以 ChatGPT 为代表的大语言模型在临床医学中的应用综述*

马武仁[1] 弓孟春[2] 戴 辉[3] 黄 婧[4] 王斌斌[5] 史文钊[1]

([1] 神州医疗科技股份有限公司 北京 100080 [2] 南方医科大学卫生与健康管理研究所 广州 510515
[3] 南方医科大学南方医院赣州医院 赣州 341099 [4] 空军军医大学唐都医院 西安 710038
[5] 南方医科大学南方医院 广州 510515)

〔摘要〕 **目的/意义** 近年来大语言模型技术飞速发展，其在临床中的应用亟待总结分析。**方法/过程** 在相关文献分析基础上，梳理以 ChatGPT 为代表的大语言模型在临床问诊、病史采集及文本撰写、临床辅助决策、个性化精准医疗、医患沟通及患者心理支持、学术研究、医学教育、医院管理等临床领域的应用情况。**结果/结论** 大语言模型具备全面颠覆医疗生态圈的潜力，虽然面临诸多挑战，但终将造福医患。

〔关键词〕 ChatGPT；人工智能；临床医学

〔中图分类号〕R－058 〔文献标识码〕A 〔**DOI**〕10. 3969/j. issn. 1673－6036. 2023. 07. 002

A Comprehensive Review of the Applications of Large Language Models in Clinical Medicine with ChatGPT as a Representative

MA Wuren[1], GONG Mengchun[2], DAI Hui[3], HUANG Jing[4], WANG Binbin[5], SHI Wenzhao[1]

[1]Digital China Health Technologies Corporation Limited, Beijing 100080, China; [2]Institute of Health Management, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; [3]Ganzhou Hospital－Nanfang Hospital, Southern Medical University, Ganzhou 341099, China; [4]Tangdu Hospital, The Airforce Military Medical University, Xi'an 710038, China; [5]Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

〔**Abstract**〕 **Purpose/Significance** In recent years, the technology of large language models has been rapidly advancing, and their applications in clinical settings urgently need to be summarized and analyzed. **Method/Process** Based on a review of relevant literatures, the paper outlines the applications of large language models, represented by ChatGPT, in various clinical fields such as clinical consultation, medical history collection and text writing, clinical decision support, personalized precision medicine, doctor－patient communication and patient psychological support, academic research, medical education, and hospital management. **Result/Conclusion** Large language models have the potential to completely revolutionize the healthcare ecosystem, despite facing numerous challenges, they will ultimately benefit both doctors and patients.

〔**Keywords**〕 ChatGPT; artificial intelligence (AI); clinical medicine

〔修回日期〕 2023－07－18

〔作者简介〕 马武仁，医学数据分析师，发表论文 10 余篇；通信作者：史文钊，硕士。

〔基金项目〕 国家重点研发计划项目（项目编号：2020YFC2006400）。

1 引言

大语言模型（large language models，LLMs）是由具有大量参数（通常为数十亿或更多权重）的神经网络组成的语言模型，由多层神经元组成，第 1

层将一系列单词作为输入，每个后续层处理前一层输出。最后一层输出是模型对输入最可能的含义或解释的预测。LLMs 使用自监督学习对大量未标记文本进行训练，可以根据从海量数据集中吸收的知识，高准确度识别、总结、翻译、预测和生成文本及其他内容。LLMs 在 2018 年左右出现，并在各种任务中表现出色[1]。在人工智能（artificial intelligence，AI）越来越多地应用于临床诊疗的时代背景下，总结阐释 LLMs 在临床中的应用及其对医患双方的影响极为必要。

2 ChatGPT 及其核心技术突破

2.1 ChatGPT

聊天生成预训练转换器（chat generative pre – trained transformer，ChatGPT）是美国开放人工智能（OpenAI）实验室于 2022 年 11 月 30 日发布的一种 AI 技术驱动的聊天机器人模型，通过使用生成式预训练转换器 3.5（generative pre – trained transformer –3.5，GPT –3.5）模型提供流畅、自然的与人类几乎没有差异的响应[2]。

2.2 转换器模型

ChatGPT 取得如此效果，核心原因之一是其基于大规模生成式预训练模型 GPT –3.5 构建，这是当前自然语言理解领域最好的文本生成模型（GPT –3.5 比 GPT –3 使用更多数据和更大模型，具有更好效果）。GPT 系列模型的核心是转换器模型，即一种用于序列到序列学习的神经网络结构。转换器中引入多头自注意力机制，通过计算输入序列中各位置之间的相对关系，实现序列中不同位置的信息交互。多个注意力头分别关注句子中多个方面重点，而且通过增加网络层次，能够提取更高级且抽象的语义信息，因而获得更强的理解能力。基于转换器的语言模型除具有强大的语义提取能力外，还能进行无监督学习，具有良好的场景迁移能力。

