·教学改革·

基于国家级虚拟仿真一流课程的实验PBL教学模式构建与实践

王艳霞　胡优敏　倪雯雯　刘燕　黄晨　顾鸣敏
上海交通大学医学院基础医学实验教学中心，上海 200025
通信作者：胡优敏，Email：jyhuym@shsmu.edu.cn

【摘要】 为了培养高素质医学人才，“医学功能学实验”课程教学团队利用信息技术和医学教学的结合，在课程教学中构建和尝试了以缺氧病理生理学问题引导的线上线下混合式“实验PBL”教学模式。本研究从教学对象、线上教学平台设置及与线下混合应用等环节，探索“实验PBL”教学方法、实施过程、考核评估和效果评估，并分析了其学术创新点和应用价值，以期为PBL教学理念融入实验教学提供有益思路，助力有灵魂的卓越创新医学人才培养。

【关键词】 PBL教学；　实验教学；　智能虚拟病人；　卓越创新医学人才
【中图分类号】 R3；R-4
基金项目：上海交通大学教学发展基金项目（CTLD23J0028）；教育部产学合作协同育人项目［教高司函（2024）第一批次，项目编号：230903257112224］
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230620-01860

Construction and practice of an experimental problem-based learning model based on national first-class virtual simulation course

Wang Yanxia, Hu Youmin, Ni Wenwen, Liu Yan, Huang Chen, Gu Mingmin
Basic Medical Experimental Teaching Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China
Corresponding author: Hu Youmin, Email: jyhuym@shsmu.edu.cn

【**Abstract**】 In order to cultivate high-level medical talents, introducing information technology into medical teaching, the teaching faculty of the "Medical Functional Experiment" course constructed and explored an online-offline hybrid experimental problem-based learning (PBL) model guided by hypoxia pathophysiology problems. We explore the teaching method, implementation process, assessment, and effect evaluation of the experimental PBL model from the aspects of teaching objects, online teaching platform setting, and offline application, and also discuss its academic innovation points and application value. We hope to provide ideas for integrating the PBL concept into experimental teaching and help cultivate excellent innovative medical talents.

【**Key words**】 PBL teaching;　Experimental teaching;　Electronic standardized patient;　Excellent innovative medical talent
Fund program: Shanghai Jiao Tong University Teaching Development Fund Project (CTLD23J0028); Ministry of Education Industry-University Cooperative Education Project [Department of Higher Education of Ministry of Education No. 01 Letter(2024), Project No. 230903257112224]
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230620-01860

以问题为导向的学习（problem-based learning，PBL）已成为各高等院校普遍采用的教学模式。PBL教学的最大优点是强调以“学生为主体、教师为导向”，以问题为基础、以小组为单元、以讨论为主轴，培养学生分析、解决问题的能力和自我学习的能力[1]。在基础医学教学中，实验教学对培养学生观察能力、动手能力和创新能力起着至关重要的作用。PBL一般以小组为学习单位，与实验课小组学

习模式一致。因此，国内不少医学院校在实验教学中引入PBL教学模式。归纳目前国内PBL实验教学模式主要有以下几种：单纯以实验相关问题为导向、PBL结合病例、PBL结合设计性和探索性实验、PBL结合病例和设计性实验、PBL结合设计性实验和虚拟实验等。这些模式在培养学生临床思维、科研能力和创新精神等方面各有侧重优势和遗憾[2-4]。医学功能学实验是一门融合了生理、药理、病理生理“三理”实验技术和手段，探究机体正常生理功能、病理生理过程，以及药物干预的规律及其原理的基础医学整合实验课程。随着医学实验教育理念的转变，实验课程教学手段更加注重充分调动学生的学习主动性、积极性和创造性，激发学生自主学习、探索创新的能力；而课程内容更加注重具有高阶性、创新性和挑战度。因而，单纯验证性实验大大缩减，“三理”综合性实验、设计性实验内容增加。同时，为确保实验教学的完整性，虚拟实验、智能虚拟病人（electronic standardized patient，ESP）等网络教学资源应运而生[5-9]。如何利用虚拟实验等网络教学资源，将线上线下混合式实验教学与PBL教学有机地结合在一起，构建具有高阶性、创新性和挑战度的实验PBL教学新模式，是实验教学改革一直努力的方向。上海交通大学医学功能学实验课程教学团队基于国家级虚拟仿真一流课程，设计并尝试了以“缺氧”问题为引导的“实验基础-动物虚拟实验-ESP病例分析-探究拓展”线上线下相结合的PBL实验教学探索和实践，以期为以新医科统领实验教学创新的“实验PBL教学”理念融入实验教学提供有益思路。

