

数智健康国际动态

北京市卫生健康大数据与政策研究中心

2025. 8. 27

（八）数智公卫

人工智能（AI）正在重塑公共卫生监测，弥补传统方法在时效性和覆盖面等方面的不足。通过机器学习、自然语言处理和大型语言模型，AI 可整合电子健康记录、社交媒体、传感器和基因序列等不同来源数据，提升疫情早期预警能力。比如，BlueDot、HealthMap 等系统已在新冠疫情前成功识别异常信号，LSTM、随机森林等模型在传染病预测中也优于传统方法，EPIWATCH 是一个人工智能驱动的公共卫生报告和社交媒体的预警系统。这些平台都使用了机器学习和 NLP 技术分析大量数据，包括新闻提要、社交媒体讨论和官方健康报告，使其更有效地检测新发威胁。然而，AI 仍面临数据噪声、隐私法规限制、算法偏见与可解释性不足等多种挑战。未来还需推动 AI 系统化整合，提升多源数据融合与实时响应能力，并加强伦理治理与国际合作，构建标准化政策框架，使 AI 成为全球公共卫生监测的核心工具。以下选择两篇文章概要介绍这一领域的一些最新研究方向和发展动态。

第一篇文章主要讲 AI 正在显著改变公共卫生监测的模式，弥补传统依赖人工报告和结构化数据方法的滞后与覆盖不足。文章在 2017 - 2024 年间多项研究基础上，系统回顾了 AI 在传染病监测、预测和响应中的关键作用及面临的挑战。AI 技术，尤其是机器学习（ML）、自然语言处理（NLP）和大型语言模型（LLM），能够整合并分析多源数据——包括电子健康记录、社交媒体、环境传感器及基因组信息，从而实现更早、更准确的疫情预警。例如，BlueDot 和 HealthMap 借助 AI 在 COVID-19 暴发前成功识别异常肺炎病例，LSTM 和随机森林（RF）也被广泛应用于流感、登革热和戊型肝炎的预测中且表现优于传统方法。在数字时代，互联网和社交媒体成为疫情监测的重要补充。AI 工具可实时抓取和分析网络信息，捕捉健康事件信号，辅助早期识别和舆论引导。例如，EIOS 系统和 EpiTweetr 通过扫描新闻和社交平台，在全球疫情监测中发挥重要作用。然而，这些数据也伴随噪声、错误信息及人口偏差，必须结合可信度评估和来源验证。尽管 AI 带来诸多进步，其在公共卫生中的全

面应用仍面临多重挑战。数据隐私和合规性是一大制约，尤其是在 GDPR 和 HIPAA 等法规下，数据共享与实时分析之间存在张力。模型的可解释性、算法偏见和结果透明度也影响 AI 工具被政策制定者及公众接受的程度。此外，多数现有系统仍处于分散状态，缺乏跨源整合与实时自适应能力，限制了从预警到响应的高效衔接。伦理和治理框架同样不可或缺。欧盟《人工智能法案》、WHO 的 AI 伦理指南以及经合组织（OECD）的相关原则，均强调 AI 需保障公平、透明、可问责且保护人权。尤其是在健康数据的跨境使用和多国协作中，亟需建立共同标准与互操作协议。未来，AI 在公共卫生中的应用需走向系统化整合与实时决策支持。包括提升模型的可解释性和抗偏性，加强多源数据融合，并将预测功能与医疗资源分配、急诊响应机制紧密结合。同时，通过政策协调、国际合作以及有针对性的能力建设，特别是在低收入地区，AI 才能真正成为全球公共卫生监测中可信、高效且负责任的核心工具。

第二篇文章则主要聚焦利用人工智能实时分析多种来自互联网多语言数据流提高流行病监测准确性。文章指出新发传染病的频繁出现对全球公共卫生监测与响应提出了更高要求。传统监测方法主要依赖对官方结构化数据的手工分析，存在延迟高、覆盖有限等问题。AI 技术，特别是大型语言模型（LLM）和自然语言处理（NLP），为构建实时、多源、多语言的疫情情报系统提供了全新路径。本文提出一个集成化、AI 驱动的概念框架，旨在统一疫情检测、预测与资源优化，从而提升响应速度与准确性。AI 驱动的行病情报能够实时分析新闻、社交媒体和搜索数据等多源信息，显著缩短疫情检测时间。在 COVID-19 中，诸如 BlueDot 和 HealthMap 等平台已证明其早期预警价值。然而，现有系统仍面临一系列挑战：信息零散、错误信息干扰、跨源整合不足，且多数系统缺乏动态更新与多源关联能力。此外，非医疗数据（如社交媒体的高参与度内容）虽可提供早期信号，但也易引入误导性噪声。为克服这些局限，需构建具备实时适应性、跨源融合与可信度评估的 AI 系统。本文提出一种基于 LLM 的集成框架，能够协同处理临床报告、网络信息和多语言数据，生成上下文丰富的疫情洞察，并识别不同来源间的一致性信号，从而形成更全面的风险评估。在预测层面，传统的 SIR/SEIR 模型因依赖固定参数而灵活性不足。AI 增强的预测方法——如结合移动数据、网络行为和实时传播模型的混合建模——可大幅提升预测准确性与时效性。但预测模型仍需与响应系统紧密结合，否则难以转化为实际决策。另一个关键环节是将疫情情报与急诊科（ED）资源分配直接联动。AI 可通过分析患

者流量和等待时间，实时优化分诊策略、人力与物资分配，从而提升医疗机构在疫情压力下的运作弹性。然而，集成过程中仍存在政策壁垒、数据隐私与系统互操作性等挑战。政策与治理同样至关重要。现行数据保护法规如 GDPR 和 HIPAA 虽保障隐私，但也限制了数据共享与实时分析。推动 HL7 FHIR 等互操作标准、提高 AI 模型的可解释性、开展多方合作，是增强系统可用性与接受度的必要措施。总之，本文提出的集成化 AI 框架可以弥补当前系统在实时适应、多源融合与决策支持方面的问题，可以从被动监测转向主动响应。通过纳入多语言 NLP、可信度评估、资源优化与政策协同，该框架有望显著提升全球公共卫生的韧性和应对能力。未来工作需聚焦于系统验证、实证测试与跨部门协作，以推动其实际应用与推广。

（徐健编辑）

译文一：

利用人工智能加强公共卫生监测：叙述性回顾

Vanessa I S Mendes, Beatriz M F Mendes, Rui Pedro Moura, Inês M Lourenço, Mariana F A Oliveira, Kim Lee Ng, Cátia S Pinto, 徐健（译）

来源：Front Public Health.

时间：2025 年 7 月

链接：<https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1601151>.

1. 简介

公共卫生是一个多学科领域，致力于通过疾病预防、健康促进和减轻全社区的健康风险来改善人口的健康和福祉。它在确保社会复原力和公平、应对传染病爆发和减轻其传播、慢性病管理和环境健康风险等挑战方面发挥出至关重要的作用。维护公共卫生依赖于识别健康威胁、监测健康趋势并及时实施干预措施以最大限度地减少发病率和死亡率的策略。

传统上，公共卫生监测依赖于手动方法和流行病学模型，这些模型建立在流行病学中的数学模型之上。这些方法依赖于对来自医疗机构、实验室检测和病例报告系统等来源的数据的系统收集和分析。虽然这些方法在许多情况下都有效，但也面临着报告延迟、病例检测不足和可扩展性有限等挑战。此外，手动方法可能难以处理现代社会产生的大量且快速增长的数据，特别是随着数字和互联技术的出现，并且无法快速适应混杂变量和不以可预测的线性方式表现的外部变量。

人工智能（AI）通过增强传统的公共卫生监测方法，在解决这些限制方面具有变革潜力。人工智能包含一系列计算技术，包括机器学习、自然语言处理、计算机视觉和深度学习，这些技术旨在分析、预测和自动化传统上由人类执行的任务。机器学习是人工智能的一个子集，使系统能够识别数据模式并做出预测，而自然语言处理则允许分析来自不同来源的非结构化文本信息。这些人工智能工具已经在疾病检测、风险预测和疫情建模等领域显示出巨大的潜力。

近年来，人工智能在公共卫生中的应用显著增长，这得益于生成式人工智能的出现以及及时应对 COVID-19 大流行的需要。这些研究的重点是解决疾病监测、疫

情检测、预测建模和反应评估等领域。通过整合来自医疗记录、社交媒体平台、环境条件和基因组数据的各种数据集，人工智能有潜力实现实时分析和及时响应新出现的健康威胁。



本综述的目的是研究人工智能在公共卫生监测相关领域的影响，特别是对传染病的影响。该分析旨在探索人工智能驱动技术通过提高监测和响应机制的速度、规模和精度来重塑公共卫生实践的潜力。此外，该文件还讨论了关键标准和法规，特别强调欧盟（EU）级框架，这些框架在促进人工智能在公共卫生中负责任和有效使用方面发挥着至关重要的作用。

2. 方法

这些研究是根据涵盖 2017 年 1 月至 2024 年 12 月期间的文献综述确定的。使用的数据库是 PubMed/MEDLINE、Science Direct、IEEE Xplore 和 Google Scholar。使用以下关键术语进行全面搜索：“公共卫生”、“人工智能”、“机器学习”、“自然语言处理”、“监测”、“流行病学”、“疾病建模”、“深度学习”和“社交媒体”。该审查的重点是经过同行评审的出版物，以及来自监管机构和世界专家的主要公共卫生报告的额外见解。审查了 EUR-Lex、经济合作与发展组织（OECD）、世界卫生组织（WHO）和欧盟委员会官方网站等其他数据库，以确定与人工智能和公共卫生相关的相关标准和欧盟立法。根据人工智能模型开发的清晰度、有关训练数据集的信息及其输出的同行评审验证、模型功能的清晰度以及对现实世界场景的适用性的明确性来选择手稿。在众多候选出版物中，结合人工智能和公共卫生（不

包括手术程序、机器人技术、荟萃分析研究、远程医疗、疾病类型和对公共卫生的影响）的初步筛选过程产生了 64 篇可行的出版物，其中 36 篇作为用例，以证明人工智能在目标时间表内在公共卫生中的适用性。这些用例总结在 S1 表中。

3. 结果

3.1. 人工智能与公共卫生监测

人工智能（AI）在我们日常生活的许多不同方面具有越来越大的变革性力量，它在公共卫生监测领域尤其令人感兴趣。它为利用数字健康解决方案提供了明确、无与伦比的机会，明确转化为健康益处和促进全球社会的美好生活。人工智能驱动的技术允许收集、分析和解释庞大而复杂的数据集，超出了接触者追踪和图表等常见公共标准公共卫生实践的范围和能力，从而促进了及时准确地检测疾病爆发、监测健康趋势以及预测新出现的公共卫生威胁和风险的可能性。通过改进传统的监控系统，人工智能带来了关键好处，包括决策过程和资源分配的优化，这对于管理适用的对策和允许人工智能塑造公共卫生领域至关重要。图 1 显示了开发用于公共卫生威胁识别和监测的人工智能解决方案时的标准工作流程，以实现完整的市场发布。

