

传染病监测预警体系及常用方法

马晓龙¹, 王文青², 张天一², 李林², 冯丹², 刘丽华²

¹解放军总医院卫勤部办公室, 北京 100853; ²解放军总医院医学创新研究部, 北京 100853

摘要: 传染病的监测预警、早期识别、应对处置是全球经久不衰的研究热点。近20年国家传染病预警体系不断完善, 医院传染病预警技术不断发展, 目前传染病预警系统主要分为3类——基于病例监测、基于事件监测、基于症状监测。目前常用的预警技术方法为综合征预警、报告病例数预警、特殊传染病预警、类似事件预警、数据模型预警、新兴技术预警, 但在应对新发突发传染病时效果欠佳。未来要将监测预警与前沿科技深度融合, 不断优化完善监测预警体系和方法, 为高效应对新发突发传染病提供支撑。

关键词: 传染病; 监测; 早期预警; 医院; 公共卫生

中图分类号: R183

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)02-0210-07

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24093004

引用本文: 马晓龙, 王文青, 张天一, 等. 传染病监测预警体系及常用方法 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (2): 210-216.

Early warning system and common methods of early warning technology for infectious disease

MA Xiaolong¹, WANG Wenqing², ZHANG Tianyi², LI Lin², FENG Dan², LIU Lihua²

¹Executive Office of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ²Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: LIU Lihua. Email: Liulihua07@yeah.net

Abstract: The monitoring and early warning of infectious diseases, as well as their timely identification and response, have been hot topics globally for years. Over the past 20 years, the national infectious disease early warning system has been continuously improved, and the infectious disease early warning technology in hospitals has also been constantly developing. Currently, infectious disease early warning systems mainly fall into three categories: those based on case monitoring, those based on event monitoring, and those based on symptom monitoring. The commonly used early warning techniques and methods include syndromic surveillance, case reporting early warning, special infectious disease early warning, similar event early warning, data model early warning, and emerging technology early warning. However, these methods have shown limited effectiveness in responding to newly emerging infectious diseases. In the future, it is necessary to deeply integrate monitoring and early warning with cutting-edge technologies and continuously optimize and improve the monitoring and early warning system and methods to provide effective support for responding to newly emerging infectious diseases.

Keywords: infectious disease; monitoring; early warning; hospital; public health

Cited as: Ma XL, Wang WQ, Zhang TY, et al. Early warning system and common methods of early warning technology for infectious disease [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(2): 210-216.

早发现、早预警是应对新发突发传染病的一个关键策略, 能有效确保相关单位、专业人员以及可能受到影响的人群及时掌握情况, 做好自身防护, 而实现这一策略的核心手段, 就是依靠高效的传染病早期预警^[1]。21世纪以来, 部分发达国家研究建立了传染病预警系统, 或是开发了具有传染病预警分析功能的各类传染病监测系统^[2]。近20年来, 传染病预警理论、模型与系统不断发展,

根据监测数据的不同, 目前传染病预警系统主要分为3类——基于病例监测、基于事件监测、基于症状监测。伴随着互联网、通讯技术和大数据分析技术的蓬勃发展, 特别是以网络搜索、自媒体、移动定位、空间流行病学、人工智能等为代表的新技术, 在疫情分析预测、趋势研判和风险评估中得到广泛应用^[3-7]。关于传染病预警模型、预警系统和预警方法的研究, 在应对新型冠状病毒肺炎(corona virus disease 2019, COVID-19)疫情过程中, 也进入了一个快速发展、不断革新的新阶段, 基于多源大数据的传染病智慧化监测预警机制和平台, 成为当前传染病预警领域研究的热点^[8]。本文就传染病预警技术、体系及预警方法进行综述,

收稿日期: 2024-09-30

基金项目: 省部级课题

第一作者: 马晓龙, 在读博士。Email: maxiaolong@301hospital.com.cn

通信作者: 刘丽华, 博士, 主任医师。Email: Liulihua07@yeah.net

为我国传染病监测体系的建立健全提供参考。

1 近20年国家传染病预警领域的主要突破

1.1 启用传染病监测信息报告管理系统

早在2003年严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)暴发之前,中国疾病预防控制中心(Center for Disease Control and Prevention, CDC)就开展了传染病预警技术的研究,利用移动百分位数法建立了传染病暴发与流行探测方法,SARS之后得到高度重视^[9]。2003年颁布实施的《突发公共卫生事件应急条例》^[10]在应急预案章节内容中,提出了“监测与预警”的工作要求,2004年修订的《中华人民共和国传染病防治法》^[11]第十九条规定“国家建立传染病预警制度”,对预警发出后,政府和卫生部门应履行的职责进行了明确。自此,以医疗机构和疾控机构为重点,我国开始逐步构建覆盖全国的新发突发传染病监测和评价体系^[12]。2004年,正式启用传染病监测信息报告管理系统(National Net Direct Report System, NNDRS),该系统具有信息化、便捷化、全域化的特点,特别是采用网络直报的方式,首次实现了对法定传染病报告的个案电子化,明显提升了报告的及时性和有效性。