1 基于国家级虚拟仿真一流课程的网络化线上教学平台设置

网络化线上教学平台包括以“缺氧”问题为中心的实验基础、动物虚拟实验、ESP病例分析及探究拓展四大模块。此平台2020年底获首批国家级虚拟仿真一流课程。

1.1 实验基础

实验基础模块包含“问题”相关的医学基础知识、实验安全、动物伦理等。通过实验基础模块的学习，使学生进一步巩固“问题”相关的医学基础知识，增加学生对“问题”的感知。如以“缺氧”为问题引导的教学平台设计，学生学习了缺氧概念、不同类型缺氧的病因和发病特点等，进一步认识缺氧不是一个独立的疾病，而是临床极其常见的一种病理过程，几乎与所有疾病均存在相关性。缺氧也是导致死亡的直接原因之一。正是因为“缺氧”在临床诊治中的重要性，故需要医学生牢固掌握“缺氧”的发病原因、致病机制、临床表现及诊疗原则。而虚实结合的“缺氧”实验项目是帮助医学生掌握理论知识、实验技能及提高综合素质的有效途径。同时，真实实验中使用的一氧化碳为有毒有害气体，氰化钾为剧毒管控药品。这些实验材料均对学生开展实验存在重大安全隐患。另一方面，真实实验中需要使用较多活生生的小鼠，有违动物伦理原则。

1.2 动物虚拟实验

动物虚拟实验模块包含“问题”相关的真实实验视频、虚拟互动实验实训、知识点测试、随机考核等。通过真实实验视频的演示，增加学生对“问题”的感知。如以“缺氧”为问题引导的教学平台设计，让学生首先目睹不同类型小鼠缺氧（低张性缺氧、亚硝酸钠中毒、氰化钾中毒、一氧化碳中毒）的过程，引发他们思考缺氧对小鼠组织与病理、生理与病生、分子与生化的变化；同时，让学生深切感受到真实实验对动物的伤害，有害实验气体或试剂对实验环境的危害，从而增强学生重视实验安全、关注动物伦理的意识。

通过动物虚拟仿真实验实训，培养学生手脑结合的能力，使学生初步掌握实验操作要领。学生必须完成所有虚拟仿真实验实训，并通过知识点测试、随机考核等各环节测试。在此基础上，结合学生线下课堂缺氧实验实操（保证绝对安全和动物伦理），以检验学生对实验操作的掌握情况、对动物的敬畏之心、对实验安全的重视程度，以及考核学生的动手能力、应变能力、分析及解决问题的能力。

1.3 ESP病例分析

借助数学模型驱动的ESP，以期模拟“问题”相关临床病例（例如不同类型缺氧）对人体形态、功能的影响，帮助学生进一步理解“问题”所导致的人体机能的改变及其分子机制，同时熟悉“问题”相关病例的临床诊治原则及预防措施，培养学生理论联系实际的能力、基础结合临床的意识和能力及批判性思维的能力，为医学生开展临床见习、临床实习及毕业后住院医师规范化培训奠定基础。

1.4 探究拓展

探究拓展模块将引导学生对“缺氧”这个科学

命题有更多思考和探索。首先鼓励学生阅读几篇与“缺氧”相关的代表性论文。同时，提供拓展学习资源库（基础知识库和常用技术库），要求学生结合已有的知识和能力，回答若干与“缺氧”相关的综合性问题。同时，以小组为单位，通过分工、协作，设计1项与“缺氧、低氧”相关的探究性实验课题，通过答辩讨论以培养学生的思辨能力和创新精神。

