

# 虚拟现实技术在医学教育中的应用：文献计量与可视化分析



邹利<sup>1</sup>, 蔡睿婷<sup>2</sup>, 张可可<sup>2</sup>, 金涛<sup>2</sup>, 宋璐璐<sup>3</sup>, 黄雨薇<sup>2</sup>, 付文宁<sup>2</sup>

1. 武汉大学中南医院神经内科 (武汉 430071)
2. 华中科技大学同济医学院护理学院 (武汉 430030)
3. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院 (武汉 430030)

**【摘要】目的** 采用文献计量学分析虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术在医学教育领域的应用研究, 探讨该领域的研究现状、热点和发展趋势等。**方法** 检索 2003 年 1 月—2023 年 9 月 Web of Science 核心合集数据库中 VR 技术应用于医学教育或教学中的相关文献, 并运用 CiteSpace 6.1.R6 和 VOSviewer 1.6.18 等软件对发文国家/地区、机构、期刊、共同引用参考文献及关键词进行分析, 并可视化科学知识图谱。**结果** 共纳入文献 1 621 篇, 该领域自 2018 年后发文量迅速增长; 美国在该领域的发展中起主导作用; 中国的发文量居第五位, 但影响力有待提高; 研究热点主要包括手术模拟、技能训练、远程教学等。**结论** VR 技术在医学教育领域的应用越来越受到重视, 建议进一步加强对这一领域的探索, 以期为未来的医学教育提供新的发展方向。

**【关键词】** 虚拟现实; 医学教育; 文献计量学; 可视化分析; CiteSpace; VOSviewer

**【中图分类号】** R-4; G 642 **【文献标识码】** A

## Application of virtual reality technology in medical education: a bibliometric and visual analysis

ZOU Li<sup>1</sup>, CAI Ruiting<sup>2</sup>, ZHANG Keke<sup>2</sup>, JIN Tao<sup>2</sup>, SONG Lulu<sup>3</sup>, HUANG Yuwei<sup>2</sup>, FU Wenning<sup>2</sup>

1. Department of Neurology, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China
  2. School of Nursing, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China
  3. School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China
- Corresponding author: FU Wenning, Email: wenningfu@hust.edu.cn

**【Abstract】Objective** To conduct a bibliometric analysis of the application of virtual reality (VR) technology in the field of medical education, with the aim of exploring the current research status, hotspots and developmental trends in this field. **Methods** Relevant literature on the application of VR technology in medical education or teaching was retrieved from the Web of Science Core Collection database from January 2003 to September 2023. Advanced softwares such as CiteSpace 6.1.R6 and VOSviewer 1.6.18 were utilized to analyze the countries and regions, institutions, journals, co-cited references, keywords, and to visualize the scientific knowledge

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202510005

基金项目: 华中科技大学教学研究项目 (2024155)

通信作者: 付文宁, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, Email: wenningfu@hust.edu.cn

map. **Results** A total of 1 621 articles were included. The publication volume in this field experienced rapid growth after 2018, with the United States playing a predominant role in its development. China ranked the fifth in included volume, although the influence of these publications remains to be enhanced. Research focal points encompassed surgical simulation, skill training, and distance learning. **Conclusion** The application of VR technology in the field of medical education is increasingly gaining recognition. Further recommendations advocate for an intensified exploration of this field, providing novel directions for the future medical education.

**【Keywords】** Virtual reality; Medical education; Bibliometrics; Visualized analysis; CiteSpace; Vosviewer

随着信息技术的飞速发展,虚拟现实(virtual reality, VR)作为一种新兴的技术,正给医学教育领域带来革命性的变化<sup>[1-2]</sup>。传统的医学教学方法未能让学生充分参与到真实的临床场景中,学生缺少临床操作机会,而临床操作失误可能给患者造成伤害<sup>[3-4]</sup>。VR技术可为医学生和从业者提供模拟真实医疗场景的沉浸式学习体验,使其能够在安全、可控且低风险的虚拟环境中进行实践操作,从而提升其临床技能和决策能力,同时有效降低学习成本,VR因此成为了一种弥补传统教学不足的创新手段<sup>[4-6]</sup>。尽管VR在医学教育领域的应用已受到广泛关注,但系统的回顾性研究尚较少,部分学者针对VR技术在医学教育领域的应用开展了文献计量学研究。Yeung等<sup>[7]</sup>纳入VR与增强现实(augmented reality, AR)相关文献,描述了VR与AR研究重点关注的主题和应用情况,但未对文献发布时间进行限定。Zuo等<sup>[8]</sup>聚焦VR技术在医学中的热点,分析了2012—2023年间发表的相关文献,发现VR与数字技术的结合是未来发展趋势。

为全面了解VR技术在医学教育领域的应用现状和发展趋势,本研究基于Web of Science核心合集数据库,纳入2003—2023年该领域相关文献,以更全面地呈现该领域的发展脉络;采用CiteSpace 6.1.R6软件进行文献计量分析,对相关研究发文国家/地区、机构、期刊、共同引用参考文献和关键词进行可视化呈现,从而系统揭示VR技术在医学教育领域的研究现状、热点和未来发展方向,以期后续研究方向的选择提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

在Web of Science核心合集数据库中检索2003年1月至2023年9月期间发表的VR技术

应用于医学教育或教学中的相关文献,检索式如下:TS= ("virtual simulation" or "virtual learning" or "virtual reality" or VR or "augmented reality" or AR or "mixed reality" or MR or "(Computer simulation)") AND TS= ("medical educat\*" or "medical learn\*" or "medical teach\*" or "medical class\*" or "medical student\*" or "medical innovation\*" or "education of medicine")。

