

DOI: 10.3969/j.issn.2096-045X.2025.05.002

· 专题研究 ·

## 数智融合:临床血液学检验教学的创新变革与实践探索

王也飞<sup>1</sup> 徐子真<sup>1</sup> 陈松立<sup>1</sup> 戴菁<sup>2</sup> 王学锋<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学医学院医学技术学院,上海 200025; 2. 上海交通大学医学院附属瑞金医院检验科,上海 200025)

**【摘要】**随着数字技术与智能技术的迅猛发展,数智融合已成为教育领域变革的重要驱动力。本文聚焦临床血液学检验教学,通过融合人工智能和虚拟现实等关键技术,创新性地重构教学内容,变革教学模式,升级实践教学。实践表明,数智融合的混合式教学模式增强了学生的学习兴趣与参与度,提高了知识掌握和实践技能水平,为临床血液学检验教学的创新发展提供了有益的参考与借鉴。

**【关键词】**数智融合; 混合式教学; 临床血液学检验; 临床教学; 智能化平台; 教学资源库; 虚拟仿真

**【中图分类号】**R-05; R446; G642.0

**【文献标识码】**A

### Integration of digital intelligence: innovative reform and practical exploration of clinical hematology laboratory teaching

Wang Yefei<sup>1</sup>, Xu Zizhen<sup>1</sup>, Chen Songli<sup>1</sup>, Dai Jing<sup>2</sup>, Wang Xuefeng<sup>2</sup>

(1. School of Medical Technology, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China;

2. Department of Clinical Laboratory, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China)

**【Abstract】**With the rapid development of digital and intelligent technology, the integration of digital intelligence has become an important driving force for change in the field of education. We focus on clinical hematology laboratory teaching and innovatively reconstructs teaching content, transforms teaching models, and upgrades practical teaching by integrating key technologies such as artificial intelligence and virtual reality. Practice shows that the integration of digital intelligence has significantly enhanced students' learning interest and participation, and improved their knowledge mastery and practical skills, which provide useful references for the innovative development of clinical hematology laboratory teaching.

**【Keywords】**integration of digital intelligence; blended teaching; clinical hematology laboratory; clinical teaching; intelligent platform; teaching resources; virtual simulation

2022年教育部启动实施国家教育数字化战略行动,秉持深度融合、创新赋能、应用驱动的理念,积极发展“互联网+教育”,加速推进教育数字化转型与智能升级<sup>[1]</sup>。数智技术如大数据、云计算、人工智能(artificial intelligence, AI)、虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augmented

reality, AR)等的广泛应用,正深刻变革着传统的教学模式、学习方式以及教育管理理念<sup>[2]</sup>。其中,AI在支持医学生学习过程中的应用日益增多,能为学生提供个性化体验并提升学习效果<sup>[3]</sup>。

临床血液学检验作为医学检验技术专业的

**基金项目** 1. 2024年度上海高校市级重点课程:实验实训实践课程——临床血液学和血液学检验I; 2. 上海交通大学医学院2024年本科核心课程重点建设项目、荣誉课程重点资助项目:临床血液学和血液学检验I

**第一作者** 王也飞, 硕士, 讲师, 研究方向:临床血液学检验、临床血液学检验教育。

Email: yefeiwang@hotmail.com

核心课程,在医学检验专业人才培养过程中扮演着至关重要的角色。它是衔接基础医学与临床医学的关键桥梁,为学生理解人体血液系统的生理病理机制以及掌握疾病诊断、治疗和监测方法提供必备的知识与技能。然而,传统教学模式以学生被动学习为主,师生互动匮乏,且教学资源有限,不利于学生的综合能力培养<sup>[4]</sup>。数智技术的应用不仅改变了教学设备、教学资源、教学环境与教学管理,更为临床血液学检验教学改革带来了新的契机。本文从教学资源建设、教学模式创新与变革以及实践效果与反思等方面,探讨数智融合如何为临床血液学检验教学赋能。

## 1 教学内容的数字化与智能化重构

临床血液学检验是一门运用各种实验方法与技术,对血液和造血器官的病理变化展开分析研究,旨在阐明血液系统疾病发生机制,并应用于造血系统疾病的诊断、鉴别诊断、疗效观察和预后监测的科学。随着智能技术的飞速发展,基于人工智能的方法已被应用于诸多方面,如自动检测与分类数字显微镜下的单细胞图像、辅助流式细胞术数据评估、助力染色体核型分析、评估疗效以及精准预测各类白血病的预后等<sup>[5-7]</sup>。

