

· 新型冠状病毒肺炎疫情防控 ·

新型冠状病毒肺炎非药物干预防控措施 经济学评价研究进展

付亚群¹ 赵婧雨¹ 韩沛恩¹ 杨莉¹ 任涛¹ 詹思延¹ 李立明^{1,2}

¹北京大学公共卫生学院,北京 100191;²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:杨莉,Email:lyang@bjmu.edu.cn

【摘要】目的 了解国内外新型冠状病毒肺炎非药物干预(non-pharmaceutical interventions, NPIs)措施的经济评价研究进展,为开展基于中国真实世界证据的NPIs措施经济学评价提供参考。**方法** 对中英文数据库2020年1月至2021年12月的文献进行检索,纳入NPIs措施以及不同NPIs措施组合的经济学评价文献,并对相关文献进行叙述性整合。**结果** 本研究共纳入30篇中英文文献,其中以核酸合并抗原检测/筛查类策略为主的研究7篇,以个人防护类策略为主的研究6篇,个人防护、保持社交隔离、核酸检测、抗原检测/筛查、社区大规模筛查、症状筛查、密切接触者(密接)追踪、隔离组合策略研究12篇,封锁等抑制策略为主的研究5篇。研究发现个人防护、社交距离和筛查-密接追踪-隔离具有成本效果/效用/效益,但不同的组合方式会导致不同结果,此外,封锁成本较高会带来较重的经济负担。**结论** 除封锁外的NPIs措施大多具有成本效果,不同情境下不同程度NPIs措施组合的成本效果需要再评估。亟需开展基于我国真实世界的NPIs措施组合以及NPIs措施与疫苗、药物等其他干预组合的经济学评价研究。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎; 疾病负担; 非药物干预; 经济学评价

基金项目:国家自然科学基金(72174010);北京自然科学基金专项(M22033);首都卫生发展科研专项(2021-1G-4091)

Progress in research of economic evaluation of non-pharmaceutical interventions for COVID-19 prevention and control

Fu Yaqun¹, Zhao Jingyu¹, Han Peien¹, Yang Li¹, Ren Tao¹, Zhan Siyan¹, Li Liming^{1,2}

¹School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; ²Peking University Center for Public Health and Epidemic Preparedness & Response, Beijing 100191, China

Corresponding author: Yang Li, Email: lyang@bjmu.edu.cn

【Abstract】 Objective To understand the research progresses of economic evaluation of non-pharmaceutical interventions (NPIs) both at home and abroad, and provide reference for economic evaluation of NPIs using real-world data in China. **Methods** The literature retrieval was conducted by searching Chinese and English databases to include papers about economic evaluation of NPIs and integrated NPIs published from January, 2020 to December, 2021, and the results were analyzed comprehensively. **Results** A total of 30 Chinese and English literatures about economic evaluation of NPIs for COVID-19 prevention and control were included; including 7 papers about nucleic acid and testing and screening, 6 papers about individual prevention and protection measures, 12 papers about integrated implementation of individual prevention and protection, social distancing, nucleic acid or antigen testing, community screening and symptom screening, as

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220218-00129

收稿日期 2022-02-18 本文编辑 张婧

引用格式:付亚群,赵婧雨,韩沛恩,等.新型冠状病毒肺炎非药物干预防控措施经济学评价研究进展[J].中华流行病学杂志,2022,43(7):1030-1037. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220218-00129.

Fu YQ, Zhao JY, Han PE, et al. Progress in research of economic evaluation of non-pharmaceutical interventions for COVID-19 prevention and control[J]. Chin J Epidemiol, 2022, 43(7): 1030-1037. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220218-00129.



well as close contact tracing and isolation/quarantine, and 5 papers about contain strategies, such as lockdown. This study found that personal protection, social distancing, and testing-tracing-isolation measures were cost-effective; however, different combinations of NPIs might lead to different results. Moreover, the cost of lockdown was high, which might cause huge economic burden. **Conclusions** Most NPIs are cost-effective except lockdown, while the cost-effectiveness of the integrations of NPIs at different levels and in different scenarios needs to be further evaluated. It is necessary to carry out economic evaluation of integrated NPIs and the combination of NPIs with other interventions, such as vaccination and medication, based on real-world settings in China.

【Key words】 COVID-19; Disease burden; Non-pharmaceutical intervention; Economic evaluation

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (72174010); Beijing Natural Science Foundation Special Project (M22033); Capital Health Development Scientific Research Special Project (2021-1G-4091)

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)是一种由新型冠状病毒引起的传染病,于2020年1月30日被宣布为国际关注的公共卫生紧急事件,并于2020年3月被WHO定义为大流行。为了保障人群健康,我国在COVID-19大流行初期就及时采取了围堵策略,即通过实施非药物干预(non-pharmaceutical interventions, NPIs)措施和抗病毒治疗遏制病毒的传播^[1]。其中最主要的措施包括:戴口罩、增加社交距离、隔离有症状的个人、密切接触者(密接)追踪、核酸检测、边界封锁等措施。韩国^[2]、美国^[3]、英国^[4]、印度^[5]、中国^[6]的研究表明COVID-19对全球经济带来冲击,尤其是停业、停课、企业倒闭等导致的生产力损失巨大。由于目前针对COVID-19防控策略的经济学评价较少,尤其在中、低收入国家的研究证据不足,并且各种NPIs措施对疫情控制的效果、对经济造成的影响不同,因此需要系统全面梳理国内外NPIs措施经济学评价研究,总结不同NPIs措施组合效果,对于我国在不同疫情防控阶段更好选择和调整最具有成本效果的NPIs措施提供参考。