2　线上线下混合式实验PBL教学模式

2.1　教学模式

实验PBL教学模式始终围绕“缺氧”问题，以小组为单位，采用线上“三位一体”教学、线下课堂实验实操及自主设计实验进行答辩讨论相结合的教学方法。

线上“三位一体”实验PBL教学方法的内涵是：围绕“缺氧”问题将实验基础、虚拟仿真实训和探究拓展作为一个整体，全方位培养有灵魂的卓越医学人才。通过实验基础，使学生熟悉缺氧的基本知识和基本技能，对缺氧实验产生浓厚兴趣，对各个操作环节仔细观察。其中，实验安全视频实训使学生对生命产生敬畏之心，增强了实验安全和动物伦理意识。通过虚拟仿真实训（包括虚拟仿真动物实验和ESP）及通关考核环节，使学生掌握实验操作的基本步骤及操作技巧，掌握不同类型缺氧的病因、发病机制、临床表现、诊治原则，激发学生自主学习的热情，使其能举一反三地开展自主探究式学习。通过探究拓展训练，加深学生对“缺氧”这个科学问题的认知，学会查阅“缺氧”相关学术论文和掌握“缺氧”相关研究动态；并利用项目提供的知识库和技术库开展小组学习和讨论，回答若干与“缺氧”相关的综合性问题；同时设计1项与“缺氧、低氧”相关的探究性课题，强调探究性研究的科学性、逻辑性和独创性。线上“三位一体”的教学方法（图1），再结合线下课堂实验实操及自主设计实验进行答辩讨论，不仅能使学生牢固掌握与“缺氧”相关的基础医学知识，使学生学会理论联系实验、基础结合临床，而且能促进学生临床思维能力、批判性思维能力、团队合作能力、动手实践能力、数据分析能力、探究和创新能力的提升。授课安排建议：线上学习5学时+线下实验5学时+探究设计5学时（业余时间）+答辩讨论5学时。