数智技术为临床血液学检验教学资源建设提供了丰富多样的方式。通过整合线上线下资源,构建虚拟仿真实验教学平台,能够有效弥补传统教学资源的不足。要实现临床血液学检验教学内容的数字化转型,首要任务是全面整合各类教学资料,构建一个包含多模态资源的数字化教学资源库。该资源库的建设依托先进的信息技术平台,融合了文字、图像、视频和虚拟仿真实验等多种形式的教学资源,从而满足不同学生的学习需求和学习风格。

### 1.1 融合重构多阶次教学内容

课程将原有教学内容中已淘汰的检验项目(如自身溶血试验、血小板黏附试验等)进行了删除,增添了更契合临床需求以及医疗技术发展的新型检验项目。将新的研究成果,如关于凝血因

子XI突变体及其基因治疗的研究<sup>[8]</sup>,整合到课堂教学中,并结合学生撰写的公众号推文,这有助于学生理解血栓与止血相关的基础理论和临床应用。低阶的记忆和理解主要围绕临床血液学检验的基本概念、理论和实验操作;中阶的应用和分析,借助案例导入式学习(case-based learning, CBL)和以问题为基础的学习(problem-based learning, PBL),使学生能够明确如何进行实验项目的选择和分析;高阶的评价和创新,则主要通过实践项目、创新竞赛等将血液学检验技术应用于临床,培养学生的临床诊断思维、综合实验设计能力以及科研思维。

### 1.2 多角度挖掘课程思政元素

课程将血液学领域专家及真实案例融入专业教学,通过教研室公众号与小组讨论,全方位提升学生在自主学习、合作学习及血液病综合分析诊断等方面的能力,同时,借助科研创新实践和社会公益活动,引导学生主动思考,培养人文价值观,激发科学思维与创新意识,提升辩证思维和反思能力。在了解我国血液学检验与血液病诊治特点的基础上,鼓励学生探索适合国情的“中国模式”,培养爱国情怀与工匠精神,强化医学检验技术专业学生的职业荣誉感和责任感。

### 1.3 构建数字化教学资源库

利用数字化资源,如在线课程和虚拟仿真实验,提高学生对课程内容的理解,提升实验操作技能。

#### 1.3.1 视频资源库

通过医学检验专业小规模限制性在线课程(small private online course, SPOC)平台,学生能够远程访问本课程内容,涵盖血细胞形态学、临床常见血液系统疾病的诊断与鉴别、血液学检验MICM诊断技术与临床应用等,并开展线上讨论、自我测试以及AI问答。资源库内包含大量教学视频,如教师的课堂授课视频、实验操作演示视频、临床案例分析视频等。学生通过反复观看,能加深对知识点的理解与掌握。SPOC模式的应用具有促进学生深度学习的良好潜力<sup>[9]</sup>,不仅改变了教学方式,还推动教师进行教学反思。教师

需持续探索与创新教学方法,以提升教学效果。通过分析学生的学习数据,教师能够了解学生的学习难点与兴趣点;进而依据教学需要,补充学习资源,合理规划教学进度,调整教学内容和教学方法,增强教学的针对性和有效性。

### 1.3.2 虚拟仿真实验资源库

随着“互联网+”时代的到来,在临床血液学检验课程中运用虚拟仿真实验教学获得了越来越多的认可,并取得了良好的教学效果<sup>[10]</sup>。借助VR技术,整合课程实验、增添实验检测项目、创建形态学检验数据资源库、搭建血液学检验仪器设备虚拟操作和实验考核操作平台,使学生能够

在虚拟环境中开展血液学检验的仿真实验操作,如骨髓穿刺、骨髓涂片的制备与分析以及细胞化学染色等(图1)。虚拟仿真实验教学可突破传统实验教学在时间、空间、标本来源及安全性等方面的限制,使学生熟悉实验流程和仪器设备的使用方法,降低实验风险与成本。形态学资源库不仅标注了详尽的文字说明,还配备了相关的病例资料,有助于学生更深入地理解图像所反映的临床意义。此外,借助在线学习平台,教师能够发布实验任务、进行教学评价、储存实验数据等,实现理论与实践的有机融合。