1.2 运行国家传染病自动预警信息系统

在主要监测框架体系构建完成后,为了进一步提升基层CDC对法定传染病的早期预警能力,加强对监测数据的分析利用,国家CDC开展了法定传染病暴发早期预警技术的研究,研发了国家传染病自动预警信息系统(China Infectious Diseases Automated-Alert and Response System, CIDARS),

制定全国统一的预警信号响应流程,并于2008年在全国范围内试运行,并于2008年4月在CDC系统内正式投入使用、滚动修订完善^[13]。该系统基于国内庞大的法定传染病监测数据,采用简单、便捷、实用的预警方法,对传染病预警过程中产生的数据信息,进行收集、分析、利用,实现预警信号的自动产生和及时发送。该系统生成的预警信号主要分为两类:(1)对鼠疫、霍乱、肺炭疽等9种甲类或按照甲类管理的疾病、较为罕见或高度关注的传染病,采用固定阈值法实时探测,出现1例病例,预警系统立即发出预警信号;(2)对甲型肝炎、流行性腮腺炎等19种急性传染病,采用移动百分位数法进行每日探测,以县(区)为孔径范围,一段周期内(7 d)的病例数,如果大于历史同期基线数据(3年移动平均值)50百分位数(P_{50})时,将自动发出预警信号。该系统的运行流程有3个步骤,即预警信号发出—预警信号初步核实—现场调查确认^[14]。一旦产生预警信号,则通过手机短信的方式,自动发送给基层CDC负责疫情分析的人员,经过现场核实确认后再通过预警系统进行报告。目前,该系统已在全国各级各类医疗卫生机构中进行部署,覆盖全部的39种法定报告传染病,实现对传染病预警信息的自动收集、快速报告、系统管理和网络存储,为监测数据的高效分析处理,及早发现传染病暴发流行情况奠定了基础^[14-15]。见图1。

通过部署使用NNDRS和CIDARS,很大程度上解决了传染病的信息报告和早期预警问题,为我国稳妥有效做好传染病防控奠定了基础。但客观上讲,该预警系统主要依赖病例数据上报,系

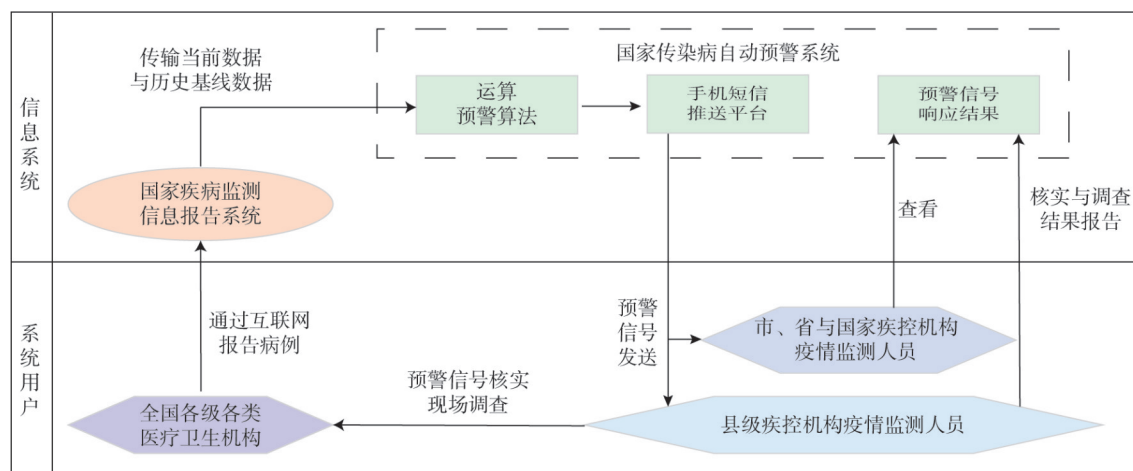


图1 国家传染病自动预警信息系统功能架构

Fig. 1 National automatic early warning information system for infectious diseases

统的效能取决于数据上报的质量。同时，在预警关口、监测技术、数据来源和数据分析上，面对已知传染病的效果远远高于面对未知传染病，尤其是在应对百年不遇的 COVID-19 疫情中，监测预警方面出现了诸多问题^[16]。

