

# 数字公共卫生的进展与应用

韩雨廷<sup>1</sup> 吕筠<sup>1,2</sup> 余灿清<sup>1,2</sup> 李立明<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>北京大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系,北京 100191;<sup>2</sup>北京大学公众健康与重大疫情防控战略研究中心,北京 100191

通信作者:李立明,Email:lmleeph@vip.163.com

**【摘要】** 日新月异的数字技术重塑了各行各业,公共卫生同样经历着数字化转型。在新型冠状病毒肺炎大流行的催化下,数字技术被快速、广泛应用于传染病防控,提升公共卫生体系的应急处置和常态化防控的能力。本文对数字公共卫生的概念、数字技术在传染病、慢性非传染性疾病防控和公共卫生监测中的应用进行介绍。本文也讨论了发展数字公共卫生面临的挑战和概述泛美卫生组织提出的公共卫生的数字化转型的指导原则。

**【关键词】** 数字化转型; 公共卫生; 慢性病; 传染病; 公共卫生监测

**基金项目:**国家自然科学基金(91846363);北大百度基金-面向人群健康和重大疾病的大数据平台建设研究(2019BD010)

## Development and applications of digital public health

Han Yuting<sup>1</sup>, Lyu Jun<sup>1,2</sup>, Yu Canqing<sup>1,2</sup>, Li Liming<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; <sup>2</sup>Peking University Center for Public Health and Epidemic Preparedness & Response, Beijing 100191, China

Corresponding author: Li Liming, Email: lmleeph@vip.163.com

**【Abstract】** Rapidly upgraded digital technology has impacted all walks of life, and public health field is also undergoing a digital transformation. The COVID-19 pandemic has accelerated the wide use of digital technology in the prevention and control of infectious diseases, greatly enhancing the capacity of public health system in emergency response and routine disease prevention and control. This article summarizes the definition of digital public health, applications of digital technology in the prevention and control of infectious diseases and chronic non-communicable diseases, as well as in public health surveillance, discusses the challenges in the development of digital public health and introduces the eight principles for digital transformation of public health proposed by the Pan American Health Organization.

**【Key words】** Digital transformation; Public health; Chronic disease; Infectious disease; Public health surveillance

**Fund programs:** National Natural Science Foundation of China (91846363); Project Study on Harmonization Platform for Big Data of Population Health Supported by PKU-Baidu Fund (2019BD010)

过去 20 年间,数字技术得到快速发展,人工智能、大数据、可穿戴设备等技术层出不穷。数字革命重塑了生活的方方面面。2020 年,全球 67% 的

人口使用移动设备,其中 68% 是智能手机,全球 51% 的人口接入互联网<sup>[1]</sup>。与此同时,数字技术在医疗保健领域的应用也不断扩大和深入,公共卫生

DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20220314-00184

收稿日期 2022-03-14 本文编辑 万玉立

引用格式:韩雨廷,吕筠,余灿清,等.数字公共卫生的进展与应用[J].中华流行病学杂志,2022,43(6):791-797. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20220314-00184.

Han YT, Lyu J, Yu CQ, et al. Development and applications of digital public health[J]. Chin J Epidemiol, 2022, 43(6): 791-797. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220314-00184.



领域同样经历快速的数字化转型,数字公共卫生(digital public health)应运而生。本文通过介绍数字公共卫生的概念、数字技术在传染病、慢性非传染性疾病(慢性病)和公共卫生监测中的应用,讨论其面临的挑战与发展的指导原则,为推动数字公共卫生建设提供参考。

### 一、概念

数字公共卫生属于数字健康(digital health)。数字健康的概念起源于电子健康(eHealth),WHO将电子健康定义为“以具有成本效益和安全的方式使用信息和通信技术支持卫生和与卫生相关领域,包括卫生保健服务、监测、健康素养以及健康教育、知识和研究”。其概念涵盖移动健康(mHealth)和远程医疗(telemedicine)。前者指在卫生领域使用移动无线技术,后者指利用信息和通信技术交流有效信息、提供卫生保健服务、实现对疾病和伤害的诊断、治疗和预防、研究和评估、对卫生保健工作者的继续教育,目的在于促进个人和社区健康。而数字健康扩展了电子健康的概念,包括了数字消费者(digital consumer)、涉及更广泛的智能设备和互联设备,还包括其他在卫生领域应用的数字技术,如物联网、高级算法、大数据分析、包括机器学习在内的人工智能和机器人技术<sup>[2]</sup>。

