·教育研究·

人工智能应用于医学教育的现状、挑战与前景

袁靳闲[1]　李金政[2]
[1]重庆医科大学附属第二医院神经内科，重庆 400010；[2]重庆医科大学附属第二医院肝胆外科，重庆 400010
通信作者：李金政，Email：lijinzheng@hospital.cqmu.edu.cn

【摘要】 本文通过详细阐述人工智能（artificial intelligence，AI）的概念、AI在医学领域及医学教育领域的发展、AI应用于医学教育的价值意义及策略与工具，向读者全面展示了AI在医学教育中的应用现状。同时，深入分析AI在医学教育应用中面临的一系列挑战，包括基础设施和技术框架不完善、结构化课程缺乏、医生/学生与系统设计者之间存在知识鸿沟等。对于未来前景，AI在医学教育中的应用需要伦理保障与专业培训、医学教育将深度依赖AI技术革新、AI将推动医学教育领域更全面、更精准地评估、AI将促进医学教育方式及技能训练环境的变革。

【关键词】 人工智能；　医学教育；　现状；　挑战；　前景
【中图分类号】 R-05
基金项目：重庆市教育委员会高等教育教学改革研究项目（243096）；重庆医科大学教育教学改革研究项目（JY20230205）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240711-02049

Current status, challenges, and prospects of artificial intelligence application in medical education

Yuan Jinxian[1], Li Jinzheng[2]
[1]Department of Neurology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China; [2]Department of Hepatobiliary Surgery, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China
Corresponding author: Li Jinzheng, Email: lijinzheng@hospital.cqmu.edu.cn

【Abstract】 This article provides a comprehensive overview of the current application of artificial intelligence (AI) in medical education by elaborating on the concept of AI, its development in the medical field and medical education, and the value, significance, strategies, and tools for its application in medical teaching. Subsequently, an in-depth analysis reveals a series of challenges in the application of AI in medical education, including imperfect infrastructure and technical frameworks, lack of structured curricula, and a knowledge gap between doctors/students and system designers. Regarding the prospects, the article highlights that the application of AI in medical education requires ethical safeguards and professional training, medical education will deeply rely on AI technological innovations, AI will promote more comprehensive and precise assessments in the field of medical education, and AI will drive the transformation of medical teaching methods and skill training environment.

【Key words】 Artificial intelligence;　Medical education;　Current status;　Challenge;　Prospect
Fund program: Chongqing Municipal Education Commission Higher Education Teaching Reform Research Project (243096); Education Teaching Reform Research Project of Chongqing Medical University (JY20230205)
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240711-02049

医学本质上极具复杂性，伴随着新疾病的不断涌现与治疗手段的持续创新，医学教育的复杂性也随之日益增加。传统的医学教育以课堂学习、动手训练和导师指导为基础，重视知识获取，并依赖大量记忆来为学生当医生做准备。传统的医学教育往往无法捕捉实际医疗场景的复杂性和不可预测

性，同时受资源可及性限制，医学生接触患者、参与手术操作的机会很少。此外，导师的指导质量参差不齐，这可能会影响学生学习体验的深度、广度及一致性。近年来，人工智能在医学领域的应用快速拓展，它能够辅助医生进行疾病诊断、临床推理、数据分析并做出明智的临床决策。因此，全面了解人工智能在医学教育中的应用现状、面临的挑战及未来发展前景非常重要。

1　人工智能在医学教育领域的应用现状

为呈现国内外人工智能应用于医学教育领域的现状，本研究在 CNKI 和 Web of Science 中进行了文献搜索。在 CNKI 中检索期刊论文，以主题是人工智能医学教育搜索，获得 324 条结果，其中 C 刊和核心期刊为 6 条；以篇名含有人工智能、医学、教学精确搜索，获得 64 条检索结果。在 Web of Science 中，以 artificial intelligence in medical education 为主题搜索，获得 4 494 条结果；以论文标题中含有 artificial intelligence 和 medical education 搜索，获得 143 条结果。在 CNKI 文献分类目录中，只勾选“中等教育”“职业教育”“高等教育”，获得满足条件的结果 37 条。在 Web of Science 中，经过时间、文档类型、研究领域、语言类别的筛选，获得 53 条文献。通过对文献的研读，本文从发展历程、价值意义、应用策略与工具等维度呈现人工智能在医学教育领域的应用现状。

