

蒋亚君, 荣蓉, 刘晓宇, 等. 教学中动物实验替代方法应用进展 [J]. 中国比较医学杂志, 2020, 30(7): 133-138.
Jiang YJ, Rong R, Liu XY, et al. Alternatives to the use of experimental animals in education [J]. Chin J Comp Med, 2020, 30(7): 133-138.
doi: 10.3969/j.issn.1671-7856. 2020. 07. 019

教学中动物实验替代方法应用进展

蒋亚君, 荣蓉, 刘晓宇*, 卢选成

(中国疾病预防控制中心实验动物中心, 北京 102206)

【摘要】 1959 年英国动物学家 W.M.S.Russell 和微生物学家 R.L.Burch 提出替代、减少和优化的“3R 原则”。其中替代是开展动物实验时首要考虑的原则。本文综述了国际和我国教学中实验动物替代方法应用现状, 对目前可用替代方法包括模型、道具和机械模拟器; 胶片和视频教学; 虚拟仿真实验系统以及 3D 打印技术等进行了介绍, 对于如何在我国切实推动教学领域动物替代方法, 提出了须提高重视、储备技术以及保证经费等建议。

【关键词】 教学实验动物; 实验动物替代; 实验动物福利

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2020) 07-0133-06

Alternatives to the use of experimental animals in education

JIANG Yajun, RONG Rong, LIU Xiaoyu*, LU Xuancheng

(Center for Experimental Animals, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China)

【Abstract】 In 1959, the British zoologist Russell and the microbiologist Burch proposed the “Three R principles,” which are replacement, reduction, and refinement. Replacement is the first principle to consider when conducting animal experiments. Here, we review the current state of the application of the principle of replacement to the use of experimental animals in international and domestic education, specifically through the use of models, props, and mechanical simulations, as well as film- and video-based teaching. Virtual (simulation) experimental systems and 3D printing technology are briefly introduced and analyzed. We also provide some suggestions based on the following three aspects: increasing attention, reserving technology, and guaranteeing funds. The aim of this paper aims is to put forward some suggestions on how to replace experimental animals with other alternatives in education in our country and how to pay more attention to this important issue.

【Keywords】 experimental animals in education; replacement of laboratory animals; experimental animal welfare

全世界每年有超过 1 亿只动物用于开展实验^[1], 涉及科学研究、教学、生产、检定以及其他科学实验等多个领域, 对科学发展有不可替代的作用。与此同时, 国际上强调实验研究必须有伦理正当性并遵守“3R”原则 (reduction, replacement, refinement)^[2]。目前, 体外替代方法在基础研究中发挥重要作用, 很多替代方法已被证实更科学、经济和迅速, 并获得广泛应用^[2-3], 通过跨学科领域之间的积极合作, 实验动物替代方法、技术的验证及研发仍在快速发展中^[4-6]。教学领域的动物实验由于其特殊性, 采用其他方法替代的可行性更高, 并且这些替代方法的优势在一些国家和地区已得到

【基金项目】 CCDC 科研项目 (JY18-2-06)。
【作者简介】 蒋亚君 (1993—), 女, 本科, 主要从事兽医公共卫生研究。E-mail: jundex@163.com
【通信作者】 刘晓宇 (1979—), 女, 博士, 副研究员, 主要从事实验动物科学, 实验动物福利研究。E-mail: liuxy1@chinacdc.cn

证实。故本文就教学中实验动物的替代方法进行介绍和分析,以期为我国教学中实现实验动物部分替代提供参考。

1 概述

1.1 实验动物使用和实验动物福利

自远古时代,人类就开始通过动物来认识生命现象,动物解剖是生物学最早的组成部分。公元前,古希腊自然哲学家德谟克利特对各种动物进行系统解剖,将动物初步分为有血动物和无血动物。1859 年达尔文提出进化论后,通过动物实验进行人类相关知识的研究方法逐步完善^[7]。目前,实验动物已广泛用于科研、检测 and 教学等领域,为科学发展做出巨大贡献。自上世纪中期以来,随着经济发展和道德水平提高,实验动物福利得到日益重视。英国、美国、澳大利亚等发达国家建立了完善的动物福利法律体系^[8],而我国在实验动物福利方面起步相对较晚,2006 年 9 月颁布的《关于善待实验动物的指导性意见》是我国首个针对实验动物福利的政府性文件^[9]。

