



高校教改纵横

## 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程教学方案设计和实践

王艳凤 赵国星 刘畅 刘艳华 刘寅\*

南开大学医学院 天津 300071

**摘要:**近年来,虚拟仿真技术在实验教学中获得了广泛的应用,取得了令人瞩目的成绩。由于学科特点,“医学微生物学”实验课程特别适合通过虚拟仿真技术丰富实验教学内容,从某种意义上说虚拟仿真技术重新构建了“医学微生物学”实验课程的教学体系。本文以“医学微生物学”实验课程教学局限性为着眼点,重点阐述基于虚拟仿真技术在加强生物安全教育、重构教学内容、创新教学手段等方面的有益实践和探索。相较于传统实验教学,该教学方案极大地丰富了教学内容,能够更好地培养学生的综合实验能力和职业责任感,切实提高实验教学质量,有望为虚拟仿真实验建设及基础医学实验教学改革提供借鉴参考。

**关键词:** 医学微生物学, 虚拟仿真技术, 实验教学

## Design and practice of Medical Microbiology experimental teaching program assisted by virtual simulation technology

WANG Yanfeng ZHAO Guoxing LIU Chang LIU Yanhua LIU Yin\*

School of Medicine, Nankai University, Tianjin 300071, China

**Abstract:** In recent years, virtual simulation technology has been widely used in experimental teaching and has made remarkable achievements. Due to the characteristics of Medical Microbiology experimental courses, it is particularly suitable for virtual simulation technology application. In a sense, virtual simulation technology reconstructs the experimental teaching system of Medical Microbiology. This study focused on the limitation of the current experimental courses of Medical Microbiology, emphasized the application of virtual simulation technology on the useful practice and exploration of strengthening biosafety education, reconstructing teaching contents and innovating teaching methods. Compared with the traditional methods, this program has greatly enriched the interior of teaching. It could promote comprehensive experimental ability and establish a sense of professional responsibility for patients, which improved the teaching quality significantly. Consequently, it will be good for the construction of virtual simulation experiment and the reform of other basic medical experimental teaching by providing this useful experience.

**Keywords:** Medical Microbiology, virtual simulation technology, experimental teaching

**Foundation item:** Tianjin Science and Technology Plan (18ZXRHSY00150)

\***Corresponding author:** Tel: 86-22-23509579; E-mail: liuyin@nankai.edu.cn

**Received:** 25-04-2020; **Accepted:** 16-07-2020; **Published online:** 22-09-2020

基金项目: 天津市科技计划(18ZXRHSY00150)

\*通信作者: Tel: 022-23509579; E-mail: liuyin@nankai.edu.cn

收稿日期: 2020-04-25; 接受日期: 2020-07-16; 网络首发日期: 2020-09-22

医学微生物学是微生物学的一个重要分支,其主要研究对象为病原微生物,研究内容涵盖病原微生物的形态结构、代谢活动、遗传变异、致病机理、实验室诊断以及特异性预防等。医学微生物学实验作为该学科的实践类课程,其操作对象主要为病原微生物。根据卫生部《人间传染的病原微生物名录》<sup>[1]</sup>,“医学微生物学”实验课程的大多数研究对象属于第三类危害程度的病原体。按照规定,除非是无感染性材料,大多数涉及病原微生物的操作只能在BSL-2级别或以上的实验室开展。这使得“医学微生物学”实验课程教学内容的合规开展只能通过以非病原微生物替代、视频演示等方式进行,很难实现通过实验操作让医学生印证病原微生物的理论知识、建立生物安全概念及训练实验技能的课程教学目标。随着信息技术的飞速发展,虚拟仿真技术在实验教学中获得了广泛应用,也为实现“医学微生物学”实验课程教学目标提供了新的教学途径。

我们结合教研组多年讲授医学微生物学实验教学的经验,在虚拟仿真技术的助力下对“医学微生物学”实验课程教学方案进行了重新设计。实践证明,相较于传统教学方案,新方案在丰富实验教学内容、培养学生生物安全意识、突破时空限制、提高教学效果等方面具有显著的优势,可为其他微生物学实验教学的教学改革提供借鉴参考。

## 1 “医学微生物学”实验课程的总体教学安排

虚拟仿真技术应用于“医学微生物学”实验课程的首要原则是通过丰富实验内容,更好地实现教学目标。因此,我们在明确教学目标的前提下,补充了虚拟仿真实验,形成了虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程的总体教学安排。

### 1.1 “医学微生物学”实验课程的教学目标与内容

“医学微生物学”实验课程的核心教学目标是通过实验操作让学生印证病原微生物的理论知识、熟悉病原微生物的相关实验操作。课程的主要教学内容,根据病原体分类可以分为细菌学实验、病毒学

实验等部分;根据知识体系可进一步细分为形态学实验、分离培养实验、遗传变异实验、致病机理(毒力)实验、实验室诊断实验等;而根据实验形式和性质还可以分为验证性实验、综合性实验和开放性实验等。优秀的教学方案不但应基本涵盖上述教学内容,而且能够合理运用多种实验教学形式,设计出若干重点突出、循序渐进、相互联系的实验教学项目,圆满地实现教学目标。

### 1.2 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程的总体教学安排

虚拟仿真技术的应用为“医学微生物学”实验课程的教学目标提供了新的实现方式,我们为此重新进行了教学内容规划,增加了10个虚拟仿真实验,以丰富实验形式、填补教学空白(表1)。具体的教学安排如下:

实验1,实验室生物安全及消毒和灭菌,在进行生物安全培训、细菌培养基配制和灭菌实体实验之后,增设生物安全二级实验室的结构和使用虚拟仿真实验,为学生提供生物安全二级实验室全流程操作的直观体验。

实验2,微生物形态及染色,在完成传统革兰氏染色和使用显微镜观察固定装片后,增设结核分枝杆菌抗酸染色虚拟仿真实验,学习病原菌形态学检测方法。

实验3,细菌的生理特征及理化因子对细菌的影响实验,增设重要病原菌培养检测虚拟仿真实验,学习病原菌分离培养检测方法。

实验4,细菌平板计数中是通过实体实验定量地得到某一样本中细菌的数量。

实验5,病原菌毒力因子检测实验为新设实验项目,包括:肺炎链球菌荚膜的毒力测试、溶血性链球菌透明质酸酶的毒力测试、破伤风痉挛毒素的毒性作用等3个虚拟仿真实验和实际操作的鲎试剂检测内毒素实验,完整地覆盖了细菌毒力的主要知识点。

实验6,病毒的分离培养实验为新设实验项目,包括:禽流感病毒鸡胚分离培养、流感病毒

表 1 “医学微生物学”实验课程主要实验内容

Table 1 The main contents of Medical Microbiology experimental courses

实验项目 Experiment	传统实验内容 Traditional experimental content	学时 Class hour	增设的虚拟仿真实验内容 Additional virtual simulation experiment
1. 实验室生物安全及消毒和灭菌 1. Laboratory biosafety and sterilization	生物安全培训、细菌培养基配制和灭菌 Biosafety training, preparation and sterilization of bacterial medium	3 学时 3 h	生物安全二级实验室的结构和使用虚拟仿真实验 The structure and application of biosafety laboratory level-2 virtual simulation experiment
2. 微生物形态及染色 2. Morphology and staining of microorganism	光学显微镜使用, 革兰染色 Usages of optical microscope, gram staining	3 学时 3 h	结核分枝杆菌抗酸染色虚拟仿真实验 <i>Mycobacterium tuberculosis</i> acid-fast staining virtual simulation experiment
3. 细菌的生理特征及理化因子对细菌的影响 3. Effects of physiological characteristics and physicochemical factors on bacteria	细菌的分离培养与接种, 紫外灯、医学消毒剂和抗生素对细菌影响 Isolation, culture and inoculation of bacteria; effects of medical disinfectants and antibiotics on bacteria	3 学时 3 h	重要病原菌培养检测虚拟仿真实验 Important pathogen culture detection virtual simulation experiment
4. 细菌平板计数 4. Bacterial plate count	细菌的定量分析方法 Quantitative analysis of bacteria	2 学时 2 h	
5. 病原菌毒力因子检测实验 5. Virulence factor detection of pathogenic bacteria	细菌的侵袭力及毒素检测 Detection of bacterial invasiveness and toxin	3 学时 3 h	肺炎链球菌荚膜的毒力测试虚拟仿真实验; 溶血性链球菌透明质酸酶的毒力测试虚拟仿真实验; 破伤风痉挛毒素的毒性作用虚拟仿真实验 Toxicity test of <i>Streptococcus pneumoniae</i> capsule virtual simulation experiment; Toxicity test of <i>Streptococcus hemolyticus</i> hyaluronidase virtual simulation experiment; Toxic effects of tetanus spasmodic toxin virtual simulation experiment
6. 病毒的分离培养 6. Isolation and culture of virus	病毒鸡胚接种, 病毒细胞培养, 病毒毒力检测 Virus chicken embryos culture, virus cell culture, detection of virus virulence	3 学时 3 h	禽流感病毒鸡胚分离培养虚拟仿真实验; 流感病毒 MDCK 细胞分离培养虚拟仿真实验; 病毒的毒力检测虚拟仿真实验 Isolation and culture of avian influenza virus chicken embryos virtual simulation experiment; Isolation and culture of influenza virus MDCK cell culture virtual simulation experiment; Detection of virus virulence virtual simulation experiment
7. 生物信息学在医学微生物研究中的应用 7. Application of bioinformatics in medical microbiology research	病毒基因组生物信息学分析, 细菌重要基因的生物信息学分析 Bioinformatics analysis of viral genomes, bioinformatics analysis of important bacterial genes	2 学时 2 h	
8. 开放性实验 8. Open experiment	对医学微生物学前沿问题进行探究式学习 Inquiry learning of frontier issues in medical microbiology	4 学时 4 h	
9. 医学微生物学综合应用实验 9. Comprehensive applied experiment of medical microbiology	综合训练生物安全操作, 检测相关知识掌握程度 Comprehensive training in biosafety operations, test relevant knowledge mastery	4 学时 4 h	临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验 Detection of clinical samples pathogenic microorganism virtual simulation experiment

MDCK 细胞分离培养、病毒的毒力检测虚拟仿真实验。替代了原有的视频示教的教学模式,再加上可以进行实际操作的“重要病毒包涵体固定装片观察实验”,基本覆盖了病毒分离培养及病毒毒力检测等主要知识点。

实验 7,生物信息学在医学微生物学研究的应用中,我们选择了细菌耐药性突变、病原体基因检测等与医学关系密切、以病原微生物为对象的实验进行讲授。学生主要利用生物信息学软件、运用网络资源学习微生物基因组学的相关内容。