1.1　人工智能的概念

“人工智能”（artificial intelligence，AI）由约翰·麦卡锡于 1956 年在达特茅斯学院的一次研讨会上提出，指机器具有计算功能并在其计算过程中具有一定理性元素，包含一系列应用，从通用领域如学习和感知到高度专业化的任务，如下棋、写诗、驾驶汽车或诊断疾病。艾伦·图灵指出[1]，“如果一台机器能够模仿人类行为，使得询问者无法区分他们是与人还是与机器互动，那么这台机器就可以被认为是智能的。”欧盟委员会提出[2]，人工智能是指“通过分析环境并采取行动来实现特定目标的、表现出智能行为的、具有一定程度自主性的系统”。

1.2　人工智能在医学领域的重大进展

1950 年，艾伦·图灵提出计算机可以模拟智能行为，并具有批判性思维，同时图灵还提出“图灵测试”法，用以探究计算机是否能够像人类一样进行思考[3]。1956 年，约翰·麦卡锡将 AI 定义为“制造智能机器的科学和工程”[4]。1961 年，乔治·德沃尔发明的第一个工业机器人手臂（UniMate）在通用汽车的流水线上展出。1964 年，约瑟夫·魏岑鲍姆引入第一个聊天机器人 Eliza，它能够使用匹配和替换方法模仿对话。1966 年，第一款移动电子人 Shakey 问世，它能够观察环境并针对其环境进行推理。1972 年，最早用于帮助医生诊断细菌感染的专家系统 MYCIN 问世。1973 年，斯坦福大学医学院开发了共享计算机系统 SUMEX-AIM，它是最早专用于医学研究的计算机系统。1976 年，用于图像处理和任务识别的人工神经网络 CASNET 模型问世。该模型包含可提高图像识别准确性的辅助监督模块，它可以用来分析医学影像[5]。1980 年，EMYCIN 使用 Lisp 编程语言，采用基于规则的问题解决方法，将复杂的医疗问题分解为一系列更小、更易于管理的子问题。1986 年，基于计算机的诊断决策支持系统 Dxplain 问世，它可以帮助医疗专业人员做出准确的诊断。2007 年，IBM 开发了 Watson，它通过分析患者大量数据和医学文献来生成个性化治疗方案。2016 年，大卫·汉森博士开发了机器人索菲亚，她能够进行眼神交流，能识别面孔，能就一系列话题进行对话，还能执行诸如量体温、监测病人、管理药物及在手术中提供精准的协助任务。2018 年，谷歌发明了智能助手 Duplex，它可以代用户拨打医院和药店电话，安排预约，提醒患者服药。2018 年，IBM 还开发了 Project Debater，它使用自然语言处理和机器学习算法来理解论点并与人类就复杂话题进行辩论。2019 年，OpenAI 的 GPT-2（生成预训练转换器 2）语言模型问世，它可以用来生成医学教科书和在线课程使用的教育教学材料。2019 年，Google 开发了基于人工智能的语言模型 BERT，它能在大量文本数据上进行预训练后完成特定任务，如情感分析和实体识别。2020 年，OpenAI 开发了语言模型 GPT-3，它能生成文本并完成翻译和撰写摘要等任务。2020 年，DeepMind 公司开发的 AlphaFold 取得突破性进展，其预测蛋白质结构的准确性震惊了科学界。2022 年，人工智能专家成功开发出能监测患者健康并在必要时提醒医疗专业人员的助手，人工智能算法被用来分析患者数据，人工智能驱动的机器人能够以比人类手更精准的方式进行外科手术。2023 年，人们能够利用人工智能，根据患者的遗传组成、医疗历史和其他因素制定个性化治疗方案。同时，基于人工智能的重要发明，更多新的可能性正待开启[6]。

1.3　人工智能在医学教育领域的发展

人工智能融入医学教育是一个相对较新的现象[7]，但其根源可以追溯到早期人工智能在医疗保健领域的发展。最初，人工智能在医学领域的作用主要是提高诊断准确性、优化治疗方案和促进

研究。

人工智能在医学教育中的最初尝试可以追溯到计算机训练程序和模拟器开始出现的20世纪80年代，它主要关注基本诊断过程并提供简单的互动模块。其中，具有开创性的是智能辅导系统[8]，它根据每个学生的知识水平和学习节奏提供量身定制的学习体验。随着技术的不断进步，特别是21世纪初机器学习和数据分析的爆炸式发展[9]，人工智能在医学教育中的应用变得更加复杂和普遍。

