“流程-能力”双主线医学检验虚实融合实验教学体系探索

纪思萌[1],姚佳欣[1],杨婷婷[1],吕冰冰[1],杨俊宝[1,2],方 莉[1,3]

1. 川北医学院检验医学院,四川 南充 637100;2. 川北医学院附属医院遗传与产前诊断中心,四川 南充 637100;3. 川北医学院附属医院检验科,四川 南充 637100

摘要:为应对医学检验技术专业实验教学在设备资源、安全伦理与高阶能力培养方面的系统性困境,克服虚拟仿真教学“碎片化”“技能化”的局限,该研究基于成果导向教育与建构主义学习理论,构建出以“临床检验流程”为经线、“能力分层培养”为纬线的双主线虚实融合教学体系。体系创新性地提出指导实践的“替代—补充—超越”三原则,并据此设计“认知与通识—技能与操作—综合与创新”三层次教学矩阵,系统整合16项虚拟仿真项目,改变以往项目间彼此割裂的“碎片化”状态,构建出一个覆盖完整检验流程、支撑分层能力目标的连贯教学路径。教学实践表明,该体系能显著提升教学效能与学生综合素养:实体实验课预习完成率跃升至92%以上,大型仪器操作考核一次性通过率达95%,并有效激发学生的科研创新潜能。体系形成了一套可复制、可推广的系统化教学方案,为同类院校的实验教学改革提供行之有效的新范式。

关键词:医学检验;虚拟仿真;实验教学改革;OBE;教学体系

DOI:10.13555/j.cnki.c.m.e.2026.05.016

中图分类号:G642.0 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-3181(2026)05-0776-06

Exploration of the Construction of a “Process-Competency” Dual-Mainline Virtual-Real Integrated Experimental Teaching System in Medical Laboratory Science

JI Simeng[1], YAO Jiaxin[1], YANG Tingting[1], LÜ Bingbing[1], YANG Junbao[1,2], FANG Li[1,3]

1. College of Laboratory Medicine, North Sichuan Medical College, Nanchong 637100, China; 2. Genetics and Prenatal Diagnosis Center, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637100, China; 3. Department of Clinical Laboratory, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637100, China

Abstract: To address the systemic challenges in experimental teaching of Medical Laboratory Technology, including limited equipment resources, safety and ethical concerns, and the need for cultivating higher-order competencies, this study overcomes the limitations of “fragmented” and “skill-focused” virtual simulation

收稿日期:2025-12-22

基金项目:2024—2026年四川省高等教育人才培养质量和教学改革项目(JG2024-0940);2024—2026年四川省教育厅教改项目子项目(JG202509);南充市社会科学研究“十五五”规划2026年度项目(NC26C367);新医科“揭榜挂帅”项目(XYK-JBGS-202602)

作者简介:纪思萌(1995—),女,四川乐山人,助教,硕士,主要研究方向为医学检验实验教学改革与虚拟仿真技术应用。

通信作者:方 莉(1980—),女,四川广汉人,副教授,硕士,主要研究方向为检验医学人才培养及学科建设。

teaching by developing a dual-mainline virtual-real integrated teaching system. Grounded in outcome-based education (OBE) and constructivist learning theory, the system is structured along two axes: the vertical "clinical testing process" and the horizontal "hierarchical competency development". Innovatively, three practical principles including "substitution-supplementation-transcendence" is proposed and a three-tier teaching matrix encompassing "cognition and general knowledge", "skills and operations", and "integration and innovation" is designed. By systematically integrating 16 virtual simulation projects, the previously "fragmented" teaching modules were transformed into a coherent instructional pathway that covers the complete testing process and supports tiered competency goals. Teaching practice shows that this system significantly enhances instructional effectiveness and students' comprehensive competencies: pre-class preparation completion rates for hands-on experiments increased to over 98%, the first-attempt pass rate for operating large instruments reached 95%, and students' potential for scientific innovation was effectively stimulated. The system has developed a systematic teaching plan that is both replicable and scalable, providing an effective new paradigm for experimental teaching reform at similar institutions.

