

## 教学论文

## 基于功能数字人内核的虚拟仿真教学项目建设

袁艺标<sup>1</sup>, 王觉进<sup>2</sup>, 林茂辉<sup>3</sup>, 高兴亚<sup>1,2,\*</sup>南京医科大学<sup>1</sup>基础医学国家级虚拟仿真实验教学中心; <sup>2</sup>生理学系, 南京 211166; <sup>3</sup>上海梦之路数字科技有限公司, 上海 201203

**摘要:** 高等教育信息化是促进高等教育改革创新和提高质量的有效途径, 虚拟仿真教学是教育信息化的重要组成部分。本文描述了虚拟仿真教学的发展与现状, 介绍了功能数字人(electronic standardized patient, ESP)内核的生理驱动虚拟人系统, 详细阐述了ESP技术平台在人体生理学教学、临床前整合式案例实验教学及其他医学专业的教学项目建设。ESP内核虚拟仿真项目体现了学科交叉融合、基础与临床知识结合的优点, 开辟了实验教学的第三模式, 成为生理学“金课”建设的重要方向。

**关键词:** 功能数字人; 虚拟仿真; 人体机能实验

**中图分类号:** G42

## Building virtual simulation teaching platform based on electronic standardized patient

YUAN Yi-Biao<sup>1</sup>, WANG Jue-Jin<sup>2</sup>, LIN Mao-Hui<sup>3</sup>, GAO Xing-Ya<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>The National Virtual Simulation Center of Basic Medicine; <sup>2</sup>Department of Physiology, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China; <sup>3</sup>Shanghai Mengoo Digital Technology Co., Ltd, Shanghai 201203, China

\*Corresponding author: gaoxy@njmu.edu.cn

**Abstract:** Informatization is an effective way to promote the reform and innovation of higher education and improve its quality. Virtual simulation teaching is indispensable in the educational informatization. Here, we describe the development and current situation of virtual simulation teaching, and introduce electronic standardized patient (ESP) based-virtual human body system powered by the real-time human physiological parameters. We also discuss how to build an ESP-based community in the teaching of human physiology, preclinical integrated case learning and other teaching projects. These ESP-based virtual simulation projects display the advantages of interdisciplinary fusion and the combination of basic and clinical knowledge, and open up the third type of functional experiments. Therefore, ESP-based virtual simulation teaching platform presumably becomes a considerable option for the first-class course construction in physiology.

**Key words:** electronic standardized patient (ESP); virtual simulation; human functional experiment

以教育信息化带动教育现代化是我国教育事业发展的战略选择<sup>[1]</sup>, 也是促进高等教育改革创新和提高质量的有效途径<sup>[2]</sup>。虚拟仿真实验教学是高等教育信息化建设的重要内容, 是学科专业与信息技术深度融合的产物。虚拟仿真早期出现在上世纪20~30年代, 通过实物和物理效应仿真, 在航天领

域中得到很好应用。从上世纪80年代到今天, 随着计算机图形技术的发展, 先后出现了动画仿真、可视交互仿真、多媒体仿真、虚拟环境仿真、虚拟现实仿真等一系列新的理论与技术。我国教育部从2013年开始先后开展了国家级虚拟仿真实验教学中心建设、国家虚拟仿真实验教学项目认定, 通过中

致谢: 本研究获得2020年度江苏省教育科学“十三五”规划课题(No. C-c/2020/01/16)、2018年度中华医学会医学教育研究立项重点课题(No. 2018A-N15017)、教育部2019年产学研合作育人项目(No. 201901206007)资助。

\*通讯作者: 高兴亚, E-mail: gaoxy@njmu.edu.cn

国知网 (CNKI) 与 ScienceDirect 检索相关研究文献数量显示 (图 1), 近年来国内外虚拟仿真相关研究呈现上升趋势, 已成为当前热点。

目前国内很多高校均开展了生理学虚拟仿真项目, 项目以动物实验为主体, 也有小部分人体实验, 虚拟仿真的表现形式激发了学习兴趣、拓展了实验空间、节约了人力物力, 解决了许多高成本、高消耗、以及大型或综合训练项目的开展问题<sup>[3]</sup>。然而, 这些传统的虚拟仿真项目基本上是流程性、操作步骤及其结果反馈基本都是固定的, 无法开展自由探索, 且缺乏临床联系, 同时亦缺少与理论教学配套的虚拟仿真项目, 不能满足新医科人才培养需求。运用现代信息技术, 我们研发了功能数字人, 也称电子式标准化病人 (electronic standardized patient, ESP) 内核, 建立实时运算功能数学模型, 综合模拟人体生理、病理生理、药理状态下的生命机体功能的变化, 构建将理论、实验、临床案例进行有机融合的虚拟仿真项目, 成为生理学“金课”建设的重要方向。