21世纪见证的重大转变是人工智能引入了更复杂的模拟模型，如虚拟现实和增强现实系统。这些工具提供沉浸式现实培训环境，让学生能够在无风险的环境中练习和提升技能。此外，大数据分析的出现彻底改变了医学课程的发展样态。人工智能算法开始分析大量数据，以识别学习模式，根据学生的个性化需求定制内容，并预测学习成果[10]。这一时期还产生了教育环境中的AI驱动研究工具，使学生能够以更高的效率参与复杂的研究活动[11]。Mangold 和 Ream 对近 5 000 名斯坦福学生进行的调查显示，2022 年秋季有 17% 的学生在作业和考试中使用了 ChatGPT[12]。如今，人工智能在医学教育中的作用涵盖范围很广，从个性化学习路径和先进的基于模拟的培训，到为残疾人学生提供的辅助技术和基于AI的评价系统[13]。人工智能的应用已从最初的计算机辅助学习工具，逐步发展到增强学习技术，目前已成为医疗教学实践中不可或缺的复杂系统，并引起了众多医学院校及各国政府的高度重视。

医学院校积极尝试将AI融入课程体系，帮助医学生掌握临床环境中运用AI的技能。如哈佛医学院提供的《临床医学中的人工智能》课程帮助医学生了解人工智能在临床实践中的应用。课程涵盖人工智能在医学领域的基本原则，提供关于病人护理、诊断和治疗计划方面的见解。该课程通过关注尖端的AI应用为医学生提供相关前沿知识，弥合知识鸿沟；通过真实案例和专家指导，提供应用于临床环境的实践。又如斯坦福大学人工智能医学成像中心通过跨学科合作，推动人工智能在医学成像和诊断领域的应用。该中心既关注研究也注重实际培训，让学生参与使用机器学习提高诊断准确性的项目。同时，该中心致力于普及人工智能，通过提供广泛数据和变革性工具及跨学科和行业的合作，支持卓越的跨学科人工智能研究。

很多国家出台政策大力推动人工智能在医学领域的发展。例如，中国《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，要将人工智能、精准医学及转化医学等融合医学模式融入医学检验技术专业教学改革中，旨在提升学生对新型技术的理解和掌握能力[14]。美国《保持美国在人工智能领域领导地位的行政命令》强调研发人工智能在医疗领域的应用，以改善患者治疗效果、提高诊断准确性、简化医疗操作、提升人工智能驱动工具的安全性和有效性[15]。

1.4　人工智能应用于医学教育的价值意义

在医学教育领域，人工智能的应用日益普及，并取得了显著成效，其价值意义主要体现在：①虚拟现实拓展了人工智能在医学教育中的应用。VR通过提供创新的、高效的解决方案，在解剖学和外科学等领域改变了医学教育的环境，促进了学生的发展。②人工智能可在更少的时间和经济成本下完成评估过程，并通过学生的反馈提供个性化指导，丰富学生学习体验。③临床环境模拟器可为医学生提供无压力的教学环境，在这里学生可以练习医疗推理并从错误中学习。这些基于人工智能的技术可以将学生的诊断熟练度提高22%[16]。④在教学中使用人工智能可增加透明度，让人们能够对各种医学教育的有效性进行有意义的比较。⑤人工智能融入医学教育使远程学习成为可能，这对于新毕业的，在偏远山区工作的医生具有特别重要的意义。⑥人工智能可以促进主动学习，如基于问题、基于案例的小组和团队学习。通过识别学生的需求并基于这些需求做出决策，提高医学教育质量。另一方面，人工智能能够实现不常见临床病例的广泛分享，让更多学生接触到这些病例。⑦人工智能可为学生提供24小时不间断的学习机会，即使没有教师的积极参与，也可以使用异步学习方法以便适应学生个体的时间表。这对于因工作班次和查房而时间受限的临床学生尤其有用[17]。⑧人工智能有望通过全面审查课程，显著提升对医学生临床和诊断技能的评估质量。人工智能驱动的技术不局限于依赖逻辑回归模型来评估课程，更能识别潜在挑战并提出针对性的解决方案，从而使其比传统的审查方法更为高效。⑨人工智能在线上教学中所扮演的角色，能有效减轻教师进行简单重复性工作的负担，进而减少其工作量。同时，借助智能化的数据收集手段，人工智能能够帮助教师深入洞察学生的在线学习状态，精准把握学生的兴趣点，从而全面提升教学的整体质量。

1.5　人工智能在医学教育中的应用策略与工具

在医学教育中，人工智能的融合正在引发一场范式的转变[7]，这种方向性的改变涉及人工智能应用策略、应用工具及课程设计和评估方法等。人工

智能在医学教育中的应用策略及工具，能够有效促进教学内容的个性化定制和实践技能的虚拟化模拟，显著提升教育的互动与成效。这些策略与工具相辅相成，为培育兼具卓越临床技能与强大自学能力的医学人才提供坚实的技术支撑。

