

新发呼吸道传染病多渠道监测和多维度预警体系研究与思考

马宇航¹ 殷一¹ 江欣¹ 佟训靓² 李燕明² 王丽萍³ 冯录召⁴ 杨维中⁴ 彭志行¹

¹南京医科大学公共卫生学院,南京 211166;²北京医院,北京 100005;³中国疾病预防控制中心传染病管理处/传染病监测预警重点实验室,北京 102206;⁴中国医学科学院北京协和医学院群医学及公共卫生学院,北京 100730

通信作者:彭志行,Email:zhihangpeng@njmu.edu.cn

【摘要】 新发呼吸道传染病暴发流行让世界付出了沉重的代价,也让传染病的监测和预警工作受到越来越多人的重视。本文简要回顾了我国呼吸道传染病监测和预警体系的建设历程,探讨了传染病监测预警的未来发展趋势,对新出现的传染病监测方法、预警模式进行综述,寻求未来构建传染病多渠道监测和多维度预警系统的方法,为提升我国新发呼吸道传染病防控水平提供建议。

【关键词】 呼吸道传染病; 监测预警; 多渠道监测; 多维度预警

基金项目: 国家自然科学基金(82073673,91846302); 国家科技重大专项(2018ZX10713001); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程(2021-I2M-1-044)

Thinking about development of multi-channel surveillance and multi-dimensional early warning system of emerging respiratory communicable diseases

Ma Yuhang¹, Yin Yi¹, Jiang Xin¹, Tong Xunliang², Li Yanming², Wang Liping³, Feng Luzhao⁴, Yang Weizhong⁴, Peng Zhihang¹

¹School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China; ²Beijing Hospital, Beijing 100005, China; ³Division of Infectious Disease/Key Laboratory of Surveillance and Early Warning on Infectious Disease, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China; ⁴School of Population Medicine and Public Health, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medicine College, Beijing 100730, China

Corresponding author: Peng Zhihang, Email: zhihangpeng@njmu.edu.cn

【Abstract】 The world has paid a heavy price for the pandemic of the emerging respiratory communicable disease, so more concern about communicable disease surveillance and early warning has been aroused. This paper briefly reviews the establishment of the surveillance and early warning system of respiratory communicable diseases in China, discusses its future development and introduces the novel surveillance methods and early warning models for the purpose of establishment of a multi-channel surveillance and multi-dimensional early warning system of communicable diseases in the future and the improvement of the prevention and control of emerging respiratory communicable diseases in China.

【Key words】 Respiratory communicable disease; Surveillance and early warning; Multi-channel surveillance; Multi-dimensional early warning

Fund programs: National Natural Science Foundation of China(82073673, 91846302); National Science and Technology Major Project of China (2018ZX10713001); Chinese Academy of Medical Sciences Innovation Fund for Medical Sciences(2021-I2M-1-044)

DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20221201-01029

收稿日期 2022-12-01 本文编辑 万玉立

引用格式:马宇航,殷一,江欣,等.新发呼吸道传染病多渠道监测和多维度预警体系研究与思考[J].中华流行病学杂志,2023,44(4):529-535. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20221201-01029.

Ma YH, Yin Y, Jiang X, et al. Thinking about development of multi-channel surveillance and multi-dimensional early warning system of emerging respiratory communicable diseases[J]. Chin J Epidemiol, 2023, 44(4):529-535. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20221201-01029.



呼吸道传染病病毒传播范围广、速度快,具有不断变异的可能性,极易经全球贸易旅行网络传播至世界各地,造成严重的后果^[1]:如 1918 年在法国军营中暴发的 H1N1 型流感病毒流行,在 8 个月内产生了三波大流行,造成 2 000 万~4 000 万人死亡^[2]。1968 年 H3N2 型流感病毒在中国香港地区引发了新一轮流行,由于该地区人口密度高的城市特性加剧了流感的传播,造成 50 万~200 万人死亡^[3]。2019 年末新型冠状病毒感染疫情暴发,给世界各国带来了巨大的经济与医疗挑战^[4]。为防范各类新发呼吸道传染病,我国建立了疾病监测系统和预警系统并持续开展日常监测,以识别可能存在的疫情暴发风险。新时代我国应运用大数据、人工智能、云计算等数字技术为疫情监测分析发挥支撑作用,传染病监测与预警体系应向多渠道、多维度、智慧化方向发展^[5]。

本文总结了我国现有呼吸道传染病相关的监测和预警系统,提出建设新发呼吸道传染病新型监测预警系统的构想、内涵、方法。尝试基于不同的防控目标构建预警主系统和子系统,合理安排监测资源,为我国架构呼吸道传染病监测预警体系提供参考。

一、我国呼吸道传染病监测和预警体系

主要由监测和预警两大核心模块构成:监测为预警提供疾病流行信息,是预警的前提和基础,预警是监测的重要应用。自 2003 年 SARS 疫情以来,我国高度重视呼吸道传染病监测和预警工作,已建立了较大的呼吸道传染病监测与预警体系^[6]。

