

DOI:10.13350/j.cjpb.220203

• 论著 •

不同暴露方式新冠肺炎续发率的 Meta 分析

韩璐悻,高琦,曹云贤,魏淑淑,李秀君*

(山东大学齐鲁医学院公共卫生学院生物统计学系,山东济南 250012)

【摘要】 目的 通过 Meta 分析了解不同暴露方式下新型冠状病毒肺炎的续发率。方法 在 PubMed、Embase、知网和万方数据库中检索 2020 年 1 月至 2021 年 8 月的相关文献。将暴露方式分为生活接触、交通工具接触、医疗接触及社会接触,采用 Meta 分析方法计算不同暴露方式的合并续发率,并探讨研究间的异质性。采用改进的 Newcastle-Ottawa Scale(NOS)量表对纳入文献进行评分。结果 纳入分析的文献 44 篇,暴露人数 41 946 人,总合并续发率为 11.8% (95%CI:10.5%~13.0%),不同暴露方式的组间合并续发率差异具有统计学意义(均 $P < 0.01$)。生活接触、社会接触、医疗接触和交通工具接触续发率分别为 15.4% (95%CI:13.4%~17.4%)、10.2% (95%CI:6.9%~13.5%)、5.9% (95%CI:2.5%~9.4%)、5.6% (95%CI:0.0%~12.3%)。亚组分析显示,中国和其他国家、不同暴露人数、不同研究类型在各暴露方式下的续发率有一定差别。结论 生活接触和社会接触的暴露方式新冠传播风险较高,医疗接触和交通工具接触风险较低。应针对不同暴露方式采取积极的防疫措施,以期降低新冠续发率。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎;暴露方式;续发率;Meta 分析

【中图分类号】 R373.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1673-5234(2022)02-0136-07

[*Journal of Pathogen Biology*. 2022 Feb;17(2):136-142, 148.]

Secondary attack rate of COVID-19 in different exposure settings: a Meta-analysis

HAN Lu-yi, GAO Qi, CAO Yun-xian, WEI Shu-shu, LI Xiu-jun (*Department of Biostatistics, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan 250012, Shandong, China*)

【Abstract】 **Objective** To understand the secondary attack rate (SAR) of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in different exposure settings by a Meta-analysis. **Methods** A systematic search was conducted in online databases through PubMed, Embase, CNKI and Wanfang Data to collect the studies in English or Chinese related to "COVID-19" "contact settings" "transmission rates" published from January 2020 to August 2021. Information about the setting of exposure was classified into 4 categories: life contact, public transportation contact, health care contact and social contact. Meta-analysis was used to calculate the pooled SAR in different settings. Meta-regression and subgroup analysis were carried out when heterogeneity was high. The quality of the included studies was evaluated by using an adapted version of the Newcastle-Ottawa Scale(NOS). **Results** 44 articles were included in the main analysis and the exposure sample size was 41 946. The results showed that the pooled SAR was 11.8% (95%CI:10.5%-13.0%) and significant difference was detected for all pooled estimates ($P < 0.01$). The pooled SAR of life contact was the highest at 15.4% (95%CI:13.4%-17.4%), followed by social contact at 10.2% (95%CI:6.9%-13.5%). The pooled SAR of health care contact and public transportation contact were 5.9% (95%CI:2.5%-9.4%) and 5.6% (95%CI:0.0%-12.3%), respectively. Subgroup analysis showed that SAR in different settings had certain differences between China and other countries, the exposure sample size, and the type of research. **Conclusion** The risk for transmission of COVID-19 in life contact and social contact is higher, and the risk in health care contact and public transportation contact is lower. Active diseases control and prevention measures should be taken for different exposure settings, so as to reduce the SAR of COVID-19.

【Key words】 COVID-19; Exposure settings; Secondary attack rate; Meta-analysis

* 新型冠状病毒肺炎 (coronavirus disease, COVID-19) 由新型冠状病毒 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2) 引起, 其主要的传播途径为呼吸道飞沫传播和密切接触传播。目前, COVID-19 仍在全球大流行。截至 2021 年 10 月 9 日, 全球累计报告确诊病例超过 2 亿例, 死亡超过 483 万例^[1]。续发率 (secondary attack rate, SAR) 为特定群体 (即家庭或密切接触者) 内易感人群发生感染的概

率, 可以指示社会互动与传播风险之间的关系, 反映特定环境下是否可能导致疫情暴发^[2]。研究表明, 拥挤、通风不良的密闭空间、密切接触尤其是近距离交谈使 SARS-CoV-2 更易传播^[3]。目前大部分研究关注家庭

* **【通讯作者】** 李秀君, E-mail: xjli@sdu.edu.cn

【作者简介】 韩璐悻 (1997-), 女, 重庆人, 硕士研究生。研究方向: 流行病与卫生统计学。E-mail: hanluyilouise@163.com

和医疗环境中的续发情况^[4-6],公共场所、交通工具等暴露方式常常被忽视,且多项研究对各环境中新冠的传播风险说法不一致^[7-10]。不同环境下 COVID-19 续发率的高低可影响防控策略的制定以及社会资源的分配,故探究续发率的影响因素尤为重要。本研究对不同暴露方式下 COVID-19 续发率的相关文献进行 Meta 分析,比较其在各环境中的传播力强弱,以期制定科学防控策略和措施、合理调度防疫资源提供科学依据。

