

·综述·

传染病暴发或流行的探测、监测和预警

王树坤¹ 赵世文¹ 伏晓庆¹ 孟银平² 张勇¹ 罗春蕊¹ 周永明¹ 宋志忠¹¹云南省疾病预防控制中心急性传染病防制所,昆明 650022; ²大理大学公共卫生学院,大理 671000

王树坤与赵世文对本文有同等贡献

通信作者:宋志忠, Email:song1208@126.com

【摘要】 传染病继续成为全球发病死亡主要原因之一,影响公众健康生命、社会经济发展甚至国家安全。早期探测重点是及时、敏感地发现传染病暴发流行异常信息,并进行现场调查和核实,也是有效监测、预警系统的前期;有效监测、预警系统能够全面准确地认识特定传染病暴发流行可能发生的事实条件、驱动因素和传播链,并提出科学有效预防控制策略措施;因衡量收集具体数据的资源支撑和价值大小,难以及时、完整、准确地获得流行病学、病原学等数据信息。本文综述传染病早期探测、有效监测、有效预警理论技术,整合利用中国有效传染病监测预警体系和多时空节点触发与多学科渠道监测暴发流行情况、病因、风险、过程和驱动因素的多源数据,构建运行敏感特异、分期度量的中国(急性)传染病监测、预警和响应创新技术体系,为加强新发重大传染病和传染病突发公共卫生事件监测预警、避免应对不力传染病蔓延与防止过度响应资源浪费提供依据。

【关键词】 传染病; 早期探测; 监测系统; 预警系统

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX10103010,2012ZX10004201)

Roles of detection, surveillance and early warning on outbreaks or epidemics of infectious diseasesWang Shukun¹, Zhao Shiwen¹, Fu Xiaoqing¹, Meng Yinping², Zhang Yong¹, Luo Chunrui¹, Zhou Yongming¹, Song Zhizhong¹¹Acute Infectious Disease Prevention and Control Institute, Yunnan Center for Disease Control and Prevention, Kunming 650022, China; ²School of Public Health, Dali University, Dali 671000, China

Wang Shukun and Zhao Shiwen contributed equally to the article

Corresponding author: Song Zhizhong, Email:song1208@126.com

【Abstract】 Infectious diseases are still one of the leading causes of morbidity and death globally, affecting public health and life, social and economic development, and even national security. Early detection focuses on detecting the abnormal information of infectious disease outbreaks or epidemics in a timely and sensitive way to conduct field investigation and verification. It is also a precursor to effective surveillance and early warning system. The effective surveillance and early warning system can fully and accurately understand the real conditions, driving forces, and transmission chain of the occurrence of a specific infectious disease outbreak and epidemic and put forward scientific and effective prevention and control strategies and measures. Due to the measurement of the resources support and the particular data collection value, it is not easy to obtain epidemiological, etiological, and other data information in a timely, complete and accurate manner. This paper summarized the theory and technology on early detection, effective surveillance, and early warning information on infectious diseases. It also integrated and utilized the multi-source data, including effective infectious disease surveillance and the country's early warning system, to better understand the outbreak epidemic, causes, risks, processes, and driving forces. Thus, it is

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201020-01251

收稿日期 2020-10-20 本文编辑 斗智

引用本文: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.



possible to set up a sensitive, specific staging measurement innovative technical system to monitor, early warning, and timely respond to acute infectious diseases through multidisciplinary cooperation in China. It provides the basis for strengthening the surveillance and early warning of new emerging and major infectious diseases and public health emergencies, avoiding the spread of inadequate response to infectious disease, and preventing the resources waste of over-response.

【Key words】 Infectious diseases; Early detection; Surveillance system; Warning system

Fund programs: National Science and Technology Major Project of China (2017ZX10103010, 2012ZX10004201)

传染病继续成为世界各国发病死亡主要原因之一,影响公众生命健康、社会经济发展甚至国家安全,新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎)、埃博拉病毒病、甲型 H1N1 流感、甲型 H7N9 人禽流感、鼠疫、霍乱等新发重大传染病影响更为突出;新冠肺炎国际关注公共卫生事件还在传播蔓延,还在影响全球国家安全,还在改变、扰动世界格局,成为过去、现在和未来震惊民众和协同应对的挑战,引起全球专家官员对传染病监测预警、预防为主、病原检测、防控策略、应对处置、防治资源、法律法规防控体系现代化建设问题的广泛关注^[1-6]。国际社会继续承担缓解应对传染病危机、暴发的高额成本,尽管中国、美国、英国等通过电子疾病数据信息、病原体核酸检测等高通量试验技术强化现有传染病监测、预警和响应系统,并开发实施及时接收疾病个案、提高数据预测值、降低预测阈值评价工具等探测暴发流行新系统,还重视疾病个案报告审查、累积聚集病例报告、暴发模式标志识别、早期意味暴发新型数据(保健品采购、旷工旷课、聚餐会议、人口迁移、症状监测)接收,也确定了公共卫生监测的病例检测干预、疾病伤害影响、疾病分布传播、防治措施评价等功能,然而,现有强化新系统无论通过疾病报告、相差检测分析或利用暴发早期迹象监测,对传染病早期发现与暴发过程和暴发应对的敏感性、特异性、科学性、有效性难以度量,仍然没有能够及时准确地了解传染病暴发或流行情况、暴露、来源、病因、风险、过程和驱动因素的通用标准传染病探测、监测、预警体系,主要因为支撑相应体系运行的多时空节点、多学科渠道数据信息非常有限而使得相应过程复杂化,也许没有暴发流行过程分期度量的创新技术,也许考量收集利用具体数据信息的资源价值,也许没有发现报告责任人的真正激励^[4-14]。按照我国传染病防治法、突发事件应对条例、生物安全条例和 WHO、世界动物卫生组织(OIE)、联合国粮农组织(FAO)的要求,不但要规范诊断报告已知、未知传染病,还必须建立运行监测预警机制;传染病探测、监测、预警已经成为全球防止暴发流行与减少危害的重要科技问题以及全球公共卫生安全的重要组成部分,完善修订相关概念、理论、技术、指标、准则并提出创新技术体系具有重要实践意义^[6,9-12]。

