

• 综 述 •

生成式人工智能在骨科医学教育中的实践应用进展

刘禧澳¹,倪松智¹,吴浩然²,李 博²,翟 骁¹,陈 锴^{1△}

(1. 海军军医大学第一附属医院脊柱外科,上海 200433;2. 海军军医大学第二附属医院脊柱外科,上海 200003)

[摘 要] 以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能在日常生活各个领域的应用日益广泛,展现出了强大的生产力和创造力。骨科疾病种类繁多,涵盖创伤、关节、脊柱畸形及肿瘤等,其诊断、治疗决策及教学过程面临复杂的挑战。如何与时俱进,利用生成式人工智能技术推动骨科医学教育的创新是值得思考的问题。该文介绍了生成式人工智能技术的发展与应用,通过结合国内外实践案例的分析,从教育模式、教学内容及评价方式出发,展示其在骨科医学教育中的发展潜力,并提出新的教育模式所面临的挑战与对策。最后,文章总结了研究结论,并提出了相应的政策建议和未来展望。

[关键词] 生成式人工智能; 骨科; 医学教育; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.10.029

中图法分类号:R4;G434

文章编号:1009-5519(2025)10-2411-06

文献标识码:A

**The practical application progress of generative artificial intelligence
in orthopedic medical education**

LIU Xi'ao¹, NI Songzhi¹, WU Haoran², LI Bo², ZHAI Xiao¹, CHEN Kai^{1△}

(1. Department of Spine Surgery, the First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 2. Department of Spine Surgery, the Second Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200003, China)

[Abstract] Generative artificial intelligence, represented by ChatGPT, is increasingly widely used in various fields of daily life, demonstrating strong productivity and creativity. There are many types of orthopedic diseases, including trauma, joints, spinal deformities, and tumors. Its diagnosis, treatment decision-making, and teaching process face complex challenges. How to keep pace with the times and use generative artificial intelligence technology to promote innovation in orthopedic medical education is a question worth thinking about. This paper introduced the development and application of generative artificial intelligence technology. Through the analysis of domestic and foreign practice cases, starting from the educational model, teaching content and evaluation method, it showed its development potential in orthopedic medical education, and proposes the challenges and countermeasures of the new educational model. Finally, the paper summarized the research findings and proposes corresponding policy recommendations and future prospects.

[Key words] Generative artificial intelligence; Orthopedic; Medical education; Review

在当今时代,以 OpenAI 公司开发的 ChatGPT 为代表的生成式人工智能技术呈现出迅猛的发展态势^[1],正以前所未有的影响力参与到社会的生产发展,国内各大厂商争先推出自己的生成式人工智能模型,例如华为的盘古模型、腾讯的混元模型、百度的文心一言模型等^[2]。随着时代的进步,医疗技术的发展,对于骨科医学专业人才的培育要求愈发严苛。传统的教育模式在应对现代医疗需求时,逐渐暴露出诸多缺陷,例如教学资源的匮乏、教学方法的单调等。与此同时,社会对医疗服务的质量和效率所抱有的期

望持续攀升,这有力地推动着骨科医学教育去探索创新路径,寻求突破性的发展。

生成式人工智能技术的出现,为骨科医学教育的优化带来了新的思路,可以通过模拟真实的临床情景创建虚拟病例,让医学生在模拟的环境中实现临床诊治,甚至能够在无须真实患者参与的情况下开展手术操作练习,从而有效弥补实践教学不足的短板^[3]。借助生成式人工智能强大的数据整合及分析能力,根据学生的学习反馈、测试结果等分析其学习进度和理解程度,进而生成个性化的学习计划与资源,满足不同

△ 通信作者, E-mail: spine_kai@smmu.edu.cn.

