3D数字教学模式在胸外科住院医师培训教学中的应用

贾卓奇[1,2],王绩钊[1],牛佳敏[1],王 哲[1],付军科[1],张广健[1]

1. 西安交通大学第一附属医院胸外科,陕西 西安 710061;
2. 西安市人民医院(西安市第四医院)胸外科,陕西 西安 710004

摘要:目的 探讨多技术融合型3D数字教学模式在胸外科住培医师教学中的应用效果。**方法** 纳入2023年3月—2024年3月在西安交通大学第一附属医院胸外科轮转的109名外科专业住培医师,随机分为两组。试验组采用“VR三维重建+3D打印模型+3D胸腔镜”多技术融合型模式教学,对照组采用“传统+2D胸腔镜”教学模式。培训4周后,通过出科考试和问卷调查,统计考核成绩与反馈结果。**结果** 考核成绩结果为试验组总分(89.0±3.1)分显著高于对照组(76.0±2.3)分($P<0.05$);影像读片评分(15.9±1.7)分高于对照组(13.4±2.1)分($P<0.05$);技能综合评分(47.9±5.1)分高于对照组(44.3±2.3)分($P<0.05$)。问卷反馈结果为试验组在学习兴趣、影像判读能力提升、手术配合技术能力提升、深入理解教学内容、实践操作技能以及临床思维能力等方面的评分均高于对照组($P<0.05$);教学满意度(96.3%)高于对照组(83.6%)($P<0.05$)。**结论** 在胸外科住培医师教学中应用多技术融合型3D数字教学模式,可提升整体教学效果与质量,相比传统教学,能激发学员学习热情,提高学习效率与教学满意度。

关键词:3D虚拟仿真;胸腔镜手术;住培医师教学

DOI:10.13555/j.cnki.c.m.e.2026.05.026

中图分类号:G434 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-3181(2026)05-0837-06

Application of 3D Digital Teaching Mode in Thoracic Surgery Residency Training

JIA Zhuoqi[1,2], WANG Jizhao[1], NIU Jiamin[1], WANG Zhe[1], FU Junke[1], ZHANG Guangjian[1]

1. Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; 2. Department of Thoracic Surgery, Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital), Xi'an 710004, China

Abstract: *Objective* To explore the application effectiveness of a multi-technology-integrated 3D digital teaching mode in the training of thoracic surgery residents. *Methods* A total of 109 surgical residents rotating in the Department of Thoracic Surgery at the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University from March 2023 to March 2024 were enrolled and randomly assigned to two groups. The experimental group was taught using a multi-technology-integrated mode that combined "VR three-dimensional reconstruction + 3D-printed models + 3D thoracoscopy", whereas the control group received the "traditional teaching + 2D

收稿日期:2025-10-05

基金项目:西安交通大学医学院第一附属医院2022年度院级教学改革研究项目(JG2022-0332)

作者简介:贾卓奇(1980—),男,内蒙古包头人,主治医师,硕士,主要研究方向为食管癌转移的缺氧耐受机制。

thoracoscopy" teaching approach. After four weeks of training, assessment scores and feedback results were collected and analyzed through end-of-rotation examinations and questionnaires. *Results* The experimental group outperformed the control group significantly (all $P<0.05$): total score (89.0±3.1 vs 76.0±2.3), imaging reading score (15.9±1.7 vs 13.4±2.1), and comprehensive skill score (47.9±5.1 vs 44.3±2.3). Questionnaire results showed the experimental group outperformed the control group in ratings of learning interest, improvement in image interpretation, enhancement of surgical-assistance skills, depth of content comprehension, hands-on operative ability, and clinical reasoning (all $P<0.05$). Its teaching satisfaction rate (96.3%) was also higher than the that of the control group (83.6%) ($P<0.05$). *Conclusion* Applying multi-technology-integrated 3D digital teaching mode in the training of thoracic surgery residents would improve overall teaching effectiveness and quality. Compared with traditional teaching, it stimulates residents' learning enthusiasm, enhances learning efficiency, and increases training satisfaction.

