·教学研究·

医学统计学虚拟仿真实验平台建设和教学实践应用*

空军军医大学预防医学系卫生统计学教研室 特殊作业环境危害评估与防治教育部重点实验室(710032)
杨 鹏 谭志军 王 陵 杨 喆 张海悦 梁 英 张玉海△ 尚 磊△

【提 要】 目的 探索开发医学统计学虚拟仿真实验平台,帮助学生理解较抽象的医学统计学概念,评价平台在教学实践中的应用效果。**方法** 基于教学大纲和知识点,设计并开发医学统计学虚拟仿真实验平台。通过自编调查问卷,对2025年秋季学期学习医学统计学课程的1196名本科生和研究生进行调查,评价平台使用效果。**结果** 平台共包含13个仿真实验模块,46个虚拟仿真实验。调查结果显示,在5个维度17个评价项目中,平台总体评分均达到“同意”及以上水平,研究生整体评分(4.17±0.78)高于本科生(4.07±0.79)。得分最高的前五项依次为“愿意向同学推荐此平台”,“愿在后续学习与科研中继续使用”,“整体提升了学习兴趣与效率”,“能够将抽象概念与过程可视化降低理解难度”,“加深了对抽象统计方法的理解”。**结论** 虚拟仿真实验平台有效实现了抽象医学统计学概念与复杂过程的可视化,提升了学生学习兴趣与效率。

【关键词】 医学统计学 虚拟仿真 教学实践 教学效果
【中图分类号】 R195.1 **【文献标志码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2026.04.031

医学统计学课程存在较为抽象且不易理解的概念,如抽样分布、Ⅰ类错误与Ⅱ类错误及中心极限定理等[1]。单纯依靠公式推导和静态图表,学生难以形成直观认识。若借助交互可视化技术,将复杂统计学概念以形象、生动的方式呈现,有助于增强学生理解,提高教学效果,并促进学生的主动学习。

虚拟仿真技术是一种通过计算机模拟现实世界运行过程和规律,构建虚拟环境以促进知识理解的综合性技术[2]。该技术已广泛应用于多个领域并取得显著成效,如在卫生领域中的手术模拟、康复训练、解剖教学等[3-5]。然而,虚拟仿真技术在医学统计学教学中的应用仍较为有限,国外已有单位开发统计学虚拟仿真实验[6-8],但未涵盖医学统计学内容。国内部分高校已开发了较好的统计学虚拟仿真教学[9-11],但多集中在少数特定知识点,无覆盖医学统计学知识体系的综合性虚拟仿真实验平台。部分高校建设了医学统计学虚拟教研室[12-13],提升统计学教学效果,但其在组织形式、核心功能、应用场景上与虚拟仿真平台存在差别。

因此,我们构建了医学统计学虚拟仿真实验平台。该平台融合计算机虚拟仿真与可视化技术,以动态交互方式展示医学统计学授课过程中,学生和教师普遍认为较难理解的概念、公式和计算过程。通过教师课堂演示与学生课前、课后自主练习,帮助学生加深统计学理解,提升教学效果。

对象与方法

1. 平台构建技术与方法

医学统计学虚拟仿真平台由实验平台和虚拟仿真实验两部分组成。实验平台采用B/S架构,Web应用层基于Java 8开发,提供前端界面。虚拟仿真实验模块使用Unity WebGL技术开发,通过REST API与Web层交互。

2. 教学使用场景

平台使用主要有两个场景:一是教师在医学统计学课堂教学中,利用平台直观演示抽象较难理解的知识点,助力学生形象化理解,提升课堂授课效果。二是学生在课前预习和课后复习阶段,针对尚存疑惑的概念,可根据课堂内容自主在平台上进行操作和练习,深化知识点的理解与掌握。平台中每一个实验均要求学生课前完成预习,教师在课堂中针对性引用并讲解,课后以及考试前学生可根据自己的知识点掌握情况进行针对性复习。

3. 评价对象与方法

为评估虚拟仿真实验平台的使用效果,本研究对2025年秋季学期开设《医学统计学》课程的本科生和研究生共1196名学生进行了问卷调查。调查对象包括:本科生522人(涵盖临床医学、航空航天医学、口腔医学和预防医学专业)和研究生674人(包括学术型和专业型硕士)。采用自编教学评价问卷,通过问卷星平台发放,共收回有效问卷1196份,回收率为100%。