图1 虚拟仿真实验资源库——虚拟骨髓细胞室

### 1.3.3 知识与能力图谱

作为一种先进的技术手段,知识图谱为组织和呈现大量的知识提供了全新的可能性<sup>[11]</sup>。对课程的知识点进行全面梳理与系统整合,将零散的知识点依据其内在特征与逻辑关系进行有序组织,形成结构化的知识体系。通过图谱的可视化呈现,师生能够更直观地了解知识点的分布、关联和层次结构,进而实现对知识的深度挖掘以及对实验操作技能的全面培养。借助数字化平台,全面深入分析学生的学习情况、兴趣爱好等,从而满足学生的学习需求。

## 1.4 利用智能技术更新与优化教学内容

智能技术在跟踪学科前沿、自动更新和优化教学内容方面发挥着关键作用,可确保临床血液

学检验教学内容始终具备时效性和科学性,能实时监测海量的学术文献数据库、医学期刊网站以及专业学术论坛等信息源,及时捕捉临床血液学检验领域的最新研究成果和技术进展<sup>[12]</sup>。

通过智能学习平台收集学生在学习过程中的答题情况、作业完成情况和考试成绩等数据,分析学生对不同知识点的掌握程度和学习难点。对于学生普遍掌握良好的知识点,适度减少教学时间和练习量;对于学生理解困难的知识点,则通过补充案例、增加动画演示及拓展阅读材料等方式,帮助学生加深理解。

在教学内容的更新和优化过程中,实现与临床实践的紧密融合。通过获取临床实际病例数据,将真实临床案例融入教学内容。这些案例涵

盖各种常见及罕见血液系统疾病,包括病例临床表现、实验室检查结果、诊断过程与治疗方案等。学生通过分析这些真实案例,能更好地理解临床血液学检验在实际医疗中的应用,提升临床思维能力和解决实际问题的能力。根据临床案例的更新变化,教师可及时调整教学内容,确保教学内容与临床实践保持一致。通过引入临床设备AI识别细胞图库,辅助学生识别和分类不同细胞类型,教师结合人工智能技术,向学生详细讲解骨髓与外周血细胞分类计数及形态分析的基础知识,展示这些技术在实际应用中的作用。

## 2 教学模式的创新与变革

### 2.1 线上线下混合式教学的实施与深化

线上线下混合式教学模式的实施,打破了传统教学的时空限制,实现了教学资源的优化配置,为临床血液学检验教学注入了新的活力<sup>[13-14]</sup>。在课程设计层面,充分融合线上线下的优势,构建起有机整合的教学体系。

在线上教学环节,教师借助学习管理系统上传丰富的教学资源,包括教学视频、电子课件、在线测试题、拓展阅读资料等。其中,在线测试题为学生提供了自我检测的机会,学生可通过完成测试题,检验自身对知识的掌握程度,发现学习中的薄弱环节;拓展阅读资料包含相关的学术论文、临床案例分析等,有助于学生拓宽知识面,了解学科前沿动态。

线下课堂着重于知识的深度讲解、实践操作及互动交流。在理论知识讲解时,教师针对学生在线上学习过程中遇到的问题与难点展开重点阐释,借助案例分析、小组讨论等形式,引导学生深入理解并掌握知识,推动学生间的思想碰撞和交流合作。在小组讨论中,学生围绕临床血液学检验中的热点问题和实际案例展开讨论,分享各自的观点与见解,培养团队合作精神和沟通能力。在病例分析活动中,学生通过分析真实的临床病例,综合运用所学理论知识与实践技能,提出诊断及治疗方案,提升解决实际问题的能力。

为确保线上线下教学的有效衔接,建立了完

善的教学管理机制。教师借助学习管理系统,实时追踪学生的线上学习进度与情况,了解学生的学习困难和问题,并及时给予指导和反馈。在课程起始阶段,教师通过平台发布学习任务和要 求,引导学生进行线上预习;在课程推进过程中,教师根据学生的线上学习情况,调整线下教学内容和 方法,着重讲解学生普遍存在的问题;在课程结束后,教师通过平台布置作业和拓展任务,使学生进一步巩固所学知识,并对 学生作业进行批改与评价,及时反馈学生的学习成果(图2)。

