

虚拟仿真技术：开启病理技术危险操作教学新模式

赵璐晴¹，刘英^{1, 2*}

1. 中南大学湘雅基础医学院病理学系 湖南 长沙 410083; 2. 湘雅医院病理科 湖南 长沙 410008

[摘要]病理技术被称为“病理之母”，在人工智能技术飞速发展的时代，病理技术教学也需要与时俱进。本文客观分析了国内外虚拟仿真技术在病理技术中的真实应用，详述了物理、化学和生物危险实操可能带来的风险，正确评估了传统教学与虚拟仿真教学的利弊，并正视了虚拟仿真技术所面临的挑战与问题。

[关键词]虚拟仿真；病理技术；危险操作

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1893-9325 (2026)-0069-31 **[收稿日期]** 2026-03-12

一、引言

(一) 研究背景与意义

1. 研究背景

病理学作为医学领域中至关重要的基础学科，在揭示疾病的发生发展规律、阐明疾病本质等方面发挥着关键作用。而病理技术中的危险操作，如活体组织取材、细胞涂片制作、特殊染色与免疫组化等，是获取准确病理诊断的重要环节，对医学生专业能力的培养具有不可替代的意义。传统的病理技术危险操作教学主要依赖于真实标本和实验室实操，但这种教学方式面临着诸多困境。

从操作风险角度来看，在活体组织取材过程中，由于真实人体组织的复杂性和脆弱性，学生一旦操作失误，不仅可能损坏珍贵的标本，还可能对后续诊断造成严重影响。例如，切割组织时的厚度不均匀或角度偏差，可能导致病理切片无法准确反映病变部位的真实情况，从而干扰病理医生的诊断判断。

在细胞涂片制作时，涂片的质量直接关系到细胞形态的完整性和清晰度。若学生操作不当，如涂片力度过大或过小，可能导致细胞破裂、重叠或分布不均，使得观察和分析细胞特征变得困难重重。特殊染色与免疫组化操作则对实验条件和试剂使用有着严格要求，稍有不慎就可能引发化学反应异常，不仅影响染色效果，还可能造成试剂浪费和环境污染。更为关键的是，在实际操作中，学生可能会接触到具有传染性的标本，如携带乙肝病毒、丙肝病毒或艾滋病病毒的组织样本，一旦防护措施不到位，就极有可能导致学生感染，对学生的身体健康构成严重威胁。

在教学资源方面，优质的病理标本资源极为稀缺。获取具有典型病变特征的新鲜组织标本需要耗费大量的时间、人力和物力，而且受到伦理、法律以及标本来源等多种因素的限制。例如，某些罕见疾病的标本收集难度极大，可能需要长期追踪特定患者群体，

这使得学生在学习过程中难以接触到多样化的病例，限制了他们对疾病的全面认识和理解。此外，显微镜等教学设备数量有限，在实际教学中，常常出现多名学生共用一台显微镜的情况，这不仅导致学生实际操作时间减少，还无法满足每个学生对标本进行细致观察和分析的需求。同时，传统教学还受到时间和空间的严格约束，实验室开放时间固定，学生只能在规定的时段内进行学习和操作，无法根据自身的学习进度和需求灵活安排学习时间。而且，由于实验室空间有限，无法容纳过多的学生同时进行实验操作，这也一定程度上影响了教学效果。

随着现代信息技术的飞速发展，结合教育部发布的《关于开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知》和《教育部关于一流本科课程建设的实施意见》^[1, 2]，以及2009年卫生部颁布的《病理科建设与管理指南（试行）》、《危险品化学品安全管理条例》和《使用有毒物品作业场所劳动保护条例》^[3]，虚拟仿真技术逐渐在病理技术教学领域展现出独特的优势和巨大的潜力。它借助计算机图形学、仿真建模和交互技术，构建出高度逼真的虚拟实验环境和实验对象，为病理技术危险操作教学提供了全新的解决方案。它不仅能够有效解决传统教学中存在的高风险和资源有限等问题，还能为学生创造更加丰富、灵活和安全的学习环境，因此，将虚拟仿真技术应用于病理技术危险操作教学具有迫切的现实需求和重要的实践意义。

2. 研究意义

虚拟仿真技术应用于病理技术危险操作教学具有多方面的重要意义。通过这个平台，学生可以在仿真的活体组织取材场景中尝试不同切割手法和角度，直至熟练掌握最佳操作方式。还可以从不同角度观察细胞涂片和病理切片的细微结构，增强对病理变化的理解，弥补了传统二维观察的局限。它的关键意义在于保障了学生安全，尤其在接触传染性标本时，创造了一个零风险的学习环境。另外还解除了病理标本稀缺且获取成本高昂的教学资源问题。

