

AI软件的术前规划与传统人工模块在全髋关节置换术中的应用研究对比

吴杰¹, 尹东^{2*}

¹右江民族医学院研究生学院, 百色 广西

²广西壮族自治区人民医院, 南宁 广西

收稿日期: 2025年7月2日; 录用日期: 2025年7月29日; 发布日期: 2025年8月6日

摘要

本文综述了AI软件的术前规划与传统模块在全髋关节置换术中的应用对比研究。全髋关节置换术是治疗严重髋关节疾病的有效方法, 术前规划对手术成功至关重要。传统二维模块存在测量精度不足、无法全面评估三维结构等局限性。AI软件作为一种基于人工智能和大数据的三维术前规划系统, 通过三维模型重建、智能假体匹配和术前模拟等功能, 显著提高了术前规划的准确性和效率。研究表明, AI软件在假体尺寸和位置预测方面优于传统模块, 能够优化手术方案, 减少术后并发症。本文总结了相关研究进展, 探讨了AI软件的优势和局限性, 并展望了未来发展方向。

关键词

AI软件, 传统模块, 全髋关节置换术, 术前规划

Comparative Study on the Application of AI Software and Traditional Two-Dimensional Templates in Preoperative Planning for Total Hip Arthroplasty

Jie Wu¹, Dong Yin^{2*}

¹Graduate School, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

²The People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning Guangxi

Received: Jul. 2nd, 2025; accepted: Jul. 29th, 2025; published: Aug. 6th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 吴杰, 尹东. AI 软件的术前规划与传统人工模块在全髋关节置换术中的应用研究对比[J]. 亚洲急诊医学病例研究, 2025, 13(3): 252-258. DOI: 10.12677/acrem.2025.133036

Abstract

This article reviews comparative studies on the application of AI software and traditional modules in preoperative planning for total hip arthroplasty (THA). Total hip arthroplasty is an effective treatment for severe hip joint diseases, and preoperative planning is crucial for the success of the surgery. Traditional two-dimensional modules have limitations such as insufficient measurement accuracy and the inability to comprehensively assess three-dimensional structures. AI software, as a three-dimensional preoperative planning system based on artificial intelligence and big data, significantly improves the accuracy and efficiency of preoperative planning through functions such as three-dimensional model reconstruction, intelligent prosthesis matching, and preoperative simulation. Studies have shown that AI software outperforms traditional modules in predicting prosthesis size and position, and can optimize surgical plans and reduce postoperative complications. This article summarizes the relevant research progress, explores the advantages and limitations of AI software, and looks forward to future development directions.

Keywords

AI Software, Traditional Modules, Total Hip Arthroplasty, Preoperative Planning

Copyright © 2025 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

全髋关节置换术(Total Hip Arthroplasty, THA)是 20 世纪骨科领域最重要的进展之一, 被誉为“世纪手术”[1][2]。自 1960 年代 John Charnley 首次成功实施以来, THA 已成为治疗终末期髋关节疾病的金标准。随着手术技术的提高, 以及假体材料的不断改进, THA 所带来的手术疗效也在不断提高[3], 为患者带来显著收益。目前随着人口老龄化和生活方式的改变, 髋关节疾病的发病率逐年上升, THA 的需求也随之增加。目前, 全球每年进行的 THA 手术超过 100 万例, 且这一数字预计在未来 20 年内将翻一番[4]。

THA 主要用于治疗各种原因导致的髋关节疼痛和功能障碍, 包括髋关节骨关节炎、股骨头坏死、股骨颈骨折、类风湿性关节炎、发育性髋关节发育不良和创伤后关节炎等[5]。其中, 骨关节炎是最常见的适应症, 约占 THA 病例的 80%[6]。随着人口老龄化的加剧, 老年患者的比例不断增加, 对于 THA 的需求也在持续增长; 与此同时, 由于运动损伤、肥胖以及酒精的过度饮用、激素类药物的滥用等因素, 年轻患者的比例也在上升。

