·综述·

人工智能在多点触发传染病监测预警体系的应用进展和展望*

王　雷[1]　郭运达[2]　祝丙华[3]　李佳丹[1△]

【提　要】 近年来，各类新发突发传染病对人类健康持续构成威胁，推动构建灵敏、精准、高效的监测预警网络，是实现传染病科学防控的首要环节。以机器学习、深度学习、自然语言处理、大数据分析等为代表的人工智能技术，为传染病的多点触发监测预警提供了有力手段。与传统的预防医学方法相比，该技术在多维数据收集整合、监测模型构建评价、预警信号生成传递，以及政策措施辅助研提等方面具有显著优势，可有效提升监测预警的时效性和精准度。然而，目前在学科交叉应用方面尚处于起步阶段，仍需要各方共同努力。未来可加大技术创新和跨学科合作力度，促进人工智能技术与传染病防控领域深度交叉融合。本文旨在综述人工智能技术在多点触发传染病监测预警中的应用进展和发展方向，为相关领域的研究和实践提供参考。

【关键词】 人工智能　传染病监测预警　多点触发　网络智能化

【中图分类号】 R181.8　　【文献标志码】 A　　DOI 10.11783/j.issn.1002-3674.2026.03.030

随着经济全球化和城市化加快，各类病原体跨境传播风险上升。新冠病毒感染、猴痘等疫情的暴发流行以及登革热、疟疾等旧传染病复发，都警示我们传染病对人类健康的威胁从未远去[1-3]。现有监测预警系统存在不足，难以应对新发传染病防控的现实需求[4]。2024年8月，国家疾控局联合八部委印发《关于建立健全智慧化多点触发传染病监测预警体系的指导意见》，到2030年基本建成多点触发、反应快速、科学高效的传染病智慧化监测预警体系，提升疫情早期发现和快速处置能力[5]。智慧化多点触发传染病监测预警这一理念的提出，对于建强传染病防控网络，优化重塑我国重大疫情应急响应机制具有重要现实意义。近年来迅猛发展的人工智能（artificial intelligence，AI）技术，在传染病监测预警方面具有良好的应用前景，可帮助收集数据、整合信息、分析疫情，提高监测预警的准确性和效率[6]。本文从建立健全多点触发传染病监测预警体系角度，对人工智能技术在国内外传染病监测预警领域的应用进行分析和展望，以期为未来科学研究和实践应用提供更多参考依据。

多点触发传染病监测预警概述

传染病监测预警是指长期、连续收集和分析人群中的传染病分布数据及其影响因素，及时将信息反馈给相关部门，在疫情暴发前或早期发出警示信号，提醒可能发生或扩大的风险[7]。

监测是预警的前提[8]。20世纪40至60年代，美国疾控中心和世界卫生组织的专家提出传染病“现代监测”概念[9]。随后WHO发布多项技术文件，明确“监测是传染病防控基石”的理念，逐渐被学界和社会认可。20世纪70年代，随着病原生物学发展，实验室检测方法成为传染病监测的核心技术[10]。20世纪90年代后，信息技术进步推动监测手段多元化。传统监测主要依赖医院和基层医疗机构上报临床病例或实验室结果[11]。例如，2003年严重急性呼吸综合征疫情暴发后，我国建立的国家传染病网络直报系统依托覆盖全国的医院和基层医疗机构网络，实现数据实时管理和流行病学信息监测[12]。虽然这种监测方式在早期信息报告和疫情有效控制等方面发挥了重要作用，但也存在监测范围有限、效率不足等问题。

预警是监测的目的[13]。最初的传染病预警系统起源于军事用途，1999年美国国防部资助研发了社区疫情早期预警电子监测系统（electronic surveillance system for the early notification of community-based epidemics，ESSENCE），利用信息技术整合多源数据，监测生物恐怖事件[14]。该系统不但为美军方服务，还与多个地方卫生部门和机构实现信息共享，成为新冠肺炎大流行期间约翰斯·霍普金斯大学疫情数据的主要来源。我国于2008年4月在全国上线运行的国家传染病自动预警系统（China infectious diseases automated-alert and response system，CIDARS），通过自动分析法定传染病数据，实现疫情实时识别和预警[15]。但该系统数据仅来自医院直报，存在渠道单一、时效差的问题。例如，2019年底武汉出现首例新冠病毒感染病例时，CIDARS未能及时预警[16]。这说明必须扩大监测范围、增加数据来源、提高响应速度，才能有效防控新发传染病。