材料与方法

1 文献检索

英文数据库检索 PubMed、Embase,主要检索词为“COVID/SARS-CoV-2”,“confined spaces/ transportation/aircraft/ railroads/ ships/ automobile/ hospitals/ schools/ universities/ dormitory/ household/ kindergarten/ restaurants/mall/ military facilities/ elevators/ clusters”,“disease transmission, infectious/ incidence/ attack rate/ secondary attack rate”,中文数据库检索万方数据知识服务平台、中国知网,主要检索词为“新型冠状病毒肺炎/新型冠状病毒”,“密闭空间/交通工具/火车/高铁/地铁/飞机/轮船/医院/学校/家庭/军队/餐馆/公共场所/聚集性”,“发病率/续发率/罹患率”,检索时间限定为 2020 年 1 月至 2021 年 8 月。此外,采用手工检索和文献追溯的方法获取更多文献。

2 纳入排除标准

纳入标准:①研究设计类型:队列研究、横断面研究;②研究对象:暴露类型为学校、家庭、工作场所、交通工具、医院、密闭空间、公共场所人群;③结局指标:原始数据清晰,可提取暴露人数、发病人数、续发率;④语言限定为中文和英文。排除标准:①不相关文献;②系统综述;③相关数据较少、质量较差的文献;④研究人群有重叠,排除样本量较小的一篇。

3 数据提取与质量评价

提取内容包括:①文献基本资料:第一作者、发表年份、调查时间、国家、研究类型;②人群基本信息:人口学特征、暴露方式等;③结局指标:暴露人数、发病人数、续发率、发病率。采用改进的 Newcastle-Ottawa Scale (NOS)量表^[11-12],对纳入文献进行质量评价(包括研究对象选择性、组间可比性和结局 3 个方面)。总分 10 分,将得分 1~3 分定为低质量研究;4~7 分为中等质量研究;8~10 分为高质量研究。数据由两位评审员提取并评分,如有争议经与第三位评审员协商达成一致。

4 统计学分析

将暴露方式按类别分为四类,包括生活接触(同住,同室工作、学习);交通工具接触;医疗接触(提供诊疗服务、同病房、同一诊疗环境);社会接触(娱乐、聚会聚餐、市场、同一活动环境)。研究之间的异质性使用 Cochran's Q 统计量、 I^2 指数进行检验;25%的 I^2 被认为是低异质性,50%被认为是中等异质性,75%被认为是高异质性^[13]。当检测到中高异质性时,使用随机效应模型进行分析;否则采用固定效应模型。采用 Meta 回归分析研究间异质性来源,并对其进行亚组分析^[14]。漏斗图和 Egger 检验用于检测发表偏倚^[15]。所有统计分析均使用 Stata 15.0 软件进行。

结果

1 文献检索情况

共检索文献 1 276 篇,剔除重复并根据纳入排除标准筛选后,最终纳入 48 篇文献,总计 797 780 人(图 1)。纳入文献中 32 篇发表于 2020 年,16 篇发表于 2021 年。包括 3 篇横断面研究,45 篇队列研究(30 篇回顾性,15 篇前瞻性)。高质量研究 4 篇,中等质量 44 篇,纳入研究质量较好。中国的文献调查时间主要集中在 2020 年 1 月至 4 月,其他国家主要集中在 2020 年 1 月到 10 月。纳入文献基本情况见表 1。经初步敏感性分析,由于暴露人数大于 10 000 的 4 篇对结果影响较大,在亚组分析中单独讨论。

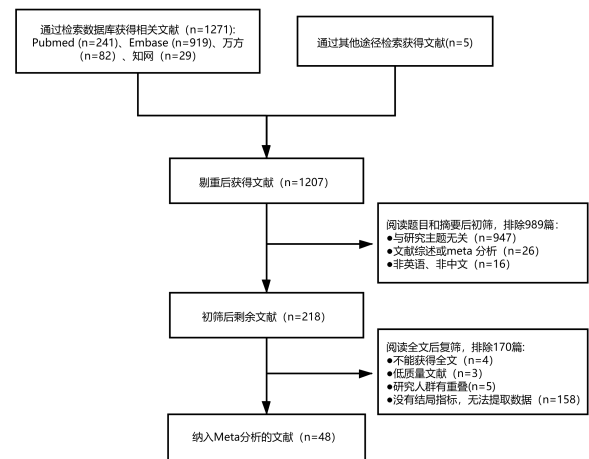


图 1 文献筛选流程图

Fig. 1 Flowchart of study screening and selection process

2 新冠肺炎续发率

森林图(图 2)显示来自 44 篇文献的 41 946 名密切接触者中, COVID-19 的合并续发率为 11.8% (95%CI: 10.5%~13.0%, $P < 0.01$, $I^2 = 98.3%$), 各研究间存在较大异质性。其中生活接触续发率为 15.4% (95%CI: 13.4%~17.4%, $P < 0.01$, $I^2 = 98.2%$), 医疗接触续发率为 5.9% (95%CI: 2.5%~

9.4%, $P < 0.01$, $I^2 = 98.1\%$), 社会接触续发率为10.2% (95% CI: 6.9% ~ 13.5%, $P < 0.01$, $I^2 = 97.0\%$), 均具有统计学意义。交通工具接触的续发率不具有统计学意义 ($P > 0.05$)。不同暴露方式间续发率的差异具有统计学意义 ($P < 0.01$)。在中国地区,

生活接触续发率随着时间的推移呈下降的趋势(除 Bao C^[19]、白尧^[40]暴露人数过少、Hsu CY^[27]调查时间跨度过长致续发率偏离趋势), 而在其他国家间未观察到该变化趋势。中国地区社会接触的续发率均小于总体水平, 而其他国家的续发率偏大。