一、早期探测和有效监测预警

1. 基本概念和数据信息类型:传染病探测、监测和预警是指医疗卫生机构等持续收集、核查、分析传染病在人群中发生、发展、分布及其影响因素的数据信息,尽早发现传染病发生条件、病例数增加、聚集性病例出现等异常信息,调

查研究暴发流行风险并采取行政、技术、社会应对措施以避免疫情发生或减少危害程度;早期探测指在传染病暴发尚未发生和暴发起始期及时从驱动传染病发生和病原体传播环境变化、病例发现、病例数增加、聚集病例出现等一系列复杂因素中探测暴发或流行异常信息(人群聚集、人口迁移等前置条件和疑似聚集病例与暴发苗头事件);有效监测和有效预警通常在早期探测阶段难以完成,需要进行现场调查、实验室检测和多时空节点与多学科渠道监测的分析研究,以全面准确地认识暴发或流行事实条件、危险因素、驱动因素、传播链、病原体变异,提出科学、精准、高效防控策略措施,有效预警还包括政府主导、风险评估、决策制定和公众交流等^[9-12]。

传染病数据信息种类决定探测、监测、预警效果,医学是将自然、社会和人文学科结合起来构成维护人类健康与生命的多学科知识技术体系;人群因素是社会、政治、经济、人文因素,病原体因素是微生物学、生理学与环境科学因素,人群与病原体共性因素是遗传学、生物学、传染病学和生态学因素。把以上复杂因素划分为环境卫生学观察、流行病学监测、病例环境病原学与微生物学监测、病例调查处理和暴发流行调查应对 5 个数据信息类型,相应数据信息类型在一定程度上依次表现暴发进程阶段性、流行病学关联性和预测确定性的递进差异;探测预警传染病暴发流行固有矛盾是获得数据信息类型需要越多前置时间,就意味着其较小预测确定性价值^[9-12]。

2. 数字技术检测和暴发监测分期:收集分析传染病发生条件、发病率、聚集性、病原学、时空传播等数据信息的数字技术检测能改进传染病探测、监测和预警,缩短发现暴发流行时间的关键是及时监测能把数字噪声(非传播链驱动因素的其他共存因素)分离的发生条件、驱动因素和传播链。传染病暴发流行传播链驱动因素谱(数字驱动信号)包括传染源、污染源、传播途径、传播链、人群敏感性;传染病监测预警技术是设计用于检测驱动因素数据流和确定传播链的标准方法,并基于驱动因素、传播链实施资源分配和干预;提供传染病病例与病原体传播时间变化数字检测真实病例、数字病例、数字驱动、数字噪声 4 个变量和暴发流行起始期(B 点前)、前期(BC 点间)、后期(CD 点间)、平稳期(DE 点间)和下降期(E 点后)因果关系链概念模式图或趋势图,同源暴发、同源持续暴发、连续传播性流行和混合暴发流行日、周、月传染病病例数直方图会呈现波动性变化,需要特别指出关键时空节点 A、B、C、D 往往为非具体坐标点