## 1 ESP概述

ESP 的设计方法是基于目前人体系统生理学 (human systems physiology) 的基础理论, 结合临床相关期刊和数据, 利用模拟电路、物理学等方法建立数学模型, 通过人工智能和数据分析技术进行模拟数据的优化和校正, 建立生理驱动虚拟人体为核心技术的人体功能虚拟系统 (图 2)。系统通过模拟人体在生理和病理生理状态下主要生理指标的变化, 并显示造成这些变化的机制和原理, 揭示人体

运行的规律 (生理)、常用药物的药效 (药理) 以及疾病状态下功能的变化 (病理生理)。ESP 内核由南京医科大学联合全国多家高校与上海梦之路数字科技有限公司合力研发, 不断完善, 根据教材和国内外文献, 严格把关, 具备较强的学术性, 拟出版发行。ESP 平台是目前行业内唯一的“实时运算式仿真引擎”, 经过 15 年进化、4 代升级、反复与动物实验和临床资料比对, 现已成为高仿真度的“功能数字人”。ESP 能实时仿真人体运行, 动态输出人体机能核心指标 (生命体征), 运行结果与临床实验统计数据比对, 10 分钟符合率大于 99%, 4 小时符合率大于 95%。ESP 平台已成为医学教学领域理论与实践、基础与临床的通用平台。

## 2 ESP技术平台的教学项目建设

ESP 技术平台主要服务于医学专业实验教学和人体健康科普领域, 其中基于 ESP 技术平台开发的“临床前整合式案例实验教学系统”在发布后引起了很多医科院校的兴趣和重视。目前基于 ESP 技术平台开发的项目有 ESP 人体生理学教学系统、ESP 临床标准化病人 (护理专业版)。

### 2.1 ESP人体生理学教学系统的项目建设

ESP 人体生理学教学系统是根据人民卫生出版社第 9 版教材《生理学》开发的一套数字化教学系统, 旨在根据教材的理论知识, 把人体生理学中较为复杂的核心知识点通过实时动画和互动的形式展示出来, 并增加了一些人体生理功能调节实验、虚拟标准化病人思维训练。该项目针对在人体生理学的教学内容中需要抽象思维去理解的知识点, 比如影响

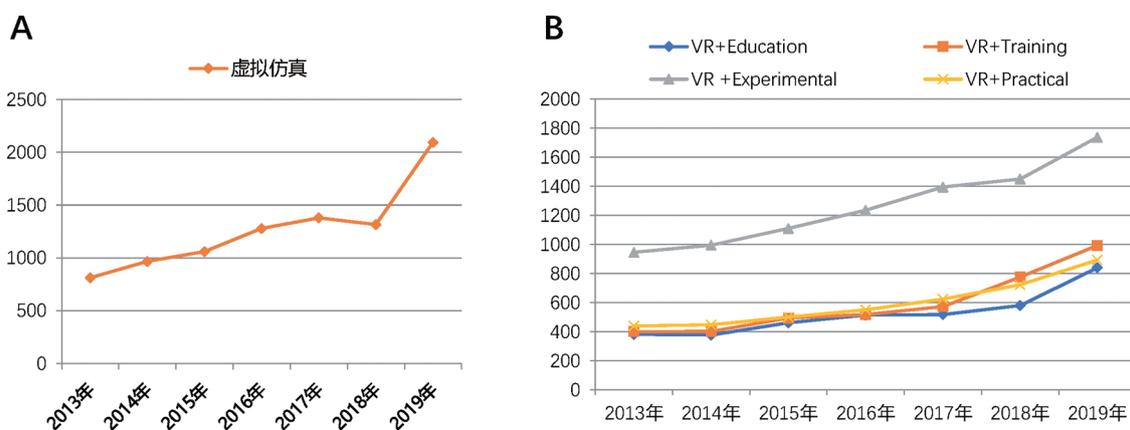


图 1. 国内外虚拟仿真相关研究文献检索结果。A: 关键词“虚拟仿真”在中国知网数据库的搜索结果; B: 关键词“VR+Education、VR+Training、VR+Experimental、VR+Practical”在 ScienceDirect 数据库的搜索结果。