表 1 纳入研究文献的基本资料及质量评分
Table 1 Basic information and quality scores of included studies

第一作者及调查年份 First author, year	国家/地区 Country/ region	调查时间 Study period	暴露人数 Total contacts	续发人数 Secondary cases	研究类型 Study type	暴露方式注 Exposure settings ^{notes}	评分 Quality score
Bi Q (2020) ^[16]	中国	2020.1-2020.2	686	77	回顾性队列研究		6
Bohmer MM (2020) ^[17]	德国	2020.1-2020.2	241	16	回顾性队列研究	①	6
Koureas M (2021) ^[18]	希腊	2020.4-2020.6	246	95	前瞻性队列研究	①	6
Bao C (2021) ^[19]	中国	2020.1-2020.2	423	22	回顾性队列研究	①④	5
Yi B (2021) ^[20]	中国	2020.1-2020.2	475	204	回顾性队列研究	①	5
Xin H (2021) ^[21]	中国	2020.1-2020.3	106	19	前瞻性队列研究	①	5
Varma J K (2021) ^[22]	美国	2020.10-2020.12	36 423	182	横断面研究	①	5
van den Berg P (2021) ^[23]	美国	2020.9-2021.1	636 726	1 910	回顾性队列研究	①	7
Ratovoson R (2021) ^[24]	马达加斯加	2020.3-2020.7	179	56	前瞻性队列研究	①	6
Ng OT (2021) ^[25]	新加坡	2020.1-2020.4	7 518	180	回顾性队列研究	①	8
Miller JS (2021) ^[26]	美国	2020.5-2020.8	3 013	181	回顾性队列研究	①	5
Hsu CY (2021) ^[27]	中国台湾	2020.1-2021.2	145	67	回顾性队列研究	①	6
Wu J (2020) ^[28]	中国	2020.2-2020.3	148	48	前瞻性队列研究	①	5
Wang Y (2020) ^[29]	中国	2020.2-2020.3	335	77	前瞻性队列研究	①	6
Son H (2020) ^[30]	韩国	2020.1-2020.3	196	16	横断面研究	①	5
Park Y (2020) ^[31]	韩国	2020.1-2020.3	10 592	1 250	前瞻性队列研究	①	8
Macartney K (2020) ^[32]	澳大利亚	2020.1-2020.5	1 448	17	前瞻性队列研究	①	6
Li W (2020) ^[33]	中国	2020.1-2020.2	392	64	前瞻性队列研究	①	6
Larosa E (2020) ^[34]	意大利	2020.9-2020.10	1 198	38	前瞻性队列研究	①	6
Jing QL (2020) ^[35]	中国	2020.1-2020.2	542	93	回顾性队列研究	①	8
Cheng HY (2020) ^[36]	中国台湾	2020.1-2020.4	849	16	前瞻性队列研究	①③	6
Chaw L (2020) ^[37]	文莱	2020.2-2020.3	1 755	51	回顾性队列研究	①④	6
陈奕(2020) ^[38]	中国	2020.1-2020.3	2 147	110	回顾性队列研究	①②③④	6
董晓春(2020) ^[39]	中国	2020.1-2020.2	259	53	横断面研究	①	5
白尧(2020) ^[40]	中国	2020.1-2020.3	72	26	回顾性队列研究	①	5
陈武(2020) ^[41]	中国	2020.1-2020.3	2 530	111	回顾性队列研究	①④	6
邓志强(2020) ^[42]	中国	2020.1-2020.2	347	25	回顾性队列研究	①	6
庄雅丽(2020) ^[43]	中国	2020.1-2020.3	3 697	179	回顾性队列研究	①	5
周林(2020) ^[44]	中国	2020.1-2020.2	839	25	回顾性队列研究	①	6
孙琬琬(2020) ^[45]	中国	2020.1-2020.2	697	240	回顾性队列研究	①	6
雷明玉(2020) ^[46]	中国	2020.1-2020.2	560	69	回顾性队列研究	①	5
Lewis NM (2020) ^[47]	美国	2020.3-2020.4	188	58	前瞻性队列研究	①	6
Wang Z (2020) ^[48]	中国	2020.2-2020.2	155	47	回顾性队列研究	①	6
陈橙(2020) ^[49]	中国	2020.1-2020.4	342	30	回顾性队列研究	④	4
Khanh NC (2020) ^[50]	越南	2020.3-2020.3	216	15	回顾性队列研究	①②	6
Blomquist(2021) ^[51]	英国	2020.1-2020.3	2 221	4	回顾性队列研究	②	6
Hu M (2021) ^[52]	中国	2019.12-2020.3	72 093	231	回顾性队列研究	②	6
Chow K (2021) ^[53]	美国	2020.3-2021.2	608	20	前瞻性队列研究	③	6
Colaneri M (2020) ^[54]	意大利	2020.2-2020.5	1 447	164	回顾性队列研究	③	5
Suarez-Garcia(2020) ^[55]	西班牙	2020.2-2020.4	1 911	212	回顾性队列研究	③	5
Lombardi A (2020) ^[56]	意大利	2020.2-2020.3	1 573	139	回顾性队列研究	③	5
Barrett ES (2020) ^[57]	美国	2020.2-2020.4	829	41	前瞻性队列研究	③	5
YeShen(2020) ^[58]	中国	2020.1-2020.2	232	7	回顾性队列研究	④	5
Bae S (2020) ^[59]	韩国	2020.2-2020.3	233	54	前瞻性队列研究	④	6
de Laval F (2021) ^[60]	法国	2020.2-2020.3	83	24	横断面研究	④	5
Shen Y, Xu W (2020) ^[61]	中国	2020.1-2020.2	480	5	回顾性队列研究	④	6
Bernadou A (2021) ^[62]	法国	2020.3-2020.5	192	106	前瞻性队列研究	④	6
张晓(2021) ^[63]	中国	2020.4-2020.4	193	19	回顾性队列研究	④	5

