

心血管模拟医学教育发展历程及展望



薛传伟¹, 秦培培², 向洁¹, 王芳¹

1. 中国医学科学院阜外医院教育处 (北京 100037)
2. 中国医学科学院北京协和医院妇产科 (北京 100730)

【摘要】心血管病学作为医学中理论抽象性与实践高风险性并存的学科, 具有操作难度大、模型结构复杂、知识体系庞大的特点, 一直是医学教育中的难点。然而, 模拟医学的出现为心血管病学教育带来了革命性的改变。模拟医学以其安全、真实、可重复及可操控的特点, 为心血管病学教育提供了重要的实践平台。近年来, 随着模拟医学技术与材料科学的快速发展, 其在心血管病学教育中的应用日益广泛。本文旨在探讨心血管模拟医学的发展现状及未来展望, 以期心血管病学医学教育提供新的思路和方法。

【关键词】医学模拟教育; 心血管病学; 现代医学; 训练系统

【中图分类号】G511; R54 **【文献标识码】**A

Current status and prospects of cardiovascular simulation medical education development

XUE Chuanwei¹, QIN Peipei², XIANG Jie¹, WANG Fang¹

1. Department of Education, Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100037, China
2. Department of Obstetrics and Gynecology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

Corresponding author: WANG Fang, Email: wangfang_fuwai@126.com

【Abstract】As a discipline characterized by theoretical abstraction and high practical risk in medicine, cardiology has the characteristics of high level of operational difficulty, complex modelling structures and huge knowledge system, which has always been a difficult point in medical education. However, the emergence of simulated medicine has brought revolutionary changes to cardiovascular education. With the characteristics of safety, authenticity, repeatability and controllability, simulated medicine provides an important practical platform for cardiovascular education. In recent years, with the rapid development of simulated medical technology and material science, it is widely used in cardiovascular education. The purpose of this paper is to explore the development status and future prospect of cardiovascular simulation medicine, to provide new ideas and methods for cardiovascular medical education.

【Keywords】Medical simulation education; Cardiology; Modern medicine; Training system

心血管病学作为医学领域的核心学科, 致力于研究和解决心脏与血管相关疾病在健康促进、预防、诊断、控制、治疗及康复等多个环节中的问题^[1]。然而, 鉴于其

知识体系的深奥性与复杂性, 传统教学模式往往难以达成理想的教学效果^[2]。在此背景下, 模拟医学技术的快速发展为心血管病学教育改革开辟了新路径。

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202511042

基金项目: 中国医学科学院阜外医院研究生教学管理信息化建设项目 (2024-AI14)

通信作者: 王芳, 副研究员, Email: wangfang_fuwai@126.com

模拟医学技术通过模拟心血管系统疾病的真实诊疗环境,使学习者在无风险条件下进行实践操作,从而显著提升学习效果^[3]。该技术不仅能高度还原真实场景,为学生提供沉浸式的临床实践体验,还具备较强的可重复性与可操控性^[4],支持学习者反复练习直至熟练掌握相关技能。

模拟医学技术的应用可有效强化医学生对心血管疾病的认知与理解。通过模拟实践,学生能更深入地理解疾病的发病机制、临床表现及规范化治疗方案,进而更有效地掌握心血管病学的基础理论知识及临床技能^[5]。同时,该技术有助于培养学习者的临床思维及应急处理能力,使其在面对真实临床情境时能够快速、精准地完成病情判断与诊疗决策^[6]。

除在医学教育领域的广泛应用外,模拟医学技术在临床科研转化及生物医学工程研究中也同样发挥着关键作用。研究人员可依托该技术深入探究不同疾病的临床表现,整合临床诊疗新技术、新材料,有针对性地开发相关模拟设备,验证新技术的可操作性与可重复性,加速临床科研成果的转化进程,促进医学领域新质生产力快速发展^[7]。

当然,模拟医学技术并非完美无缺,仍存在一定局限性。尽管其仿真效果已高度贴近真实场景,但仍无法完全替代真实临床情境,也难以涵盖临床中所有可能的状况。因此,在心血管病学的教学与科研工作中,需以客观审慎的态度运用该技术,将其与传统教学方法有机结合,从而实现最优的教学与研究效果。综上,模拟医学技术为心血管病学教育创造了新的机遇与挑战。现阶段,需充分运用该技术,高效培养学习者的临床实操能力与专业思维素养,促进心血管病学的持续发展。本文聚焦心血管病学领域,系统分析模拟医学技术在本学科教学与科研环节中的应用优势及当前存在的局限性,以明确模拟医学的实践应用效能,提出其与传统教学模式融合的实施路径,为提升心血管专业人才培养质量、推动本学科临床科研的创新发展提供支撑。

