

· 新型冠状病毒肺炎疫情防控 ·

宁波市新型冠状病毒肺炎疫情动态清零 精准防控策略和措施效果评价

洪航 方挺 易波 许国章

宁波市疾病预防控制中心, 宁波 315010

通信作者: 许国章, Email: xugz@nbcdc.org.cn

【摘要】 目的 对宁波市新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情动态清零精准防控策略和措施效果进行评价。方法 根据2021年12月宁波市报告的COVID-19确诊病例和个案流行病学调查报告绘制流行曲线,建立传播动力学模型,预测不同干预措施下的累计确诊病例数,计算基本再生数(R_0)和实时再生数(R_t)评估干预措施效果。结果 截至2021年12月17日,宁波市累计确诊COVID-19共74例,估算 R_0 为4.3。随着防控措施的加强, R_t 呈逐渐下降趋势,至12月11日下降到1.0以下,之后持续下降到12月14日的0.4。模型拟合结果显示,实际累计确诊病例数接近政策干预有效性为90%的估计病例数(76例),与不采取任何干预措施比较病例数减少98.4%。结论 宁波市开展的COVID-19动态清零精准防控策略和措施效果明显,可以短时间内控制疫情流行。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎; 传染病动力学模型; 预测; 效果评估

基金项目: 宁波市“科技创新2025”重大专项(2021Z021); 宁波市医疗卫生品牌学科(PPXK2018-10); 浙江省医学重点学科(07-013); 宁波市应急科技攻关重大专项(2022Z034)

Effectiveness of precise prevention and control strategies of dynamic zero COVID-19 in Ningbo, Zhejiang province

Hong Hang, Fang Ting, Yi Bo, Xu Guozhang

Ningbo Prefectural Center for Disease Control and Prevention, Ningbo 315010, China

Corresponding author: Xu Guozhang, Email: xugz@nbcdc.org.cn

【Abstract】 Objective To evaluate effectiveness of the precise prevention and control strategies of dynamic zero COVID-19 in Ningbo, Zhejiang province. **Methods** Based on the incidence data of COVID-19 and case epidemiological survey report in Ningbo in December 2021, the incidence curve of COVID-19 was generated and a dynamics model was developed to estimate the case number of under different intervention measures. The basic reproduction number (R_0) and real-time reproduction number (R_t) were calculated to evaluate intervention effect. **Results** A total of 74 cases of COVID-19 had been confirmed in Ningbo as of 17 December, 2021. The R_0 was estimated to be 4.3. With the strengthening of prevention and control measures, the R_t showed a gradual downward trend, dropping to below 1.0 on December 11 and 0.4 on December 14. The model fitting results showed that the actual case number was close to the estimated case number (76 cases) when the effectiveness of intervention was 90%. The number of cases decreased by 98.4% compared with that if no intervention was taken. **Conclusion** The precise prevention and control strategies of dynamic zero COVID-19 have obvious effect, which can facilitate the rapid control of COVID-19 epidemic in Ningbo.

【Key words】 COVID-19; Transmission dynamics model; Predict; Effectiveness of prevention and control

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220208-00100

收稿日期 2022-02-08 本文编辑 张婧

引用格式: 洪航, 方挺, 易波, 等. 宁波市新型冠状病毒肺炎疫情动态清零精准防控策略和措施效果评价[J]. 中华流行病学杂志, 2022, 43(5): 669-673. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220208-00100.

Hong H, Fang T, Yi B, et al. Effectiveness of precise prevention and control strategies of dynamic zero COVID-19 in Ningbo, Zhejiang province[J]. Chin J Epidemiol, 2022, 43(5):669-673. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220208-00100.



Fund programs: Major Special Project of Science and Technology Innovation 2025 in Ningbo (2021Z021); Ningbo Health Branding Subject Fund (PPXK2018-10); Zhejiang Medical Key Discipline Project (07-013); Ningbo Emergency Science and Technology Major Project (2022Z034)

当前,新型冠状病毒肺炎(COVID-19)仍处于全球大流行发展阶段^[1]。截至2021年12月16日,全球累计报告 COVID-19 确诊病例 271 376 643 例,死亡病例 5 324 969 例^[2]。新型冠状病毒(新冠病毒)进化和变异速度较快。自2020年10月印度发现 Delta(B.1.617.2)变异株后,2021年11月26日,WHO 病毒进化技术指导组将 Omicron(B.1.1.529)列为关切变异株(VOC)^[3]。为应对 COVID-19 扩散和蔓延,我国开展动态清零防控措施,即一旦出现本土疫情,强化公共卫生干预措施,达到快速扑灭疫情的目标^[4]。本研究通过传播动力学模型评估宁波市动态清零精准防控措施效果,以期为我国科学防控 COVID-19 疫情提供参考。