注:①生活接触;②交通工具接触;③医疗接触;④社会接触。

3 Meta 回归和亚组分析

研究间异质性较大,故对可能的异质性来源进行 Meta 回归和亚组分析。建立的 5 个模型如下:模型 1 (M1)包含的协变量有暴露方式、研究类型、地区、发表年份、暴露人数;模型 2(M2)包含的协变量有暴露方式、研究类型;模型 3(M3)包含的协变量有暴露方式、地区;模型 4(M4)包含的协变量有暴露方式、暴露人数;模型 5(M5)包含的协变量有暴露方式、发表年份。其中,地区分为中国地区和非中国地区,暴露人数分为 <1 000 人和 1 000 ~ 10 000 人两组。Meta 回归结果(表 2)显示暴露方式、研究类型、地区、暴露人数($P \leq 0.05$)为异质性来源,纳入进一步亚组分析。

亚组分析(表 3)显示:中国和其他国家、不同暴露人数、不同研究类型,各暴露方式下的续发率有一定差别。中国地区的生活接触续发率最高,而其他国家社会接触续发率最高。生活接触和社会接触续发率在暴露人数小于 1 000 时更高,医疗接触在暴露人数大于 1 000 时更高。

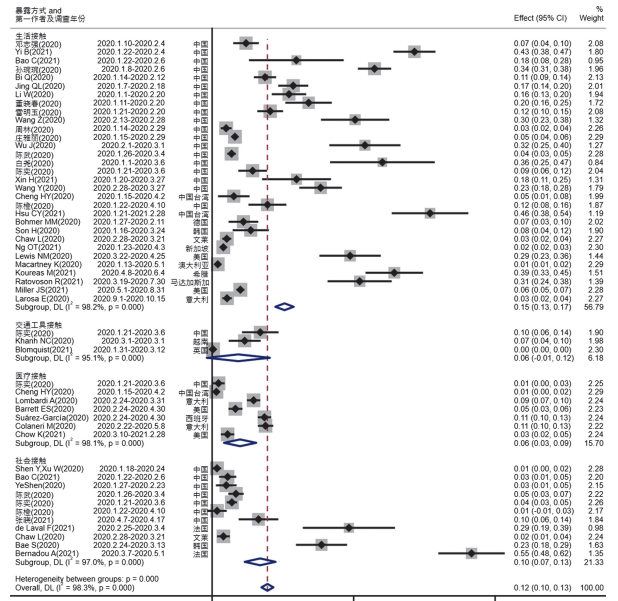


图 2 续发率的 Meta 分析森林图
Fig. 2 Forest plots of secondary attack rate

表 2 续发率 Meta 回归分析
Table 2 Meta-regression results of secondary attack rate

异质因素		系数 Coefficient					P				
Heterogeneity factors		M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
暴露方式	生活接触	0.056	0.052	0.029	0.043	0.025	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*
	交通工具接触	Ref	Ref	-0.016	Ref	-0.028	Ref	Ref	0.022*	Ref	0.001*
	医疗接触	0.047	0.042	0.019	0.026	0.014	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*	0.005*
	社会接触	0.001	0.023	Ref	-0.008	Ref	0.842	0.001*	Ref	0.206	Ref
研究类型	前瞻性队列研究	-0.141	Ref	-	-	-	0.001*	Ref	-	-	-
	回顾性队列研究	-0.115	0.011	-	-	-	0.001*	0.006*	-	-	-
	横断面研究	Ref	0.171	-	-	-	Ref	0.001*	-	-	-
地区	0.005	-	-0.012	-	-	0.178	-	0.001*	-	-	
发表年份	0.012	-	-	-	0.005	0.003*	-	-	-	0.220	
暴露人数	-0.002	-	-	-0.002	-	0.001*	-	-	0.001*	-	
截距	0.214	0.005	0.041	0.107	0.038	0.001*	0.468	0.001*	0.001*	0.001*	

注(Note): * 为异质性来源的因素(factors of source of heterogeneity)。

表 3 不同暴露方式的续发率(%)
Table 3 secondary attack rate(%) in different exposure settings

