

Accurate Pedicle Screw Positioning Technology of Tianji Orthopedic Robot in Spinal Fusion Surgery

Xiaofang Cao

Wuhan Puren Hospital, Wuhan, Hubei, 430080, China

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the effectiveness and feasibility of precise pedicle screw positioning technology using Tianji orthopedic robots in spinal fusion surgery. Firstly, a retrospective analysis was conducted on the clinical data of a group of patients undergoing spinal fusion surgery. All surgeries are performed by experienced orthopedic doctors using Tianji orthopedic robots for pedicle screw positioning. Through computer-aided navigation systems and robot guidance, pedicle screws are accurately positioned in the patient's spine. The Tianji orthopedic robot has successfully achieved precise pedicle screw positioning in all surgeries. There were no obvious complications or positioning errors during the surgery. Postoperative follow-up showed that most patients had good fusion and did not experience any loosening or displacement of pedicle screws.

Keywords

Tianji orthopedic robot; spinal fusion surgery; pedicle screw; positioning technology

天玑骨科机器人在脊柱融合手术中的精确椎弓根螺钉定位技术的研究

曹晓芳

武汉市普仁医院, 中国·湖北 武汉 430080

摘要

本研究的目的是评估天玑骨科机器人在脊柱融合手术中的精确椎弓根螺钉定位技术的效果和可行性。首先回顾性分析了一组接受脊柱融合手术的患者临床数据。所有手术由经验丰富的骨科医生使用天玑骨科机器人进行椎弓根螺钉定位。通过计算机辅助导航系统和机器人引导, 椎弓根螺钉被准确地定位于患者的脊柱。天玑骨科机器人在所有手术中成功实现了精确的椎弓根螺钉定位。手术过程中未发生明显的并发症或定位错误。术后随访显示, 大多数患者的融合情况良好, 并且没有出现椎弓根螺钉松动或移位的情况。

关键词

天玑骨科机器人; 脊柱融合手术; 椎弓根螺钉; 定位技术

1 引言

脊柱融合手术是一种常见的治疗方法, 用于处理少数椎间盘突出或椎管狭窄等功能紊乱引起的脊柱问题。该手术通过使原本活动的脊柱节段变得固定, 将其融合成一个整体, 以恢复脊柱稳定性和改善症状。脊柱融合手术是治疗脊柱相关疾病的一种常见方法。然而, 传统手工定位椎弓根螺钉存在定位不准确和手术风险高的问题。天玑骨科机器人作为一种新兴的技术, 具有潜在在脊柱融合手术中提供精确的椎弓根螺钉定位。本研究旨在评估天玑骨科机器人在脊柱融合手术中的精确椎弓根螺钉定位技术的效果和可行性。

【作者简介】曹晓芳(1985-), 女, 中国湖北武汉人, 本科, 主管护师, 从事麻醉科护理研究。

2 脊柱融合手术中精确椎弓根螺钉定位存在问题

2.1 传统脊柱融合手术中椎弓根螺钉定位的挑战性问题

手工定位椎弓根螺钉存在定位不准确的问题。椎弓根螺钉是用于固定脊柱的重要器械, 位置与角度对于手术效果而言至关重要^[1]。然而, 由于人工操作的局限性和解剖结构的复杂性, 手工定位往往难以达到理想的精度。即使经验丰富的医生也面临着定位偏差和误差的风险, 这可能导致手术效果不佳。

2.2 定位不准确可能导致手术风险增加和术后并发症出现

定位不准确可能导致手术风险增加和术后并发症的出现。如果椎弓根螺钉定位不准确, 可能会导致螺钉穿过骨组

织或接触到神经结构，从而增加手术风险和术后并发症的发生。这些并发症可能包括神经损伤、感染、螺钉松动或移位等，严重影响手术效果和患者的康复。

3 精确椎弓根螺钉定位问题分析

3.1 定位准确性受操作者经验和技巧的限制

手工定位需要医生具备良好的手眼协调能力和解剖知识。然而，人的手部精细运动存在一定的误差和不确定性。在操作过程中也难免受到手部颤抖、疲劳或其他因素的影响，导致椎弓根螺钉的定位不够精确，可能会增加手术风险并影响手术效果。

3.2 操作受解剖结构复杂性的挑战

脊柱是一个复杂的解剖结构，椎骨间存在着多个骨质组织、关节和神经结构。手工定位需要医生在有限的视野下判断和定位，容易受到周围解剖结构的干扰，增加了定位的难度和风险。这可能导致椎弓根螺钉的位置偏离目标位置，影响手术效果和患者的康复。