（二）国内外研究现状

在国外，虚拟仿真技术在医学教育领域的应用起步较早且发展迅速。美国许多知名医学院校，如哈佛大学医学院、约翰霍普金斯大学医学院等，早已将虚拟仿真技术广泛应用于病理教学中。他们利用先进的虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，开发出高度逼真的虚拟病理实验室，让学生可以在虚拟环境中进行各种病理操作，如虚拟解剖、病理切片制作与观察等。这些虚拟仿真系统不仅具有出色的视觉效果，还能提供真实的操作反馈，使学生仿佛置身于真实的实验场景中。例如，约翰霍普金斯大学医学院开发的虚拟病理教学系统，通过与临床病例相结合，让学生在虚拟环境中对真实患者的病理标本进行分析和诊断，有效提升了学生的临床实践能力和诊断水平。

欧洲的医学教育机构也在积极推进虚拟仿真技术的应用。英国的一些医学院校利用虚拟仿真技术开展远程病理教学，打破了地

域限制,使更多学生能够接受到高质量的病理教育。德国则注重虚拟仿真技术与医学教育的深度融合,通过开发智能化的虚拟病理教学软件,实现了对学生学习过程的实时评估和个性化指导,提高了教学的针对性和有效性。

在国内,随着对医学教育质量的重视和信息技术的快速发展,虚拟仿真技术在病理教学中的应用也日益受到关注。近年来,众多医学院校纷纷加大对虚拟仿真教学资源的建设投入,建立了虚拟仿真实验教学中心。例如,本人所在湘雅医学院病理教研室、湘雅医院病理科已经构建了病理虚拟仿真教学平台,主要涵盖了从基础病理到临床病理诊断的多个环节,学生可以通过该平台进行虚拟切片观察、病例分析和在线考核等。同时,国内还开展了一系列关于虚拟仿真技术在病理技术教学中应用效果的研究,结果表明,虚拟仿真教学能够显著提高学生的学习兴趣、操作技能和理论知识水平。

然而,目前国内外的研究仍存在一些不足之处。一方面,部分虚拟仿真系统的仿真度有待提高,在操作手感、标本质感等方面与真实情况存在一定差距,影响了学生的沉浸式体验和学习效果。另一方面,虚拟仿真技术与传统教学的融合模式还不够完善,如何将虚拟仿真教学有机地融入到现有的教学体系中,实现优势互补,仍需要进一步探索和研究。

二、病理技术危险操作概述

(一) 物理性危险操作

在病理技术工作中,物理性危险操作较为常见,其中锐器刺伤是不容忽视的风险之一。在组织取材和切片等操作过程中,取材医生需要频繁使用手术刀、切片刀等尖锐器械。这些器械在使用过程中一旦操作不当,如切割时用力过猛、注意力不集中或器械本身存在缺陷,就极有可能导致锐器刺伤。例如,取材医生在切割组织时,如果手术刀突然滑落,很容易刺伤手指;在切片过程中,切片刀的锋利边缘也可能划伤手部皮肤。锐器刺伤不仅会造成皮肤破损、出血,还可能导致病原体的侵入,引发感染,如乙肝、丙肝、艾滋病等血源性传染病,对医务人员的身体健康构成严重威胁。

噪音也是病理科工作环境中常见的物理性危害因素。病理科内存在多种大型仪器设备,如换气扇、空调、恒温箱、自动脱水机、烤片机、水箱、通风柜等,这些设备在运行过程中会产生持续的轰鸣声。长期暴露在这样的噪音环境中,会对医务人员的身体健康产生多方面的不良影响。从神经系统方面来看,噪音会使人感到急躁、易怒,难以集中注意力,还可能引发头疼等症状。同时,长期的噪音刺激会导致听力下降,影响医务人员的听觉功能,严重时甚至可能导致职业性耳聋。噪音还会干扰医务人员的睡眠质量,使他们在工作之余难以得到充分的休息,长期积累下来,容易造成身体疲倦、免疫力下降,增加患病的风险。

辐射同样是物理性危险操作中的重要风险因素。在病理技术中,某些检测方法可能

会涉及辐射，如放射性核素标记技术用于免疫组化或原位杂交等实验时，就会产生一定剂量的辐射。虽然这些辐射剂量通常在安全范围内，但如果长期接触或防护措施不到位，也会对人体造成潜在危害。辐射可能会损伤人体的细胞和组织，破坏 DNA 结构，导致基因突变，增加患癌症的风险。对生殖系统也可能产生影响，导致生殖细胞的损伤，影响生育能力。对于孕妇而言，辐射还可能对胎儿的发育造成不良影响，增加胎儿畸形的发生率。