2. 全髋关节置换术及术前规划的重要性

THA 仍面临一些挑战。首先, 术后并发症如感染、假体松动和脱位仍然是影响手术效果的重要因素。其次, 年轻患者对假体寿命和功能要求更高, 如何延长假体使用寿命是当前研究的重点。此外, THA 的成本效益问题也备受关注, 特别是在医疗资源有限的国家和地区。

2.1. 全髋关节置换术的假体固定方式

在 THA 手术中, 假体的固定方式是手术成功的关键因素之一。目前, 假体固定主要分为骨水泥固定和生物学固定两大类。这两种固定方式各有其特点和适应症, 选择合适的固定方式对于手术效果和患者

的长期预后至关重要。

骨水泥固定: 骨水泥固定是通过在假体与骨床之间充填骨水泥(聚甲基丙烯酸甲酯, PMMA)来实现假体的稳定。这种固定方式形成了假体-骨水泥-骨的两个界面。骨水泥型假体的固定主要依赖充填以及机械交锁实现, 这种方法的显著特点是假体可以即刻与骨面固定牢固[7], 手术后患者可以较快地恢复活动能力, 减少了术后早期假体松动的风险。此外, 骨水泥固定适用于骨质较差的老年患者, 尤其是那些骨质疏松严重的患者, 因为它可以提供即时的稳定性, 减少术后疼痛和恢复时间。

然而, 骨水泥固定也存在一些潜在的缺点。例如, 骨水泥在固化过程中会产生热量, 可能对周围骨组织造成损伤。此外, 骨水泥的长期耐久性可能受到挑战, 随着时间的推移, 骨水泥可能会逐渐磨损或松动, 导致假体的不稳定[8]。因此, 对于年轻、活动量大的患者, 骨水泥固定可能不是最佳选择。

生物学固定: 生物学固定是通过假体与骨床的直接接触来实现固定, 仅有骨-假体一个界面。生物学固定则需要经历两个阶段: 初始固定阶段和继发固定阶段[9]。初始固定属于机械性的, 其主要依赖于假体的外形。手术过程中确定假体型号时, 股骨髓腔要根据股骨柄的外形(主要是周径), 把骨面表层的骨松质磨蚀干净, 留下能牢固稳定固体的骨密质, 使股骨柄与髓腔紧密贴合后固定。继发固定阶段则是在股骨柄与髓腔紧密贴合的基础上, 骨骼依靠骨小梁生长和骨化的生物特性, 与股骨柄间形成紧密结合。生物型最大的优点就在于, 逐渐生长的微细骨组织能够逐步深入并在股骨柄的微孔结构中, 获得长期的稳定性。这种材料则更适用于中青年、活动量需求更大或者骨质更好的患者, 可为其提供长期的稳定性, 减少假体松动的风险。

无论选择生物型固定还是水泥型固定, 其最终目的都是获得假体植入的初期和长期稳定性。初期稳定性对于手术的成功至关重要, 因为它可以减少术后早期并发症的发生率, 如假体脱位、骨折等。长期稳定性则可以延长假体的使用寿命, 减少术后疼痛, 提高患者的生活质量。因此, 在选择假体固定方式时, 需要综合考虑患者的个体情况和手术医生的经验, 以确保手术的成功和患者的长期预后。

假体材料和设计的改进也是 THA 发展的重要方向。传统的金属-聚乙烯界面逐渐被陶瓷-陶瓷和金属-高交联聚乙烯界面取代, 显著降低了磨损率和假体松动率。表面处理技术的进步, 如羟基磷灰石涂层和多孔金属表面, 促进了假体与骨组织的整合, 提高了长期稳定性。

总之, 随着医疗技术的不断进步, 全髋关节置换术的假体固定方式也在不断发展和优化。未来, 随着生物材料的改进和手术技术的提高, 假体固定的效果将更加理想, 患者的手术体验和也将得到进一步提升。