1.3 引入时空预警模型

CIDARS 后续又引入了时空预警模型^[17]，具体流程是采用层级上报的方法，由基层卫生单位实时收集、上传、审核传染病信息，上一级机构进行复核。随后，相关数据再由时空预警模型进行分析研判，检查是否存在聚集性的传播可能，如若存在，系统将会发出相应的预警信号，见图 2。由于该系统采用层级上报，必然会出现信号的延迟，这就容易导致预警效率变低、预警时效性不够等问题。时空预警模型对新发突发传染病难以给出有效的预警。与此同时，国际上多位学者提出，进一步加大病例报告数据和症状监测指标在早期预警中的应用，可通过不同空间探测窗口的时空扫描统计量进行时空聚集性分析^[4,18-19]。也有学者将影响传染病流行的气候条件、传播媒介、动物数量、人口流动、经济状况等因素，纳入传染病预警模型中，争取提升预警的准确性。如采用贝叶斯时空回归模型，将影响传染病流行的危险因素和实际数据进行综合分析，以此评估传染病的流行时间和高风险区域，在时空维度上分析传染病的传播风险，可纳入的实际数据，包括医院工作人员的报告、教师或校医的报告、CDC 的疫情监测、家庭或媒体的报告等^[20]。

1.4 构建传染病预警体系

主要由三大核心模块构成——传染病监测、传染病预测和传染病预警。39 种法定报告传染病已全部纳入网络直报系统^[21]。目前，我国基于自身国情，构建了国家、省、市、县、镇五级疾病预防控制网络，并在国家、省及市级的 CDC 建立起三级局域网络，使传染病的预警报告从过去的被动报告转换为主动预警。但还有很多需要完善的地方，如可监测的传染病种类不够全面；受限于临床医师专业能力，对早期传染病的识别判断难度大，“疑似病例”是否需要上报，法律未进行明确要求；以“确诊病例”为监测起点，会导致预警时间滞后，延误疫情防控最佳时机。正是由于这些问题，单纯依靠 CIDARS，很难对新发突发传染病进行早期预警。近年来，特别是经过了 COVID-19 疫情后，很多研究提出建设多点自动触发传染病预警体系的建议^[12,22]。

2 医院传染病预警的主要方法

医院是获得早期病患、病源以及流行病学调查、临床症状表现、实验室检测结果、影像学表现等第一手数据的最佳渠道，在病患与病源的诊断、信息上报、预警应对、临床诊疗等方面发挥着重要作用^[23]。当遇到聚集性疾病、突发性疾病或不明原因的疾病时，医院应该在第一时间进行及时、准确、规范的预警，充分发挥“吹哨人”的作用，这是早期控制疫情传播的关键^[24]。因此，建立一套以大数据为支撑，以智能化信息化为依托，充分发挥政府、CDC、医院、社区多方联动

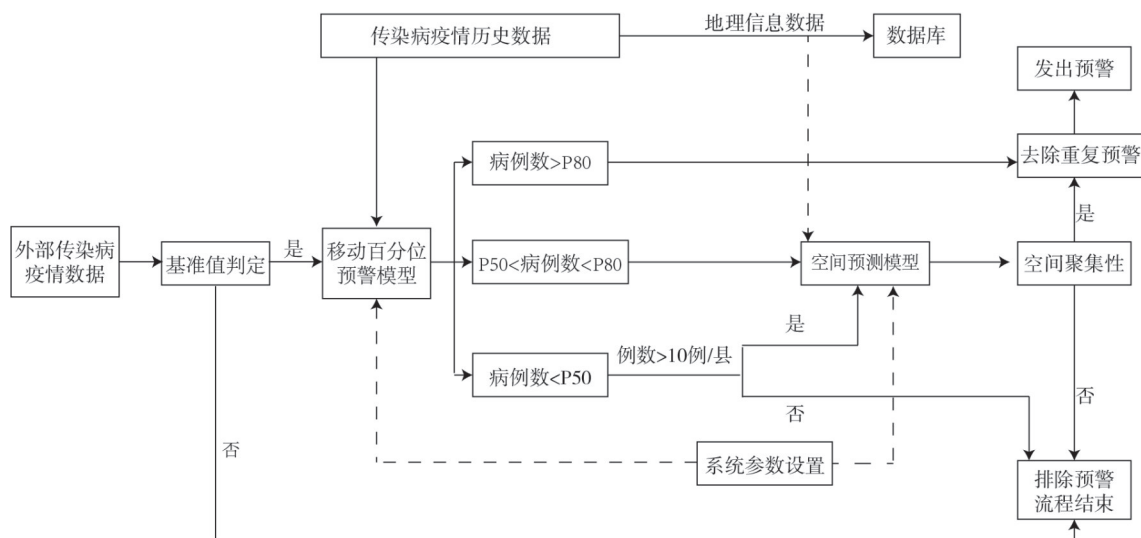


图 2 基于时空模型的传染病预警流程

Fig. 2 The early warning process of infectious diseases based on space-time model