实验动物的整个生命周期都受人为控制,因此保证其福利是我们的基本责任^[10-11]。研究证明,实验动物福利影响动物的心理和生理健康,对实验研究结果的准确性和可靠性会产生较大影响^[12];同时,重视研究和教学中的动物福利,有利于培养具有人道主义精神和科研素养的专业人员^[13]。故无论基于道德要求抑或是科学研究要求,都应重视动物福利伦理,落实“3R”原则。

1.2 教学中动物实验替代的必要性及可行性

在教学中,实验动物常用于观察生理现象、练习外科技术、解剖^[14]等方面,主要用于学习人类已知理论或锻炼操作技能。从使用动物的必要性和“3R”原则出发,教学中有必要使用替代方法,且在方法和手段上可行性比科研用实验动物替代更强。

1.2.1 由教学目的决定

教学的目的主要是让学生深刻理解相关专业课程内容及其原理。涉及的动物实验主要为验证性实验和操作性实验训练^[15]。因此,完全可通过下文介绍的视频教学、模型练习、虚拟仿真技术等多种方法替代。

1.2.2 由培养人才的要求决定

在教学中提高动物福利意识、替代动物实验,有利于学生建立正确的对待有生命动物的态度。

在我国,由于教学用实验动物福利伦理工作管理薄弱,屡有虐待实验动物事件发生,故在高校中加强实验动物福利管理工作,在课程设置中落实“3R”原则刻不容缓。另一方面,有学者通过对学生态度的调查显示,部分学生对教学中是否需要大量实验动物表示怀疑,多数学生对于使用电脑辅助学习持支持态度^[16]。因此基于以上两方面,替代实验动物符合现实的要求。

1.2.3 科技发展使实验动物替代成为可能

一方面互联网的快速发展,大幅度提高资源的共享性。通过国际实验动物替代网站,可搜寻适用的替代方法信息。此外,互联网所衍生的虚拟现实技术、影音资料等都是良好的实验动物替代方法。另一方面实体经济的快速发展,使替代用具的生产更加精细化和专业化,在提升质量的同时降低成本,为仿真教具的普及奠定了良好基础。在教学中结合使用线上和线下技术,可一定程度上替代实验动物的使用。

2 国内外教学中实验动物使用情况

2.1 国际上教学实验动物使用

据估计在世界范围内,每年用于教学的动物数量约 1000~1500 万只^[12]。随着科学技术、伦理道德的发展,很多国家都有意识减少教学用动物数量^[17]。

1998 年,欧洲替代方法验证中心(ECVAM)就对高等教育中减少使用动物及替代方法进行了研究,阐明教学用实验动物的使用概况、替代的必要性,并对替代方法进行了详细的介绍^[14]。2011 年全美仅有 7 所医学院使用动物进行外科实验教学,在 2016 年 6 月美国和加拿大最后一所在教学过程中使用活体动物进行实验教学的医学院也宣布不再使用动物。在亚太地区,印度很重视高等教学中替代方法的应用。2013 年,印度药房理事会和印度牙科理事会要求各成员大学停止在其各自学科中使用动物进行培训^[18];2014 年,印度医学委员会要求在临床医学课程中使用计算机辅助学习替代动物进行生理学和药理学培训^[18]。巴西于 2008 年开始进行动物研究的监管;2014 年,其国家动物实验控制委员会制定好一个框架,以扩大研究教育中动物的替代^[19]。