2.3 强化学习技术

赋能 ChatGPT 的另一大关键技术是人类反馈的强化学习技术（reinforcement learning from human feedback，RLHF）[3]。由于 OpenAI 没有公开发表的 ChatGPT 论文，也没有公开代码[4]，外界普遍认为其与之前公开发表的指令生成预训练转换器（instruct generative pre – trained transformer，InstructGPT）中披露的技术最为相近[5]。InstructGPT 的技术步骤如下[6]：第 1 步，收集用户对同一问题不同答案的偏好；第 2 步，利用第 1 步的偏好数据重新训练，基于监督信息精调 GPT 模型；第 3 步，根据用户对不同答案的偏好训练打分函数，对 ChatGPT 的答案打分，分数高低体现出用户对不同答案偏好程度的高低；第 4 步，利用打分函数作为反馈对学习模型进行训练强化，使 ChatGPT 最终输出用户更偏好和喜欢的答案。通过上述步骤，ChatGPT 针对用户输入，能够输出用户友好的答案。

2.4 上下文学习

上下文学习[7]是目前大语言模型都在全力攻克的重点，对 ChatGPT 没有处理过的新任务，只需设计任务的语言描述，并给出几个任务实例输入模型，即可让模型从给定的情景中学习新任务并给出满意回答。这种训练方式还能够有效提升模型小样本学习能力。ChatGPT 还可以利用思维链（chain – of – thought，CoT）进行复杂推理[8]。对于一些逻辑较复杂的问题，直接向 ChatGPT 模型提问可能不会得到准确回答，但如果通过提示的方式在输入中给出有逻辑的解题步骤（即将复杂问题拆解为多个子问题）的示例后再提出问题，则能给出正确回答。

3 以 ChatGPT 为代表的 LLMs 在临床医学中的应用

目前已公开发布的重要 LLMs 参数数量差异极大，但在医学任务上测试（以 PubMedQA 数据集为例）普遍取得了不错的成绩[3,9]。指令提示微调以及增大模型参数量能够显著提升 LLMs 的理解力、知识召回和推理能力，提示 LLMs 在临床领域具备发挥关键作用的潜力[10]。

3.1 问诊、临床病史采集及文本撰写

ChatGPT 可以与患者进行对话，询问关于症状、疼痛程度、病史等方面的问题，比人类更快地从多个来源收集、分类和整合临床信息[11]，医生可以更全面地了解患者情况，为之后的诊断和治疗提供基础。ChatGPT 还可以提供最新的研究、临床指南或医学文献摘要，帮助医生作出准确评估。

临床文本构成占据医生工作很大一部分比例，医生可能需要花费多达35%的工作时间撰写和查看患者诊疗记录[12]。临床文本撰写与医生的过度疲劳[13]、认知负荷增加[14]、焦虑[15]等不良状态相关。实现撰写自动化将极大降低医生负担。结合语音识别技术，ChatGPT 有潜力实现诊疗全过程所需所有临床文本的自动化生成[16-17]。

有研究表明，通过传统方式撰写的出院小结往往会遗漏细节[18]，ChatGPT 有望改变这一现状[19]。ChatGPT 允许医生输入任务简要说明、概念详细说明和指导解释，可在数秒内输出一份正式的出院小结。这一过程的自动化可以减轻初级医生的工作负担，使其有更多时间照护患者。

3.2 临床辅助决策

ChatGPT 可以基于循证医学的患者/问题、干预措施、比较措施和结局（patient/problem，intervention，comparison，and outcome，PICO）辅助临床决策[20]。ChatGPT 可以获得患者医疗记录和病历数据并据此进行分析。医生将病例关键信息输入 ChatGPT，如实验室检查结果、影像学报告和病理学结果。ChatGPT 可以帮助解释数据[21-23]，并提供可能的诊断和进一步检查建议[24]。已有研究[25]表明 ChatGPT 可用于分析可能会在阿尔茨海默病早期阶段发生变化的言语和写作的语言模式，基于此有可能实现痴呆症的早期诊断。Rao A S 等[26]通过为乳腺癌筛查和乳房疼痛确定适当的影像学检查项目，评估 ChatGPT 在放射学临床决策支持方面的能力，结果表明使用 ChatGPT 进行影像学决策具有可行性，有可能改善临床工作流程，有助于更准确使用影像学服务。

基于诊断结果，ChatGPT 可以提供特定治疗药物信息，包括适应症、剂量、不良反应、药物相互作用以及药物数据库和药物指南，帮助医生选择治疗药物[27]。ChatGPT 可以提供常见治疗选项供医生选择[28]，并解释每种干预措施的作用、机制、安全性和效果。此外还可以提供特定疾病预后的信息和统计数据（如治愈率、生存率、并发症风险）等信息，帮助医生与患者共同评估治疗方案预期效果。医生可以与 ChatGPT 讨论不同治疗方案，包括药物治疗、手术干预[29]、放疗[30]、化疗[31]等，ChatGPT 提供不同治疗方案的优势、风险和效果评估，帮助医生与患者共同决定最优方案[32]。

