



分类号: R683.3

学校代码: 10114

密 级: 公开

学 号: 190022014720112

山西医科大学

SHANXI MEDICAL UNIVERSITY

硕士学位论文

经皮骶髂螺钉置入: 机器人辅助与传统技术的比较

**Percutaneous sacroiliac screw placement: robotic-assisted
versus conventional technique**

研 究 生: 李昊泽

指导教师: 杨朝晖 主任医师

专业名称: 外科学

研究方向: 创伤骨科

学位类型: 专业学位

所在学院: 第二临床医学院

中国 山西

二〇二二年三月二十七日

分类号: R683.3

学校代码: 10114

密 级: 公开

学 号: 190022014720112

经皮骶髂螺钉置入：机器人辅助与传统技术的比较
Percutaneous sacroiliac screw placement: robotic-assisted
versus conventional technique

研 究 生: 李昊泽

指导教师: 杨朝晖 主任医师

专业名称: 外科学

研究方向: 创伤骨科

学位类型: 专业学位

所在学院: 第二临床医学院

中国 山西


二〇二二年三月二十七日

学位论文独创性声明

本人声明，所呈交的学位论文系在导师杨朝晖指导下，本人独立完成的研究成果。文中任何引用他人的成果，均已做出明确标注或得到许可。论文内容未包含法律意义上已属于他人的任何形式的研究成果，也不包含本人已用于其他学位申请的论文或成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

本文如违反上述声明，愿意承担以下责任和后果：

- 1、交回学校授予的学位证书；
- 2、学校可在相关媒体上对作者本人的行为进行通报；
- 3、本文按照学校规定的方式，对因不当取得学位给学校造成的名誉损害，进行公开道歉；
- 4、本人负责因论文成果不实产生的法律纠纷。

论文作者签名： 


日期： 2022 年 3 月 27 日

学位论文版权使用授权书

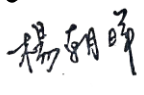
本人完全了解山西医科大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山西医科大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为山西医科大学。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名： 

日期： 2022 年 3 月 27 日

指导教师签名： 

日期： 2022 年 3 月 27 日

(本声明的版权归山西医科大学所有，未经许可，任何单位及任何个人不得擅自使用)

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
常用缩写词中英文对照表.....	IV
前 言.....	1
1 对象与方法.....	2
1.1 研究对象.....	2
1.2 机器人设备.....	2
1.2.1 机器人构成	2
1.2.2 机器人工作原理	2
1.3 治疗方案.....	3
1.3.1 术前准备	3
1.3.2 机器人辅助下经皮骶髂螺钉内固定术	3
1.3.3 传统技术经皮骶髂螺钉内固定术	6
1.3.4 术后处理	6
1.4 主要观察指标.....	6
1.5 统计分析.....	7
2 结 果.....	8
2.1 一般结果比较.....	8
2.2 观察指标比较.....	8
3 讨 论.....	10
4 结 论.....	13
参考文献.....	16
综述.....	17
致 谢.....	25
个人简介.....	26

经皮骶髂螺钉置入：机器人辅助与传统技术的比较

摘 要

目的：

探讨并比较行经皮骶髂螺钉内固定术时使用机器人辅助与传统技术的优劣。

方法：

选取 2019 年 9 月至 2022 年 3 月在我院创伤科由同一组医师行骶髂螺钉内固定术的患者 21 例，根据术中是否使用了机器人辅助置钉，将其分为两组，其中机器人辅助(RA)组 9 例，男 8 例，女 1 例，年龄 24-58 岁，平均年龄 44.78 ± 11.89 岁，根据骨盆骨折 tile 分型，tileB 型 6 例，C 型 3 例，共置入螺钉 18 枚；传统技术徒手(FH)组 12 例，男 10 例，女 2 例，年龄 26-56 岁，平均年龄 43.33 ± 9.14 岁，B 型 8 例，C 型 4 例，共置入螺钉 24 枚。比较两组患者的导针调整次数，置钉时间与置钉准确度。

结果：

两组患者在年龄、性别、骨折分型上差异无统计学意义。均未行骶髂螺钉翻修手术。在导针调整次数方面，RA 组共有四组对导针进行了 1 次调整，平均次数为 0.44 ± 0.53 次，FH 组有所组均对导针进行了调整，平均次数为 6.08 ± 1.98 次，RA 组远远少于 FH 组($P < 0.001$)；RA 组置钉平均时间为 $58.22 \pm 11.89\text{min}$ ，FH 组平均时间为 $89.83 \pm 11.01\text{min}$ ，RA 组置钉时间明显短于 FH 组($P < 0.001$)；在置钉准确度方面，按 Gras 分类法，RA 组置入 I 类螺钉 16 枚，II 类螺钉 2 枚，III 类螺钉 0 枚；FH 组置入 I 类螺钉 12 枚，II 类螺钉 9 枚，III 类螺钉 3 枚，RA 组优于 FH 组($P < 0.05$)。

结论：

TiRobot 辅助置入骶髂螺钉准确性更高，速度更快，对患者损伤更小，有很高的临床应用价值。

关键词：机器人；骨盆骨折；骶髂螺钉；计算机辅助；微创手术

Percutaneous Sacroiliac screw placement: robotic-assisted versus conventional technique

Abstract

Objective:

To investigate and compare the advantages and disadvantages of the robot-assisted and traditional technique in percutaneous sacroiliac screw fixation.

Methods:

Twenty-one patients who were operated sacroiliac screw internal fixation from 2019 to 2022 were selected and divided into two groups according to whether or not robot was used during the operation. In the robot-assisted (RA) group, there were 9 patients with 8 males and 1 female. The patients were aged 24-58 years with an average age of 44.78 ± 11.89 years. According to the classification of Tile, 6 cases were Type B, 3 cases were Type C and a total of 18 screws were inserted. Twelve patients were in the traditional free-hand (FH) group, including 10 males and 2 females. The patients were aged 26-56 years with an average age of 43.33 ± 9.14 years. There were 8 cases with Type B fractures and 4 cases with Type C fractures. 24 screws were implanted. The frequency of guide wire adjustment, the time of screw placement and accuracy of screw placement were compared between the two groups.

Results:

There was no significant difference in age, gender and fracture type between the two groups. No sacroiliac screw revision surgery was performed. In terms of the frequency of guide wire adjustment, there were four cases in which the guide wire was adjusted once in the RA group. The average adjustment frequency was 0.44 ± 0.53 times while all cases in the FH group were operated guide wire adjustment at least once with an average of 6.08 ± 1.98 times. The frequency of guide wire adjustment was far less in the RA group than that in the FH group ($P < 0.001$). The average screw placement time of RA group was 58.22 ± 11.89 min and that of FH group was 89.83 ± 11.01 min. The average time of screw placement was significantly shorter in RA group than that in FH group ($P < 0.001$). In

terms of screw placement accuracy, according to Gras classification, 16 screws were classified Type I, 2 screws were type II and no screws were type III in RA group. FH group had 12 type I screws, 9 type II screws and 3 type III screws. The screw placement accuracy of RA group was better than that of FH group ($P<0.05$).