资料与方法

1. 数据来源:COVID-19 病例数据来源于中国疾病预防控制中心信息系统和宁波市 COVID-19 现场流行病学个案调查报告。相关的防控措施信息来源于“宁波发布”微信公众号。宁波市常住人口数来源于宁波市自然资源和规划局。

2. 研究对象:2021年12月6-17日宁波市报告的 COVID-19 本土病例。相关病例定义参照《新型冠状病毒肺炎防控方案(第八版)》^[5]。

3. 措施效果评价方法:①流行趋势分析:使用 Excel 2013 软件绘制 COVID-19 流行曲线。根据病例发病情况将流行曲线划分为流行前期、上升期、平台期和下降期;根据病例发现方式将所有病例划分为全员核酸检测发现、居家隔离发现和集中隔离发现;根据不同时期的防控措施划分为常态化疫情防控、社区清零、集中隔离点清零和有序解封。②传播动力学分析:建立宁波市 COVID-19 易感人群-潜伏期人群-显性感染人群-恢复人群-隔离人群-隐性感染人群-疫苗接种人群-住院人群(susceptible-exposed-infectious-recovered-quarantined-asymptomatic-vaccine-hospitalized, SEIRQAVH) 传播动力学模型,用政策干预有效性分别为 90%、80% 和 0 模拟 12 月 7 日执行不同干预措施,估计累计确诊病例数与实际对比评估干预措施效果。主要参数疫苗接种率、感染者中有症状的比例、病死

率、潜伏期、代间距按照宁波市实际疫情数据确定。具体模型微分方程、基本再生数(R_0)和实时再生数(R_t)公式和其他参数估计方法见 2020 年宁波市建立的传播动力学模型^[6]。

4. 统计学分析:用 Excel 2013 软件对数据进行统计描述和作图,按照病例发病日期绘制流行曲线图。定性资料采用率和构成比描述,定量资料呈偏态分布时采用 $M(Q_1, Q_3)$ 描述。采用 R 4.0.5 软件对宁波市 COVID-19 进行分析和建模。

结 果

1. 首发病例情况:首发病例 2021 年 11 月 22 日从上海虹桥乘高铁返回宁波市,11 月 25 日出现发热,伴畏寒、乏力,主动前往医院就诊,核酸检测阴性。11 月 26 日主动向社区报备,12 月 5 日落实居家隔离健康观察期间核酸检测阳性。

2. 流行病学特征:截至 2021 年 12 月 17 日,宁波市累计报告 COVID-19 确诊病例 74 例,其中轻型 65 例,普通型 8 例,重型 1 例,无死亡病例。病例标本三代测序结果显示,本次疫情的新冠病毒为 Delta 变异株(A.Y.4 进化分支)。74 例确诊病例中,新冠病毒疫苗接种率为 93.2%(69/74)。全员核酸检测发现 22 例,集中隔离发现 45 例,居家隔离发现 7 例,无主动就诊发现病例。潜伏期 $M(Q_1, Q_3)$ 为 4.0(3.0, 5.8)d;代间距 $M(Q_1, Q_3)$ 为 3.5(2.0, 5.3)d。流行曲线共分为 4 期:12 月 4 日前为流行前期;上升期共 6 d(12 月 4-9 日);平台期共 2 d(12 月 10-11 日);12 月 12 日起进入下降期,12 月 18 日后无新增病例。见图 1。

3. 传播动力学:SEIRQAVH 模型拟合结果显示,截至 2021 年 12 月 17 日,在不采取任何干预措施(政策干预有效性为 0)的情况下,宁波市估计累计确诊病例达到 4 846 例;如果政策干预有效性为 80%,估计累计确诊病例达到 443 例;如果政策干预有效性为 90%,估计累计确诊病例达到 76 例,之后无新增病例。截至 12 月 17 日,实际累计确诊病例为 74 例,接近政策干预有效性为 90% 的估计数,与不采取任何干预措施比较病例数减少 98.4%。见图 2。