（二）化学性危险操作

化学性危险操作在病理技术操作中广泛存在，甲醛和二甲苯等化学试剂的使用尤为典型。甲醛溶液是病理科常用的固定剂，用于组织样本的保存，能有效防止组织腐败和自溶，保持组织的形态结构和抗原性。然而，甲醛具有强烈的刺激性和致癌性。在使用甲醛进行标本固定时，其挥发的气体容易被技术人员吸入呼吸道，对呼吸道黏膜产生刺激，引发咳嗽、气喘、胸闷等症状。长期接触甲醛还会对神经系统、免疫系统和肝脏等造成毒害，可诱发细胞突变，增加患白血病、鼻咽癌等癌症的风险。甲醛对皮肤黏膜和眼睛也有强烈的刺激作用，接触后可能导致皮肤过敏、红肿、瘙痒，眼睛刺痛、流泪等不适症状。

二甲苯作为脱蜡剂，在病理切片过程中应用广泛。它能够有效地去除组织中的石蜡，使切片能够更好地进行染色和观察。但二甲苯具有挥发性强的特点，在使用过程中会挥

发到空气中，被人体吸入。二甲苯可经过呼吸道、皮肤黏膜及消化道进入人体，进入人体后分布到各个脏器，以脂肪组织和肾上腺中储存较多。长期接触二甲苯，医务人员常表现为头痛、头晕、恶心、四肢无力、食欲减退、血压降低等症状，还可能引发皮炎、湿疹、皮肤干燥等皮肤问题。二甲苯对神经系统的损害较为明显，长期接触可使精神功能紊乱，影响医务人员的认知能力和行为表现。二甲苯还会对肝功能造成损害，影响肝脏的正常代谢和解毒功能，导致免疫功能失调，使人体免疫功能下降，增加感染各种疾病的几率。

除了甲醛和二甲苯，病理科还会使用其他多种具有腐蚀性和挥发性的化学试剂，如 84 消毒液、冰醋酸、盐酸、氨水、酒精、硝酸等。这些试剂在使用过程中，如果操作不当，如未佩戴合适的防护装备、试剂泄漏等，会对工作人员的皮肤、黏膜、眼睛等造成直接的刺激和损伤。长期接触这些化学试剂，还会引发慢性鼻炎、慢性支气管炎等呼吸道疾病，以及皮肤损害和神经系统的病变，严重影响工作人员的身心健康。这些化学试剂如果排放不当，还会对环境造成污染，破坏生态平衡。

（三）生物性危险操作

生物性危险操作主要源于接触传染性标本和病原体扩散的风险。病理科医技人员每天都会接触到临床和手术室送来的各种病理标本，这些标本大多使用 10% 甲醛固定液进行固定，但仍具有潜在的感染因素。在对标

本进行细胞检查时，技术人员不仅会直接接触标本，暴露的皮肤黏膜、眼睛、口、鼻等也会受到标本中有害气体的刺激。如果标本来自患有传染病的患者，如乙肝、丙肝、艾滋病、结核等，一旦防护措施不到位，技术人员就极有可能被感染。例如，在进行标本取材时，如果不小心被带有病原体的组织碎片划伤皮肤，病原体就可能通过伤口进入人体，引发感染。

机械性损伤也是导致生物性感染的重要原因之一。在取材、切片等操作时，技术人员稍有不慎，就有可能被锐器刺伤。此时，污血或污染体液所携带的病原体就会通过伤口侵入人体，造成感染。如果在切片过程中，切片刀意外划伤手指，而标本中恰好含有病原体，那么技术人员就面临着被感染的风险。

在病理技术操作过程中，还可能产生气溶胶，增加病原体扩散的风险。例如，在组织切片、染色、免疫组化等高风险操作环节，由于操作过程中的振荡、搅拌等动作，可能会使病原体形成气溶胶悬浮在空气中。如果实验室通风系统不完善，这些气溶胶就会在实验室内扩散，被其他同室技术人员吸入，从而导致近距离交叉感染。生物性危险操作不仅威胁着病理科技人员的健康，还可能通过技术人员传播到其他人群，对公共卫生安全构成潜在威胁。