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250709.1704.006\(2025-07-10\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250709.1704.006(2025-07-10))

学生的个性化学习需求,提高学习效率和质量。在此背景下开展骨科医学教育,对于提升教育质量、完善教育模式、培养适应现代骨科医学发展需求的专业人才等方面有着极为重要的意义,是推动骨科医学教育与时俱进、不断发展的关键措施。

1 生成式人工智能技术概述

1.1 技术原理与特点及发展史 生成式人工智能是机器学习领域的一个重要分支,其旨在通过训练模型来学习数据的内在规律和概率分布,从而能够生成新的、具有相似特征的数据,其核心在于生成能力,即创造出与原始数据相似但又不完全相同的新数据。

生成式人工智能主要分为两大类:文本生成、图像及音乐生成。这两类生成技术在原理上有所不同^[4-5]。文本生成式人工智能运用通用文本转换器,即大语言预训练模型(LLMs),先将提示指令分解为字节输入转换器,转换器依据训练大数据模型确认语言模式并借此预测特定语境中单词或短语出现概率,进而预测后续内容转化为可读文本或可理解声音,再经“护栏技术”过滤不良输出,重复相关步骤直至完成完整响应,最后采用后处理技术进一步加工以提高可阅读性与可理解性。图像及音乐生成式人工智能采用不同的人工神经网络技术——“生成对抗网络”(GANs),可与变分自动编码器合并使用。GANs 由生成器与判别器这两个对抗器构成。以图像生成为例,生成器依据提示识别图像要素组合模式并生成随机图像,判别器则对生成图像与真实图像的拟合度加以对比,生成器依照判别器的对比结果来调整自身所用的复杂参数,进而生成更优图像,在预训练阶段,这一过程会反复进行成百上千次,直至生成器创作出让判别器难以判断与提示预期存在差异的图像。

生成式人工智能具有多方面的特点。一是创造性^[6],在模型足够大、样本足够多的情况下,其能够根据输入的指令生成小说、诗歌等文学作品,或设计出独特的图像和音频,展现出与人类相似的创造力;二是多样性^[7],可基于不同的命令与逻辑生成多种不同样式、风格的内容,满足多样化的需求。例如在图像生成方面,既能生成写实逼真的人像或现实主义作品,也可以生成卡通、科幻、抽象等不同风格;三是可扩展性^[8],随着训练数据的增加和算力的持续进步,其生成的内容能在原来的基础上进行拓展和优化。

回顾其发展历程,早期阶段(1950—1990 年)受科技水平限制,仅进行了小范围实验,如 1957 年当时美国的一位化学博士 Lejaren Hiller 在将计算机程序中的控制变量换成音符后,让程序进行符合规则的作曲,创作了历史上第 1 支由计算机创作的音乐作品《Illiac Suite》^[9]。沉淀积累阶段(1990—2010 年),生成式人工智能逐渐从实验性向实用性演变,但仍面临

算法瓶颈,应用范围有限。快速发展阶段(2014 至今),随着深度学习算法的发展,特别是 GANs 的提出和不断迭代,生成内容呈现多样化,逼真程度逐渐提高,如 2018 年 NVIDIA 发布的 StyleGAN 模型能自动生成趋向现实的图片,目前已升级到第 4 代模型 StyleGAN-XL,2022 年底 OpenAI 推出的 ChatGPT 更是引发了广泛关注,并被迅速应用到众多领域^[10]。到 2024 年 7 月 3 日,世界知识产权组织发布《生成式人工智能专利态势报告》显示,2014—2023 年中国发明人申请的生成式人工智能专利数量最多,远超其他多国,且 2014—2023 年全球生成式人工智能相关的发明申请量达 54 000 件,其中超过 25%是在 2023 年出现的,足见其发展势头迅猛^[11]。

1.2 技术在医学运用现状 近年来,生成式人工智能在医疗领域取得了令人瞩目的发展成果,其在骨科及其教育领域的应用也日益广泛且不断深入,展现出了巨大的应用潜力与价值。

在辅助骨科治疗领域,全球首款搭载人工智能深度学习的骨科手术机器人 ROPA 是一大亮点^[12]。手术中,ROPA 的控制精度可达 0.6 mm,超越国内外同类型骨科机器人 2 倍以上,其手术模拟软件如同“数智脑”,术前仅需要患者的 CT 影像,就能帮医生在 5~10 min 内制定出一套个性化的三维手术方案,精准光学定位好似“数智眼”,实时监测并追踪患者术中体位的变化,突破传统手术的视野局限和操作盲区,智能随动技术宛如“数智手”,手术过程中每一个关键步骤都能精确执行,实现手术精度亚毫米级别的突破。