### 1.2 纳入与排除标准

纳入标准:①与本研究主题相关的文献;②发表时间为2003年1月1日至2023年9月30日。

排除标准:①会议摘要、新闻或简报等;②非英文发表的文献。

### 1.3 统计分析

采用文献计量与可视化分析方法。通过GraphPad Prism 8.0.2软件分析并绘制国家/地区年发文量热图,直观呈现不同国家/地区的发文时序特征;运用CiteSpace 6.1.R6和VOSviewer 1.6.18对纳入文献的核心特征进行分析,包括:①国家/地区、机构的发文量及合作网络;②期刊载文特征与影响力;③共引参考文献聚类;④关键词共现与突现分析。通过科学知识图谱可视化呈现,系统梳理该领域的研究现状与发展规律,识别研究热点与前沿趋势。

## 2 结果

### 2.1 发文量

2003年1月1日至2023年9月30日,Web of Science核心合集数据库中共检索到1 621篇关于VR技术应用于医学教育的文献,包括1 372篇(84.64%)论文和249篇综述(15.36%),涉及88个国家/地区、2 170个机构。2003—2017年,该领域发文量呈平稳增长态势,2018年后进入快速增长阶段,表明2018年后该领域受到了更广泛

的关注, 见图 1。

### 2.2 发文国家/地区和机构分析

#### 2.2.1 发文国家/地区

分析显示, 目前已有 88 个国家/地区开展了 VR 技术在医学教育领域应用的研究。图 2 是过去 20 年间发文量排名前 10 国家的年发文量热图, 排名前 5 的国家依次是美国、加拿大、英国、德国及中国。美国的发文量占总发文量的 35.66%, 是该领域研究最活跃的国家。

在发文量排名前 10 的国家中, 美国的研究被引频次最高, 达 19 692 次, 被引/发表比(34.07%) 在所有国家/地区中排第二; 加拿大的发文量与美国差距较大, 但其被引/发表比最高(41.61%), 研究成果的学术影响力较强; 中国的发文量居第五位, 但被引/发表比仅 9.76%, 学术影响力有

待提高。

国家间合作网络如图 3 所示, 美国的中心度达到 0.55, 在该领域研究中居主导地位, 其他国家均明显低于美国, 仍处于发展阶段。

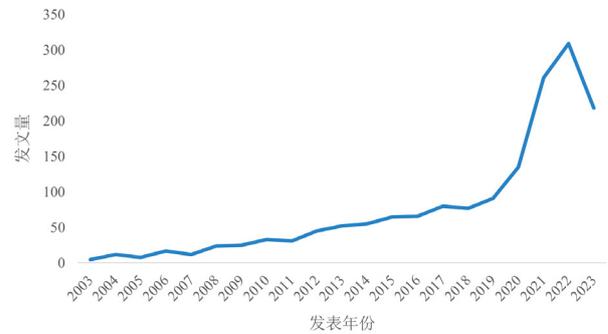


图1 2003年1月至2023年9月年发文量  
Figure 1. Annual publication volume from January 2003 to September 2023

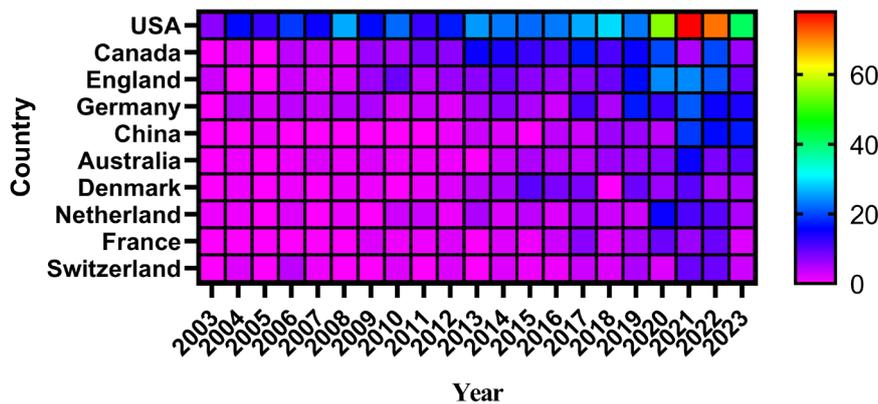


图2 国家年发文量热图  
Figure 2. Heatmap of national annual publications



图3 国家分布共现图  
Figure 3. Co-occurrence map of country distribution

### 2.2.2 发文机构分析

共 2 170 家机构发表了该领域相关研究。发文量排名前 10 的机构中有 5 家来自美国，进一步显示了美国在该领域的领先地位。多伦多大学 (Univ Toronto) 在该领域发文量最多 (58 篇, 3 989 次被引, 平均 68.78 次 / 篇); 哥本哈根大学 (Univ Copenhagen) 排名第二 (40 篇论文, 993 次被引, 平均 24.82 次 / 篇); 麦吉尔大学 (McGill Univ) 排名第三 (34 篇, 1 099 次被引, 平均 32.32 次 / 篇), 见图 4。分析显示加拿大和美国的机构合作更加紧密, 而丹麦更倾向于国内机构的合作。

### 2.3 文献来源与共被引分析

表 1 和表 2 分别展示了该领域产量最高与共被引最多的前 10 种期刊。*Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques* (80 篇,

