虚拟现实技术在显微外科住院医师规范化培训中的应用效果评价

——以显微外科住院医师规范化培训为例

郑博文，刘学晖，赵星汉，郑子昂，叶志强，梁海东
大连医科大学附属第二医院，辽宁 大连 116027

【摘要】目的 分析在显微外科住院医师规范化培训中，应用虚拟现实技术（virtual reality，VR）对教学效果提升的作用。**方法** 采用随机对照试验设计，将40名显微外科住院医师随机分为试验组（n=20）与对照组（n=20）。对照组采用常规教学模式，试验组在常规教学基础上引入VR技术进行辅助教学。通过比较两组批判性思维能力、理论知识和临床技能评分及教学满意度，评价VR技术的教学效果。**结果** 教学后，两组批判性思维总分及各维度评分均较教学前有所提高，试验组的教学前后批判性思维总分差值高于对照组[（36.28±4.06）分 vs.（4.21±3.70）分]，各维度评分差值亦均高于对照组（均P<0.01）。两组的理论知识和临床技能考核成绩均较教学前有所提高，试验组的教学前后理论知识考核差值和临床技能考核差值均高于对照组[（34.04±3.95）分 vs.（28.87±4.16）分，（29.99±3.98）分 vs.（25.97±4.07）分]，差异均有统计学意义（均P<0.01）。试验组教学满意度为100%，高于对照组的80%，差异有统计学意义（P<0.05）。**结论** 在显微外科住院医师规范化培训中应用VR教学，有助于培养批判性思维，提升理论与技能成绩，住培医师满意度较高。

【关键词】虚拟现实（VR）；显微外科；住院医师规范化培训；批判性思维；教学改革
【中图分类号】R-4；C975 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1004-5287(2026)05-0660-05
【DOI】10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202605011

Evaluation of the application effect of virtual reality technology in the standardized training of microsurgery residents

——Taking standardized residency training in microsurgery as an example

ZHENG Bowen, LIU Xuehui, ZHAO Xinghan, ZHENG Ziang, YE Zhiqiang, LIANG Haidong
The Second Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116027, *China*

【Abstract】Objective To investigate the effect of virtual reality (VR) technology in enhancing teaching effectiveness in the standardized training for microsurgery residents. **Methods** A randomized controlled trial was conducted. A total of 40 microsurgery residents were randomly assigned to either the experimental group (n=20) or the control group (n=20). The control group received conventional teaching, while the experimental group received additional VR-assisted teaching on the basis of the conventional approach. The teaching effectiveness of VR technology was evaluated by comparing the two groups in terms of critical thinking ability, theoretical knowledge, clinical skills scores, and teaching satisfaction. **Results** After teaching, both groups showed improvements in total critical thinking

基金项目：2024年度大连市生命健康领域指导计划项目（2024ZDJH01PT080）
收稿日期：2025-10-25
作者简介：郑博文，本科，研究方向为骨与软组织肿瘤及修复重建、手足显微外科、骨退行性变。
通信作者：梁海东，主任医师，博士生导师，博士，研究方向为骨与软组织肿瘤及修复重建、手足显微外科、骨退行性变。
E-mail：lianghaidong751028@outlook.com

scores and scores on all dimensions compared with those before teaching. The pre-to-post difference in total critical thinking scores was greater in the experimental group than in the control group [(36.28±4.06) vs. (4.21±3.70)], and the differences in scores on each dimension were also higher in the experimental group (all $P<0.01$). After teaching, both groups showed improvements in theoretical knowledge and clinical skills examination scores compared with those before teaching. The pre-to-post differences in theoretical knowledge scores and clinical skills scores were both greater in the experimental group than in the control group [(34.04±3.95) vs. (28.87±4.16) for theoretical knowledge, and (29.99±3.98) vs. (25.97±4.07) for clinical skills], and all differences were statistically significant (all $P<0.01$). The teaching satisfaction in the experimental group was 100%, compared with 80% in the control group, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** Applying VR teaching in standardized residency training in microsurgery helps cultivate critical thinking, improve theoretical and clinical skill scores, and achieve high satisfaction among residents.