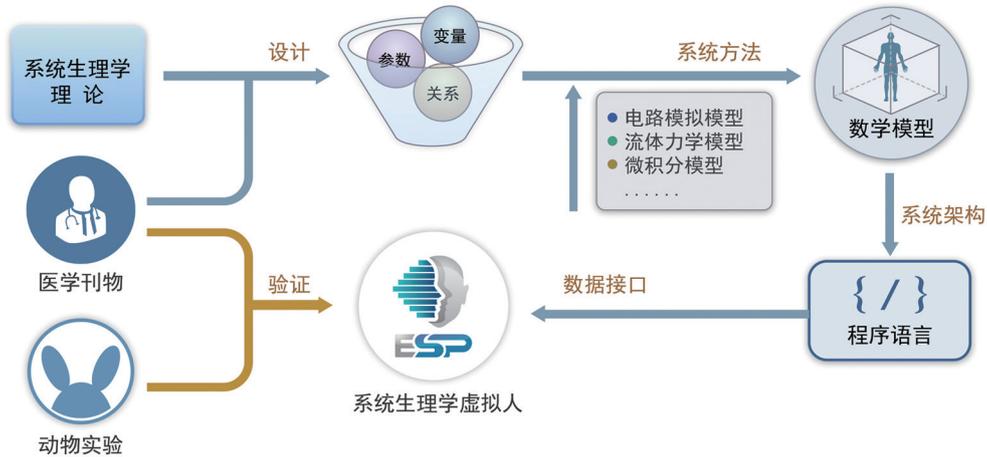


图2. 生理数据驱动的人体模型。以系统生理学理论及医学刊物设计人体数学模型，运用计算机编程实现模型功能，构建系统生理学虚拟人，通过实验及医学期刊对生理学虚拟人进行验证，不断修正，最终发布。

肺换气的因素、氧解离曲线、影响心输出量的因素、肾小球有效滤过压、渗透性利尿等，充分利用 ESP 技术平台设计了一些互动性的实验，让学生能够在阈值范围内通过改变影响因素而观察学习人体相关功能的改变，非常直观地理解难懂的理论知识。例如在肺内压和胸膜腔内压的教学过程中 (图 3)，该项目通过调节胸膜腔内压值来模拟开放性气胸，随着胸膜腔内压的不断上升，可以看出呼吸频率慢慢地加快，潮气量减少，但肺内压没有明显变化。

ESP 人体生理学教学项目还进行了一些整合式

教学的设计，通过构建虚拟标准化病人的病情发展，让学习者根据病人的症状、指标来进行初步的诊断和做出相应的治疗原则和措施。例如在人体血压影响因素的章节中，该项目设计了心源性休克、过敏性休克和失血性休克 3 个标准化病人，通过 ESP 技术平台模拟了非常典型的休克病人的数据模型，让学习者通过 3 个病人在血压、心率、中心静脉压、血氧饱和度、血容量等不断变化的指标中寻找变化的趋势和 3 个病人之间的差异，最终推断出该虚拟标准化病人所对应的休克类型 (图 4)。



图3. 模拟气胸来观测肺内压和胸膜腔内压的变化

## 2.2 ESP临床前整合式案例实验教学项目建设

ESP 临床前整合式案例实验教学主要是在病理生理学教材的基础之上开发的一个案例教学库，该项目主要面向学习者在学习了生理学、组织与胚胎学、病理学、病理生理学等大部分基础学科的基础上，对于基础医学阶段所学的知识通过以标准化病人案例作为载体进行的整合式教学系统。目前该项目已经建立了失血性休克、急性心肌梗死、心衰、缺氧、呼吸衰竭、肾衰、酸碱平衡紊乱、脊髓损伤、水肿等一系列案例，主要集中于心血管、呼吸和泌尿等系统。在该项目功能模块设计的架构中，每个功能模块都有独立的数据库和运算模型。比如药物模块，每一种药物都基于该药物药动学和药代学参数设计事件 (Events) 程序模块，它可以作用于案例库中所有的标准化病人数据模型，并且会根据该标准化“病人”的基本参数 (例如身高、体重、基础代谢率) 的影响而产生相应的药效作用。该项目还创新性地建立了标准化病人的症状学动作形态库和实时器官系统模拟库。比如，在开放性气胸模拟病人的案例中，当病人单侧肺或者双侧肺胸膜腔内压出现上升，当任一单侧肺经肺压 (transpulmonary pressure, TPP) 增加到第一临界值  $2.5 \text{ cmH}_2\text{O}$  或者当肺活量降低 25% 时，会触发呼吸困难事件 (painful breathing event)<sup>[4]</sup>。呼吸困难事件包含呼吸短促、颜面发绀、呼吸肺泡音减弱等，那么系统中 3D 虚拟病人的呼吸动作会从呼吸频率和幅度上产生相应改