4.94%) 是该领域发表论文最多的期刊, 其次为 *Anatomical Sciences Education* (79 篇, 4.87%)、*BMC Medical Education* (77 篇, 4.75%) 和 *Journal of Surgical Education* (63 篇, 3.89%) 等。在最高产的 10 种期刊中, *Journal of Medical Internet Research* 的影响因子 (impact factor, IF) 最高, 为 7.4; 5 本 (50%) 期刊被归类为 Q3 (IF 分布的前 50%~75%), 4 本 (40%) 被归类为 Q2 (IF 分布的前 25%~50%), 仅 1 本 (10%) 为 Q1 (IF 分布前 25%), 表明该领域发文量较多的期刊整体质量有待提升。

共被引情况反映了期刊的影响力及其对领域的贡献程度。共被引次数最多的期刊是 *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques* (2 280 次), 其次是 *Anatomical Sciences Education* (1 820 次) 和 *American Journal of*

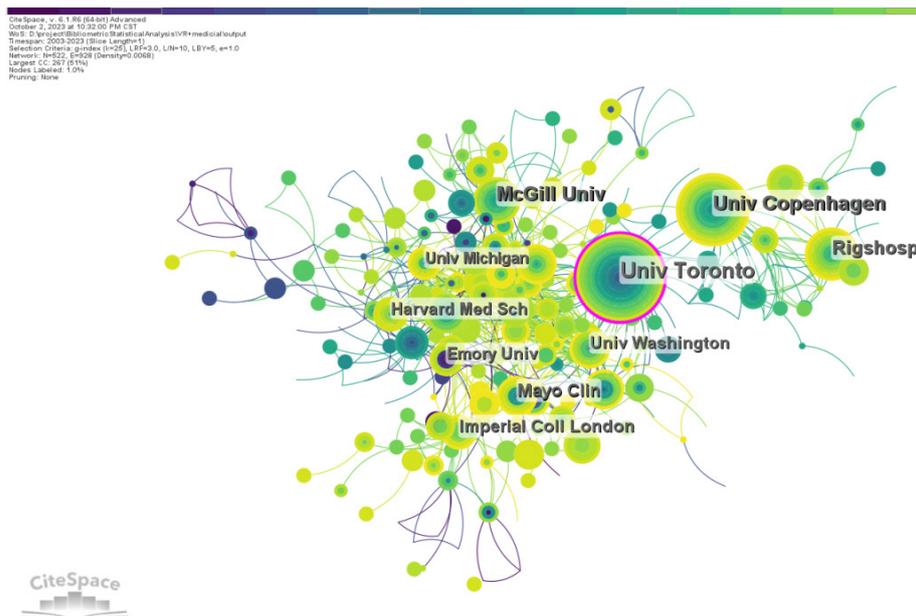


图4 机构合作共现图

Figure 4. Co-occurrence map of institution collaboration

表1 排名前10期刊发文量

Table 1. Number of publications of the top 10 journals

序号	期刊名称	发文量	影响因子	期刊分区
1	<i>Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques</i>	80	3.1	Q2
2	<i>Anatomical Sciences Education</i>	79	7.3	Q1
3	<i>BMC Medical Education</i>	77	3.6	Q3
4	<i>Journal of Surgical Education</i>	63	2.9	Q3
5	<i>Journal of Medical Internet Research</i>	29	7.4	Q2
6	<i>Jmir Serious Games</i>	25	4.0	Q3
7	<i>Medical Teacher</i>	25	4.7	Q2
8	<i>Simulation in Healthcare-Journal of the Society for Simulation in Health Care</i>	23	2.4	Q2
9	<i>Journal of Surgical Research</i>	22	2.2	Q3
10	<i>American Journal of Surgery</i>	21	3.0	Q3

Surgery (1 376 次) 等。在共被引次数最多的前 10 种期刊中, *Annals of Surgery* 的 IF 最高 (9.0), 大部分共被引期刊处于 Q1 或 Q2 区, 表明高影响力期刊在该领域的知识传播中发挥了核心作用, 见表 2。

### 2.4 共引参考文献分析

以 1 年为时间切片, 进行共引参考文献聚类分析 (图 5)。结果显示, 该领域的研究热点呈现明显的时间演变特征, 早期研究热点为 present past (现在与过去)、laparoscopic psychomotor skill (腹腔镜心理运动技能) 及 educational issue (教育问题) 等, 聚焦 VR 技术在特定技能训练中的初步应用及教学模式适配性探讨; 中期转向 initial training (初始训练)、health professional (医

疗专业人员)、European association (欧洲协会)、traditional method (传统方法)、arthroscopy training (关节镜培训)、balance right (权利平衡) 及 motivational interviewing training (动机访谈培训), 重点围绕 VR 技术与传统教学方法的对比、专项技能训练体系构建等展开; 当前的热点话题和趋势包括 virtual reality (虚拟现实)、virtual reality brain tumor resection (虚拟现实脑肿瘤切除术)、anatomy learning (解剖学学习)、covid-19 pandemic (新冠肺炎疫情)、invasive surgery (侵入性手术) 及 digital health education collaboration (数字健康教育合作), 体现了 VR 技术在复杂手术模拟与基础医学教学中的深度应用, 以及公共卫生事件驱动下的远程协作教育发展趋势。