【Keywords】 virtual reality (VR); microsurgery; standardized residency training; critical thinking; teaching reform

住院医师规范化培训（以下简称“住培”）阶段是临床能力与专业思维形成的关键时期，其培训质量直接影响未来医疗队伍的整体水平。在显微外科领域，显微技术操作精细、学习曲线陡峭，要求术者在高倍视野下准确把握三维解剖关系并完成稳定的手眼协调，这给教学带来了严峻挑战。当前，临床实践是融合理论与操作的重要途径[1]，但传统教学多以理论授课、二维影像观摩和有限的实体操作训练为主。尸体标本来源紧张、成本高昂且无法重复使用，与活体组织特性存在明显差异，限制了高强度、规模化训练的实施[2]。尽管已发展了多种替代训练模型，如合成材料、动物尸体组织及活体动物模型等[3]，但显微操作环境与设备的高昂成本，仍使多数住培医师难以获得充分的反复练习机会[4]。真实手术中直接让初学者操作关键步骤又面临极高的医疗风险与伦理压力，导致住培医师实践不足，难以在短期内建立稳定的操作手感，这已成为提升显微外科住培质量的瓶颈。

近年来，虚拟现实（virtual reality，VR）技术为破解上述困境提供了全新思路。研究显示，VR有潜力成为经济、高效的显微外科训练平台[5]。其核心优势在于出色的交互性、安全性及沉浸感，可允许无限次重复训练，并有助于理解复杂的空间解剖结构[6]。在教学意义上，VR能够构建沉浸式、动态的三维模型，将骨骼、肌肉、神经与血管的精细解剖关系直观呈现，为住培医师提供多角度、多层次的探索机会，使其获得身临其境的学习体验[7]。这种交互式教学方式高度模拟真实操作感受，有效弥补了传统教学中标本不足与风险较高等缺陷，为深度学习创造了宝贵条件[8]。然而，VR技术对批判性思维等高阶认知能力的促进作用，仍需系统实证研究的验证。为此，本研究拟采用随机对照试验设计，将住培医师随机分为VR教学模式组与传统教学模式组，通过比较两组在批判性思维能力、理论知识掌握度、临床操作技能水平及总体教学满意度方面的差异，客观评价VR教学的实际效果，以期为显微外科住院医师规范化培训的创新改革提供依据。

1　对象与方法

1.1　研究对象

本研究选取2024年1月至2024年12月期间于大连医科大学附属第二医院显微外科进行规范化培训的住院医师作为研究对象，共纳入40名。纳入条件：受试者均为全日制本科以上学历，且在入培前未进行系统化、规范化的培训工作；均自愿参与本次研究，且签订知情同意书。排除条件：住培期间离院者，对本研究依从性不佳者。本研究方案经大连医科大学附属第二医院伦理委员会审核批准（批件号：KY2025-728-01），所有研究对象均签署知情同意书。

1.2　研究方法

将40名显微外科住院医师随机分为试验组（n=20）与对照组（n=20）。两组教学周期相同，教学内容均围绕“臂丛神经损伤”这一显微外科核心理论与临床技能展开。

1.3　实施方案

对照组采用常规教学模式，实施以带教教师为中心的传统教学。围绕臂丛神经损伤相关内容，通过集中理论授课、PPT与视频讲解、小组病例讨论以及临床见习四种途径展开，确保住培医师掌握大纲所要求的理论基础与临床知识。

试验组在常规教学的基础上，系统地引入VR技术作为辅助教学手段。具体实施方案如下：使用VR头戴式显示设备，构建臂丛神经三维解剖结构。针对传统教学模式因平面图谱与标本限制，难以清晰展现臂丛神经自颈髓发出后复杂的根、干、股、束分支走行及其与毗邻血管、肌肉立体空间关系的问题，本组住