实验 8,开放性实验中,我们摆脱实验教材的限制,由学生提出假设,草拟实验目的和实验步骤,和教师商讨确定实验整体方案后自主实施实体实验。

实验 9,医学微生物学综合应用实验,为新设实验项目,内容为临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验。综合训练医学微生物学操作技能。

## 2 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程教学方案改革的意义

运用虚拟仿真技术对“医学微生物学”实验课程教学方案进行改革,其意义不仅体现在丰富教学内容、提高教学质量上,还具有更深层次的意义,主要体现在 3 个方面。

### 2.1 承载生物安全教育

在当前严峻的生物安全形势下,我国出台了一系列病原微生物实验室生物安全相关政策,以此指导和规范生物医学相关领域的行业行为<sup>[2]</sup>。生物安全对于病原微生物研究、生物防护、传染病预防控制、动物防疫、出入境检验检疫以及医院感染控制等关系国计民生的重大问题都至关重要。在“新冠”肺炎疫情发生的特殊背景下召开的中央全面深化改革委员会会议上,习近平总书记指出,要把生物安全纳入国家安全体系,系统规划国家生物安全风险防控和治理体系建设,全面提高国家生物安全治理能力。可见生物安全已从关系民众健康拓展为与国家安全和人类发展息息相关,这为医学教育提出了新任务。

虽然生物安全的各项要求限制了医学微生物学实验的开展,但是生物安全教育却和该课程密切相关。医学教育体系中,医学微生物学是涉及到生物安全知识和相关实践教学内容最丰富的学科之一,主要体现在开展的实验内容多与人类感染性疾病密切相关。新的教学方案从多个层面强化了相关知识学习和操作训练,成为承载生物安全教育的重要实验课程载体。

### 2.2 提高教学资源质量,促进教学资源共享

虚拟仿真实验教学是依托虚拟实验人机交互多媒体等技术,构建高度仿真的虚拟实验环境和实验对象,使学生可以在安全无污染的条件下开展实验<sup>[3]</sup>。近年来,虚拟仿真技术在医学实验教学中得到了普遍应用<sup>[4-7]</sup>。特别是由于虚拟仿真实验能够有效地克服生物安全要求的限制,因此,医学微生物学的虚拟仿真实验也成为了虚拟仿真实验开发的重要方向<sup>[8-9]</sup>。在新的教学方案中,我们设计了 10 个虚拟仿真实验填补了教学空白。因其具有较强的针对性,“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”被认定为国家虚拟仿真实验项目,同时所有虚拟仿真实验均配备网络版可以提供在线学习,有效地提高了教学资源的质量,促进了教学资源共享。

### 2.3 明确教学内容,避免重复建设

医学微生物学是虚拟仿真实验的建设热点,截至目前教育部主导的实验空间网站([www.ilab-x.com](http://www.ilab-x.com))上运行的国家虚拟仿真实验项目和申请项目中,与医学微生物学相关的共有 13 项,超过了基础医学总实验数量的 10%。这虽然表明了虚拟仿真实验对提升“医学微生物学”实验课程教学的重要意义,但认真分析这些实验的内容之后发现存在如下问题:(1) 现有实验项目多以综合性实验为主,在教学实践中只能安排在课程后期完成,给实际教学工作带来了不便;(2) 现有实验项目在强化生物安全教育的同时,缺乏系统、循序渐进的教学过程;(3) 由于虚拟仿真实验的开展大多以单独实验项目设计的形式进行,所以很多环节被现有的

实验项目反复强化,而部分知识点存在空白。本实验教学方案对课程教学内容进行了系统的梳理,按照“能实不虚,虚实结合”的方式明确了医学微生物学虚拟仿真实验的教学内容,能够有效地避免资源重复建设,利用有限资源提高项目质量。

### 3 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程教学方案的设计及开发

本教学方案的设计基本原则是在虚拟仿真技术的助力下以生物安全教育为前提,同时在“广度”和“深度”两个方面对实验教学内容进行深层次整合和优化。所谓“广度”,即通过虚拟仿真实验填补原有“医学微生物学”实验课程教学中的空白,使实验内容更加丰富,技能训练体系更加完整;所谓“深度”,即将虚拟仿真技术全面融入经典验证性实验及综合探究性实验等不同层次实验内容,并增加综合性实验内容比重,使实验课程整体结构更加合理。学生逐步进行从“基础规范”到“应用开放设计”再到“综合创新”难度递增的实验项目训练。具体设计思路如下。

#### 3.1 突出生物安全教育

生物安全教育的意义不仅在于生物安全知识的传授和生物安全意识的培养,更在于提高医学生的岗位胜任能力和职业责任感。“医学微生物学”实验课程教学直接承担培养医学生建立生物安全概念及训练技能的任务,能在源头上提升今后医务工作者的生物安全防范能力,在新形势的人才培养中具有不可替代的作用。因此本教学方案以生物安全教育为前提进行设计。

##### 3.1.1 优先实施,强化意识

实验 1 整合为“实验室生物安全及消毒和灭菌”,本实验的教学目标是培养学生在实验室养成良好的生物安全操作习惯,建立起足够的安全意识,掌握消毒和灭菌的一般方法。值得强调的是,鉴于生物安全实验的特殊性,我们通过建立生物安全二级虚拟仿真实验室,展示必备设备使用、个人防护、实验操作流程等环节,结合虚拟现实(Virtual