Keywords: 3D virtual simulation; Thoracoscopic surgery; Residency teaching

胸外科学作为一门复杂且实践性与操作性要求极高的学科,对教学质量提出了极为严格的标准。在胸外科住培教学发展过程中,早期采用的"以教师为中心"单向授课模式,虽随"以学生为中心"教育理念的普及逐步改进,但受胸外科解剖结构复杂、手术风险高、住培周期有限等学科特性影响,部分教学场景中仍存在学员主动参与度不足、理论与实践衔接不紧密的问题——如依赖二维教材或2D胸腔镜视野难以建立三维解剖认知,动手操作训练机会受限,导致住培医师对知识的应用能力、临床思维能力提升缓慢,难以完全匹配当前微创胸外科技术快速发展的临床需求。如何以新型教学方式破解胸外科住培中"理论与实践脱节"的难题,加速理论知识向临床实操能力、诊疗思维能力的转化,既是住培带教工作优化的关键课题,也符合新时代医学教育内涵式发展中"重实践、强能力"的核心要求。

3D虚拟仿真技术融合计算机图形学、VR/AR/MR及人工智能等前沿技术,通过构建逼真三维虚拟环境实现沉浸式交互,可完成复杂系统模拟与训练[1]。目前,3D虚拟仿真技术已成为医学教育领域的热点技术,广泛应用于虚拟解剖、手术模拟、个性化手术规划、远程教学与协作等主要领域,同时在临床实践的术前规划与模拟、术中导航、患者教育等方面也取得了卓越成效,但该技术在胸外科住院医师教学领域的应用仍处于起步阶段。本研究针对胸外科住培教学的难点,深入探讨多技术融合型3D数字教学模式(VR三维重建+3D打印模型+3D胸腔镜)在胸外科住培医师教学中的应用效果,现将研究成果报告如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象与分组

选取2023年3月—2024年3月,于西安交通大学第一附属医院胸外科进行轮转的外科住培医师共109人为研究对象。

1.2 教学方法

将住培医师随机分为试验组($n=54$)和对照组($n=55$)。试验组采用"VR三维重建+3D打印模型+3D胸腔镜"多技术融合型模式教学,对照组采用"传统+2D胸腔镜"教学模式。教学目标为熟悉胸部常见疾病(如肺癌、食管癌、纵隔疾病)的临床表现、鉴别诊断,熟悉胸部常见疾病诊疗原则。教学内容分为理论教学和临床实践教学两部分。

1.2.1 传统教学模式

理论授课应用教学PPT及MOOC视频等传统方式进行。所有医生统一观看手术视频,了解注意事项和基本手术流程并进行培训。在高年资胸外科副主任医师带领下,进入手术室参与胸外科手术的配合工作。教师进行术中教学指导,强化胸部解剖结构的认识,熟悉2D胸腔镜下常用器械的使用,了解手术流程和手术要点,进行胸外科操作实践。