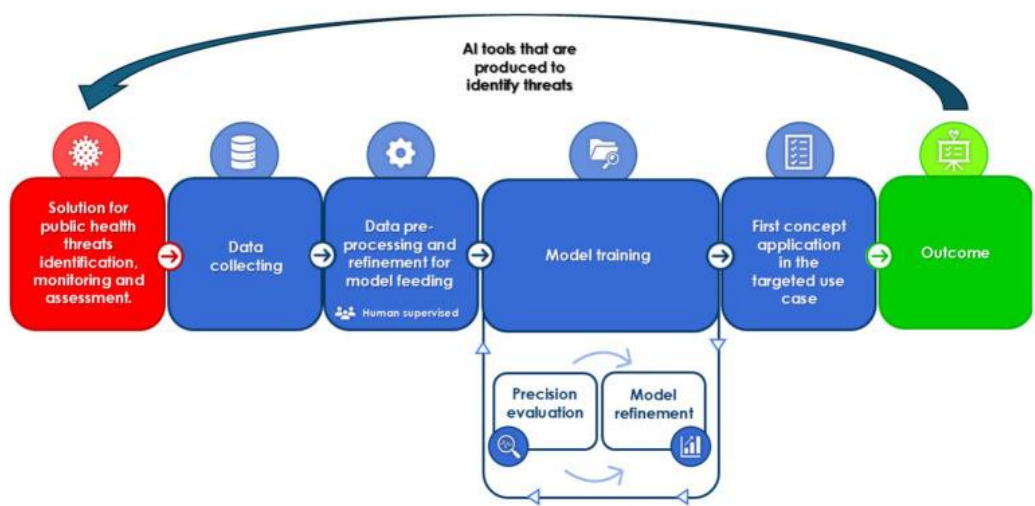


图 1. 开发用于识别和监测的基于人工智能的可靠解决方案所涉及的过程

为了最大限度地提高解决方案的有效性，可以在任何步骤进行人工干预，但在数据预处理和细化中至关重要，以确保模型在可验证和可靠的数据上进行训练。

目前人工智能和公共卫生监测方面的研究正在迅速推进。大多数研究都集中在

开发能够进行实时数据分析的预测算法、机器学习模型和自然语言处理工具上。就目前而言，大多数努力都集中在整合异构数据源，例如电子健康记录、社交媒体、环境传感器和基因组数据，以创建公共卫生动态的整体视图。与此同时，人工智能领域的研究非常注重解决数据隐私、人工智能模型中的偏见以及需要强大的验证框架以确保人工智能应用程序的可靠性和公平性等挑战。

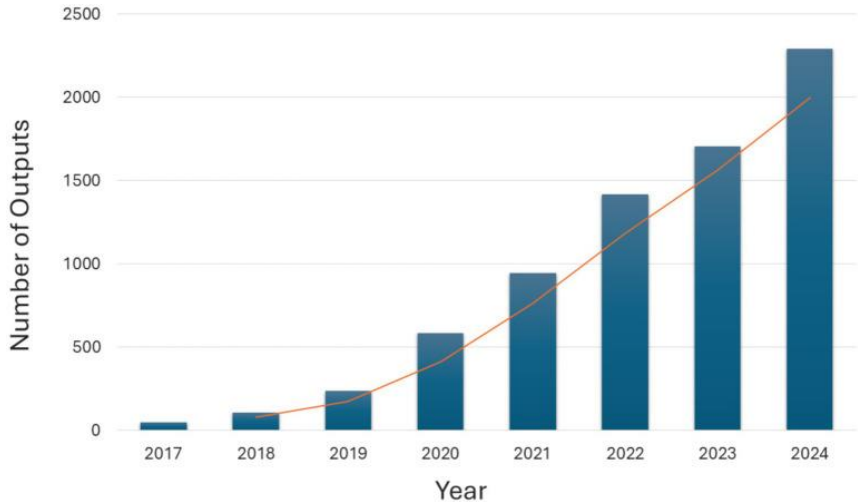


图 2. PubMed 中查询“公共卫生”和“人工智能”的输出数量(2017-2024 年)

为了继续在这一领域进行创新，并在此基础上再接再厉，该领域的未来发展旨在完善人工智能解决方案的互作性和可扩展性，并确保其无缝集成到全球现有公共卫生系统中。应强调促进多学科利益攸关方之间的合作，包括公共卫生当局、数据科学家、政策制定者、创新者和人工智能开发人员，以使创新与公共卫生优先事项保持一致。道德考虑，例如公平获得人工智能驱动的干预措施和保障数据安全，也仍将是该议程的核心。

根据选定的研究，以下分析分为以下领域：（i）疾病监测和预防，（ii）疾病建模和疫情管理，以及（iii）利用互联网和社交媒体在数字世界中进行疾病监测。然后，还讨论了相关的人工智能标准和立法。该分析旨在探索人工智能工具在这些关键领域进行公共卫生监测的潜力。

3. 2. 疾病监测和预防

疾病预防对于识别、监测和应对新出现的公共卫生威胁仍然至关重要。虽然聚类、系统发育树和疫情趋势分析等传统技术长期以来一直用于公共卫生监测，但其范围通常仅限于较小的数据集、有针对性的应用，并且仅限于具有较大地理分布的

人口统计模型。为了应对这些限制，人工智能驱动的工具显著增强了可扩展性，并能够分析庞大、复杂的数据集，具有中度至高度的置信度，同时加快响应时间，使早期疾病检测更加有效，预测几率更高。在可用的人工智能驱动工具（机器学习、深度学习、自然语言处理和大型语言模型）中，机器学习模型通过在更短的时间内分析大量数据集，在早期疾病检测中发挥了重要作用，而仅使用传统方法是不可行的。

人工智能与公共卫生的整合可用于预测潜在的疫情爆发，从而实现早期检测和应对策略，从而显著减少其对社区和医疗保健服务的影响。这种预期对于实施有效的公共卫生措施以在潜在的健康威胁升级为流行病或流行病之前遏制它们至关重要。了解和预测疫情的地理空间风险以及健康威胁的演变和传播可以进一步为公共卫生应对措施提供信息。在这种情况下，人工智能方法可以在地理空间和时间上识别和预测疫情爆发的风险，同时保留携带重要信号的关键信息，并进一步有助于预测需要更多护理或积极措施以保护公众健康和减轻灾难性事件的地点的能力。

在尝试开发足够的流行病学数据时间序列时出现的主要问题通常表现出季节性、非平稳性和稀疏性，这对准确预测提出了重大挑战。预测此类数据的能力具有重要的公共卫生影响，推动了单变量和多变量预测模型的发展。这些模型仅依靠因变量进行预测。例如，Wu 等人的研究提出了一种深度学习方法，从时间序列预测的角度，以日本和美国（US）的数据集为基础数据集。在这项研究中，使用（i）卷积神经网络（CNN）应用自然语言处理（NLP）技术，通常用于捕获空间数据中的局部模式，以关联不同来源的信息；（ii）循环神经网络（RNN）用于模拟数据内的时间依赖性，因为它们旨在通过循环层/连接保留过去输入的记忆来处理序列。为了降低过度拟合的风险，残差模块被纳入模型架构中。与传统的线性和非线性方法（例如分别自回归和高斯过程回归方法）相比，所提出的方法始终优于这些方法，在预测准确性方面表现出显著提高。

空间相关性可以应用于不同的地理尺度以丰富结果。通过使用图结构递归神经网络（GSRNN），Li 等人开发了一种利用空间信息的模型，允许来自邻近区域的数据引入区域空间特征。在这项研究中，该模型使用了来自疾病控制中心（CDC）的数据，该中心汇编了来自美国约 100 个公共实验室和 300 个私人实验室的信息。因此，与 ARGO 等本地医疗保健公司使用的标准基准相比，该模型实现了相同水平的

流感传播和感染预测准确性，同时将网络权重降低了 70%。因此，该模型展示了利用人工智能保持流行病学预测能力的机会，同时还降低了成本和处理时间，从而实现更快的预测。

其中一些情景考虑了疾病的常规传播和通过流行病学数学公式计算的感染率。实际上，传染病的爆发与外部变量和非因变量高度相关，这使得预测模型更加复杂，并产生更多的混杂变量，这些变量会显著削弱人工智能模型的能力，从而大大提高混淆矩阵。常用的外部变量包括气候数据，如温度、湿度和空气质量、搜索索引、社交媒体文本数据以及人口迁移等。这些变量的选择和加权会显著影响预测性能，并且永远不会一致，具体取决于分析的人口统计数据。

例如，Chae 等人的研究分析了四种类型的数据来预测韩国的疟疾、水痘和猩红热——疾病主题是强制性报告——包括搜索查询数据、社交媒体数据、湿度和温度。使用基于普通最小二乘法（OLS）的变量选择方法确定最佳参数。由于疾病发生的实际实例与互联网搜索查询数据之间的关系往往存在时间滞后，因此在每个传染病特定数据集中添加一个滞后以寻找未来的趋势。然后使用三种不同的模型对数据进行分析：（i）深度神经网络（DNN）、（ii）长短期记忆（LSTM）和（iii）自回归综合移动平均（ARIMA）。最后，为了比较模型性能，计算了均方根误差（RMSE）。作为相关结果，DNN 和 LSTM 模型都显示出更好的预测能力（水痘和猩红热为 20-26%），其中 DNN 模型在各方面都有更好的性能，但 LSTM 在传染病传播期间显示出更准确的预测。由于疟疾报告的病例太少，信息不那么准确，这表明人工智能模型需要准确而强大的数据。然而，应该指出的是，该研究的数据收集期很短（2016 年 1 月 1 日至 2017 年 7 月 29 日），并且仍然对深度学习模型采用了相对较窄的参数范围。

戊型肝炎已成为一个重大的公共卫生问题。为了解决这个问题，郭等人提出使用机器学习（ML）模型，如 LSTM、支持向量机（SVM）和 ARIMA，利用山东省疾病预防控制中心收集的数据，预测中国戊型肝炎的月发病率和病例数。为了评估这些方法的有效性，使用三个关键指标评估每个模型的性能：RMSE、平均绝对百分比误差（MAPE）和均方误差（MSE）。这项研究得出的结论是，与预测偏差较大的 ARIMA 相比，LSTM 在预测每月戊型肝炎病例数方面显示出最有希望的适用性。与 ARIMA 相比，LSTM 的 MAPE（13.6%）也更好。

