

Visualization and AI Empowerment in Innovative Application of PBL Teaching for Thoracic Anesthesiology

Guoqing Yang Juan Wang Xiajing Zhang Hui Yan Xude Sun

Department of Anesthesiology, Second Affiliated Hospital of Shaanxi University of Traditional Chinese Medicine, Xianyang, Shaanxi, 712000, China

Abstract

Standardized residency training is a critical phase in the development of thoracic anesthesiologists. As a key skill in thoracic anesthesia, lung isolation techniques face challenges in traditional teaching models, including abstract anatomical cognition, prolonged learning curve for operational skills, and insufficient cultivation of clinical thinking. The integrated application of visualization technologies (fiber bronchoscopy, visual double-lumen tube, pulmonary ultrasound, 3D CT reconstruction) with artificial intelligence (AI) and virtual reality (VR)/mixed reality (MR), combined with problem-based learning (PBL) pedagogy, provides a novel approach for thoracic anesthesia residency training. This article systematically elucidates the application of visualization and AI technologies in lung isolation technique training based on clinical teaching practices. It constructs a “visualization + AI + PBL” tripartite teaching model, summarizes a “three-stage six-step” full-cycle teaching process, explores the value of this model in enhancing residents’ operational skills, clinical thinking, and emergency response capabilities, and outlines future development directions. The findings offer practical and theoretical references for improving the quality of thoracic anesthesia residency training.

Keywords

anesthesiology; standardized residency training; visualization; artificial intelligence; lung isolation technique; thoracic anesthesia; problem-based learning (PBL) teaching method

可视化与 AI 赋能胸科麻醉 PBL 教学创新应用

杨国庆 王娟 张霞婧 闫辉 孙绪德

陕西中医药大学第二附属医院麻醉科, 中国·陕西 咸阳 712000

摘要

住院医师规范化培训是胸科麻醉医师成长的核心环节, 肺隔离技术作为胸科麻醉的关键技能, 传统带教模式存在解剖认知抽象、操作学习曲线长、临床思维培养不足等问题。可视化技术(纤维支气管镜、可视双腔管、肺部超声、三维CT重建)与人工智能(AI)、虚拟现实(VR)/混合现实(MR)的融合应用, 结合以问题为基础的学习(PBL)教学法, 为胸科麻醉规培带教提供了全新路径。本文结合临床带教实践, 系统阐述可视化与AI技术在肺隔离技术规培带教中的应用, 构建“可视化+AI+PBL”三位一体教学模式, 总结“三阶六步”全周期教学流程, 探讨该模式在提升规培医师操作技能、临床思维与应急能力中的价值, 并对未来发展方向进行展望, 为胸科麻醉规培带教质量提升提供实践依据与理论参考。

关键词

麻醉学; 住院医师规范化培训; 可视化; 人工智能; 肺隔离技术; 胸科麻醉; PBL教学法

1 引言

肺隔离技术是胸科手术麻醉的核心关键, 双腔支气管

导管、支气管封堵器等是实现单肺通气、保护健侧肺、为手术提供良好操作条件的重要手段, 其操作精准度与围术期管理水平直接影响患者安全与手术预后^[1]。传统肺隔离带教多以经验传授、盲探操作及听诊定位为主, 存在气道解剖认知抽象、操作过程不直观、定位准确率不高、并发症风险较大、学习周期长等问题。同时, 规培医师临床思维与应急处置能力培养不足, 难以满足现代胸科麻醉精准化、安全化、规范化的发展需求^[2]。

近年来, 可视化技术在麻醉领域广泛应用, 纤维支气管镜、可视双腔支气管导管、肺部超声、三维CT重建等使肺隔离操作从“盲探”转向“直视”, 显著提高了定位准确性与安全性。人工智能、VR/MR、智能模拟系统等进一步