1.5.1 应用策略

个性化学习路径：个性化学习路径利用AI算法分析单个学生的数据，包括学习风格、学习成绩和偏好。然后，AI生成量身定制的学习体验计划，让学生根据自己的节奏专注于自己最需要改进的领域进行学习。这一策略促进以学生为中心的教学方法，确保学习者在最合适的时间获得最合适的资源和支持，从而增强他们对医学知识的理解和记忆[18]。

虚拟患者模拟：虚拟患者模拟借助AI技术创建高度逼真的临床场景，使学生在一个无风险的环境中练习诊断和治疗。这些模拟能够实时响应学习者的决策，即时提供反馈并展示不同的案例结果。此策略通过呈现多样化的复杂病例（在传统临床培训中可能很难遇到这些病例），有效地提升学生的临床决策能力，为学生应对现实医疗世界中的挑战奠定坚实的基础。

自动反馈系统：AI驱动的自动反馈系统能够精准分析学生在评估中的表现，及时提供个性化的反馈，帮助学生明确自身的优势与不足。这些系统可以帮助教育者识别学生学习中的趋势，从而适时调整教学策略。这种方法支持持续的形成性评估过程，这在医学教育中至关重要，因为理解、掌握和应用知识始终是教学工作的核心所在。

AI驱动的虚拟导师：AI驱动的虚拟导师为医学生提供按需个性化支持，解答疑问、阐释复杂概念，并引导学生完成具有挑战性的课程作业。这些虚拟导师全天候待命，为学生提供灵活便捷的学习资源。它们还能追踪学生的学习进度并提供自适应的学习体验，因而是增强课外学习效果的宝贵工具[19]。

智能内容策划：AI能够根据学生的具体学习需求和当前课程内容策划并推送最为相关的资料。这一策略包含利用AI技术深入分析海量医学文献和教育资源，为每个学生精选出最贴切的学习材料。智能内容策划机制确保学生接收到的是最新且最适合其学习阶段的资讯，这在医学这一日新月异的领域显得尤为重要。

1.5.2 应用工具

IBM Watson for Oncology：一款由人工智能驱动的工具，能够辅助诊断癌症患者并为其制定个性化治疗方案。通过深度分析海量的医学文献、患者数据和临床指南，Watson提供基于确凿证据的治疗建议。在医学教育中，它能帮助学生理解肿瘤治疗过程中的复杂决策，为学生提供利用人工智能支持临床实践的最新数据驱动信息[20]。

Anatomy Learning 3D Atlas：一款AI增强的移动应用程序，专为医学生提供互动式人类身体3D模型。该工具能使用户详细探索解剖结构，功能涵盖模型的旋转、特定区域的放大及横切面的查看。集成的AI会根据学生的学习进度调整学习内容，实现学习体验的个性化，从而使学生更轻松地掌握复杂的解剖关系。

Ada Health：一款由人工智能驱动的症状检查应用程序，为医学学生提供一个练习诊断技能的平台。用户输入症状后，应用程序会基于其庞大的医学数据库和先进的AI算法生成可能的疾病列表。它充当一个虚拟诊断助手，协助学生理解鉴别诊断的过程。教师在教授临床推理和诊断病人时需考虑广泛的可能性，对此，Ada Health显得特别有用。

Socrative：一款AI驱动的课堂参与工具，使教育者能够创建实时测验和投票，用以评估学生在讲座中的理解程度。该工具能够为学生和教师提供即时反馈，从而允许动态调整教学策略。其内置的AI功能有助于深入分析学生的回答，精准识别知识差距，并根据班级的具体需求量身定制教学内容。这些功能使其成为医学教育中极为有效的主动学习工具。

OSCE.ai：一款AI驱动的工具，旨在优化客观的、结构化的临床考试流程。它借助人工智能模拟患者互动，自动评估学生的表现，并提供有关临床技能的详尽反馈。通过提供高度逼真的练习场景和个性化反馈，该工具帮助学生为OSCE做好充分准备，这对于提升临床能力至关重要。AI在客观评估学生表现方面展现出的卓越能力，使OSCE.ai成为医学教育中进行形成性和总结性评估的重要助手[21]。

2　人工智能应用于医学教育面临的挑战

在医学教育领域，人工智能的应用带来了诸多益处，但同时也面临着多重挑战。研究发现，AI系统需要进一步提升用户友好性和互动性。此外，AI的效果评估面临挑战，包括缺乏充分的测试和评估策略，以及对数据隐私保护和算法可解释性的担忧。泛化能力不足和样本质量的不确定性同样影响了AI模型的训练质量和准确性。