上述概念根据所用数字技术进行区分,而数字公共卫生是数字健康的细分领域,其开发、应用领域和研究兴趣是疾病预防、健康促进和相应基础学科,如流行病学。目前针对数字公共卫生的定义仍未达成共识。英国公共卫生局于2017年在《数字优先的公共卫生:英国公共卫生局的数字战略》报告中将数字公共卫生描述为:利用新的工作方式重新构想公共卫生,将现有的公共卫生理论和知识体系与新的数字概念和工具结合,探索使用数字技术的公共卫生新模式,开展更具灵活性、韧性的高效而精准的公共卫生实践,改善群体健康<sup>[3]</sup>。相反,Odone等<sup>[4]</sup>将数字公共卫生视为一种方法而不是学科:“公共卫生界可用它实现公共卫生的目标和使命,即确保卫生保健的质量、可获得性、效率和公平”。也有学者描述数字公共卫生为应用随公共卫生和相关数据的数字化发展起来的新技术、新数据类型和新工作方式的实践<sup>[5]</sup>。虽然定义不同,但都强调通过整合数字技术实现公共卫生目标,数字化是其重要特征。

### 二、数字技术在传染病防控中的应用

新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎)疫情催化了数

字技术与公共卫生实践的快速整合,极大改善公共卫生体系的传染病防控和应急处置能力。现以新冠肺炎防控为切入点,介绍数字技术在传染病领域的应用,可分为以下三类。

1. 疾病监测:以实验室、临床机构、CDC为基础的传染病监测系统和发热等非特异性症状监测系统构成了新冠肺炎疫情监测的主体。得益于算法的发展,基于社交媒体、新闻网站、检索查询行为等数据进行分析能够较好地补充传统监测,特别是在疫情早期<sup>[6]</sup>。研究者基于上述数据来源分析新冠肺炎患者传染和流行过程中的重要参数<sup>[7]</sup>,预测疫情进展<sup>[8-9]</sup>,改善疫情数据的透明度和发现疫情的及时性。英国研究团队开发的基于谷歌健康趋势(Google health trends)的模型能够提前约两周预测新冠确诊病例数,目前已被纳入英国公共卫生局每周发布的新冠肺炎监测报告<sup>[9]</sup>。此外,互联网领域众包(crowdsourcing)概念和技术也被运用于流行病学监测,即不同于以医疗机构和专业人员为中心的症状监测,将症状监测的任务下放到个人,志愿者通过手机应用或网站自报症状。如在英国和美国使用的“新冠症状研究”<sup>[10]</sup>,目前用户超470万人,并被纳入国家监测体系<sup>[6]</sup>。再者,数据聚合系统结合可视化工具提供了呈现实时疫情数据的途径。如约翰霍普金斯大学的新冠肺炎可视化工具—新冠肺炎仪表盘,实时收集并呈现全球疫情相关公共卫生数据,包括每日新增病例数、疫苗接种人数等<sup>[11]</sup>。

2. 防控措施:早期、快速地识别疑似患者是减少后续传播的重要手段。目前热成像相机和红外传感器被广泛安装在高人流量区域如机场,用来筛查发热患者<sup>[12]</sup>。研究者开发手机应用,利用智能穿戴设备根据体表温度、静息心率、呼吸频率等特征来识别疑似患者<sup>[12-13]</sup>。此外,传统的新冠病毒感染检测涉及前往采样点、采样、样品送回实验室、实验室返回结果等多个环节,耗时较长。通过即时检测、免下车检测设备和自我检测试剂盒等检测方式,人工智能识别检测结果和利用互联网将测试者信息和检测结果传到临床或公卫机构,加速检测流程的同时,减轻检测对实验室和医疗保健系统的压力<sup>[6]</sup>。再者,人工智能已被应用于基于胸部CT鉴别诊断新冠肺炎和其他社区获得性肺炎以及肺炎以外的肺部疾病<sup>[14]</sup>。

在追踪密切接触者时,通过监控摄像头、人脸识别、支付记录、车辆和手机的定位系统可获取病

例详细的轨迹和时间线,控制回忆偏差<sup>[12]</sup>。此外,短距离蓝牙信号也被用于记录近距离接触,用于密切接触者的快速定位,如新加坡手机应用“TraceTogether”<sup>[15]</sup>。

在描述人群流动性方面,前面提到的移动设备定位系统、网络、移动支付、社交媒体等渠道也可用于实时监测人群流动性。通过结合机器学习可预测特定区域内的传播动态,指导设立边界检查点和监测疫情<sup>[12,16]</sup>。进一步结合防控政策,可帮助政策制定者评价人群干预措施是否有效<sup>[16-18]</sup>。此外,人工智能也被用于通过监控摄像头、无人机摄像头和便携式数字记录仪来监控和限制公众聚集<sup>[19]</sup>。

其他应用也包括多源大数据定义的健康码、行程码作为人员区域间流动的通行凭证,限制高风险人员流动的同时,保障低风险人员的正常生活;应用监控和连接定位系统的手机应用确定隔离的依从性<sup>[20]</sup>;在卫生应急现场处置中应用无人化、智能化技术,减少卫生工作人员暴露风险,如消杀机器人<sup>[19]</sup>。