资料与方法

1. 文献检索:全面检索PubMed、Embase、Ovid Medline、Web of Science、Scopus、Elsevier、中国知网数据库,时间范围为2020年1月1日至2021年12月31日。英文检索词:COVID-19, SARS-CoV-2, NPI, economic evaluation, cost-effectiveness analysis, cost-utility analysis, cost-benefit analysis, Health Technology Assessment(HTA);中文检索词:新型冠状病毒肺炎、非药物干预措施、经济学评价、成本-效果分析、成本-效用分析、成本-效益分析。其中,非药物干预措施即疫苗外的公共卫生措施,包

括封锁、关闭边境、关闭学校、筛查疑似病例、隔离有症状的个人及其接触者以及保持社交距离等^[7]。

2. 文献纳入和排除:纳入满足以下所有条件的文献:①研究问题为COVID-19非药物干预措施或非药物干预合并疫苗接种措施的经济学评价;②结果中报告成本、效果/效用/效益数据。排除满足以下任一条件的文献:①干预措施仅包含疫苗接种;②成本或效果/效用/效益数据缺失;③综述、评论、指南、共识;④会议摘要等研究数据不全的文献;⑤发表语言非中文和英文;⑥无法获得全文。文献经过查重、阅读题目和摘要、阅读全文3个步骤完成纳入、排除过程,全流程经研究者分工独立完成并经过反复核查。

3. 质量评分:参考健康经济评估报告标准(CHEERS),对文献进行打分,评估每项研究的质量。CHEERS从标题和摘要、引言、方法、结果、讨论和其他6个维度共计24个条目对纳入文献进行质量评价。评分标准:每个条目下,完全符合记1.0分,部分符合记0.5分,不符合记0分,总分24.0分。19.0~24.0分表示质量高,13.0~19.0分表示质量中等,<13.0分表示质量差。研究纳入文献的质量得分由2名研究者独立进行评估打分,意见不一致时协商讨论,如仍不一致,则由第3位研究者进行最终判定。

4. 叙述整合:从研究国家、干预人群、干预措施、研究角度、研究方法、研究模型、模型指标、经济学评价阈值以及主要结果和结论方面进行提取和整理。

结果

1. 文献筛选:从7个数据库中共检索到1 019篇相关文献,经过查重后剔除473篇。通过

阅读题目、摘要和全文,剔除与NPIs措施不相关或者非经济学评价497篇及未同时涵盖成本、效果/效用/效益的文献19篇,最终纳入30篇文献。见图1。

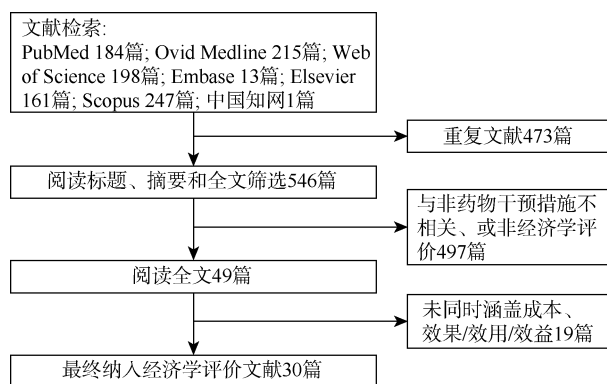


图1 文献筛选流程

2. 纳入文献的基本特征:本研究共纳入非药物干预措施类文献30篇,以欧、美洲地区最多,包括美国9篇(30.0%)、英国4篇(13.6%)、德国2篇(6.7%)、丹麦、西班牙、哥伦比亚各1篇(3.3%);其次为非洲地区,包括加纳和埃及2篇(6.7%)、摩洛哥、南非、尼日利亚、肯尼亚各1篇(3.3%);亚洲地区包括中国3篇(10.0%)、印度和以色列各1篇(3.3%);中、低收入国家汇总研究1篇(3.3%)。从干预人群特征来看,研究针对的人群主要为一般人群,同时部分研究也关注了几类特殊人群,包括疑似感染者、COVID-19无症状和有症状人群、学生和教职工、其他疾病患者、养老院居民、家庭、医护人员。研究关注的干预策略因国家而异,大致可分为:以核酸合并抗原检测/筛查类策略为主的研究7篇(23.3%)^[8-14],以个人防护策略为主的研究6篇(20.0%)^[15-20],个人防护、保持社交隔离、核酸检测、抗原检测/筛查、社区大规模筛查、症状筛查、密接追踪、隔离组合策略研究12篇(40.0%)^[21-32],封锁等抑制策略为主的研究5篇(16.7%)^[33-37]。

3. 纳入文献的方法学特征:从研究角度来看,全社会角度研究12篇(40.0%)^[13-15, 18-20, 22-24, 27, 30, 32],卫生系统/医院研究角度10篇(33.3%)^[8-9, 11-12, 16-17, 28-29, 31, 36],同时采用全社会和卫生系统角度研究2篇(6.7%)^[25, 37],其余6篇研究(20.0%)并未报告研究角度^[10, 21, 26, 33-35]。从经济学评价方法来看,12篇(40.0%)进行了成本-效果分析^[8, 12-13, 15, 18, 21, 23, 26, 29-30, 32, 37],6篇(20.0%)进行了成本-效用分析^[16, 22, 25, 28, 31, 36],6篇(20.0%)进行了成本-效益分析^[19-10, 20, 24, 33-34],3篇(10.0%)进行了成