表2 排名前10期刊共被引情况

Table 2. Co-citation counts of the top 10 journals

序号	期刊名称	共被引次数	影响因子	期刊分区
1	<i>Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques</i>	2 280	3.1	Q2
2	<i>Anatomical Sciences Education</i>	1 820	7.3	Q1
3	<i>American Journal of Surgery</i>	1 376	3.0	Q3
4	<i>Medical Education</i>	1 355	6.0	Q1
5	<i>Academic Medicine</i>	1 329	7.4	Q1
6	<i>Annals of Surgery</i>	1 231	9.0	Q1
7	<i>Journal of Surgical Education</i>	993	2.9	Q3
8	<i>Medical Teacher</i>	883	4.7	Q2
9	<i>BMC Medical Education</i>	659	3.6	Q3
10	<i>Clinical Anatomy</i>	558	2.4	Q4

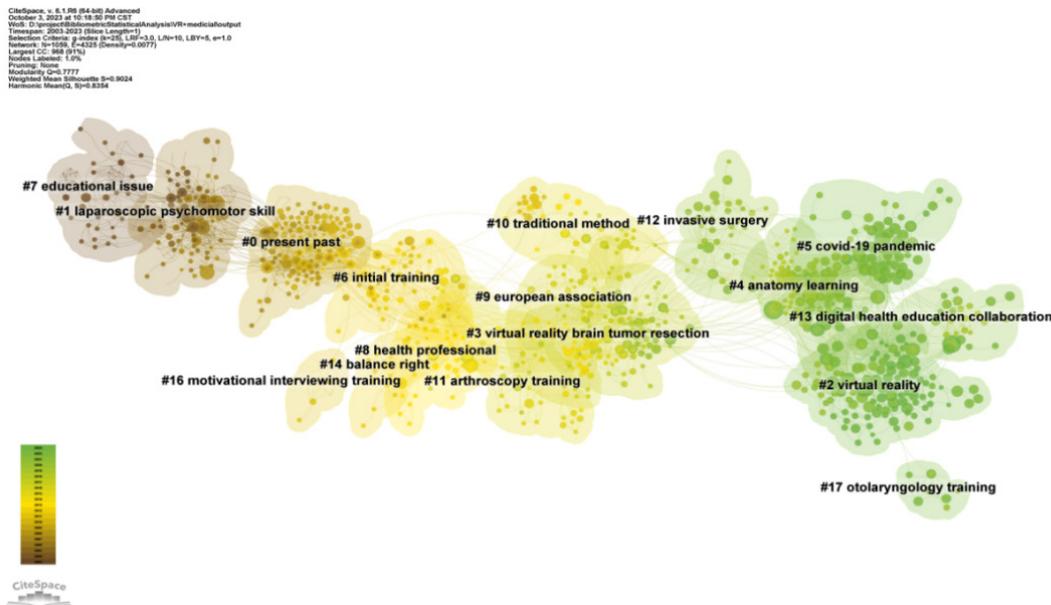


图5 共引参考文献聚类图

Figure 5. Clustering map of co-citation references

## 2.5 关键词分析

通过分析关键词，可以快速了解某领域的情况和发展方向<sup>[9]</sup>。根据关键词在 VOSviewer 中的共现情况，热门关键词有 surgery (手术, 264 次)、skills (技能, 223 次)、training (训练, 130 次) 和 validation (验证, 129 次) 等，主要围绕手术模拟、技能训练及效果验证等展开，与前文研究热点分析结果大体一致 (图 6)。

通过对 199 个至少出现 10 次的关键词进行共现分析，形成了 5 个具有明确导向的颜色聚类 (图 7)。第 1 组红色聚类，包括 medical students (医学生)、anatomy (解剖学)、visualization (可视化)、3d printing (3D 打印) 等 66 个关键词，聚焦基础医学教育中的技术应用及可视化教学革新。第 2 组绿色聚类，包括 surgery (手术)、training (训练)、operating-room (手术室)、laparoscopy (腹腔镜检查)、virtual-reality simulator (虚拟现实模拟器) 及 model (模型) 等 61 个关键词，聚焦临床手术技能的模拟训练，是 VR 技术在医学教育中较成熟的研究方向。第 3 组蓝色聚类，包括 students (学生)、patient simulation (患者模拟)、outcomes (结果) 及 diagnosis (诊断) 等 53 个关键词，表明研究范围覆盖医学生、住院医师等不

同层次学习者，不仅关注操作技能培养，更延伸至临床决策、病例分析等综合能力提升。第 4 组黄色聚类，包括 curriculum (课程)、neurosurgery (神经外科)、haptic feedback (触觉反馈)、gender (性别) 及 patient safety (患者安全) 等 11 个关键词，聚焦高难度专科手术的 VR 教学与系统化课程构建，体现 VR 教学专业化、体系化与人性化的发展趋势。第 5 组紫色聚类，涉及 bench model fidelity (台式机模型保真度)、bronchoscopy (支气管镜检查)、feedback (反馈)、training model (训练模型)、randomized controlled-trial (随机对照试验) 及 fidelity (保真度) 等 8 个关键词，表明相关研究延伸至实验室、特定诊疗技术等场景的模拟及验证，是 VR 教学场景深耕与方法学规范的体现。

通过 CiteSpace 绘制突现图谱，以直观显示研究热点随时间变化趋势。在该领域的 51 个突现关键词中，重点关注在 2023 年仍处于高突现状态的关键词，涉及 nursing education (护理教育)、health (健康)、cognitive load (认知负荷)、distance learning (远程教育)、primary care (初级保健)，预示该领域未来重点研究方向为 VR 技术在护理教育、初级卫生保健中的应用，及认知负荷优化和远程教学模式创新等主题，见图 8。