Conclusion:

TiRobot-assisted sacroiliac screw placement has better accuracy, higher speed and less damage to patients, which was of great clinical value.

Key words : Robot; Pelvic fracture; Sacroiliac screw; Computer-assisted; Minimally invasive surgery

常用缩写词中英文对照表

英文缩写	英文名称	中文名称
RA	robot-assisted	机器人辅助
FH	freehand	徒手

前 言

骨盆区域解剖结构复杂，血管神经丰富，骨盆骨折切开复位对患者损伤较大，目前微创治疗骨盆骨折得到了越来越多手术医生的青睐。1989 年 Matta 等^[1]改进了 Letournel^[2]说明的切开复位骶髂螺钉内固定技术，提出了经皮螺钉置入术用于固定骶髂关节，稳定骨盆后环，骶髂螺钉的置入由切开内固定转变为经皮内固定。而由于骶骨特殊的解剖学构造，能够放置骶髂螺钉的安全区域是很小的，很容易损伤到骶管、周围神经和血管，因此置钉对手术医生的经验和水平有着很高的要求。如何将骶髂螺钉放置的更加准确成为了众多学者研究的方向，但一直未取得巨大的进步，而随着科学的发展，手术机器人技术的出现为精准置钉带来了可能。

1. 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2019 年 9 月至 2022 年 3 月在我院创伤科手术治疗骨盆骨折的所有病例。纳入标准：①有骨盆后环损伤（骶骨骨折、骶髂关节脱位）②使用机器人辅助或徒手行经皮骶髂螺钉内固定术并于骶 1、骶 2 分别置入一枚螺钉③由同一组经验丰富的创伤科医师，同一术者完成的手术。排除标准：①资料不全②骶骨畸形③骨折至手术时间大于 3 周。最终有 21 例患者纳入本研究。根据是否使用机器人辅助将其分为两组，其中机器人辅助（RA）组 9 例，徒手（FH）组 12 例。RA 组男 8 例，女 1 例，年龄 24-58 岁，平均年龄 44.78 ± 11.89 岁，根据骨盆骨折 tile 分型^[3]，tileB 型 6 例，C 型 3 例，共置入螺钉 18 枚；FH 组男 10 例，女 2 例，年龄 26-56 岁，平均年龄 43.33 ± 9.14 岁，B 型 8 例，C 型 4 例，共置入螺钉 24 枚。

1.2 机器人设备

1.2.1 机器人构成

RA 组均使用国产第三代“天玑”骨科手术机器人（TiRobot）辅助置钉，其由主控制台、光学跟踪系统、机械臂、手术规划和控制软件以及导航和定位工具包组成（图 1.1、1.2），是国内第一台有医疗器械注册证的手术机器人产品，定位精度高，可达亚毫米级^[4]。

1.2.2 机器人工作原理

术中通过 C/O 型臂采集骨盆区影像数据，将其传输至主控制台，再由主控制台搭载的手术规划和控制软件将获取的影像数据进行分析，并生成高精度的虚拟骨盆，通过光学跟踪系统对患者及机械臂完成空间定位后，手术医生可以在虚拟骨盆上规划手术路径、选择合适螺钉、模拟置钉过程、验证螺钉位置。选择执行程序，携带导向器的机械臂将自动运行至规划位置协助手术医生置钉。



图 1.1: 机械臂 A.
六自由度机械臂
B. 导向器



图 1.2: A. 主控制台
和 B. 光学跟踪摄像
头

1.3 治疗方案

两组患者均为全麻下手术,若合并了其他需要处理的骨折,视情况选择手术顺序;准备置入骶髂螺钉时,患者均取仰卧位,置钉侧靠近手术床边缘;若骶髂关节有移位,对骶髂关节进行复位,创造螺钉通道;均采用经皮微创手术。

1.3.1 术前准备

患者入院后常规抽血化验,完善各项术前检查,行骨盆五位 X 线片(骨盆正位、骨盆入口位、骨盆出口位、髂骨斜位、闭孔斜位)和骨盆 CT 三维重建,明确诊断及分型,制定治疗及手术方案,术前视手术方案备血,准备抗生素术中使用预防感染。

1.3.2 机器人辅助下经皮骶髂螺钉内固定术

准备置钉,连接设备,机械臂放置于置钉侧包裹无菌膜并连接机械臂追踪器和标尺,主控台停靠在术者对侧,光学跟踪器选择合适位置安置(多为床头无菌区外);

找到手术侧对侧髂前上棘体表位置，做一约 1cm 小切口，切开皮下组织及筋膜，钝性分离软组织至骨质表面，弯钳撑开，保护切口周围皮肤，钻孔后拧入示踪器连接杆并组装，移动机械臂摇臂，将标尺靠近骨盆区皮肤，使其上的空间定位点在骨盆区域内，此时光学跟踪摄像机应同时捕获机械臂追踪器与患者体表示踪器，O 臂透视获取标尺上的空间定位点，完成定位与校准（图 2.1），校准后拍摄置钉区域 CT 三维图像，基于获取到的图像，手术医生在主控制台上规划置钉轨迹（图 2.2、2.3），确定执行程序后，已经移除标尺的机械臂将自动运行至规划位置（图 2.4），安装导向器至机械臂摇臂末端，导向器内安装套筒贴紧患者皮肤，定位体表位置，退出套筒，在定位位置做一约 1cm 大小切口，分离筋膜及肌肉，插入套筒至骨面，沿套筒打入导针（图 2.5），拍摄骨盆 CT 图像验证导针位置，确认位置合适后，测量导针进入骨质深度，选择合适空心螺钉并沿导针拧入，再使用 O 臂拍摄验证螺钉位置（图 2.6），确认位置合适后，及可退出导针，冲洗缝合伤口（图 2.7）。



图 2.1: 定位与校准 A:O 型臂 B: 示踪器 C: 机械臂追踪器 D: 标尺



图 2.2: 骶 1 螺钉规划
A: 骶骨 B: 髂骨

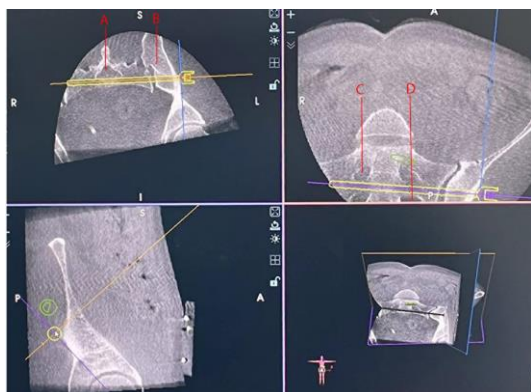


图 2.3: 骶 2 螺钉规划 A: 骶管 B: 髂骨 C: 骶 1 孔 D: 骶 2 孔



图 2.4: 机械臂运行至规划位置 A: 机械臂追踪器 B: 导向器 C: 示踪器



图 2.5: 打入导针 A: 插入导向器的套筒



图 2.6: 验证螺钉位置



图 2.7: 机器人导航手术后已缝合的切口

1.3.3 传统技术经皮髌髁螺钉内固定术

传统置钉是在术中透视的指导下进行的, 通过多次拍摄骨盆的入口位, 出口位, 侧位图像, 缓慢置入导针, 直至将导针置入安全通道, 测量长度之后再选择合适空心螺钉沿导针拧入。