三、传统教学方法与虚拟仿真教学的利弊分析

传统的病理技术教学在实际应用中存在诸多局限，在一定程度上影响了教学效果和

学生的学习体验。例如，特殊染色与免疫组化操作时，学生只能通过老师的口头描述和简单图片展示来讲解操作步骤和技巧而无法感受一些细微变化和关键技巧。还有一些需要高精确度的操作，如显微镜下细胞涂片观察，学生很难从静态图中掌握如何调整焦距、如何准确地识别细胞形态等细节。另外对于珍贵、稀缺的优质病理标本，学生根本无法接触真实标本，更不可能实际操作练习了。

还有实验室的设备数量有限，多名学生需要共用一台设备，这使得学生实操时间大大减少，有限的实践机会导致学生面对实际工作的各种复杂情况时应对经验缺乏。最为关键的是，传统教学方法无法让学生身临其境感受化学试剂使用不当可能给身体带来的痛苦和伤害，以及接触传染性标本可能导致感染传染病。

据统计，在引入虚拟仿真教学系统后，学生在组织取材实验中的平均操作失误率从原来的 30%降低到了 10%以下。从考试成绩来看，学生在病理技术危险操作相关知识和技能的考核中，平均成绩比以往提高了 10 分以上，优秀率从原来的 20% 提升到了 35%。而在一次有关病理技术危险操作的理论考试中，虚拟仿真教学组的平均成绩为 85 分，传统教学组的平均成绩为 75 分。这说明学生在直观、生动的学习环境中，更加易于理解抽象的病理知识，实验原理和操作要点，从而在理论考试和作业中表现更加出色。在技能操作方面，学生操作的准确性、规范性和熟练程度都有显著提高。在组织切片考核中，

虚拟仿真组学生的切片厚度均匀、切片完整等指标明显优于传统教学组。学生通过在虚拟环境中反复练习，不断改进自己的操作技能，从而在实际操作中表现得更加熟练和准确。

安全意识方面，学生通过在模拟各种危险场景中反复练习，理解了病理技术危险操作中的安全风险，并掌握正确的防护措施和应急处理办法。因此，学生能够更加自觉地遵守安全操作规程，正确佩戴防护用具，规范处理化学试剂和废弃物等。

学习体验方面，大部分学生认为通过这种参与度较高的实践教学增加了学习的趣味性和互动性，提高了他们的学习积极性。有 80% 学生表示非常满意或满意，因为这让他们更加主动参与到学习中。但是也有部分学生反馈虚拟场景真实感有待提高、操作过程中存在卡顿现象等，这些问题在一定程度上影响了学生的学习真实体验感。

还有一些教学实验测试系统难度设置不够合理，对于基础较差的学生而言，难度过高，使其自信心受到打击；而对于基础较好的学生，难度又相对较低，无法充分激发他们学习的潜力。在教学活动中，我们先根据教师对学生的评价反馈对实验测试进行调整，动态推送个体化实验任务和教学资源，并与实际用户建立“教学—反馈—改进—更新”的反馈闭环来优化教学^[4]。另外我们还尝试结合 AI 技术开发病理技术教学评价专用数字化平台，并联合湖南省多所医学院校与医院建立标准化评价题库与技能考核模

型，还可以开发技能操作评分系统，这样有效减少主观评价偏差。这种整合知识、技能、过程、素养的联动多元评价体系需要将我们的教学体系进一步优化，对教学内容进一步可持续探索和改进，实现两种教学方式的优势互补^[5]。

四、面临挑战与应对策略

首先，虚拟仿真设备平台对计算能力和图形处理能力的要求极高。许多学校难以投入大量资金进行虚拟仿真技术设备的购买、维护和系统升级。如高性能的计算机处理器（CPU）、图形处理器（GPU）以及大容量的内存都需要更多高昂资金投入。重点院校可打造“仿真 + 实操 + 科研”一体化平台；基层院校可优先引入低成本的 AI 监测模块和共享远程实操平台，逐步推进模式升级。学生长时间佩戴 VR 设备可能导致头晕、恶心等不适症状，影响学习的持续性，也降低了学习的兴趣。而学生在低追踪精度的操作过程中，所接受的实验反馈不同步，降低了交流的真实性和流畅性。还有软件未及时更新升级导致与其他教学软件不兼容则会使模拟实验出现的结果与真实不符，甚至截然相反的情况。

其次，教师作为知识的传授者和课堂的主导者，不能过度依赖传统的教学思维，而把虚拟教学系统作为一个噱头。由于一些教师数字化教学管理能力掌握有限，无法熟练运用，最关键是无法有效解决学生在操作过程中遇到的技术问题，导致教学效果不佳。学校应当通过组织教师参加专业培训、学术