Furfaro等[22]指出，在处理结构和规则明确界定的问题时，人工智能表现出色，但医学领域的规则定义模糊且反馈存在滞后性，因此医学的复杂性对

人工智能的适用性构成了挑战。Zarei 和 Mamaghani 指出，由于 AI 能够增强和简化学习过程，它在医学教育中的融合正变得越来越普遍[23]。

然而，医学教育中 AI 使用的日益增长也带来了显著的挑战，必须加以应对，以防止潜在的益处被削弱，甚至转化为风险。①基础设施和技术框架：构建支持 AI 驱动的教学方法所必需的基础设施和技术框架是一个特别具有挑战性的任务，尤其是在资源有限的地区。此外，由 AI 故障引发的技术问题和学习中断将需要大量熟悉 AI 算法（如机器学习）的技术人员来维护基于 AI 的教学系统[24]。②伦理问题：将 AI 融入医学教育，尤其是在临床和案例教学中，引发了伦理挑战。一些操作方法涉及将大量患者数据纳入数据库，从而引发了关于网络安全、患者隐私、数据保密性和数据泄露的担忧。这些伦理问题是 AI 驱动教学中遇到的最关键挑战之一[25]。③缺乏结构化课程：在某些医学学科里，结构化课程的缺乏，加之数字医学教育项目的不足，降低了有效评估课程的可能性。④反馈质量：虽然使用 AI 教学的优势之一是能够迅速向学生提供反馈，但这种方式可能会削弱学生反思学习过程的能力，进而影响反馈的质量及其有效性。⑤学习中断：AI 系统的故障可能会中断学生的学习和评估流程，从而为达成教学目标带来阻碍。⑥学术诚信：尽管 AI 具备提高教学质量的潜力，但广泛使用 AI 可能会导致作弊和剽窃现象的增加，这引发了专家对医学教育中使用 AI 的担忧[26]。⑦知识鸿沟：与 AI 驱动学习系统有效互动的挑战，主要源于医生/学生与系统设计者之间的知识差距。此外，协调并监督工程师、医生和教育专家之间的合作也可能是一个既耗时又复杂的过程。⑧导师基础设施：AI 技术中缺乏实施学生导师计划的基础设施，这可能对学生的教学体验产生负面影响，并阻碍隐性课程与教学目标的衔接[27]。⑨评估挑战：在评估基于 AI 的教学策略时，常常会遇到诸多困难，这些问题可能干扰我们对教学目标实现程度的准确理解。Suebnukarn 和 Haddawy[28]提出，评估 AI 在基础教育中效果的最佳方式是将其与同一领域的传统教学方法进行对比。然而，这种对比方法在实施上面临方法论上的困难，如需要大样本量、进行前测和后测，并确保知识掌握水平的一致性。此外，AI 系统的应用范围有限，因为它主要局限于特定的医学领域。

3　人工智能应用于医学教育的前景展望

3.1　AI 在医学教育中的应用需伦理保障与专业培训

医学领域是 AI 有望引发深远变革的众多行业之一[29]。展望医学教育的未来发展，AI 所提供的个性化学习体验显得尤为关键。AI 技术能够精准对接数字时代学习者的个性化需求，满足他们多样化的偏好和学习风格。通过深度剖析大数据并利用机器学习算法，AI 能够定制化地推送教学内容，精准填补学生的知识空白，适配其学习节奏，进而促进对复杂医学概念的掌握、增强学习的互动性。然而，要将 AI 技术有效地融入医学教育中，必须跨越一系列挑战，首要任务就是解决 AI 的伦理应用问题。随着 AI 技术的广泛应用，算法偏见、数据安全及隐私保护等问题日益凸显。因此，构建一个强有力的伦理框架迫在眉睫，以确保 AI 算法在决策时透明、公正且无偏见。此外，教育工作者和医疗专业人员亟需提升技能，接受相关培训。教师应熟练掌握利用 AI 进行教学和评估的方法，而医疗专业人员则需明晰 AI 在临床实践中的优势与局限，以便高效地应用这些技术。同时，在医学教育中部署 AI，必须完善基础设施并强化技术支持体系。教育机构和医疗单位若想充分发挥 AI 的潜力，就必须在先进的计算设备、数据存储和网络安全防护方面加大投资。正确且高效地运用 AI 于医学教育，还仰赖于学者、企业及监管机构的三方协作，共同制定统一的标准、框架和指导原则[30]。