元种群模型是广泛使用的机制模型，可有效捕捉疾病动态中的空间异质性，并

已成功应用于传染病的建模和预测。感染在人群中的传播受到社会接触和个人流动性的影响，因此，研究人员可以利用人类流动性数据来预测疾病动态，在无法获得高质量流动性数据的情况下，可以使用重力或辐射等标准模型。Venkatramanan 等人开展了一项研究，重点是回顾性预测纽约市和澳大利亚各县及其周边地区的流感活动。在这项研究中，他们的方法涉及使用机器学习的匿名流动性地图从几个关键数据源检索数据，例如 Google 聚合流动性研究数据集、CDCFluView、EpiQueryNYC 综合征监测、澳大利亚新泽西州报告的流感阳性结果，以及其他有关人口统计数据的数据源，以允许相关性。通过实施该模型，作者能够确定下一次重点爆发的可能地点。这项研究得出的结论是，该模型可以有效地用于预测传染病，特别是在疫情爆发的最初几周表现出改进的性能，并主要用作方法验证过程。这项研究还强调，高质量的流动数据可以显著改善疾病建模和预测，特别是在拥有详细监测系统的地区。然而，流动数据存在局限性，例如难以区分旅行持续时间以及区分居民和临时人员。进一步完善聚合方法和整合多种流动性模型可以提高预测准确性。

了解伊蚊的分布有助于预防和预测人类虫媒病毒感染，如寨卡病毒、登革热和基孔肯雅热病毒。2018 年，Ding 等人使用多学科数据集（包括发生记录、社会因素和气象因素）进行了一项研究，以训练机器学习模型来模拟埃及伊蚊和白纹伊蚊的全球分布。应用的模型包括 SVM、梯度提升机（GBM）和随机森林（RF）。结果表明，RF 达到了最高的准确率值（分析的两种蚊子的曲线下面积分别为 0.973 和 0.974），表明对两种蚊子的分布进行了高度精确的预测。然而，应该注意的是，RF 仅与 SVM 相比才显示出统计学上的显著差异，而 GBM 则根据验证数据集没有显示出显著差异。在分析的因素中，温度适宜性具有最强的判别性优势。

2018 年新加坡还使用射频来评估登革热传播的风险。Ong 等人的研究分析了 2006 年至 2013 年过去的登革热暴露数据。该模型纳入了流行病学、人口统计学和环境因素，例如（i）登革热暴露指标（上一年的病例数、上一年的邻近病例总数和上一年的非居民病例数）、（ii）估计的人口密度、（iii）病媒种群（埃及伊蚊占所有伊蚊的估计比例，取决于繁殖百分比）和（iv）环境数据（植被指数、连通性指数和住宅面积比例）。RF 模型对特定年份不同地区登革热传播的总体风险进行排名，并在地图上将排名按风险组进行颜色编码。该模型利用有关登革热病例的最新可用信息，表明他们的预测矩阵可以自信地预测大约 80% 的风险区域（使用 80% 的预

测区间)。预测高风险区域和可能的登革热集群爆发也存在高度相关性 (>86%)。这些发现对于确定病媒控制工作的优先顺序非常重要,极大地支持新加坡国家环境局更有效地分配有限的资源,重点关注传播风险最高的地区。

为了改进现有模型,即 LSTM, Liao 等人进行了一项研究,重点是开发一种预测 COVID-19 的时间依赖模型,称为易感、感染、康复、疫苗接种和死亡深度学习(SIRVD-DL)。该模型结合了传染病的数学模型,并被纳入深度学习模型,以克服深度学习模型在发展趋势方面的局限性。作者使用了两个主要数据源,(i) 约翰霍普金斯大学系统科学与工程中心,包括全球累计确诊病例、累计治愈病例和累计死亡病例,以及(ii) 我们的世界网站,包括确诊病例、死亡、住院、检测和疫苗接种等数据。研究表明,该模型既可以充分预测感染率,又可以解决确诊病例的康复率和死亡率问题,使其具有用作建模工具和预测工具的潜力。与其他深度学习模型相比,它的单日预测提高了 51%,同时还显示了错误率仅为 5.07% 和 10.93% 的短期和中期预测。

在公共卫生监测中将遗传数据与人工智能相结合,有可能通过精确跟踪病原体传播和进化,并支持在潜在爆发中识别治疗方案,从而改善传染病的检测和控制。人工智能的先进分析能力可以促进复杂遗传信息的快速处理,改进应对策略和干预工作。例如,Al-Amran 等人的研究表明,人工智能还可以通过分析常见或新出现的病原体的基因组图谱并评估基因突变和某些病原体对潜在大流行病毒的可能性来分析常见或新兴病原体。通过整合来自人畜共患宿主、人与动物界面和环境因素的数据,并使用公开可用的基因组数据库(GenBank 和 GISAID),作者采用了深度学习模型,包括 CNN 和 RNN。他们的研究表明,经过对这些数据集的严格训练,这些模型可以预测病毒突变,评估潜在的毒力和适应性,并估计溢出事件的可能性,从而有助于识别人畜共患风险和潜在流行病。虽然需要进一步分析,但这项初步研究揭示了人工智能作为早期检测病毒转化的有用工具的潜力。

在 Gill 等人进行的另一项研究中,两个预训练的大型语言模型(LLM),称为 BioBERT 和 BERN2,组成了一个称为基因相互作用提取(GIX)的框架,用于从非结构化数据中自动提取遗传相互作用。这些模型专门设计用于处理生物数据并从科学文献中提取基因和蛋白质等实体之间的复杂关系,这将简化在潜在爆发中识别治疗方案的过程。所提出的框架显示出通过自动从海量生物医学数据集中提取相关信息

来改善公共卫生监测的潜力，这项任务传统上是缓慢且资源密集型的，并且设法在法学硕士的单次扫描中处理了 1,000 多个摘要。这种类型的分析和过程相互作用至关重要，因为它允许疫情应对研究工作避免研究瓶颈。

这些最近的学术工作例子凸显了集成预测的前景，它结合了不同人工智能模型的输出，有可能改善公共卫生背景下的预测。然而，为了优化这种方法，必须建立良好实践，以确保在未来的预测中稳定可靠的运营绩效。就目前而言，人工智能工具可用于适度预测疾病的潜在焦点热点，这将允许以预防性方式采取公共卫生措施，而不是应对健康风险或紧急情况。

3.3. 疾病建模和暴发管理

要实施用于预测疫情演变的人工智能解决方案，必须考虑几个因素，例如处理大型多维数据以检测早期预警信号、识别当地和区域模式、交叉引用人口和地理趋势、对疫情行为进行建模和模拟以及检测可能阻碍大流行应对的错误信息和虚假信息。主要挑战在于在不影响准确性的情况下及时实现足够高的准确性，同时处理上面列出的这些多个变量。

事实上，虽然中国大约在 2019 年 12 月 8 日正式报告了首例出现严重肺炎的 COVID-19 病例，但 Kpozehouen 等人使用 EpiWatch 的 ML 分析系统中提供的开源情报数据以及 Google 和中国 Banu 中确定的有关住院和治疗过程的数据进行的一项回顾性研究，于 2019 年 11 月中旬在中国确定了 COVID-19 病例，表明疫情的开始时间比大多数建模估计的假设要早。

尽管及早发现疫情是关键，但在某些情况下，只有在疾病已经确立并已在社区范围内传播时才采取预防措施。在此，人工智能技术可以帮助模拟疾病传播和流行传播，使公共卫生当局能够设计和实施有效的干预措施。为了实现这一目标，人工智能模型必须能够捕获具有非线性关系的复杂动态系统。此外，他们应该有效地处理时间序列数据，考虑干预和应对之间的滞后，同时确保在整个社区层面准确预测疾病行为。

复杂网络和基于代理的计算模型是在这种情况下广泛使用的两种方法。复杂的网络模型的计算复杂性可能会因设计和实现而有很大差异，有些模型提供高级抽象和较低的计算需求，而另一些模型，尤其是那些涉及详细交互或大规模模拟的模型，

可能会表现出相当大的计算复杂性。基于代理的方法具有更高的数据分辨率，可以灵活地重建详细计划并重现复杂的疾病传播过程，这对于评估现实环境中的主要反应和干预措施是必要的，但随着代理数量的增加，可能会陷入困境，因为模拟时间可能会呈指数级增长。本节研究使用人工智能模型进行疾病建模的各种研究，强调它们在加强公共卫生威胁管理方面的潜力。

LSTM 模型用于预测加拿大 COVID-19 大流行的趋势。在 Chimmula 等人进行的这项研究中，LSTM 模型的准确率约为 93%，能够预测 2 周内的潜在峰值，并估计潜在爆发的终点在 2020 年 6 月左右。这项研究还表明，加拿大当局为尽量减少人类接触而实施的公共卫生政策产生了积极影响，特别是与美国和意大利等其他国家的应对措施相比。事实上，随着模型的成功和功能，在孟加拉国，LSTM 被选为预测 COVID-19 演变的机器学习模型。虽然 LSTM 模型在预测病例数方面表现出很高的准确性，但其准确性为中低，特别是对于死亡病例的长期预测，这表明该模型的适用性还有进一步改进的空间。

此外，2022 年，Li 等人的一项研究开发了一种基于自动递归神经网络（ARNN）的新方法，这是一种具有固定多层架构的循环神经网络，用于检测 6 个国家和地区的 COVID-19 传播预警信号。该研究分析了 2020 年至 2021 年的短期高维时间序列数据，并通过基于 ARNN 的景观网络熵（ARNN-LNE）指数进行处理。这种方法成功地在从正常状态到爆发状态的关键转变之前识别了疾病爆发的早期预警信号。该方法在所有测试地区都得到了验证，主要关注德国、意大利、荷兰、西班牙和加拿大，同时也考虑了欧元区的其他国家。例如，该模型在 2021 年 7 月 3 日识别出黄色预警信号，而德国疾病控制机构在 2021 年 8 月 20 日定义了爆发阶段。此外，将该模型与支持向量回归（SVR）进行了比较，以预测每日新增 COVID-19 病例，结果显示 ARNN 在预测方面优于 SVR，在六个数据集中实现了总体较低的 RMSE。另一方面，ARNN-LNE 方法在早期 COVID-19 预警分类中也优于 SVM 模型，曲线下面积（AUC）为 0.825，而 SVM 为 0.77。

仍然与 COVID-19 有关，Wang 等人进行的一项研究旨在预测美国、巴西和印度在 30 天内的每日新增病例和累计确诊病例。该研究使用世界卫生组织发布的 COVID-19 新确诊病例和累计确诊病例数据集作为基础，并为此评估了三个 ML 模型：ARIMA、季节性 ARIMA（SARIMA）和开源自动化 ML Prophet。使用 RMSE、平

均绝对误差（MAE）和 MAPE 评估不同模型的性能。结果表明，Prophet 模型在预测美国的 COVID-19 病例趋势方面表现最好，因为它的架构基于 ML 拟合，可以自动允许它估计长期预测，而 SARIMA 模型在这种情况下表现出过度拟合的趋势。在预测累积病例方面，ARIMA 模型显示出更强的拟合和预测增长趋势数据的能力，特别是在巴西和印度。这些发现表明，这种预测模型可以支持积极主动的措施和政策制定，以更好地管理流行病。