2.2　实施过程

2.2.1　课前线上预习

学生通过个人手机、PC等登录国家虚拟仿真实验教学课程共享平台，预习实验内容。通过实验基础，使学生在课前对“缺氧”这个科学问题有一个系

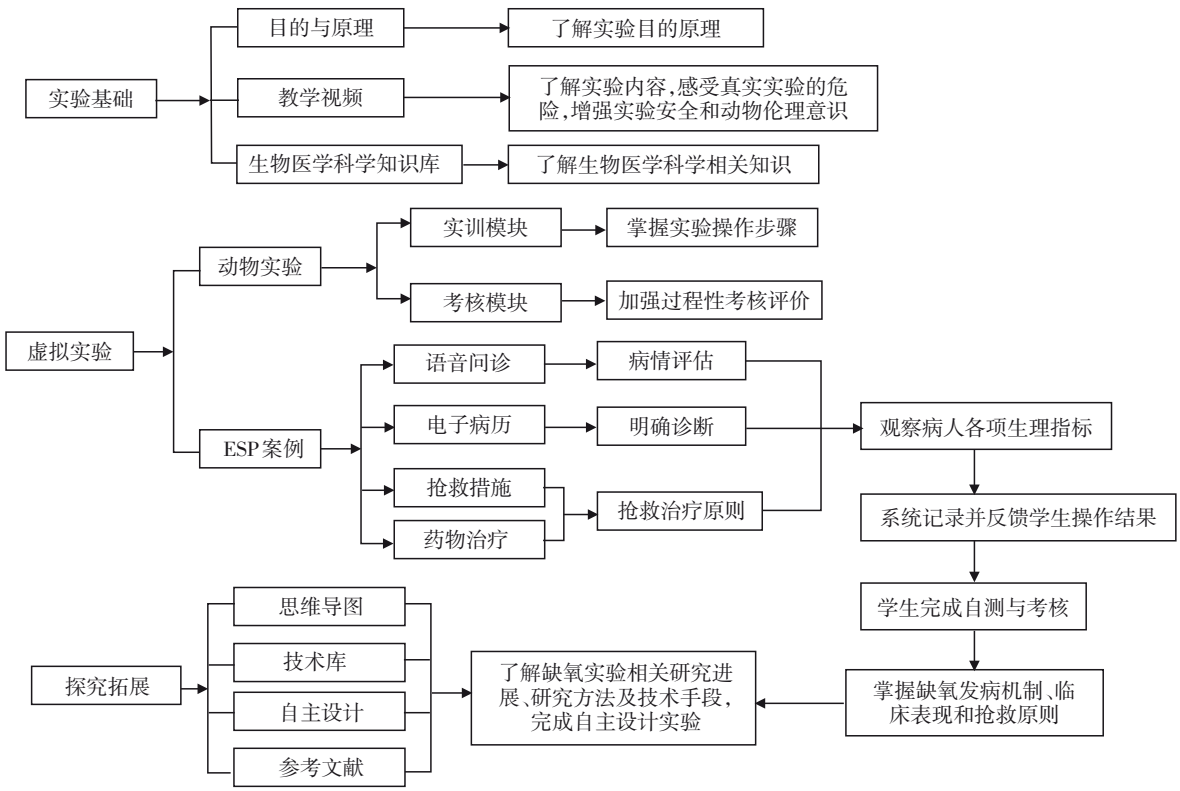


图1　线上“三位一体”教学方法

统的了解。之后进入“动物虚拟实验”环节，以虚拟小鼠为操作对象，复制不同类型缺氧动物模型并观察相关功能、形态、代谢变化。通过系统的操作结果反馈，使学生熟练掌握实验操作流程，并进行虚拟实验考核，对于考核达标的学生（正确率不低于90%），准其进入实体实验室。

2.2.2　课中线上线下实践

在实验室课上，学生选择开展部分“缺氧”小鼠实操实验，并与虚拟仿真实验进行比较分析，找出问题及解决办法。随后以“ESP”模拟急性一氧化碳中毒患者的表现，通过人机互动观察病人的典型临床表现、基本生命体征改变、重要器官的功能变化等，探索一氧化碳中毒所致的病理生理变化及转归的奥秘。其中“病情评估”模块可通过人机对话完成病史采集工作；“抢救措施”模块采取吸氧措施，并设置参数，还可从选项面板中选择输液、人工呼吸等其他治疗方法；“电子病例”模块让学生学习和了解病历的结构和书写规范；“疾病机制”模块可观察缺氧的病生机制及病程；“案例考核”模块，完成相关测试。系统将自动记录每位学生的访问信息、每次操作和考核的结果。结果反馈系统便于学生自我评价，也便于教师评价学生的学习效果。

2.2.3　课后探究拓展

在完成线上线下实验内容后，学生将进入探究拓展模块，开展文献阅读和小组讨论，完成与“缺氧”相关的综合性问题。同时，在教师的指导下以小组为单位自主设计1项与“缺氧、低氧”相关的探究性实验课题，撰写设计标书，准备PPT，再参加课堂线下答辩讨论。

2.2.4　线下答辩讨论

探究性实验设计，给予学生更多探索创新的空间，更注重学生文献阅读能力的培养和科研思维的训练。学生通过小组的智慧，完成标书的撰写后，最终回到线下，通过小组协作，完成答辩和讨论考核，从而获得一次宝贵的科研工作经历。通过答辩讨论，学生不仅培养了严谨缜密的科学作风，还锻炼了包括PPT制作和科学演讲能力在内的各种技能。同时，答辩讨论过程也充分锻炼了学生的批判性思维和思辨能力，为他们成长为具有探究精神和科学研究能力的卓越医学工作者打下了坚实的基础。

2.3　考核评价

本项目教学采用形成性评价的方式，以百分制计分，包括4个方面。①理论模块：包括实验原理及与实验相关的理论知识，要求学生通过知识点测试，占总分的10.00%~20.00%。②动物实验模块：学生完成虚拟和实体动物操作后，教师需根据学生实际操作的规范化程度给予指导和评分，加上虚拟动物实验考核，占总分的30.00%~40.00%。③ESP模块：学生通过该模块实现实验台与病床的思维转化，基础与临床的知识联系，要求学生通过系统闯关考核，占总分的10.00%~20.00%。④探究拓展模块：学生完成该模块后，需要拿出自主设计实验的方案，并通过汇报答辩，还要通过学生互评和教师点评，占总分的30.00%~40.00%。形成性评价可根据专业特色和要求适当调整。通过每个模块的系统统计和教师点评，开展阶段性评估和点评，可帮助学生发现自己的思维路径与实验或案例设计的偏差，及时调整思路，以便正确进入下一个环节。