的趋势性范围,其预测确定性分别为低、中、高、极高,预测确定性价值分别为大、中、小、极小;流行曲线的B、D点分别接近凹型曲线OBC和凸型曲线CDE的顶点,C点接近同源暴发病例数变化拐点(曲线OBC、CDE的交点),自原点O向右分别经历病例数增加速度延迟缓和、由小变大、由大变小、趋于平稳、负数增长的阶段性趋势,力求在流行曲线C/ t_0 点向左阶段确定暴发驱动因素或传播链; B/t_1 、 C/t_0 、 D/t_2 分别是病例数快速增长的起点、拐点和终点, $t_1 \sim t_2$ 期是减少单位时间病例数、压低流行高峰、缩短暴发时期、降低罹患率的关键控制期,争取在 t_0 前实施积极人口管理和反应性紧急干预以阻断传播链或消除驱动因素,最大限度地改变病原体传播的危险进程,最大限度保护人民生命安全和身体健康;早期探测、有效监测、有效预警起始点都为暴发流行过程开始点,早期探测结束点是流行曲线病例数增长起始期终点(B点),有效监测、有效预警结束点都是病例数增长后期终点(D点),D点后才确定发生条件、驱动因素、传播链就属于延迟性监测和延迟性预警(图1)^[9-17]。尽管因为呼吸道、肠道、虫媒传染病的传染源、病原体、污染源、传播途径、传播链等差异而在探测、监测和预警相关数据信息方面有许多不同,但它们的暴发类型都会有同源暴发、同源持续暴发、连续传播性流行和混合暴发流行,也会出现以上几类暴发类型的典型流行曲线,显然传染病流行曲线、流行过程、流行规律都会受到监测、预警、响应程度的影响,以美国、中国新冠肺炎流行曲线和防控绩效为例,美国2020年1月21日至12月15日报告确诊病例数突破1 650万、死亡病例数超30万(<https://www.coronavirus.gov>),其流行曲线还处在类似本文图1的C点期(病例数增加速度接近最大极值的最糟糕日子),还难以估计何时进入图1下降期,每增加100万确诊病例的时间依次为99、43、28、15、17、22、25、21、14、10、6、6、6、6、5、5 d,病例数、死亡数继续呈指数级上升趋势的疫情失控状态;我国截至12月15日累积报告确诊病例数不到9.6万,死亡病例数少于0.5万,全国各省市流行曲线都表现较低流行峰和较短流行峰期,大多数疫情县较低流行峰

和较短流行峰期最大极值都是1个病例,整体做到了早期探测、有效监测、有效预警和有效响应,自今年5月以来全国每日新增确诊病例数<30例,进入严格防控境外输入病例、境外冷冻食品污染、医疗卫生机构感染传播以及社区传播的疫情可控阶段;美国和中国新冠肺炎探测、监测、预警和响应呈现巨大差异的主要原因是政府主导、部门联动、依靠科学、社会防控执行程度不同,具体原因是积极发现隔离病例感染者、追踪隔离密切接触者、限制局部地区人员流动、管控所有风险点源头和维持居民口手卫生与社交距离策略措施不同^[4-6,15-17]。

二、监测系统

1. 中国法定传染病报告信息系统:我国依法建立权责明确、程序规范、执行有力的传染病防控机制,明确中央和地方、政府和部门、行政机关和专业机构的职责;国家、省、地、县卫生健康委员会负责辖区传染病及突发事件防治监督、疫情管理和协同应对,组织协调各级医院、疾病预防控制机构、血站医疗卫生机构改进传染病监测预警质量与速度,中国CDC收集WHO、美国CDC、欧洲CDC、美国PubMed、OIE、FAO数据信息;2004年中国CDC建立法定传染病报告信息系统(NIDRIS),通过重点传染病监测系统、突发公共卫生事件报告系统、病原体监测网络实验室和基本公共卫生服务持续完善NIDRIS;所有医疗卫生机构经NIDRIS向属地县级CDC报告传染病临床诊断、确诊病例;各级CDC负责传染病监测数据分析、调查、评估和预警,每个层级CDC都能分析NIDRIS内自己、次层次数据;尽管NIDRIS实现全国范围传染病病例个案与突发事件报告法制化、规范化、标准化、数字化、网络化,还是难以避免诊断、报告、监测的及时性、敏感性和特异性问题(图2)^[13-14,18-20]。

2. 有效监测系统:县区、地州、省市、国家传染病暴发或流行的有效监测系统承担相应属地化责任,各层次医疗卫生机构技术与行政人员利用暴发流行数据信息执行相应措施并评价其效果。采集关键数据信息涉及传染病监测系统目标类型(主动、被动、哨点、症状)、各型病例定义、数据信