培医师借助VR系统内置的高精度三维臂丛神经解剖模型，可通过放大、旋转等功能，对臂丛神经进行多角度、分层次的沉浸式观察。系统还可动态展示神经走行路径及其与锁骨下动脉、前斜角肌等关键结构的解剖关系，从而将抽象复杂的神经解剖理论转化为直观可视的交互场景，有助于降低学习与记忆难度，加深对臂丛神经损伤分型的理解[9]。

为保障教育公平性，本研究在设计时已明确，对照组住培医师在研究周期结束后，亦可获得与试验组相同的VR教学体验机会，以确保所有参与研究的住培医师均能接触到该教学技术，避免因分组导致的学习资源不均。

1.4 观察指标

(1)批判性思维能力

采用中文版批判性思维倾向量表(critical thinking disposition inventory-Chinese version, CTDI-CV)进行评估，该量表共7个维度，总分70～420分。本研究中该量表Cronbach's α为0.932。

(2)考核成绩

采用百分制，理论知识与临床技能分别独立考核，各满分100分。

(3)教学满意度

教学后由住培医师匿名填写满意度问卷，>90分为“满意”，[80,90]分为“一般”，<80分为“不满意”。总满意度=(满意人数+一般人数)/总人数×100%。

1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行数据整理和分析。计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示，组内教学前后评分比较采用配对t检验，教学效果的组间比较采用两组教学前后评分差值(教学后评分—教学前评分)的独立样本t检验。计数资料以n(%)表示，组间比较采用χ^2检验。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 研究对象的一般情况

试验组中男性11名(55.0%)，女性9名(45.0%)，平均年龄(25.15±1.09)岁；对照组中男性11名(55.0%)，女性9名(45.0%)，平均年龄(25.28±1.01)岁。两组性别构成比较，差异无统计学意义(χ^2=0.000，P=1.000)；年龄比较，差异亦无统计学意义(t=0.396，P=0.694)，两组研究对象在基线时均衡可比。

2.2 批判性思维

教学前，两组住培医师的批判性思维总分及各维度评分比较，差异均无统计学意义(均P>0.05)，具有可比性。教学后，两组批判性思维总分及各维度评分均较教学前有所提高。试验组的教学前后总分差值高于对照组[(36.28±4.06)分 vs. (4.21±3.70)分]，差异有统计学意义(t=26.10，P<0.001)。在教学前后各维度评分差值的比较上，试验组均高于对照组，其中寻求真相[(4.97±2.76)分 vs. (1.68±2.86)分，t=3.70，P=0.001)]、分析能力[(4.84±3.54)分 vs. (0.52±3.46)分，t=3.91，P<0.001)]、求知欲[(4.67±2.54)分 vs. (0.69±2.78)分，t=4.73，P<0.001)]、开放思想[(4.66±2.97)分 vs. (0.95±3.12)分，t=3.85，P<0.001)]、系统化能力[(5.31±2.83)分 vs. (0.59±2.95)分，t=5.16，P<0.001)]、认知成熟度[(4.82±3.33)分 vs. (0.59±3.21)分，t=4.10，P<0.001)]及批判性思维能力信心[(3.96±3.35)分 vs. (0.92±3.10)分，t=2.98，P=0.005)]，差异均有统计学意义。如表1所示。