模拟 COVID-19 病例的另一个重要例子是 Differential Equations Lead to Predictions of Hospitalizations and Infections（DELPHI）模型，正如 Li 等人所描述的那样，该模型通过合并额外的隔间（例如未被发现、住院和隔离病例）扩展了经典的易感-暴露-感染-恢复（SEIR）框架。该模型通过与时间相关的接触率解释了政府干预的动态影响，从而提高了其预测准确性。然而，它是一个封闭的系统，因为它不包括人口统计（出生、非 COVID-19 死亡）或移民。该模型已被 CDC 纳入其核心集合预测中，并已被不同的卫生和联邦机构用于大流行规划。该模型采用微分方程，以中等的准确度预测漏报病例的影响以及政府干预措施对疫情进展的影响，同时还确定了未来潜在的疫情热点。它能够在 1-2 个月前高度置信地预测地方性事件，并被疫苗开发人员用来确定运行临床试验的最佳地点，以简化疫苗的开发。然而，由于它主要是一个确定性模型，不太适合传播和量化任务，而这些任务对于理论场景和预测分析至关重要。它也没有考虑人群队列之间的生理差异（性别、年龄、职业），而是根据标准感染恢复时间对大多数患者进行建模，而不考虑长期感染的病例。

为了检测新的登革热病例和可能的爆发，Benedum 等人所做的一项研究将不同 ML 算法（RF、随机森林单变量标记算法（RF-UFA）和 ARIMA）的性能与传统线性回归模型[广义线性模型（GLM）和广义加性模型（GAM）]的性能进行了比较。在这项研究中，使用了来自三个城市（秘鲁伊基托斯、波多黎各圣胡安和新加坡）的每周登革热病例和气象数据，跨越不同时间范围，例如 1990 年至 2010 年。在考虑长期登革热疫情预测时，ARIMA 似乎表现最佳，因为它捕捉到了广泛的传播动态和季节性趋势，但仅限于新加坡，因为它难以区分小规模和大规模传播事件。当我们考虑使用监测数据对每周病例数进行短期预测时，与回归和时间序列模型相比，RF-UFAML 模型的错误率分别降低了 21%和 33%。然而，当仅依赖天气数据时，这些机器学习模型

并没有显示出有意义的改进。在预测未来 12 周的每周登革热爆发时，ML 模型的最大马修斯相关系数（MCC）为 0.61。

应用 ML 模型来预测疾病传播的 R_0 ，这是表明疾病传播可控性的关键指标。该研究使用了模拟和真实的网络数据，并采用了两种主要的 ML 回归模型，即 SVR（以其在管理非线性关系方面的有效性而闻名）和人工神经网络（ANN），旨在捕获数据中的复杂模式。这些模型使用网络的六个结构属性进行训练：平均度数、平均最短路径长度、聚类系数、网络密度、网络直径和最大度数。研究表明，SVR 和 ANN 模型都可以在各种网络类型中高精度地预测 R_0 。训练过程计算效率高，代表着时间和内存方面的一次性投资。一旦训练完毕，这些模型就可以预测新的、看不见的网络的 R_0 ，从而证明其普遍性。这种方法强调了网络结构在疾病传播中发挥的重要作用，并强调了机器学习回归技术在流行病学建模中的有效性。这意味着可以在获得测试网络的第一阶段预测 R_0 的值，而无需等到疫情爆发完成或达到稳定状态。

2022 年，Cardoso 等人发表了一篇文章，探索了一种基于 STConvS2S 架构的时空卷积序列到序列神经网络对 COVID-19 传播进行建模的方法。作者使用葡萄牙大流行第一年获得的真实数据评估了这种方法的有效性。所提出的方法比其他测试的替代方案（VAR、ARMA、SIRD）表现更好，导致使用 RMSE 和对称平均误差（大约减少 2-3 倍）的预测标准差在提前 7 到 14 天之间最低。该方法基于简单的单元级自回归移动平均（ARMA）模型、单元级向量自回归（VAR）模型和市级区间 SIRD 模型，然后采用相同的地统计模拟方法生成参考数据。实验表明，卷积序列到序列神经网络在预测准确性方面提供了最好的结果。此外，随着预测范围向未来延伸，这种方法执行的预测显示出性能逐渐恶化，凸显了时空信息在大流行预测中的重要性。

此外，Ardabili 等人对机器学习模型和软计算技术进行了比较分析，以模拟和预测 COVID-19 的爆发。此次疫情的建模与近期其他传染病存在差异，特别是由于当局实施的严格措施，其中对感染的易感性受到了极大的纵。由于个人自愿隔离并限制他们的社交互动，易感感染-康复（SIR）和易感-暴露-感染-移除（SEIR）等标准模型无法提供有希望的结果，因为由于无症状感染和亚临床感染而对易感个体进行监测是不可行的未报告的。在这项研究中，使用了特定的 DL 技术，例如多层感知器（MLP）和自适应神经模糊推理系统（ANFIS），对五个国家（意大利、德国、伊朗、美国和中国）的疫情进行建模。结果表明，每日和每周抽样都可以用于 ML 建模，并

且两种模型都显示了疫情的进展，从而可以外推 COVID-19 疾病的长期预测长达 150 天。这项研究强调了 ML 模型作为有效工具的潜力，可以对疫情的时间序列进行建模，而无需流行病学模型通常需要的假设。

此外，Gomez 等人的研究开发了一种名为 INFEKTA 的基于代理的模型，并将其用于 COVID-19 大流行，特别关注哥伦比亚。该模型由五个关键组成部分组成，即空间、时间、个体、传染病动态和社交距离政策。该模型将波哥大表示为一个由家庭、工作场所、学校、市场和公共交通站组成的网络，代理每天根据预定义的感染和康复概率进行互动。该模拟评估了各种社交距离政策，从无限制到中等（40%关闭）和极端（80%关闭）。研究结果表明，中等限制在不完全停止活动的情况下显著减少了传播，而极端措施则抑制了病例，但由于残留易感性而存在二次波的风险。该模型与现实世界病例分布的一致性验证了其实用性，表明 INFEKTA 可以用作定制公共卫生干预措施的宝贵工具。此外，它还强调了基于代理的建模在支持传染病管理中明智决策方面的潜力。

Nitzsche 等人的研究利用基于代理的模型（ABM）来评估不同封锁场景和事件特征对 SARS-CoV-2 传播的影响。该模型模拟了一个由 100,000 名代理组成的抽象城市，结合了详细的 SEIR 疾病进展状态、代理相互作用以及掩蔽和社交距离等缓解措施。这项研究表明，该模型能够预测多项措施对感染率的影响，即更严格的封锁显著降低感染率，“情景 III”（关闭学校、工作场所、公共场所和初级保健）在 40 天的封锁中实现了病毒灭绝。相反，限制较少的措施，例如“情景 I”（不封闭的掩蔽和保持距离）和“情景 II”（仅开放初级保健）导致了继发浪潮和更高的累积感染。以不同规模、频率和持续时间建模的事件对感染的贡献尤为严重，例如，没有保持社交距离的事件约占感染的 29.4%，而在采取距离措施时这一比例为 16.8%。此外，在个人戴口罩和保持社交距离的活动中，个人感染风险增加了 21%，而在既不遵守口罩也不遵守社交距离措施的活动中，个人感染风险增加了 48%，这强调了预防措施的作用。该研究还强调了事件持续时间与个体感染风险之间的线性关系，而事件规模没有显示出显著影响。这些发现强调了早期、全面的封锁和对大型活动等高风险活动的有针对性的限制对于有效管理大流行传播的重要性，但也强调了这些模型可以模拟一种已经影响到社区传播状态的疾病的影响和发展是多么接近现实。这种特殊的模型似乎是为快速适应而量身定制的，这使其成为对封锁场景进行快速和早

期决策的理想选择。

Proctor 等人进行的研究利用 OpenAI 的 ChatGPT-4 框架创建了一个人工智能助手，旨在使传染病建模更容易获得。通过解释自然语言输入，该工具允许用户直观地生成或修改疾病模型配置。它与开源隔间建模软件（CMS）框架集成，促进从模型设置到模拟和分析的无缝体验。此外，人工智能助手可以创建模型文件、运行模拟、解释疾病模型参数并帮助解释结果。这项研究表明，此类人工智能助手可以使研究人员（特别是资源有限地区的研究人员）能够独立开发和完善疾病模型，从而为全球卫生工作做出重大贡献。这种方法有可能使疾病建模民主化，提供可扩展的解决方案，适应不同地域、语言和人群的不同需求。然而，这项研究仍然是一个原型，仍然需要对大型复杂数据集进行验证。

这些研究证明了人工智能模型通过提高流行病应对策略的准确性、效率和及时性来支持疾病建模和疫情管理的潜力。这些模型可以增强对疾病动态的理解，并支持政策制定者和卫生专业人员优化资源分配和实施有针对性的公共卫生干预措施。然而，从这些例子中，确定传染病传播和传播的根本原因对于控制疾病演变和预防大流行至关重要。确定推动疾病传播的因素可以使政策制定者能够做出更有效、更明智的决策，例如预测疫苗需求和管理相应的购买、设计有针对性的公众意识活动以及规划卫生专业人员培训计划。

3.4. 利用互联网和社交媒体进行数字世界中的疾病监测

基于互联网的监测系统在监测公共卫生事件方面变得越来越有价值，否则这些事件完全依赖于实验室诊断能力和卫生专业人员的及时通知。它的特点是提供来自多个来源的非结构化信息，例如搜索查询、社交媒体、新闻、论坛、网站和网络百科全书。如果定期挖掘，这些数据可以在卫生当局使用传统方法进行官方检测之前提供流行病的早期信号。

有几个系统提供对流行病情报的开放访问，但目前并非所有系统都采用人工智能技术。尽管如此，在这些存储库中引入人工智能工具以简化数据收集和采集过程的趋势日益增长。

一个这样的例子是来自开放来源的流行病情报（EIOS），它是世卫组织开发的尖端监测系统，旨在利用互联网和社交媒体上提供的大量信息进行全球公共卫生监

测。EIOS 专门设计用于通过整合 NLP 和 ML（即 RF 到 n-gram 或 Google 的 Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)）等人工智能技术来增强传统疾病监测系统，以自动收集、分类和分析公开数据。这项创新能够快速识别潜在的健康威胁，从而支持及时有效的应对措施。

