究显示运用三维导航技术其病人辐射剂量明显高于其他透视技术,平均辐射剂量达 2 710 mRem。(4) 三维导航昂贵的设备仪器及手术室建设费用^[19],限制了它的临床应用普及程度。

3.2 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统运用骶髂螺钉治疗骨盆后环损伤的应用评价 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统是运用了自主研发的双平面定位原理^[20-21],采用一种独特的双平面的定位算法来计算完成空间定位及一种模块化的框架式机器人来完成路径导航,且具有实时校正螺钉在骨质内位置偏移能力的新型二维导航定位系统。该系统不仅克服了传统二维导航系统无法在进针过程中实时观察螺钉在骶骨骨质内的位置变化的缺陷,能及时观察螺钉位置偏差并提示术者作出调整,提高了置钉的精确性;同时利用该系统具有 6 个灵活度的高稳定性的机械手臂使得术中规划螺

钉位置与术后实际置入螺钉位置的偏移减少,减少了人为因素在置钉过程中干扰所致的螺钉置入错位,提高了置钉过程中的稳定性。本次所有研究对象,术中术后影像学检查螺钉位置均未出现继发移位,所有螺钉均位于骶骨螺钉安全通道内,固定效果确切可靠,且该系统对于存在骶骨前庭可用螺钉空间发育异常的患者也具有较高的置钉精确度。

相对于传统透视置钉技术其单枚螺钉平均透视时间为 126~141 s,运用导航辅助透视技术可明显减少术中辐射暴露时间^[22-23]。在 Zwingmann^[24]研究中发现运用导航技术其辐射暴露时间都明显少于传统透视技术,差异都具有明显的统计学意义。本次研究中我们运用该导航机器人技术相较于之前的研究其辐射暴露时间更少,平均每枚螺钉辐射暴露时间 4.2 s,其主要是相比于三维导航技术,省去了术中骨盆三维扫描重建的时间,其次该系统在获取关键图像后,就可以将这些图像作为导航图像,术者只需应用操控台的导航图像即可导航监测手术工具,不必反复使用透视仪器,因此减少了术者及患者的辐射暴露时间^[25]。

在 Frederik^[26]的研究中运用 CT 导航技术平均螺钉置入手术时间为 72.1 min,平均每枚螺钉的置入耗时为 32.2 min。在 Zwingmann^[24]的回顾性研究中发现传统置钉技术平均置钉时间(69 min)与三维导航系统平均置钉时间(72 min)无明显统计学差异,该作者认为造成导航组时间并没有明显减少的原因是附加的导航设备启用时间及为了导航系统需准备无菌手术床的额外耗时。此次运用的 Tirobot 导航系统平均置钉时间与传统技术及其他导航技术相比置钉耗时明显缩短,平均每枚螺钉设计规划置入时间 10.3 min。首先是该导航定位机器人系统螺钉设计与规划操作步骤简单且系统启动响应时间较快;其次在机器人系统的协助下我们改良了传统的进针方式,对于需要双侧置钉的患者运用“接力套筒”技术,即完成 1 次成像后,运用此注册图像、导航追踪装置的实时校正功能及高稳定性的机械手臂,将导针穿透对侧骶骨并穿出对侧皮肤,完成双侧的骶髂螺钉的同时置入,该技术比先前的双侧置钉两次扫描能有效减少术中的置钉时间。但笔者认为每项导航技术的设备及操作流程繁简各异,设备启动、运行时间各不相同,术者手术经验及团队默契配合程度各异,因此对于螺钉置入耗时的比较也许更适用在同系统间,且在熟练度相近的手术团队操作下,运用于治疗同种损伤类型之间的对比。

相关 Mate^[16]分析中指出,根据 7 项研究中术后

功能随访(15~33个月)结果采用 Mjeed 评分标准显示优良率为 90%。本组研究术后功能恢复优良率为 85%,与先前研究结果相比优良率较低。笔者认为其可能与此次研究患者纳入标准相对先前研究来说病人损伤程度较重,骶骨骨折、骶髂关节移位程度大,合并其他损伤数量较多,术后随访时间较短,部分患者骨折未完全愈合有关。

综上所述,运用 TiRobot 外科手术机器人导航定位系统经皮骶髂螺钉固定治疗骨盆后环不稳定性损伤具有置钉精度高、术中螺钉置入便捷、辐射暴露时间短等优势,是提高骨盆微创手术效果的安全有效的手段,具有良好的实用价值和应用前景。

参考文献:

- [1] Giannoudis P V, Grotz M R, Tzioupis C, et al. Prevalence of pelvic fractures, associated injuries, and mortality: The united kingdom perspective[J]. J Trauma, 2007,63(4):875
- [2] Denis F, Davis S, Comfort T. Sacralfractures:an important problem. Retrospective analysis of 236 cases[J]. Clin Orthop Relat Res,1988 (227):67
- [3] Dudda M, Hoffmann M, Schildhauer T A. Sacrum fractures and lumbopelvic instabilities in pelvic ring injuries: classification and biomechanical aspects[J]. Unfallchirurg, 2013,116(11):972
- [4] Lindsay A,Tornetta P 3rd, Diwan A, et al. Is closed reduction and Percutaneousfixation of unstable posterior ring injuries as accurate as open reduction and internal fixation[J]. JOrthop Trauma, 2016,30 (1):29
- [5] Barei D P, Shafer B L, Beingessner D M, et al. The impact of open reduction internal fixation on acute pain management in unstable pelvic ring injuries[J]. J Trauma, 2010,68(4):949
- [6] Pavelka T, Salůšek M, WeisováD.Complications associated with surgical treatment of pelvic ring fractures[J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2013,80(3):208
- [7] Mardanpour K, Rahbar M. The outcome of surgically treated traumatic unstable pelvic fractures by open reduction and internal fixation[J]. J Inj Violence Res, 2013,5(2):77
- [8] Matityahu A, Kahler D, Krettek C, et al. Three-dimensional navigation is more accurate than two-dimensional navigation or conventional fluoroscopy for percutaneous sacroiliac screw fixation in the dysmorphic sacrum:a randomized multicenter study[J]. J Orthop Trauma, 2014, 28(12):707
- [9] 邓宁,吴伟坚,梁国穗.机器人和计算机辅助骨科手术[J]. 中华创伤骨科杂志,2005, 7(7):620
- [10] van den Bosch E W, van Zwielen C M, van Vugt A B. Fluoroscopic positioning of sacroiliac screws in 88 patients[J]. J Trauma,1994,53 (1):51
- [11] Insche A F, Giannoudis P V, Smith R M. Fluoroscopy-based multi-planar image guidance for insertion of sacroiliac screws[J]. Clin Orthop Relat Res, 2002(395):135
- [12] Templeman D, Schmidt A, Freese J, et al. Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 1996(329):194
- [13] Verbeek J, Hermans E, van Vugt A, et al. Correct positioning of percutaneous iliosacral screws with computer-navigated versus fluoroscopically guided surgery in traumatic pelvic ring fractures[J]. J Orthop Trauma, 2016,30(6):331
- [14] Zwingmann J, Konrad G, Mehlhorn A T, et al. Percutaneous iliosacral screw insertion:malpositioning and revision rate of screws with regards to application technique(navigated vs Conventional)[J]. J Trauma, 2010, 69(6):1501
- [15] Stöckle U, Schaser K, König B. Image guidance in pelvic and acetabular surgery—expectations, success and limitations[J]. Injury, 2007, 38(4):450
- [16] Zwingmann J H, 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
- [17] Arand M, Kinzl L, Gebhard F. Computer-guidance in percutaneous screw stabilization of the iliosacral joint[J]. Clin Orthop Relat Res, 2004(422):201
- [18] Theologis A A, Burch S, Pekmezci M. Placement of iliosacral screws using 3D image-guided (O-Arm) technology and Stealth Navigation: comparison with traditional fluoroscopy[J]. Bone Joint J, 2016,98 (5): 696
- [19] Coste C, Asloun Y, Marcheix P S, et al. Percutaneous iliosacral screw fixation in unstable pelvic ring lesions:the interest of O-ARM CT-guided navigation[J]. 2013,99(4Suppl):S273
- [20] 苏永刚,王军强,王豫,等.双平面骨科机器人辅助骶髂关节螺钉置入系统精度测试及尸体应用的研究[J].中华创伤骨科杂志,2008, 10(5):460
- [21] 苏永刚,王军强,刘文勇,等.双平面骨科机器人系统辅助骶髂关节螺钉置入的实验研究[J].中华创伤骨科杂志,2006,8(1):45
- [22] Webb J E, Regev G J, Garfin S R, et al. Navigation-assisted fluoroscopy in minimally invasive direct lateral interbody fusion: a cadaveric study[J]. SAS J, 2010,4(4):115
- [23] Kim J W, Oh C W, Oh J K, et al. Percutaneous iliosacral screwing in pelvic ring injury using three-dimensional fluoroscopy[J]. J Orthop Sci, 2013,18(1):87
- [24] Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, et al. Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure[J]. Clin Orthop Relat Res, 2009,467(7):1833
- [25] 王军强,刘达,赵春鹏,等.三维导航结合机械臂手术系统经皮螺钉固定骨盆环的实验研究[J].中华外科杂志,2012,50(6):555

(2016-09-05 收稿)

[26]

[27]