3.3 个性化精准医疗

ChatGPT 在临床中的另一个潜在用途是为患者制定个性化治疗方案[33]。ChatGPT 可为患者创建虚拟助手，根据患者病史、当前症状和其他相关因素提供个性化建议。例如，虚拟助手可以为普通感冒或流感患者推荐非处方药或家庭疗法。患者可以通过各种平台访问虚拟助手，如网站、移动应用程序、语音助手等。这对居住在偏远地区或医疗资源不发达地区的患者尤其有帮助，其无须去医院就诊即可获得个性化诊疗建议。

通过分析患者相关诊疗数据，基于 ChatGPT 的系统可以生成满足患者特定需求和偏好的个性化治疗方案。这对需要特殊护理的复杂或罕见疾病患者尤其有帮助。例如，ChatGPT 系统可根据患者病史和其他因素推荐最有可能对其有效的药物或疗法的特定组合。这可以帮助降低不良反应或其他并发症风险，并确保患者得到最适合的护理。

3.4 医患沟通、患者教育及心理支持

患者可能有关于病情、治疗方法、药物副作用等方面的疑问，ChatGPT 可以回答这些问题[32]，解释对患者来说晦涩难懂的医学术语含义，使其更容易理解医生的诊断和建议[34]。医生在诊疗过程中可能无法详细解释所有细节，ChatGPT 可以提供补充信息，例如疾病常见症状、治疗备选方案等，以帮助患者作出更加知情的决策。ChatGPT 还可以向患

者提供健康教育[35]和康复指导[29]，帮助患者更好地管理康复过程，加速康复进程。医患共同决策对患者满意度和治疗结果非常重要，ChatGPT 可以提供有关治疗选项、风险和益处的信息，帮助患者更好地参与决策过程[36]。

患者在疾病治疗过程中可能会感到焦虑、恐惧或沮丧[37]，ChatGPT 可以提供情感支持，倾听患者情绪，并提供鼓励和安慰[38]。提供关于不同类型的心理疾病（如抑郁症、焦虑症等）的疏导，分享情绪调节和应对策略[39]，帮助患者和家属应对焦虑、抑郁、情绪波动等困扰。还可以提供关于心理治疗和咨询资源的信息，帮助患者和家属找到适合的支持和治疗。

3.5 临床研究开展

3.5.1 医学文献自动化阅读与知识提取 ChatGPT 可以实现医学文献自动化阅读与知识提取[40]，读取医学文献生成简洁的摘要，概括文献主要内容，帮助研究人员快速了解文献要点，节省阅读时间。ChatGPT 可以根据用户提出的问题，从医学文献中提取相关知识，并给出答案[41]，帮助研究人员和临床医生快速查找和利用医学文献中的知识[42]。

3.5.2 构建知识图谱或网络 ChatGPT 可以分析医学文献中的实体及其关系，构建知识图谱或网络[43]。这种网络分析可以揭示不同实体之间的相互作用和关联，帮助研究人员发现新的关联和趋势。作为交互式文献检索工具，根据用户提供的查询条件，快速检索并筛选出相关医学文献，帮助研究人员快速找到感兴趣的文献，减少信息过载[44]。

3.5.3 其他辅助应用 ChatGPT 可以辅助研究人员制定实验设计和数据分析方法[45]，提供关于实验设计、样本量计算、统计方法等方面的建议，帮助研究人员制定合理的实验方案和数据分析策略。帮助解释和解读实验结果，讨论数据的可靠性、显著性和实际意义，并提供数据可视化建议[46]。还可以在科研论文撰写过程中提供多方面辅助[47]，例如提供思路和灵感、优化结构和逻辑、提供语言和表达建议、辅助文献引用和参考文献、检查和改进论文质量等。

3.6 医学教育

ChatGPT 可以根据医学教育需要生成教学内容，如讲义、教材、案例分析等，根据学生需求和知识水平提供个性化学习资源[48]，帮助学生更好地理解和掌握医学知识。根据设定的知识点和考试要求自动生成医学考试试题，帮助减轻教师工作负担，并确保试题质量和准确性。此外，还能根据学生答题情况提供实时反馈和评估，帮助学生检测学习进度和薄弱领域。与学生进行交互，根据学生的问题和需求提供个性化教育指导[49-50]；解答学生的疑问、提供补充解释和实例，帮助学生更深入地理解医学概念和原理。同时还可以根据学生学习情况和偏好推荐相关学习资源，实现个性化学习路径推荐。

AI 技术能够极大推动医学教育创新[51]，结合 ChatGPT 和元宇宙、虚拟现实、增强现实等技术[52]，创造沉浸式医学教育体验。学生可以通过虚拟场景模拟实际医学操作和病例处理，与虚拟患者[53]进行交互，进行实时医学实践训练和决策演练。ChatGPT 在这一过程中作为学生的虚拟导师[54]，提供指导、反馈和疑问解答，提升学生的学习效果和实践能力。