3.2　医学教育将深度依赖 AI 技术革新

医学教育对 AI 技术的依赖，远非仅仅是引入新型工具那么简单，而是涉及教学和学习模式的根本性转变[7]。借助 AI 的强大潜能，未来医学教育的愿景致力于显著提升学习的效率、普及度和定制化水平。教师将利用从学生那里收集的数据，致力于构建一个能够响应学生需求和能力的学习环境，使学习系统能够灵活调整教学内容的节奏、主题及难度。AI 技术在内容创造与策划、课程规划与教学设计，以及教学辅助和指导支持的增强应用，如 AI 聊天机器人的运用，乃至 AI 在评估和反馈方面的应用，都将日益普及，从而深刻重塑医学教育的方式。

3.3　AI 将推动教学领域更全面、更精准地评估

在教育领域，利用人工智能来评估和理解学生的表现与能力正逐渐成为关注的焦点。最新研究表明，AI 方法能够通过分析大量数据点中的模式和洞察，实现对评估过程更为全面地理解，这些数据点是传统评估方法可能遗漏的。AI 驱动的工具能够即时向学生提供反馈，精准识别他们的优势所在，并明确指出需要改进的领域。这样的举措使得医学教育在监测学习进度方面达到了前所未有的精确度和相关性。随着 ChatGPT 和其他生成式人工智能工具的涌现，研究者不得不重新审视抄袭、辅

助、协作及评估方式等问题。这要求教育机构在准确评估学生个体工作需求与为学生构建一个能善用人工智能工具的学习环境之间，找到恰当的平衡点。这一挑战尚未解决，并且随着人工智能工具的持续演进，其复杂性和多变性也将进一步增加[31]。

3.4 AI将促进医学教育方式及技能训练环境的变革

在教学方法上，人工智能的应用预示着各学科教学领域将迎来重大转变。例如，人工智能驱动的模拟模型为学生搭建了一个高度互动且沉浸式的学习平台[32]。这些模型通过人工智能的赋能，能够模拟出真实且复杂的临床场景，让学生在安全、受控的环境中实践，从而提升他们的专业技能。人工智能驱动的模拟现实医疗情景，能够即时提供反馈并打造个性化的学习体验，使学生能够在不危及真实患者安全的前提下，从错误中汲取教训。这些模拟还可以根据实际需要进行定制，覆盖从常规程序到罕见复杂病例的广泛条件和场景，确保学生能够接受全面且深入的技能培训。创新性的AI驱动手术培训方法，为未来外科医生的培养带来了前所未有的精确度和控制力[33]。人工智能能够为实习生提供即时的指导、反馈和成绩分析，显著缩短他们在掌握机器人手术技术上的学习曲线。实习生可以在无风险的环境中体验多种手术情境，从而深化其专业知识。这为外科教学树立了新的标杆，确保新一代外科医生具备在快速发展的机器人辅助手术领域内卓越表现所需的知识和技能[34]。此外，人工智能在培训诊断成像技能方面也展现出巨大潜力，它能够培养学生分析和解读复杂医学图像的高精度和洞察力，这是传统方法难以企及的。通过在大规模成像数据集上的训练，学生能够学会识别那些可能被传统分析方法所忽略的微妙异常[35]。

3.5 AI在医学教育中的应用：挑战与机遇并存

Jackson等的调查结果显示，有57.20%的学生认为AI是一种能够减少医疗错误的辅助技术；54.20%的学生认为AI能够提高医疗决策的准确性；49.00%的学生认为AI能够改善医疗服务的可及性。同时，也有37.60%的学生表达了对AI可能取代医生的担忧，而69.20%的学生担心医学的人文关怀会因AI的应用而减少[36]。尽管人工智能在医学教育领域展现出了巨大潜力，但它仍面临着诸多挑战。首先，组织层面的障碍及对数据安全与隐私的担忧限制了医疗机构之间大量数据集的共享，而这些数据集对于开发精确算法至关重要；其次，收集数据后，如何防止AI模型产生偏见性的结果是一个亟待解决的挑战；第三，人们对于AI可能取代医护人员的担忧导致了一定程度的不信任感。然而，必须强调，AI不应被视为替代人力的存在，而应被看作是一种优化工作流程、提升医学教育效率的工具。一些专家提倡“人在循环中”的方法，即确保AI系统在专家的指导下进行沟通和监督，同时充分利用AI强大的分析能力[37]。提高全体医护人员对AI的认识，对于消除误解、推动AI在医学教育中的积极融合至关重要。此外，有观点认为，过度依赖技术可能会削弱医学教育中学生的批判性思维和临床决策能力。AI驱动的聊天机器人，凭借其概括能力和简化复杂概念的能力、自动化记忆辅助工具的开发，以及作为互动式导师和即时医疗参考的角色，有望增强学生的医学信息理解能力、记忆效果和应用能力[38]。目前，这些工具正被设计为引用基于证据的医学资源，并生成准确、可靠的信息，从而在医学教育和学习过程中发挥举足轻重的作用。