### 2.2 基于智能平台的个性化学习管理

在临床血液学检验教学中,智能学习平台记录了学生学习过程中的诸多方面,包括学习时间、学习进度、答题情况、作业完成状况以及讨论参与度等。借助学习管理系统,平台可实时记录学生登录课程的时间、学习各章节所用时间、对不同知识点的重复学习次数等信息;在答题和作业环节,平台会详细记录学生的答题正确率、错误类型以及答题时间等数据;在讨论参与度方面,平台统计学生在讨论区的发言次数、提问数量等信息。这些多维度的数据为教师全面了解学生学习情况提供了丰富的依据,并能针对其薄弱环节推送相关知识。

### 2.3 基于虚拟仿真实验的实践教学数智化升级

虚拟仿真实验教学作为数智融合在临床血液学检验实践教学中的关键应用,为学生带来了全新的实践学习体验<sup>[15]</sup>。虚拟仿真实验平台依托先进的VR和仿真技术,打造了高度逼真的临床血液学检验实验环境。

在该平台上,学生能够进行多种血液学检验实验的模拟操作,如骨髓穿刺术、骨髓及血细胞形态学检查、血液分析仪操作等。以流式细胞仪细胞免疫表型检测为例,学生可以通过直观的3D动画演示,领会流式细胞仪的工作原理和细胞免疫表型分析原理,并按照操作流程,依次进行标本前处理、抗体选择、细胞计数、上样、数据分析等步骤的操作。在操作过程中,系统会实时反馈学生的操作是否正确。一旦学生操作有误,

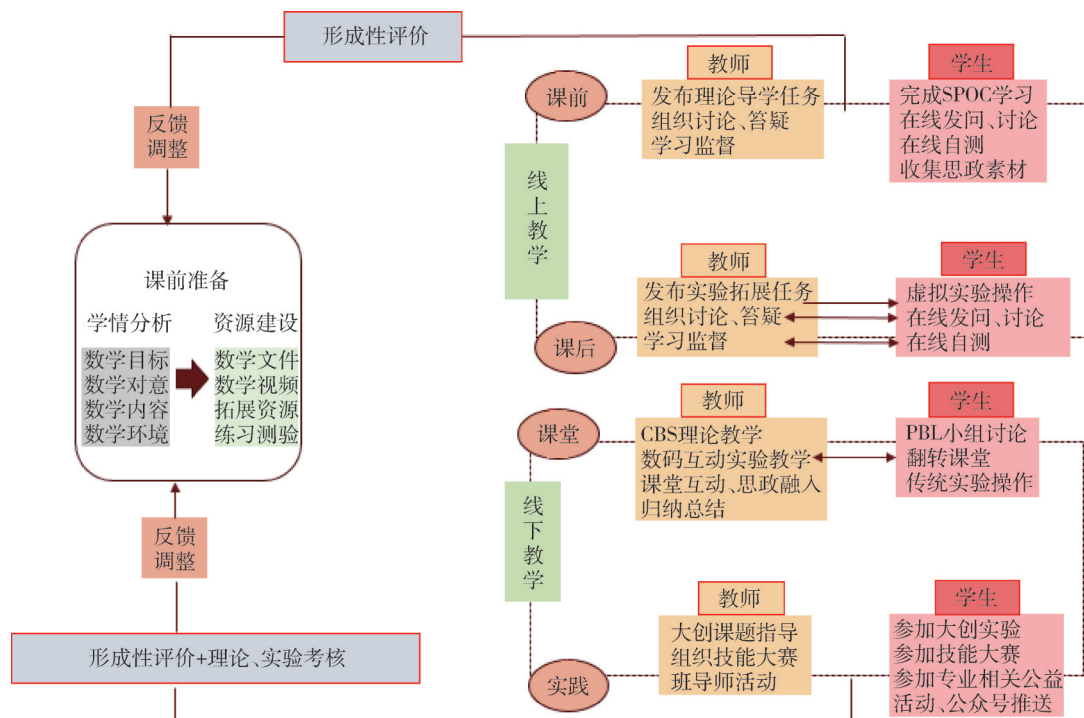


图2 线上线下混合式教学的实施过程

系统会即刻给予提示与指导,帮助学生纠正错误,提升操作技能。

在血细胞形态学检查实验中,虚拟仿真实验平台利用高分辨率的图像和三维建模技术,展现了各种血细胞在不同生理和病理状态下的形态特征。学生借助鼠标操作,可对血细胞图像进行放大、缩小等操作,观察血细胞的形态,进而进行细胞分类计数等。平台还提供了丰富的病例资源,学生依据病例中的临床信息和血细胞形态特征,进行疾病的诊断和分析,培养临床思维能力。