1.3.4 术后处理

术后 24 小时内使用抗生素预防感染, 24 小时后使用抗凝药物预防下肢深静脉血栓形成, 并为患者提供营养支持 and 对症治疗。每 2 天换药一次, 2 周后视伤口情况拆线。同时根据患者具体情况, 指导其进行早期的功能锻炼。

1.4 主要观察指标

导针调整次数: 徒手插入导针时, 需要反复透视来验证导针位置, 当导针位置不佳时, 需要退出导针, 依据获取的影像数据对导针进针点以及进针角度进行调整。机器人导航置入导针时, 如发现位置出现偏移, 与规划位置不符, 需要重新进行定位校准, 其单次导针调整耗时要久于 FH 组。导针调整次数越多, 对患者置钉区骨质造成的破坏越大, 也会增加手术时间, 增加患者的出血量与麻醉负担。

置钉时间: 记录从准备置钉开始到置钉完成所耗时间。FH 组置钉总时间主要由

导针调整耗时、透视耗时和拧入螺钉耗时构成，RA 组置钉总时间主要由设备准备耗时、O 臂获取图像耗时、规划路径耗时、导针调整耗时和拧入螺钉耗时构成。总时间越短说明使用该方法手术效率越高，对医护人员及患者的帮助越大。

置钉准确性：通过术后 CT 三维重建，由我院高年资经验丰富的医师对其准确性进行评估。评估标准使用 Gras 分类法^[5]，将螺钉位置分为三类：I. 螺钉安全放置，完全在松质骨中；II. 螺钉安全放置，但接触皮质骨（骶骨前、神经孔或椎管）；III. 螺钉错位，穿透皮质骨。

1.5 统计分析

本研究对所有数据均使用 spss26.0 进行分析与处理。对定量数据（年龄、螺钉数量、置钉时间、导针调整次数）进行正态性检验，对满足正态分布的数据使用独立样本 t 检验或 t' 检验，对定性资料（性别、骨折分型、置钉准确性）选用 fisher 确切概率法检验。 $P < 0.05$ 时认为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 一般结果比较

RA 组 8 例男性, 1 例女性, 年龄分布在 24-58 岁, 平均年龄为 44.78 ± 11.89 岁, 按照 tile 分型方法, 6 例为 tileB 型, 3 例为 C 型, 共置入 18 枚螺钉; FH 组 10 例男性, 2 例女性, 年龄分布在 26-56 岁, 平均年龄为 43.33 ± 9.14 岁, 8 例为 B 型, 4 例为 C 型, 共置入 24 枚螺钉。两组间年龄、性别、分型差异不具有统计学意义 ($P > 0.05$) (表 1), 对实验结果不造成影响。

表 1. 患者一般资料比较

	人数	螺钉数	年龄 (岁)	性别 (男/女)	骨折分型 (B/C)
RA	9	18	44.78 ± 11.89	8/1	6/3
FH	12	24	43.33 ± 9.14	10/2	8/4
<i>P</i>			0.756	1.000	1.000

2.2 观察指标比较

导针调整次数: RA 组共有四组对导针进行了 1 次调整, 平均次数为 0.44 ± 0.53 次, FH 组有所组均对导针进行了调整, 平均次数为 6.08 ± 1.98 次, RA 组导针调整次数远远少于 FH 组, 两组差异有统计学意义 (表 2), 这意味着机器人导航置钉对患者的损伤更小, 一次性置入导针成功率更高。

置钉时间: RA 组置钉平均时间为 $58.22 \pm 11.89\text{min}$, FH 组平均时间为 $89.83 \pm 11.01\text{min}$, RA 组置钉时间明显短于 FH 组, 两组差异有统计学意义 (表 2), 这意味着机器人导航置钉可以缩减患者的麻醉时间, 减轻患者的麻醉负担, 同时增加医护人员的工作效率。

置钉精准度: 按 Gras 分类法, RA 组置入 I 类螺钉 16 枚, II 类螺钉 2 枚, III 类螺钉 0 枚; FH 组置入 I 类螺钉 12 枚, II 类螺钉 9 枚, III 类螺钉 3 枚 (均小部分穿出骶骨前方皮质, 并未影响螺钉的稳定性和骨折的愈合), RA 组优于 FH 组, 两组螺钉分布差异有统计学意义 (表 2), 这说明机器人导航置钉更加精准。

表 2. 观察指标比较

			GRAS		
	导针调整次数（次）	置钉时间（min）	I	II	III
RA	0.44±0.53	58.22±11.89	16	2	0
FH	6.08±1.98	89.83±11.01	12	9	3
<i>P</i>	.000	.000		0.025	

3 讨 论

骨盆损伤常常是由于高能量损伤所引起的,如交通伤、高处坠落伤,骨盆髌臼骨折占全身骨折的 3%,具有较高的死亡率和致残率。手术治疗骨盆髌臼骨折传统的方法包括外固定架、前后路切开钢板内固定、微创经皮螺钉内固定^[6]。切开内固定术对患者来说存在着创伤大、出血多、感染风险高等问题。随着微创手术的进展,越来越多的手术医生使用经皮螺钉内固定术治疗骨盆髌臼骨折。但由于髌骨特殊的解剖学构造,准确安全的置入髌髌螺钉是十分困难的,对于手术医生的经验与水平有着很高的要求,但据报道即便是经验丰富的医生使用传统技术置钉仍有 2%-15%的几率损伤骨盆周围血管和神经^[7-8]。为了提高置钉的准确率,人们将计算机辅助导航技术应用于髌髌螺钉的置入,国外有学者研究发现^[9-10]计算机导航置钉比传统徒手置钉准确率更高,同时随着术中三维透视技术的发展,计算机导航分为了 2D 导航和 3D 导航,研究发现^[11-12]3D 导航置钉更加精准。基于计算机导航技术国内研发了可用于治疗骨盆髌臼骨折导航机器人,国内有学者表明^[13-14]使用 Tirobot 辅助置钉,螺钉穿孔率更低。在本研究中,我们发现 RA 组的螺钉位置 I 类占 88.9%,II 类占 11.1%,III 类占 0%,远远优于 FH 组(I 类 50%,II 类 37.5%,III 类 12.5%),说明机器人导航对髌髌螺钉精准度的提升是巨大的。

导针尝试次数影响了手术对患者的损伤程度,过多次的调整将对患者的软组织及骨质产生更大的破坏,对患者的预后产生不好的影响。螺钉在被破坏过多的骨质中可能会出现固定不牢靠、退钉等情况。本研究发现 RA 组导针调整次数更少,更容易一次性将导针置入到满意位置,可以更好的保护术区软组织及骨质。

