·教学改革·

医用物理学实体教学模型研制与应用——以血流动力学为例

康皓博[1]　乔丽华[2]　田会[2]　胡雅蕊[1]　李竟哲[1]　郝晨汝[2]
[1]河北医科大学基础医学院，石家庄　050011；[2]河北医科大学医学影像学院，石家庄　050011
通信作者：乔丽华，Email：qlihuaqiao@126.com

【摘要】 血流动力学是流体力学的一个分支，主要从力学角度研究循环系统的生理过程，在医学中有着广泛的应用。为帮助医学专业的学生更加直观、形象地掌握血流动力学的知识，通过制作实体教学模型，向学生展示流体层流、湍流及红细胞轴向集中等现象，并通过调查问卷对学习效果进行验收。运用实体模型进行教学后，学生求知兴趣浓厚、知识理解得更加深入透彻。由此可见，实体教学模型在授课过程中起到了重要作用。

【关键词】 血流动力学；　实体模型；　应用
【中图分类号】 R312
基金项目：河北医科大学大学生创新实验基金资助项目（USIP2019042）；河北省高等教育学会高等教育科学研究课题（GJXH2019-158）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200417-00482

初级阶段，所以不论是网络的建设、教师应用的熟练程度，还是学生的利用程度都有待提高。首先在网络平台的建设上，还存在个别浏览器不兼容，手机端容易出现闪退等现象，在一定程度上给教师和学生的应用造成不便。其次，教师短时间内还不能完全熟练掌握 Blackboard 网络教学平台提供的全部模块和功能，有时还存在对于学生的反馈不及时的情况，还需要在教学过程中进一步探索并不断完善。最后，对于线上线下混合教学方式，一部分学生对 Blackboard 网络教学平台的应用还不能很快适应。另外，仍然存在部分学生不能有效地进行课前学习、课后作业、课后讨论。这就需要建立完善的监督机制或提醒功能以完善教学。

4　结语

本研究对传统课堂教学与基于 Blackboard 网络教学平台的混合式教学方法进行了设计、探讨，旨在充分利用“互联网+”环境下信息技术的优势，拓展教学空间，激发学生的积极性，提高其自主学习能力，将教学效果最大化。线上教学与线下教学相结合的混合式教学设计符合时代发展趋势，对混合式基础化学教学具有实践、借鉴意义。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突
作者贡献声明　郝靓：提出研究方案、线下课程讲授、线上互动、论文撰写；刘国杰：线上资源制作和上传；马勇：研究方案指导、论文审阅；王洋：问卷设计、数据统计和分析

参考文献

[1] 杨婷. 构建互联网时代大学生深度学习的课堂教学平台[J]. 东华理工大学学报(社会科学版)，2019，38(3)：289-293.
[2] 马婷. 基于“课立方”网络平台的翻转课堂在护理学基础教学中的应用[J]. 卫生职业教育，2019，37(21)：89-90.
[3] 张坤，闫宏宇，梁果，等. 适合混合式学习模式的教学视频资源库的设计[J]. 基础医学与临床，2019，39(8)：1217-1220. DOI: 10.3969/j.issn.1001-6325.2019.08.029.
[4] 张忠双，刘政江，曾佳，等. 基于 Blackboard 网络平台的基础医学混合式教学模式的实践研究[J]. 中国校外教育，2019(4)：75，83. DOI: 10.3969/j.issn.1004-8502.2019.04.052.
[5] 郝靓，李晓娜，马勇，等. 医学院校留学生基础化学实验混合式教学效果研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2017，16(3)：265-268. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2017.03.012.

（收稿日期：2020-03-25）
（本文编辑：曾玲）

The creation and application of entity teaching model of medical physics—taking hemodynamics as example

Kang Haobo[1], Qiao Lihua[2], Tian Hui[2], Hu Yarui[1], Li Jingzhe[1], Hao Chenru[2]

[1]Department of Basic Medical Sciences, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China; [2]Department of Medical Imaging, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China

Corresponding author: Qiao Lihua, Email: qlihuaqiao@126.com

【Abstract】 Hemodynamics is a branch of fluid mechanics, which mainly studies the physiological process of circulatory system from the perspective of mechanics, and has a wide range of applications in medicine. The entity teaching model is made to help medical students master the knowledge of hemodynamics more easily and intuitively by showing them the phenomenon of laminar flow, turbulence and axial concentration of red blood cells. And then we check their learning effect by questionnaires. Students are interested in the entity teaching model that the teacher has used in the class. Thus, the entity teaching model can play an important role in the teaching process.