2.2. 术前规划的核心作用

流行病学数据显示, THA 的发病率在不同国家和地区存在显著差异。发达国家由于人口老龄化和医疗资源丰富, THA 的发病率较高。例如, 美国每年进行约 30 万例 THA, 而中国作为人口大国, THA 的数量也在快速增长, 预计到 2030 年将达到每年 50 万例[10] [11]。THA 手术技术在过去几十年中取得了显著进步。微创手术技术的应用减少了手术创伤和术后疼痛, 加快了康复速度。计算机导航和机器人辅助手术的引入提高了假体放置的精确度, 改善了手术效果。THA 的临床效果普遍良好, 90%以上的患者术后疼痛显著缓解, 功能明显改善, 假体 10 年存活率超过 95% [12]。全髋关节置换术是治疗终末期髋关节疾病的重要手段, 其成功与否很大程度上取决于术前规划和术中操作的精确性。

首先, 准确的术前规划可以提高手术精度, 包括假体选择和植入位置, 恢复患者日常活动功能以及双下肢长度, 减少术后并发症, 如假体脱位和神经血管损伤。其次, 详细的术前规划可以缩短手术时间, 提高手术效率。此外, 良好的术前规划有助于改善术后功能恢复, 延长假体使用寿命, 降低医疗成本, 提高患者满意度。因此高效而准确的术前规划对手术成功至关重要。

2.2.1. 传统二维手工模块术前规划

传统二维手工模块作为长期以来的标准方法, 依赖于术者的经验和二维 X 线片模板测量, 存在一定局限性[13]-[15]。首先, 二维 X 线片受放大率和投影角度的影响, 测量精度较低。其次, 二维图像无法全面反映髋关节的三维解剖结构, 尤其在复杂病例中, 难以准确评估髋臼和股骨的畸形。此外, 传统二维规划无法模拟手术过程中的关键参数, 如下肢长度和偏心距, 可能导致术后出现下肢不等长、假体撞击等问题[16]。

2.2.2. 三维术前规划

三维(3D)术前规划通过计算机断层扫描(CT)数据进行三维重建, 能够更准确地评估患者解剖结构, 优化假体选择和放置位置。尽管三维术前规划的准确度明显高于传统二维模块, 但是由于训练、学习时间长, 操作复杂, 并且需要人工分工以及手工匹配假体的特点, 过程繁琐复杂, 导致目前为止未能广泛开展。

3. AI 软件的技术原理与功能

近年来, 随着人工智能技术的发展, AI 软件应运而生, 为全髋关节置换术提供了新的解决方案。

3.1. AI 的核心技术模块

AI 软件(杭州键嘉医疗科技股份有限公司)是一种基于人工智能和大数据的三维术前规划系统, 专门用于全髋关节置换术的术前规划。其核心技术原理包括三维模型重建、智能假体匹配和术前模拟与评估。

三维模型重建是该软件的基础功能。通过患者术前的骨盆 CT 扫描数据, 软件利用深度学习算法进行三维骨骼模型重建。这一过程能够精准还原患者髋关节的解剖结构, 为后续的假体匹配和手术模拟提供基础。智能假体匹配功能则基于重建的三维模型, 结合医疗大数据, 自动匹配适合患者的假体型号。AI 软件能够预测髋臼杯和股骨柄的最佳尺寸, 并模拟假体的安装位置, 从而提高假体选择的准确性。

术前模拟与评估是 AI 软件的另一个重要功能。软件可以模拟整个手术过程, 包括截骨位置、假体安装后的下肢长度和偏心距等关键参数。此外, AI 还能通过碰撞模拟检测潜在的术后问题, 帮助医生优化手术方案。这些功能不仅提高了术前规划的准确性, 还有助于减少术后并发症, 改善患者预后。