本-效果和成本-效用分析^[11, 27, 35],3篇(10.0%)进行了成本-效果和预算影响分析/投资回报分析^[14, 17, 19]。从模型特征来看,多数研究首先利用流行病学模型,例如传染病学易感-暴露-感染-康复模型、易感-感染-康复-死亡模型、干预临床和经济学分析动态微观模拟模型、分区传播模型等,对COVID-19发展趋势的模拟和病例数、死亡人数等进行估计,进而利用马尔科夫模型和决策树模型等进行经济学评价。见表1。模型纳入的参数主要包括效果/效用/效益和成本指标,包括发生和避免的病例或死亡数、质量调整生命年(QALYs)、伤残调整生命年(DALYs)、节省的成本或生产力损失等;经济学评价指标主要为增量成本-效果比(ICER)、经济收益等。

表1 纳入文献方法学特征

研究特征	文献数	百分比(%)
研究角度		
全社会	12	40.0
卫生系统/医院	10	33.3
全社会和卫生系统	2	6.7
未报告	6	20.0
研究方法		
成本-效果分析	12	40.0
成本-效用分析	6	20.0
成本-效益分析	6	20.0
成本-效果、成本-效用分析	3	10.0
成本-效果、预算影响分析/投资回报分析	3	10.0
研究模型		
马尔科夫/决策树模型	7	23.3
传播模型	17	56.7
传播模型+马尔科夫模型	1	3.3
离散时间/事件模型	2	6.7
无	3	10.0

4. 经济学评价阈值:支付意愿阈值指策略具有成本效果的ICER值上限。从各国支付意愿阈值来看,美国研究使用的标准多为100 000美元/QALY或100 000美元/寿命损失年,也有研究使用了5 300 000美元/挽救1个生命、25 000美元/避免1例医护人员感染、200 000美元/QALY的标准;英国研究使用的标准为20 000~30 000英镑/QALY。肯尼亚研究使用的标准为210、417、517美元/每避免1例医护人员感染;中国研究使用的标准为64 644元/QALY,即2018年1倍人均国内生产总值(GDP),或70 892元/DALY(2019年人均GDP);印度研究使用的标准为1~3倍人均GDP/QALY;以色

列研究使用的标准为 15 243~17 366 美元/QALY; 其他研究并未在文中明确提及阈值具体取值。

5. 文献质量评分: 本研究评估了 30 篇研究的质量, 从 CHEERS 评分结果来看, 评分范围在 13.5~24.0 分, 评分 < 19.0 分的研究为 6 篇。针对核酸合并抗原检测/筛查和个人防护策略为主的 13 项研究质量均较高, 评分 ≥ 19.0 分; 针对个人防护、保持社交隔离、核酸检测、抗原检测/筛查、社区大规模筛查、症状筛查、密接追踪、隔离组合策略的 12 项研究中, 有 5 篇评分 < 19.0 分。针对封锁等抑制策略的 5 项研究中, 除一项研究的评分 < 19.0 分外, 其余质

量均较高。见表 2。

6. 纳入文献的经济学评价研究结果: 个人防护和群体防控措施在特定情况下具有经济性, 而封锁通常不具有经济性。同时, 针对特殊人群的干预措施是非常有必要的, 因其能够有效地控制流行, 带来健康和经济效益。

(1) 核酸检测合并抗原检测/筛查类防控措施: 针对核酸检测合并抗原检测/筛查类策略的研究表明, 针对不同种类人群, 包括易感/感染 COVID-19 人群^[12]、学生^[8]、流浪汉^[14]、无症状人群^[10]、一般人群^[13]、其他疾病患者^[9]以及疑似感染者^[11], 检测策

表 2 非药物干预措施经济学评价文献研究汇总

参考文献	国家/地区	质量得分	干预措施策略	主要结论
核酸检测合并抗原检测/筛查类策略				
[8]	美国	21.0	8 种策略: ①症状筛查、阳性 PCR 检测和住院; ②症状筛查、阳性 PCR 检测和替代治疗场所 (ACS); ③普遍 PCR 筛查和住院; ④普遍 PCR 筛查和 ACS; ⑤普遍 PCR 筛查和临时住所; ⑥症状筛查、阳性 PCR 检测、住院以及避难所普遍 PCR 检测; ⑦症状筛查、阳性 PCR 检测、ACS 以及避难所普遍 PCR 检测; ⑧无干预	与无干预措施相比, 每日症状筛查和 ACS 可减少新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 感染数, 且成本更低; 增加每 2 周一一次的普遍 PCR 筛查可在成本合理增加范围内进一步减少感染数
[9]	德国	22.0	在医院急诊室进行即时 COVID-19 及时/快速抗原检测 (POCT)	对于急诊患者, 在 COVID-19 患病率为 15.6%、COVID-19 疑似患者住院率为 10.1% 时, POCT 可将住院患者的平均成本降低 213 欧元
[10]	西班牙	21.5	大规模 PCR/POCT 筛查	排除货币化健康的价值, 收益-成本比约为 0.45; 纳入货币化健康的价值, 收益-成本比接近 1.20。因此, 考虑健康的货币化价值是筛查有利的关键因素。对无症状人群大规模筛查可以产生高社会回报
[11]	中国	24.0	2 种防控策略: ①对确诊诊断和出院的患者进行 3 次 RT-PCR 检测; ②对确诊诊断和出院的患者进行 2 次 RT-PCR 检测	对确诊诊断和出院的患者进行 3 次 RT-PCR 检测策略可将有症状病例总数从 2 次检测的 51 144 例减少到 45 013 例, 同时增加了 850.1 质量调整生命年 (QALYs) 健康收益和节省了 4 910 万元净卫生支出。在现有检测具有中等敏感性的情况下, 应考虑在疫情相对严重的地区增加检测数量。同时, 提高检测的灵敏度对抑制大流行也非常重要
[12]	美国	22.5	4 种 PCR 检测策略: ①仅住院患者; ②仅有症状患者; ③有症状和无症状患者一次性检测; ④有症状和无症状患者每月检测	对无症状和有症状患者一次性检测只有在有效传播指数 (R_t) ≥ 1.6 时才具有成本效果, 增量成本-效果比 (ICER) < 100 000 美元/QALY; 结果受到检测成本的影响
[13]	美国	23.5	家庭新型冠状病毒抗原检测	每避免一例感染 7 890 美元, 每避免一例死亡 143 万美元。高频、平价和不完备的家庭抗原检测有助于以合理的成本控制大流行, 值得考虑作为国家防控策略
[14]	美国	20.0	症状筛查组合: ①频率 (每 1/2/3/7 天一次); ②灵敏度 (70%~99%); ③特异度 (98.0%~99.7%); ④成本 (10/50 美元/次)	每 2 天进行快速、平价、灵敏度较低 (>70% 即可) 的检测, 辅以严格的行动限制, 控制有效传播指数 (R_t) < 2.5, 可以有效地控制 COVID-19 感染数, 保证学生安全返校
个人防护策略				
[15]	加纳	20.0	6 种策略: ①有效检测和隔离; ②教育加强口罩使用; ③使用家用清洁剂; ④无症状和有症状个体采取安全措施如咳嗽时保持距离, 用一次性纸巾遮住, 咳嗽或打喷嚏后洗手; ⑤市场等商业区域消杀; ⑥ ①~⑤组合	与策略④相比, 策略①、②、③、⑤、⑥的 ICER 值更高, 策略④最具成本效果
[16]	印度	24.0	5 种防控策略: ①使用外科口罩; ②经过密合性测试的 N95 口罩/不密合的 N95 口罩; ③手部清洁; ④外科口罩+手部清洁; ⑤无干预	与非药物干预 (NPIs) 措施相比, 外科口罩加手部清洁、仅手部清洁、仅外科口罩、密合性 N95 口罩和不密合性 N95 口罩的 ICER 值分别为 83.32、8.07、76.36、419.51 和 221.10 百万卢比/QALY。在 NPIs 措施中, 手部清洁具有成本效用