虚拟仿真实验教学对实践教学起到了重要的补充和提升作用。它有效解决了传统实践中实验资源有限、操作风险高导致学生实践机会不足的问题。在传统教学中,由于骨髓标本获取困难以及实验设备数量有限,学生实际进行骨髓穿刺操作的机会较少,且操作过程中存在一定的风险,如感染、出血等。虚拟仿真实验平台为学生提供了虚拟实验机会,学生可以在虚拟环境中反复练习,熟练掌握操作技能,不受时间和空间的限制,也无需担心操作失误带来的风险。

自动化检验设备同样是临床血液学检验实践教学中的重要工具。随着医学技术持续发展,

越来越多的自动化检验设备应用于临床,如全自动血液分析仪、全自动血凝仪、流式细胞仪等。这些自动化检验设备具有操作简便、检测速度快、准确性高、重复性好等优势,能够显著提高检验效率和质量。学生在虚拟现实环境下操作这些自动化检验设备,可熟悉临床检验的实际工作流程,掌握设备的操作技能和维护方法。在使用全自动血液分析仪时,学生需要按照操作规程,将血液标本加入仪器,设置检测参数,启动检测程序。仪器会自动完成血液标本的检测、分析和结果报告。学生可以通过仪器显示屏和连接的计算机查看检测结果,并对结果进行分析和解读。通过操作自动化检验设备,学生不仅提升了实践操作能力,还了解了现代医学检验技术的发展趋势和应用前景。

### 3 数智融合教学的实践研究

#### 3.1 对象与方法

以2022级医学检验技术专业31名学生为研究组开展数智融合混合式教学;选择2021级医

学检验技术专业52名学生作为对照组,采用传统课堂教学结合部分数字化教学资源。

采用SPSS 21.0统计学软件进行数据分析,计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组间比较采用独立样本 $t$ 检验。计数资料以例数(百分比)[ $n(\%)$ ]表示,比较采用 $\chi^2$ 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

研究组学生的期末总评成绩高于对照组,差异有统计学意义( $P<0.05$ );对照组成绩不合格

率为5.8%,研究组为0%,风险差为5.8%(95%CI: -1.3%~+15.2%)。尽管绝对差异提示对照组不合格风险可能更高,但置信区间包含0且Fisher精确检验 $P=0.289$ ,表明该差异无统计学意义,需扩大样本量进一步验证;研究组和对照组成绩在优秀率上存在显著差异(Fisher精确检验, $P<0.05$ ),风险差为9.7%(95%CI: +0.4%~+23.5%),表明研究方案可能提升优秀率(表1)。

表1 对照组与研究组学生成绩比较

组别	期末总评( $\bar{x}\pm s$ ,分)	不合格率[ $<60$ 分,例数(%)]	优秀率[ $\geq 90$ 分,例数(%)]
对照组( $n=52$ )	75.23±9.04	3(5.80)	0(0)
研究组( $n=31$ )	79.48±7.06	0(0)	3(9.70)
$t$ /Fisher值	2.152	Fisher	Fisher
$P$ 值	0.040	0.289	0.049

### 3.2 问卷调查

一轮课程结束后,研究组通过发放调查问卷收集学生对本课程教学改革的反馈意见。调查结果显示,数智融合的教学模式在临床血液学检验学习中获得了积极反馈。大部分受访者对该教学模式持肯定态度,这表明此教学模式在提升学习效果方面具备显著潜力(图3)。学生认为数字化教学资源库为他们的学习提供了极大便利,有助于他们随时查阅资料并开展病例分析。数智融合教学中采用的CBL和PBL教学法,使学生在实际病例分析过程中锻炼了临床思维能力。

数智融合的教学模式被研究组认为更能有效提升实验技能水平,选择该选项的比例为59.09%。相比之下,传统教学模式仅占22.73%,

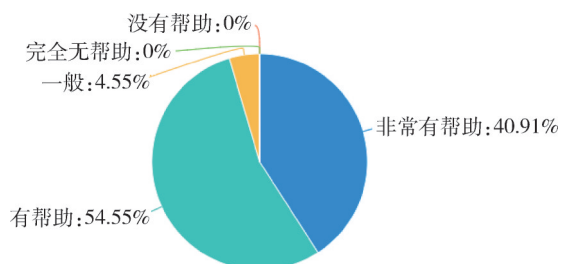


图3 数智融合的教学模式对研究组临床血液学检验学习的帮助程度

而认为两者效果相同的选项占比为18.18%。这表明受访者普遍对数智融合模式持积极态度,认为其在提升实验技能方面具有显著优势。为进一步提升教学效果,应加强数智融合教学模式的推广与应用,在传统模式中融入更多数智化元素,以更好地契合学生的学习需求并提升实验技能。