2.2 我国教学用实验动物使用

在我国高校中,医学、生物学、药学、动物科学等专业领域的实验教学中,都涉及到动物实验教

学^[20]。据不完全统计,我国每年在教学中所用的动物数量不低于 100 万只^[12]。在医学、动物学等学科快速发展的同时,教学用实验动物的使用数量也急剧增加,但相关管理制度却存在缺失。开展动物实验的人员因无知、疏忽导致伤害实验动物的情况仍然存在^[21]。2015 年,西安某医学院发生实验用狗遗弃、虐待事件,就是实验动物福利意识不够和管理疏忽导致的。

全社会爱护动物意识的显著提高,为提高实验动物福利创造了良好的外部环境。2015 年,郑亚楠^[22]等对赣南医学院 200 名临床医学、预防医学的学生进行调查,结果显示,大部分学生富有同理心,认为应该针对虐待、故意伤害实验动物等这些不良行为设立相应的法律法规。我国高校也开始着手优化课程,尽量在实验设计中考考虑“3R”原则^[9,15,20,23-25]。但我国动物实验替代方法的发展刚刚起步,替代研究不多,缺乏系统化的建设^[26],尤其针对教学中的替代方法,仍有待积极探索,寻求更好的方法。

3 教学中替代实验动物的方法

目前有多种可在教学中替代实验动物的资源及方法^[27]。

3.1 模型、道具和机械模拟器

模型、道具和机械模拟器是指可对真实事物或过程进行虚拟演示,用于辅助教学、帮助学生理解的器物^[28]。兽医仿真教具按照类型可分为标本模型类和操作训练类两大类,标本模型类仿真教具包括仿真动物骨骼标本和仿真动物器官标本,主要应用于兽医解剖学课程教学演示环节^[29]。这类教具在国内动物医学专业课堂教学过程中也有应用^[30],如专业的人体骨骼模型(头骨模型、关节模型)、各循环系统模型(消化系统、呼吸系统、泌尿及生殖系统等)、整体模型(医学模拟人);动物模型包括:动物细胞模型、大鼠、小鼠、青蛙、鸡、猪等解剖模型。操作训练类教具应用如下:

国外某些医学院采用仿真拟人 TraumaMan 系统,仿真度极高,在高级创伤生命支持(ATLS)手术中,可完全替代实验动物。研究证明在 ATLS 操作实验室中,使用 TraumaMan 和使用动物的效果一样甚至更好^[17]。并且,相比传统的动物实验,该系统的持续成本低,也更容易在偏远地区应用。另有利于模拟生物动力学的模型,应用历史超过 40 年,具

有良好的特异性,国际研究动物 3R 中心(NC3Rs)、欧洲替代方法验证中心((ECVAM)都曾研讨其在动物替代中的实际应用^[30]。

我国市场上现有模拟人教具,其肌肉、骨骼、血管、神经以及各种脏器按照正常人体统计数据制作,具有眨眼、说话、呼吸、心跳等生命体征^[31],包括心脏复苏模拟人、护理技能训练模型、气管插管训练模型、妇婴技能训练模型、针灸模型等;除市场上的模型以外,教学机构还可根据教学情况自行改进,如江苏省新沂市人民医院在原有仿真系统上制作的仿真膀胱、仿真胃、仿真静脉输液通路,应用很好^[32]。

模型、道具和机械模拟器具有以下优点:(1)使用仿真教具使学生更易于接受,可重复操作性强、操作安全、练习时间更自由^[33];(2)这类仿真教具实践教学成本低,并且有利于评价与考核^[31];(3)购买便捷、使用安全、可携带性更高、更灵活。