多点触发理论为传染病监测预警提供了新思路。该理论强调在多个地点使用多种手段持续监测目标数据，目前已在公共卫生、环境监测等领域应用[17]。国外

* 基金项目：全军医院感染监测体系及综合防控平台的建立与应用（145AHQ080020005X）

1.联勤保障部队第九六三医院疾病预防控制科（154002）
2.61889部队门诊部
3.第三〇五医院疾病预防控制科
△通信作者：李佳丹，E-mail：girlndge_123@163.com

对于多点触发传染病监测预警的研究较早，例如ESSENCE通过监测患者症状、药品销售、学校缺勤等数据，提升疫情早期发现能力[14]。加拿大建立的全球公共卫生情报网络，曾多次成功预测严重急性呼吸综合征、中东呼吸综合征、埃博拉等重大公共卫生事件[18]。

2020年6月，习近平总书记提出要重点加强疫情早期预警能力，建立智慧化预警机制，完善多渠道监测[19]。此后各地积极实践，例如2022年北京在应对聚集性疫情时，将医院数据、药店销售记录、网络信息接入“健康宝”系统，通过分类弹窗精准管控风险人群和区域[20]。湖北宜昌整合医疗、医保、气象等数据，建立区域监测预警系统，在新冠疫情期间成功预警聚集性疫情。这些实践验证了多点触发监测模式的有效性[21]。

人工智能技术简介

人工智能是指通过计算机系统模拟人类智能行为的技术，经过数十年发展，已发展为包括机器学习（machine learning，ML）、深度学习（deep learning，DL）、自然语言处理（natural language processing，NLP）、计算机视觉（computer vision，CV）等多个分支[22-23]。这些AI技术通过特定算法，使计算机从数据中学习和建立模型，并对新数据进行预测，进而完成复杂工作任务。目前在医疗卫生领域应用较为广泛的AI技术主要包括以下几类：

1. 机器学习

ML是人工智能的核心技术，通过分析大量数据自动学习规律，用于处理复杂的高维数据。ML通常可以分为监督学习、无监督学习、半监督学习和强化学习4大类[24-25]。监督学习需要输入和输出数据有明确对应关系，常用于回归和分类任务[26]。无监督学习无须预先确定数据标签，主要应用于聚类、降维、关联规则挖掘和异常检测等任务中[27]。半监督学习结合少量标记数据和大量未标记数据，在标签数据少时提升效果[26]。强化学习是一种提高AI代理智能的方法，通过不断试错引导其自主化学习，通过奖励反馈来学习特定环境下的最佳行为[28]。

2. 深度学习

DL是ML的一类重要分支，是使用深度神经网络（neural networks，NN）解决各种分类和预测问题的技术。主要分为卷积神经网络（convolutional neural network，CNN）、图神经网络（graph neural networks，GNN）、循环神经网络（recurrent neural networks，RNN）、生成对抗网络（generative adversarial networks，GAN）等。与传统机器学习相比，DL能自动提取数据特征，减少人工干预，已应用于疾病诊断、医学影像分析等领域[24]。CNN通过模拟人类视觉系统的工作方式，能够自动提取图像中的特征，从而实现高效的图像分类和识别[29]。其基本结构包括多个卷积层、池化层和全连接层，这些层通过非线性激活函数相互连接，使得网络能够学习到复杂的特征表示[30]。凭借强大的特征学习能力，CNN正推动多领域的技术创新[31]。

3. 大语言模型（large language models，LLM）

LLM是能够处理和运算亿级参数数据的NLP模型[32]。通常采用变换器架构对大量数据集进行训练，使之能够识别、翻译、预测或生成文本或其他内容[33]。该架构包括多个自注意力层，功能是在给定数据的前n个字符的情况下，预测第n+1个字符，能够有效地捕捉长距离依赖关系。先用大规模语料库预训练学习语言规律，再针对具体任务优化[34]。LLM主要应用于文字和语言的处理，在文本分类、机器翻译、语音识别等方面具有广泛应用[35]。