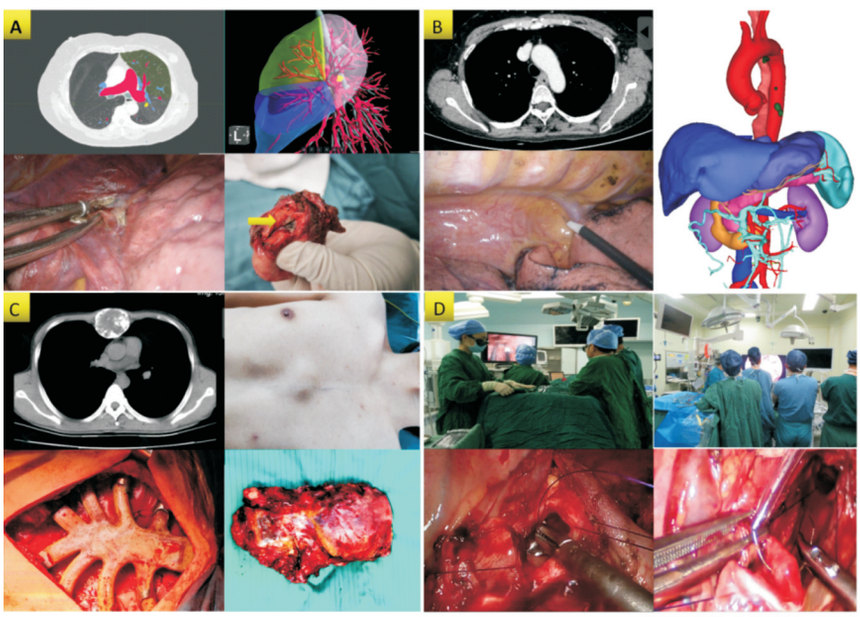
1.2.2 多技术融合型3D数字教学模式

VR三维重建技术:手术病例数据导入Mimics19.0软件(医学影像三维重建专用软件),利用软件中Thresholding设置不同结构的阈值(肺部含气组织阈值−900～−500 HU,肺实性结节/食管肿瘤软组织阈值20～100 HU),并采用Dynamic region growing选择拟重建的解剖结构分别进行标注,用3D Calculation对Mask分别进行三维重建,清楚地显示肺结节/食管肿瘤三维模型的主要结构(图1A,1B)。应用术前三维重建的模型授课讲解,小组讨论手术方案及流程。

3D打印模型:病例数据导入后应用Anycubic Photon M3 Max(高精度3D打印机,用于医学模型制

作),通过Slicer 3D建模后经专业的切片软件输出3D实体模型(肺、支气管或胸骨肋骨模型)(光敏树脂,型号Anycubic UV Resin;灭菌方式,环氧乙烷灭菌),从而直观反映病灶情况,包括疾病的位置、大小、肿瘤浸润深度以及周围脏器毗邻等信息,根据患者的CT数据生成个性化的三维模型,术前合理规划手术路径,提前识别可能的变异,小组讨论策划手术切除范围及手术方式(图1C)。

3D胸腔镜培训:培训计划为每周2次,每次1.5小时,含模拟操作+术中观摩3D胸腔镜手术,住培医师作为助手参与手术配合,教师进行术中教学指导,强化对胸部解剖结构的认识,熟悉3D胸腔镜下常用器械的使用,了解手术流程和手术要点,进行胸外科操作实践(图1D)。



1A 肺结节VR重建模型;1B 食管三维重建解剖模型;1C 3D打印胸骨模型;1D 3D胸腔镜手术场景

图1 多技术融合型3D数字教学平台

1.3 出科考核及问卷调查

教学评价采用主、客观形式。客观考核总分100分,主要分为影像读片20分,病历书写15分,技能综合评分65分(包括病例分析题45分,技能操作20分)。

主观评价以自制的教学量表对住培医师进行无记名调查,以了解其对所用的教学模式和实践教学方法的评价,内容包括:①学习兴趣;②影像判读能力提升;③手术配合能力提升;④深入理解教学内容;⑤提高临床思维能力;⑥改进实践操作技能。采用Likert 5级评分法(1=完全不符合,5=完全符合)。

1.4 统计分析方法

采用SPSS 22.0软件对数据进行整理分析,计量资料采用($\bar{x}\pm s$)表示,计数资料组间比较采用χ^2检验,以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象一般资料

纳入胸外科住培医师共109人为研究对象,男47人,女62人;两组住培医师基线资料具有可比性($P>0.05$)(表1)。

表1 一般资料

一般资料	试验组$n=54$	对照组$n=55$	P
年龄	22.7±1.6	22.5±2.1	>0.05
性别			>0.05
男	24(44.4%)	23(41.8%)	
女	30(55.6%)	32(58.2%)	
既往出科考核成绩(分)	76.8±6.9	78.3±5.8	>0.05

2.2 客观考核

考核总分试验组为(89.0±3.1)分,明显高于对照组的(76.0±2.3)分($P<0.05$);影像读片评分试验组为(15.9±1.7)分,高于对照组的(13.4±2.1)分($P<0.05$);技能综合评分试验组为(47.9±5.1)分,高于对照组的(44.3±2.3)分,具有统计学差异($P<0.05$)。病历书写试验组为(14.5±2.9)分,对照组为(14.8±3.1)分,2组无统计学差异($P>$

0.05)(表2)。

表2 客观考核成绩($\bar{x}\pm s$)

考核项目	试验组(n=54)	对照组(n=55)	P
影像读片	15.9±1.7	13.4±2.1	<0.05
技能综合评分	47.9±5.1	44.3±2.3	<0.05
病历书写	14.5±2.9	14.8±3.1	>0.05
总分	89.0±3.1	76.0±2.3	<0.05