置钉时间的影响因素较多,由于设备的连接和摆放以及螺钉位置的规划占据了机器人导航置钉耗时的大部分,手术医生使用机器人的熟练程度和对骨盆区域解剖结构的掌握是机器人辅助置钉快慢的决定性因素。在使用机器人之前需要医师进行一段时间的学习,了解并掌握使用机器人流程及技巧,同时要求医师掌握传统技术置入髌髌螺钉,以应对各种突发情况,如:术中断电、机器人故障、因为空间阻挡机械臂无法运行至规划位置、多次调整仍无法将导针置入到满意位置等。同时导针的调整也会延长手术时间,就单次导针调整耗时而言,徒手置钉短于机器人辅助置钉。传统技术调整导针仅需在多次透视的指导下置入新的导针即可。虽然一般情况下,进行了定位与

校准的机器人,将会准确的导航至规划位置,但如果示踪器位移、光学跟踪摄像头对机械臂追踪器的捕捉丢失或机械臂底座未牢靠固定,导向器将指向错误位置,这时需要找到导针置入不准确的原因,解决后,重新安装标尺完成定位与校准,并重新规划路径,进行导针置入。由此可见机器人置钉单次调整导针更加耗时,所以我们应该在术中注意操作,在定位与校准完成后,保证手术台、患者以及机械臂底座的稳定性。而对于传统徒手置钉而言,透视时间是其置钉速度不可忽视的因素,多项研究^[13-15]表明导航技术比传统技术在透视时间上耗时更短。在本研究中,RA 组置钉时间更短,说明使用机器人辅助置入骶髂螺钉效率更高。

此外,辐射暴露同样是研究骶髂螺钉内固定术时不可忽视的存在,Gogos 等^[16]发现长时间的辐射暴露会增加外科医生患癌症的可能。在使用传统技术置钉时需要多次、多方位透视来动态的判断导针位置,以确保导针在安全区域内深入,而为了更快的完成手术,有些医生选择穿着铅衣,在手术室内随着透视实时打入导针,这无疑同时大大增加了患者和术者的受辐射剂量,当然这也与导针调整次数和透视次数有关,更少的导针调整会带来更少的透视次数,产生较少的辐射量。而目前使用机器人导航置钉时,多使用 O 型臂获取患者的骨盆 CT 三维图像,虽然使用机器人时,导针调整次数更少,透视次数更少,但众所周知的是无论什么型号的 O 型臂单次拍摄所造成的辐射剂量都是远远高于 C 型臂的,不过在使用 O 型臂时,医护人员可以在手术室外无辐射区等候图像获取完成。大多数研究^[9,17]认为使用 3D 导航置入骶髂螺钉产生的辐射剂量更小,但仍有学者^[18,19]发现使用 3D 导航时对医护人员的辐射量更小,但对患者造成的辐射量更大。所以我们无论在使用机器人或传统技术时,都应该重视其产生的辐射,尽量减少导针调整次数和重复透视。

虽然机器人辅助置入骶髂螺钉有着各种各样的优势,但仍有一些无法忽略的缺点值得我们注意。(1)不能指导骨折的复位,仅仅能在骨折复位的前提下辅助螺钉的置入。(2)对手术医生的要求较高,需要其能够在虚拟骨盆上规划正确的螺钉位置,同时还要能够熟练使用机器人设备,并且要掌握传统骶髂螺钉内固定术的技术,有能力在出现机器人硬件或软件故障,突然出现妨碍继续机器人手术的并发症等不可抗因素而导致无法使用机器人时切换到传统手术。(3)准确性的影响因素较多。①依赖于清晰、准确的影像数据。②患者及示踪器必须保证固定,无移位,否则需要重新获取影像数据并进行定位和校准。③当规划路径与骨面垂线成角过大时,由于导针具有

一定的弹性,在插入导针时,可能出现进针点滑移的情况。④仪器故障等特殊原因。

(4)各种原因导致机器人导航无法做到普及,只能适用于部分医疗机构及部分患者。

①设备本身昂贵,部分医疗机构无力购买。②产生的医疗费用更高,部分患者无法承担。③设备精密,维修保养复杂且成本较高,如当示踪器和机械臂追踪器的灵敏度降低时需要及时更换,光学跟踪系统及机械臂准确度降低时需要及时调试。④设备需占据较大空间,只能在较宽敞的手术室内使用。⑤需要额外的工作人员负责辅助连接设备。

目前国内没有专门用于指导机器人使用的培训平台,来为有需要的医师提供帮助,我认为应成立机器人操作培训项目,以提高医师使用机器人的熟练程度,并使其操作更加标准化与规范化。

4 结 论

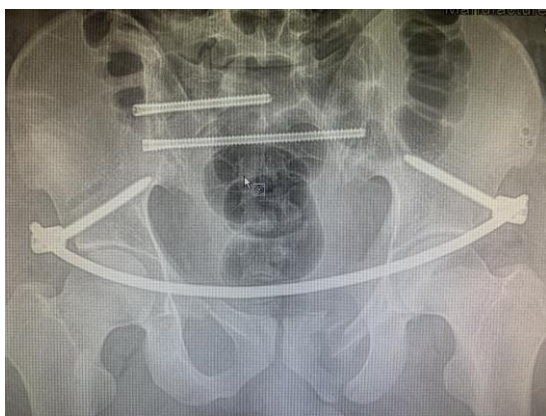
相比于传统技术，机器人辅助置入骶髂螺钉更加精准、高效，对患者损伤更小，并在一定程度上减轻了患者的麻醉负担和医护人员的工作负担，使得骶髂螺钉置入技术得到了飞跃式的进步，有很高的临床应用价值，值得我们继续深入研究和推广。



FH 组术前 X 线



FH 组术前 CT



FH 组术后 X 线



FH 组术后 CT（骶 1）



FH 组术后 CT（骶 2）



RA 组术前 X 线



RA 组术前 CT



RA 组术后 X 线



RA 组术后 CT (骶 1)



RA 组术后 CT (骶 2)