4. 使用效果评价方法

问卷调查内容涵盖平台的功能与内容设计、交互与操作体验、自主学习支持、学习成效与能力提升、总体满意度五个维度,共设17个单项选择题。采用Lik-

* 基金项目:陕西省研究生教育综合改革研究与实践项目(YJSZG2025194);空军军医大学教学研究课题(2024ZD08)
△通信作者:张玉海,E-mail:zhyh@fmmu.edu.cn;尚磊,E-mail:shanglei@fmmu.edu.cn

ert五级评分法，分值从1（非常不同意）到5（非常同意），得分越高表示认同度越高。具体条目详见表1。

结　果

1. 虚拟仿真实验平台

（1）平台整体结构和内容

医学统计学虚拟仿真实验平台共包含13个仿真实验模块和46个虚拟仿真实验（见表1）。13个仿真实验模块的名称分别为抽样设计、基础实验设计、随机化分组、临床实验设计、医学数据统计描述、统计图表制作、常用统计分布、均数组间比较、率的组间比较、非参数组间比较、相关与回归、随机数生成、蒙特卡洛模拟实验。

表1　医学统计学虚拟仿真实验平台仿真实验模块与虚拟仿真实验

序号	仿真实验模块	虚拟仿真实验
1	抽样设计	1. 抽样框编制实验，2. 完全随机抽样实验，3. 分层随机抽样实验，4. 整群抽样实验，5. 多阶段抽样实验
2	基础实验设计	6. 完全随机设计实验，7. 随机区组设计实验，8. 重复测量实验，9. 析因设计实验
3	随机化分组	10. 完全随机分组实验，11. 区组随机分组实验，12. 分层区组分组实验，13. 药物分配与盲法分组实验
4	临床实验设计	14. 样本量估计实验，15. 对照组选择实验，16. 盲法实验，17. 平行组设计实验，18. 交叉组设计实验
5	医学数据统计描述	19. 数据类型判断实验，20. 集中趋势描述与计算实验，21. 离散趋势描述与计算实验
6	统计图表制作	22. 统计表选择与制作实验，23. 统计图选择与制作实验
7	常用统计分布	24. 正态分布实验，25. 均匀分布实验，26. *t*分布实验，27. 卡方分布实验，28. *F*分布实验
8	均数组间比较	29. 单样本均数*t*检验，30. 两样本均数*t*检验，31. 多样本均数比较方差分析
9	率的组间比较	32. 两总体率组间比较检验，33. 配对设计总体率比较检验，34. 多个总体率比较检验
10	非参数组间比较	35. 两独立样本秩和检验，36. 两配对样本秩和检验，37. 多样本组间比较非参检验
11	相关与回归	38. 双变量回归实验，39. 双变量相关实验
12	随机数生成	40. 单变量随机数生成，41. 多变量随机数生成
13	蒙特卡洛模拟实验	42. 蒙特卡洛区间估计实验，43. 蒙特卡洛抽样分布实验，44. *t*检验蒙特卡洛模拟实验，45. 方差分析蒙特卡洛模拟实验，46. logistic回归蒙特卡洛模拟实验

（2）虚拟仿真实验示例

目前46个虚拟仿真实验均可通过完整的交互、动画、仿真技术，直观展示关键概念、操作流程及计算方法。例如，图1中的a、b、c、d分别展示了完全随机分组实验、区组设计实验、整群抽样实验和数据类型判断实验过程的界面截图。

图1a是完全随机分组实验的设计阶段界面。教师或学生可根据实验需求，自行设定小白鼠总数（如本例20只）及分组数量（本例4组），每组包含5只。设计方案确定后，系统通过五个步骤实现小白鼠随机分组，将笼子中的20只小白鼠完全随机分到A、B、C、D的4个框中。五个步骤分别为：①小白鼠编号，②小白鼠赋予随机数，③随机数排序，④排序结束并按方案分组，⑤分组完毕进行小白鼠分笼。

图1b是随机区组设计实验的第一个步骤称重界面，操作人员依次随机取出小白鼠称重（如第一只37.3g），记录后放回笼中，直至所有小白鼠完成称重后进入下一实验步骤。图1c是整群抽样实验的第三步界面，显示从基础医学院、临床医学院、公共卫生学院和护理学院四个整群抽出的25个班级人员，合并汇总后形成1010个抽样样本的截图。图1d是数据类型判断实验中的计数资料示例界面，场景中一名女士问一名男士“你的血型是什么？”，男士回答“B型”，通过此互动帮助学生结合实际情境加深理解血型作为计数资料的概念。