与传统教学相比,50.00%的学生认为数智融合式教学在提高学生课堂注意力和将课本内容的形象化、延伸化方面表现出色,可提高学生的自学能力;45.45%的学生认为该模式培养了学生的学习兴趣,有效激发了其学习的积极性与能动性;此外,40.91%的学生认为融合式教学在为临床实习奠定基础方面也有一定作用(图4)。调查结果显示,在融合式教学中加强实验技能和检验操作技能的结合,将进一步提升学生的实际操作能力和综合素质。在虚拟仿真教学方面,可进一步优化虚拟实验室的功能,增加交互性和真实性。在人工智能辅助教学方面,应加强对智能教学系统的研发和应用。通过对学生学习数据的深度分析,实现教学内容的精准推送和个性化教学方案的定制;利用基于数字化教学资源平台的AI智能体,为学生提供实时的答疑解惑和学习指导,满足学生随时随地学习的需求;此外,还

可以探索将区块链技术应用用于教学管理,实现学生学习数据的安全存储和共享,确保教学评价的

公正性和可信度。

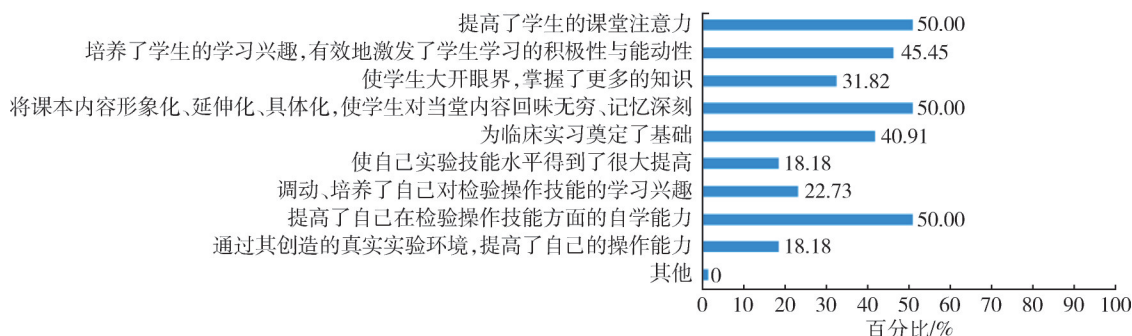


图4 融合式教学对研究组学生的贡献

数智化技术在课程中得到了较好的认可,整体呈现出积极的趋势(图5)。尽管数智融合教学提供了丰富的教学资源 and 多样化的教学方法,但部分学生的自主学习能力仍有待提升,这就需要教师进一步引导并培养学生的自主学习意识和方法。为进一步提升学生的学习效率,课程中将增加更多数智化技术的应用实例和互动环节,以增强学生的参与感和学习效果。

教学中彰显出巨大的优势和潜力,为解决传统教学中的问题提供了有效途径,对提升教学质量和人才培养水平具有积极的推动作用。目前,虽然虚拟仿真、虚拟现实和人工智能等技术已在教学中得到了初步应用,但仍具备极大的拓展潜力。随着数智技术的不断迭代升级,进一步探索其在教学中的多元化应用模式,将成为提升教学质量的关键所在。

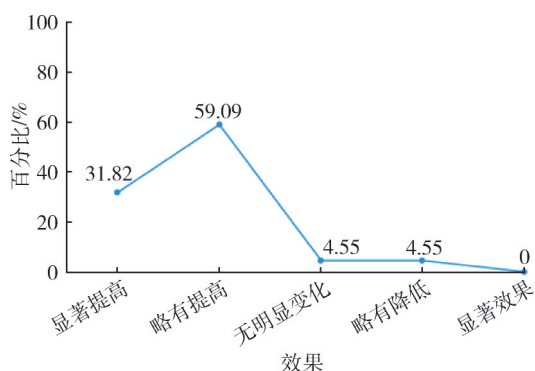


图5 融合式教学对课程学习效率的影响

## 4 结语

在国家推广“互联网+教育”和智慧教育的政策背景下,借助人工智能、大数据等数智化技术推动检验医学教育的变革,将是未来检验医学教学工作的重点之一<sup>[16]</sup>。当前,人工智能与临床血液学的整合尚处于起步阶段,技术的实施依旧是一项挑战<sup>[17]</sup>。因此,数智融合在临床血液学检验