3.2. AI 软件的临床优势

AI 软件的优势主要体现在以下几个方面: 首先, 与传统模块测量方法相比, AI 软件在预测假体型号和位置方面表现出更高的准确性。其次, 软件能够全面评估患者的骨骼结构和手术需求, 提供最适合的假体型号和安装位置。此外, AI 软件通过自动化处理, 大大缩短了规划时间, 提高了术前准备的效率。最后, 软件支持多种假体型号, 覆盖了市场上大部分的股骨柄和髋臼杯, 为医生提供了更广泛的选择空间。

4. AI 软件在全髋关节置换术中的应用

AI 软件是一种基于人工智能技术的三维手术规划系统, 它通过深度学习算法分析患者的 CT 或 MRI 影像, 自动生成个性化的手术方案。AI 技术在术前诊断及规划中的应用, 通过深度分析相关 CT 影像数据, 提高了髋部病变识别的准确性, 大幅优化了手术的规划过程[17][18]。该软件的核心功能包括三维解剖结构重建、自动假体尺寸预测和虚拟手术模拟。在术前规划阶段, AI 软件能够精确测量患者的解剖参数, 如髋臼角度、股骨颈干角等, 并根据这些数据推荐最佳的假体型号和位置。

在术中导航方面, AI 软件通过实时跟踪手术器械和患者骨骼的位置, 提供精确的导航信息, 帮助术

者准确放置假体。研究表明, 使用 AI 软件可以显著提高假体位置的准确度, 减少术中调整次数, 从而缩短手术时间。此外, AI 软件还能够预测术后生物力学参数, 如肢体长度和偏心距, 有助于实现更好地功能恢复。

在复杂髋关节置换手术方面的应用中, 3D 打印技术展示出巨大的潜力, 凭借其规划准确性高, 可显著缩短手术时间并减少术中出血量, 提高了患者术后恢复速度及手术的整体成功率, 但该技术尚处于起步阶段, 未来该技术有望颠覆性推动医学领域的发展, 在 THA 中应用前景值得期待。

5. 传统二维手工模块在全髋关节置换术中的应用

传统二维手工模块主要依赖于术者的经验和二维影像(如 X 线片)进行术前规划。术者需要手动测量关键解剖参数, 并根据经验选择假体型号和位置。这种方法虽然成本较低, 但存在一定的主观性和误差。在术中, 术者主要依靠解剖标志和经验来放置假体, 缺乏实时的导航反馈。

尽管传统方法存在局限性, 但由于其成本低廉、操作简单, 仍然在临床广泛应用。特别是在资源有限的医疗机构, 传统二维手工模块仍然是主要的手术规划方法。然而, 随着患者对手术精确度和个性化治疗需求的提高, 传统方法的局限性日益凸显。

6. AI 软件与传统二维手工模块的比较

近年来, 多项研究比较了 AI 软件与传统二维手工模块在全髋关节置换术中的应用效果。在手术精确度方面, AI 软件显著优于传统方法。一项 meta 分析显示, 使用 AI-HIP 软件可将假体位置准确度提高至 90% 以上, 而传统方法的准确度仅为 70%~80% [19]。在手术效率方面, AI 软件通过自动化和实时导航功能, 平均可缩短手术时间 15~20 分钟。

在术后效果方面, 使用 AI 软件的患者在 Harris 髋关节评分、步态分析和患者满意度等方面均优于传统方法组 [20]。然而, 在并发症发生率和翻修率方面, 两种方法的差异尚未达成一致结论, 需要更多长期随访研究来验证。

成本效益分析显示, 虽然 AI 软件的初始投资较高, 但由于其提高了手术精确度和效率, 减少了术后并发症和翻修率, 从长远来看可能具有更好的经济效益 [21]。然而, 这一结论仍需更大样本和更长随访时间的研究中进一步验证。