4. 计算机视觉

CV是让计算机理解图像或视频的技术，主要功能包括图像识别、目标检测、3D重建和视频分析。图像识别涉及图像特征提取、归纳分类、对象或场景识别等步骤，在CT和MRI影像分析等方面应用广泛[36-37]。目标检测常应用于公共场所测温、道路交通视频监控、生产线不合格产品筛检等系统中[38]。3D重建主要应用于建筑、工程、人体深部组织器官建模等领域。视频分析主要是从较长视频中提取关键信息，节省人工观看视频分析的时间[39]。

人工智能技术在多点触发传染病监测预警中的应用

多点触发传染病监测预警主要是通过广泛收集医疗卫生、交通、海关、市场、教育、气象、网信等部门数据，建立多主体多层级信息源，再综合运用多种技术手段对监测数据进行融合分析。AI技术因其在数据收集聚类、深度分析处理、预测模型构建、实时动态预警、辅助决策支持等方面的独特优势，已经在一些国家和地区的传染病防控工作中发挥了重要作用。

1. 数据收集聚类

全面收集数据和精准科学分类是监测预警的首要环节。传统人工方式效率低、速度慢，难以处理多来源数据。AI技术中的互联网爬虫、智能传感器等技术，可通过编写程序代码和布设前端设备相结合的方式，自动抓取网页文本、数据库文件、监控视频等信息，达到实时探测收集并整合数据的目的[40]。我国国境口岸卫生检疫部门采用网络爬虫、自然语言处理、自动翻译等技术，每天两次自动抓取全球疫情信息生成中文简报，再通过机器深度学习和数据挖掘等技术，结合用户需求自动生成疫情报告，搭建形成可视化的人机交互网站，极大节约了口岸卫生检疫的人力

资源[41]。武汉市于2021年建设应用的传染病监测预警系统，通过“推送”、“拉取”、数据摆渡、API等方式接入多源异构数据。系统将标准化数据整合至城市信息平台，利用数据抽取和建模技术构建疾控主题数据库，为多点触发监测预警提供数据支撑[42]。安徽省合肥市运用人工智能、深度学习、大数据等信息技术，构建了覆盖全市1425家基层医疗机构、18家等级医院、2580家学校、4134家药店、4家实验室以及医保购药和民政部门的传染病智能信息中枢，实现了传染病监测关口的迁移延伸[43]。应用和普及基于AI的可穿戴移动健康监测设备，不仅有利于加强个人健康状况的实时监测，还可应用于疾病的预防和控制，有助于建立更全面的社会疾控监测网络[44]。

2. 深度分析处理

AI技术具有强大的算力，在数据深度分析处理方面也展现出广阔的发展前景。一项多地区研究尝试构建传染病检测框架，使用实体嵌入结构化数据、LSTM网络、CNN等技术分析医疗数据，能精准识别疾病，并通过智能体共享学习提升检测率和运行效率。此外，模因算法和人工蜂群优化等进化计算算法的使用，在提高系统的检测率和运行性能等方面可以发挥重要作用[45]。AI还能整合医疗记录等结构化数据和社交媒体等非结构化数据。澳大利亚政府布设的EPIWATCH系统，就是基于网络的自动化监测技术建立的。该系统可以连续检索和分析来自多个平台的数据，进而识别分析新出现的传染病的模式和异常情况，使政府和卫生部门能够快速做出反应[46]。

3. 预测模型构建

AI预测模型作为一种前沿热点技术，因其具备高效的大数据处理、计算、自我学习能力，在疾病预测与早期诊断、患者预后预测、药物研发与疗效预测、公共卫生监测等领域应用广泛[47]。ML是数据预测领域的主要技术方法，一项meta分析对48篇基于机器学习算法的疾病预测文献进行研究，发现支持向量机和朴素贝叶斯算法应用较多，而随机森林算法在预测精度方面相对较高[48]。NN在拟合预测模型方面表现得更灵活[49]，Song等[50]研发了一个自动流行病学调查分析工具，将新冠病毒感染者的接触人群纳入GNN算法，显著提高了流调人员和流行病学专家的效率。韩国的一项基于RNN的手足口病预测研究，将每个州的手足口病病例数据与温度、降雨、湿度和空气污染等6类天气因素进行分析，表现出了最佳的预测性能[51]。Liu等[52]在GNN中引入门控循环单元进行多变量时间序列预测，在非洲、欧洲多国的新冠病毒和匈牙利水痘数据集评估验证中，预测精度优于其他多种模型。但值得注意的是，不同模型对不同结局的拟合及预测精度差异较大，不存在绝对完美的预测模型，应根据研究需要和应用重点择优选取。