异质因素		研究组数	生活接触 Life contact		医疗接触 Health care contact		社会接触 Social contact		合并续发率 (DL) _注	I ²
Heterogeneity factors		Study group	续发率(95%CI) SAR(95%CI)	I ² (%)	续发率(95%CI) SAR(95%CI)	I ² (%)	续发率(95%CI) SAR(95%CI)	I ² (%)	Pooled SAR (DL) _{note}	(%)
地区	中国	30	18.4(14.8~21.9)	98.0	1.0(0.4~1.6)	0.0	3.5(1.9~5.1)	85.7	13.0(10.8~15.2)	97.8
	非中国	19	9.5(7.3~11.7)	97.6	7.9(4.7~11.1)	95.8	27.3(3.3~51.2)	98.9	12.0(9.9~14.0)	98.1
	回顾性队列	32	13.8(11.5~16.2)	98.2	8.1(3.4~12.9)	97.8	3.3(1.9~4.7)	83.4	10.1(8.4~11.7)	97.7
研究类型	前瞻性队列	15	19.1(13.9~24.3)	98.2	3.0(0.4~5.5)	92.8	39.0(7.9~70.2)	98.0	17.5(14.1~20.8)	98.3
	横断面研究	2	20.5(15.5~25.4)	-	-	-	29.0(19.2~38.8)	-	23.6(15.6~31.7)	57.4
	<1 000	38	20.8(16.1~25.5)	97.6	2.6(0.7~4.4)	89.5	11.3(7.4~15.3)	97.3	16.1(13.6~18.7)	98.0
暴露人数	1 000~10 000	11	3.5(2.3~4.7)	95.5	10.4(8.8~12.0)	72.1	4.2(3.1~5.3)	-	5.4(3.9~6.9)	97.6
	>10 000	3	4.0(2.8~5.1)	99.9	-	-	-	-	-	-

注(Note):采用随机效应模型(DerSimonian-Laird)进行合并(Random effects model (DerSimonian-Laird) was used to combine effect estimates).

4 发表偏倚与敏感性分析

漏斗图显示存在发表偏倚(图 3)。敏感性分析显

示排除暴露人口数大于 10 000 的 4 篇论文对结果影响较大,未排除前合并续发率为 5.9%(95%CI: 5.5%

~6.3%),排除后合并续发率为11.8%(95%CI:10.5%~13.0%),故对该4篇论文单独讨论。

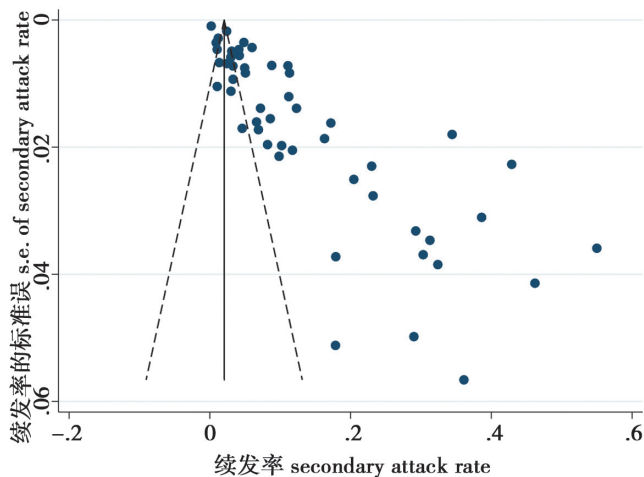


图3 漏斗图
Fig. 3 Funnel plot

讨论

本研究检索了2020年1月至2021年8月期间不同环境下COVID-19续发情况的相关文献,通过Meta分析全面比较不同暴露方式下的传播风险。结果显示,研究间存在显著异质性,不同暴露方式的续发率差别较大,生活接触为最主要的暴露方式,其次为社会接触、医疗接触和交通工具接触。该结果可为防控策略和措施的调整提供一定依据。

本研究发现家庭来源、共同工作学习的生活接触续发率较高,与文献[64]的研究结果(16.6%)类似。无论是家庭成员或同事同学,日常都容易暴露在3Cs(Closed spaces, Crowded places, and Close-contact settings)环境[65]。大部分人较长时间处在家庭或工作学习环境中,由于懈怠心理,个人防护设备的使用频率可能会下降,导致生活接触中无保护接触较其他暴露环境更加普遍。同时,社会接触的续发率也相对较高,这可能与公共场所暴露人群更大且人员流动性强有关,公共设施表面也可能受到新型冠状病毒的污染,造成COVID-19的传播[66]。新加坡的一项研究指出,SARS-CoV-2可由患者通过呼吸道飞沫和粪便排出,对环境造成严重污染[67]。表明环境是潜在的传播媒介,应严格遵守环境和手部卫生。社会接触的续发率低于生活接触,原因可能是大多数国家在疫情暴发以后要求市民在公共场所内需佩戴口罩,而家庭中却很难做到这一点。医疗接触传播的风险较低,与罗磊等[9]报道的结果类似。交通工具接触呈现较低的传播水平,可能由于对公共交通采取了强有力的防控措施。此外,陈奕等[38]的研究表明,除去超级传播者事件后的续发率可能更低。说明即使在公共场所采取了防疫

措施,依旧要警惕超级传播者的存在可能导致大量人员受感染。

亚组分析结果显示,中国和其他国家不同暴露方式下续发率有一定差别。中国生活接触的续发率呈现降低的趋势,而其他国家生活接触续发率较高。原因可能是中国及时采取大规模核酸检测、集中或居家隔离、接种新冠疫苗等综合抗疫措施使疫情得到了有效控制。已有研究表明,有效的接触者追踪和病例隔离方法可以在暴发早期阶段控制COVID-19[68]。全球各国防疫政策和目标参差不齐,在不同国家的生活接触续发率上有所体现。如德国、韩国等国家同样采取大规模检测来迅速控制疫情,而英国和美国并不愿对表现出感染症状的人进行大规模检测,从而延长了暴发的时间[69-70]。同时,尽管许多国家对暴发疫情地区采取“封锁”措施,但各国对封锁的定义并不一致,多为尽快找到并隔离密切接触者,阻断疫情扩散,而非武汉式封城。且各国的密切接触者的定义和管理差别较大,并且随着疫情不断进展[16-17,30,32,71],国家间续发率可能有差异。