【Key words】 Hemodynamics; Entity model; Application

Fund program: Innovation Experimental Fund for College Students of Hebei Medical University (USIP2019042); Higher Education Science Project of Hebei Institute of Higher Education (GJXH2019-158)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200417-00482

流体力学是力学的一个独立分支，主要研究流体的平衡和流体的机械运动规律及其在工程实际中的应用[1]。血流动力学是流体力学的一个分支，是指血液在心血管系统中流动的力学，主要研究血流量、血流阻力、血压及其之间的相互关系[2]。血液是一种流体，血流动力学也遵循流体力学的基本规律。但血液是由血细胞和胶体物质等多种成分构成的流体，而非理想流体；血管是较复杂的弹性管道而不是刚性管道。因此，血流动力学既符合一般流体力学的共性，又具备其自身的特点。

将一段血流稳定的血管作为研究对象，血液稳定流动时，血液中每个质点的流动方向一致，与血管走行方向相同；但各质点的流速不同，血管轴心处流速最快，越靠近血管壁流速越慢。将同一条直径上各个质点的速度矢量图终点相连，可以得到一条标准的抛物线。常用无量纲的雷诺数 *Re* 判断层流与湍流。血流速度过快、血液过于稀薄或者血管结构改变时，血流状态即可能由层流过渡到湍流，湍流的出现与循环系统疾病的发生密切相关。

流体力学与血流动力学作为医学物理学课程中的重要内容，在为学生的医学专业课打下良好基础、帮助学生养成良好学习习惯中起着举足轻重的作用。然而，在授课过程中“流管”“流线”“流层”等概念对于学生来说是抽象的。另外，学生在数学知识不足的情况下，理解泊肃叶定律的推导也有一定难度。医用物理学教学中存在学生学习主动性不高、概念规律学习囿于纸面、知识内化吸收程度低等问题[3]。因此，教师需要一种教学方法把医学物理学中抽象、繁杂的问题简单化，帮助学生更加直观、形象地掌握知识，培养学习兴趣。国内虽然有教师在将计算流体力学(CFD)[4]、粒子图像测速(PIV)[5]等技术运用到教学中，然而无论是图像动画，还是测量得到的数据，都没有实物形象直观。目前少见关于构建血流动力学实体教学模型的研究，以及实体模型在教学过程中的具体应用。本文系统地介绍了血流动力学实体教学模型，并对教学效果进行分析，现报道如下。

1　实验材料与方法

1.1　实验材料

实体教学模型主体由亚克力板制作而成。蓄水装置为棱长 17 cm 的立方体形蓄水池；中间由纵深板隔开，形成连通器样结构；6 cm 长、2 cm 高的开口平滑承接轨道，轨道初始平缓，而后出现较为陡峭的坡形。

不同浓度的甘油模拟血浆；取少量灌注液，滴加其体积 2%左右的颜料配成有色甘油(下文称“指示液”)，以指示层流湍流。指示液和灌注液浓度几乎相同，较大程度地减少了指示液的扩散。实验团队经过多次探索，决定用纯甘油和相应有色指示液展示层流(图 1)，用 15%甘油溶液和相应有色指示液展示湍流(图 2)。红细胞的代替物由硅胶做成，双凹圆盘状，与红细胞极其相似，在 80%的甘油溶液中有明显的旋转与集中现象(图 3)。

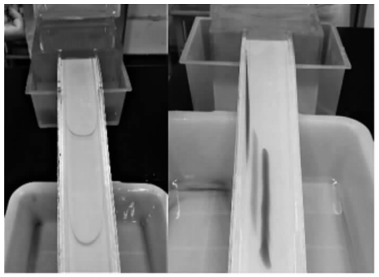


图 1　层流



图 2　湍流



图 3　轴向集中

1.2　方法

1.2.1　实验操作准备

采用重力灌注法，手持方形水槽将灌注液倒入水槽中。为保证流体供应尽可能稳定，先加入稍过量的溶液，让溶液占满立方体蓄水池而自然溢出。尤其是在展示层流时，分别使用三色指示液滴加法和单色指示液划线法(图 1)充分证明并展示了层流现象。

