

# 机器人辅助与传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉在老年骨质疏松性腰椎手术应用中的比较

马赛, 刘波, 李楠, 何达

https://doi.org/10.12307/2023.399

投稿日期: 2022-05-05

采用日期: 2022-07-25

修回日期: 2022-08-19

在线日期: 2022-09-13

中图分类号:

R459.9; R318; R687

文章编号:

2095-4344(2023)27-04332-05

文献标识码: A

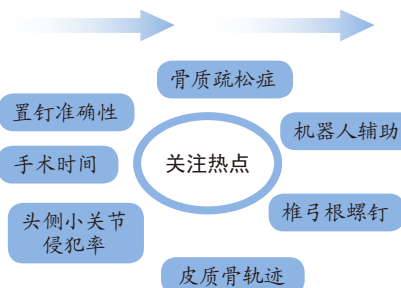
**文章快速阅读:** 机器人辅助与传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉治疗老年骨质疏松性腰椎的准确性和安全性比较

### 研究起点

- 危险因素
- 骨质疏松症
- 骨密度
- 老年人群
- 椎弓根螺钉
- 手术后并发症

### 研究来源

- 骨质疏松
- 机器人辅助置钉
- 椎弓根螺钉
- 传统椎弓根螺钉
- 皮质骨轨迹



### 研究分支

- 皮质骨轨迹
- 腰椎退行性疾病
- 皮质骨
- 椎弓根
- 骨质疏松
- 机器人辅助

### 文题释义:

**皮质骨轨迹螺钉:** 于2009年首次提出, 其进钉方向由内下向外上, 在矢状位上遵循由尾端至头端路径, 在横断面上遵循由内侧向外侧的路径。

**上关节突侵犯:** 是位于邻近小关节1 mm范围内的螺钉和/或螺帽。

### 摘要

**背景:** 皮质骨轨迹螺钉较椎弓根螺钉能有效提高内固定把持力, 但其具有学习曲线较长和误置率高的特点, 骨科机器人能有效克服上述局限, 提高置钉准确性和安全性。

**目的:** 对比机器人辅助和传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉在老年骨质疏松性腰椎手术患者中的准确性与安全性。

**方法:** 2015年6月至2021年3月, 回顾性分析北京积水潭医院行腰椎皮质骨轨迹螺钉内固定手术的年龄 $\geq 65$ 岁骨质疏松症患者。共纳入64例患者, 其中机器人组23例采用机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉, 共置入92枚皮质骨轨迹螺钉; 徒手组41例采用传统徒手置钉, 共置入164枚皮质骨轨迹螺钉。使用改良的Gertzbein-Robbins分级方法评估置钉准确性以及头侧小关节侵犯发生率; 并观察手术时间、术中出血量、术后住院时间和并发症等。

**结果与结论:** ①机器人组置钉优良率为97.8%, 显著高于徒手组的87.2% ( $P < 0.001$ ); ②机器人组和徒手组头侧小关节侵犯率组间差异无显著性意义 ( $P = 0.157$ ); ③2组术中出血量、术后住院时间以及术后伤口感染率比较差异均无显著性意义; ④结果说明, 在老年骨质疏松性腰椎手术中, 机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉是比传统徒手置钉更准确、安全的方法。

**关键词:** 机器人手术; 徒手; 皮质骨轨迹螺钉; 安全性; 准确性

## Comparison of robot-assisted and free-hand cortical bone trajectory screw in lumbar spinal surgery for senile osteoporosis

Ma Sai, Liu Bo, Li Nan, He Da

Department of Spine Surgery, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China

Ma Sai, MD, Attending physician, Department of Spine Surgery, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China

**Corresponding author:** He Da, MD, Chief physician, Department of Spine Surgery, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China

### Abstract

**BACKGROUND:** Compared with pedicle screws, cortical bone trajectory screws can improve the holding force, but they have longer learning curve and high misplacement rate. Orthopedic robots can overcome the above limitations and improve the accuracy and safety of screw placement.

**OBJECTIVE:** To compare the accuracy and safety of robot-assisted with those of free-hand cortical bone trajectory screw placement in senile osteoporotic patients with lumbar spinal surgery.