3. 公众沟通与交流:疫情早期,传播的不只是病毒,还有鱼龙混杂的信息,大众不能及时获取正确的防护措施信息,引发不必要的恐慌。因此在全民参与的这场“战争”中,正确、高效地沟通与交流是关键一环。谷歌的 SOS Alerts 干预使搜索引擎优先展示来自政府机构、WHO 等可信任来源的搜索结果,从而减少错误信息的传播<sup>[21]</sup>。此外,基于人工智能的聊天机器人可提供非紧急的个性化健康建议,一定程度上满足就医需求<sup>[22]</sup>。

### 三、数字技术在慢性病防控中的应用

慢性病仍然是主要的疾病负担来源<sup>[23]</sup>,因此针对慢性病防控方式和策略的数字化转型格外重要。根据用途可以分为以下几类。

1. 数据管理:病历和健康档案的数字化、来自生物学测量和智能穿戴设备的数据极大丰富了数字健康数据库,使开展大规模真实世界研究成为可能。近期研究提示,具有透明、不可更改和去中心化等众多优势的区块链技术在健康医疗数据管理、共享和应用中大有可为,包括①管理电子病历,利用区块链技术标准化来自不同机构的电子病历,有利于构建大规模转诊系统;②管理临床试验和观察性研究数据收集、分析和结果呈现的各个环节,保障研究过程的透明度和结果的真实性;③管理疫苗、药物从原料采购、生产、冷链存储与运输到注射的多个环节,保障使用者的安全;④其他用途也包

括促进科研合作、管理组学数据、结合物联网技术实现远程患者监测等<sup>[24-26]</sup>。

### 2. 科学研究:

(1)多源数据整合促进生命全程预防策略推进:健康相关数据的数字化,为多源健康数据互联互通奠定基础。产前检查、产时保健、出生证明、儿童健康体检、免疫规划、青少年体质监测、疾病监测数据、真实世界数据(电子病历等)、科研数据、可穿戴设备数据等多源数据的整合提供了从生命早期开始、贯穿生命全过程的数据,为全生命周期视角识别危险因素和干预的重点环节提供可能性。

(2)多组学助力探讨病因机制:慢性病发病涉及复杂的遗传和分子机制,基因组学、表观遗传组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学等组学数据不断丰富,奠定了探索复杂病因机制的数据基础<sup>[27]</sup>。

(3)人工智能助力大数据分析:相比于传统统计方法,机器学习可较好地解决非线性及变量间交互的问题,也能较好地用于多维数据的处理;此外自然语言处理等文本挖掘技术适用于信息提取,如死亡登记卡、电子医疗记录、放射学报告等,进一步丰富数字健康数据库<sup>[28]</sup>。

(4)临床试验的数字化转型:随机对照试验是评估干预措施效果的高质量证据的来源,然而传统临床试验因纳入的研究对象的局限性,结论的外推性受限,且实施成本高昂、耗时、费力。在数字技术加持下的临床试验可通过社交媒体、在线咨询等途径招募试验对象;通过可穿戴设备、手机应用实时、连续地收集健康指标并上传至数据中心;通过机器学习和人工智能自动、实时分析参与者试验数据和参与者电子健康档案等真实世界数据,并用以改善临床干预<sup>[29-30]</sup>。去中心化的数字临床试验减少研究者和参与者的负担;可以纳入传统试验因交通或行动不便无法前往试验中心的老年人,从而增加研究外部真实性;可以纳入非理想情况下的研究对象(如存在共病)从而促进效力试验向效果试验过渡。此外,利用数字技术增加研究人员和参与者的双向沟通,使参与者更了解研究目的和方法,从而减少失访。再者,多种传感器、物联网等技术使研究者能够获取参与者的环境影响因素,如空气污染、建成环境等,从而更深入和全面地理解试验结果。

3. 健康管理:数字技术为健康管理的监测、评估、指导、干预等多个环节赋能,其匿名、灵活、便利的特征协助健康管理更好地调动个体和群体积极

性,在有限资源下实现最优健康效果<sup>[31]</sup>。

数字技术在个人层面能够加强健康监测、健康评估和健康干预。①健康监测:基于电子病历、电子健康档案,结合可穿戴设备如智能手表、睡眠监视器以及应用程序可全面获取个人心率、血糖、血压等生命体征、运动、睡眠等生活方式信息<sup>[32-33]</sup>。②健康评估:观察和记录指标动态变化,识别异常指标,评估个人健康状况,实现个人健康异常提醒,如基于人工智能整合多源数据预测不良事件的发生概率<sup>[34]</sup>。③健康干预:依据健康状况评估结果,结合膳食、运动、接受医疗保健服务等方面数据,通过大数据分析制订有计划的个性化健康指导与干预方案<sup>[35]</sup>。例如,基于中国鄞州电子健康档案项目开发的人群心血管病风险管理系统具有动态、实时、大数据驱动、自动化和面向管理 5 大特征,有望实现人群数字化健康管理<sup>[36]</sup>。