3.2 胶片和视频教学

3.2.1 胶片教学

本文所指胶片是医学上常使用的计算机断层扫描(CT)、人体 X 线、核磁共振(MRI)^[34]等。胶片是一种非常好的教学资源,资源共享性高,通过胶片,可提高学生的学习兴趣,帮助学生更好的理解专业课相关内容,从而提高教学效果。研究显示,将传统影像胶片进行数字化处理后,阅片效果更好^[35];电子影像胶片灵活性高,可放大某些较小结构,并且可将其带到任何地点进行研究学习,实验证明在医学、影像解剖学的实验教学中运用电子影像胶片结合实体影像胶片可显著提高学生学习效率^[36]。目前的专利全息投影教学装置,只需通过语音或手势或降低环境的亮度即可切换影像,使用简单方便^[37]。不过该技术仍处于初步研发状态,仍需进一步改进。

3.2.2 视频教学

心理学家 Treicher 曾证明,人类获取的信息中 83% 来源于视觉,11% 来源于听觉,1.5% 来源于触觉^[38]。视频学习的方式生动形象、步骤清晰,易于学生理解和接受。技能操作类视频主要通过展示、示范等方法,帮助学习者习得某种技能^[39],可暂停、回放、调整播放速度,同时可自行安排时间反复模拟练习,灵活度高。实验表明,学生对于操作视频学习的满意度较高,且通过操作视频学习的学生,其操作技能考核成绩也优于没有观看操

作视频的学生^[40-42]。通过操作视频及假人手臂练习 24 次后某医院的学生均通过考核^[43]就是一个很好的例子,证明视频教学可一定程度上替代实验动物的使用。

3.3 虚拟仿真实验系统

虚拟仿真实验系统是指以计算机虚拟现实和数码仿真技术为核心,生物仿真引擎、处理因素数据库、虚拟环境界面等多种技术为支撑的系统^[44]。其中,医学模拟系统包括基础解剖模型、局部功能训练模型、计算机交互式训练模型、虚拟现实和触觉感知系统及生理驱动型模拟等几大系统^[45]。这种基于计算机模拟的系统涵盖范围较广,练习结果的评分客观可靠^[46-47]。目前,“虚拟动物实验”已发展到活体动物实验可通过多媒体形式展现的程度^[48],其准确性和存在度较高,可实现部分代替作用^[49]。很多学校均已开展虚拟实验室的研究,例如南京医科大学虚拟实验室,其实验室包括 3D 视频简介、动物实验、虚拟实验、模拟考试和设计实验平台^[50],已运行 13 年,取得良好的教学效果。同样,有多所大学采用的 VBL-100 虚拟实验室系统涵盖 40 多个机能学实验的全套模拟仿真,也应用良好^[51]。

虚拟仿真系统具有成本低、可重复操作性强、共享性好等优点^[50]。表现为(1)通过虚拟仿真实验系统,学生可自行开展相关的实验操作,不受现实条件的制约,不仅可提前预习,且在操作过程中还可对照实验方法和步骤实时纠正,从而加深对实验原理及操作步骤的理解^[52]。同时,这种方式还可充分调动学生的积极性和主观能动性,有利于培养学生的学习兴趣与能力、科学意识和创新精神^[50]。据报道,在诊断学、临床医学实验教学中,运用虚拟实验室教学的效果要优于传统教学^[53-54]。(2)对学校而言,虚拟实验系统一方面可丰富实验内容,提高教学效果;另一方面,可有效解决实验器材易磨损、实验动物昂贵、实验经费紧缺、课程安排紧张等方面的问题^[55-56]。

3.4 3D 打印技术

3D 打印是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层堆叠累积的方式来构造物体的技术^[57],可降低模具制造费用、减轻模型重量。该技术已应用于多个领域,在骨科^[58-59]、眼耳鼻喉头颈外科^[60-62]和口腔科等^[63]均已进入临床阶段。3D 打印技术制造的解剖样本

和复制品可还原组织器官真实位置和颜色,有利于医学生学习和深入理解^[63]。3D 打印技术逐渐趋于完善,如中国科学院武汉病毒研究所制作的几种有代表性的病毒模型^[64],2019 年以色列科学家打印的全球首个完整心脏,包含心肌细胞以及血管,这些模型形貌生动形象,还原度高。目前 3D 打印费用较高,因此应用不够广泛,但随着技术的成熟、设备成本的下降,可很好的用于教学领域。