1 模拟医学教育发展进程

1.1 模拟医学教育发展起源

模拟医学教育虽有着悠久的渊源,但其作为系统性教学手段的历史却相对较短。现代模拟医

学教育的雏形最早可追溯至20世纪60年代^[8]。模拟教育的理念源自战争沙盘推演,直至20世纪90年代中期,80%的模拟教育应用仍集中在军事领域^[9]。医学伦理体系的完善为模拟医学教育的发展奠定了道德基石^[10]。传统医学教学多依托动物实验、遗体解剖等方式开展,存在伦理局限、资源短缺等问题,使得模拟教学成为医学教育体系中的重要补充。同时,电子游戏行业的发展为模拟医学教育注入全新活力。电子游戏以其趣味性、模拟性、便捷性、可操作性的特点与模拟医学教育的原理高度契合,是适配医学教学的优质载体,有效助推了模拟医学教育的快速发展,也为其发展模式的革新指明了方向^[11-12]。

1960年,挪度(Laerdal)公司推出的复苏安妮(Resusci Annie)模型,是医学模拟发展史上的里程碑事件^[13]。该模型最初设计用于口对口人工呼吸训练,其面部特征参照法国塞纳河中溺水身亡的著名无名少女(L'Inconnue de la Seine)的遗容塑造。挪度公司旨在通过构建具人文关怀特质的模拟“受害者”形象,引导并激励旁观者实施救援行为。随着应用拓展,该模型升级增设了胸骨部位弹簧装置,专用于心肺复苏技能训练。20世纪60年代末,心脏病患者模拟器Harvey在迈阿密大学首次面世^[14]。此后数十年间,用于复苏训练、体格检查及操作技能练习的简易塑料模型相继出现。20世纪90年代,医学模拟领域迎来突破性发展,高级任务训练器(advanced task trainer)应运而生,其整合了可视人体项目(visible human project)、微创手术技术、触觉反馈系统及计算机控制平台。从最初仅能复刻逝者面部特征、满足基础操作需求的简易人工呼吸模拟人,发展至集成数字化模块与触觉反馈系统的综合训练装备,医学模拟教具已历经多轮技术迭代,逐步实现功能从单一的心肺复苏实操训练,向多学科融合的智能临床技能综合实训转型跨越。

1.2 国外模拟医学教育发展进程

国外模拟医学教育起步较早,目前已形成较为完善的模拟医学教育体系和训练系统。在模拟设备研发方面,多家企业已推出多款适配心血管临床教学的专业设备。其中,HT Medical完善了静脉导管模拟器,其设备用于腹腔灌洗和心包穿刺术等临床操作训练^[15]。Simsuite是第一个研发介入心脏病学培训系统的传统医学模

拟公司，且获得美国心脏病学会（American College of Cardiology, ACC）认可，并装备移动训练装置。三菱电机（Mitsubishi Electric）开发了第2款介入模拟系统，涵盖透视检查、导管物理学、血流动力学、触觉学和流体流体力学等核心内容^[16]。针对心脏病学技能培训与评估的 Simulator-K 部分模型于1990年首次进行展示^[17]。在体外循环支持系统模拟方面，澳大利亚学者认识到危重症患者心脏灌注时突发事件处理训练的重要性，于1992年开发出 Manbit 灌注模拟器^[18]。

加拿大和瑞士早在20年前已开展模拟医学教育工作，并将基于医学研究的客观结构化临床考试（objective structured clinical examination, OSCE）应用于模拟操作考核及资格认证工作^[19]。作为传统的知识技能考核模式，OSCE 还是评估临床技能的标准化工具，可引导医学生在早期训练阶段接触和了解未来作为临床医生可能会面临的问题。法国则将医学生参加模拟训练写入了《2022年国家卫生法》^[8]。1938—2024年医学模拟发展关键里程碑见图1。

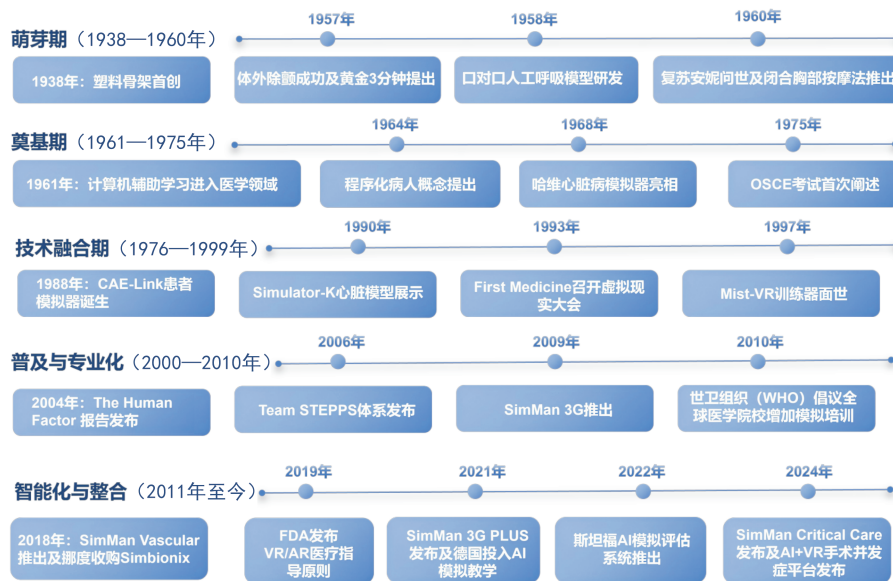


图1 医学模拟发展关键里程碑（1938—2024年）

Figure 1. Key milestones in the development of medical simulation from 1938 to 2024