**METHODS:** From June 2015 to March 2021, data of patients aged  $\geq 65$  years old with osteoporosis, who underwent lumbar cortical bone trajectory screw instrumentation in Beijing Jishuitan Hospital, were retrospectively analyzed. A total of 64 patients were included in the study. In the robot group ( $n=23$ ), 92 TiRobot-assisted cortical bone trajectory screws were implanted. In the free-hand group ( $n=41$ ), 164 cortical bone trajectory screws were implanted. The modified Gertzbein-Robbins scale was used to assess the accuracy of screw placement and the incidence of proximal facet joint violation. Operative time, intraoperative blood loss, postoperative hospital stay, and complications were observed.

北京积水潭医院脊柱外科, 北京市 100035

第一作者: 马赛, 男, 1985年生, 北京市人, 博士, 主治医师, 主要从事脊柱外科的研究。

通讯作者: 何达, 博士, 主任医师, 北京积水潭医院脊柱外科, 北京市 100035

https://orcid.org/0000-0002-5639-0197 (马赛)

引用本文: 马赛, 刘波, 李楠, 何达. 机器人辅助与传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉在老年骨质疏松性腰椎手术应用中的比较 [J].

中国组织工程研究, 2023, 27(27):4332-4336.



**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) In the robot group, the proportion of clinically acceptable screws (97.8%) was significantly higher than the 87.2% in the free-hand group ( $P < 0.001$ ). (2) There was no statistically significant difference in the rate of cephalic facet joint violation between the robot and free-hand groups ( $P = 0.157$ ). (3) There was no statistically significant difference in the blood loss, postoperative hospital stay, or wound infection between the two groups. (4) These findings indicate that in osteoporotic patients with lumbar spine surgery, robot-assisted placement of cortical bone trajectory screw is more accurate and safe compared with free-hand placement.

**Key words:** robotic surgery; free hand; cortical bone trajectory; safety; accuracy

**How to cite this article:** MA S, LIU B, LI N, HE D. Comparison of robot-assisted and free-hand cortical bone trajectory screw in lumbar spinal surgery for senile osteoporosis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2023;27(27):4332-4336.

## 0 引言 Introduction

随着全球人口老龄化加剧，脊柱退行性疾病患者合并骨质疏松症的发病率逐年增高<sup>[1]</sup>。钉棒系统作为脊柱退行性疾病最常见的治疗术式之一，在脊柱手术中广泛应用。然而，在骨质疏松症患者中螺钉的松动率超过 60%，这导致内固定失败的概率较高<sup>[2-3]</sup>。2009 年，SANTONI 等<sup>[4]</sup>报道了一种用于腰椎椎弓根螺钉置入的新轨迹，皮质骨轨迹(cortical bone trajectory, CBT)螺钉。多项研究表明，皮质骨轨迹螺钉比传统的椎弓根螺钉具有更好的生物力学性能，尤其是应用在骨质疏松症患者中更为明显<sup>[5-7]</sup>。因此，这项技术有望在骨质疏松症患者中成为新的脊柱内固定策略。然而，对于骨质疏松症患者，由于椎体骨量较差，导致在传统徒手置钉方案中术者制备钉道时存在探子手感较弱的特点，这可能导致皮质骨轨迹螺钉的置钉不良率增高。因此，有必要探索更佳的辅助置钉方案。

“天玑”手术机器人作为一种国产通用型骨科手术机器人，采用术中即时三维 CT 导航，结合精准的机械臂，在骨科手术中应用广泛。多项研究表明，天玑机器人能显著提高置钉准确性、降低辐射量，并在部分手术中能显著缩短手术时间，其已被证明在多种术式中具有准确性和安全性<sup>[8-9]</sup>。为了最大化发挥皮质骨轨迹螺钉的优势，使用机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉具有重要意义。因此，本研究拟通过比较机器人辅助和传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉在骨质疏松性腰椎手术患者中的准确性和安全性结果，为今后相关的临床治疗提供参考和指导。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**1.1 设计** 回顾性分析，分组对照观察。组间比较使用独立样本  $t$  检验或 Wilcoxon 检验；两组率的比较采用  $\chi^2$  检验；等级资料比较采用秩和检验。