Keywords: Medical Laboratory Technology; Virtual simulation; Experimental teaching reform; OBE; Teaching system

随着精准医疗与自动化技术的飞速发展,医学检验的角色正经历着从"辅助服务"向"临床诊断核心"的深刻转变[1-2]。这一转变对检验人才的培养提出更高要求,亟须具备精熟的仪器操作技能、系统的临床思维、强大的数据分析能力以及初步的科研创新素养[3]。然而,传统实验教学模式在应对这一新挑战时,凸显出三大核心困境:一是资源与安全的刚性瓶颈。大型贵重仪器(如液相色谱-串联质谱联用仪)平均实操机会匮乏,实验课易沦为"观摩课"[4]。涉及高危病原体、高成本材料、长周期或高风险临床操作的教学内容,受制于安全、成本与伦理,无法开展,导致学生能力培养存在"结构性缺失"。二是教学效率与深度的双重不足[5-6]。有限的课堂时间常被基础操作讲解挤占,挤压深度分析与思维训练的空间。学生陷入被动执行状态,"知其然不知其所以然",难以构建"样本—检测—报告—临床"的整体检验流程观。三是现有虚拟仿真应用的定位误区。许多项目功能单一,仅作为"仪器操作模拟器",呈现"碎片化"状态,缺乏与临床诊断路径的整合及系统性能力培养的设计,不能充分发挥教学价值[7-8]。本研究基于成果导向教育(Outcome-based Education, OBE)理念与建构主义理论为双重基石进行教学设计[9-10]。OBE作为"导航仪",指引以终极能力成果反向设计教学;建构主义作为"方法论",支撑虚拟仿真营造"可试错、可重复、沉浸式"的学习情境[11]。同时,系统阐述如何构建并实践"流程-能力"双主线虚实融合实验教学体系,展示实施案例与成效,以期为同类院校的教学改革提供一套可借鉴的系统性解决方案。

1 "流程-能力"双主线教学体系的设计与构建

本体系将"零散的"虚拟仿真项目通过两大主线的辩证统一与三个教学层次来精细划分,整合成一个有机的、目标明确的教学生态系统。

1.1 双主线核心内涵

体系的有效性在于"临床检验流程"与"能力分层培养"两大主线的深度融合与协同增效。"临床检验流程"主线(经线—载体):模拟从样本采集、前处理,贯穿生化、免疫、微生物、分子生物学等核心技术平台,直至报告审核与临床咨询的完整工作路径。"能力分层培养"主线(纬线—灵魂):遵循认知与发展规律,设计由浅入深的三个能力阶层:"认知与通识"→"技能与操作"→"综合与创新"。确保每项教学活动都精准指向学生内在素养的阶段性提升,是贯穿所有教学环节的核心目标。"流程"若无"能力"引领,则沦为僵化步骤模仿;"能力"若无"流程"承载,则成为空泛概念。"能力"和"流程"这两条主线的交织,共同构成培养高素质检验人才的完整蓝图。

1.2 "替代—补充—超越"核心原则

在体系构建过程中,处理虚实关系需避免"为虚而虚"或"以虚代实"的倾向。因此,团队凝练出"替代—补充—超越"三原则为辩证应用虚拟仿真技术提供支撑。具体而言,"替代"原则主要针对存在刚性约束的教学环节,如涉及高危病原体、高成本或伦理限制的实验,通过虚拟仿真实现"功能性替代",从根本上解决传统教学中"做不到"的核心痛点,确保教学内容的完整性[12-13]。"补充"原则则具有普适性,强调虚拟仿真是对实体教学的有力支撑,在深度理解原理、操作流程

的预习与复盘等环节，凭借可重复、无风险、可视化的独特优势，作为“有效性补充”深化和巩固实体教学的效果，有效破解“做不深”的难题。而“超越”原则则代表虚实融合的最高价值与未来方向，在实验方案设计、系统性认知构建以及高阶临床决策能力培养等层面，虚拟仿真凭借其提供的“创新沙盘”和“临床禁区模拟”环境，实现对实体教学固有局限的“能力超越”，为培养学生应对复杂场景的综合素养开辟全新路径。这三个原则相互关联、层层递进，共同构成本体系处理虚实融合关系、实现教学价值最大化的核心逻辑基础。