本研究显示中国的生活接触为最主要的暴露方式,考虑到国内采取的居家隔离政策,导致家庭来源的续发感染居多;而国外的社会接触的续发率比国内偏高,暴露环境多为聚会、养老院、健身房、军队等场所。这可由以下几个原因解释:首先,社会资源的紧缺直接影响着续发率,如口罩短缺、检测能力不足等[60]。其次,健身中心由于高强度的集体锻炼,人们难以保持社交距离和佩戴口罩,这些地方的接触者可能更易感染[59]。然而,文莱报告了较低的社区续发率,建议社区传播有限的地区可以避免采取全面封锁措施,保持适度的物理距离[37]。这表明不同地区不同人群间续发率情况可能存在一定差异,后续研究还需更多来自不同国家的文献提供支持的证据。

本文纳入的研究多为涉及范围较小、时间跨度较短的暴发事件。敏感性分析结果显示,暴露人数超过10 000人的4篇研究(3篇为生活接触,1篇为交通工具接触)对结果的影响较大,推测可能是由于这4篇文献中密切接触者的定义与其他文献不一致,将处在同一环境中的所有人为定义为密切接触者,造成纳入本研究的样本量较大。

本研究的不足体现在:首先,存在发表偏倚。社会各界对新冠的关注度很高,续发率越高的研究越容易被发表,导致纳入的文献中多数报告的结果偏大,最终的结论很可能被高估。其次,全球各个国家的疫情处在不同阶段,采取的防控措施不同,导致国家间发病情况差别较大,合并的结果异质性较大。经亚组分析以后 I^2 有了不同程度的下降,但仍然存在较大的异质

性,需进一步探究潜在的异质性来源。

综上所述,不同暴露方式 COVID-19 的续发率差别较大,生活接触为最主要的暴露方式,家庭、工作接触不可避免,故在疫情流行的地区要尽力保证落实个人防护措施,以期降低暴露后感染的风险。其他几类暴露方式也不容忽视,娱乐、公共场所的社会接触引起的聚集性疫情新冠肺炎续发率也较高。因此应加强公共场所的防疫力度,必要时考虑关闭一些娱乐场所。通过交通工具或医疗接触传播的风险很低,但防控力度不能松懈。采取积极的防疫措施显示出明显成效,我国应继续严格落实常态化疫情防控措施。

【参考文献】

- [1] WHO. WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard. [EB/OL]. <https://covid19.who.int/>.
- [2] Liu Y, Eggo R M, Kucharski A J. Secondary attack rate and superspreading events for SARS-CoV-2 [J]. *Lancet*, 2020, 395 (10227): e47.
- [3] WHO. Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted? [EB/OL]. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>.
- [4] Liu J, Liao X, Qian S, et al. Community transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020 [J]. *Emerg Infect Dis*, 2020, 26(6): 1320-1323.
- [5] Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: Summary of a report of 72314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention [J]. *JAMA*, 2020, 323 (13): 1239-1242.
- [6] China CDC Weekly. Vital surveillances: the epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19)-China, 2020. [EB/OL]. <http://weekly.chinacdc.cn/en/article/id/e53946e2-c6c4-41e9-9a9b-fea8db1a8f51>.
- [7] Koh WC, Naing L, Chaw L, et al. What do we know about SARS-CoV-2 transmission? A systematic review and meta-analysis of the secondary attack rate and associated risk factors [J]. *PLoS One*, 2020, 15(10): e0240205.
- [8] Gomez-Ochoa SA, Franco OH, Rojas LZ, et al. COVID-19 in health-care workers: a living systematic review and meta-analysis of prevalence, risk factors, clinical characteristics, and outcomes [J]. *Am J Epidemiol*, 2021, 190(1): 161-175.
- [9] Luo L, Liu D, Liao X, et al. Contact settings and risk for transmission in 3410 close contacts of patients with COVID-19 in Guangzhou, China: a prospective cohort study [J]. *Ann Intern Med*, 2020, 173(11): 879-887.
- [10] 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.
- [11] The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. [EB/OL]. http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp.
- [12] Xu W, Li X, Dozier M, et al. What is the evidence for transmission of COVID-19 by children in schools? A living systematic review [J]. *J Glob Health*, 2020, 10(2): 021104.
- [13] Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses [J]. *BMJ*, 2003, 327(7414): 557-560.
- [14] 石修权, 王增珍. Meta 回归与亚组分析在异质性处理中的应用 [J]. *中华流行病学杂志*, 2008, 29(5): 497-501.
- [15] Egger M, Davey Smith G, Schneider M, et al. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test [J]. *BMJ*, 1997, 315 (7109): 629-634.
- [16] Bi Q, Wu Y, Mei S, et al. Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study [J]. *Lancet Infect Dis*, 2020, 20(8): 911-919.
- [17] Bohmer MM, Buchholz U, Corman VM, et al. Investigation of a COVID-19 outbreak in Germany resulting from a single travel-associated primary case: a case series [J]. *Lancet Infect Dis*, 2020, 20(8): 920-928.
- [18] Koureas M, Speletas M, Bogogiannidou Z, et al. Transmission dynamics of sars-cov-2 during an outbreak in a roma community in thessaly, greece-control measures and lessons learned [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(6): 1-13.
- [19] Bao C, Pan E, Ai J, et al. COVID-19 outbreak following a single patient exposure at an entertainment site: An epidemiological study [J]. *Transbound Emerg Dis*, 2021, 68(2): 773-781.
- [20] Yi B, Fen G, Cao D, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 214 families with COVID-19 in Wuhan, China [J]. *Int J Infect Dis*, 2021(105): 113-119.
- [21] Xin H, Jiang F, Xue A, et al. Risk factors associated with occurrence of COVID-19 among household persons exposed to patients with confirmed COVID-19 in Qingdao Municipal, China [J]. *Transbound Emerg Dis*, 2021, 68(2): 782-788.
- [22] Varma J K, Thamkittikasem J, Whittmore K, et al. COVID-19 infections among students and staff in New York City Public Schools [J]. *Pediatrics*, 2021, 147(5): e2021050605.
- [23] van den Berg P, Schechter-Perkins EM, Jack RS, et al. Effectiveness of three versus six feet of physical distancing for controlling spread of COVID-19 among primary and secondary students and staff: A retrospective, state-wide cohort study [J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 73(10): 1871-1878.
- [24] Ratovoson R, Razafimahatratra R, Randriamanantsoa L, et al. Household transmission of COVID-19 among the earliest cases in Antananarivo, Madagascar [J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2022, 16(1): 48-55.
- [25] Ng OT, Marimuthu K, Koh V, et al. SARS-CoV-2 seroprevalence and transmission risk factors among high-risk close contacts: a retrospective cohort study [J]. *Lancet Infect Dis*, 2021, 21(3): 333-343.
- [26] Miller JS, Holshue M, Dostal TKH, et al. COVID-19 outbreak among farmworkers - Okanogan County, Washington, May-August 2020 [J]. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2021, 70(17): 617-621.
- [27] Hsu CY, Wang JT, Huang KC, et al. Household transmission but without the community-acquired outbreak of COVID-19 in Taiwan [J]. *J Formos Med Assoc*, 2021, 120(Suppl 1): S38-S45.
- [28] Wu J, Huang Y, Tu C, et al. Household transmission of SARS-