3.5 植物实验、废弃动物以及临床实践

植物虽然与动物的发育、解剖结构不同,但材料获取简便、检测容易且观察方便,适合于细胞层面研究,是替代方法可考虑的方向之一。此外,养殖场、渔场意外死亡的动物往往与牲畜粪便、废水等一起进行无害化处理,这种处理方式成本大且易流于形式,同时养殖场存在病死动物随意丢弃和不规范处理等问题^[65]。若管理部门有效介入,对死亡动物进行分类,将非传染性疾病死亡动物进行有效利用,不仅实现资源的重复利用,还可增加学生用于练习操作的对象。

对于医学生和兽医学生来说,临床实践一直是教育的重要组成部分^[66],是理论联系实际的有效方法,学生可接触到真实病人和病例、锻炼临床技术以及增加职业责任感^[67],通过良好的临床实践,可极大的提高学生的临床技能和综合素质^[68-69]。并且在高等教育中,“早期接触临床”是发展的重要趋势^[67]。若能将临床实践落实于课程,不仅可有效替代动物实验,也更有利于学生的长期职业发展。

4 结语

在教学领域,尤其是高等院校在培养医学生和兽医学生过程中采用大量的实验动物。无论是出于伦理、动物保护、环境可持续发展抑或是科研的角度^[11],替代方法都是一个有优势的选择。教学中替代方法多样,其中模型、道具和机械模拟器的使用,胶片和视频教学,虚拟仿真实验系统等方法已广泛使用;前沿性技术如 3D 打印技术、组织工程器官等也应时刻关注,在技术成熟、成本适当的情况下建议采用;此外,植物实验、养殖场废弃的材料、动物诊所安乐死的动物等,经严格的监督检查及安全培训后,也可作为实验动物替代的重要资源;医学院学生通过相互练习或在临床实地学习,也是替代实验动物使用的有效方法。

本文对我国教学中动物实验替代的必要性及

可行性进行讨论,要切实推动该领域的工作关键在于:(1)提高重视。《实验动物管理条例》总则明确“国家科学技术委员会主管全国实验动物工作。……国务院各有关部门负责管理本部门的实验动物工作。”但目前教学用实验动物管理相比科学研究用、生产用和检验用等领域的实验动物管理更加薄弱,这与教学用实验动物福利工作未得到主管部门的重视和在法规、要求和制度等方面有欠缺密切相关。故只有主管部门重视、从业人员理念增强,我国教学中替代方法才有可能推进。(2)储备技术。尽快在我国建立教学用实验动物替代方法的技术平台,并在高等院校中示范、推广使用;结合现有先进技术,鼓励研发其他具有创新性的替代方法。(3)经费保证。与需要长期、持续购买动物相比,使用替代方法的优势之一在于节约经费。但在替代方法研发和建立阶段,往往需要一次性投入人力和经费,故应采用专项经费支持、与企业联合设立基金等多种方式保证所需经费。

参考文献:

- [1] Fitzi-Rathgen J. The 3Rs and replacement methods-better research, less animal harm [J]. ALTEX, 2019, 36(4): 671-673.
- [2] Sneddon LU, Halsey LG, Bury NR. Considering aspects of the 3Rs principles within experimental animal biology [J]. J Exp Biol, 2017, 220 (Pt 17): 3007-3016.
- [3] Kretlow A, Butzke D, Goetz ME, et al. Implementation and enforcement of the 3Rs principle in the field of transgenic animals used for scientific purposes. Report and recommendations of the BfR expert workshop, May 18-20, 2009, Berlin, Germany [J]. ALTEX, 2010, 27(2): 117-134.
- [4] Larry C, Jamie A. Pain and laboratory animals: publication practices for better data reproducibility and better animal welfare [J]. PLoS One, 2016, 11(5): 11; e0155001.
- [5] Frasch PD. Gaps in US animal welfare law for laboratory animals: perspectives from an animal law attorney [J]. ILAR J, 2016, 57(3): 285-292.
- [6] Davies GF, Greenhough BJ, Hobson-West P, et al. Developing a collaborative agenda for humanities and social scientific research on laboratory animal science and welfare [J]. PLoS One, 2016, 11(7): e0158791.
- [7] Lascn. 你应该知道的动物试验史 [EB/OL]. [2016-09-30]. <https://www.lascn.net/Item/22736.aspx>.
- [8] 顾为望, 于娟. 国内外动物福利的比较与伦理学思考 [J]. 实验动物与比较医学, 2008, 28(4): 199-203.
- [9] 隋文, 吴连连. 实验动物伦理教育与 3R 原则在医学院校实施情况的探究 [J]. 中国卫生产业, 2018, 15(6): 120-121.
- [10] 苗仁玲. 浅谈我国实验动物福利现状 [J]. 兽医导刊, 2017, (8): 25.
- [11] 杨劲松. 实验动物的福利伦理与“3R”原则 [J]. 河南医学研究, 2015, (8): 64-65.
- [12] 程树军. 动物实验替代技术研究进展 [J]. 科技导报, 2017, 35(24): 40-47.
- [13] 林丽芳, 肖邦. 从欧盟实验动物学教学看动物福利 [J]. 南方医学教育, 2015, (2): 24-25.
- [14] Jan VDV, David D, Ian H, et al. Alternatives to the use of animals in higher education [J]. ATLA, 1999, 27: 39-52.
- [15] 贾小东. 动物学实验教学中的思考与探索 [J]. 安徽农学通报, 2018, 24(19): 134-135.
- [16] Smith AJ, Smith K. Guidelines for humane education: alternatives to use of animals in teaching and training [J]. Altern Lab Anim, 2004, 32(1): 29-39.
- [17] Gala SG, Crandall ML. Global collaboration to modernize advanced trauma life support training [J]. J Surg Educ, 2019, 76(2): 487-496.
- [18] Pawlowski JB, Feinstein DM, Gala SG. Developments in the transition from animal use to simulation-based biomedical education [J]. Simul Healthc, 2018, 13(6): 420-426.
- [19] Ivan DAR, Valadares MC. Brazil moves toward the replacement of animal experimentation [J]. Altern Lab Anim, 2019, 47(2): 71-81.
- [20] 郭永刚, 闫秀明, 胡立磊. 高校动物实验教学与实验动物福利 [J]. 河南职工医学院学报, 2013, 25(2): 208-210.
- [21] 李虹, 魏鹤. 北京实验动物从业人员对动物福利认知的问卷调查 [J]. 医学与哲学, 2013, 34(17): 46-48.
- [22] 郑亚楠, 常欣峰, 李奕慧. 医学生对实验动物伦理知晓情况的调查 [J]. 医学与哲学, 2016, 37(15): 31-33.
- [23] 王菊花, 阮祥春, 丁建平, 等. 《动物机能学》课程实验教学中实验动物的合理利用 [J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(9): 72-73, 78.
- [24] 梅志强, 王琼, 邓莉. 动物福利在研究生实验动物学教学中的应用初探 [J]. 中国比较医学杂志, 2012, 22(3): 76-78.
- [25] 马小根, 王晓静, 高源. 基于动物 3R 原则的生理学实验教学改革 [J]. 河南农业, 2018, (12): 33-34.
- [26] 卫茂玲. 医学动物替代研究发展现状研究 [J]. 中国医学伦理学, 2016, 29(2): 304-307.
- [27] Gruber FP, Dewhurst DG. Alternatives to animal experimentation in biomedical education [J]. ALTEX, 2004, 21(1): 33-48.
- [28] Talhan A, Jeon S. Programmable prostate palpation simulator using property-changing pneumatic bladder [J]. Comput Biol Med, 2018, 96: 166-177.
- [29] 孙东波, 郭东华, 武瑞, 等. 仿真教具在国外兽医实践教学中的应用现状介绍 [J]. 中国兽医杂志, 2016, 52(10): 116-118.
- [30] Paini A, Leonard JA, Joossens E, et al. Next generation physiologically based kinetic (NG-PBK) models in support of regulatory decision making [J]. Comput Toxicol, 2019, 9: 61-72.
- [31] 贺丰杰, 朱丽红, 高麦仓. 医学模拟教育在临床实践教学中的应用 [J]. 中华医学教育杂志, 2006, 26(5): 68-70.
- [32] 王成华, 田玉凤. 护理教具的制作-仿真膀胱、仿真胃、仿真静脉输液通路的制作及在护理教学中的应用 [A]. 中华护理

