

骨科手术机器人的应用现状与未来趋势：基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的文献计量学研究

白昊男¹, 张晶², 索秋实², 张奎²

(1. 黑龙江中医药大学 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江中医药大学附属第一医院 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要 **目的:** 对近三十年来国内外关于骨科手术机器人的研究现状、关注点和发展趋势进行全面分析, 以便为以后的相关研究提供思考和建议。**方法:** 检索中国期刊全文数据库 (CNKI)、维普资讯中文期刊服务平台 (VIP)、万方数据知识服务平台 (Wanfang Data)、中国生物医学文献数据库 (CBMdisc) 以及核心合集数据库 (WoS) 中与骨科手术机器人相关的学术论文, 检索时间设置为自建库开始至 2024 年 4 月 1 日。使用 NoteExpress V3.6.0 软件进行文献管理, 并利用 VOSviewer 与 CiteSpace 等分析工具, 对作者、学术机构以及关键词进行可视化分析。**结果:** 共筛选出中文文献 617 篇, 英文文献 588 篇, 该领域发文量整体呈上升趋势, 并形成以王军强、田伟、Batailler Cecile 等人为核心的研究团队。主要的研究机构包括北京积水潭医院、克利夫兰诊所和伦敦大学等。在临床实践中, 下肢关节及脊柱是使用骨科手术机器人治疗频率最高的区域。关键词分析结果表明, 当前研究的焦点主要集中于机器人辅助下关节置换、脊柱螺钉置入等手术的临床疗效。**结论:** 国内外骨科手术机器人领域的研究热度逐年上升, 各个团队内有多位长期合作的作者且紧密度和活跃度较高, 但尚未建立稳定的团队间交流与协作机制。在骨科手术机器人领域, 人工智能、微创技术、相关并发症以及手术精确度是当前研究的焦点和发展方向。

关键词 手术机器人; 骨科手术; CiteSpace; 文献计量学; 可视化分析

中图分类号 R608 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 04-0558-09

Current status and future directions in the application of orthopedic surgical robot: a bibliometric analysis based on VOSviewer and CiteSpace

BAI Haonan¹, ZHANG Jing², SUO Qiushi², ZHANG Kui²

(1. Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China; 2. The First Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China)

Abstract **Objective:** To comprehensively analyze the research status, focus of attention, and development trends in orthopedic surgical robots over the past three decades, hoping to provide insights and recommendations for future research. **Methods:** Articles related to orthopedic surgical robots were retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI), VIP Information, Wanfang Data, China Biology Medicine disc (CBMdisc), and Web of Science (WoS), with a search spanning from the inception of each database to April 1, 2024. NoteExpress V3.6.0 was used for literature management, while visualization tools VOSviewer and CiteSpace were employed to analyze authors, institutions, and keywords. **Results:** A total of 617 Chinese and 588 English articles were identified. The annual publication volume in this field has shown an overall upward trend, with core research teams led by WANG Junqiang, TIAN Wei, and Batailler Cecile. Key institutions include Beijing Jishuitan Hospital, Cleveland Clinic, and the University of London. In clinical practice, the lower extremities and spine are the most frequently targeted areas for orthopedic robot-assisted surgeries. Keyword analysis indicates that current research focuses primarily on the clinical efficacy of robot-assisted procedures such as joint replacement and spinal screw placement. **Conclusion:** Research interest in orthopedic surgical robots continues to grow globally. While individual teams show strong internal collaboration and activity, stable inter-team communication and collaboration mechanisms remain underdeveloped. Current research hotspots and future directions in this field include artificial intelligence, minimally invasive techniques, complication management, and surgical precision enhancement.

Key words Surgical Robot; Orthopedic Surgery; CiteSpace; Bibliometrics; Visual Analytics

基金项目: 黑龙江省中医药科研项目 (ZHY2023-213); 2022 年度黑龙江省卫生健康委科技计划项目 (20220404071118)

Foundation Item: Traditional Chinese Medicine Scientific Research Project of Heilongjiang Province (ZHY2023-213); Science and Technology Plan Project of Health Commission of Heilongjiang Province in 2022 (20220404071118)

引用格式: 白昊男, 张晶, 索秋实, 等. 骨科手术机器人的应用现状与未来趋势: 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的文献计量学研究 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (4): 558-566.

Citation: BAI H N, ZHANG J, SUO Q S, et al. Current status and future directions in the application of orthopedic surgical robot: a bibliometric analysis based on VOSviewer and CiteSpace [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(4): 558-566.

通讯作者 (Corresponding Author): 张奎 (ZHANG Kui), Email: 1074045126@qq.com

骨科手术领域对手术精度和微创的要求不断提高,传统的骨科手术已无法满足人们对高标准手术质量的要求^[1]。骨科手术机器人融合了术前规划、手术导航等关键技术,可以在术中更加精准地植入假体,大幅降低人为因素导致的误差,从而推动骨科手术向更加精细化、个性化和微创化的方向发展^[2-3],其不仅极大地优化了骨科手术的操作精度与质量,而且展现出广阔的应用前景和临床价值^[4]。

随着骨科手术机器人技术与相关医疗技术的快速发展,该领域的研究文献量增长迅速^[5]。在知识更迭加速的科研环境下,依赖传统文献检索方法已难以实现研究动态的高效追踪与精准把握。通过系统化的文献可视化分析,研究者不仅能够解构领域内知识演进脉络,更能有效识别技术发展前沿与研究热点,这对科学规划研究方向、优化资源配置具有重要学术价值和实践意义。