1.3 “三层次”虚实融合教学矩阵

为将双主线理念付诸实践，我们构建出“三层次”虚实融合的教学矩阵（内容如表1所示）。该矩阵的核心在于根据不同层次的教学目标，辩证应用虚拟仿真技术。

表1 “三层次”虚实融合教学矩阵

教学层次（能力纬线）	技术平台（流程经线）	核心虚拟仿真项目	虚实融合策略	对应核心能力
认知与通识层（入室）	临床实验室通识	虚拟三维临床实验室漫游系统	前置强制性通关任务，构建整体认知框架	规范意识、安全意识、系统认知能力
技能与操作层（精技）	临床遗传学平台	人类染色体制备虚拟仿真实验	流程压缩与标准观察	经典细胞遗传学技术基础操作与结果判读能力
	生化与色谱平台	全自动生化分析仪、高效液相色谱仪[14]、液相色谱-串联质谱联用仪	混合式教学（虚拟预习→实体验证→虚拟复盘）	高端精密仪器标准化操作与故障分析能力
	免疫分析平台	放射免疫分析法、幽门螺杆菌检测、全自动血凝分析仪	安全替代/标准化操作强化补充	免疫核心技术仪器操作与定标流程执行能力
	微生物学平台	全自动细菌鉴定及药敏分析、布鲁氏菌检测	高危实验安全替代/标准化流程训练	微生物检验标准化流程执行与结果分析能力
	分子生物学平台	实时荧光定量PCR、琼脂糖凝胶电泳	原理可视化与污染防控认知性补充	分子生物学核心原理理解与防污染意识
	体液分析平台	尿液干化学与尿沉渣分析	流程整合与质控思维培养的流程性补充	综合分析能力与质量控制思维
综合与创新层（赋能）	临床遗传学平台	羊膜腔穿刺术虚拟仿真实验（典型例证）[15]	案例模拟与临床决策训练	临床思维、风险管控与医患沟通能力
	免疫技术平台	单克隆/多克隆抗体制备及鉴定、超敏C-反应蛋白试剂盒制备	项目式学习（Project-based Learning, PBL）	实验设计、方案优化与科学研究能力

1.3.1 第一层：认知与通识层（“入室”）

此层聚焦解决“是什么”与“为何要规范”的基础性问题，致力于帮助学生构建对临床检验工作的系统性整体认知。在此层面，虚拟仿真主要扮演“前置性补充”的角色，并非取代实体感受，而是通过“虚拟三维临床实验室漫游系统”等工具，先行构建一个坚实的认知框架，有效消除学生对临床环境的陌生感，从而为后续所有实体实验教学铺平道路，深刻体现了“虚”为“实”用、虚实互补的设计思想。

1.3.2 第二层：技能与操作层（“精技”）

此层聚焦“怎么做”与“为何这么做”的核心技能培养，是夯实学生专业实践能力的关键环节。在此层面虚实融合策略最为丰富：对于布鲁氏菌检测等受制于安全伦理而绝对无法开展的实验，虚拟仿真执行严格的“功能性替代”，实现教学内容的从无到有；而对于全自动生化分析仪、液相色谱-质谱联用仪等常规大型设备，则采用“虚拟预习→实体验证→虚拟复盘”的混合式教学模式，作为“有效性补充”，让学生在零风险环境中深化对原理的理解并能从试错中学习，甚至在原理深度理解层面实现对实体教学的“局部超越”。

1.3.3 第三层：综合与创新层（“赋能”）

此层是对学生能力培养的最高阶段，旨在激发和锤炼学生解决“如何设计”与“如何创新”的高阶复杂问题的能力。在此层面，虚拟仿真实现对实体教学固有局限的“超越”。以“羊膜腔穿刺术虚拟仿真实验”为例，此项目不仅是规避临床高风险的“替代”方案，更通过模拟从适应证评估、知情同意到并发症处理的完整临床决策路径，系统性地培养学生的临床思维、风险