- 学会护理学术年会、全国护理管理改革创新高层论坛暨全国护理新理论、新方法、新技术研讨会论文集 [C]. 2012.
- [33] 张双元, 梅士娟, 刘震, 等. TBL 结合医用仿真教具教学法在乳腺外科实习中的应用 [J]. 青海医药杂志, 2017, 47(12): 70-72.
- [34] 和振典. 对人体解剖学与医学影像解剖学在教学中的结合研究 [J]. 医药前沿, 2017, 7(23): 363-364.
- [35] 关勇, 李涛, 王志强, 等. 传统影像胶片数字化在《医学影像诊断学》实践教学中的应用 [J]. 湘南学院学报(医学版), 2014, (1): 67-68.
- [36] 姜杨, 侯继野, 郭林娜, 等. “电子影像胶片库”在影像解剖学实验教学中的应用研究 [J]. 中国继续医学教育, 2018, 10(28): 46-48.
- [37] 张琴. 一种交互式全息投影教学装置 [P]. 中国: 109035886. 2018. 12. 18.
- [38] 熊建英, 徐王慧, 万梦婷. 自制专科操作视频在护理实习生临床教学中的应用 [A]. 第三届世界灾害护理大会论文集 [C]. 2014.
- [39] 王慧. 技能操作类教学视频的学习机制研究 [J]. 宁波大学学报(教育科学版), 2017, 39(3): 100-104.
- [40] 乔飞, 秦婷婷, 孙翔, 等. 微视频教学模式对麻醉教学效果的影响分析 [J]. 中国继续医学教育, 2019, 11(4): 28-30.
- [41] Herron EK, Powers K, Mullen L, et al. Effect of case study versus video simulation on nursing students' satisfaction, self-confidence, and knowledge: A quasi-experimental study [J], Nurse Educ Today, 2019, 79: 129-134.
- [42] 陈维佳, 施春香, 周萍. 视频教学提高护生中医护理技术操作的应用研究 [J]. 实用临床护理学电子杂志, 2018, 3(29): 185, 192.
- [43] 冯泽会, 李玲, 张娟, 等. 视频教学法在实习护生静脉输液操作中学习曲线的研究 [J]. 中国数字医学, 2018, 13(4): 68-70.
- [44] 门秀丽, 赵利军, 孔小燕, 等. 虚拟仿真实验系统在病理生理学教学中的应用 [J]. 基础医学教育, 2013, 15(2): 148-149.
- [45] 谷士贤, 曾辉. 临床医学专业学位研究生对医学模拟教育的认知调查 [J]. 中国高等医学教育, 2017, (9): 122-123.
- [46] Yin M S, Haddawy P, Suebnukarn S, et al. Automated outcome scoring in a virtual reality simulator for endodontic surgery [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2018, 153: 53-59.
- [47] Wijewickrema S, Piromchai P, Zhou Y, et al. Developing effective automated feedback in temporal bone surgery simulation [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2015, 152(6): 1082-1088.
- [48] 王平武. 浅谈虚拟实验替代动物实验 [A]. 中国武汉决策信息研究开发中心、决策与信息杂志社、北京大学经济管理学院.“决策论坛——区域发展与公共政策研究学术研讨会”论文集(上) [C]. 武汉: 决策与信息, 2015.
- [49] Girau E, Mura F, Bazurro S. et al. A mixed reality system for the simulation of emergency and first-aid scenarios [J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 5690-5695.
- [50] 吴晓燕, 施睿臻, 袁艺标, 等. 虚拟实验室开放模式在医学机能实验教学中的实践 [J]. 医学教育研究与实践, 2018, 26(2): 278-280.