4. 实时动态预警

AI技术能实时监测多维开源数据，不依赖被动报告，发现疾病早期迹象，帮助传统监测系统提前预警。澳大利亚一个研究机构使用基于AI技术的EPIWATCH系统自动化技术扫描开源数据，提取解析皮疹样病例文献报道，实现对非洲猴痘疫情的早期识别[53]。加拿大一项研究显示，基于AI的流行病和大流行病早期预警系统已经在多种场景中有效实施，AI技术在提高流行病检测的速度和准确性方面显示出良好应用前景，是未来公共卫生领域的一个重要研究方向[54]。

5. 辅助支持决策

AI技术相比传统监测模式，能快速提取传染病关键特征、及时预警，还能生成防控方案，为卫生部门和临床决策提供支持。特别是在结核病、媒介传播疾病和新冠病毒感染等传染病的管理方面，AI技术可以提高疾病诊断的准确性并识别潜在药物靶点，进而帮助公共卫生人员选择更好的防控措施，弥补传统防控模式的不足，但此类应用尚未在全球范围广泛推广[55-57]。部分中低收入国家已利用AI辅助结核病、疟疾等传染病干预，AI驱动的健康干预有望改善此类国家民众的健康状况[58]。

未来应用展望

随着AI技术的不断发展，其在传染病监测预警中的作用逐渐凸显，有望成为多点触发传染病监测预警体系的核心支柱，并在不久的将来取代传统的监测手段[59]。但是，在技术迭代时期，相关单位更应关注数据隐私保护、两代系统无缝衔接等问题，确保传染病监测预警的安全性。未来将是AI技术发展的黄金时期，大量新型AI技术将不断涌现并走向成熟。与此同时，AI技术与物联网、分布式云计算、智能机器人、区块链等高新技术的交叉融合，将加快多点触发传染病监测预警体系建设进程。例如，物联网设备可以实时收集环境数据和人体健康数据，这些数据通过分布式云计算进行高效处理和分析，AI技术则能够从中挖掘出有价值的信息，实现对传染病的早期预警和精准监测。同时，智能机器人可以承担起部分现场监测和样本采集工作，区块链技术则可以确保数据的安全性和不可篡改性，提高整个监测预警体系的可靠性和公信力。卫生行政部门和医疗机构应积极接纳并大力支持多种AI技术与疾病预防控制工作深度耦合，在实践中不断健全体制机制，加大相关软硬件投入力度，推进多部门协作、多源数据共享和多学科交叉，使AI技术真正帮助人类在复杂多变的传染病疫情防控中发挥出最大效能，更好服务全球公共卫生事业。

参 考 文 献

[1] Mancini MV, Damiani C, Short SM, et al. Inhibition of Asaia in Adult Mosquitoes Causes Male-Specific Mortality and Diverse Transcriptome Changes [J]. Pathogens, 2020, 9(5): 380.

[2] Gomes LGR, Rodrigues TCV, Jaiswal AK, et al. In Silico Designed Multi-Epitope Immunogen "Tpme-VAC/LGCM-2022" May Induce Both Cellular and Humoral Immunity against Treponema pallidum Infection [J]. Vaccines(Basel), 2022, 10(7): 1019.

[3] Valeri V, Sochon A, Cousu C, et al. The whole-cell pertussis vaccine imposes a broad effector B cell response in mouse heterologous prime-boost settings [J]. JCI Insight, 2022, 7(21): e157034.

[4] 杨维中,兰亚佳,吕炜,等. 建立我国传染病智慧化预警多点触发机制和多渠道监测预警机制[J]. 中华流行病学杂志,2020,41(11):1753-1757.