1. 传染病信息报告管理系统(National Notifiable Diseases Reporting System, NNDRS):我国于 2004 年建立了 NNDRS,该系统对 40 种法定传染病(含 14 种呼吸道传染病)进行病例监测,传染病监测网络包含多个子系统,NNDRS 与突发公共卫生事件管理子系统和部分呼吸道单病种监测系统可进行信息交换和数据共享,为疫情预警提供基础数据源^[7]。另一方面,医疗机构作为监测数据的主要来源,数据质量十分重要,近年来全国医疗机构医院信息系统(Hospital Information System, HIS)建设率逐步提高,NNDRS 和 HIS 之间建立了数据接口,病例的基本信息通过 HIS 自动获取,实现了数据自动交换与安全传递,提高了报告效率和质量^[8]。

2. 国家传染病自动预警系统(China Infectious Diseases Automated-alert and Response System,

CIDARS):预警系统将呼吸道传染病监测数据通过预警模型统计分析后转化为预警信号,提示可能存在的疾病暴发风险,预警模型是系统的核心,包括基于不同维度的时间、空间、时空模型^[9]。我国于 2008 年 4 月建成并投入使用的 CIDARS 基于医疗机构临床诊断病例数据,使用时空预警模型计算某区域的疾病暴发风险,通过对比当前时期与基线数据的报告病例数量决定是否发出预警信号,当预警信号出现时,疾控人员将第一时间对可疑信号进行电话核实,若存在聚集性风险还会进行现场调查,该系统是我国发现具有潜在呼吸道传染病暴发风险人群和地区的重要手段^[7]。

3. 单病种专项监测系统:在被动报告的基础上,通过开展病例流行病学调查和病原体实验室监测以掌握病原体耐药情况、人群抗体水平、病原毒株分型、流行危险因素情况^[7]。近年来,我国已构建了多种呼吸道传染病的单病种监测系统,如流感监测系统、住院严重急性呼吸道感染(Severe Acute Respiratory Infection, SARI)监测系统、不明原因肺炎监测系统、结核病管理信息系统和麻疹监测系统。其中流感监测系统设有 554 家国家级哨点医院和 408 家国家级网络实验室^[10],系统登记流感样症状病例(ILI),根据 ILI 百分比(ILI%)和流感标本阳性率等指标估计流感流行强度并预测流行毒株。2003 年 SARS 疫情后,我国建立了覆盖全国的不明原因肺炎监测系统,系统对医院内专家会诊后仍不能明确诊断的肺炎病例进行网络直报,在筛查 SARS、人感染型高致病性禽流感病例中发挥了重要的作用^[11]。

4. 我国呼吸道传染病监测预警体系的不足:

(1) 传染病信息管理系统数据标准不统一:我国呼吸道传染病监测系统由疾病信息报告管理系统和多项单病种监测系统组成,各系统哨点分布、监测内容、数据结构不统一,监测数据不能统一采集、管理、整合,存在多重监测、重复报告、数据不一致等问题,限制了传染病监测系统的发展^[8]。

(2) 系统监测数据渠道单一,监测关口滞后:呼吸道传染病发病经历潜伏期、前驱期、显明期、转归期,我国传染病监测系统的监测对象是临床确诊病例,数据可靠性较强,但监测关口滞后,往往会忽略呼吸道传染病早期的传播流行动态,拓宽疾病流行早期相关监测数据源十分重要:印度尼西亚的一项调查表明,29% 的受访者在患有轻度呼吸道疾病时去社区卫生中心或医院就诊,而其余 61% 的人使用

家庭治疗或去药房自行购药^[12],提示单一的病例报告数据存在严重的“冰山效应”,可能存在大量未被监测系统收录的感染者。

(3) 预警模型需要改进:预警模型是预警系统的重要组成部分,目前人工智能、机器学习等技术在预警模型开发中受到越来越多的重视:有研究基于医院急诊数据对新型冠状病毒感染者进行呼吸衰竭风险预警,发现机器学习模型预测的准确性最高^[13]。一项基于中国香港地区流感数据的研究比较了不同方法对流行性感冒进行疫情预警的准确性,发现基于机器学习的组合判断分类器模型效果最优^[14],预警模型逐渐朝着智能的方向发展。

二、建设新发呼吸道传染病多渠道监测体系

多渠道监测体系指使用病例监测、症状监测、事件监测、实验室病原学监测等多种监测方法,联合多部门机构,共同收集呼吸道传染病发生发展各阶段的数据资源^[5],从不同角度和节点解读疾病的发展趋势,发现潜在的暴发风险,推动监测关口前移,为我国呼吸道传染病多维预警系统提供基础数据源^[15],可从以下角度构建呼吸道传染病多渠道监测体系:

1. 建设基于互联网大数据的事件监测系统:事件监测包括突发公共卫生事件监测和舆情监测,前者主要用于探测已暴发的突发公共卫生事件,事件响应阈值较高,对新发呼吸道传染病的早期探测能力较弱^[16],后者通过有组织地从多种渠道收集各类非结构化的公共卫生热点和焦点信息(如数字化媒体信息、搜索引擎大数据、人群流动大数据),交由审核专家组对疑似的流行事件进行快速风险评估,实现对新发呼吸道传染病的实时态势感知^[17]。因此,互联网大数据是舆情监测的重要数据源之一,蕴含着丰富的疾病信息,具有采集成本低、及时性高的优势,是实现舆情监测的基础^[18]。

(1) 基于数字化媒体大数据的舆情监测系统:通过收集数字化媒体(如全球新闻资讯、社交媒体平台数据、电视频道报道信息)大数据,了解呼吸道传染病的前沿流动动态,对公众言论和争议问题进行汇总,为早期公共卫生决策提供依据。国际上已有多项基于该类渠道的传染病舆情监测系统:例如全球公共健康情报网(Global Public Health Intelligence Network)收集全球新闻媒体互联网大数据,经专家评审决定是否发出早期预警^[19],信息可靠性强,有研究发现新型冠状病毒感染疫情话题数量与官方报告的病例数量之间存在正相关关系,

这表明社交媒体数据在预警工作中具有潜在应用价值^[20]。

(2) 基于搜索引擎大数据的舆情监测系统:搜索引擎检索趋势反映了公众对某种呼吸道传染病的关注程度,揭示其是否具有潜在的暴发风险。Google 公司将某时间段内流感及其相关症状的检索次数与 Google 同时期的搜索总量比较,建立了谷歌流感趋势(Google flu trends, GFT)预警系统^[21],有研究表明 GFT 与流感病例数存在滞后 1 周的强相关性^[22]。百度基于海量用户行为数据建立了百度指数,追踪关键词在一段时期内检索规模的变化趋势,有研究基于百度指数预测新型冠状病毒感染病例变化趋势,结果具有时滞高关联性^[23],并发现引入百度指数提高了新型冠状病毒感染预测模型的效率^[24]。

(3) 基于居民流动大数据的舆情监测系统:人口流动驱动着传染病的传播模式和强度变化,病原体的活动范围随着人口流动性的加大而变广。由于移动手机普及率逐渐提高(预估 2025 年全球将达到 60 亿移动手机用户),移动定位数据已成为追踪人群流动和病原体传播轨迹的重要信息来源:国外有研究者提出了使用手机通话详细记录和移动位置历史记录等居民移动通信数据探究麻疹、风疹等呼吸道传染病的分布规律和传播模式的构想^[25],未来该类数据将在传染病防控领域取得更多应用。

2. 建立基于多元异构数据的症状监测系统:症状监测指对疾病临床数据和确诊前的健康相关多元异构数据进行监测的监测模式,多元异构数据的来源包括病例主诉的医疗症状(如咳嗽、发热、腹泻、呕吐等)和一系列与疾病相关的非特异性社会症状(如非处方药销量、学校缺课信息、工厂缺勤信息等),通过对此类呼吸道传染病相关的多元异构资源数据库信息进行深度整合和有效集成,形成标准化的呼吸道传染病多元异构数据集。症状监测能够揭示疾病早期的暴发“苗头”,具备一定的预警属性,有利于提高监测系统敏感性,推动预警关口前移^[7]。我国已多次在大型活动和峰会中应用症状监测系统开展传染病早期探测,保证人员健康^[26-27],部分呼吸道传染病的专项监测系统也采用了类似的症候群监测模式:如流感监测系统和麻疹监测系统。但有关症状监测系统的开发应用仍存在着系统数据渠道单一(主要渠道为医疗机构)、各部门机构之间存在数据壁垒、数据收集成本高昂等问题,制约了症状监测系统在呼吸道传染病防控方

面的应用^[28],可从以下方向进行完善。

(1)确定呼吸道传染病标准化症候群:确定统一明确的呼吸道传染病症候群是建立症状监测系统的基础,对于无特异性症状疾病,可通过查询文献或德尔菲法总结归纳就诊关键词:如美国 CDC 开展的 BioSense 监测项目使用国际疾病分类编码(ICD-9-CM 和 ICD-10)将不同传染病的诊断数据分类编码,建立了结构化传染病症候群监测名词库,为系统的大规模应用奠定了基础^[29]。

(2)扩充监测数据源,提高系统及时性:症状监测系统需要选择合理数据渠道并从中挖掘有价值的流行情报。例如,急诊室是医疗服务的最初触点,急诊数据和全科医生咨询数据具有较高的应用价值,收集此类数据有助于提高症状监测系统的及时性和灵敏度^[30-31]。例如韩国医院根据急诊室数据构建了由政府运营的急诊室电子数据库,在中东呼吸综合征疫情防控中起到了重要作用^[32]。