EIOS 系统处理来自各种开源的连续信息流，包括在线新闻媒体、博客、论坛和社交媒体平台，每天扫描数千篇文章和帖子。通过采用人工智能，该系统可以有效地过滤不相关的数据，并确定具有潜在公共卫生相关性的报告的优先级。NLP 算法是 EIOS 的核心，使系统能够理解上下文并从大量多种语言的非结构化文本数据中提取关键见解。机器学习模型通过识别表明新出现的健康威胁的模式和趋势来进一步完善这一过程，并可用于大规模世界事件，使决策者能够理解和预测某些风险。人工智能在 EIOS 中的作用延伸到实时监测，它对健康相关事件进行分类并对潜在的疫情进行地理定位，正如世界卫生组织在 COVID-19 期间所采用的那样。此外，人工智能的使用使 EIOS 能够适应不断变化的信息传播模式，例如越来越依赖社交媒体来报告健康相关事件，并旨在尝试将可靠信息集中在一个平台上，以限制错误信息可能造成的损害。EIOS 的人工智能系统在提高流行病情报的速度和准确性方面发挥了重要作用，有助于全球预防和控制疫情。通过自动及早检测健康相关数据中的异常，EIOS 增强了公共卫生专业人员的态势感知能力，使他们能够做出明智的决策来应对新出现的威胁。

BlueDot 是一个基于网络的商业程序，利用人工智能以 60 多种语言处理和分析来自各种官方和非官方来源的大数据。该平台集成了多个数据集，包括官方健康通知、全球媒体以及科学、交通、旅行和政府数据等。此外，BlueDot 还收集有关全球传染病警报、实时气候条件以及充当疾病宿主的昆虫和动物等媒介的数据。通过结合这些广泛的数据集，BlueDot 采用先进的人工智能驱动过滤和聚类工具来识别感兴趣的区域，例如热点、冷点和空间异常值。BlueDot 中的人工智能模型可以快速处理和综合数据，使平台能够检测异常疾病事件、评估相关风险并预测最有可能发生疫情的潜在目的地。定期向客户发送警报，提供可行的见解以降低风险并为公共卫生应对措施提供信息。BlueDot 预测能力的一个显著例子发生在 2020 年，当时其人工智能算法在正式宣布疫情爆发前 19 天检测到中国武汉出现了 COVID-9。通过分析实时航空旅行数据以及其他数据集，BlueDot 不仅识别了疫情，还准确预测了该城

市最有可能经历病毒传播的地区。BlueDot 通过人工智能改变了公共卫生监测格局，能够更快地检测和响应传染病威胁。通过整合多样化的数据源和先进的计算工具，人工智能可以实现更快的响应、改进的准备和更有效的干预措施，从而显著增强全球健康。

EpiWatch 由悉尼新南威尔士大学开发，是一款基于网络的流行病监测应用程序，由 ML（优先级算法，NLP）和其他 AI 技术（例如基于 openAI 的 API 和 Chat-GPT4 开发的定制 LLM）增强。EpiWatch 于 2016 年推出，利用人工智能收集和处理来自广泛来源的疫情数据，包括媒体报道、新闻稿、官方政府报告和社交媒体。该系统使用 NLP 和 ML 自动收集和分析数据，使其能够比传统监测方法快速有效地识别新出现的流行病信号。作为一个开源流行病观测站，EpiWatch 提供全球地图和可搜索、可排序和可过滤的流行病表，通过长达 30 天的数据可视化选项提供见解。人工智能技术增强了系统处理多种语言大量信息的能力，识别可能被忽视的爆发模式和风险因素。这些能力显著减少了检测和应对潜在流行病所需的时间，使公共卫生官员能够采取早期预防措施。EpiWatch 通过扩展其实用性的专用工具进一步加强。其中包括季节性流感预测工具 Flucast、Epirisk，一种流行病风险分析工具；以及 ORIGINS，一种旨在确定流行病起源的工具。这些工具共同提供了对疫情趋势和风险的全面洞察，支持在公共卫生领域做出更好的决策和资源分配。

2020 年，Puca 等人使用 EpiWatch 监测了 2016 年至 2019 年的全球腮腺炎疫情。在这项研究中，EpiWatch 能够识别未向 WHO 报告的病例并查明重点热点（例如大学），同时还可以对热点的传播进行全面的接触者追踪，使作者能够追踪其来源。这项研究证明了 EpiWatch 在控制健康威胁传播方面的有用性。

在 COVID-19 大流行期间，前瞻性地应用了在之前的疫情中验证的利用社交媒体的方法，为医疗保健从业者和公共卫生管理人员提供咨询。社交媒体的反应，尤其是 Instagram 和 Twitter 上的反应，可以作为疫情监测和评估公共卫生干预措施有效性的代理。尽管社交媒体具有积极的公共卫生效用潜力，但它也会放大低质量的内容并使错误信息的传播永久化。众所周知，在疫情爆发期间，媒体的耸人听闻的报道会加剧公众的恐惧和焦虑，社交媒体上分享的便利性凸显了这一现象。

Serban 等人报告了一种名为 SENTINEL 的软件系统的开发，用于实时综合征监测。该系统集成了多个数据源，包括 Twitter（现为 X）和 CDC 报告，以检测症状报

告峰值，并为公共卫生监测生成实时态势感知。SENTINEL 主要依赖 Twitter 数据进行事件检测和临近预报系统，使用 ML（DNN 模型、CNN 和 LSTM）对报告疾病症状的推文和新闻进行分类，并估计实时疾病患病率。作者还使用 Lib Short Text 工具包实现了 SVM 模型，并使用 Scikit-learn 实现了多项式朴素贝叶斯模型作为基线，两者都使用项频率-逆文档频率（TF-IDF）特征向量。研究表明，神经网络的性能始终优于基线方法，CNN 和 RNN 在新闻和 Twitter 分类任务中都获得了高于 SVM 和 Naïve Bayes 的 F1 分数。在 Twitter 分类中，CNN 取得了 0.852 的最高 F1 分数，大大超过了 Naïve Bayes（0.735）。在新闻分类方面，RNN 的 F1 得分为 0.939，优于所有模型，而 Naïve Bayes 的得分为 0.814。Twitter 提供及时、覆盖率高且公开的数据，但噪音、低置信度和人口偏见等挑战需要通过与健康相关的推文分类器以及与新闻来源的集成来缓解。为此，临近预报算法将过去的 CDC 报告与当前汇总的 Twitter 症状数据相结合，以预测疾病水平，解决官方监测中 1-2 周报告滞后的问题。新闻数据被用作次要来源，以验证或调整对基于 Twitter 的疫情检测的信心，这些数据来自全球、国家和区域健康新闻来源。

Espinosa 等人的另一项研究探讨了使用法学硕士从社交媒体帖子中提取公众对疫苗接种的立场。疫苗接种状况是公共卫生的关键标志，由于社交媒体上普遍存在错误信息，人们对疫苗有效性的不信任日益增加，已被确定为全球公共卫生威胁。该研究使用六种分类方法分析了 1,000 条与英语疫苗接种相关的推文（2019-2022 年），包括专家、众包注释和四个 LLM（GPT-3.5、GPT-4、Mistral7B 和 Mixtral8x7B）。此外，作者还使用 Valence Aware Dictionary 和基于规则的情绪分析工具 sEntiment Reasoner（VADER）将一般情绪分类为基线。研究结果表明，法学硕士的表现优于人群注释者，特别是在消极立场分类中，消极立场分类在所有方法中的 F1 分数和灵敏度最低。GPT-4、Mistral（7B）和 Mixtral（8×7B）比其他模型表现出更少的提示依赖性，在不同设置下提供一致的结果。所有方法在部分专家同意的推文上表现较差，凸显了在解决由于多义性、缺乏上下文、讽刺和简短社交媒体文本中的误解而导致的歧义方面的挑战。这强调了客观分类的难度以及考虑可扩展方法中的错误分类风险的必要性。

同样，Argyris 等人的研究旨在检查支持和反对疫苗人群之间的不同话语，使用监督分类算法对推文进行分类（K 均值），然后使用无监督聚类算法（逻辑回归分类）

和多步定性分析来识别话语主题，以及疫苗是如何构建的（支持疫苗、反疫苗或中立）。研究发现，反疫苗讨论通常具有更高的主题间独特性（例如，与疫苗主题相差太大的话题），并且往往会产生更具说服力和散播恐惧的话语来吸引反应。相比之下，支持疫苗的讨论缺乏明确的问题陈述，导致民众参与度低。

此外，Harris 等人的一项研究评估了法学硕士在公共卫生任务中的使用，重点是三个领域（负担、风险因素和干预措施）的分类和从自由文本（学术、新闻、社交媒体和问卷）中提取。作者将六个外部注释数据集与七个内部注释数据集相结合，使用零样本上下文学习评估五个开放权重 LLM，范围从 7 到 700 亿个参数（Llama-2-3、Mistral 和 Flan-T5 基础模型）。研究结果表明，Llama-3-70B-Instruct 表现最佳，在 17 项任务中的 15 项任务中获得了最高的 micro-F1 分数。不同任务的表现各不相同，所有开放权重法学硕士在胃肠道疾病分类等任务中的得分都超过了 80% 的 micro-F1，但在接触分类等更复杂的任务中的得分低于 60%。此外，在 12 个任务的子集中，对 GPT-4 进行了评估，显示出与 Llama-3-70B-Instruct 相当的结果，每个模型在 12 个任务中的 6 个中都优于另一个模型。这些发现表明，法学硕士有望成为公共卫生专家从各种自由文本来源提取信息的工具，从而有可能加强公共卫生监测、研究和干预措施。

虽然社交媒体数据为公共卫生评估提供了有价值的见解，但它有几个缺点，例如（i）与健康相关的术语可能并不总是指实际疾病；（ii）用户可能会误报病情（例如，流感与普通感冒），以及（iii）存在人口偏见，因为年轻人通常在社交媒体上更活跃。监测社交媒体和舆论对于有效防控潜在的疫情可能是必要的。因此，相关部门可以借助人工智能技术加强对网络环境的过滤，对公共卫生事件的虚假报道进行监测和控制，引导舆论，提高应对和治理突发公共卫生事件的能力。随着人工智能技术的进步，将这些模型集成到公共卫生监测系统中可以大大提高监测和应对不断变化的公共卫生态度的能力。

总之，准确可靠的传染病预测对于公共卫生组织规划干预措施以减少或预防疾病传播并减轻疫情的负面影响非常宝贵。估计疾病的轨迹和模式可以及时采取预防措施，例如学校停课、边境限制、公共服务暂停和有效的医疗对策分发。然而，由于疫情的零星性质和关键传播参数（如传播途径、免疫水平和持续时间）的数据有限，预测疫情的出现和传播具有挑战性，而这些参数对于建立现实的流行病学模型至关