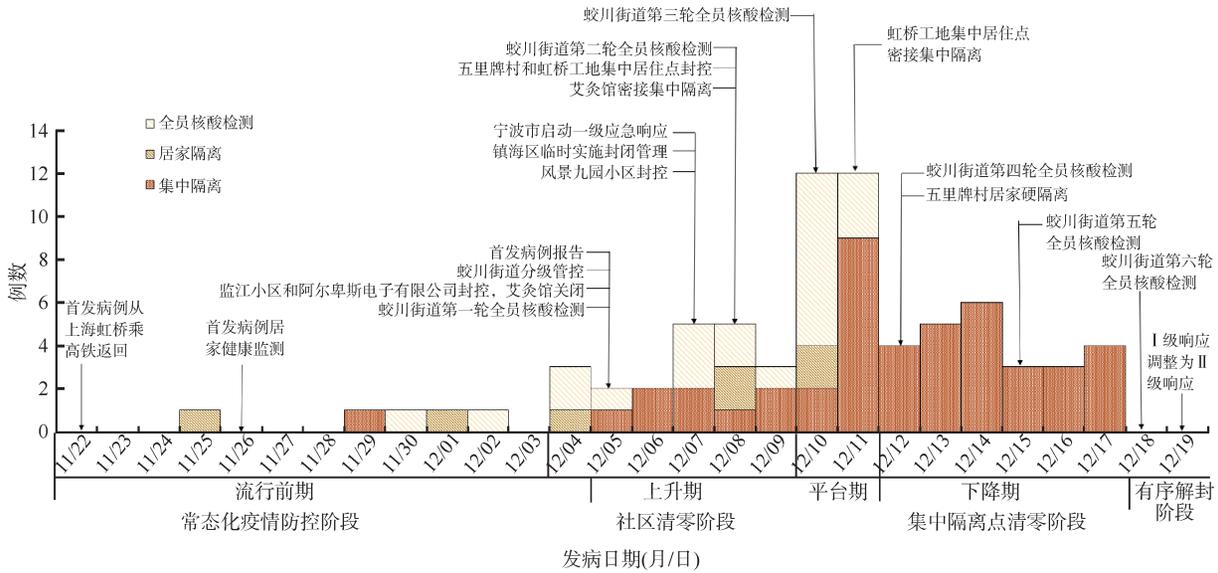


图1 2021年宁波市新型冠状病毒肺炎确诊病例流行曲线

经模型计算, R_0 为 4.3。随着防控措施的加强, R_t 呈逐渐下降趋势。特别是 12 月 11 日后, 通过采取加大密切接触者(密接)、密接的密接(次密)排查和加强隔离医学观察措施, R_t 下降至 1.0 以下, 之后持续下降到 12 月 14 日的 0.4 并保持稳定。见图 3。

4. 动态清零精准防控措施: 2021 年 12 月 5 日前为常态化疫情防控阶段, 包括信息追溯、闭环管理、监测预警、预防消毒、健康宣教、精密智控和疫苗接种措施; 12 月 5-11 日为社区清零阶段, 包括快速激活应急机制、快速开展感染来源流行病学调查(流调)、快速开展全员核酸检测、快速开展密接和次密编组、快速转运集中隔离人员、强化社会面管控、强化社区防控措施、强化监测预警、强化信息沟通措施; 12 月 12-17 日为集中隔离点清零阶段, 包括严格分类隔离、严格健康监测、严格工作人员管理、提高免疫力措施; 12 月 18-25 日为有序解封阶段, 包括封控区和管控区外解封、封控区和管控区解封、集中隔离点解封、后续健康监测措施。见表 1。