1.3 国内模拟医学教育发展进程

相较于国际发展态势，我国模拟医学教育起步相对较晚，但在国家政策的持续扶持与大力推动下，近年来发展迅速，现已成为我国现代医学教育与临床技能培训体系的核心构成要素^[20]。国内各大医学院校及医疗机构相继投入资源，筹建模拟医学培训中心或临床技能中心^[21-22]。值得关注的是，首都医科大学作为亚洲地区率先引入生理驱动型高仿真模拟人的医学院校，其系统基于计算机控制技术实现人体脏器及系统功能的动态模拟^[23]。2002年，营口巨成教学科技开发有限公司成功研制仿真电子标准化病人及配套教学软件系统^[24]。中国医学科学院阜外医院为亚太地区首家引入“Living Heart 心脏模型”（该模型由美国达索公司基于虚拟成像技术开发，通过整合心脏流体力学模型、结构力学模型、心电机械模型与虚拟组织模型构建的可视化“活体”心脏系

统）的机构，将其用于学术研究与临床教学，实现疾病病理生理机制及演变过程的立体化呈现，可有效缓解临床教学资源与解剖标本短缺的困境，显著提升培训效能^[25]。在心血管介入手术模拟器这一核心领域，近年来我国自主研发的模拟系统已取得显著进展，产出多项具备自主知识产权的研究成果。微创医疗机器人（集团）股份有限公司等企业研发的血管介入模拟系统，借助集成力反馈与虚拟影像技术，可对导丝、导管在血管内的行进与操作过程进行模拟。同时，北京航空航天大学、上海交通大学等高校及科研机构凭借其在机器人学和计算机图形学领域的科研优势，已开展介入手术模拟器关键技术的攻关工作，开发出拥有自主核心算法的模拟训练平台^[26]。相较于进口产品，国产模拟设备具备一定的成本优势，为降低国内医疗机构开展心血管介入模拟培训的门槛创造了可能。

在课程设置层面,国内外模拟医学教育仍存在明显差距。欧美等发达国家的心血管模拟教育课程体系更为成熟且系统化,常与国家层面的住院医师规范化培训或专科医师认证体系深度融合。依托ACC对Simsuite等模拟培训系统的认可,模拟训练已成为心血管专科医师培训的重要组成部分。课程内容通常基于明确的胜任力目标,分阶段、有层次地推进^[16]。相比之下,我国心血管模拟教育课程设置尚处于发展阶段。尽管诸多中心已引入先进的模拟设备,但在课程的系统性、标准化及与考核认证体系衔接方面仍需进一步加强。现有培训多以单次、分散的技能工作坊形式呈现,尚未形成贯穿医师培训全周期、紧密贴合临床实践的阶梯式课程体系。但随着我国住院医师规范化培训制度深入实施,国内多家顶尖医疗机构和医学院校正积极借鉴国外经验,结合自身实际情况,探索构建标准化的心血管模拟教学课程。

同时,科技创新为国内模拟医学教育发展持续赋能,随着人工智能、虚拟现实(virtual reality, VR)等技术的突破性进展,医学模拟设备与技术持续升级迭代。国内医学院校、医疗机构与设备制造商深化合作,联合研发新型心血管病学模拟教学设备,为心血管病学教育构建了创新平台^[27]。此外,国内模拟医学领域专家学者积极致力于相关研究及教学工作,为学科纵深发展提供了坚实的学术支撑^[28]。

2 模拟教学的设备与方法

模拟医学设备与技术的发展为心血管病学教育提供了教学资源与实践平台,各类心血管模拟训练系统已成为专科教学的主流工具。该类系统能模拟多种心血管疾病的病理特征与诊疗场景,使医学生在安全的环境中进行实践操作。部分高级模拟系统可高度还原手术室环境与流程,有助于医学生提升诊断能力与临床操作技能。模拟设备与教育方法的融合,可为医学教育工作者提供新型教学手段,提高教学成效。心血管模拟教学方法分类框架见图2。

当前,模拟医学技术持续创新,心脏电生理模拟器等多种新型设备与软件不断涌现,可精准模拟心血管系统的生理及病理状态,为学习者提供真实的实践体验^[29]。同时,模拟医学的应用范围不断拓展,从基础理论教学延伸至临床实习与