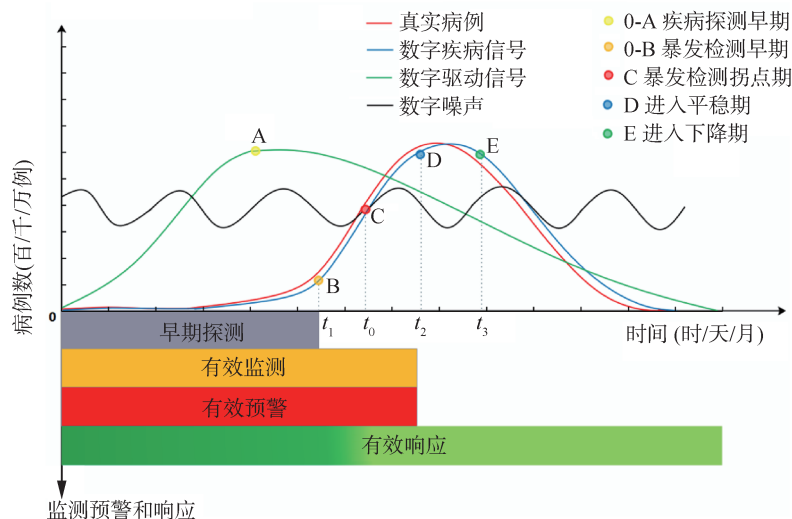


图1 传染病暴发流行数字技术检测概念模式、探测、监测和预警示意图

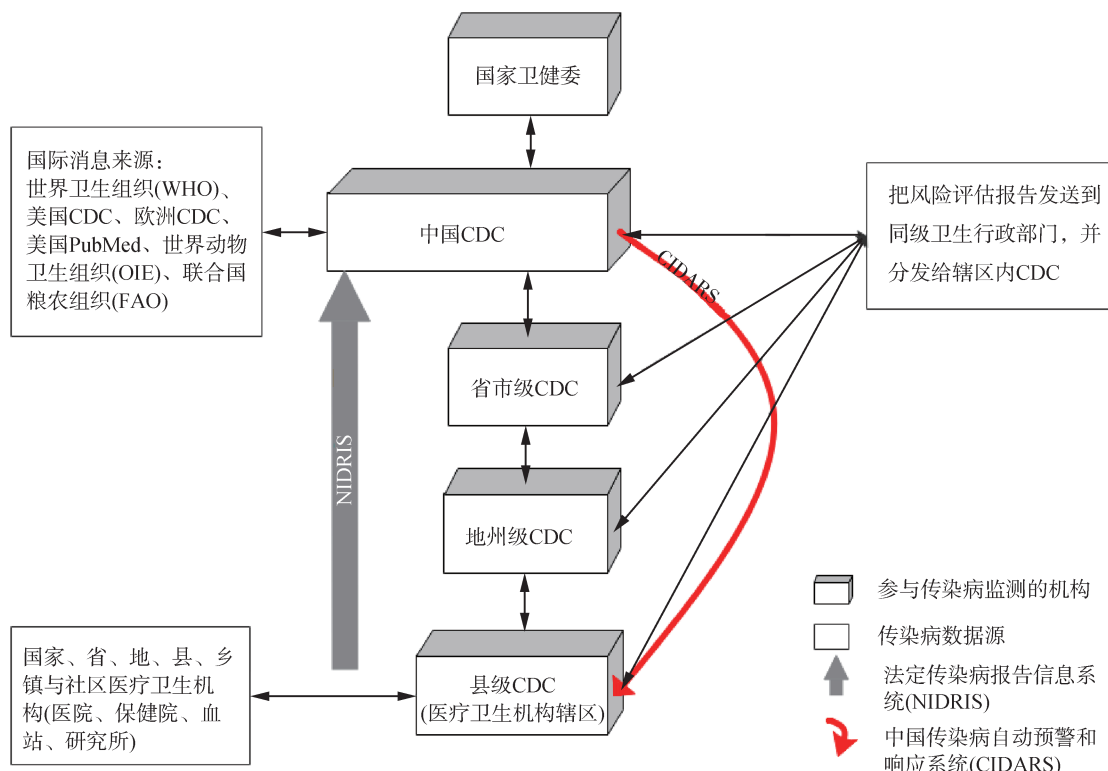


图2 中国传染病报告、分析、评估和预警流程图

息源(临床医学、流行病学、病原生物学、环境卫生学、社会学、人类学);病原体变异适应能力、人类病原体环境破坏和人类接触病原体等一系列复杂因素是病原体传播、微生物威胁出现的基础^[9-12]。把影响人群与病原体相互作用、导致传播链形成或传染病出现的一系列复杂因素分为4大循环性部件:①传染病发生人群、地点和时间的系统监测(包含舆情监测);②病例人群与危险因素异常情况检测;③流行与暴发调查、强化随访、确认危险因素和干预目标点;④实施干预、评价效果;下面示意图同心圆中央内部是黑、灰色,代表对传染病发生、暴发的未知影响,所有同心圆白色区域及其外部代表已知影响;有效传染病监测系统4大循环性部件监视循环运行目标就是尽快让同心圆中央内部黑色、灰色区域面积尽量小或趋于零,及时准确地认识暴发流行的发生条件、驱动因素、传染源、污染源、传播途径、传播链(图3)^[9-12]。

三、预警系统

1. 中国传染病自动预警和响应系统:2005年中国CDC研究开发出包括像差检测、信号产生、信号传播和信号响应信息反馈4个部分的中国传染病自动预警和响应系统(CIDARS),及时通过固定阈值法、移动百分位数法、累积控制图法、聚集性疫情预警法将特定传染病发生、异常增加或聚集信号发送给相应省、市、县级疾病预防控制机构(疾控机构)及其相关人员,并及时获取县级疾病预防控制机构人员预警信号调查、核实、处置与排除响应进展情况,实现监测预警异常探测、信号发布、信号核实与效应结果反馈功能,并整合利用地理信息系统、模拟仿真技术等建立传染病