- [51] 吴穹, 马祁生, 汪晓筠, 等. 虚拟实验系统在机能实验中的应用探索 [J]. 西北医学教育, 2012, 20(5): 941-944.
- [52] 周亦武, 邓伟年, 罗桑旦增, 等. 法医病理学虚拟仿真教学实验室的建设与展望 [J]. 基础医学教育, 2019, 21(3): 231-234.
- [53] 王登芹, 随萍, 赵会丽, 等. 虚拟实验室在诊断学实验教学中的应用 [J]. 中国高等医学教育, 2018, (11): 33-34.
- [54] 唐宇. 医学模拟教育在临床技能训练教学中的作用研究 [J]. 中国继续医学教育, 2017, 9(17): 13-15.
- [55] 陈立松, 盖晓东, 历春. 虚拟实验系统在医学机能实验教学中的应用体会 [J]. 吉林化工学院学报, 2015, 32(12): 99-100, 112.
- [56] 李树学, 康天济, 韩宇博, 等. 虚拟实验室应用于机能实验教学的可行性分析 [J]. 牡丹江医学院学报, 2013, 34(6): 108-110.
- [57] 李一平. 浅谈 3D 打印技术 [J]. 中国科技投资, 2018, (34): 191.
- [58] Skelley NW, Smith MJ, Richard M, et al. Three-dimensional Printing Technology in Orthopaedics [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2019, 27(24): 918-925.
- [59] Luo M, Wang WG, Yang NN, et al. Does three-dimensional printing plus pedicle guider technology in severe congenital scoliosis facilitate accurate and efficient pedicle screw placement? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2019, 477(8): 1904-1912.
- [60] Hong CJ, Giannopoulos AA, Hong BY, et al. Clinical applications of three-dimensional printing in otolaryngology-head and neck surgery: A systematic review [J]. Laryngoscope, 2019, 129(9): 2045-2052.
- [61] Richard Z, Jackson E, Jung JP, et al. Feasibility and potential of three-dimensional printing in laryngotracheal stenosis [J]. J Laryngol Otol, 2019, 133(6): 530-534.
- [62] Ruiters S, Mombaerts I. Applications of three-dimensional printing in orbital diseases and disorders [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2019, 30(5): 372-379.
- [63] 张隽婧. 口腔医学领域 3D 打印材料的研究进展 [J]. 临床口腔医学杂志, 2018, 34(12): 754-756.
- [64] 高丁, 肖宇宙. 3D 打印病毒模型(上) [J]. 百科知识, 2019, (1): 34-35.
- [65] 王勤. 养殖场病死动物无害化处理存在问题与改进建议 [J]. 农业开发与装备, 2019, (8): 139.
- [66] 王万生, 彭小莉, 金磊, 等. 医学生早期进行临床实践教学的探讨 [J]. 智慧健康, 2019, 5(25): 21-23.
- [67] 覃媛媛, 孙杰. 临床医学五年制本科早期接触临床的教学实践 [J]. 中国继续医学教育, 2019, 11(26): 30-32.
- [68] 刘静, 黄定, 戴远辉, 等. 医学生临床实践技能培养的改革与创新 [J]. 继续医学教育, 2019, 33(9): 7-8.
- [69] 秦海庆, 杨志萍, 瞿昌晶. 临床医学专业本科生麻醉见习的实践与探索 [J]. 中国继续医学教育, 2019, 11(27): 20-22.