Reality, VR)版带来沉浸式体验,让每位学生能够“走进”生物安全二级实验室,扮演实验人员角色“使用”相关设备。强烈的直观体验让学生优先树立生物安全意识,强化生物安全防护技能,为将来进入高级别生物安全实验室做好心理准备和技能储备。

##### 3.1.2 循序渐进,逐级推进

生物安全知识内容较多,学生不可能通过一次训练就完全掌握;而生物安全意识的养成,更需要不断强化。因此,我们采用循序渐进、逐级推进的模式完成生物安全教育。在实验 2 “微生物形态及染色”中,以“结核分枝杆菌抗酸染色虚拟仿真实验”为载体,增加生物安全二级实验室实验人员和物品进出流程的教学内容。在实验 3 “细菌的生理特征及理化因子对细菌的影响”中,以“重要病原菌培养检测虚拟仿真实验”为载体,强化生物安全柜、紫外灯、医学消毒剂的使用知识。在实验 6 “病原菌毒力因子检测实验”中,以“破伤风痉挛毒素的毒性作用虚拟仿真实验”等为载体,增加涉及动物实验的生物安全二级实验室(ABSL-2)的使用知识。在实验 7 “病毒的分离培养”中,以“禽流感病毒鸡胚分离培养虚拟仿真实验”等为载体,增加生物安全三级实验室(BSL-3)的结构和使用的知识。

##### 3.1.3 广泛应用,综合检验

生物安全意识的培养需要在实践应用中不断加以强化。为此,我们在实验 8 “开放性实验”中,安排了生物安全评价的内容。具体实施的方式体现在 3 个环节:(1) 在实验设计环节,学生需要依据实验设计中涉及到的生物安全风险进行评估;(2) 在实验方案审核环节,教师和学生组织模拟生物安全委员会,评估各实验的生物安全风险;(3) 在实验进行过程中,设置专门的生物安全监督员,根据生物安全要求监督实验过程。让学生在实践获得“生物安全意识提高”的真实体验。另外,我们在实验 9 设置必做综合应用实验“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”,实验场景为生物安全三级实验室,能够综合训练学生的生物安全操作,检测相关知识的掌握程度。同时利用“实验空间”开放资源

平台中“BSL-2 实验室中流感病毒分离鉴定虚拟仿真实验”等 5 项实验作为选作实验,进一步强化生物安全理念。

### 3.2 丰富教学内容, 填补教学空白

本教学方案中实验内容的确定是依据以下 3 个假设完成的, 即: (1) 学生的临床工作需要哪些医学微生物学实践知识? 根据这种需求应该开展哪些实验? (2) 如果我们拥有所有实验需要的生物安全条件, 我们将开展哪些实验? (3) 如果我们有充分的教学时间我们将开展哪些实验? 通过这 3 个假设我们先确定医学微生物学实验教学的“应有”内容, 而后对照原有实验体系, 在“应有”中标记“原有”, 而后根据“没有”的内容设计虚拟仿真实验, 最终实现“应有尽有”。

#### 3.2.1 细菌学实验内容

传统的“医学微生物学”实验课程教学中, 细菌学实验占到极大的比例, 但主要集中于细菌形态和细菌生理两个部分, 而细菌的致病性基本处于空白。为此, 我们从 3 个方面添加了病原菌的实验: (1) 在现有实验环节中补充相关病原菌实验。如, 在细菌形态染色环节, 我们补充了“结核分枝杆菌抗酸染色虚拟仿真实验”, 学生在完成常规革兰氏染色后进一步了解抗酸染色的原理和实验操作, 弥补知识结构上的短板。(2) 集中增加细菌致病性实验环节。在细菌生理特性实验后增加了细菌毒力相关的虚拟仿真实验, 加上可以进行实际操作的“鲎试剂检测内毒素实验”, 完整地覆盖了细菌毒力的主要知识点。(3) 在综合性实验环节中增加细菌学虚拟仿真实验内容。在综合应用实验“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”中增加了结核分枝杆菌、霍乱弧菌等相关病原体的形态检测方法、分离培养检测方法, 综合训练微生物操作技能的同时, 让学生早接触临床, 培养临床思维。

#### 3.2.2 病毒学实验内容

病毒学实验在传统的“医学微生物学”实验课程教学中基本处于空白状态, 多采用示教实验或者录像的形式完成。为此, 我们在以下两个方面补充了

虚拟仿真实验: (1) 集中增加病毒学实验内容, 增加“禽流感病毒鸡胚分离培养虚拟仿真实验”和“流感病毒 MDCK 细胞分离培养虚拟仿真实验”及“病毒的毒力检测虚拟仿真实验”, 加上可以进行实际操作的“重要病毒包涵体固定装片观察实验”, 基本覆盖了病毒学的主要知识点。(2) 在综合应用实验“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”中增加了病毒核酸检测、病毒免疫检测虚拟仿真实验内容, 培养学生的综合实验能力及探究能力。为后继医学免疫学、实验室诊断学、传染病学、医学统计学等学科进行知识和技能的储备。

### 3.3 优化实验流程, 完成虚拟仿真实验的开发

在确定好需要补充的 10 个实验内容后, 我们进行了虚拟仿真实验项目软件的开发, 并将其部署于教学网络平台上, 便于课堂教学和学生自学使用。针对不同的实验我们开发了不同的版本, 并提出了不同的教学要求。