(3)整合监测数据渠道,建立全国性的呼吸道症状监测系统:症状监测系统需要打通各行业(医疗机构、学校、药店、气象部门等)数据壁垒,形成统一数据收集标准,实现各机构监测数据的互联互通,最终建立整合各部门多渠道的全国性数据收集上报系统。例如有研究建议将 NNDRS 升级为国家智能症状监测系统,该系统能收集并整合疾病早期阶段病例症状信息和社会信息,实现监测数据与预警系统实时共享^[33],提高症状监测系统监测效率。

3.完善呼吸道传染病实验室病原监测网络:实验室病原监测网络探究呼吸道传染病病原体周期性流行规律、耐药性、人群抗体水平,为卫生行政部门制定针对性防控策略提供科学支撑^[7]。目前我国建立了多种重要呼吸道传染病全国性监测网络,并配备了监测方法指南。但监测系统覆盖的呼吸道传染病病种仍然有限,对新发和突发呼吸道传染病监测能力弱。各个系统互相独立,样本含量、采样区域、监测内容各不相同,易导致标本和人力资源的浪费^[34],可从以下方向完善呼吸道传染病实验室病原监测体系:

(1)建设呼吸道传染病症候群病原监测网:呼吸道传染病症候群病原监测网收集并检测符合目标症候群症状(如住院严重急性呼吸道感染样^[35]和急性呼吸道感染样^[36])的病例标本,了解本地呼吸道传染病病原谱特征和各种相关症状疾病的活跃程度,实现多种病毒的“一样多检”^[37]。另一方面,当出现新发或突发呼吸道传染病时,通过采集相关

症候群的病例标本,能够提高对传染病的早期探测能力。例如美国圣克拉拉县在新型冠状病毒感染疫情出现后,采集并检验出现相关呼吸道症状(如发热、咳嗽或气短)的病例标本,成功检出了 9 例新型冠状病毒阳性病例^[38]。

(2)提升病原监测系统的范围和深度:监测机构需要能够代表某一地区内病毒的整体流行情况并满足开展病原检测的标准。例如有研究从地理代表性、医院自愿性、设备可用性、疾病分布特征方向选择代表性强的机构作为监测哨点^[39]。另一方面,机构需逐步从大型医院向社区卫生诊所下沉,提高检测能力,加强传染病监测系统信息化建设,注重病原基线数据积累,构建呼吸道传染病监测信息管理系统和病毒基因序列数据库。

三、建立呼吸道传染病多维度智能预警系统

传染病预警的种类多种多样,可按照疾病类别、发生场所、严重程度等标准划分预警主系统与子系统,设置多样化的预警指标,通过应用人工智能、机器学习等新算法,提高模型预警能力,构建智能化预警模型,按照不同的预警目的整合不同渠道的监测数据资源,从多个维度讨论疾病暴发的潜在风险,构建呼吸道传染病多角度、全流程的预警机制^[5]。

1.构建呼吸道传染病多维预警主系统:传染病预警主系统对疾病流行过程中的重要时间节点进行研判预警,是多维预警体系的框架和核心。子系统是主系统的分支,多种形式的传染病预警子系统是对主系统的重要补充。例如通过挖掘主系统外具有利用价值的监测数据,构建专项预警子系统,提高预警主系统及时性与灵敏度,通过针对部分重点防控地区构建区域预警子系统,扩展主系统的预警覆盖范围。主系统与子系统共同形成多维、多重预警机制。本文结合多渠道监测数据,以呼吸道传染病流行病学发展规律作为线索,构建呼吸道传染病多维预警系统。

(1)基于疾病潜伏阶段的预警系统:流行病学意义上的潜伏阶段指传染病病原体未侵入人体,各种疾病危险因素不断积聚达到传播阈值的阶段,在该阶段的疾病基本隐匿,但社会和自然环境等因素利于病原体的繁殖扩散,公众处于易感状态^[7]。有研究表明,不同的环境温度和湿度会影响流感病毒的活跃程度,不同型别病毒的反应不同,均会引起人群流感病毒检出率的改变^[40]。另一方面,随着城市化的进一步发展,人口进一步向城市集中,部分

社会危险因素易导致聚集性疫情出现。一项讨论马来西亚新型冠状病毒感染率影响因素的研究表明,在城市或人口密度高的地区,疾病的传播效应和传播范围更大,病例更多^[41]。该时期应主要关注舆情监测数据,掌握新发呼吸道传染病流行态势,估计流行风险并向公众发布风险提示。另一方面,开展回顾性调查,收集呼吸道传染病历史基线资料并进行统计学分析,掌握高相关性危险因素,提高对新发呼吸道传染病的实时态势感知能力。