[5] 国家疾控局. 关于印发《关于建立健全智慧化多点触发传染病监测预警体系的指导意见》的通知:国疾控监测发〔2024〕16号[EB/OL]. (2024-08-23) [2024-11-08]. https://www. ndcpa. gov. cn/jbkzzx/c100012/common/content/content_1830410244653428736. html.

[6] Tran NK, Albahra S, May L, et al. Evolving Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Infectious Diseases Testing [J]. Clin Chem, 2021, 68(1): 125-133.

[7] 王丽萍,曹务春. 实施传染病监测是预防控制传染病的有效途径[J]. 中华流行病学杂志,2017,38(4):417-418.

[8] 黄硕,刘才兄,邓源,等. 世界主要国家和地区传染病监测预警实践进展[J]. 中华流行病学杂志,2022,43(4):591-597.

[9] 熊玮仪,冯子健. 中国传染病监测的发展历程、现状与问题[J]. 中华流行病学杂志,2011,32(10):957-960.

[10] 杨维中,兰亚佳,李中杰. 传染病预警研究回顾与展望[J]. 中华预防医学杂志,2014,48(4):244-247.

[11] 于青松,戴映雪,龙露,等. 传染病监测体系和预警方式的研究进展[J]. 预防医学情报杂志,2023,39(8):1013-1018.

[12] 刘长娜,刘军,韩冬. 传染病监测与监测大数据应用的研究进展[J]. 职业与健康,2021,37(6):844-846.

[13] George DB, Taylor W, Shaman J, et al. Technology to advance infectious disease forecasting for outbreak management [J]. Nat Commun, 2019, 10(1): 3932.

[14] Burkom H, Loschen W, Wojcik R, et al. Electronic Surveillance System for the Early Notification of Community-Based Epidemics (ESSENCE): Overview, Components, and Public Health Applications [J]. JMIR Public Health Surveill, 2021, 7(6): e26303.

[15] Wang R, Jiang Y, Michael E, et al. How to select a proper early warning threshold to detect infectious disease outbreaks based on the China infectious disease automated alert and response system (CIDARS) [J]. BMC Public Health, 2017, 17(1): 570.

[16] 杜明梅,刘运喜. 我国传染病监测预警系统的发展与应用[J]. 中华医院感染学杂志,2022,32(6):801-804.

[17] Wang H, Qiu J, Li C, et al. Applying the Spatial Transmission Network to the Forecast of Infectious Diseases Across Multiple Regions [J]. Front Public Health, 2022, 10: 774984.

[18] Mykhalovskiy E, Weir L. The Global Public Health Intelligence Network and early warning outbreak detection: a Canadian contribution to global public health [J]. Can J Public Health, 2006, 97(1): 42-44.

[19] 习近平. 构建起强大的公共卫生体系为维护人民健康提供有力保障[J]. 求是,2020(18):4-11.

[20] 北京市人民政府. 北京市传染病智慧化多点触发监测预警平台的建设情况及成效[EB/OL]. (2024-09-05)[2024-11-09]. https://www. beijing. gov. cn/shipin/zhuantishipin/24533. html.

[21] 鲁芳芳,胡池,徐承中,等. 区域多点触发传染病预警机制的建立与应用[J]. 中国卫生信息管理杂志,2022,19(6):798-803.

[22] Peng Y, Liu E, Peng S, et al. Using artificial intelligence technology to fight COVID-19: a review [J]. Artif Intell Rev, 2022, 55(6): 4941-4977.

[23] 李沐洲. 机器学习模型与传统模型预测原发性肝内胆管癌患者生存期的效果比较[J]. 中国卫生统计,2024,41(4):586-593.

[24] 张晓熙,王远涵,杨顷落,等. 基于深度学习的胸部X射线图像识别及分类模型研究[J]. 中国卫生统计,2024,41(3):365-369.

[25] 王星,吴亚飞,方亚. 机器学习在因果推断中的应用[J]. 中国卫生统计,2024,41(2):310-315.

[26] Singh T, Saurabh P, Bisen D, et al. Ftl-CoV19: A Transfer Learning Approach to Detect COVID-19 [J]. Comput Intell Neurosci, 2022, 2022: 1953992.