作为文献计量分析的核心工具,CiteSpace 与 VOSviewer 凭借其强大的数据解析能力,可通过共现网络、聚类图谱等多维可视化形式动态监测知识演进轨迹,帮助研究人员迅速获取相关的信息^[6-7]。本研究采用这两种互补性分析工具,系统分析了骨科手术机器人领域的中外文献数据,通过关键词时序演化分析、机构合作网络构建等方法,解构领域内技术发展路径与知识扩散模式,以期揭示该领域的研究趋势和热点问题,为以后的研究工作提供有利的参考和依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源与检索策略 本研究选用中国知网(CNKI)、维普资讯中文期刊服务平台(VIP)、万方数据知识服务平台(Wanfang Data)、中国生物医学文献数据库(China Biology Medicine disc, CBMdisc)和核心合集数据库(Web of Science, WoS)作为数据来源,检索与骨科手术机器人相关的文献资料。检索时间设置为各数据库建库起至2024年4月1日,且排除主题不相关、信息不全面以及科普资讯、新闻报道等非研究型文献。

检索策略:①中文数据库运用高级检索的方式进行文献检索。与机器人有关的关键词有:“机器人外科手术”、“机器人辅助”、“机器人导航”、“机器人增强”、“机器人”以及“骨科”;与骨科有关的关键词有:“骨科”、“膝关节”、“髌”、“脊椎”和“骨折”,

这两组关键词可以通过“AND”连接来进行检索。

② WoS 数据库使用主题词和摘要的方式来检索文献,在 Mesh 词表的基础上,选择合适的主题词,采用以下检索式:TS=(Robotic Surgical Procedure* OR Procedure*, Robotic Surgical OR Surgical Procedure, Robotic OR Robot Surgery* OR Surgery, Robot OR Robot-Assisted Surgery* OR Surgery, Robot* Assisted OR Procedure, Robot-Enhanced OR Robot-Enhanced Procedure* OR Surgical Procedure*, Robotic OR Robotic-Assisted Surgery* OR Robot Enhanced Surgery* OR Surgery, Robot-Enhanced)) AND AB=(orthopedic* OR orthopaedic* OR orthopaedic* OR knee OR hip OR vertebral OR fracture*)

1.2 文献筛选 文献纳入标准:①与骨科手术机器人有关;②文章内容齐全,涵盖了如篇名、摘要、关键词等核心信息。文献排除标准:①所涉资料未在前出版物中公布;②新闻报道、报刊传媒、公告通知、官方声明等非研究型资料;③系统性评价、学术综述和文献计量分析等非原始研究性质的文献资料;④学术研究成果、高等教育学位论文、学术会议论文等不符合主题范围和研究方法限定要求的文献。

先将搜集到的中文资料文献导入 NoteExpress V3.6.0 文献管理工具,然后借助该工具所具备的重复删除功能,基于“标题”、“作者”、“期刊”三项信息进行文献的重复筛选与删除过程。细致审查文献的标题、关键词和摘要部分,以判定其是否满足预设的纳入或排除标准,在这一筛选过程中,决定是否需要阅读全文,以最终确定其是否应被纳入研究范围。

1.3 数据分析 借助 NoteExpress V3.6.0 软件,收集有关年度发文量的数据,并对其进行详细分析。阅读所纳入的文献,并对文献的研究类型进行分类解析。随后,利用 Excel 2019 对数据进行导入及分析处理,进一步运用计量学方式对所涉及文献的年度发表数量及临床研究类型进行统计学的特性描述。采用 CiteSpace 6.2.R2 将 Refworks 格式的数据文件转化为可导入格式,之后对各类节点进行深入的探究与比对。在 CiteSpace 中设置时序切片为年度单位, TOP N 截取阈值设为 25 以平衡网络密度与核心节点识别效能,其中国家合作网络构建保留系统默认参数以维持可比性。数据分析阶段执行三重计算策略:首先通过设定合作频次阈值 ≥ 20 生成机构协作网络

图, 同步开展关键词共现矩阵分析、LLR 算法聚类及突现值检测; 其次运用 VOSviewer V1.6.18 实施作者协同网络建模, 采用全计数法 (Full Counting) 并设置最小关键词共现频次 ≥ 8 , 确保网络结构的科学表征力; 最终通过参数化视图调节生成多维知识图谱, 实现宏观合作模式与微观知识关联的双向透视。

2 结果

2.1 文献检索结果 经过初步筛选, CNKI、VIP、万方和 SinoMed 数据库中分别检索到了 607 篇、650 篇、450 篇和 853 篇中文文献。在去除重复后, 最终共有 617 篇中文文献被纳入本研究。此外, 在 WoS 数据库中进行了初步筛选, 共检索到 688 篇英文文献, 去除重复后最终纳入 588 篇英文文献。

2.2 发文时间分布 通过对近三十年文献的梳理, 中文文献发表的趋势可以划分为三个阶段。①探索萌芽期 (1993~2004 年): 该时期发表的文章数量较少且几乎没有增长, 每年平均不到 1 篇。这些文献主要涉及传统外科治疗方法和国外机器人手术的介绍, 显示出该领域正处于探索阶段。②技术突破期 (2005~2015 年): 该时期发表的文章数量略有上升, 并首次涉及机器人导航定位、机器人辅助植入螺钉及打孔等技术。这标志着我国在该领域开始实现从理论引进向技术创新的转型。③多元发展期 (2016~2023 年): 该时期相关领域的论文发表数量持续上升, 截至 2023 年底累计发文达 162 篇。在临床治疗方面, 手术机器人的应用领域横向扩展至骨科、妇科、儿科等领域, 治疗方法日趋多样, 并且都取得了明显进步和重大突破。

英文文献发表的趋势可以分为两个阶段。①初步探索期 (1993~2012 年): 年均发文量 ≤ 4 篇, 表明国际上已经开始对骨科手术机器人进行探索, 且早于国内。②加速发展期 (2013~2023 年): 发文量逐年增加, 并与国内持平。科技的不断进步和外科学的发展使得骨科手术机器人在手术治疗骨科疾病方面表现出了特殊的优势, 在国际外科领域引起了广泛关注 (如图 1)。