1.2.2　当堂演示与问卷调查

根据教学安排，分别在口腔麻醉专业和预防妇幼专业两个班级展示该血流动力学模型，以帮助学生理解第二章流体里“泊肃叶定律”和“红细胞轴向集中”等知识点。

首先，按照标准授课方式对知识进行理论讲解。对于黏性流体的运动状态及其规律，先介绍层流、湍流的概念及其特点；再引入可以定量判断黏性流体运动状态的雷诺数 *Re*；最后根据牛顿黏滞定律，结合高中物理所学的平衡力等知识列出方程推导泊肃叶定律。由于学生数学课还没学过微积分，理解公式的推导过程有一定难度。对于红细胞轴向集中，主要通过伯努利方程定性理解流速和压强的关系，从而推导出红细胞向血管轴心处聚集的结果。

随后，向学生展示预先录制的实验视频和随身携带的实体模型。对模型的基本构造和流体成分、灌注方法进行简要介绍后开始播放视频，在层流(图1)、湍流(图 2)和红细胞轴向集中(图 3)等关键点处暂停视频，结合前面所学理论知识详细讲解。大多数学生，尤其是那些无法理解烦琐的推导过程的学生，普遍表示该模型为之带来了良好的视觉体验。

当堂发放问卷，统计学生在接受模型教学前后对于知识的掌握情况，并调查学生对实体模型教学的兴趣及对物理课堂教学改革的看法。

1.2.3　课后观摩与操作

课后约 40 名学生愿意进一步了解模型的构造和使用，在实验室进行零距离观察并亲身操作。

由于学生并没有参与模型的探索和制作，他们在操作时很难一次成功；然而对不同的倾倒方法的尝试、对滴加甘油时机的选取，正是其深入理解层流湍流特征、构想红细胞运动状态的过程。

同时，与学生讨论的一系列与流体力学相关的医学知识也对激发学生求知欲、开拓其思路起到了积极作用。例如：炎症时机体通过改变血流动力学特征使白细胞渗出血管到达感染部位的过程，包含了对于血流阻力、雷诺数等物理量的定性分析，可以让学生体会到学以致用的魅力；通过了解听诊呼吸音，学生会发现层流、湍流的原理不仅体现在血流上，对于呼吸道气流同样适用，由此教会他们在学习过程中举一反三、融会贯通。

2　结果

334 名学生的问卷全部回收，对学生的知识掌握情况进行分析。绝大多数学生对实体教学模型持肯定态度；与理论推导相比，学生对不同知识点的理解及应用的情况均有所改善。

2.1　整体兴趣偏好

关于学生对于实体教学模型的兴趣，99.1%的学生(331 人)认为实体教学模型可以不同程度地激发学习兴趣，其中 27.25%(91 人)认为可以强烈激发学习兴趣。有 0.9%(3 人)认为不能激发学习兴趣。

2.2　具体知识点掌握情况

87.52%的学生(296 人)认为这种实体教学模型有助于他们理解“黏性流体运动”的知识点，其中 34.43%的学生(115 人)认为公式推导和实体模型都好理解。但仍有 9.28%的学生(31 人)更倾向于接受公式推导的教学方式。另有 2.1%的学生(7 人)认为两种方式进行教学后，自己仍未理解知识点。

图 4 是学生对黏性流体应用即红细胞轴向集中的统计分析。以知识点“红细胞轴向集中”为例，分别对学生学习层流、湍流、红细胞轴向集中知识点实体模型学习前后的掌握情况进行量化打分。

采用秩和检验法对每一位学生接受实体模型教学前后的掌握情况进行综合分析。结果表明进行实体模型教学后，学生的掌握情况得到改善($P<0.001$)。

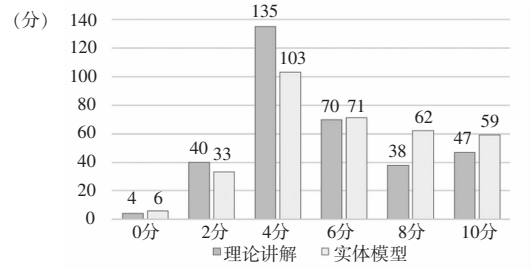


图 4　知识点“红细胞轴向集中”掌握情况

3　讨论

通过分析学生对于实体教学模型的整体偏好发现，对于大多数学生来说，运用实体教学模型不仅使知识更加简单易懂，更能够充分地激发学生的学习兴趣。然而，不能忽视问卷中体现出有 0.9%（3 人）认为实体教学模型不能激发学习兴趣的事实。除却可能存在的误答，实验团队应该在模型高度仿照生物体内血管、全真模拟血浆、装置一体化等方面做进一步的改进，使学生能够透过模型充分联想生物体内的血管，争取让模型得到全票的满意度。