2. 平台使用效果评价结果

本研究通过调查问卷评估学生对平台使用效果，共收集本科生522份、研究生674份有效问卷，信度分析显示，Cronbach's α系数分别为0.920和0.927，表明问卷具有较高的内部一致性。表2数据显示，本科生和研究生在17个项目上总体评分均达到“同意”及以上（4.12±0.79）。整体来看，研究生评分（4.17±0.78）高于本科生（4.07±0.79）（Hotelling's Trace：F=9.724，P<0.05）。

17个评价项目中，得分最高的前五项依次为“Q17. 愿意向同学推荐此平台”（4.60±0.59），“Q16. 愿在后续学习与科研中继续使用”（4.38±0.70），“Q14. 整体提升了学习兴趣与效率”（4.35±0.69），“Q1. 平台能够将抽象概念与过程可视化，降低理解难度”（4.27±0.73），“Q11. 加深了对抽象统计方法的理解”（4.24±0.74）。得分相对较低的后三项分别是“Q5. 平台运行稳定、响应迅速，操作流畅无卡顿”（3.85±0.82），“Q13. 锻炼了统计思维与数据分析能力”（3.86±0.82），“Q10. 对作业完成与考试准备有切实帮助”（3.86±0.79）。



图1 虚拟仿真平台部分仿真实验截图

表2 虚拟仿真实验平台使用效果评价

维度	项目	合计（n=1196）	本科生（n=522）	研究生（n=674）
A. 功能与内容设计	1. 平台能够将抽象概念与过程可视化，降低理解难度	4. 27±0. 73	4. 26±0. 71	4. 28±0. 74
	2. 平台各实验目标明确、流程设计清晰	4. 08±0. 79	3. 93±0. 81	4. 20±0. 76*
	3. 46个仿真实验能覆盖课程核心与难点内容	4. 03±0. 78	4. 02±0. 81	4. 04±0. 76
D. 交互与操作体验	4. 平台界面友好、功能标识清晰，实验易于理解与操作	4. 12±0. 76	4. 07±0. 74	4. 15±0. 78*
	5. 平台运行稳定、响应迅速，操作流畅无卡顿	3. 85±0. 82	3. 81±0. 84	3. 89±0. 81
	6. 平台提供必要的帮助信息，便于独立使用	4. 13±0. 77	4. 09±0. 78	4. 15±0. 76
B. 自主学习支持	7. 课前预习能帮助建立抽象内容初步直观印象	4. 05±0. 78	4. 05±0. 79	4. 05±0. 77
	8. 课后操作能巩固和加深疑难知识理解	4. 07±0. 82	4. 11±0. 81	4. 04±0. 82
	9. 能脱离教师指导在平台进行有效自主学习	3. 96±0. 80	3. 94±0. 81	3. 97±0. 79
	10. 对作业完成与考试准备有切实帮助	3. 86±0. 79	3. 73±0. 74	3. 96±0. 82*
C. 学习成效与能力提升	11. 加深了对抽象统计方法的理解	4. 24±0. 74	4. 23±0. 73	4. 25±0. 75
	12. 增强了解决实际统计问题的信心	4. 03±0. 78	3. 90±0. 83	4. 14±0. 72*
	13. 锻炼了统计思维与数据分析能力	3. 86±0. 82	3. 83±0. 78	3. 88±0. 84
	14. 整体提升了学习兴趣与效率	4. 35±0. 69	4. 24±0. 67	4. 43±0. 69*
E. 总体满意度	15. 平台是本课程不可或缺的教学辅助工具	4. 18±0. 78	4. 14±0. 78	4. 22±0. 79*
	16. 愿在后续学习与科研中继续使用	4. 38±0. 70	4. 23±0. 74	4. 50±0. 64*
	17. 愿意向同学推荐此平台	4. 60±0. 59	4. 59±0. 59	4. 60±0. 59
	合计	4. 12±0. 79	4. 07±0. 79	4. 17±0. 78