在群体层面,基于电子病历数据、电子健康档案数据、可穿戴设备数据、建成环境数据可对一定区域内或者某一特征群体进行健康状况和危险因素“速写”。根据结果实施异常提醒、制定区域干预措施,进行特定目标人群的精准教育。目前社交媒体和社交网络是向目标群体提供干预措施或知识的最流行渠道<sup>[37]</sup>。

4. 疾病管理:数字技术也助力疾病管理。在个人层面,应用药物提醒系统、依从性监测系统保证治疗依从性,如视频督导结核患者服药<sup>[38]</sup>;数字设备可用于远程监测血压、血糖动态变化、识别房颤、冠心病的发生,进而灵活调整药物剂量<sup>[32-33]</sup>;也用于监测并记录治疗的不良反应<sup>[39]</sup>;人工智能也被用于管理和降低药物不良反应,如在开具处方前准确识别可能发生不良反应的患者并对高风险人群进行重点干预<sup>[40]</sup>。荟萃分析显示,与正常护理相比,通过远程医疗、基于网络、电子邮件、短信提醒、移动电话、应用程序和基于监测传感器的数字干预措施,能够减少心血管疾病事件、降低住院和死亡率,并改善心血管疾病危险因素水平<sup>[41]</sup>。

在群体层面,应用就医预约安排系统、电子健康档案提升就医效率和就医体验。通过基于电话、视频的实时远程医疗技术和基于网站、手机应用的存储转发式远程医疗技术健全医生与患者沟通渠道,已被用于心血管疾病、肿瘤等多个系统的慢性病<sup>[42-43]</sup>。除了成本低和便利的优势外,远程医疗在新冠肺炎疫情期间保障非急症慢性病医疗保健需要的同时,也降低了感染风险<sup>[44]</sup>。

#### 四、数字技术在公共卫生监测中的应用

我国公共卫生监测早已开展数字化转型,如无纸化传染病直报系统、将药店非处方药物销售情况纳入症状监测等,这些都属于广义的数字公共卫生监测(digital public health surveillance)。狭义的数字公共卫生监测强调监测基于用户产生的不以监测为主要目的的公开数据<sup>[45]</sup>。

目前狭义的数字公共卫生监测多用于传染病监测领域<sup>[45]</sup>。既往研究提示,在传染病监测领域,狭义的数字公共卫生监测就成本、及时性和准确性方面来说,具有巨大潜力<sup>[46]</sup>;但因受到较多噪音干扰,真实性和可靠性仍有待研究<sup>[45]</sup>,因此目前数字公共卫生监测更多被认为是传统公共卫生监测的补充而不是替代<sup>[47]</sup>。

数字公共卫生监测数据属于大数据范畴,具有四“V”特点,即容量大(Volume)、种类多(Variety)、产生和更新速度快(Velocity)、科研价值大(Value)<sup>[48]</sup>,可分为以下 5 类<sup>[37,45]</sup>:①踪迹数据:用户使用信用卡、银行卡、支持全球定位系统的手机以及任何可穿戴设备和传感器设备连接网络产生的数据,包括地理位置、位置移动、购买行为等信息;②互联网媒体:在线新闻媒体、政府公告等;③搜索引擎:检索行为、检索词、访问日志等信息;④社交媒体:检索词、文字、文件、图片、视频、访问日志、点击、点赞行为等信息;⑤物联网:智能家居设备、天气和污染传感器、监控摄像头和人类健康监测传感器等支持物联网的设备实时采集的信息。

多种数字公共卫生监测数据在新冠肺炎防控中均发挥了重要作用,详见前文。搜索引擎(如检索查询行为)和社交媒体(如推特推文)数据在补充传统的针对疾病、症状和行为危险因素监测的同时<sup>[47]</sup>,也进一步扩展了监测内容<sup>[37,45,47,49-50]</sup>。如可用于:①监测药物上市后的药物不良反应;②识别不健康推广,如研究者发现第三方通过算法模拟推特真实用户推文,与真实用户相比,算法会更多推送电子烟可用于戒烟和电子烟新品相关的内容,从而导致不当信息的传播;③通过公共信息获取行为,确定公众在一定时间内的关注点和需求,以指导卫生工作人员在特定地区和特定人群中开展工作,解决相应需求;④识别公众态度和情绪,开展舆情分析,如基于社交媒体数据识别公众对疫苗的态度,并分析造成公众消极态度的主要原因,包括对疫苗安全、疫苗效果存疑等,进而开展精准干预;⑤应对信息流行病,如识别新冠肺炎疫情期间互联网媒体和社

交媒体中的错误信息,如虚假新闻、阴谋论等,分析错误信息的来源、传播模式和受众,从而科学制定阻断错误信息传播的策略;⑥基于 Youtube 网站上的视频评估健康教育视频的质量,包括教育内容是否准确、是否全面等。