在辅助教育考试方面 CHEN 等^[13]评估了 Bing AI 及 ChatGPT4.0 在美国手外科学会(ASSH)自我评估考试(SAE)的表现,每个系统都回答了 999 个问题,结果发现 ChatGPT4.0 在 ASSH 问题上的平均得分为 66.5%,Bing AI 得分更高,平均为 75.3%,SAE 考试的最低及格分数为 50%。还有 KUNG 等^[14]使用 ChatGPT3.5 和 ChatGPT4.0 版本对 2020、2021、2022 年的骨科住院医师培训考试问题进行测试,结果显示 ChatGPT3.5 正确回答了 360 个问题中的 196 个(54.3%),相当于住院医师第 1 年(PGY-1)的水平,而 ChatGPT4.0 正确回答了 265 个问题(73.6%),相当于住院医师第 5 年(PGY-5)的平均水平,并且超过了考试的及格分数 67%。生成式人工智能也是需要数据库的更新与扩充来不断完善其知识储备,华中科技大学的 ZHOU 等^[15]利用美国骨科医生学会(AAOS)的临床指南和权威骨科出版物构建了一个专门的知识库。选择了 30 个骨科相关问题,涵盖解剖知识、疾病诊断、骨折分类、治疗方案和手术技术等方面,输入到知识库优化和未优化的 ChatGPT

4.0、ChatGLM 和 Spark LLM 版本中,与未优化的 LLM 相比,优化后的 ChatGPT4.0 版本在整体质量上提高了 15.3%,在准确性上提高了 12.5%,在综合性上提高了 12.8%,ChatGLM 分别提高了 24.8%、16.1%和 19.6%;Spark LLM 分别提高了 6.5%、14.5%和 24.7%。

在如何借助生成式人工智能技术来提升医学教育质量的问题上,暨南大学第一附属医院郑小飞教授团队展开了与之相关的实践探索^[16]。团队先是测试了 ChatGPT 回答 1 051 道骨科相关选择题的表现,随后选取了 110 名医学本科生,并将他们随机划分成试验组和对照组。其中,试验组的学生使用 ChatGPT 辅助学习,而对照组的学生则不借助任何人工智能辅助工具开展学习。在整个教学阶段,试验组的学生凭借 ChatGPT 的辅助,不但能够接触到海量的专业知识,而且还能依靠互动式问答的方式,加深了对各个知识点的理解程度,提升了运用知识的能力。试验结果表明,ChatGPT 回答骨科相关选择题时整体的准确率能够达到 70.6%,并且在不同的题型上,其准确率也均在 70%以上,在随机对照试验中,使用 ChatGPT 辅助学习的试验组学生,在骨科知识的短期测试和期末多学科考试中,取得的成绩均较对照组更优异。

2 生成式人工智能技术在骨科教学领域的实施

2.1 教育模式的改革 传统以教师占据主导地位的讲授式教育模式正逐步朝着以学生为核心的自主学习模式演进,传统的“师—生”转变为“师—生—机”新型状态^[17-18]。生成式人工智能为学生提供了丰富的学习资源,并规划了个性化的学习路径,使学生能够根据自身的学习需求和节奏开展学习活动。线上教育与线下教育的融合态势愈发紧密,凭借人工智能技术的强大支撑,线上教育平台能够展现出更为生动且直观的教学内容,利用虚拟现实(VR)、增强现实(AR)在内的多种新型教学工具和方法,极大地增强了学生的学习体验^[19]。比如,通过虚拟手术模拟,学生能够在近乎真实的场景中熟悉手术流程和操作技巧,而三维解剖模型则能让学生更加清晰地了解人体结构的复杂细节。生成式人工智能的融入进一步增强了团队合作学习模式。通过在线讨论、项目合作等方式,学生之间的交流与协作得到了有效促进,进而培养了他们的团队合作能力和解决实际问题的能力^[20]。实践教学的模式同样也在发生显著的变化,利用人工智能技术,学生能够在虚拟环境中展开反复多次的实践操作,不断提升自身的实际操作技能,从而为未来投身于临床工作做好了充足且完备的准备。