变，同时 3D 虚拟病人的皮肤贴图材质会逐渐过渡到颜面发绀的预设状态，同时所配置的呼吸肺泡音也会从呼吸音频库中调取相应编号的音频，整个案例的模块架构与案例关系如图 5 所示。

临床前整合式案例实验教学项目中的每个案例在开发之前，都针对教学对象、教学目标、教学的核心知识点，基础与临床的比重等方面进行精心的设计，目的是在基础医学的平台上，从不同的方向往临床拓展，让学生能够在标准化病人的案例中对所涉及到的相关知识进行回顾和理解学习。同时该项目具有比较全面的考核和实验报告，需要学生一边学习案例，一边通过手机端的微信小程序详细记录标准化病人相关的症状、指标和病情进展过程中的变化。以“失血性休克”为例，该案例设计与考核的方法如图 6 所示。

临床前整合式案例实验教学项目建立了实时器官模拟系统，根据虚拟标准化病人模拟的相关指标参数，根据人体生理学和病理生理学的机制，对相关人体器官系统进行实时的动画驱动，将完整的病情发展及器官系统的变化过程展示给学习者，将基础和临床紧密地结合起来，达到从现象到理论的学习过程。例如在失血性休克的案例中 (图 7)，当虚拟标准化病人失血达到血容量 30% 和 50% 的两个临界指标时，微循环和血流动力学将实时模拟出从休克 I 期慢慢过渡到休克 II 期和休克 III 期 (弥漫性血管内凝血期, DIC 期)，血流限于直捷通路，动-