[27] Zalay OC. Blind method for discovering number of clusters in multidimensional datasets by regression on linkage hierarchies generated from random data [J]. PLoS One, 2020, 15(1): e0227788.

[28] Bukhari MM, Ghazal TM, Abbas S, et al. An Intelligent Proposed Model for Task Offloading in Fog-Cloud Collaboration Using Logistics Regression [J]. Comput Intell Neurosci, 2022, 2022: 3606068.

[29] Molinara M, Cancelliere R, Di Tinno A, et al. A Deep Learning Approach to Organic Pollutants Classification Using Voltammetry [J]. Sensors(Basel), 2022, 22(20): 8032.

[30] Baseri S, Tataei N, Sadeghi S, et al. Investigation of Effectiveness of Shuffled Frog-Leaping Optimizer in Training a Convolution Neural Network [J]. J Healthc Eng, 2022, 2022: 4703682.

[31] Tao X, Hong X, Shi W, et al. Analogy-Detail Networks for Object Recognition [J]. IEEE Trans Neural Netw Learn Syst, 2021, 32 (10): 4404-4418.

[32] Pratyush P, Okharel S, Saigo H, et al. pLMSNOSite: an ensemble-based approach for predicting protein S-nitrosylation sites by integrating supervised word embedding and embedding from pre-trained protein language model [J]. BMC Bioinformatics, 2023, 24 (1): 41.

[33] 梁旭,赵悦,马月丹,等. 基于PCA-LSTM神经网络的辽宁个人卫生支出占比变化趋势预测[J]. 中国卫生统计,2024,41(6):918-921.

[34] 阮彤,卞俣昂,余广涯,等. 医学大语言模型研究与应用综述[J]. 中国卫生信息管理杂志,2023,20(6):853-861.

[35] 武胜勇,郭轶斌,程义,等. 迁移学习算法在医疗卫生实践中的应用[J]. 中国卫生统计,2024,41(5):785-789.

[36] 孙欣,魏东升,许允发,等. 基于影像组学构建2型糖尿病脑梗死后再发脑梗死的风险预测模型[J]. 中国卫生统计,2024,41(2):261-265.

[37] 郭秀花,李卫. 医学影像人工智能医疗器械临床试验统计学设计要点专家共识[J]. 中国卫生统计,2024,41(3):474-480.

[38] Wang Y, Wang Y, Zhao J. MGA-YOLO: A lightweight one-stage network for apple leaf disease detection [J]. Front Plant Sci, 2022, 13: 927424.