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突。

**作者贡献声明** 王也飞:研究方案设计,教学改革实施,论文撰写;徐子真:教学方案可行性调研与实施;陈松立、戴菁:教学方案实施;王学锋:研究总体指导,论文审定。

## 参考文献

- [1] 《教育部2022年工作要点》:实施教育数字化战略行动[J]. 现代教育技术,2022,32(2):1.
- [2] 祝智庭,朱晓悦,胡姣,等. 数智技术赋能开放教育再开放[J]. 开放教育研究,2024,30(1):16-23,32.
- [3] Nagi F, Salih R, Alzubaidi M, et al. Applications of artificial intelligence (AI) in medical education: a scoping review[J]. Stud Health Technol Inform, 2023,305:648-651.
- [4] 赵阳,曲红梅,李振国,等. AI结合混合式教学模式在外科学教学中的应用[J]. 中国继续医学教育,2024,16(6):88-92.
- [5] Walter W, Pohlkamp C, Meggendorfer M, et al. Artificial intelligence in hematological diagnostics:

- game changer or gadget? [J]. *Blood Rev*, 2023, 58:101019.
- [6] Didi I, Alliot J M, Dumas P Y, et al. Artificial intelligence-based prediction models for acute myeloid leukemia using real-life data: a DATAML registry study[J]. *Leuk Res*, 2024, 136:107437.
- [7] Xing Y, Liu X, Dai J, et al. Artificial intelligence of digital morphology analyzers improves the efficiency of manual leukocyte differentiation of peripheral blood [J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2023, 23:50.
- [8] 上海交通大学医学院附属瑞金医院, 王学锋, 武文漫, 等. 一种高活性凝血因子XI突变体及其基因治疗/编辑载体、重组/融合蛋白的制备与应用: CN108220274A[P]. 2018-06-29.
- [9] Filius R M, de Kleijn R A M, Uijl S G, et al. Strengthening dialogic peer feedback aiming for deep learning in SPOCs[J]. *Comput Educ*, 2018, 125:86-100.
- [10] 赵晗, 付卓, 董丽刚, 等. 互联网+时代新医科《临床血液学检验技术》虚拟仿真实验教学改革与实践[J]. *医学理论与实践*, 2024, 37(16):2873-2875, 2880.
- [11] 彭交凤. 个性化临床检验技能教学: 基于知识图谱的策略与实践[C]//2024全新医护与中医医学文化交流会论文集. 2024:7-9
- [12] 冯馨锐, 吴韦伽, 张晓丽, 等. 人工智能在临床血液学检验教学中的应用[J]. *中华检验医学杂志*, 2025, 48(2):286-291.
- [13] 林满华, 蔡静怡, 李子丰. 线上线下混合式教学应用探讨——以“临床血液学检验技术”为例[J]. *教育教学论坛*, 2021(24):165-168.
- [14] 王也飞, 徐子真, 丁磊, 等. “临床血液学和血液学检验”教学改革的实践探究[J]. *诊断学理论与实践*, 2022, 21(5):659-662.
- [15] 靳杨, 王虹, 王俊虹, 等. 多元化数字教学模式在临床血液学检验实验教学中的应用[J]. *中国继续医学教育*, 2025, 17(7):51-55.
- [16] 孔令希, 朱璇. 人工智能在检验医学教学中的应用[J]. *医学教育研究与实践*, 2024, 32(6):713-717.
- [17] Kaestner L. Artificial intelligence: training the trainer[J]. *Br J Haematol*, 2022, 198(5):805-806.

(收稿日期:2025-04-07, 修回日期:2025-05-16)

(本文编辑:闫红)

**开放获取** 本文使用遵循知识共享署名-非商业性-禁止演绎 4.0 协议(CC BY-NC-ND 4.0), 详细信息请访问 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>。

**OPEN ACCESS** This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Deed (CC BY-NC-ND 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.