**1.2 时间及地点** 病历资料来自 2015 年 6 月至 2021 年 3 月北京积水潭医院行腰椎皮质骨轨迹螺钉内固定手术的骨质疏松症患者。

**1.3 对象** 北京积水潭医院行腰椎皮质骨轨迹螺钉内固定手术的 64 例骨质疏松症患者的临床资料。

**纳入标准:** ①年龄  $\geq 65$  岁者；② QCT 评估骨密度  $< 80 \text{ mg/cm}^3$  者；③  $L_{4/5}$  或  $L_5/S_1$  单节段腰椎间盘突出症或腰椎滑脱症(Meyerding 分度 I 度或 II 度)患者；④应用皮质骨轨迹螺钉内固定的患者。

**排除标准:** ①合并腰椎结核、感染、肿瘤、脊柱侧弯的患者；②术中行骨水泥钉道强化、扩大减压的患者；③影像资料不全的患者。

该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和北京积水潭医院对研究的相关伦理要求。研究纳入的患者其家属对治疗过程完全知情同意，并签署了“知情同意书”。

**1.4 材料** “天玑”骨科手术机器人(天智航, 北京, 中国), 由光学跟踪装置、手术规划工作站以及机械臂等结构组成; 机械臂有 6 个自由度(6-DOF), 允许精确和稳定的定位。皮质骨轨迹螺钉材料特征见表 1。

表 1 | 临床试验应用的骨科植入物介绍

Table 1 | Introduction of orthopedic implants used in clinical trials

指标	皮质骨轨迹螺钉
植入物生产厂家	Medtronic Sofamor Danek USA Inc.
批准号	国械注进 20153460096
组成	该系统由螺钉、螺帽和连接棒组成
材质	钛合金
型号	55840014530, 55840014535
适应证	合并骨质疏松的腰椎退行性疾病(腰椎间盘突出症、腰椎管狭窄症); 骨密度正常的腰椎退行性疾病(腰椎间盘突出症、腰椎管狭窄症); I 度或 II 度腰椎滑脱; Cobb 角 $20^\circ$ 以内的退行性脊柱侧凸; 腰椎内固定术后邻近椎病; 多锚点固定(皮质骨螺钉卫星棒技术); 腰椎骨水泥植入术(椎体成形术)术后置钉; 传统椎弓根螺钉置钉失败后的补救措施。
功能	辅助脊柱的固定和稳定
植入物不良反应对人体细胞、组织的影响	内植物断裂; 金属过敏; 内植物松动、弯曲

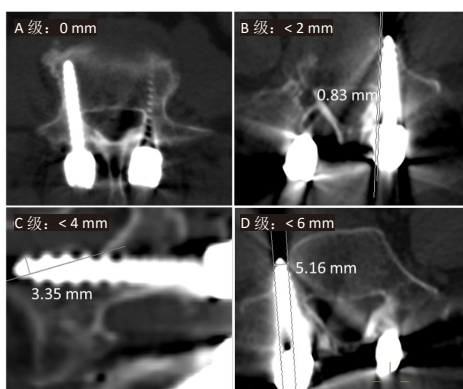
## 1.5 方法

**1.5.1 腰椎皮质骨轨迹螺钉内固定** 麻醉诱导后，将患者置于俯卧位。手术采用后正中入路，切开皮肤和皮下组织，分离肌肉，显露皮质骨轨迹螺钉进钉点。使用徒手技术在透视引导下或机器人辅助下置入皮质骨轨迹螺钉。传统徒手方式采用 X 射线侧位和正位透视，制备钉道时的螺钉轨迹使用软探进行探测。机器人辅助组使用机器人置入克氏针后，再沿克氏针置入空心皮质骨轨迹螺钉，并采用侧位和正位 X 射线透视确定克氏针和(或)螺钉的位置，见图 1。必要时进行骨水泥强化、减压和融合手术。



图 1 | “天玑”骨科手术机器人术中手术图片  
Figure 1 | Intraoperative picture of “Tianji” orthopedic surgery robot

