

# 计算机辅助导航技术在脊柱外科中的研究与进展

胡斯乐<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>内蒙古医科大学, 内蒙古 呼和浩特

<sup>2</sup>内蒙古医科大学第二附属医院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2021年11月21日; 录用日期: 2021年12月11日; 发布日期: 2021年12月21日

---

## 摘要

随着科学技术的快速发展, 人们对于治疗结果的要求的提高, 外科医生也在追求最精确、最微创的方法来解决患者的病痛。同时外科手术逐渐与科技深度结合, 从以前的非可视手术操作到达了现在的导航技术下的精确操作, 导航技术是现代医学的一场技术革命。本文主要对计算机导航技术及相关技术在脊柱外科中的原理步骤和应用的进展进行了综述。

## 关键词

导航技术, 脊柱外科, 骨科手术, 计算机辅助

---

# Research and Development of Computer-Aided Navigation Technology in Spinal Surgery

Sile Hu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Inner Mongolia Medical University, Huhhot Inner Mongolia

<sup>2</sup>Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Huhhot Inner Mongolia

Received: Nov. 21<sup>st</sup>, 2021; accepted: Dec. 11<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 21<sup>st</sup>, 2021

---

## Abstract

With the rapid development of science and technology and the increasing demand for treatment results, surgeons are also pursuing the most accurate and minimally invasive methods to solve the

**pain of patients. At the same time, surgery is gradually combined with science and technology, from the previous non-visual operation to the precise operation under the navigation technology, which is a technological revolution in modern medicine. This paper mainly reviews the principle, steps and application of computer navigation technology and related technology in spinal surgery.**

## Keywords

Navigation Technology, Spinal Surgery, Orthopedic Surgery, Computer-Aided

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着科学技术不断发展，现代医学中已经普遍地采用了数字化技术，数字医学这一创新性非常强的医学分支学科就此衍生出来。由此，所谓数字医学，就是对先进的计算机技术和数字化手段进行利用，来不断地创新和探索临床医学。其主要内容就是在辅助原有的医疗技术的基础上，让医生的诊断能够更加准确，同时，治疗方案能够更加有效[1]。

计算机辅助导航技术是通过计算机的图形及图像技术，将手术放射影像学资料进行处理，将虚拟影像与实际手术部位进行空间位置的准确叠加和对映，利用立体的空间定位技术进行解剖部位和手术器械的动追踪，从而能在计算机虚拟影像上实时地看到手术部位与器械，帮助医生精确地完成操作。导航系统从 1986 年首次在神经外科领域的应用到 2004 年开始广泛应用于医学，计算机辅助导航系统发展迅速，成为了现代外科技术的重要组成部分，在骨科各方面具有不可替代的重要性，具有高精确性、高安全性、低辐射等特点，逐渐在临床实践中得到广泛应用[2]。

## 2. 计算机辅助导航技术在脊柱外科应用的发展史

随着 21 世纪的到来，计算机技术的迅速发展，在医学领域计算机辅助导航技术应运而生，导航技术曾经是一个简单的定位工具，现在已经发展成为外科手术技术的核心。为微创化、精准化理念开辟了崭新的领域。因此脊柱外科也迎来了一个新的革命，更可靠、更安全的手术由追求目标逐渐成为现实。

自 20 世纪后期之后，由于 CT 及 MRI 技术的出现，使图像引导下的三维立体定向技术的日益成熟。1986 年，美国医生最早将导航系统应用神经外科手术。1992 年，Sautot 等首次在椎弓根螺钉的置入手术中使用计算机辅助导航技术。研究发现，计算机辅助系统在脊柱外科手术中的稳定和精准方面有显著的提升，就此国内脊柱外科的医师们开始关注并学习。计算机辅助导航技术能够直观的显示相关解剖结构信息，从而提高手术的安全性和准确性。医生们还可以通过导航技术规划和模拟手术方案，从而让手术进行的更加顺利。

## 3. 导航技术的基本工作原理和组成

导航的关键技术是空间定位技术与影像对映技术。利用计算机技术对术前采集的影像资料进行处理，再把术前合成的虚拟影像与术中通过摄影机追踪定位的解剖部位和手术器械进行匹配，使手术者在通过计算机来确定及规划手术方案，进而完成精确可靠地手术操作[3]。

其原理与全球定位系统(GPS)相似是联系现实与虚拟的中介，主要包括机械定位、电磁定位、超声波

定位、光学定位等，而光学定位是目前应用最广泛和定位精度最高的，其一般主要有 4 个部分组成：① 红外摄影机、标志架与标志球：固定在手术器械或患者骨性结构的标志架、标志球以及接受标志球反射的光纤的红外摄影机形成光电“发射 - 接受”回路的装置。② 图形工作站及相应软件：把标志球构成的结构的意义与事先构建的数据库中的具体手术器械联系。③ 显示设备：根据影像上的显示的位置关系，医生调整手术工具，完成手术操作。④ 手术导航工具：手术导航系统与医生直接接触、互动的部分。