表1 两组住培医师批判性思维比较

维度	常规教学组(n=20)		VR教学组(n=20)		教学前后评分差值			
	教学前[($\bar{x}\pm s$)，分]	教学后[($\bar{x}\pm s$)，分]	教学前[($\bar{x}\pm s$)，分]	教学后[($\bar{x}\pm s$)，分]	常规教学组[($\bar{x}\pm s$)，分]	VR教学组[($\bar{x}\pm s$)，分]	t	P
寻求真相	32.21±3.30	33.89±3.09	32.17±3.33	37.14±2.73	1.68±2.86	4.97±2.76	3.70	0.001
分析能力	35.67±4.30	36.19±2.90	35.51±4.18	40.35±3.67	0.52±3.46	4.84±3.54	3.91	<0.001
求知欲	40.23±3.08	40.92±3.13	40.14±3.14	44.81±2.27	0.69±2.78	4.67±2.54	4.73	<0.001
开放思想	39.56±3.66	40.51±3.28	39.47±3.60	44.13±2.89	0.95±3.12	4.66±2.97	3.85	<0.001
系统化能力	40.13±3.32	40.72±3.28	40.34±3.27	45.65±3.04	0.59±2.95	5.31±2.83	5.16	<0.001
认知成熟度	41.56±3.70	42.15±3.46	41.15±3.79	45.97±3.64	0.59±3.21	4.82±3.33	4.10	<0.001
批判性思维能力信心	37.12±3.80	38.04±2.87	37.21±3.88	41.17±3.58	0.92±3.10	3.96±3.35	2.98	0.005
总分	260.80±4.14	265.01±4.14	260.43±4.22	296.71±4.79	4.21±3.70	36.28±4.06	26.10	<0.001

2.3 考核成绩

教学后，两组的理论知识和临床技能考核成绩均较教学前有所提高。试验组的教学前后理论知识差值高于对照组[(34.04±3.95)分 vs. (28.87±4.16)分]，

差异有统计学意义（t=3.99，P=0.001）；试验组的教学前后临床技能差值也高于对照组[（29.99±3.98）分 vs.（25.97±4.07）分]，差异有统计学意义（t=3.13，P=0.003）。如表2所示。

表2　两组住培医师考核成绩比较

项目	常规教学组（n=20）		VR教学组（n=20）		教学前后评分差值			
	教学前[（$\bar{x}\pm s$），分]	教学后[（$\bar{x}\pm s$），分]	教学前[（$\bar{x}\pm s$），分]	教学后[（$\bar{x}\pm s$），分]	常规教学组[（$\bar{x}\pm s$），分]	VR教学组[（$\bar{x}\pm s$），分]	t	P
理论知识	61.24±4.25	90.11±1.13	61.21±4.26	95.25±2.25	28.87±4.16	34.04±3.95	3.99	0.001
临床技能	66.24±4.21	92.21±1.18	66.22±4.25	96.21±2.13	25.97±4.07	29.99±3.98	3.13	0.003

2.4　教学满意度

教学结束后，通过匿名问卷调查评估教学满意度。试验组（VR教学组）19人“满意”，1人“一般”，无“不满意”，总满意度为100%；对照组（常规教学组）13人“满意”，3人“一般”，4人“不满意”，总满意度为80%。组间比较结果显示，试验组的总体教学满意度高于对照组，差异具有统计学意义（χ^2=4.444，P=0.035）。

3　讨论

本研究通过随机对照试验证实，在显微外科住院医师规范化培训中引入虚拟现实教学模式，能有效提升住培医师的批判性思维能力、考核成绩及教学满意度。以下将结合本研究结果与现有文献，对VR教学的价值、作用机制、现存问题与未来方向进行系统讨论。

3.1　VR教学对考核成绩的提升作用与认知机制

本研究结果显示，VR教学组在理论知识和临床技能考核成绩上均优于常规教学组（P<0.05），与相关研究高度契合。Kim等[10]的研究结果表明VR教学在技能方面的整体效应量达到0.72（中等至大效应），且在满意度方面效应量高达1.16，表明其在操作技能训练和住培医师体验方面具有优势，进一步支持了VR在医学教育中对知识与技能提升的广泛有效性。这一成效的认知机制可能源于多个方面。VR技术构建的高度可视、可交互的三维学习环境，有效弥补了传统教学依赖二维插图和稀缺标本的不足。其提供的沉浸式视觉-空间学习体验，不仅能增强操作的临场感与认知沉浸感[11]，更有助于深化记忆。功能性核磁共振研究显示，VR训练可增强海马及海马旁回等与记忆相关脑区的活动，说明其能有效加深记忆痕迹，延缓知识遗忘[12]。这使得住培医师在缺乏实体标本的情况下，仍能深入理解复杂的解剖结构与功能联系[13]。需要指出的是，本研究受设备条件所限，主要利用了VR的视觉成像功能，未来可借助集成多模态交互的新一代设备，进一步探究多感官融合输入对知识内化的协同增强效应。