重要。

本综述中讨论的人工智能技术清楚地表明了它们能够在不仅仅依赖被动的人工报告的情况下生成早期流行病预警的能力，从而能够及时干预和管理新出现的疫情。人工智能还可以帮助解决医疗基础设施和人力资源有限等挑战，特别是在低收入国家，在这些国家，早期发现对于防止全球传播至关重要。比较流行病预测研究具有挑战性，但大多数研究都得出了类似的结论，表明人工智能模型可用于有效监测和预测重大传染病暴发。此外，集成不同的人工智能模型已被证明可以提高传统流行病学模型的准确性。因此，将多个人工智能模型与各种数据源相结合，可以显著提高对传染病趋势和发病率的时空预测。然而，公共卫生机构可能需要指导来选择符合其具体目标的模型，以及持续准确性评估和监测的框架，以随着新技术和科学知识出现调整策略。鉴于误差范围很小，解决置信区间、数据可靠性和预测精度对于推动公共卫生应用的人工智能创新至关重要。为了最大限度地发挥人工智能驱动的疾病建模和疫情管理的影响，将其整合到“同一健康”方法中至关重要，认识到人类、动物和环境健康之间的相互联系，并促进跨部门合作。

3.5. 人工智能原则、标准和立法

人工智能在多个领域的快速发展和整合带来了多项进步，例如数据管理、资源分配和人口健康管理。然而，这一进展也带来了重大的道德、法律和技术挑战，需要强有力的标准和法规来确保其实施过程中的安全、公平和隐私。这在公共卫生领域尤为重要，正如本文研究的几项研究所表明的那样，人工智能在该领域具有变革潜力。本节总结了关键标准和法规，特别关注欧盟层面的框架，这些框架对于促进人工智能在公共卫生中负责任和有效使用至关重要。但是，它没有提供所有适用法规的详尽列表，例如《通用数据保护条例》（GDPR）和《医疗器械条例》等。

3.5.1. 经合组织关于在卫生领域负责任地使用人工智能的建议

2019年5月，经合组织制定了*人工智能原则*，作为指导政府、组织和个人负责任的人工智能发展的全球基准。这些原则得到了50多个国家的赞同，强调了以下重要性：（i）促进包容性增长、可持续发展和福祉；（c）促进包容性增长、可持续发

展 (ii) 尊重人权和民主价值观, 包括公平和隐私; (iii) 确保透明度和可解释性; (iv) 在人工智能的整个生命周期中保持其稳健性、安全性和安全性; (v) 让组织和个人对遵守这些原则负责。他们还强调了国际合作的必要性, 以避免人工智能实施中的碎片化和不平等。通过促进信任和能力建设, 这些原则旨在实现人工智能驱动的卫生系统改进, 同时最大限度地降低潜在风险。

经合组织还于 2025 年发布了《*健康领域负责任人工智能集体行动*》, 强调人工智能通过增强公平性、复原力和可持续性来彻底改变医疗保健的潜力。然而, 该报告指出了有效采用人工智能的重大障碍, 例如数据治理不足和对人工智能系统的普遍信任度较低。为了应对这些挑战, 该报告提出了推动负责任的人工智能采用的可行步骤, 包括培养可信度、建设能力、实现适应性和促进国际合作。

3.5.2. 世卫组织人工智能促进健康的伦理和治理

2021 年, 世卫组织发布了《*人工智能促进健康的伦理与治理*》报告, 其中描述了人工智能系统设计和实施所必需的六项伦理原则, 其中包括 (i) 保护人类自主权, (ii) 促进福祉、人类安全和公共利益, (iii) 确保透明度、可解释性和可理解性, (iv) 促进责任和问责制, (v) 确保包容性和公平性, (vi) 促进响应迅速和可持续的人工智能。这些指导原则旨在设计优先考虑人权和包容性的人工智能系统, 确保无论社会经济地位或地理位置如何, 都能公平获得技术。

3.5.3. 可信人工智能的伦理准则

欧盟委员会成立的人工智能问题高级别专家组于 2019 年发布了《*可信人工智能伦理指南*》, 其中概述了一个强调人工智能开发的合法性、道德性和稳健性的框架。该指南确定了尊重人类自主权、预防伤害、公平和透明等原则。这些原则通过七项关键要求实施, 包括隐私治理和技术稳健性, 从而为在欧盟培育道德和值得信赖的人工智能提供了全面的方法。

3.5.4. 欧盟人工智能法案

《欧盟人工智能法案》于 2024 年 7 月 12 日在欧盟官方公报上发布, 是欧盟内

部第一个关于人工智能的综合法规。它引入了人工智能系统开发和部署的统一规则。基于风险的分类系统构成了该法案的核心组成部分，根据(i)风险最小、不受监管、(ii)必须接受合格评定的高风险以及(iii)不可接受的风险对人工智能系统进行分类，这是被禁止的。对于高风险系统，例如为医疗保健目的而设计的系统，该法案要求这些系统遵守与透明度、数据治理和人工监督相关的严格法规。还正在各成员国建立监管沙盒，即人工智能开发人员以受监督的方式开发、测试和验证新人工智能系统的结构化和受控环境，以促进创新，同时确保符合欧盟标准。该法案的一个显著特点是设立了一个人工智能委员会，该委员会作为确保该法规在成员国成功实施的中心实体。

理事会有权邀请有关国家和联盟当局、机构或专家参加会议，并设立小组来解决具体问题。人工智能委员会公共卫生问题专门小组可以促进交流最佳做法和协调这一领域的国家战略。该小组可以在制定治理政策和制定指南方面发挥关键作用，以帮助公共卫生专家驾驭人工智能模型和工具。鉴于现有研究和解决方案的复杂性，这样的平台将加强突发公共卫生事件的决策和准备。

3.5.5. 欧洲健康数据空间

EHDS 法规于 2025 年 3 月 5 日发布，旨在为会员国之间的卫生数据共享建立一个统一、安全的框架。其主要目标是增强个人对其个人电子健康数据的访问和控制（主要用途），同时还实现次要用途，例如用于研究、政策制定以及应对健康威胁的准备和应对等。此外，该法规旨在通过为电子健康记录系统的开发、营销和使用定义一致的法律和技术框架来简化内部市场运作，确保与欧盟价值观保持一致。因此，该法规将奠定重要基础，通过提高健康数据质量和建立健康数据二次使用程序，有助于人工智能能力的发展并促进人工智能驱动的医疗保健创新。

3.5.6. 欧洲数字健康伦理原则

《欧洲数字健康伦理原则》于 2022 年通过，为欧盟道德和公平的数字健康实施奠定了基础。这些原则强调人文价值观、公民在管理健康数据方面的赋权、包容性和环境可持续性。一个关键重点是确保人工智能系统可解释、公正和透明，符合欧

盟对值得信赖和包容性创新的承诺。这些原则通过指导政策制定者优先考虑公民福祉并建立对数字健康解决方案的信任来支持 EHDS。

4. 主要挑战和未来建议

人工智能在公共卫生监测中的整合对于提高管理健康威胁和医疗对策的精度、效率和响应时间具有巨大的希望。然而，要发挥人工智能的潜力，必须解决一些挑战，包括确保数据隐私、解决偏见、提高透明度以及保持数据质量和跨系统的互作性。此外，遵守法律和道德标准、建设技术能力、培训公共卫生人员队伍以及培养公众信任都是人工智能在该领域成功实施的关键组成部分。

欧盟在负责任的人工智能部署方面取得了重大进展，欧盟人工智能法案在制定人工智能应用的可靠性和透明度标准方面发挥着关键作用。然而，在多方面的公共卫生生态系统中选择、使用和监督人工智能的固有复杂性需要仔细指导。政策制定者和公共卫生当局必须制定促进负责任的人工智能采用的战略和框架，整合解决治理、教育、公平、道德等问题的原则。

必须建立一个强有力的数据使用、共享和问责治理框架，欧盟人工智能委员会显示出在协调国家战略方面发挥关键作用的潜力。这可以通过创建一个专门用于公共卫生领域人工智能的小组来进一步支持。应实施继续教育和培训计划，以支持公共卫生人员队伍，鼓励使用人工智能作为专业发展工具。此外，促进包容性政策和鼓励开源人工智能对于加强获取人工智能技术的公平性至关重要。

必须优先考虑遵守道德和法律原则，以确保人工智能解决方案符合欧盟法规和欧洲数字健康道德原则。监管沙箱对于在公共卫生环境中部署之前测试人工智能系统非常有价值。应优先考虑人工智能模型的透明度和可解释性，确保医疗保健专业人员、政策制定者和公众可以理解决策过程和底层算法，同时保持人工监督。此外，确保人工智能和卫生系统之间的互作性是另一个关键要素，涉及法律、组织、语义和技术维度，以促进公共卫生中人工智能驱动解决方案的无缝集成和有效实施。

减少偏见需要系统地识别和纠正不同类型的混杂偏见，例如选择、测量和算法偏见，无论是通过定期的偏见审计、公平意识学习算法还是使用平衡、高质量的数据集，以维护公平和信任。定期更新人工智能系统，包括最新的临床证据、自动合规性检查和强大的版本控制，应保持模型性能，通过工具或反事实解释增强可解释

性，并确保与不断变化的法规保持一致。从技术观察的角度来看，应坦率地考虑可解释性，包括如何实现可解释性，从发展角度来看什么是有益的，以及它如何与最终用户和目标人群的观点保持一致。在这里，患者和/或卫生专业人员可以实现的解释为如何传递人工智能的可解释性提供了重要线索。在临床决策支持系统中省略可解释性会破坏基本的医学伦理，并有可能对个体患者和公共卫生造成有害结果。最后，必须使用强大的加密、精细的访问控制和持续的威胁监控等隐私保护技术，从端到端嵌入数据隐私和网络安全，以保护敏感的健康信息并维护系统完整性。

跨境数据共享对公共卫生至关重要，因为传染病没有国界。虽然欧洲卫生数据空间（EHDS）法规为实现卫生数据共享奠定了重要基础，但跨境数据集成仍然是一个挑战。例如，有关数据标准化、质量和一致性的问题增加了集成这些异构数据集的复杂性，需要复杂的数据工程和复杂的分析来确保兼容性和有意义的见解。此外，在整合全球健康数据时，有必要遵守多个司法管辖区的数据保护法，而这些法律在全球范围内并不统一。不遵守规定可能会导致法律后果或失去公众信任。已经制定了一些国际协议，例如《国际卫生条例》，这些协议促进了全球数据共享以进行健康监测。然而，并非所有国家都是这些协议的缔约方，即使在这些国家/地区，数据共享的具体细节也可能有所不同，从而为无缝整合造成障碍。为了克服这些障碍，需要全球共同努力，将技术创新与强有力的法律框架和国际合作相结合。标准化数据格式、增强数据安全、促进互作性以及协调各国之间的法律和道德标准将是实现有效全球公共卫生监测的关键。

利益相关者之间的合作对于促进包容性、多样化的人工智能解决方案并鼓励负责任的人工智能与人类在决策中协作至关重要。采用人工智能的整体方法还需要制定支持人工智能技术生态可持续性的公共卫生政策。此外，基准测试框架可以帮助评估健康数据的质量和人工智能系统的性能；同时应建立监测和评估框架，以评估负责任地使用人工智能。