3　线上线下混合式实验PBL实施效果

为了了解实验PBL教学模式的效果，研究者设计了以“缺氧”问题为引导的“实验基础–动物虚拟实验–ESP病例分析–探究拓展”线上线下相结合的PBL实验教学效果调查，对临床医学各专业学生进行了分班成绩对照分析和学习效果问卷调研。

3.1　分班成绩对照分析

在临床医学五年制学生的“缺氧”实验部分，研究组设立了两个小班进行试验。其中，第一个小班直接进行了线下的实验，作为对照组；第二个小班则采用了PBL教学方法，包括线上的预习和线下的实验。在课后，对两个小班进行了线上“不同类型缺氧实验”的随机操作及知识点考核。经过对成绩进行单因素方差分析，结果显示第二个小班（PBL教学）成绩高于对照班，差异有统计学意义（$P<0.01$）（表1）。

表1　实验PBL教学与单纯课堂实验教学学生操作考核比较[n=55，($\bar{x}\pm s$)，分]

组别	成绩
对照–课后考核组	83.85 ± 13.39
预习–课后考核组	94.95 ± 7.48
t值	5.36
P值	<0.001

3.2　学习效果问卷调研

在医学功能学实验课程教学中实施了以问题为中心的基础融合临床的“线上线下”混合式PBL实

验教学。课后对209位临床医学学生进行了学习效果问卷调研，结果如表2所示。学生反馈在探究拓展能力、自主学习能力、批判性思维、质疑思辨能力和创新意识等方面都有不同程度的提高。

表2　学习效果问卷调研[n=209，例(%)]

题目	选项	人数
通过“缺氧”问题为引导的“实验基础-动物虚拟实验-ESP病例分析-探究拓展”线上线下相结合的教学，您认为在以下哪些方面有所提高?(多选)	A. 探究拓展能力	117(55.98)
	B. 自主学习能力	126(60.29)
	C. 批判性思维	81(38.76)
	D. 质疑思辨能力	88(42.11)
	E. 创新意识	77(36.84)
	F. 其他	14(6.70)
	未作答	17(8.13)

4　效果分析与结论

实践表明，围绕“缺氧”问题，以小组为单位，采用线上“三位一体”教学，线下课堂实验实操及自主设计实验进行答辩讨论相结合的实验PBL教学模式，使实验教学内容更加具有高阶性、创新性和挑战度。经过围绕“缺氧”问题的线上线下系列实训学习后，学生操作和知识点掌握程度，以及自主学习、探究创新等能力都得到明显提升。其学术创新点和应用价值可以归纳为围绕1个目标、构建3个体系和实现5个结合。

4.1　围绕1个目标

围绕上海交通大学医学院确定的“助力学生人格养成、推动学生能力提升、深化学生知识探究，培养有灵魂的卓越医学创新人才”的目标，开展实验课程教学设计。

4.2　构建3个体系

一是构建了以实验能力为导向的目标体系。该体系由显性双主体(知识探究和能力建设)及隐性双主体(价值引领和人格养成)构成，突出了以学生为本、以能力为导向的理念。通过线上缺氧基础知识学习、虚拟与真实相结合的缺氧动物实验及ESP一氧化碳中毒实验，使学生体验到一氧化碳中毒所致的ESP在分子、细胞、组织、器官、系统等层面的动态变化及其病理生理学机制。通过探究拓展训练，加深学生对“缺氧”问题的认知，使学生具备医学认知能力、动手实践能力、信息处理能力、数据分析能力、思辨能力、表达能力、职业规范能力、自主学习能力、协作交流能力、应变能力、创新能力、知行合一能力等。