### 五、数字公共卫生面临的挑战

1. 数据质量差,存在选择偏倚和测量偏倚等系统误差<sup>[51]</sup>。同时存在数据孤岛现象,多源数据难以整合<sup>[48]</sup>。

2. 不同数字技术在公共卫生领域应用程度不均衡。有研究者综述了数字技术在新冠肺炎大流行前 6 个月应急响应中的相关应用,指出远程医疗、大数据、人工智能应用证据较多;而其他同样作用重大的数字技术应用较少,比如物联网、数字交流平台(digital platforms for communication,包括单向的政府信息发布网站和双向的在线交流社区)、用于数据管理的数字解决方案(digital solution for data management,自动数据标准化和区块链技术等)和数字结构筛选(digital structure screening,基于计算机和人工智能筛选针对新冠病毒的治疗性药物和疫苗)<sup>[52]</sup>。

3. 目前数字公共卫生应用缺乏质量评价和效益评价,特别是来自于高质量前瞻性研究的评价<sup>[52-53]</sup>,也缺乏传统公共卫生服务效果与数字技术加持下的服务效果的比较研究。因此无法确定多数数字公共卫生技术的有效性,无法以循证的角度科学推广数字技术融入当前公共卫生体系。

4. 存在数据鸿沟,加大社会资源、医疗资源的不均衡。一方面是数据提供方和数字技术开发者之间的数据鸿沟,健康技术的开发人员可以从其产品的使用中提取数据,并在某些情况下将其商业再利用,而产生健康数据的用户则无法轻松访问数据,因此也放弃了他们的使用权<sup>[37]</sup>。另一方面,并非所有人均可无差别获得并使用数字技术,不同发展水平国家的互联网接入率存在较大差异。欧洲地区仅 23% 的人不使用互联网,但撒哈拉以南的非洲地区有 72% 不使用<sup>[1]</sup>。即使在发达国家,数字素养较低的人也无法受益于数字公共卫生服务,比如老年人群往往较少或不使用互联网<sup>[6]</sup>。因此,任何基于数字技术的公共卫生服务均会导致社会资源、医疗保障资源利用的进一步不均衡。

5. 存在违反伦理和信息安全的风险。医学大数据的安全性是获得公众信任最重要的一环。健康数据相对于其他类型数据更为敏感,一旦泄露可

能造成歧视等一系列严重后果。虽然目前数据均需匿名化处理,但是仍有泄露危险。一方面,数据可能通过研究者无意泄露;另一方面,则可能通过大数据不断增加的维度导致人群不断细分,最终定位至个人。立法是保障公民隐私的重要途径,如美国健康保险携带与责任法案、欧洲通用数据保护条例等。我国近年来先后颁布了《中华人民共和国数据安全法》<sup>[54]</sup>与《中华人民共和国个人信息保护法》<sup>[55]</sup>,为保障数据安全和居民隐私提供了良好的法律保障,但同时也为数字技术在公共卫生领域的推广带来了一定的障碍。什么样的数据可以使用,数据如何合法使用,类似问题仍需相关行业基于自身生产、管理、使用数据类型、特点建立行为规范和团体标准来进一步明确,从而在保障数据安全同时,促进公共卫生的数字化转型。

### 六、指导原则

泛美卫生组织(Pan American Health Organization)近期提出了公共卫生数字化转型的 8 项指导原则<sup>[56]</sup>,对发展公共卫生具有较好的指导与借鉴价值。现结合我国现况,将 8 项指导原则进行概述。

1. 普遍联网(universal connectivity):加强顶层设计,制定和完善坚实和可持续的政策是发展数字公共卫生的基础。卫生部门制定政策时应充分考虑数字健康的特点,应以解决个人、社区以及服务提供方的需求和其面临的挑战为目的。此外,随着公共卫生数字化转型的推进,卫生部门也应考虑将是否联网和带宽作为一个新的社会决定因素,并将其纳入全民健康战略和数字化战略规划。

2. 数字产品(digital goods):建立法律和伦理框架保障数字公共卫生产品的算法、数据、软件等内容开源。产品设计应以用户为中心、确保平等和可持续性。一方面数字产品应能灵活调整,从而应用于不同人群和环境,特别是应用于技术和数字素养方面有特殊需求的弱势群体。另一方面应规范数字产品的知识产权框架,以促进经济水平较低的地区获取和应用数字产品。此外,应制定和完善数字产品的评价标准,形成全方面的考量体系,从而保障以循证的方式将数字技术与现有公共卫生体系整合。

3. 包容的数字健康(inclusive digital health):数字健康不仅要惠及社会、经济、地理或文化上的弱势群体,还需要惠及那些不具备数字素养的群体。鼓励包容性的同时,也应尊重不愿意使用数字服务

的群体的自主权。

4. 互操作性(interoperability):数据互联互通是发展数字公共卫生的必经之路,这包括政府、医疗机构、企业、科研单位、个人等不同数据归属方的互联互通,包括地方与国家不同层级系统的互联互通,甚至包括跨领域、跨行业的互联互通。

5. 人权(human rights):人权是公共卫生数字化转型的重中之重,也是转型成功与否的决定因素。为了公平公正,数字公共卫生的监管框架和技术框架必须没有任何地域、教育、文化、政治、宗教和性别偏见。