1.5.2 评估指标 所有患者均接受术后薄层 CT 扫描 (层厚 1 mm)。采用 CT 三维重建技术评估螺钉置入的准确性。螺钉对椎体或椎弓根边缘的任何皮质破坏都以 mm 为单位进行测量。用改良的 Gertzbein-Robbins 分级方法评价螺钉置入的准确性<sup>[10]</sup>: A 级椎体或椎弓根皮质无破坏; B 级螺钉穿透皮质 < 2 mm; C 级螺钉穿透骨皮质 ≥ 2 mm 但 < 4 mm; D 级螺钉穿透骨皮质为 ≥ 4 mm 但 < 6 mm; E 级螺钉穿透骨皮质 ≥ 6 mm。A 级和 B 级螺钉被认为临床可接受; C, D 或 E 级螺钉被认为是不良置钉, 见图 2。上关节突侵犯的定义是位于邻近小关节 1 mm 范围内的螺钉和 / 或螺帽。由 2 名未参与该手术的脊柱外科医生分别对螺钉准确度以及上关节突侵犯情况进行评估, 若两者评估结果存在争议, 则由第 3 名未参与手术的脊柱外科医师进行以上评估, 讨论确定后将最终结果纳入统计分析结果。



图注: A 级螺钉没有突破椎弓根或椎体皮质; B 级螺钉突破皮质 < 2 mm; C 级螺钉突破皮质 < 4 mm; D 级螺钉突破皮质 < 6 mm; E 级螺钉突破皮质 ≥ 6 mm (未展示)

图 2 | CT 扫描显示螺钉的改良 Gertzbein-Robbins 分级  
Figure 2 | CT scan showing modified Gertzbein-Robbins classification of screws

常规记录了患者的性别、年龄、体质量指数、手术时间、术中出血量、术后住院时间、并发症以及术中由机器人辅助置钉改徒手置钉的情况等。

## 1.6 观察指标

1.6.1 主要观察指标 使用改良的 Gertzbein-Robbins 分级方法评估置钉准确性以及头侧小关节侵犯发生率。

1.6.2 次要观察指标 包括手术时间、术中出血量、术后住院时间和并发症等。

1.7 统计学分析 使用 SPSS 20.0 统计软件进行分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。当数据为正态分布时, 组间比较使用独立样本 *t* 检验; 当数据非正态分布时, 组间比较使用 Wilcoxon 检验。两组率的比较采用  $\chi^2$  检验。等级资料比较采用秩和检验。当  $P < 0.05$  时认为差异有显著性意义。文章的统计学方法已经北京积水潭医院生物统计学专家审核。

## 2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入患者 64 例, 分为 2 组, 全部进入结果分析。

2.2 患者基线资料分析 64 例患者按手术方式分为机器人组 23 例, 共置入 92 枚皮质骨轨迹螺钉; 徒手组 41 例, 共置入 164 枚皮质骨轨迹螺钉。机器人组和徒手组患者的性别、年龄和骨密度比较差异均无显著性意义; 机器人组的体质量指数显著高于徒手组 ( $P=0.004$ ), 见表 2。

表 2 | 患者基础信息  
Table 2 | Basic information of patients

项目	总体	机器人组	徒手组	<i>P</i> 值
病例数 ( <i>n</i> )	64	23	41	
螺钉数 ( <i>n</i> )	256	92	164	
性别 (男 / 女, <i>n</i> )	20/44	7/16	13/28	0.916
年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	64.22 ± 6.63	65.30 ± 7.61	63.61 ± 6.02	0.330
体质量指数 ( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	25.93 ± 4.11	27.88 ± 3.98	24.83 ± 3.80	0.004
骨密度 (mg/cm <sup>3</sup> )	75.22 ± 2.72	75.96 ± 2.40	74.80 ± 2.82	0.104