管控与人文关怀能力，这是传统教学手段无法企及的。同时，也为学生提供一个无成本、无损耗的“创新沙盘”，极大地激发其科研创新潜能。

2 典型案例与实施成效

为全面验证本体系的实际效果，选取三个代表性案例进行深度剖析，并通过多维度数据对实施效果进行客观评估。

2.1 典型案例的深度剖析

2.1.1 案例一（技能与操作层）：液相色谱-质谱联用仪（LC-MS/MS）虚拟操作系统

本案例精准解决LC-MS/MS这类高端设备因购置与维护成本高昂所导致的学生实操机会匮乏、因操作复杂精密致使学生“不敢动手”以及深层原理教学难以展开的核心困境。项目采用“虚拟主导预习复盘，实体聚焦核心验证”的混合式教学模式，要求学生必须在虚拟平台完成从开机、校准到关机全流程的反复练习与系统评测，以此奠定坚实基础；随后在实体课上集中进行关键步骤验证与样品上机，实现虚拟训练向肌肉记忆的转化；课后则通过虚拟平台的“故障排查”模块深化对原理与异常结果关联的理解。不仅精准对应临床检验流程中“复杂化合物精准定量分析”这一关键环节，更着力培养学生对精密仪器的标准化操作能力及其背后工作原理与故障分析的深度理解能力，有效推动学生从被动执行的操作员向明辨原理的技术员转变。

2.1.2 案例二（综合与创新层）：单克隆抗体制备及鉴定虚拟仿真教学软件

本案例直面单克隆抗体制备实体实验因流程长达数月、成本高昂且成功率极低而无法在本科教学阶段开展的客观现实。项目被设计为一款“开放式研究项目”融入“临床免疫学检验技术”课程，学生以小组形式在虚拟环境中完整模拟执行从动物免疫、细胞融合、筛选克隆到抗体效价鉴定的全流程。在此过程中，学生需自主完成免疫方案设计、融合试剂选择与筛选策略制定，并应对实验中预设的各类复杂状况。这一设计模拟体外诊断试剂研发上游的“核心原料制备”完整链条，使学生由被动执行者转变为项目的主动设计与管理者，核心目标是培养学生综合性的实验设计能力与解决复杂问题的科研创新能力，是对“综合与创新”层教学目标的深刻践行。

2.1.3 案例三（综合与创新层）：羊膜腔穿刺术虚拟仿真实验

此案例针对羊膜腔穿刺术作为产前诊断关键技术，因其极高的医疗风险与伦理要求构成“临床操作禁区”，传统教学仅能依赖视频学习或临床观摩。项目作为“临床遗传学检验技术”课程中关于“技术风险与伦理”的核心情景模拟模块，引导学生在高度仿真的虚拟环境中，完整经历从接诊孕妇、评估适应证与禁忌证、进行术前知情同意谈话、在超声虚拟引导下精确定位穿刺，直至处理术后可能并发症的全过程。该系统将检验医师的职责范围从实验室显著延伸至“临床介入性诊断”的最前沿，不仅是高风险操作的唯一安全“替代”方案，更在临床决策能力、风险研判意识及医学人文关怀精神的培养上，实现对传统实体教学手段的彻底“超越”，有力助推学生从局限于实验室技术的思维，向具备临床参与意识的检验医师思维的跨越。

2.2 实施成效

为客观评估本体系的教学效果，本研究采用非同期对照组设计，以2022级学生（152人，实施传统教学模式）为对照组，以2023级学生（143人，实施本双主线虚实融合教学模式）为实验组。两届学生在入学成绩、前期专业基础课程平均分等指标上无显著差异（$P>0.05$），且核心课程均由同一教师团队按相同教学大纲与学时授课，以最大限度控制师资水平与生源质量等混杂因素。数据分析显示（表2），本体系在多项指标上均取得显著提升。在学习效率层面，实验组的课前预习完成率由对照组的55.3%提升至92.3%，经卡方检验，差异具有高度统计学意义（$\chi^2=51.43$，$P<0.01$）。同时，课堂有效技能训练时间平均增加约40%，使教师能够将更多课堂精力从基础操作讲解转向深度指导与思维启发。在操作技能层面，实验组学生表现获得实质性强化：大型仪器操作考核一次性通过率由71.7%提升至95.1%，经卡方检验，差异具有高度统计学意义（$\chi^2=28.66$，$P<0.01$）；操作考核平均分由78.5分提升至87.6分，经独立样本t检验，差异具有高度统计学意义（$P<0.01$）。上述结果表明，本体系在提升学生仪器操作规范性与熟练度方面具有显著优势。此外，近两年我院依托虚拟平台所设计的教学项目在“高等学校医药类虚拟仿真实验项目”中荣获国家级三等奖1项，在“省级虚拟仿真创新大赛”中荣获二等奖2项、三等奖1项。在教学反馈方面，匿名问卷调查显示，96%的学生认为虚拟平台对“理解抽象原理”具有重要帮助，94%的学生对“无风险反复试错”功能表示高度认可。在与学生访谈中，学生普遍反映“在虚拟平台上犯过的错，让我在真仪器前格外心中有数”，充分说明该体系对增强学习主动性、巩固学习信心方面有积极影响。