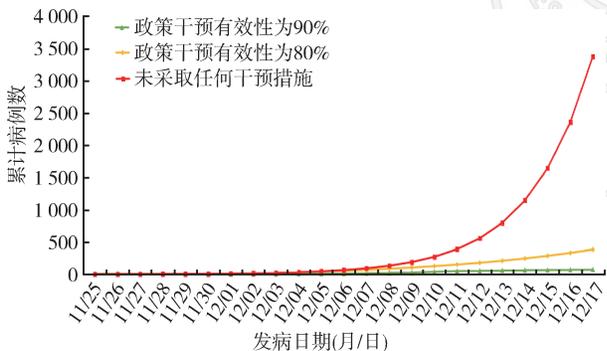


图2 2021年宁波市新型冠状病毒肺炎不同干预措施下累计确诊病例数预测

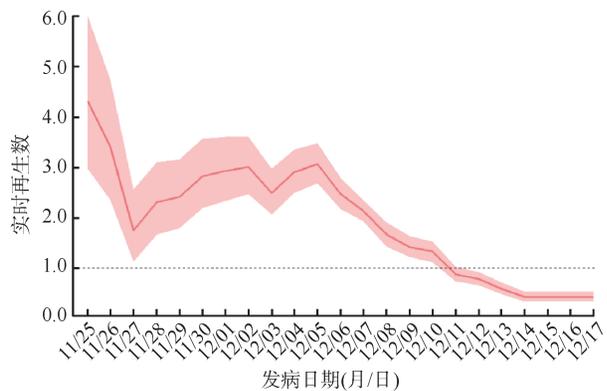


图3 2021年宁波市新型冠状病毒肺炎实时再生数变化趋势

讨论

目前 Delta 变异株在全球多个国家已逐渐成为主要流行株, 人群普遍易感, 没有特异性治疗的药物。与其他 VOC 比较, Delta 变异株具有传染性更强、病毒载量更高、潜伏期更短等特点, 疫苗保护效力相对下降^[7]。在境外疫情暴发增长态势仍在持续, 我国外防输入压力持续加大的形势下, 宁波市开展动态清零精准防控策略和措施, 疫情高峰期明显缩短, 病例数下降速度快, 可以短时间内控制疫情流行, 为全球和我国其他城市进一步有效应对 COVID-19 提供科学依据和防控参考。

研究结果显示, 宁波市动态清零精准防控措施

表 1 宁波市新型冠状病毒肺炎疫情动态清零精准防控策略和措施

时间	阶段	主要措施
12月5日前	常态化疫情防控	<p>信息追溯:通过数字化手段实现风险人群和物品全流程可追溯</p> <p>闭环管理:落实风险人群分类健康管理和定期核酸检测措施,加强口岸一线工作人员“两集中”管理和个人防护</p> <p>监测预警:发挥并压实医疗机构、药店等的“哨点”作用和责任,强化对有发热、干咳等“十大症状”就诊者的闭环管理</p> <p>预防消毒:坚持“人、物、环境同防”,做好进口冷链货物预防性消毒和闭环管理</p> <p>健康宣教:广泛开展健康宣教,提升公众和企业自我防护能力</p> <p>精密智控:依托一体化智能化大数据平台,开展各环节数据实时准确共享,将组织体系、隔离点、核酸检测、转运车辆等应急预案量化、清单化</p> <p>疫苗接种:开展≥3岁居民新型冠状病毒疫苗接种</p>
12月5-11日	社区清零	<p>快速激活应急机制:全市第一时间启动Ⅰ级应急响应,划定封控区、管控区和防范区</p> <p>快速开展感染来源流行病学调查(流调):强化病例早期发现,公安、疾控、大数据等部门联合从快从严从细开展感染来源流调,第一时间锁定病例的轨迹和查清流行病学相关信息,快速精准追踪判定密切接触者(密接)、密接的密接(次密)和风险人群</p> <p>快速开展全员核酸检测:动态完善和优化全员核酸检测“采、送、检、报”流程,增加移动检测力量配备,使检测全面提速</p> <p>快速开展密接、次密编组:对感染来源流调发现的密接、次密分级分类进行编组,与转运车辆和隔离点有机匹配,实现最短时间高效转运</p> <p>快速转运集中隔离人员:对转运需求、派车、运输、隔离点接收、车辆回场实行电子化转运联单,实现全程闭环高效、信息透明共享</p> <p>强化社会面管控:临时实施封闭管理,实施停产、停工、停课;从严从紧控制人员非必要流动和聚集,严管会议、聚餐等聚集性活动;加强商场、超市、酒店、菜市场、交通场站、建筑工地、景区等重点场所防控工作,落实测温、“亮码”、戴口罩等举措</p> <p>强化社区防控措施:动员组织各方面的力量,划定最小的管理单元,严格落实社区“小门”、家门层层管控机制</p> <p>强化监测预警:充分发挥医疗机构、药店等的“哨点”作用,严格落实对有发热、干咳等“十大症状”就诊者的闭环管理要求</p> <p>强化信息沟通:每天召开新闻发布会,公布疫情情况、病例行为轨迹,提高媒体沟通、群防群控能力和社会动员</p>
12月12-17日	集中隔离点清零	<p>严格分类隔离:对境外人员、中高风险地区人员、密接和次密、一般接触人员分点、分区、分层硬隔离,对隔离房门安装智能报警系统,严防互相接触</p> <p>严格健康监测:规范开展集中隔离人员核酸检测和健康监测,对核酸检测阳性的集中隔离人员,立即开展流调,对风险人员重新计算隔离时间</p> <p>严格工作人员管理:实现工作人员和隔离点封闭管理,强化工作人员岗前和在岗培训,严格准入制度;设立监督检查岗,强化工作人员个人防护和消毒操作</p> <p>提高免疫力:集中隔离人员和工作人员每天服用中药,提高机体免疫力</p>
12月18-25日	有序解封	<p>封控区、管控区外解封:解除封控区、管控区外的临时封闭管理,在封控区、管控区外复工、复产、复学</p> <p>封控区、管控区解封:动态调整封控区、管控区范围,达到解封条件后解封</p> <p>集中隔离点解封:最后一名隔离人员解除隔离后,隔离点解封</p> <p>后续健康监测:落实对解除隔离后人员的后续健康监测</p>