3.2　VR教学对批判性思维的多维促进

本研究发现，VR教学在批判性思维所有维度及总分的提升上均展现出优势，其促进作用源于一个复合的教学逻辑：VR技术所构建的高度仿真与沉浸式环境，首先激发了住培医师强烈的求知欲与主动探索的动机，使其在自主观察骨骼、肌肉、神经与血管的复杂三维关系时，自然而然地深化了对结构与功能逻辑的理解，从而促进了分析能力与寻求真相意识的发展[14]；在此基础上，系统所提供的旋转、缩放、分层显示等交互功能，引导他们从多角度建立系统化的认知框架；而可重复访问与多角度分析的特性，则为他们提供了反复验证与修正认知的机会，系统所记录的观察路径与回顾性反馈机制，共同引导住培医师不断比对自身理解与标准图谱之间的差异，在此“观察—分析—修正”的循环中，其基于证据的判断力、系统性思维及认知成熟度得以扎实提升[15-16]，最终综合表现为批判性思维信心与能力的全面增强。

3.3　教学满意度分析

住培医师对VR教学模式的满意度更高（P<0.05），这得益于其提供了直观、生动且高效的学习体验。VR环境的安全性与可重复性，为住培医师提供了自主探索的空间，有助于缓解其在面对复杂解剖系统时的认知负荷与焦虑情绪，从而增强了学习主动性与参与感，整体提升了教学满意度[17]。

3.4　研究的外部效度与推广性探讨

本研究聚焦于显微外科这一高度专科化的领域，其结论虽在本专业情境下具有明确的教学指导意义，但也需客观认识到其外部推广的局限性。显微外科培训对设备条件与师资要求较高，并非所有住院医师规范化培训基地均可开展。此外，国家《住院医师规范化培训内容与标准》并未将显微外科列为所有专业的必修内容，这可能限制本研究结论在非显微外科专业培训中的直接适用性。

然而，本研究中VR技术所展现的沉浸式三维解剖学习、可重复操作训练、低风险、高互动性等优势，同样适用于其他依赖精细操作与空间解剖理解的专

科培训，如眼科、神经外科、整形外科、耳鼻喉科及部分普外科亚专业。未来研究可探索将本教学模式适配于上述专科的规范化培训中，进一步验证其跨专科的教学效果与适用性，推动VR技术在临床技能培训中的广泛应用。

3.5 研究的局限性与未来展望

尽管本研究取得了积极成果，但仍存在以下局限性。首先，本研究样本量较小且为单中心研究，其结论的外推性有待验证。此外，本研究与Rodda等[18]的系统综述所纳入的多数研究类似，受当前设备条件所限，VR体验仍以视觉反馈为主，交互的真实性有待提高。未来需借助集成更逼真的生物力学反馈与人工智能（如自然语言处理）的新一代多模态VR设备，进一步探究多感官融合输入对知识内化与技能形成的协同增强效应。

未来研究可着眼于以下方向：开展多中心、大样本的随机对照试验，以更严谨地评估其长期效果；随着技术迭代，开发集成更逼真生物力学反馈的多模态VR系统；进一步优化人机交互设计，降低使用门槛，提升该教学模式的可及性与普及度。

4 结论

本研究通过随机对照试验证实，在显微外科住院医师规范化培训中应用虚拟现实技术，能够有效提升教学效果。具体而言，VR教学增强了住培医师的批判性思维能力，在寻求真相、分析能力、系统化能力等维度均表现出优势；同时，VR教学提高了住培医师的理论知识掌握程度和临床技能操作水平；此外，该教学模式还获得了住培医师的高度认可，教学满意度高于传统教学模式。