(2) 基于疾病前驱阶段的预警系统:该系统是对已出现个别病例或病例已就诊但尚未确诊,尚未出现大规模流行的时间节点进行风险评估的预警系统^[5]。该阶段疾病已在人群中逐渐传播,一部分病例开始出现呼吸道疾病相关症状,但前往医疗机构就诊病例较少,多数病例未能被病例预警系统识别。在该阶段应用多元异构标准化监测数据(如互联网大数据、病例主诉症状、学校缺勤缺课人数、非处方药销量数据等)构建呼吸道传染病症状监测与预警系统,提取能够揭示疾病流行状态的健康相关信息,组织专家研判、评估呼吸道传染病的未来流行风险,并派遣专员调查、处理存在较大流行风险的事件和地区,推动预警关口提前,避免传染病流行规模进一步扩大。

(3) 基于疾病流行阶段的预警系统:该系统指对病例数量明显增多、开始出现聚集性确诊病例的呼吸道传染病流行阶段进行疾病发展趋势预测、疫苗接种策略分析、医疗物资储备评估的预警系统。由于该阶段医疗机构确诊病例数显著增多,传统病例预警能够及时发现疾病流行动态,因此疾病最终规模、医疗资源需求等问题成为预警系统下一步的预警目标。例如有研究通过构建传染病动力学模型,模拟中国新型冠状病毒感染疫情流行趋势,并估计最终发病人群规模,为公共卫生人员制定合理的防疫政策提供科学依据^[42]。还有研究通过动力学模型分析了不同防控策略和流行形势下的未来医疗资源需求,为政府提供了医疗资源的储备建议^[43]。

2. 构建呼吸道传染病多维研判预警子系统:

(1) 基于互联网大数据的呼吸道传染病态势感知子系统:根据互联网大数据掌握呼吸道传染病的实时动态,评估流行趋势,有助于推动预警关口前移,但混杂严重和信息失真等问题制约了在传染病监测预警领域的应用^[44],提高数据的可信度是推广应用该技术的前提和保障。目前全球已有多个可

靠的信息渠道^[7],数据通过专家审查,可信度高,预警结果便于参考,已有过多次成功预警案例^[19]。

(2) 基于人群移动大数据的呼吸道传染病地区预警子系统:人群流动是导致呼吸道传染病的传播和扩散的重要因素,限制人口流动可减缓疫情扩散速度,对存在感染个体的高风险区人群进行约束和管理十分必要。通过采集人群手机移动定位通行大数据,我国构建了基于地区的传染病预警系统,并开发了相关手机应用软件(如“健康码”^[45])。

(3) 基于特殊场所的哨点预警子系统:学校、工厂、临时性大型集会场所人群流量大、密度高,易于呼吸道传染病的快速传播流行,是呼吸道传染病流行的高发区域。有研究者总结了学生出勤登记数据和流感的相关性,发现基于特定症状的学生缺勤数据相较传统病例监测能够提前 1~2 周发现流感的暴发,提示此类数据在症状监测中具有潜在应用价值^[46],对该类场所设立独立的传染病预警系统,能够拓宽监测数据渠道,并减少聚集性传播事件的出现。

(4) 基于症候群病原检测数据的新发呼吸道传染病预警子系统:病原检测数据是疾病诊断的“金标准”,基于病原检测数据的预警系统对新发呼吸道传染病的探查具有重要作用,相较于单一疾病病原监测,基于症候群的病原监测网络涵盖的呼吸道传染病种类更为丰富,对新发传染病的探测能力更强。有研究在上海市试点了基于症候群的病原监测模式,成功在急性呼吸道感染症候群中发现了 1 例 H7N9 感染病例^[36],并掌握了病毒优势毒株、病原基因型构成比、人群三间分布等重要信息,为传染病防治策略的制定提供了依据^[35-36]。

四、总结与展望

为提高我国呼吸道传染病监测和预警系统能力水平,大力培养公共卫生优秀人才,加强传染病监测预警体系智能化建设,从国内外传染病监测与预警的历史实践中吸取经验和教训,在我国部分条件具备的地区开展先行试点,评价运行成本并根据实际情况进行改良,积累建设经验并逐步推广至其他地区,实现呼吸道传染病监测和预警综合能力的进步。

1. 改良监测技术,建设高效的呼吸道传染病信息管理平台:我国需要整合利用现有资源,利用电子健康档案和电子病历建立居民监测信息档案,实现监测内容从结果报告向个体化报告转变。另一方面,利用区块链技术搭建呼吸道传染病数据共享

平台,整合构建区域联盟链,实现多种监测系统的有效集成,提高数据质量和监测效率^[47]。

2. 完善监测预警的方法、工具、平台,从上至下培养专门人才和队伍:注重监测和预警渠道创新,提高部门间合作能力和协同性,加强医院、CDC、高校、相关技术部门之间交流沟通,各部门合作搭建跨学科、跨部门的呼吸道传染病防控综合性平台。另一方面,完善基层单位配套设施建设,注重基层工作人员培训,提高我国公共卫生预备人才数量和质量。