可以快速阻断本土 COVID-19 流行。根据流行曲线特征描述,虽然首发病例的发病日期在 11 月 25 日,但是早期疫情上升速度缓慢;疫情高峰平台期持续 2 d 后病例数快速下降,拖尾时间较短,说明干预措施效果较好^[8]。本轮疫情中病例发现多以轻型为主,和广州市、天津市疫情一致^[9-10],可能和新冠病毒疫苗接种能减少感染后的典型临床症状有关^[11],因此需要加大感染来源流调和主动排查力度,加强病例的早期发现和早期预警。

本研究总结了不同时期宁波市采取的动态清

零精准防控措施。其中公安、疾控、大数据等部门第一时间锁定了早期病例的活动轨迹并查清病例暴露史、接触史等流行病学相关信息,疾控部门科学划定防控区域,为各项防控措施的落实奠定基础。与其他地区暴发疫情比较^[12],集中隔离发现病例占总病例数一半以上是本次疫情处置的主要特点,提示本次疫情感染来源流调和密接、次密和风险人群管控到位,人群感染风险较低,社区传播较为局限。多项研究发现,与 Alpha 变异株相比,Delta 变异株的传播力提高 50% 以上^[13-14]。一旦暴

发疫情,需要扩大人群筛查的范围快速找出所有病例,尽快达到遏制疫情蔓延的目的^[15]。本次疫情在短时间内组织 6 轮全员核酸检测,其中全员核酸检测发现的病例占总病例的 30%,提示核酸检测在病例早期发现和早期控制以及社区快速清零阶段发挥重要作用,需要做好核酸检测能力储备。

本研究建立的 SEIRQAVH 传播动力学模型,能较好地评价干预措施效果^[16-17]。12 月 5 日后宁波市采取一系列的动态清零措施阻断了 90% 以上的传播,并使 R_t 快速降到 1.0 以下,累计确诊病例数减少 98.4%。虽然存在少量长潜伏期的病例,但都在集中隔离点发现。说明动态清零的精准防控策略和措施效果显著。

本模型存在局限性。首先,本研究建立的模型参数较多,可能会导致模型过度拟合,影响预测结果;其次,模型的参数受到管控措施力度等因素的影响,模型也没有考虑到不同疫苗接种剂次保护率因素;第三,随着确诊病例、密接的隔离,易感人群接触传染源的概率会有所降低,理想化的模型可能会高估 R_t 的下降趋势。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 洪航:撰写文章、分析数据;方挺:采集数据、分析数据;易波:解释数据、修改文章;许国章:构思设计、解释数据、修改文章、项目管理、经费支持