研讨会、教学实践活动等方式，帮助他们更新教学理念，掌握新的教学方法和技术，建立教师激励机制，努力提升病理学实验教学教师的双师素质，以鼓励的姿态促使他们开展虚拟教学实践和研究^[6]。

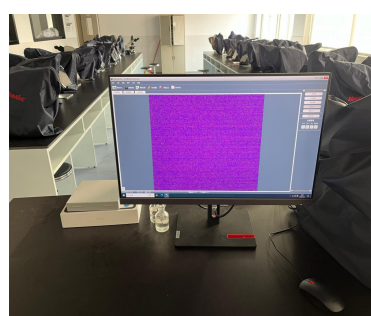
五、结论与展望

本研究的创新点在于提出了“虚实结合、分层递进”的教学模式，并将虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、人工智能（AI）等多种先进技术深度融合于虚拟仿真教学系统中，以期实现从“熟练操作者”向“技术管控者”转变，成为“精操作，能分析，善协作”的高素质实践技能人才，打造高等教育教学新形态^[4]。高等医学院校是培养医学人才的汇集地，病理学尤其是病理学技术又是一门实践性很强的学科，将这种创新的教学模式和技术融合，让学生带着问题去动手操作，在操作中获得分析问题、解决问题的

能力，为将来临床科研能力培养和科研精神夯实基础，全面提升医学生的综合能力素质^[6, 7]，这种病理技术危险教学模式的全新体验，提高了教学的针对性和有效性。通过虚拟仿真教学与传统教学的有机结合，实现了优势互补，满足了不同层次学生的学习需求，促进了学生的全面发展^[8, 9]。

基金项目：2025 年度湖南省学位与研究生教学改革研究项目【基于“AI+案例引导”的病理学研究生伦理意识与社会责任思政教育模型构建与实践研究】（2025JGYB073）。

作者简介：赵璐晴（1986-）女，湖南湘潭人，博士，中南大学湘雅基础医学院病理学系副教授，主要从事病理学与病理生理学研究；刘英（1982-）女，湖南长沙人，博士（通讯作者），中南大学湘雅基础医学院病理学系，中南大学湘雅医院病理科，实验师，主要从事病理学与病理生理学研究。



参考文献：

- [1]吴文哲,季.,陈坤,虚拟仿真实验教学项目建设的挑战与对策.中国大学教学, 2023. 10: p. 69-74.
- [2]教育部,教育部关于一流本科课程建设的实施意见, in 中华人民共和国国务院公报. 2020. p. 57-62.
- [3]沙春燕,病理实验室生物安全及其防范措施.信息

记录材料, 2017. 18: p. 68-70.

- [4]张雪,潘.,赵京丹,等.,虚拟仿真实验教学平台建设与管理的探索——以温州医科大学为例.温州医科大学学报, 2025. 55: p. 935-941.
- [5]夏正新,吴.,徐皓.,医学虚拟仿真实验教学平台的建设.南京医科大学学报(社会科学版), 2023. 23: p. 490-494.

[6]曹婷,郭.,武超,等.,“教、医、研”一体化病理学实验教学模式探索.中国继续医学教育,2025.17:p.125-128.
[7]何珊,方.,刘慧明,等.,虚拟仿真实验教学项目建设措施探索.科教导刊,2021.3:p.65-67.

[8]翟小润,聂.,车慧连,等.,数字切片库在病理学实验课中的应用.基础医学教育,2023.25:p.712-714.
[9]薛晶,陈.,张建伟,等.,应用数字切片库的角色互换法在病理学实验教学中的应用.承德医学院学报,2022.39:p.75-77.

Virtual Simulation Technology: A New Model for Teaching Hazardous Operations in Pathology Technology

Zhao Luqing¹, Liu Ying^{1,2*}

1. Department of Pathology, Xiangya School of Basic Medical Sciences, Central South University, Changsha, Hunan 410083; 2.Department of Pathology, Xiangya Hospital, Changsha, Hunan 410008

Abstract: Pathological technology is known as the "mother of pathology". In an era of rapid development of artificial intelligence, the teaching of pathological technology also needs to keep pace with the times. This paper objectively analyzes the real applications of virtual simulation technology in pathological technology at home and abroad, elaborates on the potential risks posed by practical operations involving physical, chemical and biological hazards, fairly evaluates the advantages and disadvantages of traditional teaching and virtual simulation teaching, and squarely addresses the challenges and problems faced by virtual simulation technology.

Key words: Virtual Simulation Technology, Pathology Technology, Hazardous Operations