## 2.3 皮质骨轨迹螺钉精度

2.3.1 置钉准确性 机器人组 92 枚皮质骨轨迹螺钉中 A 级、B 级和 C 级螺钉分别为 81 枚 (88.04%)、8 枚 (8.79%) 和 2 枚 (2.17%); 徒手组 164 枚皮质骨轨迹螺钉中 A 级、B 级、C 级和 D 级螺钉分别为 112 枚 (68.29%)、31 枚 (18.90%)、14 枚 (8.54%) 和 7 枚 (4.27%), 见表 3。

表 3 | Gertzbein-Robbins 分级方法评价两组螺钉置钉准确性  
(螺钉数目 *n* / %)

分级	机器人组 ( <i>n</i> =92)	徒手组 ( <i>n</i> =164)	<i>P</i> 值
A	81/88.0	112/68.3	< 0.001
B	8/8.8	31/18.9	< 0.001
A+B	90/97.8	143/87.2	< 0.001
C	2/2.2	14/8.5	< 0.001
D	0/0	7/4.3	< 0.001
E	0/0	0/0	
C+D+E	2/2.2	21/12.8	< 0.001

表注: A 级, 螺钉没有突破椎弓根或椎体皮质; B 级, 螺钉突破皮质 < 2 mm; C 级, 螺钉突破皮质 < 4 mm; D 级, 螺钉突破皮质 < 6 mm; E 级, 螺钉突破皮质 ≥ 6 mm

2.3.2 螺钉偏移方向 不良螺钉 (C 级、D 级和 E 级) 的偏移方向见表 4。机器人组和徒手组的头侧小关节侵犯率的组间差异无显著性意义 ( $P=0.157$ ); 机器人组的手术时间为 (184.57 ± 35.70) min, 长于徒手组 (137.38 ± 37.12) min。

表 4 | 两组螺钉偏移方向统计 (C+D+E 级螺钉)  
Table 4 | Statistics on the direction of screw offset in the two groups (C+D+E grade screws)

螺钉偏移	机器人组 ( <i>n</i> =92)	徒手组 ( <i>n</i> =164)
椎弓根头侧	0	5/3.0
椎弓根尾侧	0	4/2.4
椎弓根内侧	0	4/2.4
椎弓根外侧	1/1.09	3/1.8
椎体前缘皮质	0	3/1.8
椎体上终板	1/1.09	2/1.2

表注: C, D, E 级为 Gertzbein-Robbins 分级; C 级, 螺钉突破皮质 < 4 mm; D 级, 螺钉突破皮质 < 6 mm; E 级, 螺钉突破皮质 ≥ 6 mm

2.4 并发症 两组患者术中出血量、术后住院时间及术后伤口感染率差异均无显著性意义。徒手组有 2 例患者因术后出现神经症状进行了二次调钉手术, 见表 5。



表 5 | 两组患者术中出血量、术后住院时间及并发症比较

Table 5 | Comparison of intraoperative blood loss, postoperative hospital stay and complications between the two groups

特征	总体螺钉数 (n=256)	机器人组 (n=92)	徒手组 (n=164)	P 值
手术时间 ( $\bar{x}\pm s$ , min)	154.60±42.93	184.57±35.70	137.38±37.12	0.000
术中出血量 ( $\bar{x}\pm s$ , mL)	285.78±171.05	373.91±233.97	236.34±94.86	0.059
术后住院时间 ( $\bar{x}\pm s$ , d)	5.23±1.58	5.48±2.13	5.10±1.18	0.359
改手动 (n)	2	2	0	
并发症 (n)				
感染	3	1	2	0.966
神经损伤	2	0	2	0.540
头侧小关节侵犯	10	3	7	0.157

2.5 生物相容性 两组患者均无植入物周围感染、植入物过敏、植入物免疫排斥或其他局部及全身不良反应

### 3 讨论 Discussion

皮质骨轨迹螺钉技术是一种新的腰椎内固定方法。有生物力学研究表明,与传统椎弓根螺钉相比,皮质骨轨迹螺钉具有更佳的力学性能,因为皮质骨轨迹螺钉置入在高骨密度区域<sup>[11-13]</sup>;同时,有研究认为皮质骨轨迹螺钉比椎弓根螺钉更微创,因为皮质骨轨迹技术允许更少的肌肉和小关节剥离,从而实现腰椎后路内固定的微创化<sup>[14-15]</sup>。因此,部分学者认为皮质骨轨迹技术是老年骨质疏松患者的最佳选择。