2.3 教学调查问卷

该研究共发放调查问卷109份,回收有效问卷109份,回收率为100%。试验组在学习兴趣、影像判读能力提升、手术配合技术能力提升、深入理解教学内容、实践操作技能以及临床思维能力等方面的评分优于对照组,差异有统计学意义(P<0.05)。试验组教学满意度96.3%,高于对照组的83.6%,差异有统计学意义(P<0.05)(表3)。

表3 调查问卷结果n(%)

评分维度	试验组(n=54)	对照组(n=55)	χ^2	P
学习兴趣高	47(87.0)	38(69.1)	5.982	0.014
技术接受度	53(98.1)	40(72.7)	13.657	0.001
影像判读能力提升	50(92.6)	41(74.5)	8.367	0.004
手术配合能力提升	52(96.3)	45(81.8)	7.431	0.006
深入理解教学内容	50(92.6)	41(74.5)	8.367	0.004
实践操作技能提高	48(88.9)	40(72.7)	6.472	0.011
临床思维能力改善	45(83.3)	39(70.9)	3.264	0.041
满意度	52(96.3)	46(83.6)	6.892	0.009

3 讨论

3.1 胸外科住培传统教学模式的瓶颈与技术革新需求

胸外科手术因解剖结构复杂(如纵隔区域血管神经密集、肺叶支气管分支精细)、操作空间狭小且手术风险高(如术中大出血、喉返神经损伤),加之住培周期有限,导致传统教学模式下住培医师常面临理论与实践转化困难、实操上手缓慢及手术风险把控不足等问题。多数住培医师反映,在学习初期难以通过二维教材或2D胸腔镜视野建立三维解剖空间认知,面对临床病例时常出现“知其然不知其所以然”的问题——如无法精准判断肺结节与肺动脉分支的毗邻关系,或在手术配合中难以快速响应术者操作需求,这不仅延长了学习曲线,也与当前胸外科微创技术(如胸腔镜肺段切除术、食管癌根治术)快速发展的临床需求脱节,亟须通过技术创新重构教学模式。

3.2 多技术融合型3D数字教学模式的核心优势与实践价值

多技术融合型3D数字教学是一种基于计算机技术、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)及3D打印等技术构建的现代化教学模式[2-3],其核心优势在于打破传统教学的“平面化”局限,通过“可视化—沉浸式—实操化”递进路径解决住培核心痛点。已有研究证实,3D技术在提升医学教学中的技术接受度、影像解译精度及实操配合能力方面成效显著[4-6]。

本研究中,试验组通过Mimics 19.0软件对患者CT影像数据进行三维重建,清晰呈现肺结节区域支气管、肺动脉、肺静脉分支的走向(图1A),以及食管解剖区域内神经、血管及重要毗邻脏器的情况(图1B),帮助住培医师快速建立“解剖结构—影像特征—临床意义”的关联认知[7-8];基于Anycubic Photon M3 Max打印机制作的1:1胸骨肿瘤3D模型,可让学员通过触摸、拆解模型直观理解肿瘤浸润深度与胸骨重建的手术关键点(图1C),这种“触觉+视觉”的双重刺激降低了技术学习门槛,显著提升了住培医师对3D数字技术的接受度与认可度[9]。

从技术接受度来看,试验组技术接受度高达98.1%,显著高于对照组的72.7%(P=0.001),这一结果印证了该教学模式的实用性与易用性。在影像判读能力提升方面,试验组评分(92.6%)显著优于对照组(74.5%)(P=0.004),与客观考核中影像读片评分的差异形成呼应。传统教学中,住培医师需通过二维影像间接推断三维解剖关系,易出现漏判、误判问题;而3D数字教学模式通过VR三维重建模型的立体呈现,将抽象的影像数据转化为可交互的三维结构,帮助学员精准识别病灶与周围组织的空间关系,大幅提升影像判读的准确性与效率,这与Zheng等[3]研究中“3D技术可增强复杂胸外科解剖认知”的结论一致。在手术配合能力提升维度中,试验组表现(96.3%)明