效能的新发突发传染病识别、预警、应对和防控管理系统就显得十分必要^[25]。

新发突发传染病暴发频率的快速上升,迫使传染病预警系统不断发展,国内医院在如何快速有效、安全有序地开展新发突发传染病的预警、治疗、防控及管理等方面,开展了大量研究,取得了丰硕成果。在监测方法上,主要有基于非特异性综合征开展的症状监测,基于患者基本信息、症状体征、临床诊断、检验结果开展的临床异常病例事件监测,通过这些方法不断扩大监测范围,弥补传统监测病例不足的问题,不断提高新发突发传染病监测的敏感性^[24]。除了监测方法外,准确便捷的信息采集与数据共享、科学实用的预警技术、及时灵敏的监测指标、系统高效的预警体系与决策系统,都是实现新发突发传染病预警的关键^[26-27]。目前医院常用的传染病预警方法如下。

2.1 综合征预警

医院对新发突发传染病早期监测,主要是基于综合征进行,也被称为症状监测。这种监测是在临床明确诊断前,通过持续收集与疾病相关的资料,包括院前急救转运途中,救护车上采集的患者生命体征、症状及处置记录等;急诊分诊采集的患者信息、急诊医师接诊过程中采集的患者主诉、症状体征信息;临床实验室送检标本及其检测结果,影像学检查结果,药物处方等;学校缺课或企业、单位缺勤信息等。通过对这些与疾病有直接关联的信息进行科学分析,以此提出公共卫生调查或干预措施^[28]。综合征预警的主要优势在于能早期识别并发出预警信号,同时也包含“征兆预警”的内容^[29]。目前,全球范围内开展的流感监测就是一种典型的综合征预警。美国综合征检测系统,在“白色粉末”生物恐怖和SARS病例早期预警过程中发挥了重要作用^[30],核心就是通过及时收集和分析连锁药店药品销售量、急救车派送量、临床实验室检测资料等信息,来提升发现和识别突发公共卫生事件的能力^[31]。美国炭疽生物恐怖事件后,越来越多的国家和地区开始探索并建立灵敏、高效、全维的症状监测系统,通过数据自动提取技术,从医疗机构实时收集具有传染病症状的病例信息,以此来提高信息收集和报告的时效性^[32]。国际新发传染病监测协会建立了新发传染病监测系统,世界卫生组织建立了全球卫生情报网络,两者均大量采用互联网信息开展综合征监测,在全球范围内对新发突发传染

病进行预警^[33]。

2.2 报告病例数预警

对于某些流行范围广或流行时间长的传染病,如流行性感、麻疹等,可开展基于报告病例数的预警,这种预警主要是通过分析病例数在空间、时间维度上的异常变化,采用流行因素监测,以此启动控制措施。这种监测技术的关键在于确定科学合理的预警阈值并进行动态调整。

2.3 特殊传染病预警

我国对甲类传染病、列入乙类但按照甲类管理的传染病,或突发传染病原因不明的,不论例数,只要发现就必须上报并发出预警。

2.4 类似事件预警

当某一区域内发生中毒、传染病等突发公共卫生事件后,应立即向有可能发生类似事件的临近区域、关联区域进行预警。如一个居民区发生聚集性流感事件后,应立即向相邻的居民区发出预警。这种预警的核心是以事件本身为评判,根据事件趋势及潜在影响来确定预警范围。

2.5 数据模型预测

这种预警主要依靠信息技术的优势,通过建立数据模型来进行,更便捷、客观、高效。根据方法分类,主要有统计学方法、数学方法、物理学方法、大数据分析等方法。通过监测资料分类,主要有病例资料、症状资料、环境资料、时空资料、病原学资料和互联网大数据资料等。常用的模型主要有单一预警模型、空间模型、数学模型、组合预警模型^[34]。常用的监测资料主要有病例资料、症状资料、环境资料、病原学资料、互联网大数据资料^[34]。

传染病预警模型应用示例包括模型相关数据量的时间序列图^[35]、传染病相关指标动态情况与公共卫生控制措施的关系^[36]、病原体的时空分布特征^[37]、模型预测传染病生态位分布及风险评估^[38]、传染病原种类矩阵^[39]等,宋世鸿等^[40]总结了常用传染病预警模型及其适用场景,见表1。