2.3 期刊来源 相关文献主要发表在 172 种国内期刊及 108 种国际期刊上, 发文量最多的国内期刊分别是《中国修复重建外科杂志》47 篇, 《中华骨科杂志》43 篇, 《中华创伤骨科杂志》40 篇, 《中国组织工程研究》30 篇和《中国矫形外科杂志》26 篇;

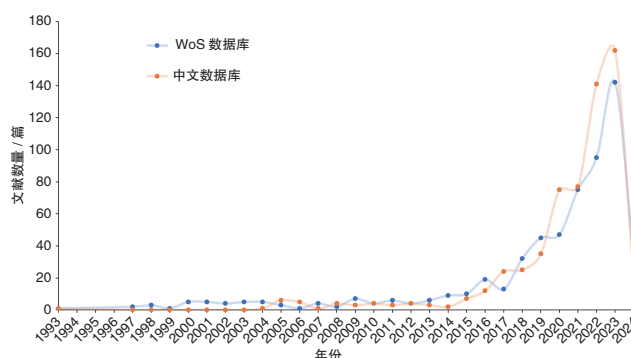


图 1 中文数据库及 WoS 数据库中骨科手术机器人文献年度发表量趋势

Figure 1 Annual publication trends of orthopedic surgical robot literature in Chinese databases and the Web of Science (WoS)

发文量最多的国际期刊分别是 *Journal of Arthroplasty* 94 篇, *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy* 78 篇, *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 64 篇, *Orthopaedic Surgery* 56 篇和 *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 48 篇。

2.4 文献空间分布 为了客观地呈现相关研究在不同国家的分布情况, 仅对涉及英文文献的国家进行分析。根据统计数据显示, 发表数量排名前三位的国家依次是美国 (221 篇, 占比 37.6%)、中国 (112 篇, 占比 19.0%) 和英国 (68 篇, 占比 11.6%)。其中, 美国的临床相关研究论文数量最多。数据表明, 大多数研究集中在发达国家, 这表明骨科手术机器人的研究与国家的经济状况紧密相关。虽然骨科手术机器人在全球范围内引起了相当程度的关注, 但仍有必要将其广泛推广至更多国家, 使更多患者从中获益 (如图 2)。

2.5 作者及研究机构分析

2.5.1 作者分析 作者分析仅考虑发文量 ≥ 5 篇的作者, 其合作关系的密度图如图 3。①根据中文文献的分析数据, 发文量最多的前五位作者分别是王军强 (29 篇)、田伟 (25 篇)、柴伟 (23 篇)、胡珏 (20 篇) 和郝定均 (14 篇)。共形成 6 个不同的聚类, 其中有 4 个紧密合作的团队, 以王军强、田伟、柴伟和胡珏为代表。各个研究团队之间的独立性表明, 负责骨科手术机器人研究的团队相对分散, 团队之间尚未建立有效交流和合作机制。王军强为此领域最高产的作者, 他主要从事骨科手术机器人辅助胫骨、股骨、髌臼以及骨盆等手术研究。②英文文献分析结果显示, 发文量前 5 位的核心作者依次

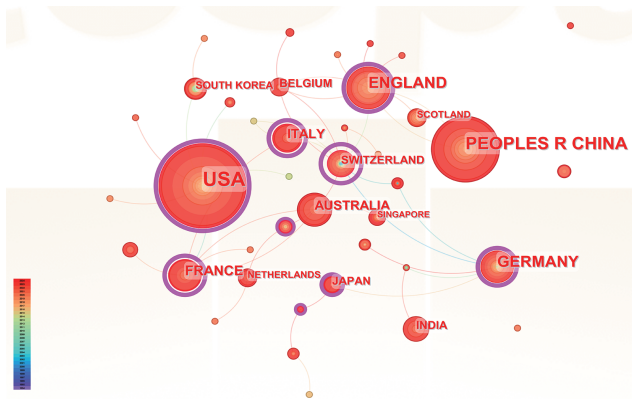


图2 WoS 数据库中骨科手术机器人文献国家合作网络
Figure 2 Country collaboration network of orthopedic surgical robot literature from the WoS database

注：节点代表国家，节点大小代表发文的数量，节点之间的连线表明各国之间的合作关系

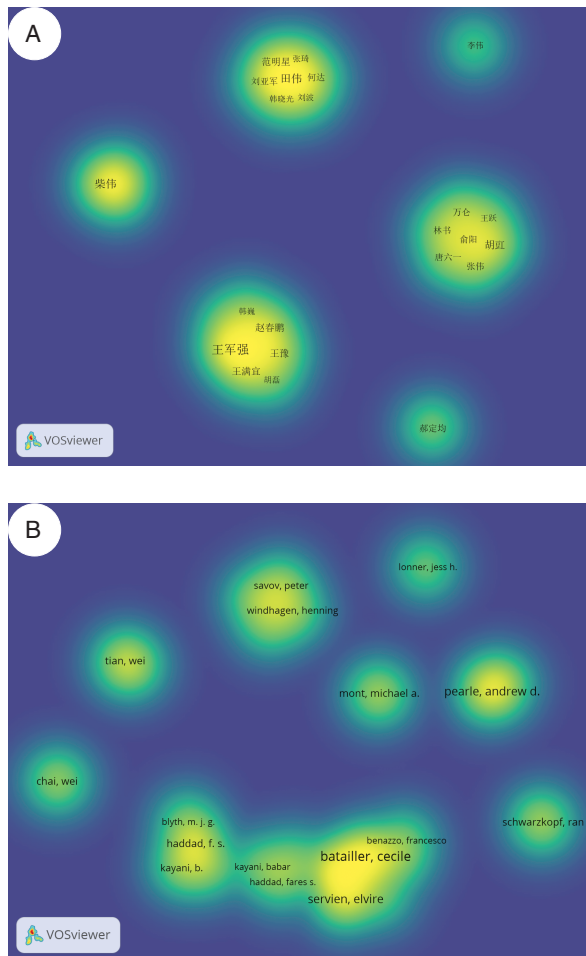


图3 中文数据库及 WoS 数据库中骨科手术机器人文献作者合作关系密度视图
Figure 3 Density visualization of author collaboration networks in orthopedic surgical robot literature from Chinese databases and the WoS database