虽然具有上述优点,但是皮质骨轨迹螺钉仍存在如下潜在风险。首先,皮质骨轨迹螺钉缺乏易于识别和可复制的进钉点标志,螺钉长度和进钉方向较传统椎弓根螺钉更难掌握<sup>[16]</sup>;第二,皮质骨轨迹螺钉置钉点位于峡部附近,IWATSUKI等<sup>[17]</sup>的研究表明这可能导致峡部骨折,特别是当螺钉尺寸不合适时;第三,皮质骨轨迹螺钉在螺钉误置时,易于导致神经根损伤,因为螺钉置钉点位于神经根上方<sup>[18]</sup>;第四,皮质骨轨迹螺钉允许术者暴露的视野更小,切口变小的同时,操作难度提高<sup>[19-20]</sup>。上述局限导致皮质骨轨迹螺钉在徒手置钉的学习曲线较长<sup>[21]</sup>。此外,有研究表明,在老年骨质疏松症患者中,术者在置入椎弓根螺钉时,探子制备钉道的手感较弱,这会导致术者在采用传统方案徒手置钉时,增加置钉错误率<sup>[22]</sup>。

随着精准医学和微创医学成为行业发展趋势,近年来,脊柱手术引入了多种机器人辅助置钉手术<sup>[23]</sup>。天玑机器人系统是国内首台完全自主研发的多适应证骨科手术机器人,可用于脊柱、骨盆及四肢手术。由于应用范围广泛,具有较高的成本效益。多项研究证明了骨科机器人提高手术准确性和减少医生辐射暴露的优势<sup>[24-25]</sup>,这些特性可以克服皮质骨轨迹螺钉的局限,从而最大化皮质骨轨迹螺钉的潜力。因此,对机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉的研究十分必要。

此次研究纳入了 64 例患者和 256 枚皮质骨轨迹螺钉,机器人组置钉优良率为 97.8%,显著高于徒手组的 87.2%。也许更重要的是螺钉偏移的方向,因为这与临床更相关;徒手组有更多的椎弓根内侧和尾侧螺钉侵犯,这存在更高的神经根损伤可能性;徒手置钉组有 2 例患者因置钉不当,术后

出现神经症状,并因此进行了二次手术;此外,机器人组和徒手组均出现了椎体前方皮质或头侧终板侵犯,这可能与皮质骨轨迹技术的特殊轨迹有关。椎体前方骨皮质的穿透会导致周围肌肉和血管的损伤,终板损伤可引起腰痛和椎间盘退变。然而,之前鲜有研究关注皮质骨轨迹技术的这些风险。此次研究表明,外科医生应该更加注意皮质骨轨迹螺钉的置钉过程,以防止其穿透椎前皮质或头侧终板。

KASUKAWA等<sup>[26]</sup>的研究结果显示报道,透视辅助下的皮质骨轨迹螺钉置钉优良率为 90%(38/42),略高于此次研究的徒手组结果,可能的原因是评估标准的差异。既往研究多数只关注椎弓根的侵犯情况,作者认为这对皮质骨轨迹技术来说是不够的。因此,此次研究使用了改良的 Gertzben-Robbins 分级系统,该系统包括对椎弓根和椎体皮质侵犯情况的评估。研究表明,侵犯头侧小关节会导致邻椎病的发生,影响椎间融合术后的融合率<sup>[27-28]</sup>。此次研究结果显示机器人组和徒手组的头侧小关节侵犯率没有显著差异。一个可能的解释是,术者在使用皮质骨轨迹这种新技术时,头侧小关节侵犯的风险并没有引起术者在规划螺钉轨迹时的注意。因此,此次研究提醒术者在置入皮质骨轨迹螺钉时,应对螺钉可能侵犯头侧小关节的情况引起更多重视。机器人组手术时间明显长于徒手组,术中准备阶段可能是导致手术时间延长的主要原因。此外,此次研究中机器人组的患者体质量指数较大,这可能导致手术难度增加,从而延长手术时间。