3. 拓宽并改进预警信息发布载体,提高信息效能: CDC 需要及时向社会各界传达近期疾病流行趋势和潜在风险,普及相关疾病的防护知识,加强公众防范意识。随着互联网的普及,网络成为公众获取信息的主流载体,但我国传染病预警信息发布网站普及程度有限,建议开设专栏板块,通过新闻播报和网络自媒体等方式及时向社会各界发布传染病防控预警信息,提高公众对呼吸道传染病防控的认知水平,减少潜在的传播风险^[48]。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 马宇航: 论文撰写; 殷一、江欣: 论文修改; 佟训靓、李燕明、王丽萍、冯录召、杨维中: 论文指导; 彭志行: 论文修改、经费支持

参 考 文 献

- Findlater A, Bogoch II. Human mobility and the global spread of infectious diseases: a focus on air travel[J]. *Trends Parasitol*, 2018, 34(9): 772-783. DOI: 10.1016/j.pt.2018.07.004.
- Khan M, Adil SF, Alkhatlan HZ, et al. COVID-19: a global challenge with old history, epidemiology and progress so far[J]. *Molecules*, 2020, 26(1):39. DOI:10.3390/molecules26010039.
- Chang WK. National influenza experience in Hong Kong, 1968[J]. *Bull World Health Organ*, 1969, 41(3):349-351.
- Wei XL, Li LJ, Zhang F. The impact of the COVID-19 pandemic on socio-economic and sustainability[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28(48): 68251-68260. DOI:10.1007/s11356-021-14986-0.
- 杨维中, 兰亚佳, 吕炜, 等. 建立我国传染病智能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. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200722-00972.
Yang WZ, Lan YJ, Lyu W, et al. Establishment of multi-point trigger and multi-channel surveillance mechanism for intelligent early warning of infectious diseases in China[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(11): 1753-1757. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200722-00972.
- 王树坤, 赵世文, 伏晓庆, 等. 传染病暴发或流行的探测、监测和预警[J]. *中华流行病学杂志*, 2021, 42(5):941-947. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20201020-01251.
Wang SK, Zhao SW, Fu XQ, et al. Roles of detection, surveillance and early warning on outbreaks or epidemics of infectious diseases[J]. *Chin J Epidemiol*, 2021, 42(5): 941-947. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201020-01251.
- 杨维中. 传染病预警理论与实践[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- Yang WZ. Early warning of infectious disease theory and practice[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012.
- 赵自雄, 赵嘉, 马家奇. 我国传染病监测信息系统发展与整合建设构想[J]. *疾病监测*, 2018, 33(5):423-427. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2018.05.016.
Zhao ZX, Zhao J, Ma JQ. Conception of an integrated information system for notifiable disease communicable surveillance in China[J]. *Dis Surveill*, 2018, 33(5): 423-427. DOI:10.3784/j.issn.1003-9961.2018.05.016.
- Kulldorff M, Heffernan R, Hartman J, et al. A space-time permutation scan statistic for disease outbreak detection[J]. *PLoS Med*, 2005, 2(3): e59. DOI: 10.1371/journal.pmed.0020059.
- 王大燕. 中国流感监测网络的发展与展望[J]. *中华流行病学杂志*, 2018, 39(8): 1036-1040. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.005.
Wang DY. Development and prospect of influenza surveillance network in China[J]. *Chin J Epidemiol*, 2018, 39(8): 1036-1040. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.005.
- 王宇, 向妮娟, 倪大新, 等. 安徽省两所地市级医院不明原因肺炎监测系统运行情况调查[J]. *疾病监测*, 2017, 32(5): 428-432. DOI:10.3784/j.issn.1003-9961.2017.05.018.
Wang Y, Xiang NJ, Ni DX, et al. Performance of surveillance system of pneumonia with unknown etiology in two hospitals at municipal (prefecture) level in Anhui Province[J]. *Dis Surveill*, 2017, 32(5): 428-432. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2017.05.018.
- Wulandari LPL, Sawitri AAS, Hermansyah A. The potential roles of pharmacy medication sales data to augment the syndromic surveillance system in response to COVID-19 and preparedness for other future infectious disease outbreaks in Indonesia[J]. *Int J Health Plann Manage*, 2022, 37(1):30-39. DOI:10.1002/hpm.3356.
- Bolourani S, Brenner M, Wang P, et al. A machine learning prediction model of respiratory failure within 48 hours of patient admission for COVID-19: model development and validation[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(2): e24246. DOI:10.2196/24246.
- Wang ZX, Ntambara J, Lu Y, et al. Construction of influenza early warning model based on combinatorial judgment classifier: a case study of seasonal influenza in Hong Kong [J]. *Curr Med Sci*, 2022, 42(1): 226-236. DOI: 10.1007/s11596-021-2493-0.
- Bai ZH, Gong Y, Tian XD, et al. The rapid assessment and early warning models for COVID-19[J]. *Virology*, 2020, 35(3):272-279. DOI:10.1007/s12250-020-00219-0.
- 李克莉, 冯子健, 倪大新. 中国突发公共卫生事件发现与报告及时性的研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2009, 30(3):265-268. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2009.03.016.
Li KL, Feng ZJ, Ni DX. Study on the timeliness of detection and reporting on public health emergency events in China [J]. *Chin J Epidemiol*, 2009, 30(3):265-268. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2009.03.016.
- WHO. Early detection, assessment and response to acute public health events: implementation of early warning and response with a focus on event-based surveillance [R]. Geneva: World Health Organization, 2014.
- Shakeri Hossein Abad Z, Kline A, Sultana M, et al. Digital public health surveillance: a systematic scoping review[J]. *NPJ Digit Med*, 2021, 4(1):41. DOI:10.1038/s41746-021-00407-6.
- Keller M, Blench M, Tolentino H, et al. Use of unstructured event-based reports for global infectious disease surveillance[J]. *Emerg Infect Dis*, 2009, 15(5): 689-695. DOI:10.3201/eid1505.081114.
- Li J, Xu Q, Cuomo R, et al. Data mining and content analysis of the Chinese social media platform weibo during the early COVID-19 outbreak: retrospective observational infoveillance study[J]. *JMIR Public Health Surveill*, 2020,6(2):e18700. DOI: 10.2196/18700.
- Ginsberg J, Mohebbi MH, Patel RS, et al. Detecting influenza epidemics using search engine query data[J]. *Nature*, 2009, 457(7232): 1012-1014. DOI: 10.1038/