6. 人工智能(artificial intelligence):卫生部门应制定政策保障和促进人工智能等新兴技术的全球合作,构建全球开放合作的人工智能创新体系,推动开发安全、可靠的开源算法和软件。加快相关法律法规建设和相应人才培养。通过组建包含卫生领域、数据科学领域等多学科团队,提升人工智能项目的透明度和结果可解释性。

7. 信息安全(information security):建立健全以患者为中心的信息系统的国际安全指南和标准,完善数据安全和隐私保护相关法律法规。同时建立健全各行业的数据安全和隐私保护相关的行为规范和团体标准,力求在利用数据和保护数据安全中取得平衡。实施监管时必须尊重与健康有关的权利,对数据使用者开展培训,对数据提供者开展宣教,并完善知情同意机制,以便形成一种安全可靠的数据管理文化。

8. 公共卫生架构(public health architecture):在数字相互依赖时代,公共卫生架构必须纳入政府的数字议程。它应是政府主导、多部门协作、企业与学术界参与的发展架构,从而优化战略规划和资源管理。构建公共卫生架构应同时考虑卫生,社会、经济、法律等多领域的规划和 workflows,从而推动“大卫生、大健康”的愿景的实现。

## 七、结语

在数字技术快速发展和新冠肺炎疫情防控需求的催化下,近年来数字技术在公共卫生领域应用的广度和深度不断提升。现有的数字公共卫生应用实例已展现出数字技术在改善公共卫生项目实施效果的重要潜力。然而,数字公共卫生并不能完全替代传统公共卫生实践,而是在传统公共卫生实践的基础上予以完善,从而增加公共卫生服务的覆盖面,提升服务效果,降低服务成本。数字公共卫生仍处于起步阶段,数据孤岛、数据鸿沟、证据缺乏

等诸多问题仍亟待解决。随着国家的重视和研究的不断深入,一个符合伦理、安全、可靠、公平和可持续的数字公共卫生服务体系将极大造福人民。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Okeleke K, Suardi S. The mobile economy 2021[R]. GSMA, 2021.
- [2] World Health Organization. Global strategy on digital health 2020-2025[R]. Geneva:WHO, 2021.
- [3] Digital-first public health: public health England's digital strategy[EB/OL]. (2017-02-02) [2022-03-11]. <https://www.gov.uk/government/publications/digital-first-public-health/digital-first-public-health-public-health-englands-digital-s-trategy>.
- [4] Odone A, Buttigieg S, Ricciardi W, et al. Public health digitalization in Europe: EUPHA vision, action and role in digital public health[J]. Eur J Public Health, 2019, 29 Suppl 3:28-35. DOI:10.1093/eurpub/ckz161.
- [5] Murray CJL, Alamro NMS, Hwang H, et al. Digital public health and COVID-19[J]. Lancet Public Health, 2020, 5(9): e469-470. DOI:10.1016/S2468-2667(20)30187-0.
- [6] Budd J, Miller BS, Manning EM, et al. Digital technologies in the public-health response to COVID-19[J]. Nat Med, 2020, 26(8):1183-1192. DOI:10.1038/s41591-020-1011-4.
- [7] Sun KY, Chen J, Viboud C. Early epidemiological analysis of the coronavirus disease 2019 outbreak based on crowdsourced data: a population-level observational study [J]. Lancet Digit Health, 2020, 2(4): e201-208. DOI: 10.1016/S2589-7500(20)30026-1.
- [8] Qin L, Sun Q, Wang YD, et al. Prediction of number of cases of 2019 novel coronavirus (COVID-19) using social media search index[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(7):2365. DOI:10.3390/ijerph17072365.
- [9] Lampos V, Majumder MS, Yom-Tov E, et al. Tracking COVID-19 using online search[J]. NPJ Digit Med, 2021, 4(1):17. DOI:10.1038/s41746-021-00384-w.
- [10] Drew DA, Nguyen LH, Steves CJ, et al. Rapid implementation of mobile technology for real-time epidemiology of COVID-19[J]. Science, 2020, 368(6497): 1362-1367. DOI:10.1126/science.abc0473.
- [11] Dong ES, Du HR, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time[J]. Lancet Infect Dis, 2020, 20(5):533-534. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30120-1.
- [12] Whitelaw S, Mamas MA, Topol E, et al. Applications of digital technology in COVID-19 pandemic planning and response[J]. Lancet Digit Health, 2020, 2(8): e435-440. DOI:10.1016/S2589-7500(20)30142-4.
- [13] Natarajan A, Su HW, Heneghan C, et al. Measurement of respiratory rate using wearable devices and applications to COVID-19 detection[J]. NPJ Digit Med, 2021, 4(1):136. DOI:10.1038/s41746-021-00493-6.
- [14] Li L, Qin LX, Xu ZG, et al. Using artificial intelligence to detect COVID-19 and community-acquired pneumonia based on pulmonary CT: evaluation of the diagnostic accuracy[J]. Radiology, 2020, 296(2): E65-71. DOI: 10.1148/radiol.2020200905.
- [15] TraceTogether[EB/OL]. [2022-03-11]. <https://www.tracetgether.gov.sg/>.
- [16] Jia JS, Lu X, Yuan Y, et al. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China[J]. Nature, 2020, 582(7812):389-394. DOI:10.1038/s41586-020-2284-y.
- [17] Pullano G, Valdano E, Scarpa N, et al. Evaluating the effect of demographic factors, socioeconomic factors, and risk aversion on mobility during the COVID-19 epidemic in France under lockdown: a population-based study[J]. Lancet Digit Health, 2020, 2(12):e638-649. DOI:10.1016/S2589-7500(20)30243-0.
- [18] Kraemer MUG, Yang CH, Gutierrez B, et al. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China[J]. Science, 2020, 368(6490):493-497. DOI:10.1126/science.abb4218.
- [19] ITN. Deployment of health IT in China's fight against the COVID-19 pandemic[EB/OL]. [2022-03-11]. <https://www.itnonline.com/article/deployment-health-it-china% E2% 80%99s-fight-against-covid-19-pandemic>.