3.3 缺乏实时反馈和导航系统

传统手工定位缺乏实时的反馈和导航系统，医生在操作过程中无法准确判断螺钉是否正确穿透骨组织。这可能导致螺钉位置不准确，增加了术后并发症的风险。同时，缺乏实时的反馈和导航系统也限制了医生对手术进展的掌握和调整能力，可能导致手术效果不佳。

4 针对精确椎弓根螺钉定位问题的解决策略

针对传统手工定位椎弓根螺钉存在的问题，可以采取以下解决措施：

4.1 引入精确椎弓根螺钉定位技术

引入新技术如天玑骨科机器人作为精确椎弓根螺钉定位的解决方案。机器人利用先进的机器视觉、传感器和计算机辅助导航系统，能够提供高度精确的定位^[2]。通过深度学习算法和卷积神经网络的应用，机器人可以识别出椎弓根的位置和方向，首先输入一张包含脊柱图像的二维矩阵，输入大小（高度 × 宽度 × 通道数）为：

$$H \times W \times C \# \quad (1)$$

卷积核大小为（过滤器高度过滤器宽度输出通道数）：

$$F_H \times F_W \times K1 \# \quad (2)$$

卷积步长为、激活函数： $ReLU$ ，通过卷积运算可得出特征图，输出大小：

$$N = (H - F_H) / S + 1 \times (W - F_W) / S + 1 \times K1 \# \quad (3)$$

通过训练数据集，使用反向传播算法优化网络参数，使得 CNN 能够准确地识别出脊柱图像中的椎弓根位置和方向。这样，机器人可以利用这些信息进行精确的定位，实现准确的椎弓根螺钉定位任务。这种技术可以减少操作者经验和技巧对定位准确性的限制，提高手术的成功率和效果。

4.2 增强解剖结构识别能力

在精确椎弓根螺钉定位过程中，可以利用先进的图像

识别技术来增强对复杂解剖结构的识别能力^[3]。使用 X 射线、CT 或 MRI 等成像技术获取患者脊柱的图像数据，对图像进行预处理操作，包括去噪、增强对比度、边缘检测等，对提取的特征进行分析和处理，通过模式识别、机器学习等方法，建立模型或算法来识别不同的解剖结构。例如，可以使用卷积神经网络 (CNN) 来训练模型，使其能够自动识别脊柱图像中的椎骨、关节和神经结构，准确判断椎骨间的骨质组织、关节和神经结构的位置和形态。这将帮助医生更好地判断椎弓根螺钉的定位目标，并避免对周围结构造成损伤。

4.3 引入实时反馈和导航系统

通过机器人引导系统，医生可以实时跟踪和导航椎弓根螺钉的定位过程，引入实时反馈和导航系统的机器人引导系统可以在骨科手术中帮助医生准确判断螺钉是否正确穿透骨组织，引进具有实时三维透视成像效果的，并升级了原有 S7 光学导航系统，增加脊柱和骨盆的导航模块。

在手术中，首先利用 O-arm 进行透视成像，将实时的影像资料传递给 S7 光学导航系统。医生可以通过这个系统在三维图像上提前模拟和规划好螺钉的路径和长度。这使得医生能够在手术之前对手术方案进行全面的规划和预测，提高手术的准确性和安全性。在螺钉置入的过程中，导航系统的三维图像可实时显示位置和方向，并提示是否与规划路径存在偏差。这使得医生能够实时跟踪和导航椎弓根螺钉的定位过程，确保其准确穿透骨组织。

导航系统可以及时发现并纠正任何偏差，避免了螺钉置入错误的风险，获得准确的定位信息和反馈。螺钉置入后，再次进行透视，显示骨折复位满意，螺钉位置理想。通过机器人引导系统的实时反馈，医生可以直观地评估手术结果，确保螺钉位置的准确性和满意度。这能够减少手术过程中的试错次数和时间，提高实际的手术效率。引入机器人引导系统在螺钉置入手术中的效果如表 1 所示。

表 1 引入机器人引导系统在螺钉置入手术中的效果

指标	数据
螺钉置入时间	< 20min
透视次数	2 次
患者出血量	15mL

如表 1 所示，在使用机器人引导系统进行螺钉置入手术时，平均手术时间不到 20min，透视次数仅有 2 次，患者出血量平均为 15mL。与传统的手术方法相比，引入机器人引导系统可以显著缩短手术时间，减少透视次数和患者出血量。通过这套系统的帮助，医生可以利用实时三维透视成像效果的 O-arm 获取精确的影像资料，并将其传递给 S7 光学导航系统进行螺钉置入过程的规划和模拟。在螺钉置入的过程中，导航系统的三维图像提供了实时定位和方向的显示，并提示是否与规划路径存在偏差。这使得整个手术过程处于实时三维可视化状态，帮助医生准确穿透骨组织并避免错误的置入。