- nature07634.
- [22] Santangelo OE, Provenzano S, Gianfredi V. Infodemiology of flu: google trends-based analysis of Italians' digital behavior and a focus on SARS-CoV-2, Italy[J]. *J Prev Med Hyg*, 2021, 62(3): E586-591. DOI: 10.15167/2421-4248/jpmh2021.62.3.1704.
- [23] Zhou WW, Zhong LX, Tang XF, et al. Early warning and monitoring of COVID-19 using the Baidu search index in China[J]. *J Infect*, 2022, 84(5): e82-84. DOI: 10.1016/j.jinf.2022.02.002.
- [24] Fang JC, Zhang XY, Tong Y, et al. Baidu index and COVID-19 epidemic forecast: evidence from China[J]. *Front Public Health*, 2021, 9:685141. DOI:10.3389/fpubh.2021.685141.
- [25] Lai SJ, Farnham A, Ruktanonchai NW, et al. Measuring mobility, disease connectivity and individual risk: a review of using mobile phone data and mHealth for travel medicine[J]. *J Travel Med*, 2019, 26(3): taz019. DOI: 10.1093/jtm/taz019.
- [26] Todkill D, Hughes HE, Elliot AJ, et al. An observational study using English syndromic surveillance data collected during the 2012 London Olympics – what did syndromic surveillance show and what can we learn for future mass-gathering events? [J]. *Prehosp Disaster Med*, 2016, 31(6):628-634. DOI:10.1017/S1049023X16000923.
- [27] Berry AC. Syndromic surveillance and its utilisation for mass gatherings[J]. *Epidemiol Infect*, 2018, 147:e2. DOI: 10.1017/S0950268818001735.
- [28] 陈伟, 任翔, 耿梦杰, 等. 现阶段传染病监测预警工作的重点、难点和优化思路[J]. *疾病监测*, 2022, 37(6):730-733. DOI:10.3784/jbjc.202203170107.
- [29] Chen W, Ren X, Geng MJ, et al. Priority, difficulties and optimization ideas of infectious disease surveillance and early warning at present stage[J]. *Dis Surveill*, 2022, 37(6):730-733. DOI:10.3784/jbjc.202203170107.
- [30] Jayatilleke A, Kriseman J, Bastin LH, et al. Syndromic surveillance in an ICD-10 world[J]. *AMIA Annu Symp Proc*, 2014, 2014:1806-1814.
- [31] Hong S, Son WS, Park B, et al. Forecasting hospital visits due to influenza based on emergency department visits for fever: a feasibility study on emergency department-based syndromic surveillance[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(19): 12954. DOI: 10.3390/ijerph191912954.
- [32] Smith S, Morbey R, de Lusignan S, et al. Investigating regional variation of respiratory infections in a general practice syndromic surveillance system[J]. *J Public Health*, 2021, 43(2): e153-160. DOI: 10.1093/pubmed/fdaa014.
- [33] Kim TH, Hong KJ, Shin SD, et al. Forecasting respiratory infectious outbreaks using ED-based syndromic surveillance for febrile ED visits in a Metropolitan City[J]. *Am J Emerg Med*, 2019, 37(2): 183-188. DOI: 10.1016/j.ajem.2018.05.007.
- [34] Jia P, Yang SJ. China needs a national intelligent syndromic surveillance system[J]. *Nat Med*, 2020, 26(7): 990. DOI: 10.1038/s41591-020-0921-5.
- [35] 吴凡. 上海市创新传染病监测模式的实践和思考[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(8):880-882. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.002.
- [36] Wu F. Practice and thinking for the breakthrough of infectious disease surveillance system in Shanghai[J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(8):880-882. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.002.
- [37] 郑雅旭, 陈健, 孔德川, 等. 上海市 2015-2017 年严重急性呼吸道感染住院病例病原学特征分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(8):911-916. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.008.
- [38] Zheng YX, Chen J, Kong DC, et al. Pathogenic characteristics of hospitalized severe acute respiratory infections in Shanghai, China, 2015-2017[J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(8): 911-916. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.008.
- [39] 孔德川, 吴寰宇, 郑雅旭, 等. 上海市 2015-2017 年成年人急性呼吸道感染病例的流行病学和病原学特征分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(8):904-910. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.007.