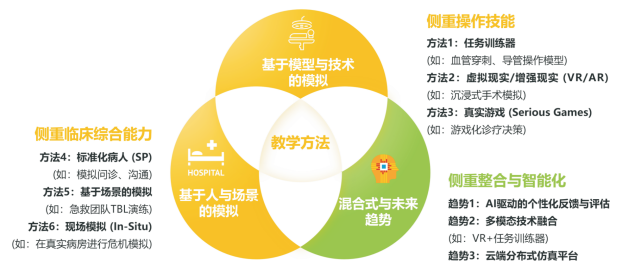


图2 心血管模拟教学方法分类框架

Figure 2. Classification framework of cardiovascular simulation teaching methods

继续教育领域。此外,模拟医学与真实世界的结合更为紧密,借助大数据与人工智能可实现精准模拟与个性化教学^[30]。

2.1 任务训练器

在医学教育范畴内,模拟设备的应用日益广泛。其中,任务训练器专为特定技能的练习而设计,可让学生在安全的环境中反复练习,从而熟练掌握相关技能,在心血管病学的专业教学中发挥着至关重要的作用。

模拟设备借助对真实病例的模拟,为学生构建安全且可控的练习场景^[31]。学生可开展大量、反复的操作练习,规避了临床实操对真实患者造成潜在伤害的风险。该模式不仅有助于提升学生的技能水平,还能增强其自信心及应对紧急情况的能力。在心血管病学教学中,模拟设备教学多采用基于案例教学法(case-based learning, CBL),以实际病例为基础,使学生在实践中学习知识与掌握技能^[32]。每个模拟病例均包含详细的信息,学生需依据信息制定诊疗计划并开展操作练习。通过大量、重复的训练,学生能熟练掌握心血管疾病的诊疗流程、操作技巧,提升临床决策能力,进而提高技能水平。该模式有助于学生理解和应用理论知识,构建知识体系。

此外,模拟设备还可用于教学评估与反馈环节。教师通过观察学生的操作,了解其技能掌握情况及存在的问题,及时给予指导和建议,帮助学生纠正错误、改进技能,推动其专业发展。

2.2 基于场景的模拟

借助高保真模拟器与不同实际场景相融合,采用以团队为基础的学习(team-based learning, TBL)模式,对专业团队合作开展全面培训^[33]。该新型模拟教学模式着重关注团队协作,充分发挥人的创造性、灵活性及实践性,使学习者在模拟环境中获得全方位的锻炼。

在高保真模拟器的支撑下,模拟紧急救援、项目管理、危机处理等实景演练场景,组织学生开展角色扮演与实际操作,授课教师全程督导并实时反馈,保障团队协作流程与实施方法规范准确。在TBL模式下,学生以小组为单位完成实训任务,促进成员间沟通与协作,充分发挥个人专长,为团队贡献力量。模拟教学过程应重视会议讨论与反思环节,任务完成后,团队成员进行总结反思,探讨问题、分享经验并提出改进举措,从而加深对团队协作的理解,提升批判性思维与问题解决能力。

此外,模拟紧急场景能激发学习者的情绪共鸣,使其在面对挑战时快速决策并付诸行动,进一步提升学习投入度与专注度,深刻领会团队协作的重要意义。

2.3 真实游戏

真实游戏,又称严肃游戏(serious games),该术语源自计算机软件领域,其复刻真实世界环境,以游戏化形式传递教学知识,不仅丰富了教学手段,也能有效改善学生的学习体验^[34]。其具备高度灵活、使用便捷的优势,学生借助电脑或手机可随时随地开展学习,不受时空条件限制。在模拟临床场景方面,其可构建出真实的虚拟环境,使学习者能沉浸式参与临床实践的各环节,并可结合自身专业水平扮演不同角色,完成各类任务,从而培养临床实操与团队协作能力。同时,该类程序能模拟常规临床实践情景,如抗凝血剂处方管理咨询,有助于学习者深入了解临床实践,提升应变能力与问题解决能力。然而,在使用该教学工具时,要求学习者预先掌握基础专业知识与操作技能,开发者会结合学习者的特点与需求制定教学计划及内容,并持续更新优化游戏内容,以满足其不断变化的学习需求。

2.4 现场模拟

现场模拟作为一种在真实环境中开展学习的有效途径,通过将模拟场景迁移至真实临床情境,让学习者在贴近实际工作的环境中开展实践操作,从而高效掌握相关知识与操作技能^[35]。该教学方法尤其适用于急诊室、重症监护病房、手术室等高压临床工作环境,有助于锻炼医护工作者的应急处置与临床应变能力。此外,现场模拟还有利于多专业团队开展学习活动,对提升团队协作能力和工作效率具有积极作用。

在工作场所开展现场模拟培训,有助于组织开展学习活动及制定实施流程,使学习者能在实践过程中总结经验、优化流程,提高组织的运行效率和服务质量,是保障患者和医护人员安全的有效举措^[36]。以心脏标准介入过程中的填塞处理为例,现场模拟可真实再现紧急场景及其处理流程,使学习者深入了解该情况的成因、临床表现及规范化处理方法,从而掌握知识和诊疗技能,也能为医疗机构提供可借鉴的经验。