此次研究表明,在老年骨质疏松性腰椎患者中,机器人辅助较传统徒手置入皮质骨轨迹螺钉的准确率显著提高。作者所在的团队使用机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉时有如下体会:①术者在早期使用骨科机器人辅助置钉不熟练时,机器人组的手术时间更长,尤其在短节段脊柱手术中更为明显;②短节段脊柱手术采用经皮置钉,能减少皮肤和肌肉的牵张力,机器人的辅助置钉精度更高,并降低术中机器人辅助置钉改徒手置钉的概率;③机器人术中规划工作台能清楚的看到头侧小关节的侵犯情况,术者规划和置钉都应避免侵犯头侧小关节。

此次研究存在如下局限性:①比较了使用机器人辅助或透视引导的 2 个匹配的队列,但两组患者的体质量指数不一致,可能影响了手术难度和结果分析;②研究的样本量较小,皮质骨轨迹螺钉作为一种新技术,临床中医生和患者目前的使用和接受意愿仍较低;③研究未纳入术中放射次数、手术费用、长期随访等评价参数。未来的研究方向除了扩大研究样本量和增加评估参数外,进一步对比各类导航以及各种术式的临床结果亦是重要的,如比较 O 臂导航和机器人导航,不同骨科机器人之间的临床结果差异,导航在开放手术和微创手术之间的结果比较都是值得进一步探索的。

综上所述,此次研究证实了在老年骨质疏松性腰椎手术中,机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉是比传统徒手置钉更准确、安全的方法。该研究为骨质疏松症患者使用机器人辅助置入皮质骨轨迹螺钉的优越性提供了理论依据,并为将来进一步的研究方向提供了参考和指导。

**作者贡献:** 马赛负责数据收集、整理、统计分析和文章撰写等, 李楠负责科研设计及既往研究成果的收集, 刘波、何达负责文章整体设计与内容修改及审阅。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

**版权转让:** 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

**出版规范:** 文章撰写遵守了《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND 声明); 出版前经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重; 经小同行外审专家双盲审稿, 同行评议认为符合期刊发稿宗旨。