参考文献

- [1] Matte J, Saucedo T. Internal fixation of pelvic ring fractures [J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, (242): 83—97.
- [2] Letournel. Pelvic fractures[J]. Injury, 1979.
- [3] Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed?[J]. J.Bone Joint Surg, 1988, 70(1):1-12.
- [4] 尹军,刘相花,唐海英,颜乐先,陈维平,徐力,周鑫,周林.手术机器人的研究进展及其在临床中的应用[J].医疗卫生装备,2017,38(11):97-100.
- [5] Gras F, Marintschev I, Wilharm A, Klos K, Mückley T, Hofmann GO. 2D-fluoroscopic navigated percutaneous screw fixation of pelvic ring injuries--a case series [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2010, 11: 153.
- [6] Stevenson AJ, Swartman B, Bucknill AT. [Percutaneous internal fixation of pelvic fractures. German version] [J]. Unfallchirurg, 2016, 119(10): 825-834.
- [7] Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I. Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation [J]. Clin Orthop Relat Res, 1996, (329): 194-198.
- [8] Routt ML Jr, Simonian PT, Mills WJ. Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique [J]. J Orthop Trauma, 1997, 11(8): 584-589.
- [9] Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, Südkamp NP, Oberst M. Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure [J]. Clin Orthop Relat Res, 2009, 467(7): 1833-1838.
- [10] Berger-Groch J, Lueers M, Rueger JM, Lehmann W, Thiesen D, Kolb JP, Hartel MJ, Grossterlinden LG. Accuracy of navigated and conventional iliosacral screw placement in B- and C-type pelvic ring fractures [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020, 46(1): 107-113.
- [11] Behrendt D, Mütze M, Steinke H, Koestler M, Josten C, Böhme J. Evaluation of 2D and 3D navigation for iliosacral screw fixation [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2012, 7(2): 249-255.
- [12] Matityahu A, Kahler D, Krettek C, Stöckle U, Grutzner PA, Messmer P, Ljungqvist J, Gebhard F. 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): 707-710.
- [13] Zhao CP, Wang JQ, Su YG, Han W, Zhou L, Wang MY. [Clinical research on robot-assisted percutaneous pelvic and acetabular screws surgery] [J]. Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2017, 49(2): 274-280.
- [14] Long T, Li KN, Gao JH, Liu TH, Mu JS, Wang XJ, Peng C, He ZY. 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.
- [15] Han W, Zhang T, Su YG, Zhao CP, Zhou L, Wu XB, Wang JQ. Percutaneous Robot-Assisted versus Freehand S(2) Iliosacral Screw Fixation in Unstable Posterior Pelvic Ring Fracture [J]. Orthop Surg, 2022, 14(2): 221-228.
- [16] Gogos S, Touzell A, Lerner LB. What we know about intra-operative radiation exposure and hazards to operating theatre staff: A systematic review [J]. ANZ J Surg, 2022, 92(1-2): 51-56.
- [17] Passias BJ, Grenier G, Buchan J, Buchan DR, Scheschuk J, Taylor BC. Use of 3D Navigation Versus Traditional Fluoroscopy for Posterior Pelvic Ring Fixation [J]. Orthopedics, 2021, 44(4): 229-234.
- [18] Ochs BG, Gonser C, Shiozawa T, Badke A, Weise K, Rolauffs B, Stuby FM. Computer-assisted periacetabular screw placement: Comparison of different fluoroscopy-based navigation procedures with conventional technique [J]. Injury, 2010, 41(12): 1297-1305.
- [19] Theologis AA, 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-B(5): 696-702.

综述

机器人在治疗骨盆髌臼骨折中的应用

骨盆髌臼骨折多为高能量暴力所引起,如交通伤、高处坠落伤。其包括骨盆前环和后环的损伤,同时常常伴有多器官受损^[1]。在全身骨折中骨盆髌臼骨折具有并发症多,死亡率高,手术难度大等特点。手术治疗骨盆髌臼骨折传统的方法包括外固定架、前后路切开钢板内固定、微创经皮螺钉内固定^[2]。近年来,随着机器人行业的快速发展,越来越多的手术机器人被应用于医疗领域,手术机器人具有精确度高、力量大、扭矩大、辐射影响小、手术时间短等优点^[3]。在关于骨科手术机器人临床研究完善的同时,越来越多的医生开始接受并使用机器人治疗骨盆髌臼骨折。本文旨在介绍骨科手术机器人的发展及现状,总结机器人辅助治疗骨盆髌臼骨折的适应症、禁忌症、优缺点及手术方法,具体内容如下。

1. 骨科手术机器人的发展

骨科手术机器人是手术机器人领域的一个分支。1986 年研究者们首次开展了 ROBODOC 项目,并于 1992 年完成了全球第一例机器人辅助下的人工全髌关节置换术^[4]。至此骨科手术机器人进入快速发展阶段,出现了不同的种类及分支。按照术中对手术器械的跟踪定位,机器人可分为主动、半主动和被动三类。主动机器人使用二维或三维图像导航进行手术规划和自动化定位。半主动机器人依赖外科医生操作,可给予实时的触觉反馈。被动机器人也依赖外科医生的持续控制,但没有反馈回路^[5]。在国外,骨科手术机器人类型更为全面,主要包括 Spine-Assist、MXSE、ROSA One 等脊柱手术机器人,TCAT(原 ROBODOC)、Acrobot、Mako RIO 等关节手术机器人和 Intelligent Fixator、FRAC-Robo 等创伤手术机器人^[6]。在国内,由北京天智航医疗科技股份有限公司生产,拥有完全自主知识产权的“天玑”骨科手术机器人(TiRobot),是国内第一台有医疗器械注册证的手术机器人产品。适应症范围广,主要应用于脊柱全阶段椎弓根钉内固定术,骨盆、四肢等部位螺钉内固定术。定位精度高,可达亚毫米级^[7]。

2. 骨科手术机器人用于治疗骨盆髌臼骨折的研究现状

骨盆髌臼骨折占全身骨折的 3%,具有较高的死亡率和致残率。切开内固定术对患者来说存在着创伤大、出血多、感染风险高等问题。随着微创手术的进展,越来越多的手术医生使用经皮螺钉内固定术治疗骨盆髌臼骨折。因此准确的螺钉置入是至关

重要的。机器人导航技术已经被证实相较于传统透视下螺钉置入术其更加精准。

2.1 国内研究现状

国内目前应用于治疗骨盆髌臼骨折的机器人多为国产第三代 TiRobot, 其由主控制台、光学跟踪系统、机械臂、手术规划和控制软件以及导航和定位工具包组成。通过影像仪器术中获取病人的 2D/3D 影像学数据, 并将其传输至主控制台工作站, 医生可以使用手术规划和控制软件, 选择合适大小的螺钉并模拟螺钉位置及置入轨迹, 之后携带导向器的机械臂将自动摆放至合适位置, 以达到精准置钉。

2017 年 Zhao 等^[8]对 7 例机器人辅助下骶髂螺钉内固定术(实验组)与 5 例传统骶髂螺钉内固定术(对照组)治疗骨盆骨折进行研究, 两组螺钉位置优良率均为 100%。平均透视时间、平均螺钉调整次数实验组均小于对照组。Wang 等^[9]对 30 名经骶髂螺钉内固定术治疗骨盆骨折的患者进行研究, 机器人(TiRobot)辅助下置入 23 枚螺钉, 徒手置入 22 枚螺钉。机器人组螺钉置入优良率为 100%, 徒手组优良率为 95%。透视时间、导针插入时间、导针尝试次数机器人组均低于徒手组, 而总手术时间两组无明显差异。2018 年 Liu 等^[10]对 24 例机器人辅助下经皮骶髂螺钉联合 INFIX 内固定术(TiRobot 组)与 21 例传统内固定术(常规组)治疗不稳定骨盆前、后环骨折进行比较, TiRobot 组手术时间明显缩短, 透视次数、术中出血和总钻孔率明显低于常规组。2019 年 Long 等^[11]比较了 TiRobot 辅助下骶髂螺钉内固定术与传统经皮骶髂螺钉内固定术的疗效。共 91 例患者, TiRobot 组植入 66 枚骶髂螺钉, 传统组植入 43 枚骶髂螺钉。在透视次数、透视时间、手术时间、切口长度、麻醉时间、出血量等方面, TiRobot 组均优于传统组, 但骨折愈合时间、骨折复位总优良率、末次随访 Majeed 评分两组无明显差异。Liu 等^[12]分析了 86 例机器人辅助下微创内固定治疗骨盆前、后环骨折的临床资料。机器人辅助下共置入了 274 枚螺钉, 其中 262 枚螺钉一次性成功置入到满意位置。平均手术时间 175min。平均透视次数 29.1 次。末次随访平均 Majeed 评分 92.4 分。2020 年 Du 等^[13]研究了 17 例机器人(国产第三代 TiRobot)辅助下经皮髂腰双棒联合 INFIX 内固定术治疗骨盆前、后环骨折的临床效果, 术后 3~5 天 X 线片采用 Matta 评分, 优 15 例, 良 2 例。末次随访采用 Majeed 评分, 优 17 例。2021 年 Han 等^[14]比较了机器人辅助组(38 例)与传统徒手组(25 例)S2 髂骶螺钉内固定术的疗效。机器人组共置入 54 枚螺钉, 徒手组共置入 35 枚螺钉。螺钉放置优良率、透视时间、导针尝试次数机器人组均优于徒手组。术后 Matta 评分优良率两组无