然而,现场模拟也存在一定的局限性和挑战:①准备和实施现场模拟需投入大量的时间和资源;②模拟过程涉及医疗设备与临床场景,必须确保现场模拟的安全性和可靠性;③现场模拟需由经验丰富的模拟教师组织与指导,以保证模拟的准确性和有效性^[37]。

2.5 标准化病人

标准化病人(standardized patients, SP),又称模拟病人、标准化患者,是一种成熟的医学教育教学方法^[38]。该模式由经过严格标准化、系统化培训的健康人群或真实患者构成,可精准模拟临床问题,为医学生营造临场感,使其在模拟临床环境中开展实践活动。

将SP与基于问题的学习(problem-based learning, PBL)模式结合,可构建高效且实用的医学教学模式^[39]。在PBL教学过程中,学生面临模拟的复杂临床问题时,通过主动思考、深入分析、资料查阅及团队讨论等方式解决问题,强化理论知识,提升临床思维与诊疗能力。SP能模拟多样化的临床场景,使学生得到充分锻炼;能及时给予反馈与评价,有助于学生纠正错误、提升技能;还能有效弥补临床教学病例资源短缺的问题,提供丰富的教学素材。

通过模拟真实病例与临床场景,SP有助于学生掌握疾病的诊疗方法,还可模拟患者的心理状态和社会背景,有助于学生了解患者就医需求与情感变化,提高医患沟通能力。

2.6 虚拟现实增强技术

科技迭代与技术革新,为未来情景模拟的发展奠定了基础。现阶段,模拟技术逐步向高效能工具方向演进,其中,VR与增强现实(augmented reality, AR)技术表现得尤为典型。凭借其独特的技术优势,二者已成为模拟领域的研究焦点^[40]。

首先,VR与AR技术使得用户无需购置多台

昂贵的设备,即可为使用者构建高度仿真的模拟情境。用户通过专用设备接入虚拟系统,能沉浸式完成交互学习与实操训练,不仅降低了成本,还提高了模拟教学的效率和实用性。此外,部分高端模拟器可记录模拟仪器的使用情况,实时记录用户的操作流程、操作速率和操作精确度等数据^[41]。这些数据是分析用户操作习惯、发现潜在问题及改进培训课程的重要依据。依托人工智能算法对这些数据进行分析,不仅能精准挖掘用户实操过程中存在的缺陷,为学习者提供个性化、精准化的指导方案,显著提升实训学习效果,还可结合用户的实操表现与反馈持续优化模拟器的功能配置,从而提高其真实感和实用性。

毋庸置疑,人工智能技术将对模拟教学产生深远的影响。随着算法不断改进和数据持续积累,更智能、高效的新型模拟设备将不断涌现,为各行业的培训和学习提供更优质的解决方案。

3 心血管模拟医学教育面临的挑战与发展对策

尽管心血管模拟医学教育发展迅猛,应用前景广阔,但在实际推广与应用过程中,仍面临诸多挑战,亟需深入研究并探寻可行的应对策略。

首先,设备成本高昂且普及率较低是当前最为突出的现实障碍。高保真模拟人、VR系统及其配套软件,整体价格往往高达数百万元,且后续维护与更新费用同样不菲。对于经济资源相对匮乏的医疗机构,尤其是广大基层医院,造成了沉重的经济负担,直接限制了优质模拟教学资源的可及性。国产化替代与云端虚拟仿真平台被视为解决该困境的关键途径。近年来,国内企业在心血管介入模拟器、电子SP等领域取得显著进展。这些国产设备凭借突出的性价比优势,可降低医疗机构在模拟教学方面的资金门槛。同时,基于云端的虚拟仿真平台则提供了一种全新的共享模式:医疗机构无需一次性投入巨额资金购置全套硬件设备,仅按需购买服务,学员即可通过网络访问高度仿真的虚拟病例库和训练模块。这种模式尤其适用于基层医生的继续教育与技能巩固,能有效推动优质教学资源向基层延伸与普及^[42]。

其次,模拟教学与临床实践的融合程度仍需进一步提高。当前,在许多机构中,模拟训练与

临床实践尚存在脱节现象。模拟课程未能充分融入住院医师规范化培训体系,导致“为模拟而模拟”的情况,缺乏将模拟经验有效迁移至真实临床场景的动力与指导。如何实现两者深度整合,构建“理论-模拟-临床”三位一体的教学模式,是亟待解决的难题。解决思路在于推进课程体系的标准化与一体化建设。可借鉴国际经验,结合本土教学实际,由行业协会或权威学术组织牵头,制定基于胜任力的阶梯式心血管模拟教学大纲,并将其纳入各阶段培训与考核要求,使模拟训练真正成为通向临床实践的必要环节^[43]。

最后,模拟情境与真实世界的固有差异不容忽视。即使是最先进的模拟技术,也无法完全还原真实临床环境的复杂性和不可预测性,如患者的个体化差异、多任务并行带来的压力、突发状况的随机性等。若过度依赖模拟环境下的训练,学员在面对真实患者时可能出现操作失误或决策偏差。因此,必须保持审慎客观的态度,将模拟教学视为传统教学和临床实践的有力补充,而非替代。在实际教学中,需明确强调模拟的局限性,并注重培养学员将模拟情境中形成的思维定式转化为应对现实世界复杂情境的灵活应变能力。