进一步评估学生对具体知识掌握情况的主观感受，详细对比学生接受实体模型教学前后掌握程度的量化打分。以知识点“红细胞轴向集中”为例，从图 4 可以看出，停留于 4 分的学生数量明显减少，而较好地掌握本知识点（8 分及以上）的学生数量显著增加；将全部学生的自我打分进行统计学分析，所得结果也充分证明模型教学的有效性。当然，一些学生认为理论讲解和实体模型都好理解知识点，在理论讲解后其掌握程度已经较好。但仍有部分学生更倾向于接受公式推导的教学方式，甚至认为两种方式进行教学后，自己仍未掌握知识点。由此可见，需要兼顾以公式推导、理论解释为主的传统教学和以观察操作为特色的新型教学，将两者有机结合，探索出更适合医科院校的物理教学方法。

此外，由于初次试验对问卷的把控不够严格，部份问卷出现了运用实体模型后分数无上涨，甚至下降的不利结果。因此以后可以采用更加清晰明了的提问方式，学生可以在填答过程中直观地自行对比接受实体模型教学前后的分数差距，从而提高问卷的信度。

国内物理教学的“模型”屡见不鲜，但共同的特色是理想化、为解题而生，而实体教学模型的制作相对欠缺。因此学生对于模型的认知总是停留于理想状态和抽象的口头传授。国内在中学阶段有一些类似于模型的“教具”，但在偏重应试的教育体制下发展接近停滞，大多逐渐老套过时。本科教育阶段，理工专业的物理较为高深，有一些比较先进的仪器，并不具备简单易懂的优点。医学是研究人体生命与疾病的自然科学，物理学是自然科学的基础。但许多医学生轻视物理的学习，有些人甚至认为物理和医学无关。由此可见，制作生动形象、贴近生活而又简单易懂的实体教学模型对于医用物理学的教学至关重要。本研究以血流动力学为例研究并制作模型并运用到教学中，深受教师的认可和学生的欢迎，并获得本校“基础医学创新研究暨实验设计大赛”一等奖，代表学校到全国参赛获得二等奖。

血流动力学是医学物理学的重要内容之一，它可以解释血细胞轴向集中、炎症白细胞游出血管等一系列生理、病理过程，为测量血压、听诊等诊断学方法提供理论支持。流体力学原理不仅可以解释血液循环过程中的物理现象，还可用于探讨通过肺部的空气流动、关节润滑、眼内房水循环、肾脏运输等环节的生理、病理过程[6]。当医务工作者充分掌握血流动力学的基本原理后，可以帮助患者更好地诊断、治疗和预防疾病。血流动力学起源于医学研究之中，符合一般流体力学规律，它的发展必将为生命科学和医学的进步提供新的机遇。

团队在日后的工作中还可以研制与“肺泡表面张力”“细胞生物电”“药物在体内代谢过程”等医学现象相应的实体模型。以此帮助学生更好地掌握医学现象背后的物理原理，培养缜密的逻辑思维，为进一步学习医学知识打下良好的物理基础；引导他们寻找适合自己的学习方法，养成良好的学习习惯，为祖国医学事业的发展培养新一代的人才。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明　康皓博：提出论文构思、撰写论文；乔丽华：总体把关，修改、审订论文；田会：进行模型教学实践；胡雅蕊、李竟哲、郝晨汝：全程参与

参考文献

[1] 刘建军, 张宝华. 流体力学[M]. 北京：北京大学出版社, 2006：1.
[2] 王庭槐. 生理学[M]. 北京：人民卫生出版社, 2018：85-146.
[3] 秦丹, 闫鹏, 邢娟, 等. 医用物理学对分课堂教学模式探索[J]. 中华医学教育探索杂志, 2017, 16(5)：459-462. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2017.05.006.
[4] 郗艳红. 本科流体力学课程中引入 CFD 内容的探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2019, 28(4)：85-89. DOI: 10.11835/j.issn.1005-2909.2019.04.014.
[5] 郭春雨, 孙聪, 赵大刚, 等. PIV 流场测量技术在实验教学中的应用[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(3)：218-221. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2019.03.051.
[6] Rubenstein DA, Wei Y, Frame MD. Biofluid mechanics [M]. America: Academic Press, 2016: 1.

（收稿日期：2020-04-17）
（本文编辑：曾玲）