生成式人工智能通过提供个性化学习路径、虚拟手术模拟和智能辅助诊断等功能,全方位推动了骨科医学教育模式的变革,为培养高素质的骨科医学人才

创造了有利条件。

2.2 教学内容与方法的更新 借助生成式人工智能技术,个性化教学得以成功实现^[21]。通过深入分析学生的学习数据,能够为每一位学生量身定制专属的学习路径及课程安排。就教学内容而言,生成式人工智能融入了诸多前沿的医学知识及研究成果,像基于人工智能算法构建的疾病诊断模型^[22],还有精准医疗领域的最新进展等^[23],丰富了内容,更加贴近最前沿的医疗水平。

2.2.1 智能辅助诊断教学 在辅助诊断教学里,生成式人工智能技术能够依据患者的症状、病史及各种检验检查的数据,生成初步的诊断结果^[24]。这一功能有助于医学生快速明确诊断,跟随人工智能的思路,提升诊断的逻辑思维能力。在面对复杂的骨科病症时,人工智能可以快速筛选出与病情相关的信息,引导学生关注重要的诊断线索^[25]。医学生通过学习人工智能的诊断思路,结合真实的病例结果来改进自身的诊断技巧,并且更好地记忆疾病诊断的标准。除此之外,人工智能还能够生成大量的病例案例,不仅是常见的骨折、椎间盘突出等,还可以包含疑难杂症,从而拓宽医学生的视野,加强其在面对不同病种时的诊断与应对能力。

2.2.2 外科手术治疗教学 在进行外科手术教学时,医学生可以通过基于生成式人工智能技术搭建的虚拟手术模拟系统来实现在虚拟环境中进行手术操作练习^[26]。这不仅能够让学生熟悉手术器械的使用方法,还能身临其境地了解手术的操作流程、关键步骤及可能遇到的风险和应对措施。例如,在模拟髋关节置换手术时^[27],学生可以反复练习手术入路、假体植入角度等关键技术要点,提高手术操作的熟练度和精准度。生成式人工智能还能够根据学生的操作情况提供实时反馈和评估,帮助他们及时发现并纠正错误。通过这种方式,学生可以在进入临床工作前积累丰富的手术经验,为未来的实际操作打下坚实基础。

2.2.3 基础临床科研教学 在科研过程中,生成式人工智能技术成为学生得力的助手与导师,其可以帮助医学生快速获取大量的文献参考资料,准确把握当下研究热点和前沿动态,以确定自己的研究方向^[28]。在研究设计阶段,能提供思路和方法,引导学生合理设计研究方案,提高科研项目的可行性和创新性,培养学生的科研思维 and 创新能力。在数据采集阶段,获取大量高质量的患者数据往往是困难的,生成式人工智能能够根据已知的患者数据分布特征,模拟生成新的临床数据,为科研提供更多高质量的数据支持^[29]。在实验进行阶段,提供准确完整的实验步骤,提前预测实验结果,帮助医学生及时调整实验策略。在数据处理阶段,分析临床试验的数据,快速生成数据分析

报告,帮助医学生发现数据中的潜在规律,统计生成图表。

2.3 教育评价体系的优化 一直以来,传统的教育评价体系只能考查知识点的记忆及技能的熟练程度,难以全方位地展现学生的综合素养与能力。而随着生成式人工智能技术的发展,为教育评价体系的优化开辟了全新的思路及方法^[30]。

评价指标应朝着多元化方向发展。除了学术成绩外,学生的创新思维、问题解决能力和团队协作能力也应纳入评估范畴。生成式人工智能能够分析学生在模拟临床情景中的表现和小组讨论中的贡献,为多元化评价提供有力支撑。评价方式应当变得更加动态且实时。借助人工智能技术,能够对学生的过程予以持续地监测与分析,能够及时反馈学生的学习进展及存在的问题,便于对教学策略及学生的学习计划做出相应的调整。评价主体需要更加广泛。诚然,教师的评价不可或缺,但也应引入学生的自评、互评等,从多个维度来反映学生的学习状况。生成式人工智能能够整合教师、学生自评和互评等多方数据,通过分析这些数据,得出更为全面、客观的评价结果。