续表2

参考文献	国家/地区	质量得分	干预措施策略	主要结论
[17]	肯尼亚	24.0	2种防控策略:①个人防护设备供应充足;②个人防护设备供应不充足	肯尼亚需要投资312万美元来充分保护医护人员免受COVID-19的侵害。这项投资将分别避免416名医护人员死亡和30 041名医护人员感染,投资对卫生系统的投资回报率为1.706 4亿美元,相当于11.04倍的回报
[18]	尼日利亚	19.0	2种策略:①通过宣传保持社交距离、良好的个人卫生、在公共场所戴口罩以及为医护人员提供防护装备等预防策略;②通过为重症患者及时提供氧气或机械通气,加强管理,确保患者迅速康复并防止因并发症而死亡	策略①的ICER值高于策略①+②,后者比前者成本更低且更有效,表明2种防控策略联合是减轻患病人群疾病负担的最具成本效果的干预措施
[19]	中、低收入国家	20.0	对医护人员个人防护设备(PPE)的2种投资策略:①PPE不足:缺少一种或多种PPE要素;②基于WHO最佳实践指南的基本物资预测工具为医护人员提供全套PPE:为所有接触疑似病例的医护人员提供手套、防护服、面罩和口罩,以及气溶胶传播预防措施	投资96亿美元能充分保护所有中、低收入国家的医护人员,这一干预措施将在中、低收入国家挽救2 299 543个生命;每避免一例医护人员感染的成本为59美元,每挽救一个医护人员生命的成本为4 309美元。社会投资回报将达到7 553亿美元,相当于7 932%的回报
[20]	美国	19.0	保持社交距离策略	保持社交距离可以产生5.16万亿美元社会净收益
			个人防护、保持社交隔离、核酸检测、抗原检测/筛查、社区大规模筛查、症状筛查、密接追踪、隔离组合策略	
[21]	加纳和埃及	18.5	3种防控策略:①个人防护和密接追踪;②仅个人防护;③仅密接追踪	策略①的ICER值高于策略②,同时开展个人防护和密接追踪防控措施的成本更高,但减少了更多感染和保护了更多易感个体,仅个人防护策略是最具成本效果的
[22]	美国	18.0	根据检测频率和确诊病例隔离周期组合,形成8种策略组合,即:①检测频率(每1/7/14/28天一次);②确诊病例隔离(1/2周)。现有策略:基于症状的检测和隔离	每日检测与2周隔离期组合成本最高。假设支付意愿阈值为100 000美元,且每次检测价格为5美元, $R_t=2.2$ 时,每周检测与1周隔离期相结合策略最具有成本效用。 $R_t=1.2$ 时,每月检测与1周隔离期相结合策略最具有成本效用。在所有传播情景下,每测试价格低于75美元,监测性检测比现有检测策略可能更有成本效用
[23]	德国	19.5	在4种不同检测方式下使用2种不同防护手段可以形成8种策略组合。检测方式:①无检测;②去中心化实时抗原检测;③集中式实验室快速PCR检测;④集中式实验室标准PCR检测;防护手段:①使用外科/医用口罩、手套和围裙;②增用滤光片-2、护目镜和防水长袍组合	普遍检测的ICER值随着患病率的增加而降低。对于较高的患病率($\geq 1\%$),常规内镜前检查加上使用高风险PPE的ICER值最低。总的来说,随着COVID-19患病率的上升,常规内镜前检测与高风险PPE结合变得更具成本效果
[24]	丹麦	18.0	一步式密接追踪和隔离策略	家庭隔离可缓解大流行,即使持续时间很短,检测和隔离相比长期封锁成本更低。有针对性的隔离策略只需持续5 d就能取得显著效果,其效果也会随检测范围扩大而增加
[25]	哥伦比亚	24.0	检测-密接追踪-隔离(TTI)策略	与不干预相比,TTI策略可使死亡率降低67%;从全社会和卫生系统角度来看,TTI策略每例病例分别节省1 045美元和850美元,节省的成本相当于哥伦比亚年卫生支出的2倍。由此,TTI策略是非常具有成本效用的
[26]	摩洛哥	13.5	4种防控策略:①保护易感者不与同一地区的感染者接触;②保护易感者不与同一或其他地区的感染者接触;③保护易感者+暴露者接受隔离;④保护易感者+暴露者接受隔离+处理受感染动物	与无防控措施相比,4种防控策略在暴露人数、感染人数、隔离人数和感染动物数指标方面存在显著差异。其中策略③是最佳和最有效的策略
[27]	美国	22.0	基于4项策略的24种组合:①保持社交距离(最小化水平、广泛水平);②戴口罩;③隔离(居家隔离、指定区域隔离);④常规实验室检测(不检测/每3/7/14天一次)	广泛保持社交距离和强制性戴口罩政策可以避免大学校园内大多数COVID-19病例,且非常具有成本效用。常规的实验室检测可以防止96%的感染,且低成本检测在经济上占优势
[28]	南非	23.0	5种防控策略:①仅对进入医疗机构的人群进行检测;②社区病例密接追踪;③隔离对无需住院的病例;④社区大规模症状筛查和检测;⑤隔离社区阴性密接	人群检测+密接追踪+社区大规模筛查+病例/密接隔离相比于单独的人群检测具有成本效用
[29]	美国	20.0	3种情境:①阴道自然分娩:普遍COVID-19筛查;使用PPE;②阴道分娩(引产):普遍COVID-19筛查;普遍使用PPE;③剖宫产:普遍COVID-19筛查;普遍使用PPE	COVID-19患病率为0.36%时,与自然分娩和引产时筛查相比,使用PPE成本更高,但预防COVID-19传播更有效,每避免一例医护人员感染的增量成本分别为4 175 229美元和3 413 251美元。因此,自然分娩和引产时普遍筛查是首选策略。剖宫产时,普遍使用PPE是节省成本的