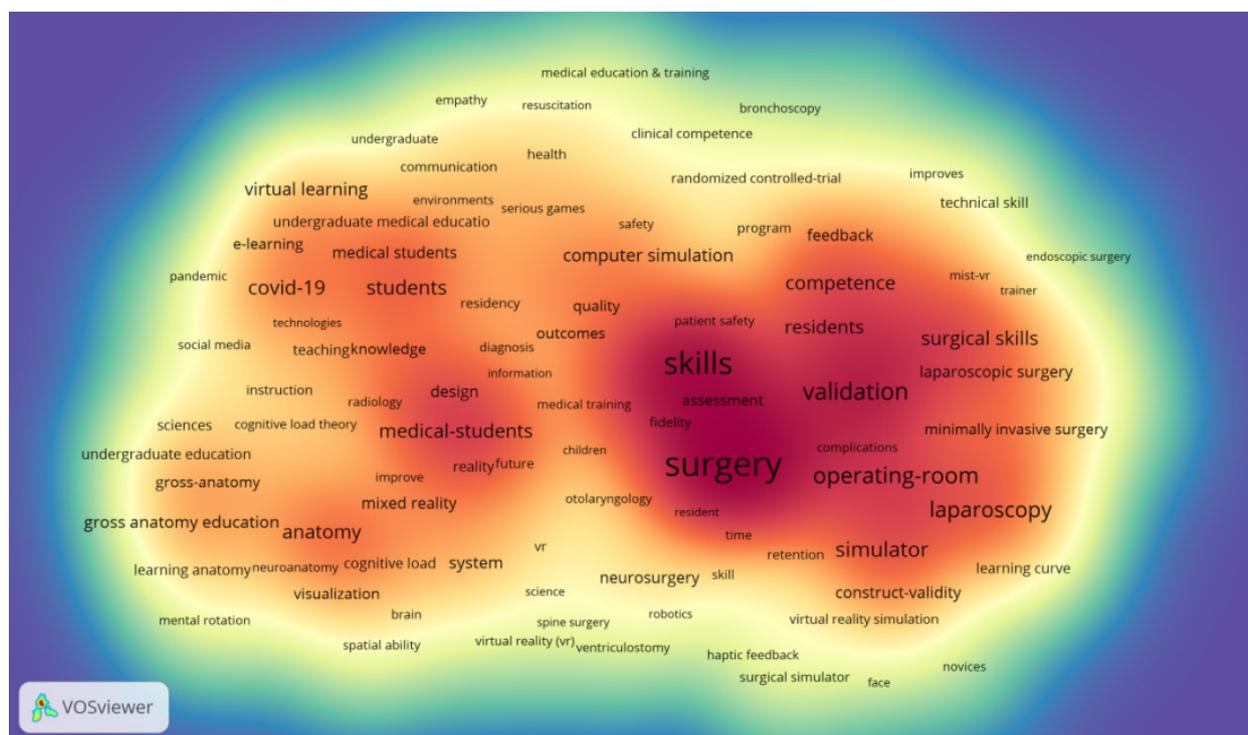


图6 关键词共现图

Figure 6. Co-occurrence map of keywords

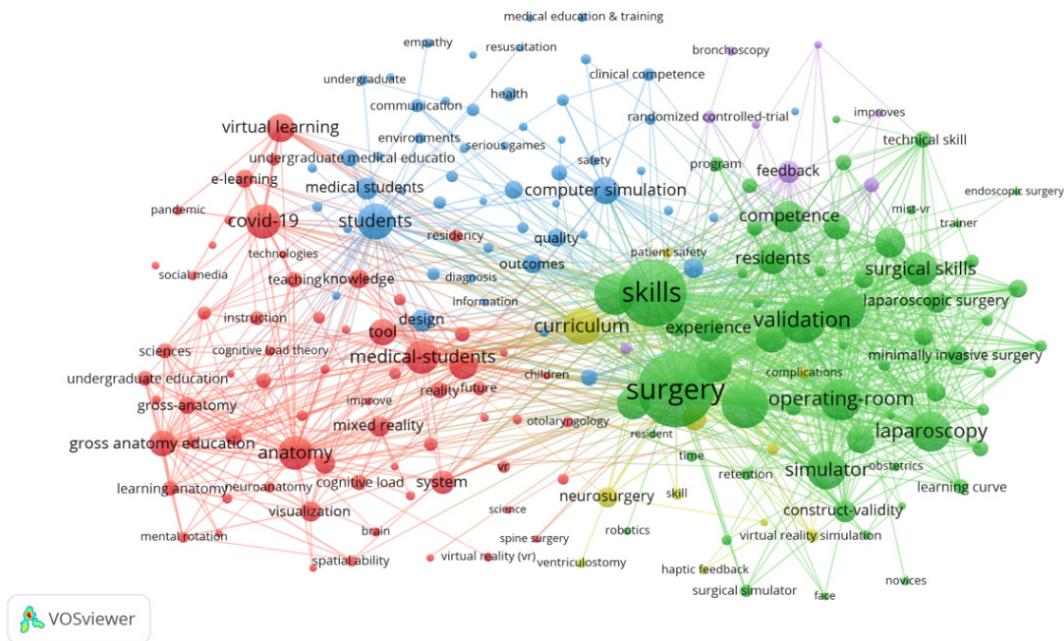


图7 关键词聚类网络图  
Figure 7. Network of keyword clustering



图8 关键词突现分析  
Figure 8. Analysis of keyword emergence

### 3 讨论

本研究以 Web of Science 核心合集数据库为数据来源，采用文献计量和可视化分析方法，揭示了近年来 VR 技术在医学教育领域应用研究的发展特点、热点及未来发展趋势。VR 技术在医学教育领域的研究发文量自 2003 年以来整体呈增长趋势，并于 2018 年后进入快速增长期。这一趋势的形成与多方面因素有关：2018 年后 VR 设备的硬件性能显著提升且成本逐步降低，为其在医学教育中的规模化应用提供了物质基础<sup>[10]</sup>；全球医学教育改革对实践教学的重视程度不断提高，而 VR 技术的安全可控优势恰好契合了这一需求<sup>[11]</sup>；此外，突发公共卫生事件对传统教学模式带来的挑战，进一步推动了远程医学教育的发展，VR 技术作为突破时空限制的教学工具，其应用价值得到进一步凸显<sup>[11-12]</sup>。

VR 技术在医学教育领域中的应用相关文献多分布于 Q2 和 Q3 区，表明该领域研究的质量有待提高。美国在该领域的发文量、被引次数及中心度均处于领先地位。中国的发文量虽位列全球第五，但文章的被引频次相对偏低，学术影响力有待提升。这可能与不同国家的研究方向及合作模式等有关，中国的研究多集中于应用效果验证，而美国、加拿大等国家更注重技术创新与

跨学科融合<sup>[13-15]</sup>；此外，中国机构的国际合作广度与深度不足，大多数研究为国内独立开展，而美国等国家通过广泛的国际合作网络，显著提升了其研究成果的传播力与影响力<sup>[16]</sup>。未来中国应加强国际合作，聚焦技术创新与核心问题的突破。

共被引文献聚类与关键词共现分析显示，手术模拟和技能训练是该领域的研究热点。早期研究聚焦于腹腔镜等手术场景模拟，中期逐步拓展至关节镜、动机访谈等专科临床情景，而当前研究已延伸至虚拟现实脑肿瘤切除术、解剖学学习和侵入性手术等复杂手术场景的技能培训应用<sup>[11, 16-17]</sup>。VR 技术对真实临床场景的高度模拟，为医学生提供了更多实践操作和技能训练机会，有助于提升其手术和诊断技能<sup>[17]</sup>。随着科技的不断发展，VR 技术在手术模拟和技能训练方面的应用也日趋广泛，逐步从腹腔镜技能训练拓展至脑瘤切除和解剖学等领域<sup>[13-14]</sup>。