3.7 医院管理与卫生系统管理

3.7.1 自动化分析和调配医院资源 ChatGPT 通过自动化分析和调配医院资源，实现医疗资源合理配置和优化利用[55]。帮助医院预测患者流量、诊断和治疗需求以及人员和设备需求。通过预测和优化，提高工作效率、减少等候时间，并优化医疗服务质量和成本效益。

3.7.2 传染病监测和预测 通过对大数据自动化分析和处理，ChatGPT 可以辅助进行传染病监测和预测[56]，帮助监测疾病传播趋势、风险区域，并提供科学依据用于传染病防控决策。挖掘数据中的关联性和规律性，辅助制定具有针对性的干预措施，预测发展趋势，并优化资源分配[57]。

3.7.3 跟踪和改善医疗质量 基于医疗质量监测和管理，ChatGPT 可以提高医疗服务质量和安全性[32]。分析医疗数据，识别潜在的质量问题和风险

因素，并提供决策支持用于改进医疗流程和标准。通过自动化质量监测和反馈，帮助医院和卫生系统实时跟踪和改善医疗质量，提高患者满意度和疾病预后。

3.7.4 监测和管理医保基金使用情况 通过监测和管理医保基金使用情况，为医保政策制定提供科学依据，通过分析医疗数据和费用数据，识别异常和风险，帮助发现医疗资源的浪费和滥用情况[58]。通过自动化监测和管理，帮助控制医疗费用、优化医疗服务的效益，并支持医保政策制定和执行。

4 LLMs 应用于临床医学面临的困境

4.1 数据可及性差且质量低

AI 模型需要大样本训练以提高模型性能[59]，其取得巨大成就的领域往往是那些拥有大量数据集且可以应用更复杂、更精确算法的领域[60]。但是临床数据收集过程涉及多个参与方，数据质量可能存在差异[61]。医生记录方式、术语使用和数据录入的准确性都可能不同，导致数据质量的不一致性。这可能会进一步导致模型在某些数据上表现不佳，或者无法准确预测某些结果。不同医疗机构的数据标准和结构存在差异，临床数据标准化程度较低，导致数据整合复杂，限制 LLMs 在不同数据集之间迁移和应用。医疗数据包含大量敏感信息，如患者病史和治疗方案等，一旦泄露会给患者精神和心理等造成极大损害[62]。患者知情同意同样值得关注，医疗机构有可能在未获得患者知情同意的情况下将患者数据大规模用于 AI 模型训练[63]。因此在医疗机构层面，数据共享受到许多因素限制，其中包括隐私和安全考虑、法律和法规要求以及医疗机构间的竞争和合规性问题，导致跨机构数据共享难以实现[62]。AI 模型更新迭代获得性能提升往往需要获得数据持续使用权限，增加了数据可及性的实现难度。

4.2 模型外部应用表现差，缺乏可解释性

在临床应用中，LLMs 的精度和准确性对医生和患者至关重要。然而，LLMs 训练数据可能存在偏见，会在生成结果时产生不准确或有偏倚的信息。这可能源于数据收集过程中的样本偏差、注释错误或模型在训练过程中学到的偏见。在临床医学中，这种偏见可能导致生成的建议或决策具有潜在风险或不准确性。AI 模型过拟合[64]同样导致模型在训练时取得优异性能，但在外部应用时的预测结果差强人意。在医疗保健领域，模型解释性非常重要。医生和患者需要理解模型的推理过程和生成结果的依据。LLMs 被认为是黑盒模型，难以解释其生成结果的逻辑和依据[65]，这降低了模型生成结果信任度，并影响其在实际应用中的可靠性和可接受性。

4.3 与医疗实际需求和应用场景脱节，落地困难

医疗领域具有高度复杂性和专业性，需要深入的医学知识和专业判断。大语言模型可能在通用的语言理解能力方面表现出色，但对医学领域特定知识和专业性的理解仍然有限。这使大语言模型应用于医疗场景中的决策支持和临床指导变得困难。LLMs 辅助诊疗目的在于提升医生工作效率和质量，如何将 LLMs 整合至医生工作流程中也是一大难点，成功案例较匮乏，更多的 AI 模型还处于实验阶段[66]。在医疗实践中，决策和行动往往需要考虑多个因素，包括患者的个体差异、病情复杂性、实际可行性等，LLMs 在评估实际需求和可行性方面可能面临挑战。

4.4 伦理问题

在临床医学中，公平性是一个重要的伦理原则，需要确保决策不会对某些人群造成不平等对待。因此，需要审查和纠正模型中的偏见，并确保其输出对所有患者都是公平和可信的。临床医学注重个性化治疗和关怀，需要考虑患者的特定情况、价值观和偏好。在使用大语言模型时，应注意避免将模型的推荐视为绝对标准，将其作为辅助工具，结合医生专业判断和患者个体情况进行决策。在医疗领域，错误决策可能导致严重后果，一旦发生必须追责。AI 的黑箱问题导致无法找出错误预测或建议来源。LLMs 应用带来责任和追溯性问题。当模型产生错误建议或决策时，如何确定责任和进行纠正是尚待解决的问题。医疗机构和开发者应建立机