[39] Li W, Xue Z, Li J, et al. The interior environment design for entre-

preneurship education under the virtual reality and artificial intelligence-based learning environment [J]. Front Psychol, 2022, 13: 944060.
[40] Zhang F, Tang Q, Chen J, et al. China public emotion analysis under normalization of COVID-19 epidemic:Using Sina Weibo [J]. Front Psychol, 2022, 13: 1066628.
[41] 王相军,刘春晓,刁慕言,等. 全球传染病疫情信息自动收集系统的研发[J]. 中国国境卫生检疫杂志,2017,40(6):431-434.
[42] 左秀然,杨国良,刘普林. 以智能分级为核心的传染病多点触发预警系统建设的探讨[J]. 中国数字医学,2022,17(9):28-32.
[43] 陈学超,胡长林,赵会园,等. 传染病预警多点触发系统的设计与实现[J]. 现代医院,2024,24(1):93-98.
[44] Schatz BR. National Surveys of Population Health: Big Data Analytics for Mobile Health Monitors [J]. Big Data, 2015, 3(4): 219-229.
[45] Djenouri Y, Srivastava G, Yazidi A, et al. An edge-driven multi-agent optimization model for infectious disease detection [J]. Appl Intell(Dordr), 2022, 52(12): 14362-14373.
[46] MacIntyre CR, Lim S, Quigley A. Preventing the next pandemic: Use of artificial intelligence for epidemic monitoring and alerts [J]. Cell Rep Med, 2022, 3(12): 100867.
[47] 陈雅霖,洪秋棉,温昊于,等. 全球COVID-19疫情主要预测模型比较分析[J]. 中国卫生统计,2024,41(3):382-386.
[48] Uddin S, Khan A, Hossain ME, et al. Comparing different supervised machine learning algorithms for disease prediction [J]. BMC Med Inform Decis Mak, 2019, 19(1): 281.
[49] Serghiou S, Rough K. Deep Learning for Epidemiologists: An Introduction to Neural Networks [J]. Am J Epidemiol, 2023, 192 (11): 1904-1916.
[50] Song K, Park H, Lee J, et al. COVID-19 infection inference with graph neural networks [J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 11469.
[51] Lee S, Kim S. Dual-attention-based recurrent neural network for hand-foot-mouth disease prediction in Korea [J]. Sci Rep, 2023, 13 (1): 16646.
[52] Liu XD, Hou BH, Xie ZJ, et al. Integrating gated recurrent unit in graph neural network to improve infectious disease prediction: an attempt [J]. Front Public Health, 2024, 12: 1397260.
[53] Hutchinson D, Kunasekaran M, Quigley A, et al. Could it be monkeypox?Use of an AI-based epidemic early warning system to monitor rash and fever illness [J]. Public Health, 2023, 220: 142-147.
[54] El Morr C, Ozdemir D, Asdaah Y, et al. AI-based epidemic and pandemic early warning systems: A systematic scoping review [J]. Health Informatics J, 2024, 30(3): 14604582241275844.
[55] Jamal S, Khubaib M, Gangwar R, et al. Artificial Intelligence and Machine learning based prediction of resistant and susceptible mutations in Mycobacterium tuberculosis [J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 5487.
[56] Malik YS, Sircar S, Bhat S, et al. How artificial intelligence may help the COVID-19 pandemic: Pitfalls and lessons for the future [J]. Rev Med Virol, 2021, 31(5): 1-11.
[57] Pley C, Evans M, Lowe R, et al. Digital and technological innovation in vector-borne disease surveillance to predict, detect, and control climate-driven outbreaks [J]. Lancet Planet Health, 2021, 5(10): e739-e745.
[58] Kim J, Ahn I. Infectious disease outbreak prediction using media articles with machine learning models [J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 4413.
[59] Dave T, Athaluri SA, Singh S. ChatGPT in medicine: an overview of its applications, advantages, limitations, future prospects, and ethical considerations [J]. Frontiers in Artificial Intelligence, 2023, 6(1): 5.

（责任编辑：张　悦）

（上接第469页）

参 考 文 献

[1] 吕军城,牟春蕊,刘洪庆,等. 医学统计学实践课教学存在的主要问题及优化对策[J]. 中国卫生统计,2019,36(5):766-767.
[2] 黄文静,蒙明虑,郭蕊,等. 新医科和大数据背景下基于统计思维培养的医学统计学教学改革探讨[J]. 教育观察,2023,12(34):80-83.
[3] 刘龙,何航帜,王蕾,等. 基于OBE导向的医学统计学教学模式创新研究[J]. 中国卫生统计,2018,35(5):793-795.
[4] 李芳,陈佳,宋秋月,等. 医学统计学教学方法改革与发展的文献评价[J]. 中国卫生统计,2022,39(4):621-624.
[5] 刘海霞,王玖,胡乃宝,等. 基于SPOC的混合式教学设计与实践:以医学统计学课程教学为例[J]. 中华医学教育探索杂志,2023,22(3):393-397.
[6] 薛志强,曹明芹,赵杨. 医学统计学教学框架的验证性分析[J]. 中国卫生统计,2025,42(3):465-466.
[7] 成美霞,匡子翌,冷晓雪,等. 以教促学:学习者自我生成教学对学习的影响[J]. 心理科学进展,2023,31(5):769-782.
[8] 郑富,李晓宇. 大学生学习力提升路径探索:认知负荷、工作记忆与费曼学习法[J]. 科学咨询,2023(5):5-9.
[9] 龙鑫,肖焕波,袁作雄. 思维导图在医学统计学教学中的应用与评价[J]. 中国高等医学教育,2021(10):77-78.
[10] 杨婕,胡安霞,裴中阳,等. 基于正向思维和逆向辨析的医学统计学教学研究[J]. 中国继续医学教育,2021,13(31):124-129.

（责任编辑：郭海强）