2.6 新兴技术预警

COVID-19暴发期间,大数据、人工智能、云计算等技术被广泛应用于传染病预警、预测、防控中,充分发挥了新兴技术在疫情防控、政民互动与社会维稳中的积极作用,为全球性公共卫生危机治理提供了思路和策略^[41]。新一代信息技术包括信息的可视化展示,如电子化地图技术中的统计地图方法、图文显示方法、路径规划方法等;

表 1 常用传染病预警模型
Tab. 1 Common infectious disease early warning models

分类	名称	特点	应用
时间预警模型	移动百分位数法(MPM)	用图表示传播趋势,易于理解	深圳结核疫情预警模型
	ARIMA-SVM混合模型	可以消除周期性和季节性波动,预警准确性高,对数据要求高	伊朗布鲁氏菌病预警模型
	回归模型	将各种因素作为监测数据,预警准确性高,适合小区域预警	武汉市新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情发病趋势预测模型;墨西哥 COVID-19 疫情时期死亡率影响因素分析
	马尔可夫链(MC)	区间预测,准确度高,使用时要保证外部条件稳定	海军疟疾预警模型
空间预警模型	灰色模型(GM)	原始数据要求不高,不适合做长期预测	四川省肺结核预测模型
	空间扫描统计量	区域动态变化,预警准确性高,对传播方式特殊的传染病预警有局限性	美国西尼罗病毒预警模型
时空预警模型	前瞻性时空重排扫描统计量	预警包括时间和空间特征信息,无法预警单纯时间聚集性传染病	美国 COVID-19 监测模型
	贝叶斯时空模型	对于小样本资料预测更准确,允许存在时空交互作用和过离散现象,确定先验信息比较复杂	澳大利亚百日咳影响因素分析
	Knox 方法	预警传染病的时空聚集性,针对新发传染病预警准确性低	北京市流行性脑脊髓膜炎预警模型
监督学习模型	人工神经网络(ANN)	非线性拟合能力良好,但解释能力不足	墨西哥和波多黎各登革热预测模型
	随机森林(RF)	运算速度快,能体现变量之间的交互作用,应用于不平衡数据时效能会降低	马来西亚登革热预测模型 谷歌流感预测模型
	卷积神经网络(CNN)	自动提取目标特征,占用大量内存、耗能高	基于 CNN 的结核病预警模型 ANN 与 CNN 结核病组合预警模型
	循环神经网络(RNN)	所需参数量较少,梯度间的传递性不高	北京市流感预测模型 四川省疾病预防控制中心乙类传染病预测模型
无监督学习模型	K-means 聚类算法	聚类速度快、易于理解,对 K 值的依赖较大	内罗毕市流感和上呼吸道感染疾病预测模型 基于社交媒体数据的新发传染病识别模型

区块链技术,借鉴利用其去中心化、防篡改、可追溯等优势,如联盟技术、智能合约等^[42];人工智能技术,如 LSTM 模型、轨迹跟踪、PCA + GRU 模型、循环神经网络等;物联网技术,如通过大数据分析疫情传播路径,运用人工智能技术,设计疫情发展预测模型,构建电子化健康评估系统,以便协助政府部门全面掌握公众健康情况。

3 问题与展望

目前,传染病预警模型研究中,大多都以病例、症状等作为预警模型的底层逻辑和实施监测的资料来源,多数采用统计学方法、数学方法或物理学方法。现有传染病预警模型,对于传统传染病,如流行性腮腺炎、手足口病、结核病等,预警效果较好,但对于新发突发传染病的预警效果欠佳,主要原因:(1)数据填报人员的重视程度不够;(2)受到数据及时性、准确性、敏感性和数据类型局限性的影响;(3)数据格式标准化程度不够规范;(4)多源数据不能实现共享互用^[34]。

在近 20 年的发展中,我国初步构建了务实高效、科学合理的传染病监测系统、模型和技术方法,并在实践中得到了很好的检验,有效提升了传染病应对效能,为稳妥高效做好公共卫生事件应对提供了支撑。但我们也要清醒地看到,随着新一代科学技术的广泛应用,特别是大数据、5G 远程、人工智能、虚拟现实技术的快速发展,必将推动传染病预警模型和预警方法的快速革新,传染病预警体系和预警模式也将取得新的进步。新发突发传染病威胁日益增加,不仅危害人类生命健康,更成为生物安全的重大威胁,未来要更加重视传染病监测预警工作,将监测预警与前沿科技深度融合,优化完善传染病监测预警体系和方法,在时效性、准确性、智能性、便捷性等方面寻求新的突破。