表2 教学效果对比与统计检验结果

评价指标	对照组（2022级，n=152）	实验组（2023级，n=143）	统计检验	P
课前预习完成率(%)	55.3	92.3	χ^2=51.43	<0.01
仪器操作一次性通过率(%)	71.7	95.1	χ^2=28.66	<0.01
仪器操作考核平均分(分)	78.5	87.6	—*	<0.01
课堂有效训练时间(分钟/课时)	25	35	—	—

注：*为经独立样本t检验，实验组操作考核平均分显著高于对照组，差异具有高度统计学意义（P<0.01）。

3 讨论

3.1 双主线的理论创新与教育价值

本体系核心价值在于它超越了虚拟仿真项目简单堆砌，为医学检验实验教学提供一套具有理论支撑和操作路径的系统化解决方案。体系将OBE“成果导向”理念与建构主义“情境建构”思想，通过“流程-能力”双主线进行有机整合与转化。“流程”主线以临床真实工作路径为依据，将碎片化实验项目串联为完整检验流程，使学生建立“样本—检测—报告—临床”整体认知框架；“能力”主线遵循认知发展规律，将培养目标逐层分解为“认知通识—技能操作—综合创新”三个递进层次。两条主线交织，既确保教学内容与临床岗位需求高度一致，又保障能力培养递进性与可量化性。这一设计突破传统实验教学改革中常见“技术驱动”或“内容修补”局限，具有较强通用性，可为其他医学技术类专业实验教学改革提供可借鉴的理论框架。

3.2 三原则：从工具替代到能力超越

“替代—补充—超越”三原则的核心价值，不是对三种虚实关系的简单归类，而在于揭示三者之间“层层递进、互为前提”的辩证逻辑。三者构成完整价值链条：“替代”解决教学内容“有无”问题，为后续教学提供可能性；“补充”解决学习过程“深浅”问题，通过虚实互动深化认知建构；“超越”解决能力培养“高低”问题，在高阶领域实现突破。这一链条体现虚实融合从“工具性价值”（解决资源限制）向“发展性价值”（促进能力跃升）的深刻转变。从教育理论视角审视，三原则与建构主义学习理论高度契合。“替代”创设安全、可重复学习情境，降低认知负荷；“补充”支持“做中学”与“反思性实践”，促进知识内化；“超越”指向“最近发展区”突破，引导学生在模拟真实情境中实现能力跨越。

3.3 虚实融合落地的三重挑战

实践过程中，我们面临一系列现实挑战。其一，教师角色转型压力。教师从知识单向传授者转变为虚实融合学习情境设计者与引导者，就要求教师同时掌握临床检验技术、虚拟仿真平台操作及混合式教学策略，这对教师综合能力提出更高要求。其二，课程深度融合障碍。虚拟项目并非独立于课程之外教学“点缀”，而需精准嵌入教学大纲，与实体实验无缝衔接。如何避免“线上虚拟”与“线下实体”形成“两张皮”，仍需以课程组为单位进行系统性教学日历重构与教案再设计。其三，技术迭代与维护成本。虚拟仿真软件需随临床检测设备与标准更新持续升级，这需要院校与技术支持方建立长效合作机制，并培养校内骨干教师参与内容维护。这些挑战表明，教学改革不仅是技术革新，更是理念重塑与系统重构的过程。