- CoV-2, Zhuhai, China, 2020[J]. *Clin Infect Dis*, 2020, 71(16): 2099-2108.
- [29] Wang Y, Tian H, Zhang L, et al. Reduction of secondary transmission of SARS-CoV-2 in households by face mask use, disinfection and social distancing: a cohort study in Beijing, China[J]. *BMJ Glob Health*, 2020, 5(5): e002794.
- [30] Son H, Lee H, Lee M, et al. Epidemiological characteristics of and containment measures for COVID-19 in Busan, Korea[J]. *Epidemiol Health*, 2020(42): e2020035.
- [31] Park Y, Choe Y, Park O, et al. Contact tracing during coronavirus disease outbreak, South Korea, 2020[J]. *Emerg Infect Dis*, 2020, 26(10): 2465-2468.
- [32] Macartney K, Quinn H E, Pillsbury A J, et al. Transmission of SARS-CoV-2 in Australian educational settings: a prospective cohort study[J]. *Lancet Child Adolesc Health*, 2020, 4(11): 807-816.
- [33] Li W, Zhang B, Lu J, et al. Characteristics of household transmission of COVID-19[J]. *Clin Infect Dis*, 2020, 71(8): 1943-1946.
- [34] Larosa E, Djuric O, Cassinadri M, et al. Secondary transmission of COVID-19 in preschool and school settings in northern Italy after their reopening in September 2020: a population-based study[J]. *Euro Surveill*, 2020, 25(49): 2001911.
- [35] Jing QL, Liu MJ, Zhang ZB, et al. Household secondary attack rate of COVID-19 and associated determinants in Guangzhou, China: a retrospective cohort study[J]. *Lancet Infect Dis*, 2020, 20(10): 1141-1150.
- [36] Cheng HY, Jian SW, Liu DP, et al. Contact tracing assessment of COVID-19 transmission dynamics in Taiwan and risk at different exposure periods before and after symptom onset[J]. *JAMA Intern Med*, 2020, 180(9): 1156-1163.
- [37] Chaw L, Koh WC, Jamaludin SA, et al. Analysis of SARS-CoV-2 transmission in different settings, brunei[J]. *Emerg Infect Dis*, 2020, 26(11): 2598-2606.
- [38] 陈奕, 王爱红, 易波, 等. 宁波市新型冠状病毒肺炎密切接触者感染流行病学特征分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(5): 667-671.
- [39] 董晓春, 李佳萌, 柏建芸, 等. 天津市新型冠状病毒肺炎确诊病例流行病学特征分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(5): 638-641.
- [40] 白尧, 吉兆华, 张辉, 等. 西安市新型冠状病毒肺炎疫情流行特征[J]. *中华疾病控制杂志*, 2020, 24(5): 567-572.
- [41] 陈武, 林嘉威, 吴生根, 等. 福建省新型冠状病毒肺炎患者密切接触者的流行病学特征与感染危险因素[J]. *中华疾病控制杂志*, 2020, 24(5): 562-566, 585.
- [42] 邓志强, 夏文, 范义兵, 等. 南昌市一起新型冠状病毒肺炎聚集性疫情传播链分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(9): 1420-1423.
- [43] 庄雅丽, 张应涛, 李梦, 等. 广东省新型冠状病毒肺炎聚集性疫情分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(7): 720-725.
- [44] 周林, 刘晓雪, 李战, 等. 新型冠状病毒肺炎病例 1403 例密切接触者发病分析[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2020, 58(4): 58-61.
- [45] 孙琬琬, 凌锋, 潘金仁, 等. 浙江省新型冠状病毒肺炎家庭聚集性疫情流行特征分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(6): 625-629.
- [46] 雷明玉, 黄艳, 勾云, 等. 贵州省新型冠状病毒肺炎聚集性疫情特征分析[J]. *中国公共卫生*, 2020, 36(4): 493-497.
- [47] Lewis NM, Chu VT, Ye D, et al. Household transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 in the United States[J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 73(7): 1805-1813.
- [48] Wang Z, Ma W, Zheng X, et al. Household transmission of SARS-CoV-2[J]. *J Infect*, 2020, 81(1): 179-182.
- [49] 陈橙, 夏云丽, 孙亚军, 等. 九龙坡区新型冠状病毒肺炎病例密切接触者特征分析[J]. *预防医学*, 2020, 32(9): 882-885.
- [50] Khanh NC, Thai PQ, Quach HL, et al. Transmission of SARS-CoV 2 during Long-Haul Flight[J]. *Emerg Infect Dis*, 2020, 26(11): 2617-2624.
- [51] Blomquist PB, Bolt H, Packer S, et al. Risk of symptomatic COVID-19 due to aircraft transmission: a retrospective cohort study of contact-traced flights during England's containment phase[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2021, 15(3): 336-344.
- [52] Hu M, Lin H, Wang J, et al. Risk of Coronavirus disease 2019 transmission in train passengers: an epidemiological and modeling study[J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 72(4): 604-610.
- [53] Chow K, Aslam A, McClure T, et al. Risk of healthcare-associated transmission of SARS-CoV-2 in hospitalized cancer patients[J]. *Clin Infect Dis*, 2021, ciab670.
- [54] Colaneri M, Novelli V, Cutti S, et al. The experience of the health care workers of a severely hit SARS-CoV-2 referral hospital in Italy: incidence, clinical course and modifiable risk factors for COVID-19 infection[J]. *J Public Health (Oxf)*, 2021, 43(1): 26-34.
- [55] Surez-Garcia I, Martnez de Aramayona Lpez MJ, Sez Vicente A, et al. SARS-CoV-2 infection among healthcare workers in a hospital in Madrid, Spain[J]. *J Hosp Infect*, 2020, 106(2): 357-363.
- [56] Lombardi A, Consonni D, Carugno M, et al. Characteristics of 1573 healthcare workers who underwent nasopharyngeal swab testing for SARS-CoV-2 in Milan, Lombardy, Italy[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2020, 26(10): 1413.
- [57] Barrett ES, Horton DB, Roy J, et al. Prevalence of SARS-CoV-2 infection in previously undiagnosed health care workers in New Jersey, at the onset of the U. S. COVID-19 pandemic[J]. *BMC Infect Dis*, 2020, 20(1): 853.
- [58] Shen Y, Li C, Dong H, et al. Community outbreak investigation of SARS-CoV-2 transmission among bus riders in Eastern China[J]. *JAMA Intern Med*, 2020, 180(12): 1665-1671.
- [59] Bae S, Kim H, Jung T Y, et al. Epidemiological characteristics of COVID-19 outbreak at fitness centers in Cheonan, Korea[J]. *J Korean Med Sci*, 2020, 35(31): e288.
- [60] de Laval F, Grosset-Janin A, Delon F, et al. Lessons learned from the investigation of a COVID-19 cluster in Creil, France: effectiveness of targeting symptomatic cases and conducting contact tracing around them[J]. *BMC Infect Dis*, 2021, 21(1): 457.