明显差异。

2.2 国外研究现状

国外目前没有主流的应用用于治疗骨盆髌臼骨折的机器人,微创治疗骨盆髌臼骨折多采用术中 2D/3D 导航系统,与国内的 TiRobot 系统工作原理类似,但需要术者手动将导航导向器安置于规划位置,其研究对我们探讨机器人导航治疗骨盆髌臼骨折有一定的意义。

2008 年 Zwingmann 等^[15]对 56 例行髌髌螺钉内固定术的患者进行研究,其中 3D 导航组 24 例,常规透视组 32 例,发现导航组的螺钉错位率、透视时间和辐射剂量均小于常规透视组。2010 年 Ochs 等^[16]在 60 个半髌(30 个人工骨盆模型,30 个尸体标本)上使用 2D/3D 导航或传统技术置入 210 枚髌臼周围螺钉(逆行前柱螺钉 60 枚、逆行后柱螺钉 60 枚、髌臼上髌骨螺钉 90 枚),发现 3D 导航组相较于 2D 导航组和常规透视组,置钉更精准,但总操作时间和透视时间更长,辐射剂量更大。2011 年 Behrendt 等^[17]对无导航、2D 导航和 3D 导航辅助髌髌螺钉置入进行了比较,通过在 9 具人工骨盆和 8 具人体骨盆标本上实验,发现 3D 导航下螺钉错位率为 0%,2D 导航下为 18%,无导航下为 26%。2014 年 Matityahu 等^[18]回顾分析了 130 例置入髌髌螺钉的患者,其中 2D/3D 导航组 72 例,常规组 58 例,导航组使用 BrainLAB 导航软件,常规组使用标准透视,发现 3D 导航较 2D 导航或传统透视置钉更准确。2016 年 Theologis 等^[19]在 10 具人体标本上进行实验,对 3D 导航辅助和传统透视下行髌髌螺钉内固定术的手术时间及辐射剂量进行比较,发现 3D 导航组平均操作时间快 5 分钟以上,但其在人体标本上辐射剂量更高。2018 年 Simone 等^[20]对 21 例 O 臂导航(O-ARM)经皮髌髌螺钉固定治疗的骨盆后环骨折患者进行研究,术后采用改良的 GRAS 分类法确定螺钉的位置,I 级占 82%,II 级 15.4%,III 级仅占 2.6%。Takao 等^[21]报道了 3D 导航辅助置入髌髌螺钉准确性的影响因素,指出当规划的螺钉路径与骨面垂线成角大于 35° 时,会出现螺钉偏离规划位置的情况,建议使用导航钻预钻。Berger-Groch 等^[22]比较了 2D 导航辅助和传统技术置入髌髌螺钉的手术时间、置钉准确率和辐射暴露,共选取了 136 名患者(导航组 100 名,常规组 36 名),发现与常规组相比导航组准确率更高,辐射暴露减少近一半,但两组手术时间无明显差异。2021 年 Passias 等^[23]研究发现髌髌螺钉置入时应用 3D 导航比传统透视辐射剂量更小,透视时间更短。

2.3 骨盆髌臼骨折复位机器人

在辅助治疗骨盆髌臼骨折方面,与已经进入临床的导航机器人技术相比,复位机器人仍处于初步研究阶段,徐九峰等^[24]于2015年对主从式六自由度并联骨折复位手术机器人系统复位骨盆骨折进行试验研究,复位达到理想效果。Bignardi等^[25]于2018年报道其团队设计了一种应用于骨盆骨折复位的设备,通过术前规划复位轨迹,并由其搭载的美国PI公司的M-820六脚机器人实现复位,但其后续试验性研究仍未发表。

3. 适应症和禁忌证

3.1 适应症

因目前机器人辅助治疗骨盆髌臼骨折主要应用于精准置钉,所以对于可通过螺钉内固定术治疗的骨折均有较好的效果。

(1) 对移位较小或经有限切开可复位的耻骨上支骨折可使用机器人辅助置钉。

(2) 前环损伤需要行INFIX内固定术的患者。INFIX内固定术需要在患者骨盆两侧分别置入一枚椎弓根钉,并由一根皮下金属棒连接。受术者经验影响,两侧椎弓根钉可能出现角度相差较大,不在同一平面的情况,导致金属棒连接受阻或压迫髂外动静脉、股神经等造成严重并发症。机器人导航可以通过规划椎弓根钉位置,很大程度上避免以上情况发生。

(3) 髌臼前/后柱螺钉、髌臼顶螺钉。髌臼骨折属于关节内骨折,对复位要求较高,机器人导航主要适用于无移位或轻度移位的髌臼骨折,也可以对年龄较大,合并症较多,无法耐受切开复位内固定的患者起到改善关节功能的效果。

(4) 髌骨骨折。单纯的髌骨骨折多移位较小或经有限切开后容易复位,机器人导航大多数情况均可适用。

(5) 骨盆后环损伤包括骶髂关节分离和骶骨骨折。目前骨盆髌臼骨折中应用机器人最多的手术为经皮骶髂螺钉内固定术。

3.2 禁忌症

(1) 骨折复位困难,不能达到理想位置,在手术规划软件上无法找到安全螺钉通道。

(2) 骨折断端剪切力或张力过大,仅靠螺钉无法固定牢靠。

(3) 规划的置钉轨迹上存在无法避开的重要神经和血管。

- (4) 示踪器由于髌骨骨折, 无法牢靠的固定。
- (5) 开放性骨盆骨折, 伤口污染。
- (6) 因患者年龄过大、一般状况差、基础疾病多等原因而无法耐受麻醉或手术。

4. 优缺点

4.1 优点

- (1) 置钉精准。通过机械臂的制导, 可将螺钉准确的置入到预定位置。

(2) 更加安全。因为骨盆极为不规则的解剖特点, 在骨盆上找到的安全螺钉通道是十分困难的, 通过手术规划软件在术中采集到的图像上进行路径规划, 可以找到最合适螺钉通道。