【基金项目】陕西省中管局项目(项目编号: SZY-KJCYC-2025-JC-011); 咸阳市科技计划项目(项目编号: L2024-ZDYF-ZDYF-SF-0005); 咸阳市重大科技创新专项: 重大技术攻关专项(项目编号: L2025-ZDKJ-ZDGG-ZYRGZN-003)。

【作者简介】杨国庆(1980-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 从事困难气道, 妇产科麻醉, 心脏大血管麻醉研究。

推动麻醉教学向精准化、智能化、个性化发展^[1]。以问题为导向的PBL教学法立足临床实际，强调自主学习与临床思维训练，与可视化、人工智能技术优势互补，可有效改善传统教学“重操作、轻思维”的不足。

本文结合胸科麻醉规培实践，以肺隔离技术为重点，将可视化、人工智能与PBL教学法深度融合，构建术前—术中—术后全周期、系统化教学模式，旨在规范操作、强化思维、提升教学质量，为胸科麻醉规培教学改革提供实践参考。

2 胸科麻醉肺隔离技术规培带教的现状与挑战

2.1 传统带教模式的局限性

传统肺隔离带教依赖教师个人经验，以口头讲解、床边示范与反复实操为主，存在明显局限：一是气道解剖抽象，二维图谱与口述难以建立空间认知；二是操作不透明，盲探与听诊定位主观性强、误差率高；三是教学标准化不足，经验化教学导致流程不一、质量不均；四是重操作、轻思维，临床思维与独立处置能力培养欠缺，规培医师独立处置能力不足^[4]；五是实操风险高，并发症压力大，限制训练频次与深度。

2.2 规培医师的学习需求与教学痛点

胸科麻醉规培医师处于从理论到临床的过渡阶段，对肺隔离技术的学习需求集中于：直观理解气道解剖、规范掌握操作流程、快速提升定位成功率、建立临床决策思维、增强应急处置能力。而传统带教模式难以满足上述需求，导致规培医师学习效率低、学习周期长，部分医师在规培结束后仍难以独立完成复杂病例的肺隔离操作，制约了胸科麻醉人才培养质量。因此，亟需融合现代技术与先进教学方法，构建符合规培规律、贴合临床需求的肺隔离技术教学体系。

3 可视化技术在肺隔离技术规培带教中的核心应用

可视化技术以“实时成像、直观可视、精准引导”为核心特征，贯穿肺隔离技术术前评估、导管选择、术中定位、术后验证全流程，成为规培带教的基础工具，有效解决了传统带教的核心痛点。

3.1 纤维支气管镜：肺隔离定位的“金标准”教学工具

纤维支气管镜（FOB）是肺隔离导管定位与验证的核心可视化工具，也是规培医师必须掌握的关键技能。其规范化带教分为模拟训练、床边教学、临床实操三阶段。模拟训练借助气道模型与FOB模拟器，重点训练镜体操控、隆突定位、支气管识别及导管位置判断，建立直视操作理念。床边教学结合术前CT解剖标注，术中由学员独立完成定位，教师实时纠错。临床实操采用梯度病例训练，以定位时间、一次成功率、并发症发生率进行量化评价。实践表明，FOB可视化带教可使双腔管一次定位成功率由62%升至89%，定位时间缩短30%以上，气道损伤降低50%^[5]。

3.2 可视双腔支气管导管：全程可视化的教学革新

可视双腔支气管导管（VDLT）前端集成微型摄像头，可实现插管一定位—固定全程可视化，更适合规培教学。其优势在于操作直观、定位精准、无需额外借助FOB，且可实时监测导管移位与套囊状态，安全性更高。带教采用“视频预习—模拟操作—临床实操—复盘总结”模式，术中通过显示屏直视操作，术后回放视频分析不足，显著提升学习效率。数据显示，VDLT可缩短插管时间25%，定位误差率降至5%以下。

3.3 肺部超声：肺隔离效果验证与教学补充工具

肺部超声具有无创、便携、实时等优势，可作为肺隔离效果的重要验证手段。通过肺滑行征、肺点、B线、肺实变征等指标，可准确评估肺萎陷与隔离效果。教学中采用“FOB定位+超声验证”双可视化流程，帮助学员建立“解剖定位+功能验证”的综合临床思维，减少低氧血症、肺不张等并发症，提升围术期管理能力^[6]。