#### 3.3.1 基础虚拟仿真实验内容的开发

基础实验包括结核分枝杆菌抗酸染色和重要病原菌培养检测虚拟仿真实验。这类实验首先框定纵向的实验步骤和横向的多个实验结果。以重要病原菌培养检测虚拟仿真实验为例, 纵向的实验步骤主要包括样品采集、培养基选择和配置、划线分离、疑似菌落选取和纯培养、纯培养物的鉴定等, 每一个实验步骤又包含了多个实验操作。横向的实验结果则根据学生在实验步骤中的选择情况进行预先设计, 如学生选择疑似菌落时, 选择正确和错误分别得到不同的实验结果。我们充分考虑实验的完整性确定实验步骤, 考虑实验结果的可能性确定多个实验结果, 形成实验流程图并撰写为脚本, 在此基础上应用 3D 技术开发实验项目的网络版, 学生可以通过网络在个人电脑上登录系统运行该实验项目软件。

同时, 每一个实验项目均开发了学习版和考核版。两者的区别在于, 学习版在操作过程中含有操作提示和说明, 辅助学生学习; 而考核版则没有上述内容, 对学生的每一次操作进行记录, 在实验结

束后导入题库对实验相关知识进行考核,依据操作记录和试题考核给出成绩。

### 3.3.2 重要虚拟仿真实验内容的开发

为了强化生物安全教育和重要医学微生物学实验技能的训练,我们将生物安全二级实验室的结构和使用、肺炎链球菌荚膜的毒力测试、溶血性链球菌透明质酸酶的毒力测试、破伤风痉挛毒素的毒性作用(细菌毒力及 ABSL-2 实验室使用)和禽流感病毒鸡胚分离培养、流感病毒 MDCK 细胞分离培养、病毒的毒力检测(病毒实验及 BSL-3 实验室使用)等几个实验作为重点实验进行开发。除按照基础实验开发的流程设计脚本开发基于个人电脑的学习版和考核版之外,还进行了 VR 版开发。学生除了进行类似于基础实验的学习和考核外,还可以在虚拟仿真实验室使用专用的 VR 设备进行沉浸式体验,进一步加深对实验的理解。

### 3.3.3 综合虚拟仿真实验内容的开发

“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”是整个教学方案中的综合性实验,该实验采取了模块化设计的思路,具有一定的开放性。该实验的环境采用生物安全二级实验室的结构和使用虚拟仿真实验的环境,将多个基础实验模块(抗酸染色、分离培养鉴定)和补充的实验内容(病毒核酸检测、病毒免疫检测)整合成为综合实验。由于模块化设计的特点,该实验保持了开放性,可以根据情况随时补充实验内容。学生完成该实验需要在电脑上进行数百次操作互动,回答 15 次问题,综合训练医学微生物学操作技能。

## 4 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程教学方案的实施

该教学方案并不是将实际操作的传统实验和虚拟仿真实验进行简单的组合。在最初的教学实践中,我们发现了以下问题:(1) 虚拟仿真实验在完善教学内容的同时,也增加了实验量,客观上需要更多的时间完成实验教学;(2) 虚拟实验是通过软件模拟实现的,即使是在仿真度较高的 VR 版实验

中也不能完全替代实际动手操作;(3) 常规的课堂教学模式也不能充分发挥虚拟仿真实验可以进行网络化的优势;(4) 新的教学方案也需要预置相应的考核方案。近年来随着教学理念的更新,多项教学改革措施应用于教学实践。例如,以问题为导向教学(Problem-Based Learning, PBL)、以案例为导向教学(Case-Based Learning, CBL)、基于“翻转课堂”的慕课微课教学方法、开放创新性实验教学等<sup>[10-13]</sup>。鉴于此,我们将上述教学改革措施与虚拟仿真实验相结合形成合力,实现了较好的教学效果。

### 4.1 与微课融合实现远程教学,节约课堂时间

我们为虚拟仿真实验制作了丰富的微课视频,结合虚拟仿真实验形成完整的教学内容。每一个虚拟仿真实验根据实验内容至少配备 3 组教学视频:(1) 软件操作指南视频,使学生熟练掌握软件内容和实验操作,该视频在虚拟仿真实验课前使用;(2) 典型案例示范视频,引导学生正确运用知识解决实际问题,该视频在虚拟仿真实验课中提供给学生使用;(3) 综合评价分析视频,加深学生对知识技能的认识,该视频作为课程总结,在实验结束后提供给学生使用。通过上述教学视频的使用可以最大程度地节约课堂教学时间,将学生主要精力放到实验操作和师生互动上来,获得更多的实践和交流的机会。在解决实验课时紧张的同时提升教学质量。

### 4.2 用“以实补虚”的方式支撑虚拟仿真实验的开展

虚拟仿真实验的开展不能完全替代实际操作对学生动手能力的培养。为此,我们在丰富虚拟仿真实验项目内容的同时,在以下几个方面补充实际操作,做到“以实补虚”:(1) 利用设备操作“以实补虚”。虚拟仿真实验涉及多种大型设备操作,例如,二级、三级生物安全柜。我们在进行虚拟仿真实验的同时,让学生分批次学习和操作生物安全柜,熟练掌握设备的使用。(2) 以仿真样品替代感染性样品进行实际操作。例如,以液体培养基替代感染性