续表 2

参考文献	国家/地区	质量得分	干预措施策略	主要结论
[30]	英国	22.0	3 种防控策略组合:①检测类型 (POCT/实验室检测/不检测);②检测诊断准确性(可接受/理想情况/基于真实世界证据);③隔离政策(允许/不允许提前解除隔离)	在所有其他条件相同的情况下,理想情况下的诊断准确性检测最具成本效果,无论是否允许提前解除隔离,POCT+理想状况都会带来很高的净货币收益。由于居民隔离的天数增加,可接受 POCT 的净货币收益通常低于理想情况下和基于真实世界证据的检测
[31]	美国	23.0	7 种防控策略:①单独实施 CDC 指南建议的干预措施;②症状检查应用程序联合①;③标准化高过滤口罩联合①;④温度筛查热像仪联合①;⑤一次 PCR 联合①;⑥每周 PCR 联合①;⑦打包干预措施①~⑥	当患病率为 0.1% 时,相对于策略①、②、④、⑤,策略③可以节省成本并改善健康状况。1% 和 2% 患病率下,与其他其他干预措施相比,打包干预措施节省了资金并改善了健康状况
[32]	中国	18.5	6 种防控策略与无干预措施进行对比。①筛查与隔离医学观察;②强制佩戴口罩;③体温监测;④延长停课时间;⑤企业停工;⑥实施现行策略	与无干预措施相比,实施现行策略避免 62.67 万病例,减少 99.92% 病例,总成本节省了 591.08 亿元,相比其他 5 种策略,策略⑥节省的总成本最多,成本效果比为 -9.43 万元/每避免 1 例感染,ICER 值显示策略⑥最优
封锁等抑制策略				
[33-34]	英国	15.5	封锁政策	在挽救 440 000 人,每人避免 10 QALYs 的情况下,持续 3 个月的最低封锁成本(2 000 亿英镑)仍高于收益(1 410 亿英镑)40% 以上,成本远高于英国国家年卫生总支出
[35]	以色列	21.5	2 种防控策略:①全国封锁,必要职业人员不隔离但需要保持社交距离,暴露人群需隔离 14 d;②易感人群保持社交距离,高暴露风险人群需隔离 14 d	与 TTI 策略相比,全国范围内的封锁 ICER 值为 45 104 156 美元/避免 1 例死亡,450 万美元/QALY,远高于阈值(15 243-17 366 美元/QALY)。国家封锁挽救生命方面具有适度优势,但代价巨大,可能产生巨大的经济影响
[36]	英国	21.0	3 种缓和政策(2020 年 4-7 月):①病例隔离;②居家隔离;③≥70 岁人群保持社交距离;1 种抑制政策(至 2021 年底):增加防控措施,如普遍保持社交距离和关闭大学;包括 2 种情境:①每周重症监护病房(ICU)病例达到 100 例时开放,减至 50 例时关闭;②每周 ICU 病例达到 400 例时开放,减至 200 例时关闭	结果具有不确定性和条件性,与国民收入相关。抑制政策与无措施相比,在国民收入损失(10%)下,ICER 值低于 50 000 英镑/QALY。假设国民收入最大减少 7.75%,抑制政策与缓和政策相比 ICER 值低于 60 000 英镑/QALY
[37]	中国	23.5	4 种行动限制政策:①快速实施(真实世界武汉市情境);②推迟 1 周;③推迟 2 周;④推迟 4 周	快速实施行动限制政策是最优策略。在支付意愿阈值为 70 892 元/伤残调整生命年下,快速实施为最优策略的概率为 96%