制，监测模型性能和安全性，并及时纠正和更新模型，以减少潜在风险和伦理问题。目前缺乏 AI 用于医疗领域所产生伦理问题的行业性指南，缺乏统一标准规范 AI 使用。美国食品药品监督管理局已经开始尝试建立评价 AI 安全性和有效性的指南[67]，英国国家医疗服务体系开始建立一系列指南用以评价 AI 驱动的技术产品有效性[68]，这也从侧面印证了 AI 应用的伦理困境。

5 展望 LLMs 对临床医学发展的影响

5.1 全方位提高医疗质量及其可及性

从长期来看，LLMs 将医生和其他医疗从业人员从撰写报告和执行繁琐行政任务中解脱出来，更多地投入到临床工作中。为医学生和医生提供基于语言交互的教育和培训，帮助医学生更好地掌握医学知识和技能。ChatGPT 等 LLMs 可以协助医生快速和准确地诊断病情、制定治疗方案，从而提供高质量医疗保健，减少患者因为多次就医而产生的费用。LLMs 技术可以预测患者可能面临的潜在疾病风险。应用 LLMs 技术，通过对大量数据的学习和模式识别，帮助医生和患者及早发现潜在的健康问题。根据患者个性化特征和病情特点，提供具有针对性的治疗方案，同时 AI 还可以对患者健康状况进行追踪和预测，从而避免不必要的复诊和住院。LLMs 可被用于医疗水平欠发达地区，帮助提高医生及其助手的能力，协助分诊，促进远程诊疗。通过在互联网上提供在线诊疗和远程医疗服务，LLMs 可以帮助缩小城乡医疗差距，为更广大人群提供更好的医疗体验。

5.2 多维度挖掘组学数据为患者提供更多选择

LLMs 在医学大数据挖掘方面的应用潜能广泛而多样，可以处理临床病理数据，帮助解读组织切片图像和病理报告，辅助病理学家进行疾病分类和预后评估。在基因组学数据方面，LLMs 可以辅助分析基因表达和突变数据，帮助发现新疾病相关基因和生物标志物，并揭示基因调控网络。对转录组学数据的辅助分析可以揭示差异表达基因和通路，预测药物效应和治疗反应。在蛋白组学数据方面，LLMs 可以帮助识别蛋白标志物和相互作用，揭示疾病机制。此外，LLMs 还能帮助处理代谢组学数据和医学影像数据，帮助研究人员从代谢通路和影像特征中有所发现，并提供个性化医疗支持。LLMs 技术可以帮助加速医学研究进程，例如在疾病预测、药物开发和治疗方案制定等方面。LLMs 可在大规模化合物数据库中进行搜索和筛选，根据已知药物性质和目标疾病信息，提供潜在药物候选物，或者生成新的分子结构，预测其药理学性质，并评估其在特定疾病治疗中的潜在效果。这将有助于更快地发现新的治疗方法，为患者提供更好的治疗选择。

5.3 新一代 AI 模型全面颠覆医疗生态圈

以 GPT－4、MidJournal 等为代表的新一代 AI 模型，未来有望将医学图像分析和医学视频分析推向新高度。这些模型将结合深度学习、计算机视觉和医学知识，实现对超声、核磁共振、计算机断层扫描、病理图像和核医学影像等医学图像的自动解读和分析。进而自动检测异常区域、提取特征，并与大量医学数据库进行比对，提供更准确的疾病诊断和治疗建议。帮助医生更准确地定位病变、评估病情严重程度，并在早期发现疾病迹象，提供更早、更精准的诊断结果。提高疾病的治疗效果和预后，并为患者提供更个性化的医疗服务。同时，结合医学视频分析，新一代 AI 模型可以帮助医生解读手术过程、手术视频、诊疗操作视频等，识别关键步骤、评估手术操作的准确性，并提供实时建议和反馈。从而提高手术的安全性、准确性和效果，为医生提供更可靠的诊疗辅助工具，使医疗质量和手术结果得到进一步提升。LLMs 等 AI 模型具有全面的图像和视频分析能力，其应用将推动临床医学诊疗模式和医疗生态圈产生全面变革。此类模型有潜力加速医学诊断和治疗过程，提高医疗资源利用效率，并促进个性化医疗发展。医生可以更专注于更复杂的病例和治疗策略决策，通过应用 LLMs 可提供更准确、个性化的医疗建议，并为患者提供更全面的关怀和治疗方案。

6 结语

以 ChatGPT 为代表的 LLMs 在临床诊疗、随访、护理、医学教育、医院管理等诸多健康相关领域具有应用潜能，具有重塑医疗卫生行业服务模式的能力。虽然面临技术、伦理、法律和社会问题等诸多难题，但 ChatGPT 的问世已经开启医疗领域重大变革，唯有紧随技术发展趋势，方能乘势而上，有所成就。

参考文献

1 MANNING C D. Human language understanding & reasoning [J]. Daedalus, 2022, 151 (2): 127 – 138.

2 MANN D L. Artificial intelligence discusses the role of artificial intelligence in translational medicine: a JACC: basic to translational science interview with ChatGPT [J]. Basic to translational science, 2023, 8 (2): 221 – 223.