作者贡献 马晓龙: 论文撰写; 王文青、张天一、刘丽华: 审读和修订; 李林、冯丹: 监督指导。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- Oeschger TM, McCloskey DS, Buchmann RM, et al. Early warning diagnostics for emerging infectious diseases in developing into late-stage pandemics [J]. *Acc Chem Res*, 2021, 54 (19): 3656-3666.
- Du XL, Zhao XR, Gao H, et al. Analysis of monitoring, early warning and emergency response system for new major infectious diseases in China and overseas [J]. *Curr Med Sci*, 2021, 41 (1): 62-68.
- Odhambo JN, Kalinda C, Macharia PM, et al. Spatial and spatio-temporal methods for mapping malaria risk: a systematic review [J]. *BMJ Glob Health*, 2020, 5 (10): e002919.
- Hohl A, Delmelle EM, Desjardins MR, et al. Daily surveillance of COVID-19 using the prospective space-time scan statistic in the United States [J]. *Spat Spatiotemporal Epidemiol*, 2020, 34: 100354.
- Takahashi K, Shimadzu H. Detecting multiple spatial disease clusters: information criterion and scan statistic approach [J]. *Int J Health Geogr*, 2020, 19 (1): 33.
- Shariati M, Mesgari T, Kasraee M, et al. Spatiotemporal analysis and hotspots detection of COVID-19 using geographic information system (March and April, 2020) [J]. *J Environ Health Sci Eng*, 2020, 18 (2): 1499-1507.
- Saffary T, Adegboye OA, Gayawan E, et al. Analysis of COVID-19 cases' spatial dependence in US counties reveals health inequalities [J]. *Front Public Health*, 2020, 8: 579190.
- Lai SJ, Ruktanonchai NW, Carioli A, et al. Assessing the effect of global travel and contact restrictions on mitigating the COVID-19 pandemic [J]. *Engineering (Beijing)*, 2021, 7 (7): 914-923.
- 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.
- 突发公共卫生事件应急条例 [J]. *中国实用乡村医生杂志*, 2004, 11 (1): 16-19.
- 中华人民共和国传染病防治法 [EB/OL]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/238/202001/t20200122_304251.html.
- 王卓然, 李明德, 蒋慧莉, 等. 我国突发公共卫生事件应急防控体系建设研究 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23 (5): 18-23.
- 杨维中, 邢慧娴, 王汉章, 等. 七种传染病控制图法预警技术研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2004, 25 (12): 1039-1041.
- 杨维中, 李中杰, 王劲峰, 等. 急性传染病预警技术体系的建立与应用 [EB/OL]. <https://d.wanfangdata.com.cn/cstad/1700350294>.
- Xiang NJ, Song Y, Wang Y, et al. Lessons from an active surveillance pilot to assess the pneumonia of unknown etiology surveillance system in China, 2016: the need to increase clinician participation in the detection and reporting of emerging respiratory infectious diseases [J]. *BMC Infect Dis*, 2019, 19 (1): 770.
- 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.
- Yang WZ, Li ZJ, Lan YJ, et al. A nationwide web-based automated system for outbreak early detection and rapid response in China [J]. *Western Pac Surveill Response J*, 2011, 2 (1): 10-15.
- 鲁琴宝, 吴昊澄, 丁哲渊, 等. 浙江省传染病时空模型探测暴发疫情的效果评价 [J]. *实用预防医学*, 2024, 31 (2): 152-155.