菌液和病毒样品,让学生根据在虚拟仿真实验过程中学到的内容,使用仿真样品模拟操作,强化生物安全意识的同时训练动手能力。(3)在有条件的前提下,在开放性实验中使用科研实验室完成涉及生物安全实验操作。在教学实践中,我们通过教师评估,上报学院生物安全管理部门。通过评估后,学生经过考核进入具有生物安全资质的实验室完成相关实验,补充虚拟仿真实验的不足。

### 4.3 虚拟仿真实验与 PBL 教学法融合

教学中运用 PBL 教学法改变传统以“以课堂讲授为主,以教师为中心”的教学方法,在教师指导下,开展紧紧围绕“以问题为基础,以学生为中心”的教学方法<sup>[14]</sup>。但是单独运用 PBL 教学法也存在着一定的不足,这主要体现在占用教师和学生时间过多,过程性评价很难落实,学生学到的知识很难系统化等问题<sup>[15]</sup>。然而虚拟仿真实验可将 PBL 教案场景化、具体化,为 PBL 教学方式拓展应用领域。如《临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验》就是以 PBL 教学案例改编而成。引导问题涵盖整个实验过程,包括预习阶段、实践阶段、评析阶段。首先,在课前预习阶段,启发学生从特异性、灵敏度、检验速度、检验成本几个方面评价各种检验方法。其次,在课上互动案例环节,学生会首先看到病例情况:患者主诉咳嗽、痰中带血、持续低烧,抗酸染色结果阴性,此后学生会面临一系列围绕检测方法的问题。最后,在评析阶段软件也会从患者的角度提出问题:对于患者你采用几次检测得出什么结论?病人支付诊断费用是多少?病人经过多久得到确诊结果?引导学生从患者角度思考,树立学生对患者负责的职业责任感,落实思政教育环节,真正实现实验教学中以学生参与互动为主、教师指导为辅的教学模式,引导学生运用基础知识解决在虚拟仿真实景中遇到的具体问题,培养学生综合实验能力及职业责任感,实现以能力为导向的创新人才培养目标。

### 4.4 形成性评价的考核方案

本教学方案以“形成性评价”为指导思想,以获

得实验能力为导向制定多维度科学考核评价体系。对实验项目每一阶段关键操作步骤和知识点进行赋分,从而做到对实验过程每个基本点进行客观评价,体现在对实验目的把握度、实验步骤的有效性、实验过程的规范度以及归纳分析实验结果的正确度等,全方位评价学生在实验过程中获得的实验能力,辅助学生提升实践能力。

以“临床样本病原微生物检测虚拟仿真实验”为例,考核内容细则如表 2 所示。通过课前、课中、课后的形成性评价,让学生比以往更加重视实验教学。通过课前测试有效地提高学生课前预习的自觉性和主动性;在仿真实验操作中分别根据学生防护服穿着情况、实验废弃物处置情况等打分,提高学生实验过程及细节的重视;同时,课后学生主动找教师交流讨论、认真完成综合实验报告、有创新观点的给予加分鼓励。此种考核评价体系加大了学生的学习投入,增强学生收获实验能力的成就感。

## 5 虚拟仿真技术助力下的“医学微生物学”实验课程教学方案的实践总结

虚拟仿真实验极大地丰富了“医学微生物学”实验课程的教学内容,保障了实验教学活动的生物安全,教师明显地感觉到学生主动学习的积极性显著提高,虚拟仿真课堂也比传统课堂更轻松愉悦。虽然得到医学生的普遍认可,但通过教学反思也存在一些不足,需要进行补充和完善。

### 5.1 虚拟仿真实验教学效果

#### 5.1.1 培养学生生物安全意识,调动学生学习积极性

虚拟仿真实验解决了既往在教学过程中学生对于生物安全知识和技能训练无法亲身实践、缺乏感性认知的问题,培养了学生的生物安全意识,强化其生物安全防护技能。学生在实验室的行为更加规范,注意头发的长度和约束、指甲的长度、白大衣是否纽扣齐全并扣紧、实验过程中是否正确佩戴手套和口罩。以往带零食和饮料进入实验室、穿拖鞋以及不穿实验服的现象不再出现,实验废弃物不再随意丢弃,令实验教学氛围更加严谨和谐。



表 2 实验项目考核细则

Table 2 The detailed rules for the evaluation of experiment

实验考核项目	项目比例	比例说明
Test items	Proportion (%)	Illustration for proportion
课前测试 Pre-class text	10	课前教师通过网络平台发放实验指导和微课视频，结合学生观看情况与测试结果打分，主要测验学生对实验目的把握度、实验原理掌握度，满分 10 分 The teacher gives out experimental guidance and microlecture through the network platform before class, and gives students pre-class evaluation based on the mastery of experimental purpose and experimental principles, with a full score of 10
仿真实验 Simulation experiment	15	仿真实验现场完成，由教师和部分学生组成评分小组，根据学生防护穿着情况、生物安全柜布置及使用规范度、实验废弃物处置情况给予成绩。三项内容各占 5% Give scores according to the students' protective clothing, the application of the biosafety cabinet, and the disposal of experimental waste by the scoring team on the spot, each of the three items accounts for 5%
在线虚拟实验 Virtual experiment	30	考核选择实验方法及实验设计的合理度，实验过程的流畅度。操作过程中不触发系统报警，每次报警扣 5% Give scores according to the rationality of experimental methods and experimental design, and the fluency of experimental process. No system alarm during operation. Deduct 5% for each alarm
线下实验报告 Experiment report	25	提交报告分析结果：根据系统导出数据报告进行分析讨论，提交小组讨论报告，基准满分 25 分，有创新性分析观点给予不超过 5 分的加分 Give scores according to the group analysis reports, with maximum score of 25 points, no more than 5 points for each innovative analysis
综合分析报告 Comprehensive analysis report	20	学生回答全部 PBL 导引问题，并将上述问题的答案汇总成综合分析报告，并汇报展示。针对学生实验综合素质的考察，由授课团队评分，满分 20 分 Students answer all the PBL questions and finish the comprehensive analysis report, make a report to show. Teaching team gives scores according to the students' comprehensive quality in the experiment, with a full score of 20