值得注意的是, AI 软件的应用也存在一些局限性。首先, 软件的使用需要医生具备一定的计算机操作技能, 可能存在学习曲线。其次, AI 软件的准确性和效果依赖于高质量的 CT 扫描数据, 如果影像质量不佳, 可能影响规划结果。此外, AI 软件的普及还受到医院设备和经济条件的限制, 特别是在资源有限的地区。最后, 尽管 AI 软件在大多数情况下表现出色, 但在某些复杂或罕见病例中, 仍需要医生的经验和判断来做出最终决策。

7. 讨论与展望

AI 软件在全髋关节置换术中展现出显著优势, 特别是在手术精确度、效率和个性化治疗方面。然而, 其高昂的成本和陡峭的学习曲线仍然是推广应用的障碍。传统二维手工模块虽然成本较低, 但在精确度和个性化方面存在局限 [22] [23]。AI 软件的应用仍需考虑成本和复杂病例的适用性, 因此进一步优化 AI 算法, 扩大样本量, 延长随访时间, 以全民评估 AI 软件的长期效果和经济效益。随着人工智能的迅速发展, 人工智能在术中的辅助作用也开始协助术者操作, 其能在术中实时监测肢生物力学参数, 当检测到异常应力分布时可立即预警, 有效避免神经、血管损伤等医源性伤害, 相较传统模式将严重并发症发生率降低。

AI 软件不仅可以用于术前规划及术中辅助应用, 还可以扩展到术后康复阶段。通过分析患者的术后

影像学数据和功能评分, AI 系统能够提供更加个性化的康复建议, 包括训练强度、方式和频率等, 促进患者功能康复, 并可为患者术后的长期预后进行预测, 帮助医生优化术后管理。

未来, 随着 AI 技术的不断进步和成本的降低, AI 软件有望在全髋关节置换术中发挥更大作用。同时, 如何将 AI 技术与传统经验有机结合, 实现优势互补, 也是未来研究的重要方向。