4 展望与结语

心血管模拟医学教育将持续发挥其关键作用,且有望实现更大突破与发展。一方面,随着科技持续进步,模拟设备与软件将更先进、更逼真,可为医学生提供更真实、高效的实操操作体验。如高保真生理模型和VR、AR技术的深度融合,将使学生能在无风险环境中进行复杂手术的模拟操作,显著提升其操作熟练度和临床决策能力。另一方面,模拟医学与真实世界的融合将更紧密,借助大数据分析与人工智能技术,可实现对心血管疾病的精准模拟和个性化教学。人工智能可基于学员的实际操作数据提供实时反馈与自适应学习路径,大数据则能整合多种来源的临床信息,构建出更接近真实病例的模拟场景,从而有效培养学员应对多样性和罕见病例的能力。

此外,模拟医学的应用范围还将拓展至心血管疾病预防、早期诊断和综合治疗等领域。通过模拟技术,医生可在虚拟环境中评估不同干预策略的有效性,优化治疗方案,并为患者提

供更直观的健康管理教育。这将为心血管疾病的全程防治提供更全面、有效的技术支持与教育工具。

综上所述, 心血管模拟医学作为医学教育的全新思路与方法, 已为心血管病学教育带来深刻变革。未来, 随着全球科技水平的不断提升和应用领域的持续拓展, 心血管模拟医学不仅将在教育阶段发挥更核心的作用, 还有望在继续教育、专科培训乃至多学科团队协作中扮演关键角色。其将推动医学教育向更具包容性、高效性和精准性的方向发展, 最终提升整体医疗质量与改善患者预后水平。