3 面临的挑战与应对策略

3.1 教师信息素养和教学能力提升的要求 在生成式人工智能融入骨科医学教育的过程中,教师面临着多方面的挑战^[31]。传统的骨科医学教育往往以教师为中心,通过课堂讲授、实践操作示范等方式向学生传递知识与技能,生成式人工智能的出现,使得教育场景更加多元化、个性化及互动化。新技术的诞生也对教师的能力提出了更高要求。一方面,教师要学习掌握新技术的使用方法,熟悉各种生成式人工智能平台的功能特点、操作流程等;另一方面,教师还需相应地调整教学方法,使其与人工智能工具相适配,探索如何基于智能工具生成的反馈和数据,更好地组织课堂讨论、引导实践操作、评价学习效果等。

教师需要从传统的“知识传授者”角色,向引导学生利用智能工具自主学习、培养创新思维的“引导者”角色转变。院校及相关教育机构应加强产学研合作,建设我国的教育大模型^[32],新的教育理念不仅要涵盖深度学习的基础知识,还需注重实践操作环节,积极开展生成式人工智能辅助下的新式教学示范课。同时,可搭建教师交流学习平台,鼓励教师分享运用新技术进行教学的经验与心得,共同探讨在实践过程中遇到的问题及解决方案,通过互帮互助加快对新技术的掌握与应用,促使教师能更好地将人工智能深度学习技术融入日常教学中,发挥其最大效能。

3.2 学生可能过度依赖智能工具而忽视自主思考和实践 生成式人工智能具备强大的知识储备与便捷的问答功能,对生成式人工智能工具性价值的过度依

赖,容易造成学生丧失独立思考能力^[33]。例如,当需要了解某种骨科疾病的诊断标准或治疗方法时,学生只需输入相关问题,就能得到较为详细的回复。长此以往,部分学生便养成了遇到问题直接向生成式人工智能寻求答案的习惯,逐渐忽视了自主思考的过程,不再主动去深入探究知识背后的原理及内在逻辑联系。另一方面,在实践操作环节,学生同样可能过度依赖人工智能所营造的模拟环境。以骨科手术技能练习为例,借助生成式人工智能构建的虚拟手术场景,学生可以反复练习手术入路、器械操作等关键步骤,并且无须担心对真实患者造成伤害。这本是提升技能的良好途径,但部分学生却因此而减少了对真实临床实践机会的主动争取,缺乏在实际场景中面对复杂情况进行临场应变和独立操作的能力,进而影响到主动实践能力的培养。

引导学生树立正确的学习观念,让他们合理利用生成式人工智能这一辅助工具,平衡好借助工具与自主思考实践之间的关系,通过课堂讲解、案例分析等方式,向学生阐明自主思考和实践操作对于掌握骨科知识、提升临床能力的重要性,让学生明白智能工具只是辅助学习的手段^[34]。合理设置教学环节,增加实践教学比重,减少学生对虚拟环境的过度依赖,除了利用模拟手术软件让学生进行练习外,还要积极争取更多让学生参与真实手术观摩、在带教教师指导下进行简单实际操作的机会,确保学生在面对真实患者时能够熟练、自信地开展诊疗工作,切实提高自身的实践能力和综合素质。

3.3 医学知识复杂性和时效性带来的问题 生成式人工智能的有效应用依赖于大量准确且完整的数据^[35]。然而,在实际应用中,数据可能存在录入错误或时效性问题,影响人工智能的生成结果。一方面,部分临床数据在录入环节就可能出现错误,如医生在匆忙记录患者病情信息时,可能会误填关键指标数据,或遗漏一些重要的症状描述等情况。这些不准确、不完整的数据一旦被用于人工智能的学习和分析,就很容易导致其生成的结果出现偏差。例如,在创建虚拟病例辅助教学时,如果基础数据有误,那么生成的虚拟病例便不能真实反映疾病的实际情况,医学生依据这样的病例进行学习,就难以掌握正确的诊断思路和治疗方法,进而影响教学效果。

数据的时效性也是影响数据质量的关键因素之一^[36]。医学领域知识不断更新,新的疾病类型、治疗手段等层出不穷,若用于训练人工智能的数据未能及时更新,其生成的教学内容、决策建议等就会滞后于当前的医学实践,无法满足骨科医学教育及临床应用的实际需求。