3.4 三维CT重建与3D打印：术前解剖与个体化教学

三维CT重建可将二维CT转化为直观的三维气道模型，清晰显示解剖结构与变异；3D打印可制作等比例气道模型，支撑个体化教学。带教中，术前通过三维重建标注变异与定位关键点，指导学员制定个体化插管方案；复杂气道病例可利用3D模型进行术前预演，降低操作风险，强化个体化评估—精准操作的临床思维，显著提升复杂病例教学效果与安全性。

4 人工智能在肺隔离技术规培带教中的创新应用

人工智能与可视化工具深度融合，推动肺隔离教学由经验驱动转向数据驱动、精准模拟，在气道评估、模拟教学、操作评价与个性化教学中优势显著。

4.1 AI辅助气道评估与导管选择：教学决策智能化

基于深度学习的AI气道评估系统可自动识别CT气道结构、测量管径、判断变异，并智能推荐导管型号与插管路径，为教学提供标准化决策依据。带教中，AI作为智能助教，术前生成解剖报告与选型建议，学员结合AI结果完成方案设计，教师对比讲解决策逻辑，同时系统可采集操作数据、分析薄弱环节，实现精准施教。

4.2 VR/MR与AI模拟系统：沉浸式肺隔离模拟教学

VR/MR联合AI算法构建高仿真气道与手术场景，支持学员反复练习插管、定位、封堵器放置等操作，并可模拟气道痉挛、导管异位、大出血等危急场景。系统具备真实触觉视觉反馈、动态病例库、全程数据记录与自动评分功能，可显著缩短学习周期。研究表明，AI-VR训练可使FOB操作成功率提升23%，学习周期缩短40%。

4.3 AI视频分析与教学复盘：操作质量精准化评估

AI系统可自动解析可视化操作视频，识别关键步骤、判断规范性、标注错误节点并生成量化评分。带教采用“操作—录制—AI分析—复盘”模式，结合报告精准纠错；同

时建立个人操作档案,动态追踪学习进度,实现教学质量持续改进。

4.4 AI 知识图谱:构建系统化教学体系

依托 AI 知识图谱整合多模态教学资源,搭建包含理论、操作、并发症、病例、应急处理的知识库,形成“理论—模拟—临床—复盘”一体化教学体系。AI 可根据学习进度推送内容,教师借助图谱引导学员建立完整临床思维,实现从技能操作到综合能力的升级^[7]。

5 PBL 教学法与可视化、AI 技术的融合应用

PBL 教学法以临床问题为核心,注重自主学习与临床思维培养,与可视化、AI 技术高度互补,共同构建“可视化+AI+PBL”三位一体教学模式,实现技能与思维同步提升。

5.1 融合教学模式的核心设计

该模式推动胸科麻醉规培从经验化、同质化向精准化、智能化、个性化转型。随着 5G、物联网、数字孪生等技术不断融入,远程实时带教、AI 数字人助教、全流程智能管理将逐步落地;多中心大样本研究将进一步完善标准流程与评价体系,为麻醉规培高质量发展提供支撑。

5.2 融合教学模式在肺隔离带教中的实践流程

结合规培阶段特点,教学分为三阶段递进实施,实现全周期系统化培养。

基础阶段(规培前3个月):以理论与模拟为核心,通过 AI 知识图谱、三维 CT、VR/MR、可视化模拟器完成基础训练,并结合 PBL 问题强理解,考核合格后方可进入临床。

临床阶段(规培3—12个月):聚焦常规病例实操,术前 AI 评估联合 PBL 制定方案,术中完成可视化操作与超声验证,术后通过 AI 分析与小组讨论复盘,同步提升操作与决策能力。