同时，“VR 版”沉浸式教学环境充分调动了学生的学习积极性，加强了掌握知识的牢固程度。在课后学生主动利用虚拟多平台软体交互技术提供的 VR 及移动版本进行反复演练，使学生突破时间和空间的限制。实现学生主动自主学习、趣味角色扮演、无风险反复性沉浸式学习与演练。

5.1.2 提高综合实验能力及职业责任感

在教学内容上，增加综合性实验内容比重；在教学形式上，积极运用 PBL 教学方法将理论知识与临床实际问题紧密联系起来，增强综合性实验教学效果。问卷调查表明，92%的学生认为能够锻炼在生物安全条件下独立思考的能力及综合实验能力，对提高岗位胜任力和职业责任感也有帮助。

5.1.3 提高师生的交流与互信

虚拟仿真实验教学实施阶段，学生课后主动性提问明显变多，提问的内容不仅包括本实验遇到的

疑难问题，还包括获得医学微生物学相关知识的途径以及病原学研究领域选择等问题。有些学生还主动申请医学微生物学相关的大学生创新科研基金项目，进入相关领域课题组开展研究。在学生选择课题、设计实验思路以及课题完成过程中，教师继续给予热心的指导，从而增加了师生之间的交流和互信，提升了学习兴趣。

5.1.4 提高学生成绩

就学习效果而言，经过两轮教学实践，我们以 16-17 级临床及口腔班为实验组，15 级临床和口腔班为对照组，发现在理论考试中，实验组涉及实验教学内容的得分率明显高于对照组，各次评教成绩均接近满分。更为重要的是，绝大多数学生对本实验方案表示满意(94.0%)，并希望将虚拟仿真技术推广到其他基础医学实验教学项目中(90.5%)。

## 5.2 虚拟仿真实验教学反思

我们在实践中也发现了新教学方案的一些问题,主要体现在3个方面:(1)课时紧张,不能满足学生在课堂上全部动手进行VR版实验操作。学生课后反馈中也提出了“适当增加虚拟仿真实验的学时量”等建议,因此更需要一个强有力的教学指导团队。可以组织研究生或者具有较好实验能力的本科生成立兴趣小组,经过指导老师培训后参与虚拟仿真实验室的管理和课前准备等工作,适时增加课外实验室开放时间,由教学团队成员统筹协调继续为学生提供服务与指导。(2)对教师和学生要求提高。由于课时紧张,要求教师必须熟悉教学内容、把握重点难点,在课堂上充分调动学生的学习积极性;学生需要充分做好课前预习,积极参与课堂活动,通过独立思考及讨论解决问题。(3)课程的实施对硬件和网络环境要求较高,有些实验学生无法在个人电脑上完成,移动端的使用效果并不理想,因此可以在现有PC平台、3D环幕演示平台、VR平台等基础上进一步建设AR平台,结合5G通讯技术,促进实验项目水平的提高。这些问题都是新的教学方案实施后出现的新问题,需要教师、学生和教学管理部门努力协调共同解决。

## 6 结语

虽然虚拟仿真实验应用于医学微生物学教学还存在很多问题,不可否认的是新设计的教学方案极大地丰富了教学内容,提高了学生的生物安全意识,有助于培养学生的综合实验能力及职业素养。不仅如此,该设计思想还可以应用于其他微生物学相关课程的实验教学设计中,全面提高微生物学相关各学科的教学质量。今后我们会努力对虚拟仿真实验教学资源进一步拓展和改进评价模式,在原有内容的基础上,不断更新教学内容,大力推进实验教学改革步伐,持续收集使用者的反馈,继续探索培养人才的实验教学新模式。