3.4 数据安全与隐私保护 生成式人工智能使用的

数据存在侵犯版权和侵犯隐私的风险^[6]。近年来,针对 OpenAI 涉嫌未经许可使用私人或公共信息的诉讼层出不穷^[37-38]。生成式人工智能软件使用时需要用户阅读并同意生产内容被持续收集并用于增强服务和研究目的,这表示任何可识别的患者信息都可能面临风险,因此,强有力的网络安全措施对于保护患者隐私和确保符合医疗环境中的法律标准是必要的^[39]。近年来,我国相继颁布了《中华人民共和国数据安全法》《新一代人工智能伦理规范》等政策法规,不仅涉及人工智能技术的开发部门,还有技术的使用者^[40]。除此之外,搭建开源的、公共的、规范的知识库也是一种避免侵权及违反法律法规的方法,由相关部门或机构牵头,各大院校、医院参与。共建人工智能时代共同命运体,为生成式人工智能技术在医学教育领域的开花结果提供沃土。

4 未来展望

伴随技术的持续进步,生成式人工智能在骨科医学教育中的应用必然会愈发深入且广泛,未来能够进一步拓展研究范畴,深度挖掘在不同教育场景中的应用潜能,随着跨学科融合的加深,生成式人工智能有望与骨科医学教育中的解剖学、生理学、生物力学等多学科知识深度结合,打造出综合性更强的学习平台。医学生可以通过该平台系统地理解骨科疾病从病理生理机制到临床诊疗的全链条知识,实现知识的融会贯通,培养更扎实的专业素养。此外,不同医疗机构、教学单位之间的数据共享与合作将更加紧密规范,通过整合各方优质资源和数据,形成规模更大、更具代表性的骨科医学教育大数据资源库,为生成式人工智能的进一步发展提供更坚实的数据基础,使其在全国乃至全球范围内推动骨科医学教育迈向更高质量、更具创新性的发展阶段。

5 总 结

生成式人工智能给骨科医学教育带来了极为显著的变革,有力地推动了教育模式由传统的单向传授朝着更具互动性及个性化的方向转变。“师—机—生”新模式下,学生能够以更积极主动的姿态参与到学习中,极大地提高了学习效果,同时也增强了自主学习的能力;教学内容与方法也实现了更新,融入了数量众多基于人工智能的模拟案例及实践操作,在辅助诊断、临床治疗及科研方面能得到有效的帮助;教育评价体系的优化能够实现更全面、更准确地评估学生的学习成果及能力发展状况,为培养出高素质的骨科医学人才提供有力的保障。在实践中,依然面临着一些挑战,像是教师对于新技术的适应需要过程、学生对于新技术的过度依赖、数据隐私及安全问题等。但从总体情况来看,生成式人工智能在骨科医学教育的应用具备着广阔的发展前景。

参考文献

[1] 刘勇,徐佳慧,董跃武,等. 高等教育中如何应用 ChatGPT 类生成式人工智能:联合国教科文组织《高等教育中的 ChatGPT 和人工智能:快速入门指南》解析[J]. 中国教育信息化,2024(2):71-80.

[2] 孙守迁,曹磊磊,王松,等. 生成式人工智能大模型在设计领域的应用[J]. 家具与室内装饰,2024,31(4):1-8.

[3] 范建平,刘孝文,赵天翌,等. 人工智能技术在骨科手术实践领域应用研究进展[J]. 脊柱外科杂志,2024,22(2):135-140.

[4] 苗逢春. 生成式人工智能技术原理及其教育适用性考证[J]. 现代教育技术,2023,33(11):5-18.

[5] 秦涛,杜尚恒,常元元,等. ChatGPT 的工作原理、关键技术及未来发展趋势[J]. 西安交通大学学报,2024,58(1):1-12.

[6] 郭小东. 生成式人工智能的风险及其包容性法律治理[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2023,25(6):93-105.

[7] 朱禹,陈关泽,陆泳溶,等. 生成式人工智能治理行动框架:基于 AIGC 事故报道文本的内容分析[J]. 图书情报知识,2023,40(4):41-51.