尽管本研究存在样本量有限、单中心设计等局限性，但结果明确表明，VR技术通过其沉浸性、交互性和安全性等特点，为显微外科住培教学提供了有效补充和创新路径。建议在今后的住培教学中适时引入VR技术，并开展更多多中心、大样本的随机对照研究，进一步验证其长期效果，推动显微外科临床教学的数字化转型与高质量发展。

参考文献

[1] 张宁娜，李雪艳，王孜俊，等. 某三级综合医院医学生对于虚拟现实技术应用于临床技能培训的认知与需求分析[J]. 临床医学研究与实践，2024，9(5)：1-5.

[2] Javid P，Aydin A，Mohanna P N，et al. Current status of simulation and training models in microsurgery：A systematic review[J]. Microsurgery，2019，39(7)：655-668.

[3] 吴元刚，孙凯博，李明阳，等. 人工智能在本科生骨科教学中的应用[J]. 华西医学，2025，40(9)：1485-1489.

[4] Huang T C，Sabbagh M D，Adabi K，et al. Compact and economical microsurgical training made possible with virtual reality[J]. Plastic and Reconstructive Surgery，2018，142(6)：993e-995e.

[5] Choque-Velasquez J，Colasanti R，Collan J，et al. Virtual reality glasses and "eye-hands blind technique" for microsurgical training in neurosurgery[J]. World Neurosurgery，2018，112：126-130.

[6] Gavira N，Benayoun M，Hamel Q，Et al. Learning，teaching，and training in microsurgery：A systematic review[J]. Hand Surgery and Rehabilitation，2022，41(3)：296-304.

[7] Mistry D，Brock C A，Lindsey T. The present and future of virtual reality in medical education：A narrative review[J]. Cureus，2023，15(12)：e51124.

[8] 郑光锐. 医学生批判性思维能力及影响因素调查研究[J]. 医学与哲学，2019，40(16)：75-77.

[9] 易志勇. 3D臂丛解剖动画在麻醉解剖教学中的应用价值研究[J]. 现代职业教育，2018(22)：101.

[10] Kim H Y，Kim E Y. Effects of medical education program using virtual reality：A systematic review and meta-analysis[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2023，20(5)：3895.

[11] 岳家贤，商庆尧，刘佳祥，等. 虚拟现实和增强现实技术在医学教育中的应用[J]. 中国医学装备，2025，22(7)：172-176.

[12] 罗红，徐丽. 基于虚拟现实技术记忆相关训练的脑功能激活变化研究[J]. 中国康复，2024，39(9)：525-529.

[13] 郭珍妮，张晗，傅钰丽，等. 以问题为基础的教学联合虚拟现实技术在卒中后睡眠障碍临床教学中的应用[J]. 中国卒中杂志，2023，18(5)：534-537.

[14] 曾小燕，赵静，张椿. 外科临床技能培训中虚拟现实技术的思考[J]. 解放军医院管理杂志，2020，27(7)：690-693.

[15] 闫璐，邱贤文，梅奕洁，等. 虚拟现实技术/增强现实技术在皮肤科临床教学中的应用现状及构想[J]. 实用皮肤病学杂志，2023，16(2)：119-122.

[16] 陈睿，李雯娟. 虚拟现实技术联合"翻转课堂"在临床医学口腔实习教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2021，20(6)：684-687.

[17] 杨秋，刘美连，邰明霞，等. 虚拟现实技术在国内外护理领域中应用的研究进展[J]. 护士进修杂志，2023，38(7)：620-623.

[18] Rodda J，Mansi H，Fernando-Sayers J，et al. Virtual and augmented reality in undergraduate medical education in psychiatry：A systematic review[J]. The Clinical Teacher，2025，22(4)：e70128.