在低收入国家（LIC），人工智能的应用面临重大挑战，主要是由于数字基础设施不足、缺乏准确的数字化数据以及人工智能相关领域的技术人才库有限。此外，低收入国家经常面临薄弱的制度框架以及缺乏管理数据隐私和安全的强有力法规的问题，所有这些都阻碍了他们充分利用人工智能变革潜力的能力。这些障碍加剧了现有的全球不平等，阻碍了低收入国家获得人工智能驱动创新的全部好处。然而，

存在弥合这些差距并加速人工智能在低收入国家的采用的机会。通过利用吸收能力框架，低收入国家可以专注于加强机构结构，通过有针对性的教育计划投资人力资本，并设计针对其特定社会经济背景的定制政策。此外，促进与发达经济体的合作网络并促进技术转让可以加速知识交流，使低收入国家能够使全球人工智能技术适应当地需求。这些战略可以帮助低收入国家克服人工智能整合的障碍，促进可持续发展，并使这些国家能够充分参与全球人工智能格局。

这些建议的成功实施需要采用相互关联、多方面的人工智能采用方法。通过全面应对这些挑战，人工智能可以充分发挥其潜力，改变全球公共卫生监测，使个人和社区受益，同时确保人工智能技术以负责任、道德和有影响力的方式部署。

***注：原文和译文版权分属作者和译者所有，若转载、引用或发表，请标明出处。**

译文二：

人工智能驱动的情报：疫情检测和应对的未来

Jasleen Kaur, Zahid Ahmad Butt, 徐健（译）

来源：Front Artif Intell.

时间：2025 年 7 月.

链接：<https://doi.org/10.3389/frai.2025.1645467>.

1. 简介

流行病情报是检测、验证和分析公共卫生威胁以实现及时响应的过程。新发传染病的日益频繁凸显了快速准确监测的必要性。传统的流行病监测通常依赖于对结构化数据的手动分析，主要来自官方公共卫生报告。然而，这种传统方法经常遇到严重的延误和覆盖差距，特别是在医疗基础设施有限的地区。这些限制凸显了对自动化、人工智能驱动系统的迫切需求，该系统能够实时分析各种数据和多语言数据流。此外，整合来自多个基于互联网的来源的数据，例如社交媒体、在线新闻和搜索查询，已显示出提高流行病预测准确性的希望。本文以视角为由提出，旨在为人工智能驱动的情报一体化提出一个前瞻性的概念框架。目标是综合来自大型语言模型（LLM）、疫情预测和急诊科优化的见解，以改进监测和响应。

2. AI 驱动的情报

人工智能驱动的情报已成为公共卫生监测的变革性工具，提供了实时分析结构化和非结构化数据源的能力。大型语言模型，能够大规模理解和生成人类语言的先进人工智能系统，以及自然语言处理（NLP），人工智能的一个子领域，专注于使机器能够解释人类语言，帮助从多语言数据流中提取有意义的见解，克服以前限制全面全球监控的障碍。这些技术可以快速处理开源信息，包括新闻报道、社交媒体趋势和网络搜索，与手动监控方法相比，显著缩短了检测时间。

在 COVID-19 大流行期间，人工智能驱动的情报的采用显著增长，凸显了

机器学习如何通过识别早期预警信号以进行进一步分析来增强传统监测。此外，人工智能不仅在疫情检测方面发挥了重要作用，而且在疫苗开发和大流行准备方面也发挥了重要作用，凸显了其在全球卫生安全方面的潜力。

虽然这些系统改进了疫情检测，但它们仍然分散且反应灵敏，经常在错误信息过滤、缺乏跨源集成和实时适应性方面苦苦挣扎。解决这些限制对于人工智能有效支持公共卫生基础设施至关重要。许多现有的人工智能系统都是为检测或响应而设计的，但不能同时兼而有之，而且它们很难随着疫情的发展而动态更新。此外，由于信任问题、整合困难和政策限制，公共卫生机构在采用人工智能驱动的工具方面进展缓慢。解决这些限制对于人工智能有效支持公共卫生基础设施至关重要。

一个日益重要的挑战是意外的跨源影响的风险。虽然当前的许多 AI 模型旨在独立分析每个数据流，例如临床报告、社交媒体或新闻文章，但在某些情况下可能会发生意外的跨源分析。例如，来自非医疗保健数据源或社交平台的信号可能会影响疫情评估，特别是当参与算法放大健康相关内容时。这些数据可能并不反映真正的流行病学变化，而是反映社会观念、人口变化或在线行为模式。尽管这些非传统来源可以提供有用的早期信号，但如果断章取义地解释它们，未经适当验证就包含它们会带来误导性结论的风险。

为了减轻这些风险，与公共卫生目标相一致的人工智能系统应包括可信度评分系统、来源验证检查和异常检测算法等功能，这些算法可以标记可能由病毒式传播或参与驱动的放大影响的内容。这对于来自社交媒体等平台的信号尤其重要，因为在这些平台上，高参与度的帖子可能并不代表实际的健康威胁。同时，排除所有非医疗保健数据可能会产生盲点，尤其是在正式报告有限的地区。将人工智能监控限制在安全的结构化医疗保健数据源，例如根据 HL7FHIR（健康七级快速医疗保健交互性资源）标准化的数据源可能会降低预警能力。将结构化医疗保健数据与经过仔细过滤的开源输入相结合的平衡混合方法可以提供更丰富、更上下文的见解，同时最大限度地降低错误信息的风险。

现有人工智能驱动的监控系统的另一个主要限制是它们独立处理每个数据源，导致无法捕获关键的跨源相关性。这种脱节阻碍了当前模型对潜在爆发形成全面、背景的理解。例如，当地一家医院可能会报告呼吸道病例激增，而该地区的社交媒体讨论则强调了对未知流感样疾病的担忧，同时，世界卫生组织可能会要求当局提

供有关异常肺炎病例的信息。传统的监控系统可能会独立标记其中的每一个，但无法将它们联系成连贯的警告。基于法学硕士的流行病情报系统可以综合这些信号，生成上下文洞察，例如：“潜在的疫情正在升级，多个独立来源证实未知呼吸道疾病病例不断增加。这种关联看似不同来源的能力可以显著增强预警系统，使其更有效地检测新出现的威胁并将其置于情境中。

3. 人工智能驱动的疾病监测：应用与挑战

已经开发了几个人工智能驱动的疾病监测平台来实时检测新出现的疫情。HealthMap 是一个于 2006 年推出的自动化系统，用于监控全球在线新闻的传染病报告。EPIWATCH 是一个人工智能驱动的预警系统，扫描公共卫生报告和社交媒体，在官方公告之前提供警报。同样，EpiTweetr 是由欧洲疾病预防控制中心（ECDC）开发，持续监测 Twitter 是否有传染病事件的迹象。其他平台包括世界疫情情报邮件，一个受监管的全球疾病报告网络，以及 BlueDot 是一家商业分析公司，在公共卫生机构发出警报之前检测到了最初的 COVID-19 爆发。这些平台使用机器学习和 NLP 技术分析大量数据，包括新闻提要、社交媒体讨论和官方健康报告。

早期的数字监测工作，如谷歌流感趋势强调了人工智能驱动的流行病监测的潜力和陷阱。虽然它最初通过使用搜索查询模式来估计流感流行率显示出希望，但后来由于模型过度拟合和未能考虑媒体驱动的行为变化，它显著高估了流感水平。正如 Lazer 等人所讨论的那样，这个例子强调了严格的验证、模型适应性和情境感知在现代人工智能驱动的流行病情报系统开发中的重要性。在 COVID-19 大流行期间，人工智能驱动的监控平台证明了其价值和有效性。例如，BlueDot 在官方确认之前发现了武汉的异常肺炎疫情。同样，加拿大的全球公共卫生情报网络（GPHIN）在历史上扫描过多种语言的在线资源，以检测全球疫情。

最近的研究显著扩展了人工智能驱动的流行病情报的能力，特别是在多语言 NLP、混合建模和 LLM 增强预测方面。PandemicLLM 是一种用于疫情预测的多模态 LLM 架构，通过集成政策、基因组和行为数据，优于传统的时间序列模型。最近的另一个系统展示了使用多语言法学硕士集成从非结构化健康报告和新闻来源中提取与疫情相关的信号，从而提高了检测速度和上下文准确性。SIR-INN 是一种物理信息神经网络，将实时流感数据集成到修改后的 SIR 框架中，提供可解释性和预测准确性。此

外，EpiLLM，一种双分支架构，将时空流行趋势与流动性数据融合，以生成局部疾病传播预测。这些最近的贡献强化了集成的、人工智能驱动的方法的重要性，并进一步验证了本文提出的概念基础。

然而，尽管取得了这些技术进步，但仍面临重大挑战。许多平台会生成大量未经过滤的警报，需要人工分析师验证和解释调查结果。这种验证过程会减慢响应时间并降低人工智能的实时优势。此外，监控系统必须过滤错误信息，并将可信信号与误导性社交媒体内容区分开来，由于语言的可变性和不断变化的术语，这项任务仍然很复杂。另一个挑战是人工智能模型的适应性。疫情指标可能会迅速变化，人工智能系统必须不断更新其模型以捕捉新兴趋势。处理多语言和多源数据仍然是一个持续的障碍，因为 NLP 模型需要改进以提高不同语言和文化背景的准确性。此外，由于担心可靠性、与现有工作流程的交互性和数据隐私法规，许多公共卫生机构对将人工智能驱动的监控工具完全集成到其决策过程中犹豫不决。应对这些挑战需要开发更强大的 NLP 技术、改进的数据验证方法以及人工智能开发人员和公共卫生专业人员之间更强大的协作。

4. 流行病学建模和人工智能增强的疫情预测

虽然早期检测至关重要，但疫情预测和传播建模对于有效的应对计划至关重要。流行病学建模通过预测疾病传播和指导干预策略，在疫情情报中发挥着重要作用。传统的流行病学模型，例如 SIR(易感-感染-恢复)和 SEIR(易感-暴露-感染-恢复)，使用微分方程模拟传播动态。然而，这些模型依赖于固定的假设和历史参数，限制了不断演变的疫情期间的适应性。人工智能驱动的流行病学模型集成了循环神经网络和图神经网络等机器学习技术，分析复杂的时空模式。混合人工智能模型结合了移动趋势、网络搜索和社交媒体等实时数据源，可显著提高预测准确性和适应性。

然而，仍然存在差距，流行病学模型往往孤立地发挥作用，未能将疫情预测与医疗保健资源分配相结合。除非嵌入到实时决策支持系统中，否则仅靠准确的预测并不能转化为有效的响应。