参 考 文 献

- [1] 李立明. 新型冠状病毒肺炎疫情后公共卫生展望[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(7): 1143-1147. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210415-00321. Li LM. Prospects of public health at COVID-19 post-pandemic stage[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(7): 1143-1147. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210415-00321.
- [2] WHO. WHO coronavirus (COVID-19) dashboard[EB/OL]. (2021-12-15)[2021-12-16]. <https://covid19.who.int>.
- [3] WHO. Tracking SARS-CoV-2 variants[EB/OL]. (2021-12-13) [2021-12-16]. <https://www.who.int/en/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants/>.
- [4] 梁万年, 刘民, 刘珏, 等. 我国新型冠状病毒肺炎疫情防控的“动态清零”策略[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(4): 239-242. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211205-02710. Liang WN, Liu M, Liu Y, et al. The dynamic COVID-zero strategy on prevention and control of COVID-19 in China [J]. Natl Med J China, 2022, 102(4): 239-242. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211205-02710.
- [5] 国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情联防联控机制综合组. 关于印发新型冠状病毒肺炎防控方案(第八版)的通知[EB/OL]. (2021-05-11)[2021-12-16]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s3577/202105/6f1e8ec6c4a540d99fafef52fc86d0f8.shtml>.
- [6] 洪航, 史宏博, 姜海波, 等. 基于传染病动力学模型的宁波市新型冠状病毒肺炎防控措施效果评估[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(10): 1606-1610. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20200311-00313. Hong H, Shi HB, Jiang HB, et al. Epidemic dynamic model based evaluation of effectiveness of prevention and control strategies for COVID-19 in Ningbo[J]. Chin J Epidemiol, 2020, 41(10): 1606-1610. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20200311-00313.
- [7] 杜敏, 刘民, 刘珏. 新型冠状病毒 Delta 变异株的流行病学特征及防控研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(10): 1774-1779. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210808-00619. Du M, Liu M, Liu J. Progress in research of epidemiologic feature and control of SARS-CoV-2 Delta variant[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(10): 1774-1779. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210808-00619.
- [8] 邹旋, 吴永胜, 刘晓剑, 等. 深圳市新型冠状病毒肺炎应急响应策略和措施效果评价[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(8): 1225-1230. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200316-00360. Zou X, Wu YS, Liu XJ, et al. Evaluation of the emergency response strategies and measures on the epidemic of COVID-19 in Shenzhen, China[J]. Chin J Epidemiol, 2020, 41(8): 1225-1230. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200316-00360.
- [9] 赵文恒, 马钰, 汪慧, 等. 广州市 3 起本地新型冠状病毒肺炎疫情流行特征及分析[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(12): 2088-2095. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210728-00592. Zhao WH, Ma Y, Wang H, et al. Epidemiological characteristics of three local epidemics of COVID-19 in Guangzhou[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(12): 2088-2095. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210728-00592.
- [10] 于静波, 王钰铭, 于浩, 等. 天津市境外输入性新型冠状病毒感染者流行病学特征分析[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(12): 2082-2087. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210816-00647. Yu JB, Wang YM, Yu H, et al. Epidemiological characteristics of imported COVID-19 cases in Tianjin[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(12): 2082-2087. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210816-00647.
- [11] Bernal JL, Andrews N, Gower C, et al. Effectiveness of COVID-19 vaccines against the B.1.617.2 (Delta) variant [J]. N Engl J Med, 2021, 385(7): 585-594. DOI: 10.1056/NEJMoa2108891.
- [12] 张奕, 高文静, 王宇, 等. 北京市新发地市场新型冠状病毒肺炎疫情相关病例的流行病学特征分析[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(8): 1336-1340. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20201222-01428. Zhang Y, Gao WJ, Wang Y, et al. Epidemiological characteristics of COVID-19 cases in outbreak in Xinfadi market in Beijing[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(8): 1336-1340. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201222-01428.
- [13] del Rio C, Malani PN, Omer SB. Confronting the delta variant of SARS-CoV-2, Summer 2021[J]. JAMA, 2021, 326(11): 1001-1002. DOI: 10.1001/jama.2021.14811.
- [14] Burki TK. Lifting of COVID-19 restrictions in the UK and the Delta variant[J]. Lancet Respir Med, 2021, 9(8): e85. DOI: 10.1016/S2213-2600(21)00328-3.
- [15] 陈希, 邹启, 甄若楠, 等. 构建大规模人群新型冠状病毒核酸筛查指标体系研究[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(8): 1353-1359. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210209-00106. Chen X, Zou Q, Zhen RN, et al. Establishment of index system for population based SARS-CoV-2 nucleic acid screening[J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(8): 1353-1359. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210209-00106.
- [16] IHME COVID-19 Forecasting Team. Modeling COVID-19 scenarios for the United States[J]. Nat Med, 2021, 27(1): 94-105. DOI: 10.1038/s41591-020-1132-9.
- [17] 魏永越, 卢珍珍, 杜志成, 等. 基于改进的 SEIR+CAQ 传染病动力学模型进行新型冠状病毒肺炎疫情趋势分析[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(4): 470-475. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20200216-00106. Wei YY, Lu ZZ, Du ZC, et al. Fitting and forecasting the trend of COVID-19 by SEIR+CAQ dynamic model[J]. Chin J Epidemiol, 2020, 41(4): 470-475. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20200216-00106.