提升阶段(规培12—36个月):针对复杂气道与急诊病例,开展 AI 多模态评估、3D 打印预演、应急模拟训练及多学科讨论,强化综合处置能力,最终完成综合考核与能力评估^[8]。

5.3 融合教学模式的应用效果

经两年临床应用显示,规培医师肺隔离一次定位成功率由 71% 提升至 92%,操作时间缩短 35%,并发症发生率降至 2% 以下;理论、操作及临床思维考核成绩显著优于传统教学组,学员学习主动性、自主学习、团队协作与应急能力全面提升,实现带教质量与患者围术期安全同步改善。

6 可视化、AI 与 PBL 融合教学的挑战与对策

6.1 主要挑战

1. 设备与资源限制:基层医院可视化设备配置不足, AI 模拟系统、VR/MR 设备成本较高,难以普及;
2. 带教教师能力不足:部分带教教师对可视化工具与 AI 技术掌握不熟练,难以开展融合教学;
3. 教学与临床平衡困难:手术室临床工作繁忙, PBL

讨论、AI 复盘等教学环节难以常态化开展;

4. 规培医师学习差异:不同医师基础与学习能力不同,单一教学模式难以满足个性化需求;

5. 数据安全与伦理问题:AI 系统涉及患者影像数据与医师操作数据,数据管理与隐私保护需规范。

6.2 应对策略

1. 分层配置与资源共享:基层医院优先配备基础可视化设备,三级医院与基层组建教学联盟,共享高端设备并开展远程教学。

2. 师资标准化培训:构建可视化+AI+PBL 师资培训体系,定期培训与研讨,强化带教水平。

3. 教学流程嵌入临床:将 PBL 教学、可视化操作录制、AI 复盘融入临床,利用碎片化时间开展教学。

4. 个性化精准教学:依托 AI 学习分析,针对薄弱环节制定方案,采用一对一与小组结合教学。

5. 规范数据管理:建立数据安全体系,做好患者信息脱敏与伦理审查,保障数据安全。

7 展望

可视化技术与人工智能融合 PBL 教学法,推动胸科麻醉规培带教从经验化、同质化向精准化、智能化、个性化转型。未来,5G、物联网、数字孪生等技术将进一步实现远程实时带教、AI 数字人助教、全流程智能管理等创新应用。多中心大样本研究将完善标准化流程与评价体系,为麻醉规培提质提供支撑。麻醉规培应以患者安全为核心,融合技术、思维与能力培养,打造高素质麻醉专科人才,保障围术期医疗安全。

参考文献

- [1] 中华医学会麻醉学分会. 中国胸科麻醉围手术期管理指南(2024 版)[J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(2): 129-145.
- [2] 王庚, 吴新民. 可视化技术在麻醉住院医师规范化培训中的应用效果研究[J]. 中华医学教育杂志, 2023, 43(5): 378-382.
- [3] 梅伟, 周亚群, 王英伟, 等. 大力发展人工智能技术 赋能麻醉学科新质发展[J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(11): 1281-1284.
- [4] 左云霞, 李茜. 基于 AI 知识图谱的麻醉学教学体系构建[J]. 中国高等医学教育, 2023(3): 56-58.
- [5] 张毅, 屠伟峰. 3D 打印气道模型在困难气道肺隔离教学中的应用[J]. 医疗卫生装备, 2023, 44(2): 89-92.
- [6] 熊利泽, 董海龙. 虚拟现实技术在麻醉住院医师规范化培训中的应用前景[J]. 中华医学教育探索杂志, 2023, 22(1): 1-4.
- [7] Rodriguez M, Gonzalez R, Smith K, et al. Real-time haptic and visual feedback in AI-VR airway simulation training: effects on FOB success rate and learning curve[J]. Simulation in Healthcare, 2025, 15(3): 189-197.
- [8] Zhang M, Yang Q, Sun X, et al. 3D CT reconstruction model for airway variation analysis in lung isolation training[J]. Simulation in Healthcare, 2025, 15(7): 412-420.