伦理声明: 不适用

作者贡献: 研究立项、整体研究管理: 王芳; 文献查阅: 薛传伟、秦培培、向洁; 论文撰写: 薛传伟; 论文修改: 秦培培; 论文审定: 秦培培、向洁、王芳

数据获取: 不适用

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 中华医学会心血管病学分会, 中国康复医学会心脏预防与康复专业委员会, 中国老年学和老年医学学会心脏专业委员会, 等. 中国心血管病一级预防指南[J]. 中华心血管病杂志, 2020, 48(12): 1000-1038. [Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Cardiovascular Disease Prevention and Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Cardiovascular Disease Committee of Chinese Association of Gerontology and Geriatrics, et al. Chinese guideline on the primary prevention of cardiovascular diseases[J]. Chinese Journal of Cardiology, 2020, 48(12): 1000-1038.]
- 宋运娜. STEAM教育对医学教育教学模式的启示[J]. 中华医学教育探索杂志, 2020, 19(1): 12-17. [Song YN. Enlightenment of STEAM education to the teaching model of medical education[J]. Chinese Journal of Medical Education Research, 2020, 19(1): 12-17.]
- 汪东方, 孔子哲, 左钰, 等. 基于文献计量学的国内外胸外科医学模拟教育发展的对比分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(12): 1697-1702. [Wang DF, Kong YZ, Zuo Y, et al. A comparative analysis of national and international thoracic surgery simulation-based medical education development based on bibliometrics[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2023, 30(12): 1697-1702.]
- 卢秀兰. 医学模拟培训的技术类型与应用[J]. 中国小儿急救医学, 2024, 31(3): 167-170. [Lu XL. Technical types and applications of medical simulation training[J]. Chinese Pediatric Emergency Medicine, 2024, 31(3): 167-170.]
- Cuba M, Vanluchene H, Murek M, et al. Training performance assessment for intracranial aneurysm clipping surgery using a patient-specific mixed-reality simulator: a learning curve study[J]. *Oper Neurosurg*, 2024, 26(6): 727-736.
- Arian AR, Dorfam H, Peyman SN. Simulation-based training in cardiac surgery: a systematic review[J]. *Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg*, 2023, 37(2): ivad079.
- 蔡小狄, 程晔, 钱欣, 等. 模拟改变临床: 加强儿童急重症医学模拟教学[J]. 中国小儿急救医学, 2024, 31(3): 162-166. [Cai XD, Cheng Y, Qian X, et al. Simulation changes clinical practice: enhanced simulation in pediatric critical care[J]. Chinese Pediatric Emergency Medicine, 2024, 31(3): 162-166.]
- Pezel T, Coisne A, Bonnet G, et al. Simulation-based training in cardiology: state-of-the-art review from the French Commission of Simulation Teaching (Commission d'enseignement par simulation-COMSI) of the French Society of Cardiology[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2021, 114(1): 73-84.
- Perkins GD. Simulation in resuscitation training[J]. *Resuscitation*, 2007, 73(2): 202-211.
- Seam N, Lee A, Vennero M, et al. Simulation training in the ICU[J]. *Chest*, 2019, 156(6): 1223-1233.
- Jivendra G, Makani P, Julian G. Simulation in cardiology: state of the art[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(13): 777-783.
- Gorbanev I, Agudelo-Londoño S, González RA, et al. A systematic review of serious games in medical education: quality of evidence and pedagogical strategy[J]. *Med Educ Online*, 2018, 23(1): 1438718.
- Singh H, Kalani M, Acosta-Torres S, et al. History of simulation in medicine: from Resusci Annie to the Ann Myers Medical Center[J]. *Neurosurgery*, 2013, Suppl 1: 9-14.
- St Clair EW, Oddone EZ, Waugh RA, et al. Assessing housestaff diagnostic skills using a cardiology patient simulator[J]. *Ann Intern Med*, 1992, 117(9): 751-756.
- Kaufmann C, Liu A. Trauma training: virtual reality applications[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2001, 81: 236-241.
- Cotin S, Dawson SL, Meglan D, et al. ICTS, an interventional cardiology training system[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2000, 70: 59-65.
- Takashina T, Masuzawa T, Fukui Y. A new cardiac auscultation simulator[J]. *Clin Cardiol*, 2010, 13(12): 869-872.
- Klijn E, Niehof S, Bakker J, et al. Effect of a preload challenge on peripheral perfusion in critically ill patients[J]. *Crit Care*, 2010, 14: 124.
- Europa Publications. The Europa Directory of International Organizations 2022. 24th Edition[M]. London: Routledge, 2022: 14.
- 李文幸, 洪云霞, 陈志敏. 医学模拟教育在住院医师规范化培训中的应用[J]. 中国小儿急救医学, 2024, 31(3): 171-174. [Li WX, Hong YX, Chen ZX. Application of simulation-based medical education in standardized training of residents[J]. Chinese Pediatric Emergency Medicine, 2024, 31(3): 171-174.]
- 雷佳. 对医学院校建立临床技能培训中心的几点思考[J]. 课程教育研究, 2020, (4): 223-224. [Lei J. Thoughts on establishing clinical skills training centers in medical colleges and universities[J]. Course Education Research, 2020, (4): 223-224.]
- 任志英, 陈超, 张芝颖. 临床技能中心建设与临床实践教学研究[J]. 医学教育管理, 2023, 9(5): 621-629. [Ren ZY, Chen C, Zhang ZY. Research on the construction of clinical skills centers and clinical practice teaching[J]. Medical Education Management, 2023, 9(5): 621-629.]
- 孙长怡, 秦俭, 王征, 等. 生理驱动高仿真模拟培训技术在国内外急诊医学领域应用初探[J]. 中国急救医学, 2005, 25(9): 3. [Sun CY, Qin J, Wang Z, et al. Preliminary exploration of the application of physiology-driven high-fidelity simulation training technology in the field of emergency medicine in China[J]. Chinese Journal of Critical Care Medicine, 2005, 25(9): 3.]
- 金桂兰, 曾莉, 李长吉, 等. 有创性仿生医学训练模型的研制与运用研究[J]. 中国高等医学教育, 2009, (8): 2. [Jin GL, Zeng L, Li CJ, et al. Research on the development and application of invasive bionic medical