[8] 张熙,杨小汕,徐常胜. ChatGPT 及生成式人工智能现状及未来发展方向[J]. 中国科学基金,2023,37(5):743-750.

[9] 陈艳红,李健. 新一代人工智能生成内容档案身份的认定风险及规制研究:基于对 ChatGPT 生成内容的思考[J]. 档案学研究,2023(5):4-12.

[10] 王芳,朱学坤,刘清民,等. 生成式人工智能研究进展[J]. 图书与情报,2024(4):45-64.

[11] 38 000 件世界知识产权组织:过去十年中国生成式 AI 专利申请量居全球第一[J]. 智能建筑与智慧城市,2024(7):4.

[12] 邱惠颖. 医疗机器人:智能引领,重塑医疗新生态[J]. 科技创新与品牌,2024(9):22-23.

[13] CHEN C J, SOBOL K, HICKEY C, et al. The comparative performance of large language models on the hand surgery self-assessment examination[J]. Hand (N Y), 2024:15589447241279460.

[14] KUNG J E, MARSHALL C, GAUTHIER C, et al. Evaluating ChatGPT performance on the orthopaedic In-Training examination[J]. JB JS Open Access, 2023,8(3):e23.00056.

[15] ZHOU H, WANG H L, DUAN Y Y, et al. Enhancing orthopedic knowledge assessments: the performance of specialized generative language model optimization[J]. Curr Med Sci, 2024,44(5):1001-1005.

[16] GAN W Y, OUYANG J F, LI H, et al. Integrating ChatGPT in orthopedic education for medical undergraduates: randomized controlled trial[J]. J Med Internet Res, 2024, 26:e57037.

[17] 席光宇. ChatGPT 对科学教育发展的影响及应对措施研

究[J]. 中国科技期刊数据库(科研), 2024(3):107-111.

[18] 宋雨欣,李子怡,丁宁. 生成式人工智能对医学教育的影响探析[J]. 中国医学教育技术, 2024, 38(3):281-286.

[19] 周琳,邓杰夫,庄浩锦,等. 基于人工智能的医学教育智慧课堂设计[J]. 现代医院, 2024, 24(8):1302-1305.

[20] KAVADELLA A, DIAS DA SILVA M A, KAKLAMANOS E G, et al. Evaluation of ChatGPT's real-life implementation in undergraduate dental education: mixed methods study[J]. JMIR Med Educ, 2024, 10: e51344.

[21] 宋宇,许昌良,穆欣欣. 生成式人工智能赋能的新型课堂教学评价与优化研究[J]. 现代教育技术, 2024, 34(12): 27-36.

[22] 刘一铭,王博冉,魏巍,等. 基于深度学习技术的神经外科疾病智慧辅助分诊模型研究[J]. 中国数字医学, 2024, 19(8):96-101.

[23] 董泽秋. 基于人工智能的泌尿外科随诊平台在精准医疗中的应用[J]. 中国信息界, 2024(3):53-55.

[24] 胡雪晴,韩琪,付磊,等. AI 虚拟医生在医疗行业的应用研究综述[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(29):15-17.

[25] KAARRE J, FELDT R, KEELING L E, et al. Exploring the potential of ChatGPT as a supplementary tool for providing orthopaedic information[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31(11):5190-5198.

[26] 王平安. 医学影像分析与手术模拟:人工智能和虚拟现实在医学中的应用[J]. 光学与光电技术, 2021, 19(6):1-10.

[27] 吴东,刘星宇,张逸凌,等. 人工智能辅助全髋关节置换术三维规划系统的研发及临床应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(9):1077-1084.

[28] 杨瑰玉. 人工智能环境下出版编校技术赋能的挑战与治理[J]. 出版参考, 2024(10):15-18.

[29] 支卫英,高孔军,沈霄凤. 中医痛风临床诊治仿真训练系统的设计与开发[J]. 浙江中医药大学学报, 2006, 30(5): 546-547.

[30] 王一岩,吴国政,郑永和. 生成式人工智能赋能教育信息科学与技术研究:新机遇、新趋势、新议题[J]. 现代远程教育研究, 2024, 36(6):46-54.