注：A. 中文数据库；B. WoS 数据库。聚类中作者之间联系越紧密，聚类的颜色越深

为 Batailler Cecile (19 篇)、Lustig Sebastien (18 篇)、Servien Elvire (15 篇)、Pearle Andrew D (15 篇) 和 Haddad F S (11 篇)。共形成 6 个不同的聚类，其中 3 个聚类各仅含 1 位作者，且有 3 个团队联系相当紧密。其中，里昂大学 (Université de Lyon) 的 Batailler Cecile 团队成果颇丰，其专注于骨科手术机器人辅助关节置换的临床研究^[8]。

2.5.2 研究机构分析 中文文献共包含了 227 个机构，而英文文献共包含了 271 个机构。骨科手术机器人领域的研究机构共现图谱如图 4，该部分仅考虑发表文章数量达到 5 篇以上的机构。中文文献分析结果显示，北京积水潭医院是国内骨科机器人领域主要的研究力量 (总计 47 篇)，其中创伤骨科方面文章最多 (23 篇)，其次为脊柱外科 (13 篇)。此外，



图4 中文数据库及 WoS 数据库中骨科手术机器人文献核心发文机构共现图谱
Figure 4 Co-occurrence network of core research institutions in orthopedic surgical robot literature from Chinese databases and the WoS database

注：A. 中文数据库；B. WoS 数据库。节点代表机构，连线代表各不同机构间的协作关系

在地理因素影响下,该医院与其他医院之间形成了密切合作关系,并形成了明显的区域内合作网络,但跨区域合作较少,并未形成紧密网状结构。英文文献分析结果显示里昂大学、伦敦大学和克利夫兰诊所在骨科机器人领域具有较强影响力并处于领先地位。在所有考察的机构中,克利夫兰诊所、北京积水潭医院和伦敦大学是骨科手术机器人领域影响力最强者,它们分别来自美国、中国和英国,表明这三个国家在骨科手术机器人的临床应用和理论研究方面处于前沿位置。

2.6 骨科手术机器人类型和手术部位 共 96 篇文献描述了骨科手术机器人的类型和治疗部位。常见的手术部位分别是膝关节、髋关节和脊柱,其中膝关节和髋部常施全关节置换术,脊柱常施椎弓根螺钉植入手术。机器人使用率最高的部位是下肢关节和脊柱,Mako 和 Arobot 机器人最常用于膝关节辅助手术,Mazor 机器人最常用于脊柱辅助手术。天玑®骨科手术机器人最多可用于 4 个部位,其次是 Acrobot 机器人(可用于 3 个部位)。

2.7 关键词共现分析 中文文献分析共涉及 213 个关键词,其中有 39 个关键词的出现频率达到了 5 次以上(如图 5A)。其中“骨折(46 次)”“内固定(30 次)”“置换(29 次)”“骨盆(28 次)”和“微创(24 次)”等出现的频率相对较高,显示国内骨科手术正逐渐向骨科手术机器人辅助手术方向发展;英文文献分析共涉及 266 个关键词,其中有 76 个关键词的出现频率达到了 5 次以上(如图 5B)。其中“replacement”(170 次),“total knee

arthroplasty”(157 次),“accuracy”(111 次),“alignment”(73 次)和“surgery”(70 次)等出现的频率相对较高,显示国外研究主要集中于膝关节置换手术的相关研究。

2.8 关键词聚类分析 关键词聚类图谱中每一个色块都象征着一个聚类(如图 6),当模块化 Q 值达到 0.5668(>0.3)时,说明聚类是有效的。中英文文献分析得出的前 13 位聚类信息分别见表 1~2。较小的聚类编号表示更大规模的聚类,即包含更多成员数量。节点数反映了每个聚类中关键词的数量。轮廓值则揭示了成员同质性,数值越高说明相似性越强。结果显示,所有聚类的轮廓值均超过 0.8,证明一致性和同质性良好;而各个聚类平均引用年份主要集中在 2016—2020 年。

2.9 关键词突现分析运用 经过参数调整,中英文文献分析均发现了 25 个突出词汇(如图 7)。这些词汇能够反映某一特定时间段内研究领域的热点问题。在中文文献分析中,词汇“治疗”、“螺钉”、“骨折复位”和“机械臂”出现最早;而“螺钉”和“骨折复位”的持续时间较长且频次变化率高。近 5 年来,“骨质疏松”、“骨盆骨折”和“脊柱”等问题逐渐引起广大研究者的关注。英文文献分析显示,“prosthesis”的存在时间最久;而“time”,“impact”以及“total joint arthroplasty”是近两年频次开始上升的突出词汇。

3 讨论

3.1 研究热点分析 关键词和聚类分析结果显示,国内对于骨科手术机器人的研究主要分为三个阶段:

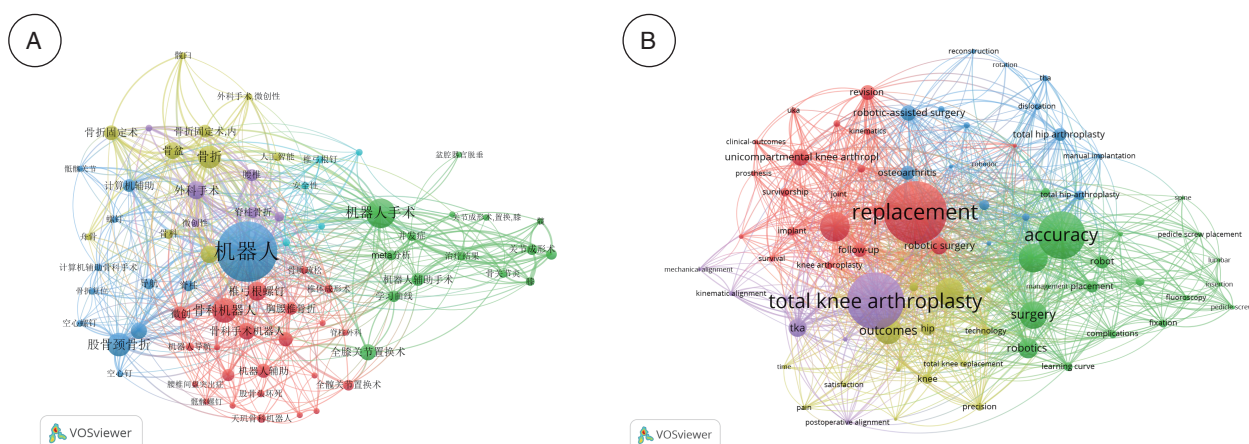


图 5 中文数据库及 WoS 数据库中骨科手术机器人文献关键词共现图谱

Figure 5 Co-occurrence network of keywords for orthopedic surgical robot literature from Chinese database and WoS database
注: A. 中文数据库; B. WoS 数据库

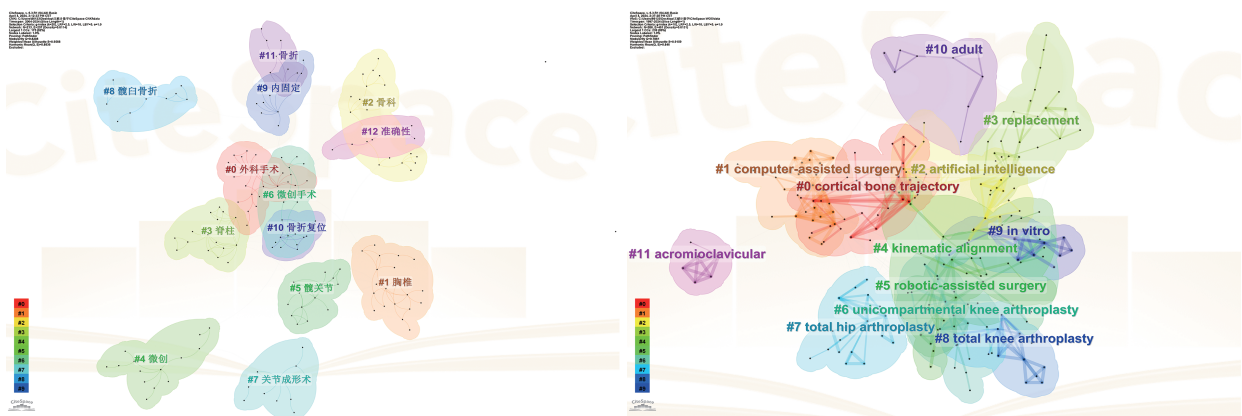


图6 中文数据库及 WoS 数据库中骨科手术机器人文献聚类图
Figure 6 Clustering visualization of orthopedic surgical robot literature from Chinese databases and the WoS database
注：图中每个色块代表 1 个聚类，数字越小代表此聚类越大，即包含的关键词越多；聚类标签为“# 数字”。

表 1 中文数据库中针灸治疗肌筋膜疼痛综合征文献关键词聚类表

Table 1 Clustering table of keywords in acupuncture treatment for myofascial pain syndrome in Chinese databases

聚类号	节点数（个）	轮廓值	平均引用年份	聚类标签（LIR）
#0	31	0.921	2016	外科手术；计算机辅助；准确性；机器；
#1	19	0.82	2019	胸椎；骨盆骨折；学习曲线；天玑骨科手术机器人；外科手术
#2	19	0.912	2017	骨科；腰椎；脊柱外科；创伤骨科；外科
#3	17	0.968	2017	脊柱；股骨颈骨折；空心钉；空心螺钉；儿童
#4	16	0.991	2020	微创；单髁置换；Meta 分析；关节；关节炎
#5	16	0.908	2020	髌关节；经皮；微创；骨盆；关节镜
#6	16	0.876	2018	微创手术；手术机器人；临床应用；精准度；精确性
#7	16	0.992	2014	关节成形术；椎弓根；导航；创伤；利弊；
#8	15	0.867	2020	髌臼骨折；置换；膝；治疗结果；骨关节炎
#9	10	0.988	2020	内固定；膝关节；人工智能；髌关节；关节置换
#10	8	0.927	2010	骨折复位；计算机辅助骨科手术；复位不良；机械臂；
#11	8	0.974	2020	骨折；跟骨骨折；切开复位；撬拨复位；高能量损伤
#12	7	0.982	2012	准确性；髌臼；骨折固定术；跟骨；治疗

注：在研究领域中，节点数量较多的聚类，其编号较小，意味着涉及更多关键词，从而反映出该领域的研究活跃程度较高；轮廓值越高，表明聚类在此领域扮演了更为重要的角色

①探索萌芽期（1993—2004 年）。在这一阶段，国内的研究侧重于探索性学习，这与当时临床刚刚接触骨科手术机器人，继续全面评估其性能的实际需求高度契合。包括评估骨科手术机器人的临床意义、学习曲线以及安全性和准确性，并探讨临床治疗效果满意度^[9]。例如，仝路等人^[10]针对天玑骨科手术机器人辅助经皮椎体成形术的操作要点及学习曲线进行分析；张同同等人^[11]对使用 C 臂 X 线透视辅助下骨科手术机器人的准确性与安全性进行了探讨。这些研究成果是对骨科手术机器人临床应用的初步探索。②技术突破期（2005—2015 年）。在这个阶段，

相关的研究逐渐倾向于骨科手术机器人的临床应用，包括脊柱、关节和创伤等多个领域，例如机器人辅助下治疗股骨颈骨折、骨折的定位和复位、关节形成手术、脊柱椎弓根的植入等。XIA R Z 团队^[12]发现鸿鹄骨科手术机器人辅助下全膝关节置换手术能够为患者带来显著的临床效益。冯均伟团队^[13]采用天玑[®]骨科手术机器人成功切除了 22 例下肢骨样骨瘤。从技术发展的前沿动态而言，罗森博特科技公司成功发布了全球第一款智能化骨折复位机器人，并在积水潭医院进行了首次临床试验^[14]，表明我国在骨科手术机器人领域与世界接轨，在智能化的发展道