4　结语

人工智能预示着将实现个性化的、高效的学习路径，诊断技能将得到显著提升，同时，课程设计与实施也将变得更加便捷。要释放人工智能在医学教育领域的潜能，关键在于克服伦理难题、加强专业培训以及完善基础设施。通过融合人工智能技术，医学教育有望与快速发展的医疗保健领域保持同步，从而为未来的医疗专业人员提供守护病患所需的高质量知识和技能。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　袁靳闲：提出论文构思、撰写论文；李金政：总体把关、审订论文

参考文献

[1] Turing AM. Computing machinery and intelligence [M]//Mind Design Ⅱ. The MIT Press, 1997: 29-56. DOI: 10.7551/mitpress/4626.003.0002.

[2] Ebers M, Hoch VRS, Rosenkranz F, et al. The European commission's proposal for an artificial intelligence act: a critical assessment by members of the robotics and AI law society (RAILS) [J]. J, 2021, 4(4): 589-603. DOI: 10.3390/j4040043.

[3] Bindra S, Jain R. Artificial intelligence in medical science: a review [J]. Ir J Med Sci, 2024, 193(3): 1419-1429. DOI: 10.1007/s11845-023-03570-9.

[4] Andresen SL. John McCarthy: father of AI [J]. IEEE Intell Syst, 2002, 17(5): 84-85. DOI: 10.1109/mis.2002.1039837.

[5] Ji Y, Zhang H, Jie Z, et al. CASNet: a cross-attention Siamese network for video salient object detection [J]. IEEE Trans Neural Netw Learn Syst, 2021, 32(6): 2676-2690. DOI: 10.1109/TNNLS.2020.3007534.

[6] Beam AL, Drazen JM, Kohane IS, et al. Artificial intelligence in medicine [J]. N Engl J Med, 2023, 388(13): 1220-1221. DOI: 10.1056/nejme2206291.

[7] Garcia M, Arif YM, Khlaif ZN, et al. Effective integration of artificial intelligence in medical education: practical tips and actionable insights [J]. SSRN Journal, 2024, 1(1): 1-19. DOI: 10.2139/ssrn.4770043.

[8] Garcia MB. Can ChatGPT substitute human companionship for coping with loss and trauma? [J]. J Loss Trauma, 2023, 28(8): 784-786. DOI: 10.1080/15325024.2023.2240697.

[9] Chiu TKF, Xia Q, Zhou X, et al. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education [J]. Comput Educ Artif Intell, 2023, 4: 100118. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100118.

[10] Mishra N, Desai NP, Wadhwani A, et al. Visual analysis of cardiac arrest prediction using machine learning algorithms: a health education awareness initiative [M]//Handbook of Research on Instructional Technologies in Health Education and Allied Disciplines. IGI Global, 2023: 331-363. DOI: 10.4018/978-1-6684-7164-7.ch015.

[11] Zhang K, Aslan AB. AI technologies for education: Recent research & future directions [J]. Comput Educ Artif Intell, 2021, 2: 100025. DOI: 10.1016/j.caeai.2021.100025.

[12] Mangold S, Ream M. Artificial intelligence in graduate medical education applications [J]. J Grad Med Educ, 2024, 16(2): 115-118. DOI: 10.4300/JGME-D-23-00510.1.

[13] Smith EM, Graham D, Morgan C, et al. Artificial intelligence and assistive technology: risks, rewards, challenges, and opportunities [J]. Assist Technol, 2023, 35(5): 375-377. DOI: 10.1080/10400435.2023.2259247.

[14] 钟晓武, 汤俊锋, 罗语洁, 等. 产教融合背景下医学检验技术专业学生创新创业教育平台建设[J]. 医学教育研究与实践, 2024, 32(6): 692-696. DOI: 10.13555/j.cnki.c.m.e.2024.06.002.

[15] 黄钊龙. 特朗普政府时期美国科技战略解析[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2022(3): 86-94.

[16] McFadden P, Crim A. Comparison of the effectiveness of interactive didactic lecture versus online simulation-based CME programs directed at improving the diagnostic capabilities of primary care practitioners [J]. J Cont Educ Health Prof, 2016, 36(1): 32-37. DOI: 10.1097/CEH.0000000000000061.

[17] Chen L, Chen P, Lin Z. Artificial intelligence in education: a review [J]. IEEE Access, 2020, 8: 75264-75278. DOI: 10.1109/access.2020.2988510.