显优于对照组(81.8%)(P=0.006),这得益于3D胸腔镜技术的沉浸式教学优势。随着胸外科微创技术的快速发展,3D胸腔镜已成为领域新趋势[10-13],其三维立体视野可清晰呈现局部解剖结构,便于住培医师观察术者操作细节。本研究中,试验组通过每周2次的3D胸腔镜模拟操作与术中观摩,佩戴3D眼镜实时观察气管肿瘤与血管神经的立体毗邻关系(图1D),精准学习超声刀分离血管的角度、缝合针距控制等实操技巧,实现"理论学习—虚拟模拟—临床实操"的无缝衔接,有效提升手术配合的精准度与熟练度,为临床实操奠定坚实基础。

该模式并非单一技术的简单叠加,而是通过硬件设备互联互通、软件工具协同支撑、教学流程闭环设计,形成"可视化—沉浸式—实操化"的完整教学生态,这也是其在技术接受度、影像判读及手术配合等核心维度实现突破的关键,为胸外科住培教学提供了高效可行的新路径。

3.3 考核结果差异化分析:优势维度与无差异维度解读

两组考核结果显示,试验组在考核总分、影像读片及技能综合评分上均显著优于对照组(P<0.05),这一结果与国内外同类研究结论一致,印证了多技术融合型3D数字教学模式在提升技术性临床能力方面的显著效果。值得关注的是,试验组与对照组在病历书写评分上无统计学差异(P>0.05),这一结果反映了教学技术创新与基础临床能力培养的差异化作用边界。

从教学定位来看,多技术融合型3D数字教学模式的设计初衷是解决胸外科住培中"解剖结构复杂导致的空间认知难、2D视野局限导致的手术配合难、理论知识难以转化为实操能力"等学科痛点,而非针对"病历书写、病史采集"等基础临床文书能力。病历书写能力的提升更多依赖于"病例实操练习+带教医师逐句批改+诊疗规范强化"的传统训练路径,两组住培医师均接受统一的规范化指导,形成了基础能力训练的同质化,因此未呈现显著差异。这一结果清晰地界定了3D数字教学模式的适用边界——它是对传统教学的"补充与强化",而非"替代",在提升住培医师"技术性临床能力"的同时,仍需依托传统教学路径保障"基础临床能力"的标准化培养,为后续教学优化提供了明确方向,即未来可探索"3D数字教学+基础能力模块化训练"的整合模式,如将3D解剖模型观察与病历书写规范训练相结合,实现技术能力与基础能力的协同提升[14]。

3.4 教学实践中的挑战与优化方向

多技术融合型3D数字教学模式在推广应用过程中仍面临若干现实挑战。该模式依赖VR设备、3D打印机、专用软件及3D胸腔镜系统等硬件支撑,设备购置与维护成本较高;同时,带教医师需接受专项培训,熟练掌握影像重建、模型解读及3D设备操作等技能,增加了教学准备成本,这些因素可能限制其在资源有限机构的普及。

针对上述问题,建议通过"区域教学联盟"模式实现设备共享,整合区域内医疗教学资源,降低单一机构的硬件投入门槛;同时开发标准化技术培训课程,系统提升带教医师的3D技术应用能力,形成可复制、可推广的带教体系。此外,可结合住培医师的学习进度,设计阶梯式培训方案:先通过基础软件操作与模型观察建立三维解剖认知,再逐步过渡到虚拟模拟操作与临床术中观摩,进一步优化学习体验,最大化教学成效。

3.5 研究局限性与未来研究展望

本研究仍存在一定局限性:首先,作为单中心研究,样本量仅109人,且研究对象均来自三级甲等医院,结果可能无法直接推广至基层医院(设备条件有限、病例复杂度较低)或其他地区医院(教学资源分布差异);其次,仅评估了4周教学后的短期效果,未追踪住培医师结业后独立开展手术的能力(如手术时间、并发症发生率),无法验证新教学模式的长期影响力。

未来研究可从三方面展开:一是开展多中心、大样本研究,纳入不同等级医院的住培医师,进一步验证3D教学模式的普适性;二是延长随访周期至6~12个月,通过临床手术数据评估长期教学效果;三是探索"3D技术+AI"的融合创新,如开发AI虚拟导师系统,实时纠正规培医师在模拟操作中的错误,或通过AI分析学员学习数据,制定个性化培训方案[15],进一步提升教学的精准性与高效性。