- [20] Wang CJ, Ng CY, Brook RH. Response to COVID-19 in Taiwan: big data analytics, new technology, and proactive testing[J]. *JAMA*, 2020, 323(14):1341-1342. DOI:10.1001/jama.2020.3151.
- [21] SOS alerts help[EB/OL]. [2022-03-11]. <https://support.google.com/sosalerts/?hl=en>.
- [22] How WhatsApp can help you stay connected during the coronavirus (COVID-19) pandemic[EB/OL]. [2022-03-11]. <https://www.whatsapp.com/coronavirus>.
- [23] GBD 2017 DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 359 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2018, 392(10159):1859-1922. DOI:10.1016/s0140-6736(18)32335-3.
- [24] Benchoufi M, Ravaud P, Tarlet J. Blockchain for increased trust in observational studies[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(12):e762. DOI:10.1016/S2589-7500(21)00251-X.
- [25] Ng WY, Tan TE, Movva PVH, et al. Blockchain applications in health care for COVID-19 and beyond: a systematic review[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(12):e819-829. DOI:10.1016/S2589-7500(21)00210-7.
- [26] Leeming G, Ainsworth J, Clifton DA. Blockchain in health care: hype, trust, and digital health[J]. *Lancet*, 2019, 393(10190):2476-2477. DOI:10.1016/S0140-6736(19)30948-1.
- [27] 庞元捷, 吕筠, 余灿清, 等. 多组学在慢性病病因学研究中的应用及其进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2021, 42(1):1-9. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20201201-01370.
- [28] 林慧君, 王小磊, 田梦圆, 等. 机器学习及其流行病学应用[J]. *中华流行病学杂志*, 2021, 42(9):1689-1694. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200722-00970.
- [29] Lin HJ, Wang XL, Tian MY, et al. Machine learning and its epidemiological applications[J]. *Chin J Epidemiol*, 2021, 42(9):1689-1694. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200722-00970.
- [30] de Brouwer W, Patel CJ, Manrai AK, et al. Empowering clinical research in a decentralized world[J]. *NPJ Digit Med*, 2021, 4(1):102. DOI:10.1038/s41746-021-00473-w.
- [31] Inan OT, Tenaerts P, Prindiville SA, et al. Digitizing clinical trials[J]. *NPJ Digit Med*, 2020, 3(1):101. DOI:10.1038/s41746-020-0302-y.
- [32] Schroerer C, Voss S, Jung-Sievers C, et al. Digital formats for community participation in health promotion and prevention activities: a scoping review[J]. *Front Public Health*, 2021, 9:713159. DOI:10.3389/fpubh.2021.713159.
- [33] Monaco A, Palmer K, Faber NHR, et al. Digital health tools for managing noncommunicable diseases during and after the COVID-19 pandemic: perspectives of patients and caregivers[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(1):e25652. DOI:10.2196/25652.
- [34] Bayoumy K, Gaber M, Elshafeey A, et al. Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(8):581-599. DOI:10.1038/s41569-021-00522-7.
- [35] Steinfeldt J, Buerger T, Loock L, et al. Neural network-based integration of polygenic and clinical information: development and validation of a prediction model for 10-year risk of major adverse cardiac events in the UK Biobank cohort[J]. *Lancet Digit Health*, 2022, 4(2):e84-94. DOI:10.1016/S2589-7500(21)00249-1.
- [36] 张翼鹏, 黄竹青, 陈敏. 公共卫生大数据应用模式探讨[J]. *中国数字医学*, 2019, 14(1):33-35. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2019.01.010.
- [37] Zhang YP, Huang ZQ, Chen M. Big data application model in public health[J]. *China Digit Med*, 2019, 14(1):33-35. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2019.01.010.
- [38] Liu XF, Li QQ, Chen WY, et al. A dynamic risk-based early warning monitoring system for population-based management of cardiovascular disease[J]. *Fundam Res*, 2021, 1(5):534-542. DOI:10.1016/j.fmre.2021.08.008.
- [39] 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.
- [40] 赖铿, 韩雨廷, 房宏霞. 视频督导服药在结核病患者治疗管理中的应用[J]. *中国防痨杂志*, 2017, 39(7):679-683. DOI:10.3969/j.issn.1000-6621.2017.07.003.