是否具有成本效果/效用将受到检测类型、频率、次数、灵敏度、特异度、成本以及疫情流行特征的影响。高频率、低价的检测策略有助于控制大流行,具有成本效果。

(2)个人防护策略:研究主要关注了一般人群和医护人员防护策略。相较于其他类别措施,个人防护策略在防控措施效果中起到了关键性作用,同时也是最可能具有成本效果和成本效用的^[15-16,18],其产生的社会净收益或投资回报也更高^[20]。尤其对医护人员提供充足的防护设备对于控制疫情、挽救更多生命意义重大^[17,19]。

(3)个人防护、保持社交隔离、核酸检测、抗原检测/筛查、社区大规模筛查、症状筛查、密接追踪、隔离组合策略:美国一项研究分析了自然分娩、引产、剖宫产时筛查策略以及结合使用个人防护装备(PPE)的效果,研究发现自然分娩和引产时核酸普查是首选策略^[29];剖宫产时,与核酸普查相比,普遍

使用 PPE 是节省成本的。类似地,一项德国研究通过比较不同检测手段联合不同类 PPE 的组合策略,发现随着 COVID-19 患病率的上升,常规内镜前检测与高风险 PPE 结合更具成本效果^[23]。此外,多项研究发现,个人防护措施,例如戴口罩与保持社交距离可避免大多数病例,与密接追踪或检测和筛查策略组合后可能更具有成本效果^[21,27,31]。针对筛查-密接追踪-隔离(TTI)组合策略的研究显示,隔离是减少传播风险的有效措施^[26],且辅以症状监测和核酸检测其效果有所增强,与不干预或封锁相比,是极具成本效用的^[24-25],但是研究结果受到病毒传播能力、隔离期时长与核酸检测频率、次数和价格的影响^[22,30]。纳入多类 NPIs 措施组合策略文献表明^[28,32],相较于单一类型防控措施,TTI 策略可能更具有成本效果和成本效用。

(4)封锁等抑制策略:针对封锁、行动限制为主的防控措施效果研究发现,在中国,支付意愿阈值

为 70 892 元/DALY(全国年人均 GDP)下,短期内我国武汉市疫情快速实施行动限制是最优策略的概率为 96%^[37]。在英国,封锁(一种最严格的抑制策略)持续 3 个月的最低成本仍高于收益 40%,远高于英国国家年卫生总支出^[33-34];由于成本太高,抑制政策(严格保持社交距离,包括全民居家隔离,学校关闭等措施)并不一定比不干预政策、或缓和政策(疑似和密接自我隔离,保持社交距离,保护脆弱人群,公众活动限制)具有成本效果^[36]。在以色列,与 TTI 策略相比,全国范围内的封锁预计平均可挽救 274 人的生命,ICER 值为 45 104 156 美元/避免 1 例死亡,远高于阈值(15 243~17 366 美元/QALY)。国家封锁在挽救生命方面具有适度优势,但代价巨大,可能产生巨大的经济影响^[35]。

讨 论

COVID-19 疫情暴发后,NPIs 措施在世界范围内被广泛运用,主要包括核酸检测、抗原检测、增加社交距离、TTI、封锁等措施。美国的多项研究表明,增加社交距离、尤其是在人口密度较高的学校,可以有效避免 COVID-19 的感染,具有巨大的社会价值^[14,20]。此外,无论在发达国家还是发展中国家,个人防护措施都在预防和控制 COVID-19 中起着至关重要的作用,并且具有成本效果^[15-19];但综合来看,不同情境下不同策略的组合可能导致成本效果不同^[28],因此在不同策略组合时,需要结合实际情景进行选择。需要注意的是,虽然封锁等抑制策略可以避免更多的死亡,但从社会角度来看,其经济代价较高^[33-36];相对抑制政策来说,缓和政策可能更有成本效果,但评价结果受很多因素的影响。

现有研究存在局限性。第一,研究主要针对 NPIs 措施,少有研究关注疫苗接种与 NPIs 措施结合策略;第二,研究主要是在原始病毒毒株流行背景下进行的模型假设和模拟,缺少针对变异株、尤其是奥密克戎变异株流行下不同国情、不同强度 NPIs 措施组合情景的真实世界研究;第三,研究没有考虑封锁等抑制政策下由于医疗资源挤兑带来的针对其他疾病患者的医疗次生灾害;第四,研究并未针对年龄进行亚组分析,无法得到暴露风险、感染、死亡率差异等对不同年龄段人群结果的影响,缺少针对不同年龄段人群实施个性化防控策略的依据。

自武汉市暴发疫情以来,我国的疫情防控前后

经历了突发疫情应急围堵、常态化防控探索、全链条精准防控动态清零、科学精准动态清零四个时期。我国防疫策略具有组合多样、执行严格、落实到位等特点,在疫情发展的前三个时期,我国使用最小的成本保障了全国人民的生命安全、保障了国家各个行业的正常运转,我国 COVID-19 疫情感染人数和死亡率均处于世界较低水平。但自 2021 年 12 月,奥密克戎变异株侵袭了我国香港、天津、吉林、上海等地区,导致多地出现疫情的散发,尤其是自 2022 年 3 月以来,疫情发生频次明显增加,感染人数快速增长、波及范围不断扩大。奥密克戎变异株具有传播迅速、症状隐匿、毒性减低等特点,给新时期的疫情防控带来巨大挑战。因此,有必要进一步开展奥密克戎变异株流行背景下基于中国真实世界的疫苗接种、加强针接种与不同强度 NPIs 措施组合措施的经济评价研究,从而为科学精准制定针对不同年龄段人群防控策略提供建议,为应对奥密克戎变异株大流行、保障人民健康、促进经济可持续发展提供科学依据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 付亚群:采集数据、分析数据、文章初稿撰写、论文修改;赵婧雨:采集数据、分析数据、论文修改;韩沛恩:分析数据、论文修改;杨莉:研究指导、工作支持、论文修改;任涛、詹思延、李立明:研究指导、工作支持