3 ZHOU C, LI Q, LI C, et al. A comprehensive survey on pretrained foundation models: a history from bert to chatgpt [EB/OL]. [2023 – 06 – 11]. https://arxiv.org/abs/2302.09419.

4 XIA C S, ZHANG L. Conversational automated program repair [EB/OL]. [2023 – 06 – 09]. https://arxiv.org/abs/2301.13246.

5 ZHENG O, ABDEL – ATY M, WANG D, et al. ChatGPT is on the horizon: could a large language model be all we need for intelligent transportation [EB/OL]. [2023 – 06 – 06]. https://arxiv.org/abs/2303.05382.

6 OUYANG L, WU J, JIANG X, et al. Training language models to follow instructions with human feedback [EB/OL]. [2023 – 06 – 11]. https://arxiv.org/abs/2203.02155.

7 YE S, HWANG H, YANG S, et al. In – context instruction learning [EB/OL]. [2023 – 06 – 07]. https://arxiv.org/abs/2302.14691.

8 KUNG T H, CHEATHAM M, MEDENILLA A, et al. Performance of ChatGPT on USMLE: potential for AI – assisted medical education using large language models [J]. PLOS digital health, 2023, 2 (2): e198.

9 PubMedQA. PubMedQA: a dataset for biomedical research question answering [EB/OL]. [2023 – 04 – 01]. https://pubmedqa.github.io/.

10 SINGHAL K, AZIZI S, TU T, et al. Large language models encode clinical knowledge [EB/OL]. [2023 – 07 – 18]. https://www.nature.com/articles/s41586 – 023 – 06291 – 2#citeas.

11 DELIBERATO R O, CELI L A, STONE D J. Clinical note creation, binning, and artificial intelligence [J]. JMIR medical informatics, 2017, 5 (3): e7627.

12 JOUKES E, ABU – HANNA A, CORNET R, et al. Time spent on dedicated patient care and documentation tasks before and after the introduction of a structured and standardized electronic health record [J]. Applied clinical informatics, 2018, 9 (1): 46 – 53.

13 FRIEDBERG M W, CHEN P G, VAN BUSUM K R, et al. Factors affecting physician professional satisfaction and their implications for patient care, health systems, and health policy [J]. Rand health quarterly, 2014, 3 (4): 1.

14 WACHTER R, GOLDSMITH J. To combat physician burnout and improve care, fix the electronic health record [EB/OL]. [2023 – 06 – 10]. https://hbr.org/2018/03/to – combat – physician – burnout – and – improve – care – fix – the – electronic – health – record.

15 CAMPBELL E M, SITTIG D F, ASH J S, et al. Types of unintended consequences related to computerized provider order entry [J]. Journal of the American medical informatics association, 2006, 13 (5): 547 – 556.

16 KLANN J G, SZOLOVITS P. An intelligent listening framework for capturing encounter notes from a doctor – patient dialog [J]. BMC medical informatics and decision making, 2009, 9 (S1): 1 – 10.

17 DIGIORGIO A M, EHRENFELD J M. Artificial intelligence in medicine & ChatGPT: de – tether the physician [J]. Journal of medical systems, 2023, 47 (1): 32.

18 EARNSHAW C H, PEDERSEN A, EVANS J, et al. Improving the quality of discharge summaries through a direct feedback system [J]. Future healthcare journal, 2020, 7 (2): 149.

19 PATEL S B, LAM K. ChatGPT: the future of discharge summaries [J]. The lancet digital health, 2023, 5 (3): e107 – e108.

20 FATANI B. ChatGPT for future medical and dental research [J]. Cureus, 2023, 15 (4): e37285.

21 CADAMURO J, CABITZA F, DEBELJAK Z, et al. Potentials and pitfalls of ChatGPT and natural – language artificial intelligence models for the understanding of laboratory medicine test results. An assessment by the European federation of clinical chemistry and laboratory medicine (EFLM) working group on artificial intelligence (WG – AI) [J]. Clinical chemistry and laboratory medicine, 2023, 61 (7): 1158 – 1166.

22 BISWAS S S. Role of ChatGPT in radiology with a focus on

pediatric radiology: proof by examples [J]. Pediatric radiology, 2023, 53 (5): 818 – 822.