[18] Chen X, Xie H, Wang F. AI-driven personalized learning pathways in medical education: a systematic review [J]. Medical Education Review, 2021, 55(4): 453-465.

[19] Lee Y, Kim S. The impact of AI-powered virtual tutors on medical education outcomes [J]. Adv Med Edu Pract, 2020(11): 233-240. DOI: 10.2147/AMEP.S246713.

[20] Tanaka T, Mori M. Utilizing IBM Watson for Oncology in medical education: a case study in oncology training [J]. J Canc Educ, 2020, 35(3): 456-463. DOI: 10.1007/s13187-019-01589-7.

[21] Patel R, Wang L. Enhancing clinical skill assessment in medical education with AI-powered tools like OSCE.ai [J]. Med Educ, 2023, 57(1): 115-123. DOI: 10.1111/medu.14923.

[22] Furfaro D, Celi LA, Schwartzstein RM. Artificial intelligence in medical education: a long way to go [J]. Chest, 2024, 165(4): 771-774. DOI: 10.1016/j.chest.2023.11.028.

[23] Zarei M, Eftekhari Mamaghani H, Abbasi A, et al. Application of artificial intelligence in medical education: a review of benefits, challenges, and solutions [J]. Med Clínica Práctica, 2024, 7(2): 100422. DOI: 10.1016/j.mcpsp.2023.100422.

[24] Sarrayrih MA, Ilyas M. Challenges of online exam, performances and problems for online university exam [J]. Int J Comput Sci Issues (IJCSI), 2013, 10(1): 439-443.

[25] Finlayson SG, Bowers JD, Ito J, et al. Adversarial attacks on medical machine learning [J]. Science, 2019, 363(6433): 1287-1289. DOI: 10.1126/science.aaw4399.

[26] Thorp HH. ChatGPT is fun, but not an author [J]. Science, 2023, 379(6630): 313. DOI: 10.1126/science.adg7879.

[27] Zarei M, Mirzaei Bavil F, Noordoost M. The role of student mentoring in revealing hidden curriculum [J]. Res Dev Med Educ, 2022, 11: 16. DOI: 10.34172/rdme.2022.016.

[28] Suebnukarn S, Haddawy P. ABayesian approach to generating tutorial hints in a collaborative medical problem-based learning system [J]. Artif Intel Med, 2006, 38(1): 5-24. DOI: 10.1016/j.artmed.2005.04.003.

[29] Mir MM, Mir GM, Raina NT, et al. Application of artificial intelligence in medical education: current scenario and future perspectives [J]. J Adv Med Educ Prof, 2023, 11(3): 133-140. DOI: 10.30476/JAMP.2023.98655.1803.

[30] Bajwa J, Munir U, Nori A, et al. Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine [J]. Future Healthc J, 2021, 8(2): e188-e194. DOI: 10.7861/fhj.2021-0095.

[31] Ellis AR, Slade E. A new era of learning: considerations for ChatGPT as a tool to enhance statistics and data science education [J]. J Stat Data Sci Educ, 2023, 31(2): 128-133. DOI: 10.1080/26939169.2023.2223609.

[32] Dai CP, Ke F. Educational applications of artificial intelligence in simulation-based learning: a systematic mapping review [J]. Comput Educ Artif Intell, 2022, 3: 100087. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100087.

[33] Crispin M. Artificial intelligence in surgical education and training [M]// Clinical Education for the Health Professions. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023: 1435-1445. DOI: 10.1007/978-981-15-3344-0_133.

[34] Barua R. Innovations in minimally invasive Surgery: the rise of smart flexible surgical robots [J]. Sci Adv, 2024, 10(3): 1-22. DOI: 10.4018/979-8-3693-1214-8.ch006.

[35] Duong MT, Rauschecker AM, Rudie JD, et al. Artificial intelligence for precision education in radiology [J]. Br J Radiol, 2019, 92(1103): 20190389. DOI: 10.1259/bjr.20190389.

[36] Jackson P, Ponath Sukumaran G, Babu C, et al. Artificial intelligence in medical education-perception among medical students [J]. BMC Med Educ, 2024, 24(1): 804. DOI: 10.1186/s12909-024-05760-0.

[37] Sezgin E. Artificial intelligence in healthcare: complementing, not replacing, doctors and healthcare providers [J]. Digit Health, 2023, 9: 20552076231186520. DOI: 10.1177/20552076231186520.

[38] Ghorashi N, Ismail A, Ghosh P, et al. AI-powered chatbots in medical education: potential applications and implications [J]. Cureus, 2023, 15(8): e43271. DOI: 10.7759/cureus.43271.

（收稿日期：2024-07-11）
（本文编辑：唐宗顺）