- Xue MJ, Huang ZW, Hu YD, et al. Monitoring European data with prospective space-time scan statistics: predicting and evaluating emerging clusters of COVID-19 in European countries [J]. *BMC Public Health*, 2022, 22 (1): 2183.
- Xiong L, Hu PY, Wang HC. Establishment of epidemic early warning index system and optimization of infectious disease model: Analysis on monitoring data of public health emergencies [J]. *Int J Disaster Risk Reduct*, 2021, 65: 102547.
- 凌玉环, 薛俊军, 王存慧, 等. 危机管理视角下医院层面新发重大传染病预警体系构建的思考 [J]. *中国医院管理*, 2020, 40 (11): 6-9.
- 王卓怡, 韩蕾, 胡美荣, 等. 我国重大传染病疫情预警体系的问题与对策综述 [J]. *中国医学伦理学*, 2023, 36 (11): 1231-1237.
- 张旭东. 医院视角下新发重大传染病监测预警及防控对策探讨 [J]. *中国医疗管理科学*, 2020, 10 (3): 29-33.
- 王宁, 燕芳红, 余东立, 等. 医院在新发重大传染病预警管理方面存在的问题及对策 [J]. *中国医疗管理科学*, 2021, 11 (5): 23-27.
- 丁秀芳, 周晟芳, 赵世初, 等. 老年医院重大传染病监测、预警和应对平台研究 [J]. *中华老年医学杂志*, 2021, 40 (10): 1260-1264.
- Hao RZ, Liu YQ, Shen WZ, et al. Surveillance of emerging infectious diseases for biosecurity [J]. *Sci China Life Sci*, 2022, 65 (8): 1504-1516.
- Baharom M, Ahmad N, Hod R, et al. Dengue early warning system as outbreak prediction tool: a systematic review [J]. *Risk Manag Healthc Policy*, 2022, 15: 871-886.
- Vicari AS, Olson D, Vilajeliu A, et al. Seasonal influenza prevention and control progress in Latin America and the Caribbean in the context of the global influenza strategy and the COVID-19 pandemic [J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2021, 105 (1): 93-101.
- Williams B. The national early warning score: from concept to NHS implementation [J]. *Clin Med (Lond)*, 2022, 22 (6): 499-505.
- Foldy SL, Barthell E, Silva J, et al. SARS Surveillance Project: Internet-enabled multiregion surveillance for rapidly emerging disease [J]. *MMWR Suppl*, 2004, 53: 215-220.
- 马宇航, 殷一, 王凯, 等. 传染病多阶段、多场景监测预警多样化方法体系的研究与思考 [J]. *中华预防医学杂志*, 2023, 57 (10): 1529-1535.
- Rolland C, Lazarus C, Giese C, et al. Early detection of public health emergencies of international concern through undiagnosed disease reports in ProMED-mail [J]. *Emerg Infect Dis*, 2020, 26 (2): 336-339.
- Ricks PM, Njie GJ, Dawood FS, et al. Lessons learned from CDC's global COVID-19 early warning and response surveillance system [J]. *Emerg Infect Dis*, 2022, 28 (13): S8-S16.
- 袁方, 任海玲, 赵梦, 等. 我国传染病预警监测模型研究进展综述 [J]. *价值工程*, 2023, 42 (33): 162-165.
- Díaz F, Henríquez PA, Winkelried D. Heterogeneous responses in Google Trends measures of well-being to the COVID-19 dynamic quarantines in Chile [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 14514.
- Zhao L, Feng D, Ye RZ, et al. Outbreak of COVID-19 and SARS in mainland China: a comparative study based on national surveillance data [J]. *BMJ Open*, 2020, 10 (10): e043411.
- Wang LP, Zhou SX, Wang X, et al. Etiological, epidemiological, and clinical features of acute diarrhea in China [J]. *Nat Commun*, 2021, 12 (1): 2464.
- Sun YQ, Chen JJ, Liu MC, et al. Mapping global zoonotic niche and interregional transmission risk of monkeypox: a retrospective observational study [J]. *Global Health*, 2023,