参 考 文 献

- [1] 刘丽群,刘民.流感大流行快速围堵策略研究进展[J].医学与社会,2011,24(11):48-50. DOI:10.3870/YXYSH.2011.11.014.
Liu LQ, Liu M. Research on rapid containment strategy of pandemic influenza[J]. Med Soc, 2011, 24(11):48-50. DOI: 10.3870/YXYSH.2011.11.014.
- [2] Jo MW, Go DS, Kim R, et al. The burden of disease due to COVID-19 in Korea using disability-adjusted life years[J]. J Korean Med Sci, 2020, 35(21):e199. DOI: 10.3346/jkms.2020.35.e199.
- [3] Miller IF, Becker AD, Grenfell BT, et al. Disease and healthcare burden of COVID-19 in the United States[J]. Nat Med, 2020, 26(8):1212-1217. DOI:10.1038/s41591-020-0952-y.
- [4] Keogh-Brown MR, Jensen HT, Edmunds WJ, et al. The impact of Covid-19, associated behaviours and policies on the UK economy:A computable general equilibrium model [J]. SSM Popul Health, 2020, 12:100651. DOI:10.1016/j.ssmph.2020.100651.
- [5] John D, Narassima MS, Menon J, et al. Estimation of the economic burden of COVID-19 using disability-adjusted life years (DALYs) and productivity losses in Kerala, India: a model-based analysis[J]. BMJ Open, 2021, 11(8):e049619. DOI:10.1136/bmjopen-2021-049619.
- [6] Jin HJ, Wang HY, Li X, et al. Economic burden of COVID-19, China, January - March, 2020: a cost-of-illness study[J]. Bull World Health Organ, 2021, 99(2):112-124. DOI:10.2471/BLT.20.267112.
- [7] Rezapour A, Souresrafil A, Peighambari MM, et al. Economic evaluation of programs against COVID-19: A systematic review[J]. Int J Surg, 2021, 85 10-18. DOI:10.