二是构建了一体化设计的缺氧实验教学体系。该体系遵循医学教学规律，设计了4个梯度。梯度一要求学生学习与缺氧实验相关的基础知识，并观看缺氧实验操作视频，以此掌握实验室生物安全知识、动物实验安全操作规程、常用化学试剂及仪器设备使用规范及实验废弃物处置规定等；梯度二在符合《基础医学实验教学基本要求行业共识》的前提下，设计了年龄因素对缺氧耐受性的影响、低张性缺氧、一氧化碳中毒、亚硝酸钠中毒、氰化钾中毒等5个虚拟与真实相结合的缺氧动物实验；梯度三为基于ESP的一氧化碳中毒综合实验(已包括轻度、中度和重度3个高仿真性实验)；梯度四为探究拓展性缺氧实验，学生在阅读缺氧研究文献的基础上，围绕与缺氧相关的热点问题，以小组为单位开展设计性、探究性实验。上述4个进阶实验环环相扣、层层递进。学生每进一阶，实践能力就会螺旋上升，实现了从简单到复杂、单一到综合、知识到能力、模仿到创新的能力进阶，使能力提升和人格养成成为实验教学的主旋律。

三是构建了各环节相互支撑的资源体系。其包括由人民卫生出版社出版的教材——《功能学实验教程》(第三版)，以及与科技公司合作研发的虚拟仿真实验教学系统、拓展学习资料(含文献库、技术库等)，还包括对学生开放的实验教学中心网站、虚拟仿真实验网站、各实验整合课程网站、功能学科创实验室等，以满足学生进一步对“缺氧”问题进行探究的需要。

4.3　实现“5个结合”

“5个结合”如下：①以实验教材为蓝本的缺氧教学资源与以教学软件为基础的虚拟仿真实验资源的结合；②真实缺氧实验与虚拟仿真缺氧实验的有机结合；③线上交流缺氧实验与线下预习、复习缺氧实验的结合；④基础实验与综合性、探究性实验的结合；⑤基础缺氧原理与临床缺氧问题的有机结合。值得一提的是，这个实验教学项目利用ESP，使学生完成了一个转化医学的过程，即从“实验台到病床(bench to bed)”的转变。它以一种由表及里再由内而外的顺序进行阐述，符合学生的学习习惯和思维方式。因此，实验PBL教学方法有利于帮助学生建立有关“缺氧”问题的基础到临床不同学科之间思维逻辑架构的整合，使学生在学习结束后获得清晰的思维结构、扎实的知识记忆和规范的操作技能。特别是开展设计性、创新性实验，更有利于

有灵魂的卓越医学创新人才的脱颖而出[10-14]。“探究拓展”模块使学生的知识和能力有了升华的空间，有了用武之地，必将对提高学生的素质、能力和知识（attitude、skill、knowledge，ASK）起到积极的推动作用。

5　结语

总而言之，PBL实验教学能提高学生思考、分析和解决问题的能力，激发其学习兴趣，培养和锻炼其自主学习、创新和科研能力，提升实验教学效果，是培养高素质新型医学人才的一条新思路。但实行过程中尚存在较多问题，如教学课时少而难以满足PBL教学需要的课堂讨论时间，缺少相应的教学大纲、合适的教材和合适的临床案例等。基于国家级虚拟仿真一流课程，以“缺氧”问题为引导的“实验基础-动物虚拟实验-ESP病例分析-探究拓展”线上线下相结合的PBL实验教学模式，不仅利用ESP使学生完成了一个从“实验台到病床”的转化医学的过程，而且其“探究拓展”模块的高阶性和挑战度使学生的知识和能力有了升华的空间，强化了学生的科研精神和创新意识，对提高学生的素质、能力和知识（ASK）起到了积极的推动作用。然而，此PBL实验教学模式在实施过程中也存在不少问题，如具有较高的挑战度，对带教教师和学生的知识储备和能力要求较高；线上ESP对于课堂讨论缺乏沉浸式现实体验和互动等。进一步的课程设计将在加强教师和学生培训的基础上，致力于产学合作研发，引入ESP Wearables标准化病人模拟穿戴设备教学系统，引导学生通过模拟穿戴设备进行角色扮演，切身体验医患身份，增强实验PBL课堂教学的沉浸式现实体验和互动，使学生在学习知识和技能的同时，潜移默化地接受人文素质和思政教育[15-16]。应以新理念谋划实验医学发展、以新定位推进实验教学发展、以新内涵强化医学生的能力培养、以新医科统领实验教学创新，不断探索和实践实验PBL教学等新模式，不断增加实验课程教学的高阶性、创新性和挑战度，全面提升医学生的创新意识、实践能力和岗位胜任力。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　王艳霞：具体实施、数据分析、统计制表、撰写论文；胡优敏：主持课程设置、考核评估思路、组织实施、论文撰写；倪雯雯：项目具体实施、问卷调查、数据收集；刘燕、黄晨：参与课程体系建设与改革、项目实施；顾鸣敏：指导和推广课程体系建设与改革