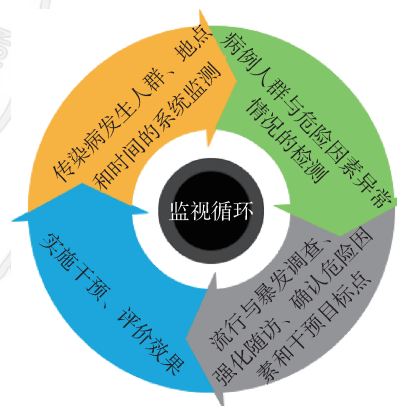


图3 有效传染病监测系统的构成部件和监视循环

预测、评估、干预的辅助决策与指挥系统;现在CIDARS已融入国家、省、市、县各级CDC每日、周、月传染病暴发流行电子网络化自动预警,对新冠肺炎、鼠疫、霍乱、麻疹等重点传染病实时发出预警信号,对流感、登革热等常见传染病实行每日预警;尽管CIDARS取得覆盖范围广、预警病种多、可操作性强的传染病自动探测、预警与响应成效,但也仅是发现疑似传染病暴发流行主要方式之一,还表现出疑似事件预警信号总体阳性率低、假阳性率高和漏警与虚警等问题;中国CDC定期组织传染病风险评估和预警专家会议,讨论NIDRIS、CIDARS和WHO、美国/欧洲CDC来源新信号、主要信号、特定威胁传染病危险因素,每次会议都形成针对相关信号的预警报告,并发送同级卫生健康委员会和辖区CDC(图2)^[13-14,18-20]。

2. 有效预警系统:有效预警系统包括技术与管理机构

及其指挥部、数据信息系统、指标体系、评价体系、报警系统、应对策略和公共交流系统 7 个部件(图 4)^[13-14,18-20]。技术管理机构负责组织风险评估、专家调研和决策制定;数据信息系统包括人群疾病健康信息、危险因素、驱动因素、易感性、卫生状况、环境动态;指标体系指用于多时空节点触发与多学科渠道监测的敏感、特异、分期、度量指标;评价系统指依据评价指标值、阈值预测高风险地区传染病;报警系统指医疗卫生部门等定期分析区域卫生状况、重大卫生问题;应对策略指依据报警系统信号、因果关联、剂量反应采取解决和消化区域卫生问题一系列办法措施;公共交流系统指受影响人群行动、社会组织行动、风险水平和易感人群解释、影响群体及其优先级确定。尽管传染病探测、监测、预警系统的时间序列或空间维度数据指标体现及时性、敏感性、有效性、可接受性和可拓展性,但是因为衡量收集具体数据资源支撑和数据价值而难以整合利用流行病学、病原学等多源数据;Delphi 法是一种通过几轮相关领域专家咨询会商,获得专家一致性意见的传染病预警、风险评估方法,该法在实现传染病暴发流行预警资源效益平衡方面表现灵活性,也受专家专业领域、工作背景、权威程度影

响^[13-14,18-20]。建立适于传染病传播动力学分析数学模型,并对传播过程进行定性定量分析和计算机模拟,已有效改善传染病监测预警系统;国内外使用的预警模型主要包括时间系列模型、线性回归模型、灰色动力学模型、马尔科夫模型、贝叶斯模型、Gompertz 模型等,时间维度关注传染病时间聚集性变化,应用主要模型有自回归移动平均模型、统计过程控制(控制图法、移动百分位数法、指数加权移动平均法);空间维度关注传染病空间聚集性,应用主要模型是空间扫描统计量;时空维度应用模型有时空扫描统计量、前瞻性时空重排扫描统计量^[3,8,17]。

四、结论与展望

传染病探测、监测、预警在防控传染病和应对其突发公共卫生事件中至关重要,有效监测、预警系统决定着传染病危机与暴发的防控效益,已有和新发传染病还会对公众健康生命、社会经济发展和国家安全产生影响。NIDRIS、CIDARS、新冠肺炎等重点传染病监测系统、突发公共卫生事件报告系统和致病菌识别网络实验室已经成为中国传染病报告预警体系,NIDRIS、CIDARS、特定时空人群传染病症候群与聚集性病例监测是发现传染病暴发流行的主要方式