*：P < 0.05，研究生 *VS* 本科生

讨 论

医学统计学虚拟仿真平台已成功部署于大学校园网，累计登录超1. 3万人次，实验时长逾2300小时，相关成果获11项计算机软件著作权。教学实践和学生问卷调查表明，平台有效实现了抽象医学统计学概念与复杂过程的可视化，提升学生学习兴趣与效率。平台具备良好的交互性与操作体验，支持学生自主学习，学生的总体满意度较高，多数学生愿意在后续学习和科研中继续使用并愿意推荐该平台。平台能够提升抽象知识理解和学习兴趣的主要原因在于，平台符合基于多媒体认知理论[14]优化统计学信息加工效率，并结合情境学习理论[15]重构统计学知识使用的应用情境，两者协同既降低了抽象统计概念的认知门槛，又赋予学习过程真实的医学意义，促进深层理解与持久兴趣的形成。例如，医学统计学中的核心概念（如抽样分布、置信区间、中心极限定理）较为抽象，传统教学多依赖文字定义和静态数学公式（单通道输入），学生难以建立直观印象。平台可通过动态可视化技术，将抽象概念转化为图形和动画，这种文本解释与动态图像的双通道输入，助力学生构建稳固的视觉表征，提升对复杂数理逻辑的理解能力。

医学统计学教学实践表明，虚拟仿真实验平台要实现最佳的教学效果，必须与课堂理论讲解紧密结合，避免完全脱离课堂独立开展。因为仿真实验只是掌握统计学理论和方法的桥梁和催化剂，无法完全代替教师的系统讲授。因此，建议在开展虚拟仿真实验前，进行充分理论知识的铺垫，并辅以实验后的总结

与反思，构建理论讲授、实验操作与深度反思相结合的闭环教学模式。

问卷调查显示，本科生与研究生均表现出较高满意度，但研究生整体得分高于本科生。两类学生在医学统计学的基础水平、学时安排、课程难度及考试难度方面存在差异：研究生因本科阶段已系统学习该课程，整体基础较好。虽然研究生课程学时为60学时，高于本科生的40学时，而且课程难度和考试难度比本科生高，但是研究生对平台的满意度反而更高，主要原因是研究生对统计学实验设计和数据分析的关注度更高。此结果与我们教学实践观察基本一致：研究生医学统计学课程结束后迅速投入科研，需直接应用统计的理论与方法，因而在课堂纪律、反馈、软件实习、作业及考试等方面表现更积极，学习效果更佳。问卷中“平台运行稳定、响应迅速，操作流畅无卡顿”得分较低，主要因各实验模块作为独立的服务单元，对硬件配置和网络带宽要求较高，低配置设备易导致运行迟缓和卡顿，后续将优化技术架构以提升性能。“锻炼了统计思维与数据分析能力”评分偏低，反映部分实验的设计较为简单，整体实验体系尚不完善，后续将继续优化和丰富。下一步，我们还将拓展高级医学统计学内容，同时，计划将平台全面接入互联网，实现平台的大范围应用，提升使用效率。

参　考　文　献

[1] 尚磊. 医学统计学[M]. 北京：高等教育出版社, 2022.

[2] Merchant Z, Goetz ET, Cifuentes L, et al. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis[J]. Computers & Education, 2014,70:29-40.

[3] 王文聪, 孙龙, 周峰, 等. 基于光滑粒子流体动力学算法的虚拟手术血雾仿真模拟方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2025,46(7):1398-1404.

[4] 孙天虹, 王楠. 基于虚拟现实技术的运动游戏治疗脑瘫儿童上肢功能有效性的meta分析[J]. 中国卫生统计, 2025,42(4):574-579.

[5] Zhao J, Xu X, Jiang H, et al. The effectiveness of virtual reality-based technology on anatomy teaching: a meta-analysis of randomized controlled studies[J]. BMC Med Educ, 2020,20(1):127.

[6] Rossman AJ, Chance BL. Using simulation - based inference for learning introductory statistics[J]. WIREs Computational Statistics, 2014,6(4):211-221.

[7] Krause UM, Stark R, Mandl H. The effects of cooperative learning and feedback on e-learning in statistics[J]. Learning and Instruction, 2009,19(2):158-170.

[8] Tintle N, Chance B, Cobb G, et al. Combating Anti-Statistical Thinking Using Simulation-Based Methods Throughout the Undergraduate Curriculum[J]. American Statistician, 2015,69(4):362-370.