- [41] Lai K, Han YT, Fang HX. The application of video observed therapy to the management of tuberculosis treatment[J]. *Chin J Antituberc*, 2017, 39(7):679-683. DOI:10.3969/j.issn.1000-6621.2017.07.003.
- [42] Penedo FJ, Oswald LB, Kronenfeld JP, et al. The increasing value of eHealth in the delivery of patient-centred cancer care[J]. *Lancet Oncol*, 2020, 21(5):e240-251. DOI:10.1016/s1470-2045(20)30021-8.
- [43] Syrowatka A, Song WY, Amato MG, et al. Key use cases for artificial intelligence to reduce the frequency of adverse drug events: a scoping review[J]. *Lancet Digit Health*, 2022, 4(2):e137-148. DOI:10.1016/S2589-7500(21)00229-6.
- [44] Widmer RJ, Collins NM, Collins CS, et al. Digital health interventions for the prevention of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Mayo Clin Proc*, 2015, 90(4):469-480. DOI:10.1016/j.mayocp.2014.12.026.
- [45] Dorsey ER, Topol EJ. Telemedicine 2020 and the next decade[J]. *Lancet*, 2020, 395(10227):859. DOI:10.1016/s0140-6736(20)30424-4.
- [46] Patterson V. Neurological telemedicine in the COVID-19 era[J]. *Nat Rev Neurol*, 2021, 17(2):73-74. DOI:10.1038/s41582-020-00438-9.
- [47] Hollander JE, Carr BG. Virtually perfect? Telemedicine for Covid-19[J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(18):1679-1681. DOI:10.1056/NEJMp2003539.
- [48] 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.
- [49] Bernardo TM, Rajic A, Young I, et al. Scoping review on search queries and social media for disease surveillance: a chronology of innovation[J]. *J Med Internet Res*, 2013, 15(7):e147. DOI:10.2196/jmir.2740.
- [50] Aiello AE, Renson A, Zivich PN. Social media- and internet-based disease surveillance for public health[J]. *Annu Rev Public Health*, 2020, 41:101-118. DOI:10.1146/annurev-publhealth-040119-094402.
- [51] 王波, 吕筠, 李立明. 生物医学大数据:现状与展望[J]. *中华流行病学杂志*, 2014, 35(6):617-620. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.06.001.
- [52] Wang B, Lv J, Li LM. Big data in biomedicine: status quo and perspective[J]. *Chin J Epidemiol*, 2014, 35(6):617-620. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.06.001.
- [53] Tsao SF, Chen H, Tisseverasinghe T, et al. What social media told us in the time of COVID-19: a scoping review[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(3):e175-194. DOI:10.1016/S2589-7500(20)30315-0.
- [54] Lardon J, Abdellaoui R, Bellet F, et al. Adverse drug reaction identification and extraction in social media: a scoping review[J]. *J Med Internet Res*, 2015, 17(7):e171. DOI:10.2196/jmir.4304.
- [55] 王玉琢, 马红霞, 靳光付, 等. 大数据时代的流行病学研究: 机遇、挑战与展望[J]. *中华流行病学杂志*, 2021, 42(1):10-14. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20201203-01377.
- [56] Wang YZ, Ma HX, Jin GF, et al. Epidemiological research in the big data era: opportunities, challenges and perspectives[J]. *Chin J Epidemiol*, 2021, 42(1):10-14. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20201203-01377.
- [57] Gunasekaran DV, Tseng RMWW, Tham YC, et al. Applications of digital health for public health responses to COVID-19: a systematic scoping review of artificial intelligence, telehealth and related technologies[J]. *NPJ Digit Med*, 2021, 4(1):40. DOI:10.1038/s41746-021-00412-9.
- [58] Zeeb H, Pigeot I, Schüz B. Digital public health-an overview[J]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2020, 63(2):137-144. DOI:10.1007/s00103-019-03078-7.
- [59] 中华人民共和国数据安全法[EB/OL]. [2021-06-10] [2022-03-11]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202106/7c9af12f51334a73b56d7938f99a788a.shtml>.
- [60] 中华人民共和国个人信息保护法[EB/OL]. [2022-03-11]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202108/a8c4e3672c74491a80b53a172bb753fe.shtml>.
- [61] PAHO. 8 principles for digital transformation of public health[EB/OL]. [2022-03-11]. <https://www.paho.org/en/ish/8-principles>.