研究显示，该领域的热门关键词涉及手术、技能、训练和验证，印证了上述观点。未来，随着人工智能、AR 等技术与 VR 的进一步融合，手术模拟训练也将向更加智能化、个性化方向发展<sup>[18-19]</sup>。如通过深度学习算法识别环境特征，分析医学生的操作数据，从而实现定制化训练方案推送<sup>[19]</sup>；结合 AR 技术的实时引导功能，赋予用户更强的情景互动能力，提升手术模拟的精准性与实用性，进一步优化 VR 技术在医学教学中的应用效果<sup>[20-21]</sup>。

通过共引参考文献聚类和关键词实现分析发现，新冠肺炎疫情和远程教育是近年该领域的研究热点。在面临突发公共卫生事件时，传统面对面教学方式受到严重制约，而 VR 技术通过构建沉浸式远程教学环境，突破了时空限制，为线上远程医学教育提供了可能性<sup>[22]</sup>。例如，在解剖学教学中，学生可通过 VR 设备远程操作虚拟标本，实现 360° 观察与互动，学习效果显著优于传统教学<sup>[24]</sup>。目前，VR 技术正被深入探索以适应远程教学的需求，但同时尚存在一些亟待解决的问题。如远程学习可能因缺乏社交互动导致学生参与度和注意力降低，进而影响其理解能力和信息保留能力<sup>[17]</sup>；此外，参与远程学习的学生还需额外承担计算机设备和互联网连接的购买、安装及运维成本。关键词实现分析显示，护理教育和初级保健等关键词呈现较高的爆发趋势，表明 VR 技术在医学教育领域的应用正逐步从“临床技能训练”

拓展至“护理教育”和“初级卫生保健”等更广泛的领域<sup>[23-24]</sup>。在护理教育中，VR 技术可模拟静脉输液、老年护理等护理操作场景，帮助学生提升操作熟练度与应急处理能力<sup>[25-26]</sup>。在初级卫生保健领域，VR 技术可用于基层医务人员的常见病诊疗技能培训，助力医疗资源均衡分配<sup>[27]</sup>。在急诊医学教学中，VR 技术也被证明着有成效，一项针对 529 名高年级医学生的研究显示，大多数学生认为 VR 技术对于他们获取急诊医学技能是有益的，且对 VR 设备的使用感到满意<sup>[28]</sup>。

共引参考文献聚类分析显示，数字健康教育合作已成为当前的研究热点，体现了 VR 技术与数字健康、教育协作的跨学科融合趋势。一项针对中国医学生数字健康教育需求的调查显示，大多数医学生对数字化教学有迫切需求，他们更倾向于实践培训的教学方法，而非传统讲授<sup>[29]</sup>。因此，在设计数字健康课程时，应充分考虑学生偏好，并将实践技能作为培训重点。VR 技术在提供沉浸式、互动性和实时模拟体验方面具有巨大潜力，已被广泛应用于医学教育领域，但是目前尚无充分研究证据证明 VR 教学明显优于传统教学，进而提高学生的学习成绩<sup>[30-31]</sup>。