23 HU M, PAN S, LI Y, et al. Advancing medical imaging with language models: a journey from n – grams to ChatGPT [EB/OL]. [2023 – 06 – 02]. https://arxiv.org/abs/2304.04920.

24 HARSKAMP R E, DE CLERCQ L. Performance of ChatGPT as an AI – assisted decision support tool in medicine: a proof – of – concept study for interpreting symptoms and management of common cardiac conditions (AMSTELHEART – 2) [EB/OL]. [2023 – 05 – 18]. https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.03.25.23285475v1.

25 AGBAVOR F, LIANG H. Predicting dementia from spontaneous speech using large language models [J]. PLOS digital health, 2022, 1 (12): e168.

26 RAO A S, KIM J, KAMINENI M, et al. Evaluating ChatGPT as an adjunct for radiologic decision – making [EB/OL]. [2023 – 06 – 10]. https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.02.02.23285399v1.

27 RAO A S, PANG M, KIM J, et al. Assessing the utility of ChatGPT throughout the entire clinical workflow [EB/OL]. [2023 – 05 – 23]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36865204/.

28 LIU S, WRIGHT A P, PATTERSON B L, et al. Assessing the value of ChatGPT for clinical decision support optimization [EB/OL]. [2023 – 05 – 29]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36865144/.

29 CHENG K, SUN Z, HE Y, et al. The potential impact of ChatGPT/GPT – 4 on surgery: will it topple the profession of surgeons [J]. International journal of surgery, 2023, 109 (5): 1545 – 1547.

30 HUANG Y, GOMAA A, WEISSMANN T, et al. Benchmarking ChatGPT – 4 on ACR radiation oncology in – training exam (TXIT): potentials and challenges for AI – assisted medical education and decision making in radiation oncology [EB/OL]. [2023 – 06 – 15]. https://arxiv.org/abs/2304.11957.

31 HOPKINS A M, LOGAN J M, KICHENADASSE G, et al. Artificial intelligence chatbots will revolutionize how cancer patients access information: ChatGPT represents a paradigm – shift [J]. JNCI cancer spectrum, 2023, 7 (2): 10.

32 JAVAID M, HALEEM A, SINGH R P. ChatGPT for healthcare services: an emerging stage for an innovative perspective [J]. BenchCouncil transactions on benchmarks, standards and evaluations, 2023, 3 (1): 1 – 11.

33 SALLAM M. The utility of ChatGPT as an example of large language models in healthcare education, research and practice: systematic review on the future perspectives and potential limitations [EB/OL]. [2023 – 06 – 09]. https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.02.19.23286155v1.

34 LYU Q, TAN J, ZAPADKA M E, et al. Translating radiology reports into plain language using chatgpt and gpt – 4 with prompt learning: promising results, limitations, and potential [EB/OL]. [2023 – 05 – 19]. https://arxiv.org/abs/2303.09038.

35 SALLAM M, SALIM N, BARAKAT M, et al. ChatGPT applications in medical, dental, pharmacy, and public health education: a descriptive study highlighting the advantages and limitations [J]. Narra J, 2023, 3 (1): e103.

36 ZHU L, MOU W, CHEN R. Can the ChatGPT and other large language models with internet – connected database solve the questions and concerns of patient with prostate cancer and help democratize medical knowledge [J]. Journal of translational medicine, 2023, 21 (1): 1 – 4.

37 DEJEAN D, GIACOMINI M, VANSTONE M, et al. Patient experiences of depression and anxiety with chronic disease: a systematic review and qualitative meta – synthesis [J]. Ontario health technology assessment series, 2013, 13 (16): 1.

38 ESHGHIE M, ESHGHIE M. ChatGPT as a therapist assistant: a suitability study [EB/OL]. [2023 – 06 – 01]. https://arxiv.org/abs/2304.09873.

39 YANG K, JI S, ZHANG T, et al. On the evaluations of ChatGPT and emotion – enhanced prompting for mental health analysis [EB/OL]. [2023 – 05 – 23]. https://arxiv.org/abs/2304.03347.

40 ARIF T B, MUNAF U, UL – HAQUE I. The future of medical education and research: is ChatGPT a blessing or blight in disguise [J]. Medical education online, 2023, 28 (1): 2181052.

41 VAISHYA R, MISRA A, VAISH A. ChatGPT: is this version good for healthcare and research [J]. Diabetes & metabolic syndrome: clinical research & reviews, 2023, 17 (4): 102744.

42 GAO C A, HOWARD F M, MARKOV N S, et al. Comparing scientific abstracts generated by ChatGPT to original abstracts using an artificial intelligence output detector, plagiarism detector, and blinded human reviewers [EB/OL]. [2023 – 06 – 02]. https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.12.23.521610v1.

43 OMAR R, MANGUKIYA O, KALNIS P, et al. ChatGPT versus traditional question answering for knowledge graphs: current status and future directions towards knowledge graph

chatbots [EB/OL]. [2023-05-27]. https://arxiv.org/abs/2302.06466.