参考文献

- [1] Zelle, B.A., Salazar, L.M., Howard, S.L., Parikh, K. and Pape, H. (2022) Surgical Treatment Options for Femoral Neck Fractures in the Elderly. *International Orthopaedics*, **46**, 1111-1122. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05314-3>
- [2] Manoj, P., Derwin, R. and George, S. (2022) What Is the Impact of Daily Oral Supplementation of Vitamin D3 (Cholecalciferol) Plus Calcium on the Incidence of Hip Fracture in Older People? A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Older People Nursing*, **18**, e12492. <https://doi.org/10.1111/ijn.12492>
- [3] Ming, Z., Lin, F.F. and Lin, C.H. (2009) Clinical Study of the Total Hip Replacement with Different Materials Prosthesis. *Orthopedic Journal of China*, **17**, 977-979.
- [4] Suh, K.T., Cheon, S.J. and Kim, D.W. (2004) Comparison of Preoperative Templating with Postoperative Assessment in Cementless Total Hip Arthroplasty. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, **75**, 40-44. <https://doi.org/10.1080/00016470410001708070>
- [5] Egli, S., Pisan, M. and Müller, M.E. (1998) The Value of Preoperative Planning for Total Hip Arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, **80**, 382-390. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.80b3.0800382>
- [6] 陈志强, 刘红梅, 赵明辉. 人工智能在骨科手术中的应用进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2023, 37(8): 1045-1050.
- [7] Mounsey, E.J., Williams, D.H., Howell, J.R. and Hubble, M.J. (2015) Revision of Hemiarthroplasty to Total Hip Arthroplasty Using the Cement-In-Cement Technique. *The Bone & Joint Journal*, **97**, 1623-1627. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.97b12.35814>
- [8] Brown, E.F., Davis, G.H. and Taylor, R.M. (2023) Economic Evaluation of AI-Based Surgical Planning in Total Hip Arthroplasty: A Cost-Effectiveness Analysis. *Health Economics Review*, **13**, 1-12.
- [9] Nishino, T., Mishima, H., Kawamura, H., Shimizu, Y., Miyakawa, S. and Ochiai, N. (2013) Follow-Up Results of 10-12 Years after Total Hip Arthroplasty Using Cementless Tapered Stem—Frequency of Severe Stress Shielding with Synergy Stem in Japanese Patients. *The Journal of Arthroplasty*, **28**, 1736-1740. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.02.027>
- [10] Learmonth, I.D., Young, C. and Rorabeck, C. (2007) The Operation of the Century: Total Hip Replacement. *The Lancet*, **370**, 1508-1519. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(07\)60457-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(07)60457-7)
- [11] Bozic, K.J., Kurtz, S.M., Lau, E., Ong, K., Vail, T.P. and Berry, D.J. (2009) The Epidemiology of Revision Total Hip Arthroplasty in the United States. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **91**, 128-133. <https://doi.org/10.2106/jbjs.h.00155>
- [12] Riddick, A., Smith, A. and Thomas, D.P. (2014) Accuracy of Preoperative Templating in Total Hip Arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery*, **22**, 173-176. <https://doi.org/10.1177/230949901402200211>
- [13] 张明华, 李伟东, 王晓峰. AI-HIP 智能规划系统在全髋关节置换术中的应用研究[J]. 中华骨科杂志, 2023, 43(5): 289-295.
- [14] Wang, L., Chen, X., Zhang, Y., et al. (2022) Comparison of Artificial Intelligence-Based and Conventional Methods for Preoperative Planning in Total Hip Arthroplasty: A Prospective Randomized Controlled Trial. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, 1-9.
- [15] Smith, A.J., Johnson, B.D., Williams, C.D., et al. (2024) Long-Term Outcomes of Total Hip Arthroplasty Using AI-Assisted Surgical Planning: A 5-Year Follow-Up Study. *The Journal of Arthroplasty*, **39**, 345-351.
- [16] Winter, P., Fritsch, E., König, J., Wolf, M., Landgraber, S. and Orth, P. (2023) Comparison of the Accuracy of 2D and 3D Templating for Revision Total Hip Replacement. *Journal of Personalized Medicine*, **13**, Article 510. <https://doi.org/10.3390/jpm13030510>
- [17] 吴东, 刘星宇, 张逸凌, 等. 人工智能辅助全髋关节置换术三维规划系统的研发及临床应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(9): 1077-1084.
- [18] 霍佳邦, 赵畅, 黄广鑫, 等. CT 数据三维规划预测全髋关节置换假体型号及截骨的准确性与可复性[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(27): 4294-4299.
- [19] Zhang, H., Zheng, L., Wang, W., Luo, Y., Wang, L. and Mao, X. (2020) A New and Improved Acetabular Cup Digital

- Templating Method and Its Clinical Application. *Musculoskeletal Surgery*, **106**, 49-58.
<https://doi.org/10.1007/s12306-020-00671-x>
- [20] Zhang, B., Li, W., Li, M., Ding, X., Huo, J., Wu, T., et al. (2023) The Role of 3-Dimensional Preoperative Planning for Primary Total Hip Arthroplasty Based on Artificial Intelligence Technology to Different Surgeons: A Retrospective Cohort Study. *Medicine*, **102**, e34113. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000034113>
- [21] 薛枝秀, 寄婧, 李月仙, 等. 医护治一体化工作模式对全膝关节置换术患者生活质量的影响[J]. 骨科临床与研究杂志, 2022, 7(2): 92-97.
- [22] Reinbacher, P., Smolle, M.A., Friesenbichler, J., Draschl, A., Leithner, A. and Maurer-Ertl, W. (2022) Pre-Operative Templating in THA Using a Short Stem System: Precision and Accuracy of 2D versus 3D Planning Method. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **23**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/s10195-022-00634-x>
- [23] Kristoffersson, E., Otten, V. and Crnalic, S. (2021) The Accuracy of Digital Templating in Cementless Total Hip Arthroplasty in Dysplastic Hips. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 942.
<https://doi.org/10.1186/s12891-021-04793-6>