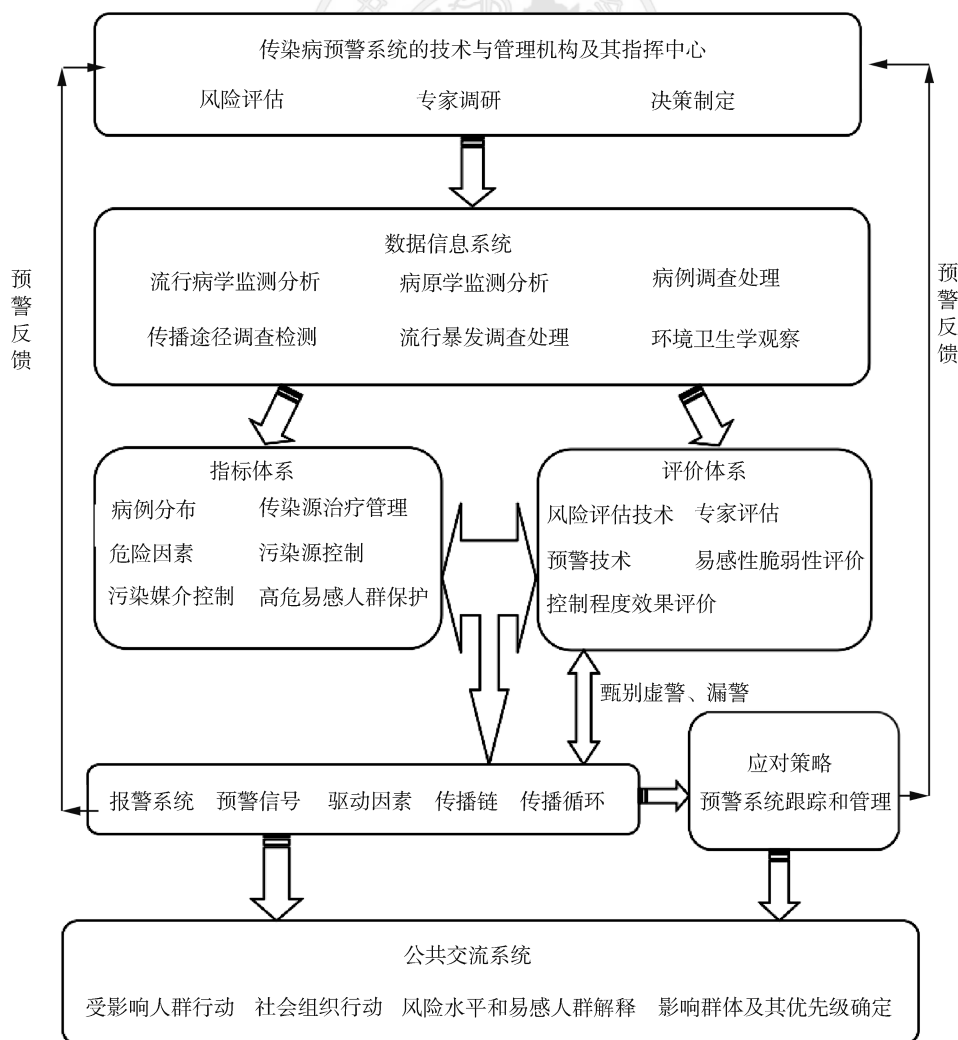


图 4 有效传染病预警系统的部件构成和概念模型图

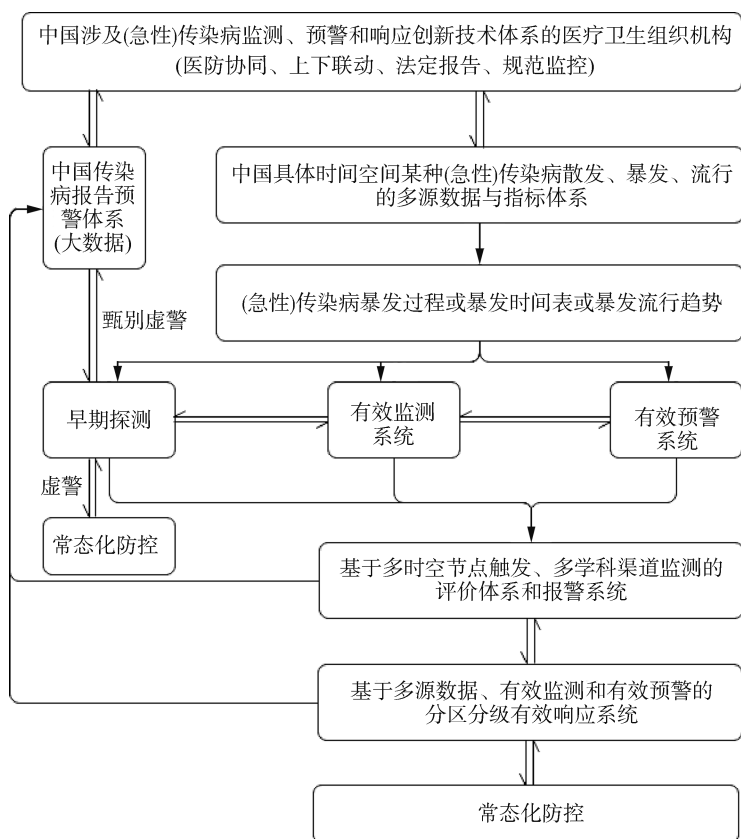


图5 中国(急性)传染病监测、预警和响应创新技术体系

(图1~5)^[8,13-14,18-20]。特定传染病暴发流行5个信息类型、暴发过程或流行曲线5个分期、有效监测系统4大部件的多时空节点与多学科渠道数据是分析、研判预测确定性与驱动因素的关键;综合评价传染病时空分布、流行趋势与风险等级以及病原体宿主可追踪性、感染人类潜力、传播模式与动力,在为基于证据的探测、监测、预警提供信息方面发挥着重要作用;既不能因为传染病早期探测病因信息不足、阳性率低、假阳性率高和存在漏警与虚警而轻视异常信息与警示信号现场调查、核实或排除,也不能因为病因信息数据警示信号网络化、模型化、智能化而放大其探测、监测、预警作用。