44 WANG S, SCELLS H, KOOPMAN B, et al. Can ChatgPT write a good boolean query for systematic review literature search [EB/OL]. [2023-05-18]. https://arxiv.org/abs/2302.03495.

45 LUND B D, WANG T. Chatting about ChatGPT: how may AI and GPT impact academia and libraries [J]. Library hi tech news, 2023, 40 (3): 26-29.

46 MACDONALD C, ADELOYE D, SHEIKH A, et al. Can ChatGPT draft a research article? An example of population -level vaccine effectiveness analysis [J]. Journal of global health, 2023, 13 (2): 1003.

47 KUMAR A H. Analysis of ChatGPT tool to assess the potential of its utility for academic writing in biomedical domain [J]. Biology, engineering, medicine and science reports, 2023, 9 (1): 24-30.

48 ZHAI X. ChatGPT and AI: the game changer for education [EB/OL]. [2023-05-03]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm? abstract_ id=4389098.

49 CHAN K S, ZARY N. Applications and challenges of implementing artificial intelligence in medical education: integrative review [J]. JMIR medical education, 2019, 5 (1): e13930.

50 WHALLEY B, FRANCE D, PARK J, et al. Towards flexible personalized learning and the future educational system in the fourth industrial revolution in the wake of Covid-19 [J]. Higher education pedagogies, 2021, 6 (1): 79-99.

51 PARANJAPE K, SCHINKEL M, PANDAY R N, et al. Introducing artificial intelligence training in medical education [J]. JMIR medical education, 2019, 5 (2): e16048.

52 TALAN T, KALINKARA Y. The role of artificial intelligence in higher education: ChatGPT assessment for anatomy course [J]. Uluslararası yönetim bilişim sistemleri ve bilgisayar bilimleri dergisi, 2023, 7 (1): 33-40.

53 SEETHARAMAN R. Revolutionizing medical education: can ChatGPT boost subjective learning and expression [J]. Journal of medical systems, 2023, 47 (1): 1-4.

54 BAIDOO-ANU D, OWUSU ANSAH L. Education in the era of generative artificial intelligence (AI): understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning [EB/OL]. [2023-06-05]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm? abstract_id=4337484.

55 LU Y, WU H, QI S, et al. Artificial intelligence in intensive care medicine: toward a ChatGPT/GPT-4 way [EB/OL]. [2023-03-10]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37179277/.

56 CURY R C, MEGYERI I, LINDSEY T, et al. Natural language processing and machine learning for detection of respiratory illness by chest ct imaging and tracking of covid-19 pandemic in the united states [J]. Radiology: cardiothoracic imaging, 2021, 3 (1): e200596.

57 CHENG K, LI Z, HE Y, et al. Potential use of artificial intelligence in infectious disease: take ChatGPT as an example [J]. Annals of biomedical engineering, 2023, 51 (6): 1130-1135.

58 BISWAS S. Using ChatGPT for insurance: current and prospective roles [EB/OL]. [2023-05-11]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm? abstract_id=4405394.

59 JOHNSON K W, TORRES SOTO J, GLICKSBERG B S, et al. Artificial intelligence in cardiology [J]. Journal of the American college of cardiology, 2018, 71 (23): 2668-2679.

60 LOPEZ K, FODEH S J, ALLAM A, et al. Reducing annotation burden through multimodal learning [J]. Frontiers in big data, 2020, 3 (1): 19.

61 DASH S, SHAKYAWAR S K, SHARMA M, et al. Big data in healthcare: management, analysis and future prospects [J]. Journal of big data, 2019, 6 (1): 1-25.

62 SUN T Q, MEDAGLIA R. Mapping the challenges of artificial intelligence in the public sector: evidence from public healthcare [J]. Government information quarterly, 2019, 36 (2): 368-383.

63 KILOVATY I. Psychological data breach harms [J]. North Carolina journal of law & technology, 2021, 23 (1): 1-65.

64 WIENS J, SHENOY E S. Machine learning for healthcare: on the verge of a major shift in healthcare epidemiology [J]. Clinical infectious diseases, 2018, 66 (1): 149-153.

65 WANG F, KAUSHAL R, KHULLAR D. Should health care demand interpretable artificial intelligence or accept "black box" medicine [J]. Annals of internal medicine, 2020, 172 (1): 59-60.

66 WILSON A, SAEED H, PRINGLE C, et al. Artificial intelligence projects in healthcare: 10 practical tips for success in a clinical environment [J]. BMJ health & care informatics, 2021, 28 (1): e100323.

67 DAVAHLI M R, KARWOWSKI W, FIOK K, et al. Controlling safety of artificial intelligence-based systems in healthcare [J]. Symmetry, 2021, 13 (1): 102.

68 MORRISON K. Artificial intelligence and the NHS: a qualitative exploration of the factors influencing adoption [J]. Future healthcare journal, 2021, 8 (3): e648.