- 19 (1): 58.
- 39 Zhang YY, Sun YQ, Chen JJ, et al. Mapping the global distribution of spotted fever group rickettsiae: a systematic review with modelling analysis [J]. *Lancet Digit Health*, 2023, 5 (1): e5-e15.
- 40 宋世鸿, 刘高天, 程少华, 等. 传染病预警模型应用及发展 [J]. *武汉大学学报 (医学版)*, 2023, 44 (5): 628-634.
- 41 戴新月. 社会、心理、话语: 新冠肺炎疫情初期的河南基层风险沟通 [J]. *河南大学学报 (社会科学版)*, 2020, 60 (3): 26-39.
- 42 李道兴, 李元诚, 刘海青. 一种基于联邦学习与区块链的传染病预警模型 [J]. *自动化技术与应用*, 2022, 41 (5): 53-56.

(责任编辑:孟晓彤)

(上接第178页)

- 9 Zhou RS, Zhou RW, Wang S, et al. Power-to-chemicals: low-temperature plasma for lignin depolymerisation in ethanol [J]. *Bioresour Technol*, 2020, 318: 123917.
- 10 Laroussi M. Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma [J]. *IEEE Trans Plasma Sci*, 1996, 24 (3): 1188-1191.
- 11 Guo P, Liu Y, Li J, et al. A novel atmospheric-pressure air plasma jet for wound healing [J]. *Int Wound J*, 2022, 19 (3): 538-552.
- 12 Bernhardt T, Semmler ML, Schäfer M, et al. Plasma medicine: applications of cold atmospheric pressure plasma in dermatology [J/OL]. <https://doi.org/10.1155/2019/3873928>.
- 13 陈绪松. 低温等离子体灭活金黄色葡萄球菌生物膜及其抗感染效果研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017.
- 14 Goswami AG, Basu S, Banerjee T, et al. Biofilm and wound healing: from bench to bedside [J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28 (1): 157.
- 15 朱育攀. 大气压低温等离子体对金黄色葡萄球菌的杀菌效应研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- 16 Everett MJ, Davies DT. Pseudomonas aeruginosa elastase (LasB) as a therapeutic target [J]. *Drug Discov Today*, 2021, 26 (9): 2108-2123.
- 17 Hu SH, Ye XD, Cai QC, et al. Study on inactivation effects and regeneration inhibition mechanism of atmospheric-pressure helium plasma jet on Acinetobacter baumannii biofilm [J]. *IEEE Trans Plasma Sci*, 2021, 49 (1): 307-316.
- 18 陈小楠, 申元娜, 李彭宇, 等. 细菌生物膜的特征及抗菌生物膜策略 [J]. *药学报*, 2018, 53 (12): 2040-2049.
- 19 Bilton D, Pressler T, Fajac I, et al. Amikacin liposome inhalation suspension for chronic Pseudomonas aeruginosa infection in cystic fibrosis [J]. *J Cyst Fibros*, 2020, 19 (2): 284-291.
- 20 王宇航. 铜绿假单胞菌耐药情况分析及其生物被膜感染治疗方案研究 [D]. 北京: 解放军医学院, 2022.
- 21 Ma LZ, Wang D, Liu YW, et al. Regulation of biofilm exopolysaccharide biosynthesis and degradation in Pseudomonas aeruginosa [J]. *Annu Rev Microbiol*, 2022, 76: 413-433.
- 22 王国旗, 唐佩福. 细菌生物膜特征及治疗的研究进展 [J]. *解放军医学院学报*, 2018, 39 (2): 168-171.
- 23 Wagener BM, Hu RH, Wu SW, et al. The role of Pseudomonas aeruginosa virulence factors in cytoskeletal dysregulation and lung barrier dysfunction [J]. *Toxins (Basel)*, 2021, 13 (11): 776.
- 24 Cigana C, Castandet J, Sprynski N, et al. Pseudomonas aeruginosa elastase contributes to the establishment of chronic lung colonization and modulates the immune response in a murine model [J]. *Front Microbiol*, 2021, 11: 620819.
- 25 Cui TT, Yu JF, Wang CF, et al. Micro-gel ensembles for accelerated healing of chronic wound via pH regulation [J]. *Adv Sci (Weinh)*, 2022, 9 (22): e2201254.
- 26 Wallace LA, Gwynne L, Jenkins T. Challenges and opportunities of pH in chronic wounds [J]. *Ther Deliv*, 2019, 10 (11): 719-735.
- 27 Jannatifar R, Parivar K, Roodbari NH, et al. Effects of N-acetyl-cysteine supplementation on sperm quality, chromatin integrity and level of oxidative stress in infertile men [J]. *Reprod Biol Endocrinol*, 2019, 17 (1): 24.
- 28 Gong Y, Luo S, Fan P, et al. Growth hormone activates PI3K/Akt signaling and inhibits ROS accumulation and apoptosis in granulosa cells of patients with polycystic ovary syndrome [J]. *Reprod Biol Endocrinol*, 2020, 18 (1): 121.
- 29 Oehmigen K, Hahnel M, Brandenburg R, et al. The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids [J]. *Plasma Process Polym*, 2010, 7: 250-257.
- 30 Jeppesen JS, Caldwell HG, Lossius LO, et al. Low energy availability increases immune cell formation of reactive oxygen species and impairs exercise performance in female endurance athletes [J]. *Redox Biol*, 2024, 75: 103250.
- 31 Lee KJ, Son BK, Kim GH, et al. Randomised phase 3 trial: tegoprazan, a novel potassium-competitive acid blocker, vs. esomeprazole in patients with erosive oesophagitis [J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2019, 49 (7): 864-872.
- 32 Azam MW, Khan AU. Updates on the pathogenicity status of Pseudomonas aeruginosa [J]. *Drug Discov Today*, 2019, 24 (1): 350-359.
- 33 Li QQ, Mao S, Wang H, et al. The molecular architecture of Pseudomonas aeruginosa quorum-sensing inhibitors [J]. *Mar Drugs*, 2022, 20 (8): 488.
- 34 Solano C, Echeverez M, Lasa I. Biofilm dispersion and quorum sensing [J]. *Curr Opin Microbiol*, 2014, 18: 96-104.

(责任编辑:孟晓彤)