(3) 缩短手术时间。虽然机器人的准备工作时间要高于传统内固定术, 但在置钉时, 机器人更快, 总手术时间上, 如果操作者对机器人设备熟练使用, 机器人辅助下置钉比传统螺钉内固定术更短。

(4) 降低辐射暴露。机器人导航在获取 2D/3D 图像时, 术者可以在手术室外等候, 置入导针时可通过实时光学跟踪系统确定其方向, 不需要穿着铅衣在手术室内通过反复透视来确定导针位置, 大大降低了术者的辐射暴露。但由于术者经验或手术室影像仪器的差异, 机器人导航对患者的辐射暴露与传统内固定术相比仍有争论。

(5) 减少术中出血量。由于机器人导航在切开皮肤到置钉完成的过程中耗时更短, 所以出血量更低。从一定程度上降低了患者的身体负担。

4.2 缺点

(1) 治疗骨盆髌臼骨折使用机器人的先决条件为无移位或已复位的骨折, 而很多时候骨盆髌臼骨折的复位是非常困难的。目前临床上没有可以应用的骨盆髌臼骨折复位机器人。

(2) 机器人导航准确性的影响因素较多。①依赖于清晰、准确的影像数据。②患者及示踪器必须保证固定, 无移位, 否则需要重新获取影像数据并校准。③规划路径与骨面垂线成角过大。由于导针具有一定的弹性, 在插入导针时, 可能出现进针点滑移的情况。④仪器故障等特殊原因。

(3) 依赖于治疗骨盆髌臼骨折经验丰富的医师在规划软件上进行路径规划, 同时要求术者掌握机器人导航手术的各项流程。如果对设备的使用不熟练, 可能会增加

手术时间和对患者的辐射暴露。

(4) 各种原因导致机器人导航无法做到普及, 只能适用于部分医疗机构及部分患者。①设备本身昂贵, 产生的医疗费用更高。②设备精密, 维修保养复杂。③设备需占据较大空间, 只能在较宽敞的手术室内使用。

5. 手术流程

国内应用于治疗骨盆髌臼骨折的主流机器人为国产第三代“天玑”手术机器人, 以此为例, 机器人导航置钉的手术流程如下:

5.1 准备工作

麻醉成功后, 患者于透视专用手术台上, 取适当体位(多位仰卧位), 患侧尽量靠近手术台边缘, 为置钉创造便利的空间条件。

5.2 骨折复位

对骨折进行复位, 创造出安全的螺钉通道。

5.3 安装设备

固定示踪器(多位患侧髌前上棘); 主控台放置在术者对侧, 以便向术者实时反馈导针轨迹; 光学跟踪器多摆放在床位无菌区以外; 套上无菌膜的机械臂放置于患侧并连接标尺, 标尺应贴近患者并置于术区内。

5.4 数据采集和校准

将 C 型臂或 O 型臂摆放在合适位置以获取需要的影像数据, 采集到的影像数据上应包含标尺上的全部定位标记点, 以此来实现机器人的对患者的空间定位并进行校准, 然后将影像数据传输至主控台。

5.5 选择通道

使用手术规划软件在获取的影像数据上建立合适的螺钉通道, 同时可以选择合适长度及粗细的螺钉进行模拟置钉及安全性验证。

5.6 导针置入及验证

模拟机械臂运动轨迹, 确定无阻挡, 能到达预定位置后, 拆除标尺, 主控系统确认执行, 机械臂将自动运行至合适位置, 到达合适位置后安装导向器。切开皮肤, 分离皮下组织及筋膜, 注意保护切口周围神经及血管, 将套筒插入导向器至骨面, 并在光学跟踪系统的实时监控下打入导针, 然后透视确认导针位置, 位置满意后移除套筒与机械臂。

5.7 螺钉置入与验证

测量导针进入骨质深度, 选取合适螺钉, 视情况使用/不使用空心钻扩孔, 置入螺钉并再次透视验证螺钉位置, 如位置满意, 即可拔出导针, 冲洗缝合伤口。

6. 发展前景

应用于治疗骨盆髌臼骨折的机器人尚处于起步阶段, 仍有着很大的发展空间, 未来将向着更加精准、安全、小巧灵活和功能多样性的方向发展。随着机器人技术的成熟, 设备的成本将被降低, 可以适用于更多的医疗机构及患者。同时应成立机器人操作培训项目, 为有需要的医师提供学习平台, 以提高医师使用机器人的熟练程度并使其操作更加规范化。而且骨盆髌臼骨折复位及其困难, 机器人导航微创手术受到了很大程度的限制。而复位机器人有着很好的发展前景, 当其与导航机器人相结合, 对骨盆髌臼骨折的治疗水平将是飞跃性的提升。

7. 总结

临床上由于国产第三代天玑手术机器人的投入使用, 国内越来越多的创伤科医生开始使用机器人导航辅助治疗骨盆髌臼骨折, 并得到了满意的效果。但我们并不能盲目的使用机器人, 应对其适应症、禁忌症、优缺点及操作流程有清晰地认识。与传统手术方式相比, 机器人导航确实有着明显的优势, 但医师应同时熟练掌握骨盆周围解剖结构和传统手术技术以应对各种突发情况。综上所述, 目前机器人辅助治疗骨盆髌臼骨折可为医生和患者带来益处, 值得我们深入研究并将其推广。

参考文献

- [1] Daurka JS, Pastides PS, Lewis A, Rickman M, Bircher MD. Acetabular fractures in patients aged > 55 years: a systematic review of the literature [J]. Bone Joint J, 2014, 96-B(2): 157-163.
- [2] Stevenson AJ, Swartman B, Bucknill AT. [Percutaneous internal fixation of pelvic fractures. German version] [J]. Unfallchirurg, 2016, 119(10): 825-834.
- [3] Bai L, Yang J, Chen X, Sun Y, Li X. Medical Robotics in Bone Fracture Reduction Surgery: A Review [J]. Sensors (Basel), 2019, 19(16).
- [4] Bargar WL, Bauer A, Börner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system [J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, (354): 82-91.
- [5] Subramanian P, Wainwright TW, Bahadori S, Middleton RG. A review of the evolution of robotic-assisted total hip arthroplasty [J]. Hip Int, 2019, 29(3): 232-238.
- [6] 郑长万, 陈义国, 匡绍龙, 胡颖, 张立海, 胡磊. 骨科手术机器人的发展现状分析 [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2021, 14(10): 872-877.
- [7] 尹军, 刘相花, 唐海英, 颜乐先, 陈维平, 徐力, 周鑫, 周林. 手术机器人的研究进展及其在临床中的应用 [J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(11): 97-100.