#### 4 参考文献 References

- [1] WOLFERT AJ, ROMPALA A, BEYER GA, et al. The Impact of Osteoporosis on Adverse Outcomes After Short Fusion for Degenerative Lumbar Disease. *J Am Acad Orthop Surg.* 2022;30(12):573-579.
- [2] EL SA, MEIER S, SANDER A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2013;39(5):455-460.
- [3] 白璧辉, 谢兴文, 李鼎鹏, 等. 我国近 5 年来骨质疏松症流行病学研究现状 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2018,24(2):253-258.
- [4] SANTONI BG, HYNES RA, MCGILVRAY KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws. *Spine J.* 2009;9(5):366-373.
- [5] BALUCH DA, PATEL AA, LULLO B, et al. Effect of physiological loads on cortical and traditional pedicle screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(22):E1297-E1302.
- [6] SANSUR CA, CAFFES NM, IBRAHIMI DM, et al. Biomechanical fixation properties of cortical versus transpedicular screws in the osteoporotic lumbar spine: an in vitro human cadaveric model. *J Neurosurg Spine.* 2016;25(4):467-476.
- [7] MATSUKAWA K, ABE Y, YANAI Y, et al. Regional Hounsfield unit measurement of screw trajectory for predicting pedicle screw fixation using cortical bone trajectory: a retrospective cohort study. *Acta Neurochir (Wien).* 2018;160(2):405-411.
- [8] LE XF, SHI Z, WANG QL, et al. Rate and Risk Factors of Superior Facet Joint Violation during Cortical Bone Trajectory Screw Placement: A Comparison of Robot-Assisted Approach with a Conventional Technique. *Orthop Surg.* 2020;12(1):133-140.
- [9] HUANG M, TETREAU TA, VAISHNAV A, et al. The current state of navigation in robotic spine surgery. *Ann Transl Med.* 2021;9(1):86.
- [10] GERTZBEIN SD, ROBBINS SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(1):11-14.
- [11] MATSUKAWA K, TAGUCHI E, YATO Y, et al. Evaluation of the Fixation Strength of Pedicle Screws Using Cortical Bone Trajectory: What Is the Ideal Trajectory for Optimal Fixation?. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015; 40(15):E873-E878.
- [12] MATSUKAWA K, YATO Y, KATO T, et al. In vivo analysis of insertional torque during pedicle screwing using cortical bone trajectory technique. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(4):E240-E245.
- [13] 付荣华, 耿晓鹏, 付国勇, 等. 椎弓根皮质骨通道与常规通道螺钉治疗骨质疏松性腰椎疾病 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020,28(5): 405-410.
- [14] SAKAURA H, MIWA T, YAMASHITA T, et al. Posterior lumbar interbody fusion with cortical bone trajectory screw fixation versus posterior lumbar interbody fusion using traditional pedicle screw fixation for degenerative lumbar spondylolisthesis: a comparative study. *J Neurosurg Spine.* 2016;25(5):591-595.
- [15] SAKAURA H, MIWA T, YAMASHITA T, et al. Cortical bone trajectory screw fixation versus traditional pedicle screw fixation for 2-level posterior lumbar interbody fusion: comparison of surgical outcomes for 2-level degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine.* 2018;28(1):57-62.
- [16] 林书, 胡珩, 万仑, 等. 骨科机器人辅助皮质骨轨迹螺钉内固定治疗腰椎退行性疾病 [J]. *中国组织工程研究*, 2022,26(15):2356-2360.
- [17] IWATSUKI K, YOSHIMINE T, OHNISHI Y, et al. Isthmus-guided cortical bone trajectory for pedicle screw insertion. *Orthop Surg.* 2014;6(3): 244-248.
- [18] 王海峰, 曾忠友, 金辉. 后路腰椎椎间融合术中使用皮质骨轨迹螺钉或椎弓根螺钉治疗腰椎退行性疾病 [J]. *脊柱外科杂志*, 2020, 18(1):53-57.
- [19] MIZUNO M, KURAIISHI K, UMEDA Y, et al. Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory screw. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2014;54(9): 716-721.
- [20] DING H, HAN B, HAI Y, et al. The Feasibility of Assessing the Cortical Bone Trajectory Screw Placement Accuracy Using a Traditional Pedicle Screw Insertion Evaluation System. *Clin Spine Surg.* 2021;34(2): E112-E120.
- [21] LI Y, CHEN L, LIU Y, et al. Accuracy and safety of robot-assisted cortical bone trajectory screw placement: a comparison of robot-assisted technique with fluoroscopy-assisted approach. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):328.
- [22] MOLLIQAJ G, SCHATLO B, ALAID A, et al. Accuracy of robot-guided versus freehand fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery. *Neurosurg Focus.* 2017;42(5):E14.
- [23] JOSEPH JR, SMITH BW, LIU X, et al. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurg Focus.* 2017;42(5):E2.
- [24] VILLARD J, RYANG YM, DEMETRIADES AK, et al. Radiation exposure to the surgeon and the patient during posterior lumbar spinal instrumentation: a prospective randomized comparison of navigated versus non-navigated freehand techniques. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014; 39(13):1004-1009.
- [25] SENSAROVIC WF, O'DELL MC, AGHA A, et al. CT Radiation Dose Reduction in Robot-assisted Pediatric Spinal Surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2017;42(7):E417-E424.
- [26] KASUKAWA Y, MIYAKOSHI N, HONGO M, et al. Short-Term Results of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Using Pedicle Screw with Cortical Bone Trajectory Compared with Conventional Trajectory. *Asian Spine J.* 2015;9(3):440-448.
- [27] SHAH RR, MOHAMMED S, SAIFUDDIN A, et al. Radiologic evaluation of adjacent superior segment facet joint violation following transpedicular instrumentation of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28(3): 272-275.
- [28] KIM HJ, CHUN HJ, KANG KT, et al. The biomechanical effect of pedicle screws' insertion angle and position on the superior adjacent segment in 1 segment lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(19): 1637-1644.

(责任编辑: WZH, ZN, ZH)