综上所述，VR 技术能为用户提供模拟真实医疗场景的沉浸式学习体验，在医学教育领域有着广阔的应用前景，但仍需深入探索其在不同教育层次和学科中的最佳应用方式。未来的研究可以进一步扩展：深化 VR 研究的广度和深度，探索 VR 技术在不同学科、不同层次教学中的应用；建立科学、统一的 VR 教学效果评价体系，为技术应用提供规范指引；推进 VR 与人工智能、AR、大数据等技术的融合，促进教学模式的智能化升级；优化降低设备成本，推动 VR 技术在基层医学院校、社区卫生服务中心等的普及。

## 参考文献

- 1 Hussain Z, Ng DM, Alnafisee N, et al. Effectiveness of virtual and augmented reality for improving knowledge and skills in medical students: protocol for a systematic review[J]. *BMJ Open*, 2021, 11(8): e047004. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-047004.
- 2 Moro C, Štromberga Z, Raikos A, et al. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy[J]. *Anat Sci Educ*, 2017, 10(6): 549-559. DOI: 10.1002/ase.1696.
- 3 Hayat AA, Keshavarzi MH, Zare S, et al. Challenges and opportunities from the COVID-19 pandemic in medical education:

- a qualitative study[J]. *BMC Med Educ*, 2021, 21(1): 247. DOI: [10.1186/s12909-021-02682-z](https://doi.org/10.1186/s12909-021-02682-z).
- 4 Sabal LT, Gathman TJ, Vasdev RMS, et al. Innovation in medical student education: implementing clerkships in 3D printing, virtual reality, and medical device development[J]. *Med Sci Educ*, 2024, 34(6): 1263–1265. DOI: [10.1007/s40670-024-02132-7](https://doi.org/10.1007/s40670-024-02132-7).
- 5 Ball C, Huang KT, Francis J. Virtual reality adoption during the COVID-19 pandemic: a uses and gratifications perspective[J]. *Telemat Inform*, 2021, 65: 101728. DOI: [10.1016/j.tele.2021.101728](https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101728).
- 6 da Cruz Torquato M, Menezes JM, Belchior G, et al. Virtual reality as a complementary learning tool in anatomy education for medical students[J]. *Med Sci Educ*, 2023, 33(2): 507–516. DOI: [10.1007/s40670-023-01774-3](https://doi.org/10.1007/s40670-023-01774-3).
- 7 Yeung AWK, Tosevska A, Klager E, et al. Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(2): e25499. DOI: [10.2196/25499](https://doi.org/10.2196/25499).
- 8 Zuo G, Wang R, Wan C, et al. Unveiling the evolution of virtual reality in medicine: A bibliometric analysis of research hotspots and trends over the past 12 years[J]. *Healthcare (Basel)*, 2024, 12(13): 1266. DOI: [10.3390/healthcare12131266](https://doi.org/10.3390/healthcare12131266).
- 9 徐芳, 马丽. 图情档领域大数据的研究现状与发展趋势分析[J]. *图书馆研究与工作*, 2020, (2): 12–17. [Xu F, Ma L. Analysis of the research status and development trend of big data in the field of Chinese library and information science and archives science[J]. *Library Science Research & Work*, 2020, (2): 12–17.] DOI: [10.3969/j.issn.2096-2363.2020.02.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-2363.2020.02.002).
- 10 Ardiny H, Khanmirza E. The role of AR and VR technologies in education developments: opportunities and challenges[C]. *ICRoM*, 2018: 482–487. DOI: [10.1109/ICRoM.2018.8657615](https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657615).
- 11 Sayed IS, Zamri MH, Sayed IS, et al. Implications of COVID-19 on the teaching and learning of undergraduate medical imaging students[J]. *Cureus*, 2022, 14(11): e32077. DOI: [10.7759/cureus.32077](https://doi.org/10.7759/cureus.32077).
- 12 Wijesooriya NR, Mishra V, Brand PLP, et al. COVID-19 and telehealth, education, and research adaptations[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2020, 35: 38–42. DOI: [10.1016/j.prrv.2020.06.009](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2020.06.009).
- 13 Zhao G, Fan M, Yuan Y, et al. The comparison of teaching efficiency between virtual reality and traditional education in medical education: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(3): 252. DOI: [10.21037/atm-20-2785](https://doi.org/10.21037/atm-20-2785).
- 14 贾泽天, 卢俊伟, 李翔. 虚拟现实与传统教学对医学教育有效性的 Meta 分析 [J]. *中国医学教育技术*, 2023, 37(6): 689–693, 714. [Jia ZT, Lu JW, Li X. Meta-analysis of the efficacy of virtual reality and traditional teaching in medical education[J]. *China Medical Education Technology*, 2023, 37(6): 689–693, 714.] DOI: [10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202306012](https://doi.org/10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202306012).
- 15 Ghaednia H, Fourman MS, Lans A, et al. Augmented and virtual reality in spine surgery, current applications and future potentials[J]. *Spine J*, 2021, 21(10): 1617–1625. DOI: [10.1016/j.spinee.2021.03.018](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.03.018).
- 16 Sun P, Zhao Y, Men J, et al. Application of virtual and augmented reality technology in hip surgery: systematic review[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e37599. DOI: [10.2196/37599](https://doi.org/10.2196/37599).
- 17 Venkatesan M, Mohan H, Ryan JR, et al. Virtual and augmented reality for biomedical applications[J]. *Cell Rep Med*, 2021, 2(7): 100348. DOI: [10.1016/j.xcrm.2021.100348](https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2021.100348).
- 18 Zhang J, Luo Z, Zhang R, et al. The transition of surgical simulation training and its learning curve: a bibliometric analysis from 2000 to 2023[J]. *Int J Surg*, 2024, 110(6): 3326–3337. DOI: [10.1097/JS9.0000000000001579](https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000001579).
- 19 Lam K, Chen J, Wang Z, et al. Machine learning for technical skill assessment in surgery: a systematic review[J]. *NPJ Digit Med*, 2022, 5(1): 24. DOI: [10.1038/s41746-022-00566-0](https://doi.org/10.1038/s41746-022-00566-0).
- 20 Yun CO, Jung SJ, Yun TS. Interactive learning tutor service platform based on artificial intelligence in a virtual reality environment[C]. *IHCI*, 2023: 367–373. DOI: [10.1007/978-3-031-53827-8\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53827-8_32).
- 21 Gupta N, Khatri K, Malik Y, et al. Exploring prospects, hurdles, and road ahead for generative artificial intelligence in orthopedic education and training[J]. *BMC Med Educ*, 2024, 24(1): 1544. DOI: [10.1186/s12909-024-06592-8](https://doi.org/10.1186/s12909-024-06592-8).
- 22 Childs E, Mohammad F, Stevens L, et al. An overview of enhancing distance learning through emerging augmented and virtual reality technologies[J]. *IEEE Trans Vis Comput Graph*, 2024, 30(8): 4480–4496. DOI: [10.1109/TVCG.2023.3264577](https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3264577).
- 23 Gulick V, Graves D, Ames S, et al. Effect of a virtual reality-enhanced exercise and education intervention on patient engagement and learning in cardiac rehabilitation: randomized controlled trial[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(4): e23882. DOI: [10.2196/23882](https://doi.org/10.2196/23882).
- 24 Chen FQ, Leng YF, Ge JF, et al. Effectiveness of virtual reality in nursing education: meta-analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(9): e18290. DOI: [10.2196/18290](https://doi.org/10.2196/18290).
- 25 张晓丽, 高晓佩, 李娟, 等. 基于虚拟现实技术的静脉输液培训系统设计及应用 [J]. *新一代信息技术*, 2023, 6(21): 35–40. [Zhang XL, Gao XP, Li J, et al. Designing and application of an intravenous infusion teaching system based on virtual reality[J]. *New Generation of Information Technology*, 2023, 6(21): 35–40.] DOI: [10.3969/j.issn.2096-6091.2023.21.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-6091.2023.21.006).
- 26 张蒙, 冯冬梅, 任静, 等. 沉浸式模拟体验教学在本科老年护理学课程中的应用 [J]. *中华护理教育*, 2024, 21(4): 410–414. [Zhang M, Feng DM, Ren J, et al. Application of immersion experience teaching in undergraduate Geriatric Nursing course[J]. *Chinese Journal of Nursing Education*, 2024, 21(4): 410–414.] DOI: [10.3761/j.issn.1672-9234.2024.04.004](https://doi.org/10.3761/j.issn.1672-9234.2024.04.004).
- 27 吴娟, 柏晓玲. 医务人员对基于烈性呼吸道传染病防控培训智慧平台辅助培训体验的质性研究 [J]. *护理学*, 2024, 13(6): 813–818. [Wu J, Bai XL. A qualitative study on the training experience of medical staff based on the intelligent training platform for the prevention and control of severe respiratory diseases[J]. *Nursing Science*, 2024, 13(6): 813–818.] DOI: [10.12677/ns.2024.136117](https://doi.org/10.12677/ns.2024.136117).
- 28 Einloft J, Meyer HL, Bedenbender S, et al. Immersive medical