- 1016/j.ijsu.2020.11.015.
- [8] Baggett TP, Scott JA, Le MH, et al. Clinical outcomes, costs, and cost-effectiveness of strategies for adults experiencing sheltered homelessness during the COVID-19 pandemic [J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(12): e2028195. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.28195.
- [9] Diel R, Nienhaus A. Point-of-care COVID-19 antigen testing in German emergency rooms-a cost-benefit analysis[J]. *Pulmonology*, 2021. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2021.06.009.
- [10] Seguí FL, Cuxart OE, Villar OMI, et al. A cost-benefit analysis of the COVID-19 asymptomatic mass testing strategy in the north metropolitan area of Barcelona[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(13):7028. DOI: 10.3390/ijerph18137028.
- [11] Jiang YW, Cai D, Chen DQ, et al. The cost-effectiveness of conducting three versus two reverse transcription-polymerase chain reaction tests for diagnosing and discharging people with COVID-19: evidence from the epidemic in Wuhan, China[J]. *BMJ Glob Health*, 2020, 5(7): e002690. DOI:10.1136/bmjgh-2020-002690.
- [12] Neilan AM, Losina E, Bangs AC, et al. Clinical impact, costs, and cost-effectiveness of expanded severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 testing in Massachusetts[J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 73(9): e2908-2917. DOI:10.1093/cid/ciaa1418.
- [13] Paltiel AD, Zheng A, Sax PE. Clinical and Economic Effects of Widespread Rapid Testing to Decrease SARS-CoV-2 Transmission[J]. *Ann Intern Med*, 2021, 174(6):803-810. DOI:10.7326/M21-0510.
- [14] Paltiel AD, Zheng A, Walensky RP. Assessment of SARS-CoV-2 screening strategies to permit the safe reopening of college campuses in the United States[J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(7): e2016818. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.16818.
- [15] Asamoah JKK, Owusu MA, Jin Z, et al. Global stability and cost-effectiveness analysis of COVID-19 considering the impact of the environment: using data from Ghana[J]. *Chaos Solitons Fractals*, 2020, 140:110103. DOI:10.1016/j.chaos.2020.110103.
- [16] Bagepally BS, Haridoss M, Natarajan M, et al. Cost-effectiveness of surgical mask, N-95 respirator, hand-hygiene and surgical mask with hand hygiene in the prevention of COVID-19: Cost effectiveness analysis from Indian context[J]. *Clin Epidemiol Glob Health*, 2021, 10: 100702. DOI:10.1016/j.cegh.2021.100702.
- [17] Kazungu J, Munge K, Werner K, et al. Examining the cost-effectiveness of personal protective equipment for formal healthcare workers in Kenya during the COVID-19 pandemic[J]. *BMC Health Serv Res*, 2021, 21: 992. DOI: 10.1186/s12913-021-07015-w.
- [18] Olaniyi S, Obaniyi OS, Okosun KO, et al. Mathematical modelling and optimal cost-effective control of COVID-19 transmission dynamics[J]. *Eur Phys J Plus*, 2020, 135(11): 938. DOI:10.1140/epjp/s13360-020-00954-z.
- [19] Risko N, Werner K, Offorjebe OA, et al. Cost-effectiveness and return on investment of protecting health workers in low- and middle-income countries during the COVID-19 pandemic[J]. *PLoS One*, 2020, 15(10): e0240503. DOI: 10.1371/journal.pone.0240503.
- [20] Thunström L, Newbold SC, Finnoff D, et al. The benefits and costs of using social distancing to flatten the curve for COVID-19[J]. *J Benefit Cost Anal*, 2020, 11(2): 179-195. DOI:10.1017/bca.2020.12.
- [21] Asamoah JKK, Jin Z, Sun GQ, et al. Sensitivity assessment and optimal economic evaluation of a new COVID-19 compartmental epidemic model with control interventions[J]. *Chaos Solitons Fractals*, 2021, 146: 110885. DOI:10.1016/j.chaos.2021.110885.
- [22] Du ZW, Pandey A, Bai Y, et al. Comparative cost-effectiveness of SARS-CoV-2 testing strategies in the USA: a modelling study[J]. *Lancet Public Health*, 2021, 6(3):e184-191. DOI:10.1016/s2468-2667(21)00002-5.
- [23] Ebigo A, Römmele C, Bartenschlager C, et al. Cost-effectiveness analysis of SARS-CoV-2 infection prevention strategies including pre-endoscopic virus testing and use of high risk personal protective equipment [J]. *Endoscopy*, 2021, 53(2): 156-161. DOI: 10.1055/a-1294-0427.
- [24] Eilersen A, Sneppen K. Cost-benefit of limited isolation and testing in COVID-19 mitigation[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):18543. DOI:10.1038/s41598-020-75640-2.
- [25] Ruiz YG, Vecino-Ortiz AI, Guzman-Tordecilla N, et al. Cost-effectiveness of the COVID-19 test, trace and isolate program in Colombia[J]. *Lancet Reg Health Americas*, 2022, 6:100109. DOI:10.1016/j.lana.2021.100109.
- [26] Khajji B, Kada D, Balatif O, et al. A multi-region discrete time mathematical modeling of the dynamics of Covid-19 virus propagation using optimal control[J]. *J Appl Math Comput*, 2020, 64(1/2): 255-281. DOI: 10.1007/s12190-020-01354-3.
- [27] Losina E, Leifer V, Millham L, et al. College campuses and COVID-19 mitigation: Clinical and economic value[J]. *Ann Intern Med*, 2021, 174(4): 472-483. DOI: 10.7326/M20-6558.
- [28] Reddy KP, Shebl FM, Foote JHA, et al. Cost-effectiveness of public health strategies for COVID-19 epidemic control in South Africa: a microsimulation modelling study[J]. *Lancet Global Health*, 2021, 9(2):e120-129. DOI:10.1016/S2214-109X(20)30452-6.
- [29] Savitsky LM, Albright CM. Preventing COVID-19 transmission on labor and delivery: a decision analysis[J]. *Am J Perinatol*, 2020, 37(10): 1031-1037. DOI: 10.1055/s-0040-1713647.
- [30] Stevenson M, Metry A, Messenger M. Modelling of hypothetical SARS-CoV-2 point of care tests for routine testing in residential care homes: rapid cost-effectiveness analysis[J]. *Health Technol Assess*, 2021, 25(39): 1-74. DOI:10.3310/hta25390.
- [31] Zafari Z, Goldman L, Kovrizhkin K, et al. The cost-effectiveness of common strategies for the prevention of transmission of SARS-CoV-2 in universities [J]. *PLoS One*, 2021, 16(9): e0257806. DOI: 10.1371/journal.pone.0257806.
- [32] 吕秋莹, 温莹, 孔东锋, 等. 深圳市新型冠状病毒肺炎精准防控措施的卫生经济学评价[J]. *预防医学论坛*, 2021, 27(10): 748-751. DOI: 10.16406/j.pmt.issn.1672-9153.2021.10.011.
Lv QY, Wen Y, Kong DF, et al. Health economics evaluation on precise prevention and control strategies of coronavirus disease 2019, Shenzhen city[J]. *Prev Med Trib*, 2021, 27(10): 748-751. DOI: 10.16406/j.pmt.issn.1672-9153.2021.10.011.
- [33] Miles D, Stedman M, Heald A. Living with COVID-19: balancing costs against benefits in the face of the virus[J]. *Nat Inst Econom Rev*, 2020, 253: R60-76. DOI: 10.1017/nie.2020.30.
- [34] Miles DK, Stedman M, Heald AH. "Stay at Home, Protect the National Health Service, Save Lives": A cost benefit analysis of the lockdown in the United Kingdom[J]. *Int J Clin Pract*, 2021, 75(3):e13542. DOI:10.1111/ijcp.13674.
- [35] Shlomai A, Leshno A, Sklan EH, et al. Modeling social distancing strategies to prevent SARS-CoV-2 spread in Israel: a cost-effectiveness analysis[J]. *Value Health*, 2021, 24(5):607-614. DOI:10.1016/j.jval.2020.09.013.
- [36] Zala D, Mosweu I, Critchlow S, et al. Costing the COVID-19 pandemic: an exploratory economic evaluation of hypothetical suppression policy in the united Kingdom[J]. *Value Health*, 2020, 23(11): 1432-1437. DOI: 10.1016/j.jval.2020.07.001.
- [37] Zhao JD, Jin HJ, Li X, et al. Disease burden attributable to the first wave of COVID-19 in China and the effect of timing on the cost-effectiveness of movement restriction policies[J]. *Value in Health*, 2021, 24(5): 615-624. DOI: 10.1016/j.jval.2020.12.009.