- [40] Kong DC, Wu HY, Zheng YX, et al. Etiologic and epidemiologic features of acute respiratory infections in adults from Shanghai, during 2015-2017[J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(8): 904-910. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.007.
- [41] 陈健, 郑雅旭, 孔德川, 等. 上海市实施急性呼吸道感染综合监测应对新发呼吸道传染病的实践与思考[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(12):1994-1998. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200421-00616.
- [42] Chen J, Zheng YX, Kong DC, et al. Practice and thinking of acute respiratory infection surveillance for the response of emerging respiratory diseases in Shanghai[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(12):1994-1998. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200421-00616.
- [43] Zwald ML, Lin W, Sondermeyer Cooksey GL, et al. Rapid sentinel surveillance for COVID-19 - Santa Clara County, California, March 2020[J]. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2020, 69(14):419-421. DOI:10.15585/mmwr.mm6914e3.
- [44] Kadjo HA, Ekaza E, Coulibaly D, et al. Sentinel surveillance for influenza and other respiratory viruses in Côte d'Ivoire, 2003-2010[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2013, 7(3): 296-303. DOI: 10.1111/j. 1750-2659.2012. 00389.x.
- [45] Peci A, Winter AL, Li Y, et al. Effects of absolute humidity, relative humidity, temperature, and wind speed on influenza activity in Toronto, Ontario, Canada[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2019, 85(6):e02426-18. DOI:10.1128/AEM.02426-18.
- [46] Ganasegeran K, Jamil MFA, Ch'ng ASH, et al. Influence of population density for COVID-19 spread in Malaysia: an ecological study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(18):9866. DOI:10.3390/ijerph18189866.
- [47] Shen MW, Peng ZH, Xiao YN, et al. Modeling the epidemic trend of the 2019 novel coronavirus outbreak in China[J]. *Innovation*, 2020, 1(3):100048. DOI:10.1016/j.xinn.2020. 100048.
- [48] 张婷, 吴洪涛, 王凌航, 等. 基于情景模拟的新型冠状病毒肺炎医疗资源需求快速评估研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(9): 1390-1395. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200401-00488.
- [49] Zhang T, Wu HT, Wang LH, et al. Scenario-based study of medical resource requirement rapid assessment under the COVID-19 pandemic[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(9): 1390-1395. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200401-00488.
- [50] Li L, Novillo-Ortiz D, Azzopardi-Muscat N, et al. Digital data sources and their impact on people's health: a systematic review of systematic reviews[J]. *Front Public Health*, 2021, 9:645260. DOI:10.3389/fpubh.2021.645260.
- [51] Liang F. COVID-19 and health code: how digital platforms tackle the pandemic in China[J]. *Soc Media Soc*, 2020, 6(3): 2056305120947657. DOI:10.1177/2056305120947657.
- [52] Donaldson AL, Hardstaff JL, Harris JP, et al. School-based surveillance of acute infectious disease in children: a systematic review[J]. *BMC Infect Dis*, 2021, 21(1): 744. DOI:10.1186/s12879-021-06444-6.
- [53] 马家奇, 赵自雄. "十三五"时期中国疾病控制信息化建设成效与展望[J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2021, 18(3): 314-318. DOI:10.3969/j.issn.1672-5166.2021.03.04.
- [54] Ma JQ, Zhao ZX. Progress and prospect of informatization for disease control and prevention during the 13th five-year plan[J]. *Chin J Health Inf Manage*, 2021, 18(3): 314-318. DOI:10.3969/j.issn.1672-5166.2021.03.04.
- [55] 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. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20211105-00856.
- [56] Huang S, Liu CX, Deng Y, et al. Progress in the practice of surveillance and early warning of infectious diseases in major countries and regions[J]. *Chin J Epidemiol*, 2022, 43(4):591-597. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20211105-00856.