## 4. 脊柱外科手术导航系统的步骤和分类

主要步骤包括：① 影像学数据采集② 注册及跟踪系统③ 软件系统④ 其他导航的手术工具。

### 4.1. 基于“术前 - 术中影像配准”的手术导航系统

这类技术包括基于 CT 影像的手术导航和基于 MRI 影像的手术导航。主要通过术前采集的 CT 和 MRI 经计算机处理获得的三维影像与术中 C 臂中的影像进行配准，达到导航。

### 4.2. 基于术中影像的手术导航系统

直接通过术中的 Iso-C3D 的自动连续旋转 190°采集的 100 幅数字点片图像并自动重建三维图像，同能够自动进行注册然后引导手术操作。

## 5. 导航技术在脊柱外科中的应用

### 5.1. 导航技术在脊柱外科内固定中的应用

在以往的几十年里，通过椎弓根螺钉等固定器用于治疗创伤、畸形、肿瘤和退行性疾病的脊柱融合术得到了人们的认可。由于脊柱的解剖学复杂性以及它与关键解剖结构(如脊髓或大血管)的接近，导致手术的操作难度和风险性都成了脊柱外科医生的主要难题，因此使用基于图像的导航来进行手术引导可取的。

虽然椎弓根螺钉技术目前非常成熟，但是大量研究表明传统的徒手置钉的失误率可高达 20%~40%，由于椎弓根毗邻位置的特殊性，植入过程中损伤椎弓根，很大可能损伤神经根、硬膜囊、脊髓及椎动脉等重要解剖结构[4]。计算机辅助导航技术能够实时看到患者解剖结构与手术器械的位置关系，从而避开重要的解剖结构，提高手术的安全性[5]。1995 年 Amiot 等[6]发表在计算机导航系统下椎弓根固定的手术。陶晓晖[7]等回顾性分析 32 例 II 型齿状突骨折患者的术中三维导航下的置入，结果显示 29 例患者获得骨性愈合，愈合率高达 90.6%，3 例患者获得纤维愈合，无临床症状。研究结果体现了 CAS 的优势。黄圣斌等[8]将 45 例行颈椎椎弓根螺钉置入手术患者随机分为导航组和传统组。导航组 22 例 142 枚螺钉术前使用 Mimics 软件进行术前模拟置钉，术中采用 O 型臂导航系统辅助植入椎弓根螺钉。传统组 23 例 145 枚螺钉采用传统透视下椎弓根螺钉置钉。结果显示，142 枚螺钉，其中 137 枚螺钉评级为 0 级(96.5%)，5 枚 1 级(3.5%)，无 2 级及 3 级置钉，无椎弓根上方、下方穿破的螺钉，皮质穿透率为 3.5%。传统组共置入 145 枚螺钉，其中 122 枚螺钉评级为 0 (84.1%)，17 枚 1 级(11.7%)，6 枚 2 级(4.1%)，无 3 级置钉，皮质穿透率为 15.8%，导航组皮质穿透率明显低于传统组( $P < 0.05$ )，导航组置钉精确度优于传统组( $P < 0.05$ )，研究认为 O 臂导航系统辅助颈椎椎弓根置钉准确率高，安全、可行。孙金山等[9]将 71 例颈椎(C1、C2)椎弓螺钉内固定患者为研究对象，采用随机数字表法分为 A 组( $n = 35$ )与 B 组( $n = 36$ )。A 组采用徒手置入螺钉，B 组采用个体化导航模板辅助置钉，比较两组患者手术时间、术中出血量及置钉准确性。结果显示，两组患者手术时间、术中出血量比较，差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。A 组置入螺钉 71 枚(C1 置入 34 枚，C2 置入 37 枚)，其中，置入螺钉准确性优 30 枚，良 34 枚，差 7 枚，准确性优良率为 90.1% (64/71)。

B 组置入螺钉 69 枚(C1 置入 31 枚, C2 置入 38 枚), 其中, 置入螺钉准确性优 42 枚, 良 25 枚, 差 2 枚, 准确性优良率为 97.1% (67/69)。B 组螺钉置入准确性优良率高于 A 组, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 5.2. 导航技术在脊柱外科精准减压中的应用