综上所述,融合VR三维重建、3D打印与3D胸腔镜的多技术数字教学模式,通过系统级技术整合与闭环教学设计,实现了解剖认知直观化、理论实践无缝化及学习过程主动化,显著提升胸外科住培医师的考核成绩、临床技能与学习满意度,有效突破传统教学的平面化、被动化瓶颈[15]。尽管该模式面临设备成本较高、带教技术储备不足等现实挑战,但通过区域资源共享、标准化培训课程开发等优化路径可逐步破解,其在塑造新时代胸外科卓越医师中的应用潜力巨大,值得在医学教育领域进一步推广与深化探索。

参考文献：

[1]李鑫,姜晓瑜,水敏崎,等.虚拟现实技术在胸心外科临床教学中的应用效果评价[J].基础医学教育,2021,23(5):354-356.

[2]Anderson R J,Bauer P R,Arghami A,et al.Virtual reality simulation to improve postoperative cardiothoracic surgical patient outcomes[J].American Journal of Critical Care,2025,34(2):111-118.

[3]Zheng Y A,Lee Y C,Huang J Y,et al.Enhancing three-dimensional anatomical understanding in complex thoracic surgery:A comparative study of OpVerse and Synapse 3D[J].European Journal of Cardio-Thoracic Surgery,2025,67(4):ezaf069.

[4]张志常,娄岩.虚拟现实技术在医学教育中应用的前沿与趋势[J].医学教育研究与实践,2021,29(2):190-194.

[5]李鑫,单雯钏,陆乘俊,等.虚拟现实技术在胸心外科教学中的应用[J].医学教育研究与实践,2021,29(1):48-51.

[6]王炜,王润辰,郝哲学.基于薄层CT影像3D打印技术在胸外科规培教学中的应用[J].中华医学教育探索杂志,2022,21(11):1558-1560.

[7]吴超,薛佩,王佳玉,等.虚拟现实技术在外科医学教育实践中的应用与探索[J].中华消化外科杂志,2023,22(S1):78-81.

[8]Ros M,Debien B,Cyteval C,et al.Applying an immersive tutorial in virtual reality to learning a new technique[J].Neurochirurgie,2020,66(4):212-218.

[9]Yang D,Miao Y F,Li L Q,et al.From virtual to reality:Application of a novel 3D printing hollow model for early-stage lung cancer in the clinical teaching of thoracoscopic sublobar resection[J].Frontiers in Oncology,2025,15:1526592.

[10]Guerrera F,Nicosia S,Costardi L,et al.Proctor-guided virtual reality-enhanced three-dimensional video-assisted thoracic surgery:An excellent tutoring model for lung segmentectomy[J].Tumori,2021,107(6):NP1-NP4.

[11]Wang Q,Ge J T,Wu H,et al.Comparison of three-dimensional *vs*.Two-dimensional assisted thoracoscopy for recurrent laryngeal nerve lymph nodes dissection in esophagectomy:A retrospective study[J].BMC Surgery,2024,24(1):278.

[12]Pardolesi A,Rolli L,Scanagatta P,et al.Comparison of clinical and oncologic effectiveness between flexible 3-dimensional and bidimensional video-thoracoscopic surgery for lung cancer[J].Tumori Journal,2021,107(3):261-266.

[13]Huang R J,Du J T,Xu G B,et al.Application of three-dimensional printed models with near-infrared fluorescence technology in video-assisted thoracoscopic surgery segmentectomy:A single-center propensity-score matching analysis[J].Journal of Thoracic Disease,2024,16(7):4474-4486.

[14]Hu M,Sun M L,Bao C N,et al.3D-printed external fixation guide combined with video-assisted thoracoscopic surgery for the treatment of flail chest:A technical report and case series[J].Frontiers in Surgery,2023,10:1272628.

[15]Hong D,Kim H,Kim T,et al.Development of patient specific,realistic,and reusable video assisted thoracoscopic surgery simulator using 3D printing and pediatric computed tomography images[J].Scientific Reports,2021,11:6191.

（编辑：杨雪莹）