5. 基于人工智能的资源分配和决策支持系统

虽然人工智能改进了疫情检测，但现有的流行病监测系统并未集成实时急诊科（ED）资源优化。传统上，医院资源配置，如 ICU 床位、医疗用品、疫苗等；与监测分开管理，这导致响应延迟和关键资源分配效率低下。人工智能驱动的流行病情报必须超越早期检测，包括急诊室的实时医疗资源优化，因为快速决策至关重要。

通过分析急诊室等待时间和患者流入趋势，人工智能可以帮助预测拥堵、调整分诊策略并改善资源分配。例如，在疫情爆发期间，人工智能可以跟踪急诊室呼吸道病例的增加情况，使医院能够主动分配额外的人员、床位或医疗用品。基于人工智能的决策支持还可以模拟不同的干预策略，例如调整分诊阈值、重新分配医务人员或优化应急响应协议，以防止过度拥挤和护理延误。在疫情情报系统中嵌入基于场景的决策支持可以显著提高响应效果。人工智能驱动的模式可以根据新出现的疫情模式为急诊室管理提供实时建议，使医院能够采取主动而不是被动的措施。

然而，由于监管限制、隐私问题、与医院系统的互作性挑战以及政策不一致，现实世界的采用仍然有限。解决这些障碍需要人工智能开发人员、医疗保健提供者和公共卫生机构之间加强合作，以确保无缝集成到临床工作流程中。通过将流行病情报与急诊决策支持联系起来，医疗保健系统可以改善患者的治疗效果，减少等待时间，并增强疫情爆发期间的应急响应能力，最终增强医院的弹性和公共卫生准备。

6. 公共卫生政策和人工智能集成

公共卫生政策在塑造人工智能驱动的流行病情报的采用方面发挥着至关重要的作用。然而，监管限制、互作性挑战和数据隐私问题限制了与公共卫生系统的完全集成。加拿大传染病报告强调，虽然人工智能和新型数据源可以增强公共卫生监测，但有限的现实世界实施、互作性障碍和隐私问题等挑战限制了它们在跨多个来源综合疫情相关见解方面的有效性。此外，GDPR（欧盟）和 HIPAA（美国）实施了严格的数据保护法规，限制了实时健康数据交换，影响了人工智能有效检测新出现威胁的能力。虽然这些法规对于隐私保护至关重要，但它们也强调了平衡数据安全与实时流行病应对的政策必要性。

互作性仍然是一个关键挑战，因为医疗保健数据库、监控平台和人工智能模型通常孤立运行，阻碍了有效的跨源数据合成。加拿大全球公共卫生情报网络（GPHIN）通过扫描全球在线资源以查找潜在的健康威胁，在早期疫情检测中发挥了关键作用。

然而，将 GPHIN 与更广泛的公共卫生决策过程相结合的挑战凸显了提高交互性、实时适应性和人工智能可解释性的必要性。加拿大的公共卫生数据战略强调实现公共卫生基础设施现代化、确保负责任治理和采用标准化数据框架，但由于数据系统分散和政策调整缓慢，全面整合仍然有限。

通过采用可互作的数据标准，例如 HL7FHIR，并建立应用程序编程接口（API），以有效地将新的 AI 模型与传统的公共卫生监测数据库联系起来。然而，现实世界的 FHIR 采用仍然参差不齐，面临的挑战包括 EHR 实施不一致、技术基础设施有限以及临床和公共卫生报告系统之间缺乏一致性。克服这些障碍需要政府机构、医疗保健供应商和政策制定者之间的协调努力。加强数据共享政策、提高人工智能可解释性和确保道德人工智能治理对于增强人工智能驱动的流行病情报至关重要。政策制定者的犹豫通常源于人工智能“黑匣子”模型的不透明性，可以通过将可解释算法与深度学习相结合的混合模型等技术以及利用 SHAP（SHapley 加法解释）等可解释性框架来增强人工智能的可解释性来解决。通过研讨会和培训直接让政策制定者参与进来，以增强他们对人工智能驱动的见解的理解，可以进一步建立信任和接受度。

鉴于法学硕士幻觉、偏见和隐私漏洞的已知风险，人工智能驱动的流行病情报系统必须纳入人机交互验证、可解释性技术和来源可信度评分等保障措施。此外，联合学习和隐私保护数据架构可以支持符合 GDPR 和 HIPAA 等健康数据法规的安全部署。这些考虑因素对于建立信任、确保可靠性和符合道德公共卫生实践至关重要。

加拿大的努力与疾病预防控制中心预测和疫情分析中心和世界卫生组织大流行情报中心等全球举措保持一致，强化了人工智能驱动的流行病情报系统的重要性，该系统集成了实时数据分析、交互性和公共卫生决策支持。应对这些政策和整合挑战对于建立更有效、透明和适应性更强的流行病情报基础设施至关重要。

7. 研究差距及解决方案

尽管人工智能驱动的流行病情报取得了重大进展，但在将人工智能驱动的流行病情报集成到实时决策框架方面仍然存在关键差距。目前，流行病情报系统通常独立运行，分别处理检测、预测或资源分配问题，而不是提供完全集成的方法。许多人工智能驱动的监测工具缺乏实时适应性，难以随着疫情的发展动态更新，这损害了公共卫生干预措施的及时性和准确性。此外，现有的人工智能模型通常无法将多

个数据源的见解相关联，从而错过了可以提供更全面疫情评估的关键上下文模式。这种限制通常被描述为“连接点”问题，限制了公共卫生系统充分识别新出现的威胁的能力，并限制了它们主动响应来自多个信息流的汇聚证据的能力。

此外，由于担心人工智能驱动的流行病情报工具的可靠性、与现有医疗保健工作流程的互作性以及数据隐私问题，公共卫生机构在采用人工智能驱动的流行病情报工具方面仍然进展缓慢。道德和治理考虑因素，包括算法偏见、透明度、公平性和问责制，使人工智能驱动的解决方案在公共卫生环境中的有效实施和接受进一步复杂化。

为了弥合这些关键差距，这篇观点文章提出了一个基于大型语言模型（LLM）的集成流行病情报系统，在一个有凝聚力的框架内统一疫情检测、人工智能驱动的预测建模和基于优化的急诊科（ED）资源分配。这种拟议方法的新颖之处在于其实时适应性，确保随着疫情的发展不断更新模型，从而应对动态疾病监测挑战。此外，通过先进的 NLP 技术集成跨源数据融合功能，使人工智能系统能够跨不同数据流合成信息，通过捕获关键的上下文跨源关系并提供可作的上下文文化见解来解决“连接点”问题。

这一集成系统可以帮助公共卫生当局从被动检测转向主动应对疫情，最终提高大流行准备和复原力。通过解决实时适应性、跨源数据集成和决策支持问题，该研究解决方案旨在推进人工智能驱动的流行病情报的最新技术，并为更有效、公平和响应迅速的公共卫生战略做出贡献。

拟议的解决方案还强调将流行病预测与 ED 特定的资源分配直接联系起来。与传统的公共卫生监测系统不同，拟议的集成系统可以通过不断优化急诊室分诊策略、减少等待时间和紧急床位可用性来主动为公共卫生决策提供信息。嵌入流行病情报框架中的基于场景的决策支持将实时评估干预策略，使急诊室管理员能够根据新出现的疫情模式动态调整患者分诊、人员配备和床位分配。

此外，利用法学硕士中先进的多语言 NLP 功能可以显著增强全球监控能力，从而能够对不同语言来源进行准确、文化敏感的解释。这种多语言方法大大提高了疫情检测的准确性和全面性，特别是有利于通常缺乏强大结构化数据基础设施的资源匮乏地区。

最后，针对伦理问题和治理问题，本拟议研究优先考虑人工智能方法的透明度、

公平性和可解释性。确保人工监督、独立验证和审计、人工智能绩效指标的公开沟通以及明确的利益相关者解释将促进公众信任、监管协调以及公共卫生利益相关者更广泛地采用人工智能驱动的建议。

这一拟议的综合系统可以帮助公共卫生当局从被动检测转向主动应对疫情，从而提高大流行准备和复原力。所提出的系统如图 1 所示，突出了多个数据源（输入层）、大型语言模型、流行病学建模和优化算法等高级分析组件（分析层）以及实时决策支持输出（输出层）的互联性，所有这些都集成在一起，以实现实时适应性、跨源数据融合、增强急诊科能力规划和响应效率。

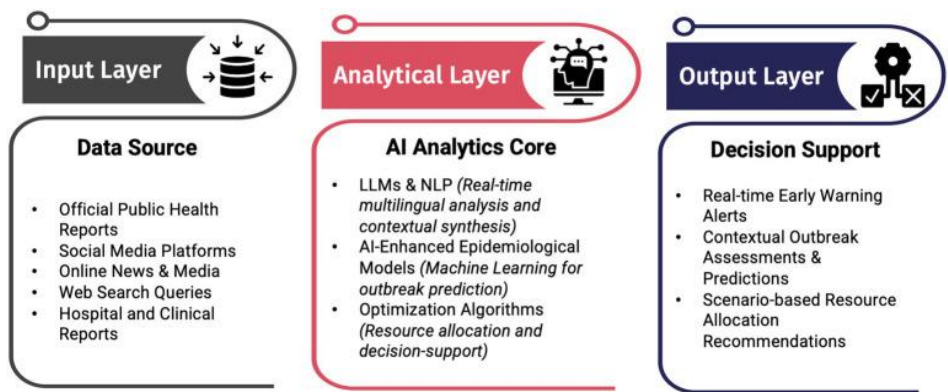


图 1. 拟议的人工智能驱动的综合流行病情报框架的概念架构，突出了从多源数据输入到人工智能驱动分析到公共卫生和急诊部门的实时决策支持的流程。

8. 结论

人工智能驱动的行病情报代表了公共卫生监测和响应的范式转变。将先进的人工智能技术，包括用于多语言监测的大型语言模型、用于疫情预测的预测分析以及用于医疗资源管理的优化算法，集成到一个单一的、有凝聚力的决策支持系统中，可以显著提高早期检测、预测准确性和疫情响应效果。通过所提出的解决方案克服多语言数据处理、错误信息管理、实时适应性和政策整合等现有障碍，将有助于更快、更准确和公平地应对未来的流行病，最终加强全球卫生准备和复原力。将明确的人工智能集成策略付诸实践，提高人工智能可解释性以减少政策制定者的犹豫，并通过透明度和监督积极建立公众信任，将直接解决当前的担忧，并显著提高人工智能驱动的行病情报系统的实际采用和接受度。未来的工作应侧重于通过真实世界模拟、与现有平台的比较分析以及在医院爆发场景中的实证测试来验证所提出的

系统。此外，利益相关者的参与、政策协调和跨学科合作对于在全球范围内扩展人工智能驱动的行病情报至关重要。

***注：原文和译文版权分属作者和译者所有，若转载、引用或发表，请标明出处。**