随着人口社会的老龄化腰椎退行性疾病患者越来越多, 在保证疗效的前提下治疗技术也由传统开放到微创手术发展迅猛, 但通过临床应用发现微创手术由于术中显露视野狭窄、清晰度欠佳及二维成像等限制导致术中及术后易出现神经、硬膜损伤及过多损伤血管等并发症。导航技术的术中三维成像技术完美的弥补了该缺点, 真正的实现了微创。崔冠宇等[10]选择胸椎间盘突出症患者 19 例, 均接受术中即时三维导航引导下后外侧入路椎间盘摘除椎间融合术治疗。结果显示, 优良率为 94.7%、总有效率 100%, 术后 3 个月及术后 12 个月 VAS、ODI 评分均较术前显著降低, JOA 评分较术前显著提高, 且术后 12 个月 ODI 评分变化更明显( $P$  均  $< 0.05$ )。表明该方法治疗胸椎间盘突出症效果较好, 患者术后疼痛减轻、神经功能恢复良好。因此在一些单纯椎间盘摘除椎管减压、单纯的黄韧带骨化灶切除等虽然不需要内固定, 但还是在导航的指引下精确操作。

## 5.3. 导航技术在脊柱外科彻底切除肿瘤中的应用

在脊柱肿瘤手术中, 传统的手术很难确定肿瘤浸润的范围及边界, 而且容易伤及神经血管。导航技术是目前在脊柱肿瘤领域应用广泛, 主要包括肿瘤范围切除、脊柱稳定及局部消融技术。脊柱肿瘤手术的治疗目标主要包括局部肿瘤的控制、神经功能和脊柱稳定性的恢复及生活质量的改善[11]。

## 6. 手术导航相关技术在脊柱外科中的应用

### 6.1. 手术机器人技术

该技术也属于计算机辅助技术的一个重要组成部分, 机器人系统也依赖于放射图像和立体定位来规划操作, 因此导航技术与机器人技术很多时候是配合使用的, 但是机器人可以精确定位器械, 操作稳定、不易疲劳及远程操作等优点。由于脊柱的特殊解剖结构, 手术的高精确性和安全性是最受关注的难题[11]。张琦等[12]回顾性分析了 369 例行导航或机器人辅助颈椎手术的患者来评估螺钉置入准确率、手术时间及术后并发症发生率, 研究结果显示, 手术时间( $195.1 \pm 93.6$ ) min、术中及术后未发生明显的并发症、螺钉位置准确置入率为 98.7%。

### 6.2. 3D 打印技术

通过计算机图像处理软件将收集到的影像资料转化为三维影像模型, 然后将模型文件打造成为现实中的三维立体的实物模型的技术。将病变部位利用该技术实体化呈现, 对复杂病例可在模型上模拟操作、规划手术入路及步骤提高手术安全性[13] [14]。近年来 3D 打印脊柱模型成本的降低, 为外科医师的解剖研究和手术方案提供了很大的便捷, 同时在 3D 打印技术也可以避免医学教育中的尸体标本相关的一些文化与伦理等问题。Fei Guo 等[15]利用 CT 数据, 3D 打印机制作了上颈椎模型和导航模板, 比例相等, 应用计算机软件设计了上颈椎椎弓根螺钉固定导航模板。研究结果显示, 个性化 3D 打印导航模板用于椎弓根螺钉固定的简单易行, 安全, 在上颈椎手术成功率高。随着 3D 打印技术的逐步成熟 3D 打印种植体已成为热门研究项目, 由于价格昂贵和技术复杂度等目前还未大量应用于临床, 但肯定是未来脊柱外科领域的理想趋势[16]。

### 6.3. 交叉现实技术

脊柱交叉现实技术(X reality, XR)目前包括虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality,

AR)、混合现实技术(mixed reality, MR)和影像现实技术(cinematic reality, CR)等,影像现实技术目前尚未实用以外,其余都在各领域中不同程度的应用。虚拟技术是通过计算机模拟出的一个三维虚拟空间,戴上现实设备,为用户提供感官的模拟情景。增强现实技术是通过摄影机收到的视频的虚拟物体、场景与真实场景进行结合,使操作者感观更加清晰。混合现实技术是通过计算机可视化图形技术生成虚拟模型,并将其与现实环境重叠呈现在使用者面前,其本质是在客观世界现实、虚拟现实与增强现实的混合体。

虚拟现实和增强现实在其现有功能之外,在实用性方面显示出良好的效果。目前在手术规划、术中导航和外科教学培训等方面展现出很大的应用前景,如椎弓根螺钉的置入、脊柱节段封闭治疗、腰椎穿刺和椎体成形术等方面的广泛应用[17][18][19]。与虚拟现实和增强现实相比较混合现实技术更具有实用性,其可以将计算机可视化图形技术合成的虚拟模型叠加到现实环境中,给外科医师带来一个新的视野感,在医师对疾病的观察、手术方案的规划和患者沟通更加高效,让手术的安全性和精确性得到进一步提高[20]。