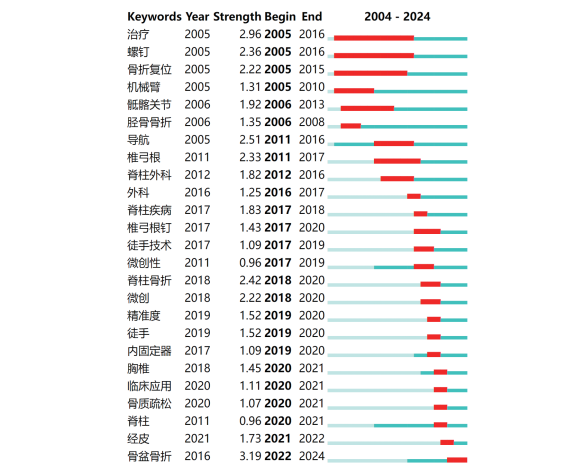
表 2 英文数据库中针灸治疗肌筋膜疼痛综合征文献关键词聚类

Table 2 Clustering table of keywords in acupuncture treatment for myofascial pain syndrome in the WoS database

聚类号	节点数 (个)	轮廓值	时间 (年份)	聚类标签 (LIR)
#0	30	0.884	2013	cortical bone trajectory; facet joint violation; total knee arthroplasty; pedicle screw placement; robotic-assisted surgery
#1	28	0.953	2010	computer-assisted surgery; posterolateral corner; hip arthroplasty; mako; computerized tomography
#2	25	0.852	2012	artificial intelligence; machine learning; intelligent orthopedics; surgical robot; medical robotics
#3	25	0.93	2016	replacement; fracture fixation; femoral neck fracture; internal; patient
#4	23	0.826	2019	kinematic alignment; flexion; tibial slope; knee osteoarthritis; computer navigation
#5	22	0.979	2013	robotic-assisted surgery; acetabular component position; total hip arthroplasty; hip replacement; cementless total hip arthroplasty
#6	22	0.936	2015	unicompartmental knee arthroplasty; soft tissue balance; component alignment; total joint arthroplasty; computer navigation
#7	18	0.932	2007	total hip arthroplasty; score; orthopedic; prevention; mini-invasive surgery
#8	14	0.901	2010	in vitro; robotic surgical procedures; allografts; fractures; term follow up
#9	14	0.954	2011	total knee arthroplasty; robot assistance; unicompartmental knee arthroplasty; acl reconstruction; reconstruction
#10	9	0.924	2016	adult; individualized surgical technique; unicondylar; rotatory stability; anatomy
#11	6	0.996	2007	acromioclavicular; shoulder; imageless navigation; sacroiliac joint; biomechanics
#12	3	1	2010	femur fracture; robotic fracture reduction; three-dimensional visualization; analysis of precision; robot-assisted surgery

注：在研究领域中，节点数量较多的聚类，其编号较小，意味着涉及更多关键词，从而反映出该领域的研究活跃程度较高；轮廓值越高，表明聚类在此领域扮演了更为重要的角色

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts



Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

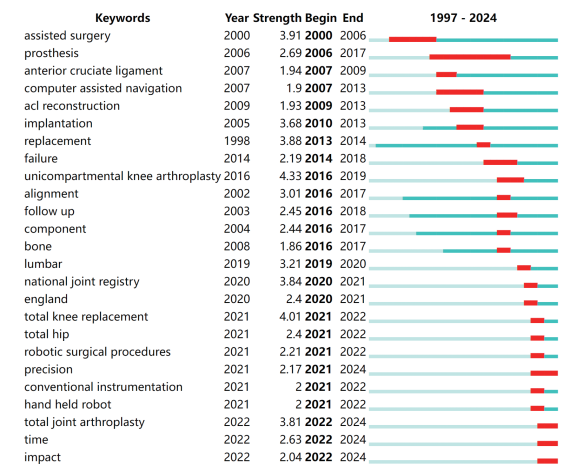


图 7 WoS 数据库中针灸治疗肌筋膜疼痛综合征文献突现强度排名前 25 位的关键词

Figure 7 Top 25 keywords in the literature on acupuncture treatment for myofascial pain syndrome in the WoS database

注：淡蓝色表示相关关键词尚未出现；深蓝色意味着关键词开始出现，但在指定时间里其变化并不明显，因此并未成为研究焦点；红色表示了特定的一年，该词逐渐成为研究的核心话题

路上迈出坚实步伐。赵斌等人^[15]利用基于 5G 技术的骨科手术机器人辅助植入经皮骨盆通道螺钉以固定骨盆和髌臼骨折，不仅拓展了骨科手术机器人的

应用场景，也提示多学科交叉融合将成为该领域的重要发展趋势^[16]。③多元发展期（2016—2024 年）。随着国内骨科手术机器人的不断发展，对手术智能

化、精准化和微创化的标准日益提高，研究焦点逐渐转向微创技术、并发症处理、3D 打印、人工智能等。周亚东等人^[17]观察到骨科手术机器人在治疗脊柱转移瘤方面具有显著疗效。有研究证实，骨科手术机器人辅助手术在治疗不稳定型骨盆骨折方面具有良好的临床效果。宋玉鑫等人^[18]就 3D 打印模型与骨科手术机器人脊柱矫形置钉进行临床试验，结果显示沿着 3D 打印模型的导向孔钻孔能够有效避免因术者生理性震颤或电钻震动导致的置入偏差。同时，手术机器人的应用领域横向扩展至妇科、儿科等领域，形成多元化发展态势。