## REFERENCES

- [1] Ministry of Health of the People's Republic of China. List of pathogenic microorganisms transmitted by humans[EB/OL]. [2006-01-11]. <http://www.Moh.Gov.cn/mohbgt/pw10602/200804/20471.shtml> (in Chinese)  
中华人民共和国卫生部. 人间传染的病原微生物名录[EB/OL]. [2006-01-11]. <http://www.Moh.Gov.cn/mohbgt/pw10602/200804/20471.shtml>
- [2] Deng J, He XY, Tu J, Peng YH. The implementation and practice of biological safety in the experimental curriculum of Medical Microbiology for undergraduate students[J]. *Microbiology China*, 2018, 45(3): 504-508 (in Chinese)  
邓娟, 何晓燕, 屠静, 彭宜红. “医学微生物学”本科实验教学中生物安全的落实与实践[J]. *微生物学通报*, 2018, 45(3): 504-508
- [3] Xiong HQ. Promotion of reform and innovation on integration of theory teaching and experimental teaching by virtual simulation experiment teaching[J]. *Experimental Technology and Management*, 2020, 37(5): 1-4,16 (in Chinese)  
熊宏齐. 虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(5): 1-4,16
- [4] Xiong HQ. Teaching characteristics of national virtual simulation experiment teaching project in new era[J]. *Experimental Technology and Management*, 2019, 36(9): 1-4 (in Chinese)  
熊宏齐. 国家虚拟仿真实验教学项目的新时代教学特征[J]. *实验技术与管理*, 2019, 36(9): 1-4
- [5] Shi XL, Qin Z, Yu K, Liu JL. Application of virtual laboratory teaching model in experimental teaching of pathogen biology[J]. *Chongqing Medicine*, 2015, 44(10): 1425-1426 (in Chinese)  
石新丽, 秦臻, 于琨, 刘景利. 虚拟实验室教学模式在《病原生物学》实验教学中的应用探索[J]. *重庆医学*, 2015, 44(10): 1425-1426
- [6] Li ZY, Tang SY, Zhou Z, Zhao FJ, Zhu CM, Zeng YH. Application of virtual simulation experiment in experimental teaching of medical microbiology[J]. *Basic Medical Education*, 2016, 18(2): 135-136 (in Chinese)  
李忠玉, 唐双阳, 周洲, 赵飞骏, 朱翠明, 曾焱华. 虚拟仿真实验在医学微生物学实验教学中的应用体会[J]. *基础医学教育*, 2016, 18(2): 135-136
- [7] Liu JX, Xu GY, Li J, Yang XY, Xue B, Zhu L. Construction and application of virtual simulation training platform of medical laboratory technology[J]. *China Medical Education Technology*, 2019, 33(1): 83-86 (in Chinese)  
刘家秀, 许国莹, 李靖, 杨学艺, 薛白, 朱玲. 医学检验虚拟仿真实训教学平台的构建与应用[J]. *中国医学教育技术*, 2019, 33(1): 83-86
- [8] Yang MN, Xing XR, Wang GX, Nian SJ, Ye YC. Preliminary study on construction of virtual simulation experiment platform for medical microbiology[J]. *Basic*

- Medical Education, 2018, 20(2): 137-140 (in Chinese)
- 杨闽楠, 邢效瑞, 王光西, 年四季, 叶迎春. 医学微生物学虚拟仿真实验平台建设初探[J]. 基础医学教育, 2018, 20(2): 137-140
- [9] Wang XN, Li JP, Tang YY, Liu LY, Yang C, Li Q. Construction and practice of virtual simulation experimental teaching system for isolation and identification of enteric pathogenic bacteria[J]. Basic Medical Education, 2018, 20(10): 904-907 (in Chinese)
- 王晓楠, 李京培, 唐媛媛, 刘莉茵, 杨晨, 李群. 肠道致病细菌分离与鉴定虚拟仿真实验教学系统建设与实践[J]. 基础医学教育, 2018, 20(10): 904-907
- [10] Xiao SM, Jiao XM, Zhao LM, Zhang CQ, Liu YM. Design and application of problem-based learning teaching model in environmental biology experiment based on flipped classroom[J]. Microbiology China, 2018, 45(1): 207-214 (in Chinese)
- 肖淑敏, 焦秀梅, 赵连梅, 张春青, 刘月敏. 基于翻转课堂的环境生物学实验 PBL 教学设计与实践[J]. 微生物学通报, 2018, 45(1): 207-214
- [11] Yao J, Ma Y, Xu W, Ma Q, Liu LJ, Li W, Wang Y. Exploration of flipped classroom based on microlecture in reforming medical microbiology experiment courses[J]. Microbiology China, 2019, 46(9): 2426-2435 (in Chinese)
- 姚佳, 马悦, 徐文, 马茜, 刘丽君, 李薇, 汪洋. 基于微课的翻转课堂在医学微生物实验教学改革中的探索[J]. 微生物学通报, 2019, 46(9): 2426-2435
- [12] Zhang XY, Yao HY, Hao CY, Chen W. Application of PBL+CBL teaching mode in clinical biochemistry test teaching[J]. Chemistry of Life, 2020, 40(2): 309-312 (in Chinese)
- 张雪燕, 姚海燕, 郝春燕, 陈卫. 浅谈 PBL+CBL 的教学方法在临床生物化学检验技术教学中的应用[J]. 生命的化学, 2020, 40(2): 309-312
- [13] Wang JX, Ding WY, Cai T. The exploration of open experiment project in pathogen biological lab[J]. Education Teaching Forum, 2016(6): 260-262 (in Chinese)
- 王继璇, 丁伟勇, 蔡挺. 病原生物学实验室开放性实验项目探索[J]. 教育教学论坛, 2016(6): 260-262
- [14] Xi ZJ, Wang C, Zheng B. Reform and practice of PBL teaching method in pathogenic biology and immunology[J]. Chinese Journal of Immunology, 2019, 35(17): 2147-2149, 2155 (in Chinese)
- 习志江, 王超, 郑兵. PBL 教学法在病原生物与免疫学教学中的改革与实践[J]. 中国免疫学杂志, 2019, 35(17): 2147-2149, 2155
- [15] Yin D, Tian JR. The cloud-computing-based integrated implementation model of PBL teaching method and “Flipped Classroom”[J]. Journal of Schooling Studies, 2014, 11(4): 42-47 (in Chinese)
- 尹达, 田建荣. 基于云计算的 PBL 教学法与“翻转课堂”的融合实施模型[J]. 基础教育, 2014, 11(4): 42-47