- training: a comprehensive longitudinal study of extended reality in emergency scenarios for large student groups[J]. BMC Med Educ, 2024, 24(1): 978. DOI: [10.1186/s12909-024-05957-3](https://doi.org/10.1186/s12909-024-05957-3).
- 29 Ma M, Li Y, Gao L, et al. The need for digital health education among next-generation health workers in China: a cross-sectional survey on digital health education[J]. BMC Med Educ, 2023, 23(1): 541. DOI: [10.1186/s12909-023-04407-w](https://doi.org/10.1186/s12909-023-04407-w).
- 30 Nas J, Thannhauser J, Vart P, et al. Effect of face-to-face vs virtual reality training on cardiopulmonary resuscitation quality: a randomized clinical trial[J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(3): 328–335. DOI: [10.1001/jamacardio.2019.4992](https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.4992).
- 31 Kyaw BM, Saxena N, Posadzki P, et al. Virtual reality for health professions education: systematic review and Meta-analysis by the digital health education collaboration[J]. J Med Internet Res, 2019, 21(1): e12959. DOI: [10.2196/12959](https://doi.org/10.2196/12959).
- 收稿日期: 2025 年 10 月 08 日 修回日期: 2025 年 12 月 24 日  
本文编辑: 沈力 黄笛

引用本文: 邹利, 蔡睿婷, 张可可, 等. 虚拟现实技术在医学教育中的应用: 文献计量与可视化分析[J]. 数理医药学杂志, 2026, 39(2): 152–161. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202510005](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202510005).  
Zou L, Cai RT, Zhang KK, et al. Application of virtual reality technology in medical education: a bibliometric and visual analysis[J]. Journal of Mathematical Medicine, 2026, 39(2): 152–161. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202510005](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202510005).