- [8] Zhao CP, Wang JQ, Su YG, Han W, Zhou L, Wang MY. [Clinical research on robot-assisted percutaneous pelvic and acetabular screws surgery] [J]. Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2017, 49(2): 274-280.
- [9] Wang JQ, Wang Y, Feng Y, Han W, Su YG, Liu WY, Zhang WJ, Wu XB, Wang MY, Fan YB. Percutaneous Sacroiliac Screw Placement: A Prospective Randomized Comparison of Robot-assisted Navigation Procedures with a Conventional Technique [J]. Chin Med J (Engl), 2017, 130(21): 2527-2534.
- [10] Liu HS, Duan SJ, Liu SD, Jia FS, Zhu LM, Liu MC. 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.
- [11] Long T, Li KN, Gao JH, Liu TH, Mu JS, Wang XJ, Peng C, He ZY. 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.
- [12] Liu HS, Duan SJ, Xin FZ, Zhang Z, Wang XG, Liu SD. Robot-assisted Minimally-invasive Internal Fixation of Pelvic Ring Injuries: A Single-center Experience [J]. Orthop Surg, 2019, 11(1): 42-51.
- [13] Du W, Sun T, Ding Y, Jiang C, Qu W, Zhang S. Robot-assisted treatment of unstable pelvic fractures with a percutaneous iliac lumbar double rod fixation combined with a percutaneous pelvic anterior ring INFIX fixation [J]. Int Orthop, 2020, 44(6): 1223-1232.
- [14] Han W, Zhang T, Su YG, Zhao CP, Zhou L, Wu XB, Wang JQ. Percutaneous Robot-Assisted versus Freehand S(2) Iliosacral Screw Fixation in Unstable Posterior Pelvic Ring Fracture [J]. Orthop Surg, 2022, 14(2): 221-228.
- [15] Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, Südkamp NP, Oberst M. Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure [J]. Clin Orthop Relat Res, 2009, 467(7): 1833-1838.
- [16] Ochs BG, Gonser C, Shiozawa T, Badke A, Weise K, Rolauffs B, Stuby FM. Computer-assisted periacetabular screw placement: Comparison of different fluoroscopy-based navigation procedures with conventional technique [J]. Injury, 2010, 41(12): 1297-1305.
- [17] Behrendt D, Mütze M, Steinke H, Koestler M, Josten C, Böhme J. Evaluation of 2D and 3D navigation for iliosacral screw fixation [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2012, 7(2): 249-255.
- [18] Matityahu A, Kahler D, Krettek C, Stöckle U, Grutzner PA, Messmer P, Ljungqvist J, Gebhard F. 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): 707-710.
- [19] Theologis AA, 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-B(5): 696-702.
- [20] Ghisla S, Napoli F, Lehoczy G, Delcogliano M, Habib N, Arigoni M, Filardo G, Candrian C. 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.
- [21] Takao M, Hamada H, Sakai T, Sugano N. Factors influencing the accuracy of iliosacral screw insertion using 3D fluoroscopic navigation [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2019, 139(2): 189-195.
- [22] Berger-Groch J, Lueers M, Rueger JM, Lehmann W, Thiesen D, Kolb JP, Hartel MJ, Grossterlinden LG. Accuracy of navigated and conventional iliosacral screw placement in B- and C-type pelvic ring fractures [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020, 46(1): 107-113.
- [23] Passias BJ, Grenier G, Buchan J, Buchan DR, Scheschuk J, Taylor BC. Use of 3D Navigation Versus Traditional Fluoroscopy for Posterior Pelvic Ring Fixation [J]. Orthopedics, 2021, 44(4): 229-234.
- [24] 徐九峰, 韩巍, 王军强, 林鸿, 王彬彬, 冯云. 骨盆复位机器人试验研究 [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2015, 8(03): 242-245.
- [25] Bignardi C, Terzini M, Audenino AL, Massai D, Aprato A, Massè A, Costa P, Zanetti EM. Pelvic manipulator for fractures reduction. Inter J Mech Eng Tech, 2018, 9(3): 570-580.

致 谢

时间就像永不停息的齿轮，不以人的意志而改变，不会因为我的不舍而停滞，三年时光匆匆而过，回忆起来如同一幅幅画卷在脑海中展开。在这三年的时间里一位位良师益友走进我的人生，在我的人生道路上给予指引，为我专业上的进步，为人处世能力的提升带来了巨大的帮助。至此，我要对他们献上我最真挚的感谢。

首先，我要感谢我的恩师杨朝晖主任。感谢杨老师对我的谆谆教诲，三年时间，杨老师倾囊相授，将全部知识毫无保留的赠予了我，虽然愚钝的我没有全部掌握，但也让我得到了许多宝贵的基础理论、临床经验和手术技巧，让我从一名临床小白成长为一名合格的住院医师。杨老师求真务实，治学严谨，尽心尽力，经常为其学生组织开展学习讨论会，监督我们科研进度的同时为我们讲解骨科方面最新的研究进展，让我们能够紧跟前沿，开拓视野并为我们创造了良好的学习氛围。而且杨老师组内师生关系融洽，在杨老师组内学习让我感到十分的舒适，我与我的同门师兄弟们称呼杨老师为师父，杨老师对我们既亲切又严格，为我们的生活与学习都给予了巨大的帮助。“春蚕织丝线，甘露育新苗”，谢谢您杨老师，能够做您的学生是我的幸运，传道授业解惑之恩情永不敢忘。

我还要感谢栗树伟老师给予我学习和生活上的帮助，让我得到了巨大的成长，我和我的同门师兄弟们亲切的称呼他为栗哥，他与我们打成一片，既是我们的老师也是无微不至关心我们的哥哥。“谆谆如师语，殷殷似友亲”，感谢您，栗树伟老师。

感谢我的大师兄聂博渊，在刚刚接触临床时，我懵懂无知，充满了紧张与焦虑，是他一步步带着我走进了临床，手把手的教会了我如何使用医生系统，如何写病历，如何换药，如何缝合等等基本技巧，为我三年的研究生道路铺上了牢固的基石。

同时还要感谢在规培期间指导过我的每一位老师，让我得到了全方位的提升。也要感谢我的同门师兄弟们在生活和学习上给予我的帮助和支持。

感谢我的女朋友王羽姗，感谢你在七年时间里的陪伴，你积极向上，勤奋好学的态度无时无刻不在影响着我，谢谢你让我变的更加优秀，同时感谢你在生活上对我的照顾，让我这个异乡人感受到了家的温暖。

最后我要感谢我的家人，你们是我永远的后盾。谢谢你们从不言语的爱，谢谢你们默默地付出，谢谢你们对我一直以来的鼓励与支持。

个人简介

一、基本情况

李昊泽, 男, 1996 年生, 汉族, 天津市宝坻区人。专业: 外科学, 主要研究方向: 创伤骨科。

二、学习工作经历(从大学起)

2014 年 9 月-2019 年 7 月, 山西医科大学, 第二临床医学院, 临床医学专业, 学士

2019 年 9 月-2022 年 7 月, 山西医科大学, 第二临床医学院, 外科学专业, 硕士

三、研究成果

(一) 发表文章

1、第一作者文章

[1] 李昊泽, 杨朝晖, 王羽姗. 机器人在治疗骨盆髌臼骨折中的应用[J]. 中国组织化学与细胞化学. (已录用)

2、其他作者文章

[1] Wang Yushan., Tian Qiaoqiao., Wu Chenyang., Li Haoze., Li Jian., Feng Yi. Management of the Cavity After Removal of Giant Cell Tumor of the Bone. Front Surg, 2021; 8(undefined), 6262-72. doi:10.3389/fsurg.2021.626272