3.4 研究局限与深化方向

本研究存在若干局限性。研究设计上，采用非同期对照组设计而非随机对照试验，虽通过控制师资、教学大纲、学时分配等变量降低混杂偏倚，但仍无法完全排除历史因素（如两届学生所处学习环境变化、教学政策调整等）对结果潜在影响。样本来源上，本研究仅基于单一院校教学实践，样本代表性有限，结论外部效度有待进一步验证。评价指标上，当前主要依赖考试成绩、通过率等近期指标，对学生临床思维、创新能力等长期发展性指标追踪评估尚不充分。未来，本体系将从三个方向持续深化：一是推进形态学等领域数字化资源库建设，彻底革新传统教学模式；二是引入学习分析与人工智能技术，实现基于大数据的个性化学习路径推荐与智能化过程性评价；三是开展多中心联合研究，延长追踪周期，进一步检验本体系的通用性与长期效果。

4 结语

面对医学检验技术专业实验教学在资源、安全与效能层面的长期困境，本研究成功构建出一套以“临床检验流程”与“能力分层培养”为双主线的虚实融合实验教学体系。体系以“认知—技能—创新”三层次教学矩阵和“替代—补充—超越”为核心，不仅有效突破“做不到”“做不深”的瓶颈，更在培养学生临床决策与科研创新等高阶能力上实现“做得优”的跨越。教学实践与数据证明，显著提升学生的仪器操作熟练度、临床思维能力和科研创新素养，获得学生高度认可与积极反馈。体系所蕴含的“双主线”设计逻辑与

“三原则”融合方法，为解决理工医结合专业实验教学的共性问题提供可复制、可推广的系统化解决方案与普适性教学范式，对推动同类院校医学检验技术的教学改革与高层次复合型人才培养具有重要的借鉴与推广价值。

参考文献：

[1]熊文娟，张亚平，何鹏义，等.“产学研”深度融合在临床医学检验技术专业教学中的应用[J].医学教育研究与实践，2026，34(1)：47-53.

[2]陈鑫，朱向星，孙文博，等.医学检验技术专业“科研与创新”特色拓展方向拔尖人才培养的探索[J].中国高等医学教育，2025(6)：57-58.

[3]钟晓武，汤俊锋，罗语洁，等.产教融合背景下医学检验技术专业学生创新创业教育平台建设[J].医学教育研究与实践，2024，32(6)：692-695.

[4]雷燕，杨尚瑜，何仁栋，等.临床生化检验质量控制虚拟仿真系统在教学中的作用[J].检验医学与临床，2022，19(7)：992-995.

[5]张婧博，周一丹，石雨妍.虚拟仿真设备在分子生物学及检验技术教学中的应用与反思[J].创新创业理论研究与实践，2025，8(3)：18-21.

[6]程东庆，金燕，周芳美，等.虚拟仿真实验在“病毒学检验”教学中的应用[J].医学教育研究与实践，2024，32(6)：785-791.

[7]杨双双，杨宇君，李俊杰.虚拟仿真教学在医学检验专业实训中的实践与挑战[J].中国继续医学教育，2023，15(7)：10-13.

[8]顾敏，倪芳，夏文颖，等.基于CIPP评价的虚拟仿真新模式在临床微生物学检验教学中的应用探讨[J].现代医药卫生，2026，42(1)：234-238.

[9]杨梅，周洁，崔丽丽，等.基于OBE理念的高校本科人才培养体系建设研究：以贵州中医药大学医学检验技术专业为例[J].贵州医药，2025，49(9)：1368-1370.

[10]陈欣欣，陈莉，邓兆敏.基于建构主义与智慧平台的分层式心电诊断实践教学案例库建设与应用探索[J].中国现代医生，2025，63(33)：81-85.

[11]钟丽强，徐学虎，卢家玲，等.新医科背景下虚拟实验项目建设[J].医学教育研究与实践，2024，32(5)：567-572.

[12]王磊，苏成福，刘雅敏，等.新医科背景下高校中药学专业虚实融合实验教学体系研究[J].中医药管理杂志，2025，33(22)：6-10.

[13]熊薇，熊之勇，熊京，等.虚拟仿真实验平台在诊断学实践教学中的应用[J].医学教育研究与实践，2025，33(6)：911-917.

[14]白鹏，纪思萌，杨尚瑜，等.开放性实验与虚拟仿真实验融合在临床生物化学检验技术教学中的探索[J].科技视界，2022，12(26)：60-62.

[15]张雪梅，曹洪斌，陈丽平，等.羊膜腔穿刺术虚拟仿真实验教学探索与实践[J].现代医药卫生，2026，42(1)：238-240.

（编辑：赵伊昕）