综上所述,为了解决传统手工定位椎弓根螺钉存在的问题,可以引入精确椎弓根螺钉定位技术、增强解剖结构识别能力以及引入实时反馈和导航系统。这些措施将提高手术的准确性和效果,减少手术风险和术后并发症的发生。同时,这也为医生提供了更好的操作体验和患者更好的治疗结果。

5 实际案例分析

5.1 案例背景

在本院中,针对脊柱外科手术中的胸腰椎椎弓根螺钉内固定手术中,对脊柱侧弯(AIS)的患者进行传统徒手螺钉置入手术存在一系列困难和风险。AIS患者的脊柱解剖结构变异,特别是胸椎椎弓根较细、胸椎椎管容积狭小等因素,使得传统徒手螺钉置入的难度极高。术者需要具备高度的临床经验,而螺钉置入的成功率却较低,操作时间也相对较长。

5.2 解决方案

为了解决这一问题,本院在两年前引入了“天玑”第2代骨科机器人。该机器人以精准和微创治疗作为脊柱外科疾病的宗旨,在AIS患者的螺钉置入手术中表现出显著的优势。采用“天玑”第2代骨科机器人作为辅助工具,包括光学跟踪系统、手术规划系统、导航系统以及机械臂系统等组成。

这些系统结合起来提供精确的导航和定位功能,帮助医生在手术过程中更为精准地将螺钉置入。在该研究中,内固定材料采用了LontC矫形脊柱内固定系统或提拉复位CD HORIZON SEXTANT II System脊柱内固定系统。这些内固定材料采用Ti-6Al-4V钛合金制成,具有组织相容性好和强度高的优点,可以提供更好的稳定性和支持力。使用德国Siemens公司的ARCADIS Orbic 3D系统作为C臂X线机,

可以在需植钉椎体的上位椎体棘突处作小切口,并在棘突上安装示踪器。通过C臂X线机的透视功能,可以实时观察和确认椎弓根螺钉的位置,确保定位准确。当机器人工作站系统完成制定计划后,将传输资料至机械手臂系统,机械手臂运行于身体特定部位时。在机械手臂定位下作约2cm的小切缝,以装配二级节套,并嵌入于皮肤及滑膜的关节突表面。使用电钻先置入导针内,并利用千里眼确定方位无误后再攻丝,并植入空心的椎弓根螺丝。再使用C臂X线机的透视功能,再次确定椎弓根螺丝的定位是否正确。

5.3 应用效果分析

表2给出了“天玑”骨科机器人辅助AIS置钉的应用效果。与传统的徒手置钉相比,机器人辅助置钉在置钉准确性、术中出血量、术后镇痛药物使用量、手术翻修率、感染率和住院时间等方面都取得了显著的改善。平均偏移距离较小,置钉准确性高达95%~100%,远远超过临床经验丰富的高年资医生的徒手置钉准确性。此外,机器人辅助置钉还可以减少术中出血量、术后镇痛药物使用量,降低手术翻修率和感染率,缩短住院时间,从而带来更好的长期成本效益。

6 结语

综上所述,天玑骨科机器人在脊柱融合手术中表现出良好的效果和可行性。它能够帮助医生实现精确的椎弓根螺钉定位,减少手术风险和并发症的发生。此外,术后的融合情况良好,椎弓根螺钉没有出现松动或移位的情况。因此,天玑骨科机器人在脊柱融合手术中具有潜力成为一种可靠和有效的辅助工具,可以提高手术的成功率和患者的康复质量。

表2 “天玑”骨科机器人辅助AIS置钉的应用效果

应用效果指标	平均偏移距离	置钉准确性	徒手置钉准确性	减少术中出血量	术后镇痛药物使用量	手术翻修率	感染率	住院时间
数据	0.63~0.91 mm	95%~100%	60%~70%	降低30%	减少40%	降低50%	降低40%	缩短2~3天

参考文献

- [1] 于凌佳,孟海,杨雍,等.国产“天玑”骨科机器人辅助微创椎弓根钉置入的新技术报道[J].临床和实验医学杂志,2020,19(14):1514-1518.
- [2] 冷俊胜,曾岩,陈仲强.骨水泥强化椎弓根螺钉技术在脊柱手术中的应用[J].中华骨科杂志,2019,39(10):637-644.
- [3] 王岩,郭建伟,许德荣,等.脊柱机器人辅助下皮质骨轨迹螺钉技术在脊柱外科手术中的应用[J].精准医学杂志,2021,36(5):386-390.