[9] 沈思鹏, 蒋涛, 柏建岭, 等. 生物医学数据挖掘课程虚拟仿真教学的实践与思考[J]. 中国卫生统计, 2025,42(5):786-789.

[10] 曾庆, 钟晓妮, 彭斌, 等. 基于Web计算平台的《医学统计学》教学改革实践[J]. 中华医学教育探索杂志, 2016,15(6):633-636.

[11] 潘军, 马登哲, 范秀敏, 等. 基于仿真的虚拟设计中的统计回归与优化研究[J]. 计算机集成制造系统, 2004,10(4):404-409.

[12] 曾芳芳, 陈雯, 张晋昕, 等. 医学统计学虚拟教研室建设的思考与探索[J]. 高校医学教学研究, 2022,12(3):13-16.

[13] 许林勇, 赵晓华, 杨土保, 等. 基于国家精品课程医学统计学网络平台教学改革的探索[J]. 中国现代医学杂志, 2010,20(11):1749-1752.

[14] Paas F, Sweller J. An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks[J]. Educational Psychology Review, 2011, 24(1):27-45.

[15] Priambodo AP, Nurhamsyah D, Lai WS, et al. Simulation-based education promoting situation awareness in undergraduate nursing students: A scoping review[J]. Nurse Educ Pract, 2022, 65:103499.

（责任编辑：林美艺）

（上接第636页）

参　考　文　献

[1] 钱芳, 周向红, 唐扣明. 上海区县卫生资源配置效率比较研究[J]. 上海医药, 2014, 35(1): 3.

[2] 范霖杰, 李瑞锋, 张欣雨, 等. 基于DEA法的“十三五”时期我国中医医院卫生资源配置效率评价[J]. 中国医院管理, 2022, 42(10): 39-43.

[3] 连瑜. 随机前沿函数方法在卫生服务效率评估中的应用[J]. 财经界, 2015(15): 173.

[4] 于志慧, 冯宜强. 基于随机前沿分析(SFA)的安徽省绿色金融发展效率研究[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2018, 37(4): 70-75.

[5] 马宗庆,陈坤,徐伟锋. 基于Tobit回归模型的脑卒中患者住院费用水平及其影响因素分析[J]. 中国卫生统计,2025,42(5):760-763.

[6] 李望晨. 基于DEA模型的卫生资源配置相对效率评价研究[J]. 中国卫生统计, 2014, 31(2): 3.

[7] 张杰, 唐小芬, 梁秋瑜, 等. 2012—2020年广西乡镇卫生院卫生资源配置效率评价：基于DEA和SFA方法[J]. 卫生软科学, 2022, 36(8): 50-55.

[8] 周丽婷. 江苏省医疗卫生资源配置的效率及其影响因素研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨商业大学, 2022.

[9] 陈天培, 周子琛, 田庆丰. 基于DEA的河南省社区卫生服务中心运行效率分析[J]. 中国卫生事业管理, 2014, 31(2): 97-99.

[10] Porembski M, Breitenstein K, Alpar P. Visualizing Efficiency and Reference Relations in Data Envelopment Analysis with an Application to the Branches of a German Bank [J]. Journal of Productivity Analysis, 2005, 23(2): 203-221.

[11] Proceedings of DEA45: International Conference on Data Envelopment Analysis. Advances in the Theory and Applications of Performance Measurement and Management [M]//Ashkiani S. DEA-Viz: A Software for Visualization of Data Envelopment Analysis Problems. Switzerland: Springer Nature, 2019: 315-325.

[12] Zhang Z, Li J. Big Data Mining for Climate Change [M]. Amsterdam: Elsevier, 2020.

[13] Wu X, Zhang Y, Guo X. Research on the Equity and Influencing Factors of Medical and Health Resources Allocation in the Context of COVID-19: A Case of Taiyuan, China [J]. Healthcare (Basel, Switzerland), 2022, 10(7): 1319.

[14] 夏洁, 夏苏建, 朱穗. 广州市卫生资源配置效率状况及其影响因素[J]. 医学与社会, 2023, 36(12): 14-19.

[15] Liu T, Li J, Chen J, et al. Regional Differences and Influencing Factors of Allocation Efficiency of Rural Public Health Resources in China [J]. Healthcare (Basel, Switzerland), 2020, 8(3): 270.

（责任编辑：郭海强）