在全球范围内，美国、英国、德国等国家在骨科手术机器人的相关研究起步较早，积累了丰富的经验，所发表的论文质量也较高^[19]。其中，频繁出现“replacement”，“accuracy”和“total knee arthroplasty”等关键词，充分反映了研究者对机器人辅助关节置换手术的安全性和精确性的高关注度，这与关节疾病患者数量较多以及患者对置换手术效果和术后关节功能恢复的较高期望密切相关。

回顾骨科手术机器人发展历程，国际上早期研究热点多集中于机器人技术本身的研发与验证，而随着临床实践的逐步深入以及技术的持续迭代更新，当下的研究重心已转向患者术后愈合、功能恢复以及机器人手术与传统手术疗效的对比分析^[20]。这一转变趋势，与临床实践中不断探寻最优治疗方案、权衡不同手术方式的利弊，进而更好地满足患者多样化、个性化医疗需求的实际发展路径高度吻合。

目前，国际上正在积极开展多中心的跨国临床试验，旨在通过更大规模、更具多样性的样本数据，进一步验证骨科手术机器人在不同人种、不同医疗环境下的有效性和普适性，为其全球范围内的广泛应用提供坚实的循证依据。同时，各大科技公司与医疗机构之间的合作日益紧密，共同推动着骨科手术机器人朝着小型化、便携化、微创化的方向迈进，力求能够使其更便捷、更高效地应用于各类复杂的临床场景之中，从而为骨科患者带来更优质的医疗服务^[21]。

3.2 研究趋势分析 关键词频度波动分析作为追踪学术发展脉络的重要工具，通过揭示特定研究领域的时空演变规律，不仅能够勾勒学科热点的动态轨迹，更能为预判未来研究方向提供数据支撑。

以国内近三年骨科领域研究为例，“髋关节骨

折”、“经皮”与“骨质疏松”等高频关键词的突现，深刻反映出当前临床医学的迫切需求。以骨质疏松引发的腰椎压缩骨折为例，魏志凌等人^[22]针对腰椎压缩骨折的创新性治疗研究显示，通过骨科手术机器人辅助系统实现精准定位，可以有效缩短手术时长，减少穿刺针的调整次数，从而提高手术的效率，并降低手术风险。同样，王曦竹等人^[23]运用骨科手术机器人辅助股骨颈动力交叉钉系统治疗股骨颈骨折，结果表明其可以显著缩短手术时间，降低透视次数，减少患者辐射暴露风险，凸显出骨科手术机器人的巨大潜力。

通过分析国际近三年的研究趋势，“precision”，“time”和“impact”等关键词的出现清晰地揭示了骨科手术机器人的发展动态。随着医疗技术不断进步，临床对手术的精准度要求越来越高，比如在复杂的关节置换手术或脊柱微创手术中，毫米级的误差都可能影响患者术后的恢复效果。骨科手术机器人凭借其高精度的定位和导航系统，能够实现更精准的解剖和手术操作，为复杂病例的治疗提供了新的可能性^[24]。同时，缩短手术时间不仅可以减少患者麻醉暴露时长并降低相关并发症发生率，还可以提升手术室周转效率，缓解医疗资源压力。研究表明，机器人辅助技术在标准化手术流程、缩短手术时间等方面具有显著优势^[25]。

综上所述，从宏观角度看，骨科手术机器人的相关研究目前正处于发展阶段，拥有丰富的临床试验数据和多种治疗方法。然而，仍需关注以下几个问题：①骨科手术机器人研究团队内部的合作非常紧密，但尚未建立起长期稳定的跨团队交流和合作机制。由于地域发展存在不均衡性，并且临床研究主要集中在单一中心和少量样本上，因此建议各研究机构之间要突破地域界限，强化合作关系，构建一个优势互补和资源共享的合作网络，以扩大研究规模，进行多中心、高质量的研究^[26]；②近年来，该领域的研究已经从病案报道和临床经验总结转向多维度数据整合分析^[27]。随着技术迭代加速，未来研究需深度融合大数据等现代信息技术，构建更具解释力的理论分析框架，以强化临床决策的科学支撑^[28]。③当前骨科手术机器人相关研究呈现显著的“临床-基础”失衡特征：一方面，基于随机对照试验的临床效能验证成果丰硕；另一方面，核心工作机制探索与技术创新机制研究仍显薄弱，亟待通

过跨学科协作突破技术原理认知瓶颈,为后续技术革新奠定理论基础^[26]。

本研究构建的多维分析框架为骨科手术机器人技术生态的关键参与者提供了差异化的决策支持:患者端通过认知技术优势与适应证的边界条件,可结合个体化医疗需求与临床评估优化治疗选择;医疗机构在设备选型阶段,可依据系统比对分析建立科学采购策略,平衡技术先进性与成本效益;制造商借由技术热点图谱解析,能精准锚定创新方向,形成“临床需求牵引-技术供给推动”的研发战略,从而有针对性地研发新技术^[29];政府监管部门可基于技术发展轨迹研判,制定前瞻性产业政策与标准体系,以促进该领域健康、持续发展^[28]。