参考文献

[1] 关超然，李孟智. 问题导向学习之理念、方法、实务与经验：医护教育之新潮流[M]. 北京：北京大学医学出版社，2015.

[2] 李稻，韩玉慧，蒋益，等. 医学基础教育中PBL和CBL两种教学模式的实践与体会[J]. 中国高等医学教育，2010(2)：108-110. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2010.02.053.

[3] 廖长秀，黄桂坤，王金妮，等. PBL在药理学实验中的应用现状与思考[J]. 基础医学教育，2022，24(4)：271-275. DOI: 10.13754/j.issn2095-1450.2022.04.11.

[4] 李长勇，王泽芬，张先荣. PBL教学法在机能实验学综合性实验中的探索[J]. 基础医学教育，2015，17(2)：140-141. DOI: 10.13754/j.issn2095-1450.2015.02.18.

[5] 谢红艳，彭妙茹，涂永生，等. 医学机能实验学教学改革与思考[J]. 中华医学教育探索杂志，2022，21(1)：23-27. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200603-00723.

[6] 袁艺标，吴晓燕，王觉进，等. 机能学“三位一体”实验教学体系的探索与实践[J]. 实验室研究与探索，2023，42(4)：163-166. DOI: 10.19927/j.cnki.syyt.2023.04.032.

[7] 孙湛，张雪梅. 数字化教学模式在人体机能学实验中的应用[J]. 中国医学教育技术，2018，32(4)：410-412. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.201804015.

[8] 李宁，李红芳，蔺美玲，等. 医学机能学实验室实验教学模式的改革与探索[J]. 实验室研究与探索，2020，39(10)：159-163. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7167.2020.10.036.

[9] 郭建红，张杨，杨艳萍，等. ESP虚拟仿真在机能学实验教学中的应用[J]. 基础医学教育，2021，23(1)：62-63. DOI: 10.13754/j.issn2095-1450.2021.01.19.

[10] Conradi E, Kavia S, Burden D, et al. Virtual patients in a virtual world: training paramedic students for practice [J]. Med Teach, 2009, 31(8): 713-720. DOI: 10.1080/01421590903134160.

[11] 吴晓燕，袁艺标，施睿臻，等. 多元化网络教学模式在机能实验学课程教学中的应用[J]. 中国高等医学教育，2018(3)：109-110. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2018.03.053.

[12] 吴冰，马煜峰，凌冠华，等. 基础医学综合实验与实验设计课程内容改革的探索[J]. 基础医学教育，2013，15(7)：704-705. DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-1450.2013.07.20.

[13] 吴若如，唐怡庭，邹飞，等. 医学机能学自主实验设计教学中学生主动性学习行为的调查研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2022，21(3)：368-372. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20210210-00805.

[14] Sivan A, Leung RW, Woon CC, et al. An implementation of active learning and its effect on the quality of student learning [J]. Innov Educ Train Int, 2000, 37(4): 381-389. DOI: 10.1080/1355800007500 52991.

[15] 秦淼，铁剑华，侯学红，等. 标准化病人联合高端模拟设备在教学中的探索[J]. 中国高等医学教育，2018(5)：95-96. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2018.05.045.

[16] 刘丰，韩京龙，齐骥，等. 智能可穿戴设备的研究和应用进展[J]. 分析化学，2021，49(2)：159-171. DOI: 10.19756/j.issn.0253-3820.201410.

（收稿日期：2023-06-20）
（本文编辑：邬小梅）