[31] 武宗渊,刘振,张宗明. 人工智能在医学教育领域的现状、未来治理研究[J]. 中国医学伦理学, 2024, 37(9):1093-1100.

[32] 李艳,许洁,贾程媛,等. 大学生生成式人工智能应用现状与思考[J]. 开放教育研究, 2024, 30(1):89-98.

[33] 李森,郑岚. 生成式人工智能对课堂教学的挑战与应对[J]. 课程·教材·教法, 2024, 44(1):39-46.

[34] JACKSON P, PONATH SUKUMARAN G, BABU C, et al. Artificial intelligence in medical education - perception among medical students[J]. BMC Med Educ, 2024, 24: 804.

[35] 蔡智权,张娟. 生成式 AI 嵌入数字政府的价值审思与路径展望[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2024, 26(6):151-160.

[36] 陈梦汐,杨孟婷,丁亮. 生成式人工智能司法应用的风险与规制[J]. 现代商贸工业, 2024, 45(8):177-180.

[37] GRYNBAUM M M, MAC R. The times sues OpenAI and microsoft over AI use of copyrighted work[J]. The New York Times, 2023:27.

[38] KAHVECI Z Ü. Attribution problem of generative AI: A view from US copyright law[J]. J Intellect Prop Law Pract, 2023, 18(11):796-807.

[39] RIEKE N, HANCOX J, LI W Q, et al. The future of digital health with federated learning[J]. NPJ Digit Med, 2020, 3:119.

[40] 李姗姗,刘登攀. 人工智能技术在医学教育中的应用与挑战[J]. 互联网周刊, 2024(7):78-80.

(收稿日期:2025-01-06 修回日期:2025-06-19)

(上接第 2410 页)

[33] SHEN L A, GAN Q Y, YANG Y C, et al. Mitophagy in cerebral ischemia and ischemia/reperfusion injury [J]. Front Aging Neurosci, 2021, 13:687246.

[34] ALLISON R C, KYLE J, ADKINS W K, et al. Effect of ischemia reperfusion or hypoxia reoxygenation on lung vascular permeability and resistance[J]. J Appl Physiol (1985), 1990, 69(2):597-603.

[35] 丁煌,李静娴,唐标,等. 黄芪甲苷与人参皂苷 Rg1 配伍抗 PC12 细胞氧糖剥夺/复糖复氧后自噬性损伤相互作用的研究[J]. 中国药理学通报, 2017, 33(2):235-242.

[36] 史楠,张燕,李晋峰,等. 黄芪甲苷通过 AKT-mTOR 信号通路促进脑缺血的自噬改善脑缺血再灌注损伤[J]. 中国临床神经科学, 2017, 25(6):601-612.

[37] 丁煌,李静娴,杨筱倩,等. 黄芪甲苷与人参皂苷 Rg1 配伍对 PC12 细胞氧糖剥夺复糖复氧后细胞自噬和 PI3 K 信号通路的影响[J]. 中国病理生理杂志, 2016, 32(11): 2003-2009.

[38] 范晓璇,颜培正,张庆祥. 黄芪甲苷通过 LC3/Beclin 1 干预哮喘寒饮蕴肺证大鼠细胞自噬的机制[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(11):6037-6042.

[39] 刘佩友,于小华,李双杰,等. 巨噬细胞移动抑制因子在病毒性心肌炎中的作用及黄芪甲苷干预研究[J]. 药学服务与研究, 2009, 9(1):18-21.

[40] 熊平,蒋灵芝,廖秀清. 黄芪甲苷保护大鼠肺缺血再灌注肺损伤的形态学研究[J]. 南方医科大学学报, 2010, 30(8):1864-1867.

[41] YIN F, ZHOU H F, FANG Y C, et al. Astragaloside IV alleviates ischemia reperfusion-induced apoptosis by inhibiting the activation of key factors in death receptor pathway and mitochondrial pathway[J]. J Ethnopharmacol, 2020, 248:112319.

[42] SUNOSE Y, TAKEYOSHI I, TSUTSUMI H, et al. Effects of FK3311 on pulmonary ischemia-reperfusion injury in a canine model[J]. J Surg Res, 2001, 95(2): 167-173.

(收稿日期:2025-03-07 修回日期:2025-06-23)