骨科手术机器人是医疗机器人领域发展较早的分支之一,目前已成为该领域的研究热点^[30]。尽管医疗机器人的应用在降低医生工作压力、增强手术安全性、提高疗效方面展现出一定潜力,但其发展仍面临体积过大、成本昂贵、功能局限、交互反馈机制不足及智能水平待提升等挑战。未来的发展趋势应集中于增强手术机器人系统的稳定性和精确性,减少患者创伤和降低并发症发生率^[31],在增强操作效率的同时,思考如何缩小体积、降低成本以及优化人机交互的体验。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 白昊男负责设计论文框架,起草论文;白昊男、张晶、索秋实、张奎均参与该项目的具体操作及研究过程的实施;白昊男、张奎负责数据收集,统计学分析,绘制图表及论文修改;张奎负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] 蔡尚欢,宋永伟,曹向阳,等.骨科机器人应用现状与研究进展[J].山东医药,2018,58(44):90-93.
- [2] 于洪健,李乾,杜志江.骨科手术机器人技术发展综述[J].机器人技术与应用,2020,(2):19-23.
- [3] 刘毅,孙磊青,樊瑜波.骨科机器人的行业概况与发展[J].中国医疗设备,2021,36(1):159-163.
- [4] 李金泉,王九龙,罗杨宇.骨科手术机器人的研究进展及发展展望[J/OL].医疗卫生装备,2023,44(6):101-110.
- [5] 许梓健,顾洪生,蒯声政,等.骨科手术机器人的临床应用与进展[J].机器人外科学杂志(中英文),2022,3(5):376-387.
- [6] CHEN C. Science mapping: a systematic review of the literature[J/OL]. Journal of Data and Information Science, 2017, 2(2): 1-40.
- [7] CHEN C, SONG M. Visualizing a field of research: a methodology of systematic scientometric reviews[J/OL]. PLoS ONE, 2019, 14(10): e0223994.
- [8] Batailler C, Hannouche D, Benazzo F, et al. Concepts and techniques of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: the ROSA knee system[J/OL]. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2021, 141(12): 2049-2058.
- [9] 张成,李超,韩向东,等.骨科手术机器人临床应用综述[J/OL].医疗卫生装备,2021,42(1):97-101.
- [10] 仝路,李毅,付宇萌.骨科机器人辅助经皮椎体成形术的学习曲线分析[J].中国骨与关节损伤杂志,2024,39(1):27-31.
- [11] 张同同,王增平,王中华,等.骨科机器人辅助下脊柱椎弓根螺钉置入准确性与安全性的临床研究[J].中国骨伤,2022,35(2):108-112.
- [12] XIA R Z, ZHAI Z J, ZHANG J W, et al. Verification and clinical translation of a newly designed “Skywalker” robot for total knee arthroplasty: a prospective clinical study[J/OL]. Journal of Orthopaedic Translation, 2021. DOI: 10.1016/j.jot.2021.05.006.
- [13] 冯均伟,梁伟民,王跃,等.骨科机器人辅助微创手术与开放手术治疗肢体骨样骨瘤的比较研究[J].中国修复重建外科杂志,2024,38(1):40-45.
- [14] 杨丽晓,侯正松,唐伟,等.近年手术机器人的发展[J].中国医疗器械杂志,2023,47(1):1-12.
- [15] 赵斌,李金奇,赵春鹏,等.基于5G技术的骨科机器人远程导航辅助植入经皮骨通道螺钉固定骨盆及髌骨骨折[J].中国修复重建外科杂志,2022,36(8):923-928.
- [16] 严坤,虞桂平,汪潜云.机器人辅助手术在早期非小细胞肺癌治疗中的应用现状及前景[J].机器人外科学杂志(中英文),2024,5(4):734-738.
- [17] 周亚东,李欢,白静,等.骨科机器人辅助微创减压治疗脊柱转移瘤的临床分析[J].颈腰痛杂志,2024,45(1):149-152.
- [18] 宋玉鑫,张同同,牛建雄,等.3D打印模型辅助与骨科机器人在脊柱畸形矫形过程中的精准置钉[J].中国组织工程研究,2022,26(6):904-907.
- [19] GUO X M, WANG D F, LI J T, et al. Global research status and trends in orthopaedic surgical robotics: a bibliometric and visualisation analysis study[J/OL]. Journal of Robotic Surgery, 2023, 17(4): 1743-1756.
- [20] 李硕,唐明坤,潘钰.基于CiteSpace的智能可穿戴运动康复系统在康复医学领域的研究热点与趋势分析[J].机器人外科学杂志(中英文),2024,5(5):864-870.
- [21] LI C, WANG L, PERKA C, et al. Clinical application of robotic orthopaedic surgery: a bibliometric study[J/OL]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2021, 22(1): 968.
- [22] 魏志凌,吴京亮,张浩然.骨科机器人辅助穿刺与常规经皮椎体成形术治疗骨质疏松性腰椎压缩骨折的比较[J].中国骨与关节损伤杂志,2024,39(3):284-287.
- [23] 王曦竹,陈依民,韩巍,等.骨科机器人辅助股骨颈动力交叉钉系统治疗股骨颈骨折[J].中国骨伤,2024,37(2):114-119.
- [24] SHEN H, ZHOU J L, YU L P. Cervical pedicle screw fixation with the Tianji orthopaedic surgical robot[J/OL]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2025, 20(1): 131.
- [25] Yang H Y, Seon J K. The landscape of surgical robotics in orthopedics surgery[J/OL]. Biomedical Engineering Letters, 2023, 13(4): 537-542.
- [26] XU D, LOU W G, LI M, et al. Current status of robot-assisted surgery in the clinical application of trauma orthopedics in China: a systematic review[J/OL]. Health Science Reports, 2022, 5(6): e930.
- [27] ZHANG Q, HAN X G, FAN M X, et al. Robotic navigation during spine surgery: an update of literature[J/OL]. Expert Review of Medical Devices, 2023, 20(6): 427-432.
- [28] Beqiri E, Badjatia N, Ercole A, et al. Common data elements for disorders of consciousness: recommendations from the working group on physiology and big data[J/OL]. Neurocritical Care, 2023, 39(3): 593-599.
- [29] 梁雄明,梁红锁,杨业静,等.人工智能技术在骨科疾病诊治中的应用进展[J].广西医学,2022,44(24):2933-2938.
- [30] 涂志朋,金翔赞,曹昕琪,等.手术机器人在创伤骨科的应用进展[J/OL].实用骨科杂志,2023,29(8):713-716.
- [31] Chen A F, Kazarian G S, Jessop G W, et al. Robotic technology in orthopaedic surgery[J/OL]. J Bone Joint Surg Am, 2018, 100(22): 1984-1992.

收稿日期: 2024-12-18

编辑: 刘静凯