- training models[J]. China Higher Medical Education, 2009, (8): 2.]
- 25 郭潇雅. Living Heart: 走在医学虚拟技术最前沿[J]. 中国医院院长, 2016, (13): 2.[Guo XY. Living Heart: at the forefront of medical virtual technology[J]. China Hospital CEO, 2016, (13): 2.]
- 26 李晓玲, 刘子荧, 莫泽宇, 等. 医疗装备产品研发中的人机交互和创新设计[J]. 包装工程, 2023, 44(20): 65-76.[Li XL, Liu ZY, Mo ZY, et al. Human-computer interaction and innovative design in the research and development of medical equipment products[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(20): 65-76.]
- 27 李彩霞, 阎霞, 王霞, 等. 医学院校技能培训室开放与管理模式的效果评价[J]. 卫生职业教育, 2023, 41(7): 79-81. [Li CX, Yan X, Wang X, et al. Evaluation of the effect of opening and management mode of skills training room in medical schools[J]. Health Vocational Education, 2023, 41(7): 79-81.]
- 28 李晓玲, 刘子荧, 莫泽宇, 等. 医疗装备产品研发中的人机交互和创新设计[J]. 包装工程, 2023, 44(20): 65-76. [Li XL, Liu ZY, Mo ZY, et al. Human-computer interaction and innovative design in the development of medical equipment products[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(20): 65-76.]
- 29 陈祖萍, 华飞. 我国模拟医学教育的研究现状可视化分析和前沿趋势[J]. 卫生职业教育, 2024, 42(2): 157-160. [Chen ZP, Hua F. Visualization analysis and frontier trend of research status of simulation-based medical education in China[J]. Health Vocational Education, 2024, 42(2): 157-160.]
- 30 邱海龙, 郭惠明, 姚泽阳, 等. 人工智能在心血管医学中的应用[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2021, 28(10): 1160-1166. [Qiu HL, Guo HM, Yao ZY, et al. Application of artificial intelligence in cardiovascular medicine[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2021, 28(10): 1160-1166.]
- 31 McGaghie WC, Barsuk JH, Wayne DB. The promise and challenge of mastery learning[J]. Adv Med Educ Pract, 2017, 8: 393-394.
- 32 卢新政, 侯麦花, 杨安琪, 等. CBL结合模拟诊疗在心血管内科见习教学中的应用[J]. 中国高等医学教育, 2013, (8): 3.[Lu XZ, Hou MH, Yang AQ, et al. Application of CBL combined with simulated diagnosis and treatment in internship teaching of cardiovascular medicine[J]. China Higher Medical Education, 2013, (8): 3.]
- 33 McGaghie WC, Barsuk JH, Wayne DB. The promise and challenge of mastery learning[J]. Adv Med Educ Pract, 2017, 8: 393-394.
- 34 王咏梅, 宁丽, 徐淑慧, 等. 基于游戏的沉浸式情景模拟教学法在心血管内科护理带教中的应用研究[J]. 中国高等医学教育, 2023, (10): 126-129.[Wang YM, Ning L, Xu SH, et al. Application of game-based immersive scenario simulation teaching method in cardiovascular nursing preceptorship[J]. China Higher Medical Education, 2023, (10): 126-129.]
- 35 梅琦敏, 张挺, 柴晶晶, 等. 原位情境模拟在临床医学八年制学生 ACLS 培训中的应用[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(3): 660-664. [Mei QM, Zhang T, Chai JJ, et al. Application of in situ scenario simulation in advanced cardiac life support training for eight-year medicinal students[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2023, 14(3): 660-664.]
- 36 王广明, 柯琳红, 刘闯, 等. 模拟教学对提高临床医学生发现患者安全隐患能力的探讨[J]. 吉林医学, 2023, 44(12): 3638-3640. [Wang GM, Ke LH, Liu C, et al. Exploration of simulated teaching in enhancing clinical medical students' ability to identify potential safety hazards in patients[J]. Jilin Medical Journal, 2023, 44(12): 3638-3640.]
- 37 张薇薇, 朱晨, 李乾明, 等. 现场表演模拟与场景视频投影在临床教学中的比较研究[J]. 安徽医学, 2021, 20(5): 91-93.[Zhang WW, Zhu C, Li QM, et al. Comparative study of live performance simulation and scene video projection in clinical teaching[J]. Journal of Anhui Medical College, 2021, 20(5): 91-93.]
- 38 Neelankavil J, Howard-Quijano K, Hsieh TC, et al. Transthoracic echocardiography simulation is an efficient method to train anesthesiologists in basic transthoracic echocardiography skills[J]. Anesth Analg, 2012, 115(5): 1042-1051.
- 39 杨旻. PBL和模拟教学法在高级心血管生命支持技能训练中的应用经验和体会[J]. 安徽医学, 2012, 33(6): 763-764. [Yang M. Application experience and insights of PBL and simulation teaching methods in advanced cardiovascular life support skills training[J]. Anhui Medical Journal, 2012, 33(6): 763-764.]
- 40 王瑜瑾. 虚拟现实技术在临床医学教学中的应用研究[J]. 信息系统工程, 2024, (3): 36-39.[Wang YJ. Research on the application of virtual reality technology in clinical medical teaching[J]. China CIO News, 2024, (3): 36-39.]
- 41 张盛, 张继琛, 吴晓玉, 等. VR技术联合CBL教学在急诊住院医师规范化培训教学中的探索应用[J]. 全科医学临床与教育, 2024, 22(1): 57-60. [Zhang S, Zhang JC, Wu XY, et al. Exploration and application of VR technology combined with CBL teaching in resident training teaching of emergency[J]. Clinical Education of General Practice, 2024, 22(1): 57-60.]
- 42 张雯, 潘新祥, 邵建祥. 多元共治视域下国家区域医疗中心建设探索[J]. 现代医院, 2023, 23(5): 671-673. [Zhang W, Pan XX, Shao JX. Establishment of state-level regional medical center from the perspective of multi-governing model[J]. Modern Hospital, 2023, 23(5): 671-673.]
- 43 徐书贤. 模拟医学教育: 医学教学发展的时代必然[J]. 中国医院院长, 2023, 19(3): 22-23.[Xu SX. Simulated medical education: an inevitable trend in the development of medical teaching[J]. China Hospital CEO, 2023, 19(3): 22-23.]

收稿日期: 2025年11月10日 修回日期: 2026年03月15日
 本文编辑: 杨燕 曹越

引用本文: 薛传伟, 秦培培, 向洁, 等. 心血管模拟医学教育发展历程及展望[J]. 医学新知, 2026, 36(6): 713-720. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202511042.

Xue CW, Qin PP, Xiang J, et al. Current status and prospects of cardiovascular simulation medical education development[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2026, 36(6): 713-720. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202511042.