尽管我国已建立在政府主导、部门联动、依靠科学、社会防控方面全球领先的全国各级医疗卫生机构等传染病报告预警体系,实现传染病个案与事件信息实时网络直报、电子化保存、监测数据分析和初步预警,但仍然存在乡、县、地、省级医防协同和上下联动传染病诊断报告、症状监测、异常信息发现、疑似事件调查、病原监测、数据价值、资源支撑以及预警阳性率低、假阳性率高等问题,主要表现在部分机构传染病探测、监测、预警技术措施不足或失败,主要是及时准确地发现传染病、病原体出现异常信息或驱动因素或传播链不足或失败,还普遍存在病毒性肝炎、伤寒与副伤寒、细菌性痢疾、流感、感染性腹泻等乙/丙类传染病未确诊、少确诊与仅报告确诊病例和突发公共卫生事件调查处置及时性、完整性与规范性问题,原因是技术、行政、法律责任因素以及相应区域追求发病率低于全国、全省平均水平;

虽然我国新冠肺炎的科学高效防控取得重大战略成果,社会秩序、经济发展全面复苏,还是暴露新发传染病疫情早期探测、有效监测、有效预警、有效响应和疾控体系功能定位不清、决策作用不充分、技术指导不权威、人员队伍不足的问题短板,例如,尽管在2019年12月下旬至2020年1月中旬就探测监测到该疫情相关不明原因肺炎病例、冠状病毒肺炎病例及其聚集性病例,但基于技术、行政、法律责任因素而把该次疫情研判为不传人、有限人传人与可防可控,从而延迟了相应阶段有效的监测、预警和响应;另外,传染病病例诊断、症状监测和病原体传播涉及多个学科理论技术,临床分型病例数往往不确定;传染病探测、监测、预警的现行技术体系不能很好发挥早发现、早研判、早控制作用;数学模型通常适宜具有一定规律性暴发流行时空节点与趋势的判断预测,不适宜暴发流行起始期以及确诊病例过少与各型病例信息不足的预测;采用同一数学模型估计不同时间、区域暴发流行也会出现偏差(图1~5)^[3-4,15-17]。

新冠肺炎、埃博拉病毒病、鼠疫、霍乱等新发重大传染病探测、监测和预警3个永恒主题:

①联动实现疫情的早预防、早发现、早报告、早诊断和早治疗;②研究判定传播链、驱动因素背景动态以避免疫情发生或降低疫情风险;③研究建立各种病原体及其宿主物种关联性大数据,以发现预测哪些病原体可跨越物种界限、哪些物种可携带未来感染人类新病原体^[4,5,7]。本研究提出4个建议:①完善中国(急性)传染病发现、报告、诊断、监测、调查、预警、控制、评估的公共卫生法律体系,强化医疗卫生机构横向协同与上下联动传染病监测预警技术、行政、法律责任;②落实新发重大传染病及传染病突发事件首诊医生、实验室技师、会诊专家组长、突发事件调查组长、报告单位与辖区卫生主管部门法定责任人确认签名程序,设立全国新发重大传染病首诊医生、病原体发现者突出贡献奖励机制;③聚焦乡、县、地、省级医防协同和上下联动特定时空某种传染病暴发流行探测、监测、预警问题,落实乡镇社区级疑似传染病聚集性病例与苗头事件等异常信息发现报告(人群聚集、旷工旷课、人口迁移、人源性环境、症状监测、疑似传染病事件)和县、地、省级传染病早期探测、有效监测和有效预警工作;④依托中国传染病报告预警体系(国内外大数据平台),整合特定传染病多时空节点触发(暴发流行曲线分期和探测监测预警分期)与多学科渠道监测(数据信息类型、监测系统部件和预警系统部件)的多源数据指标体系,采用病原体基因组学、核酸标志系列、病原体宿主物种大数据、统计学与数学建模、人工智能技术等,构建并运行本研究认为对暴发流行过程分期度量具有特殊贡献的中国(急性)传染病监测、预警和响应创新技术体系(图1~5)。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Karesh WB, Dobson A, Lloyd-Smith JO, et al. Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories[J]. *Lancet*, 2012, 380(9857): 1936-1945. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61678-X.
- [2] Wang LD, Wang Y, Jin SG, et al. Emergence and control of infectious diseases in China[J]. *Lancet*, 2008, 372(9649): 1598-1605. DOI:10.1016/S0140-6736(08)61365-3.
- [3] Bai ZH, Gong Y, Tian XD, et al. The rapid assessment and early warning models for COVID-19[J]. *Virus Sin*, 2020, 35(3): 272-279. DOI:10.1007/s12250-020-00219-0.
- [4] Sheehan MC, Fox MA. Early Warnings: The lessons of COVID-19 for public health climate preparedness[J]. *Int J Health Serv*, 2020, 50(3): 264-270. DOI: 10.1177/0020731420928971.
- [5] Ahn DG, Shin HJ, Kim MH, et al. Current status of epidemiology, diagnosis, therapeutics, and vaccines for novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) [J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2020, 30(3): 313-324. DOI:10.4014/jmb.2003.03011.
- [6] Jee Y. WHO international health regulations emergency committee for the COVID-19 outbreak[J]. *Epidemiol Health*, 2020, 42: e2020013. DOI: ORG/10.4178/epih.e2020013.
- [7] 中华预防医学会新型冠状病毒肺炎防控专家组. 关于疾病预防控制体系现代化建设的思考与建议[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(4): 453-460. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200225-00166.
Special Expert Group for Control of the Epidemic of Novel Coronavirus Pneumonia of the Chinese Preventive Medicine Association. Recommendation on the modernization of disease control and prevention[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(4): 453-460. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200225-00166.
- [8] 杨维中, 兰亚佳, 李中杰, 等. 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2014.04.002.
Yang WZ, Lan YJ, Li ZJ, et al. Review and prospect on early warning of infectious diseases[J]. *Chin J Prev Med*, 2014, 48(4): 244-247. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2014.04.002.
- [9] Cáceres P, Awada L, Barboza P, et al. The World Organisation for Animal Health and the World Health Organization: intergovernmental disease information and reporting systems and their role in early warning[J]. *Rev Sci Tech*, 2017, 36(2): 539-548. DOI: 10.20506/rst.36.2.2672.
- [10] Tekola B, Myers L, Lubroth J, et al. International health threats and global early warning and response mechanisms[J]. *Rev Sci Tech*, 2017, 36(2): 657-670. DOI: 10.20506/rst.36.2.2683.
- [11] Doroshenko A, Cooper D, Smith G, et al. Evaluation of Syndromic Surveillance Based on National Health Service Direct Derived Data—England and Wales [J]. *MMWR Suppl*, 2005, 54: 117-122. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/su5401a19.htm>.
- [12] Buehler JW, Hopkins RS, Overhage JM, et al. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks: recommendations from the CDC Working Group[J]. *MMWR Recomm Rep*, 2004, 53(RR-5): 1-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15129191/>.
- [13] Vlieg WL, Fanoy EB, van Asten L, et al. Comparing national infectious disease surveillance systems: China and the Netherlands[J]. *BMC Public Health*, 2017, 17: 415. DOI:10.1186/s12889-017-4319-3.
- [14] Xiong WY, Lv J, Li LM. A survey of core and support activities of communicable disease surveillance systems at operating-level CDCs in China[J]. *BMC Public Health*, 2010, 10: 704. DOI:10.1186/1471-2458-10-704.
- [15] 王树坤, 吴强, 杨汝松, 等. 云南省一起 O139 群霍乱弧菌引起食源性霍乱暴发的调查[J]. *中华流行病学杂志*, 2010, 31(10): 1202-1203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.10.032.
Wang SK, Wu Q, Yang RS, et al. Investigation to an outbreak of food-borne cholera caused by *Vibrio cholerae* O139 in Yunnan province [J]. *Chin J Epidemiol*, 2010, 31(10): 1202-1203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.10.032.
- [16] 王树坤, 闫梅英, 王志刚, 等. 流行病学调查与病原体分子分型综合分析在一起甲型副伤寒暴发溯源控制中作用[J]. *中国公共卫生*, 2019, 35(3): 341-344. DOI: 10.11847/zgggws1121095.
Wang SK, Yan MY, Wang ZG, et al. Effect of epidemiological survey combined with pathogen molecular typing on tracing and control of infectious source of a paratyphoid fever A outbreak[J]. *Chin J Public Health*, 2019, 35(3): 341-344. DOI:10.11847/zgggws1121095.
- [17] 艾敏, 闫梅英, 王树坤, 等. 1999-2015 年玉溪市红塔区伤寒与副伤寒时间分布特征及 Gompertz 模型分析[J]. *应用预防医学*, 2019, 25(5): 407-412. DOI: CNKI: SUN: GXYX. 0. 2019-05-019.
Ai M, Yan MY, Wang SK, et al. Study on the epidemic characteristics and Gompertz model of typhoid and paratyphoid fever in Hongta District of Yuxi city, 1999-2015[J]. *Appl Prev Med*, 2019, 25(5): 407-412. DOI: CNKI: SUN: GXYX. 0. 2019-05-019.
- [18] 李中杰, 马家奇, 赖圣杰, 等. 2011-2013 年国家传染病自动预警系统运行结果分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2014, 48(4): 252-258. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2014.04.004.
Li ZJ, Ma JQ, Lai SJ, et al. The implement performance of China Infectious Diseases Automated-alert and Response System in 2011-2013[J]. *Chin J Prev Med*, 2014, 48(4): 252-258. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2014.04.004.
- [19] 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. DOI:10.5365/WPSAR.2010.1.1.009.
- [20] Wang RP, Jiang YG, Michael EG, 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: 570. DOI: 10.1186/s12889-017-4488-0.