## 7. 展望

微创化、精准化是每个脊柱外科医师最为关注的问题,同时是未来脊柱外科手术发展趋势。由于是一种新兴的技术目前没有规范化的操作标准,导航系统中操作误差、患者体位术中与术前不一致、手术室设备摆放不当导致的光线遮挡导致不法接受信号等问题有待进一步研究和完善。尽管导航技术在脊柱外科手术的应用处于起步阶段,但伴随计算机辅助导航技术的逐步成熟,未来在脊柱外科应用中必将取得突破性进展。

## 参考文献

- [1] Chen, Y.X., Zhang, K., Hao, Y.N., et al. (2012) Research Status and Application Prospects of Digital Technology in Orthopaedics. *Orthopaedic Surgery*, 4, 131-138. <https://doi.org/10.1111/j.1757-7861.2012.00184.x>
- [2] Mezger, U., Jendrewski, C. and Bartels, M. (2013) Navigation in Surgery. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 398, 501-514. <https://doi.org/10.1007/s00423-013-1059-4>
- [3] 郭乃铭, 周跃. 计算机辅助手术导航系统在脊柱外科手术中的应用进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(8): 787-789.
- [4] 刘政, 李宏伟, 王爽. 胸腰椎椎弓根螺钉置入技术的比较分析与展望[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(19): 3102-3107.
- [5] 田伟, 刘亚军, 刘波, 等. 计算机导航在脊柱外科手术应用实验和临床研究[J]. 中华骨科杂志, 2006, 26(10): 671-675.
- [6] Amiot, L.P., Labelle, H., Deguise, J.A., et al. (1995) Computer-Assisted Pedicle Screw Fixation. A Feasibility Study. *Spine (Phila Pa 1976)*, 20, 1208-1212. <https://doi.org/10.1097/00007632-199505150-00019>
- [7] 陶晓晖, 田伟, 刘波. 术中三维导航技术辅助前路螺钉内固定治疗 II 型齿状突骨折的临床疗效研究[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2018, 11(6): 416-419.
- [8] 黄圣斌, 谢兆林, 谭海涛, 等. O 型臂导航系统辅助颈椎椎弓根螺钉的应用效果研究[J]. 广西医科大学学报, 2018, 35(7): 976-979.
- [9] 孙金山, 宫媛媛, 徐丽哲, 等. 个体化导航模板辅助颈椎椎弓根螺钉置入与徒手螺钉置入准确性比较[J]. 临床军医杂志, 2018, 46(8): 919-921.
- [10] 崔冠宇, 行勇刚, 袁强, 等. 三维导航引导下后外侧入路椎间盘摘除椎间融合术治疗胸椎间盘突出症效果观察[J]. 山东医药, 2018, 58(16): 55-57.
- [11] Kelly, P.D., Zuckerman, S.L., Yamada, Y., et al. (2020) Image Guidance in Spine Tumor Surgery. *Neurosurgical Review*, 43, 1007-1017. <https://doi.org/10.1007/s10143-019-01123-2>
- [12] 张琦, 范明星, 刘亚军, 等. 导航与机器人辅助颈椎螺钉内固定术的临床应用[J]. 北京生物医学工程, 2019, 38(5): 504-507+550.

- [13] 李盛华, 邓昶, 周明旺, 等. 骨科领域精准医疗的观念、特点及价值[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(15): 2407-2413.
- [14] 王鹏, 杨建东. 3D 打印导板辅助置钉技术在椎弓根内固定术中的应用进展及前景[J]. 骨科, 2017, 8(1): 73-75.
- [15] Guo, F., Dai, J., Zhang, J., *et al.* (2017) Individualized 3D Printing Navigation Template for Pedicle Screw Fixation in Upper Cervical Spine. *PLoS ONE*, **12**, e0171509. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171509>
- [16] Wu, A.M., Lin, J.L., Kwan, K., *et al.* (2018) 3D-Printing Techniques in Spine Surgery: The Future Prospects and Current Challenges. *Expert Review of Medical Devices*, **15**, 399-401. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1483234>
- [17] Yoo, J.S., Patel, D.S., Hrynewycz, N.M., *et al.* (2019) The Utility of Virtual Reality and Augmented Reality in Spine Surgery. *Annals of Translational Medicine*, **7**, S171. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.06.38>
- [18] 郑少立, 李宗泽, 姚欣强, 等. 虚拟现实技术在脊柱外科中的应用现状[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(1): 87-90.
- [19] 刘书中, 张海龙, 余可谊, 等. 增强现实技术在脊柱外科中的应用研究进展[J]. 中国实验诊断学, 2018, 22(7): 1291-1296.
- [20] 张加尧, 吴星火, 冯晓波, 等. 混合现实技术在医学领域的应用[J]. 中华实验外科杂志, 2019(1): 179-181.