图4. 心源性休克虚拟病人思维训练截图



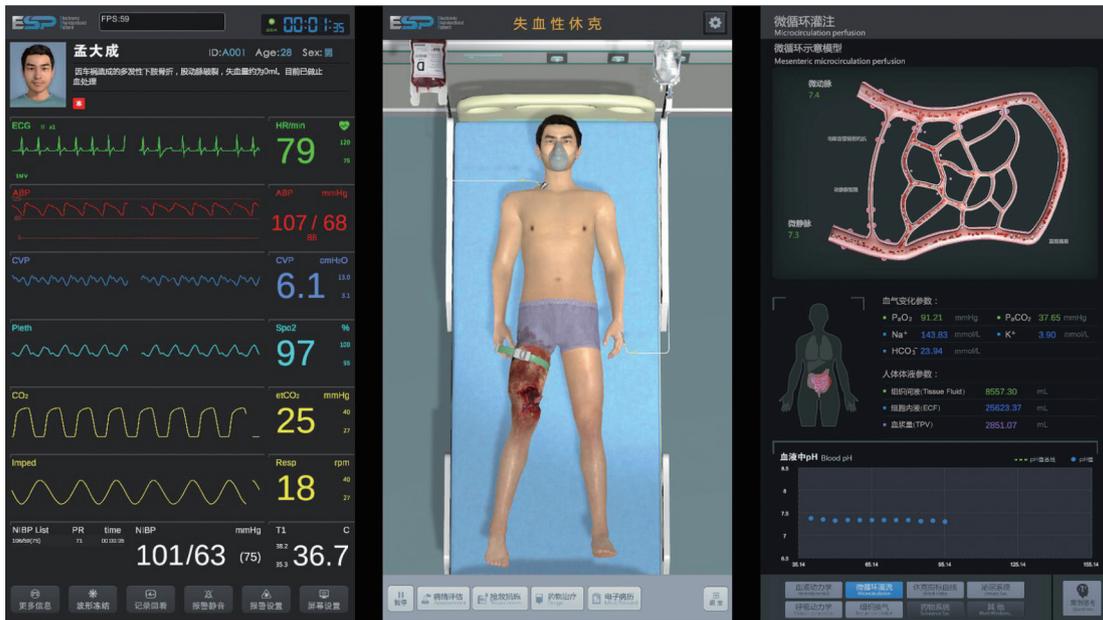


图7. 失血性休克虚拟标准化病人案例界面

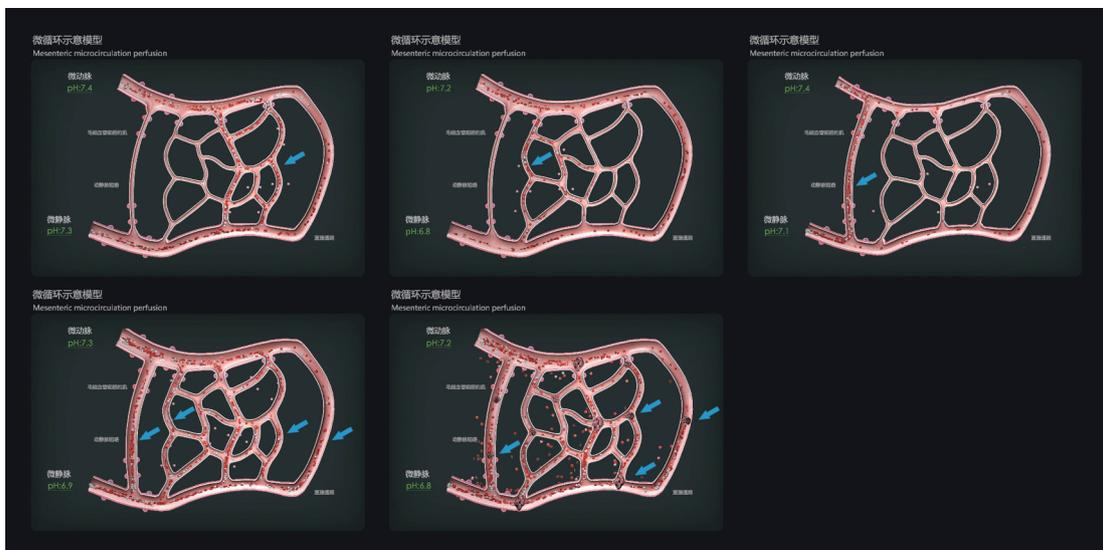


图8. 失血性休克虚拟标准化病人微循环血液动力学模拟

目合作协议，获业内认可。

#### 4 结语

ESP 内核虚拟仿真教学项目采用云计算技术实现生理学数据的实时调节反馈，学生不仅可以形象地观察到病人不同阶段的临床表现，还可以直观地看到呼吸、循环、泌尿、神经等多个器官系统的同步变化，基本生命体征的改变等，加强了学生对于人体生理机制的理解。因此，学生在知识点自测题

得分上明显提高，ESP 内核虚拟仿真项目体现了学科交叉融合、基础与临床知识结合的优点。同时，通过 ESP 内核虚拟仿真项目有机衔接了人体实验，构建了“人体实验 - 动物实验 - 虚拟仿真实验”——“三位一体”的机能实验教学新体系。

#### 参考文献

- 1 任友群, 冯仰存, 郑旭东. 融合创新, 智能引领, 迎接教育信息化新时代. 中国电化教育 2018; (01): 7-14, 34.

- 2 史静寰, 叶之红, 胡建华, 徐小洲, 杨颀, 李立国, 刘永贵, 康凯, 王小梅, 高晓杰, 许焘, 瞿振元. 走向2030: 中国高等教育现代化建设之路. *中国高教研究* 2017; (05): 1–14.
- 3 熊宏齐. 国家虚拟仿真实验教学项目的新时代教学特征. *实验技术与管理* 2019; 36(09): 1–4.
- 4 Choi WI. Pneumothorax. *Tuberc Respir Dis (Seoul)* 2014; 76(3): 99–104.
- 5 袁艺标, 吴晓燕, 戚晓红, 黄华兴, 朱学江. 基于网络的虚拟人体机能实验教学系统研究. *实验技术与管理* 2016; 33(08): 115–118.
- 6 韩丽莎, 宋芳, 苏燕, 杨占君, 孙小荣, 张坤. 以卓越医生教育培养为目标的基础医学课程教学改革研究. *高校医学教学研究(电子版)* 2016; 6(01): 9–12.