Brain Pathol, 2015, 25(5):614-624.

[23] Mulukutla BC, Yongky A, Le T, et al. Regulation of glucose metabolism-a perspective from cell bioprocessing [J]. Trends Biotechnol, 2016, 34(8):638-651.

[24] Gustafsson NMS, F rneg rdh K, Bonagas N, et al. Targeting PFKFB3 radiosensitizes cancer cells and suppresses homologous recombination [J]. Nat Commun, 2018, 9(1):3872.

[25] De oliveira T, Goldhardt T, Edelmann M, et al. Effects of the novel PFKFB3 inhibitor KAN0438757 on colorectal cancer cells and its systemic toxicity evaluation *In vivo* [J]. Cancers, 2021, 13(5): 205-209.

[26] Burke JD, Platanius C, Fish EN. Beta interferon regulation of glucose metabolism is PI3K/Akt dependent and important for antiviral activity against coxsackievirus B3 [J]. J Virol, 2014, 88(6):3485-3495.

[27] Mcardle J, Moorman NJ, Munger J. HCMV targets the metabolic stress response through activation of AMPK whose activity is important for viral replication [J]. PLoS Pathog, 2012, 8(1): e1002502.

[28] Prusinkiewicz MA, Mymryk JS. Metabolic reprogramming of the host cell by human adenovirus infection [J]. Viruses, 2019, 11(2): 230-238.

[29] Li Y, Zhu R, Qian Y, et al. The characteristics of blood glucose and WBC counts in peripheral blood of cases of hand foot and mouth disease in China; a systematic review [J]. PLoS One, 2012, 7(1):e29003.

[30] Wu YH, Chiu DT, Lin HR, et al. Glucose-6-phosphate dehydrogenase enhances antiviral response through downregulation of NADPH sensor HSCARG and upregulation of NF-κB signaling [J]. Viruses, 2015, 7(12):6689-6706.

[31] Ho HY, Cheng L, Weng SF, et al. Glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency enhances enterovirus 71 infection [J]. J Gen Virol, 2008, 89(Pt 9):2080-2089.

[32] Meng J, Yao Z, He Y, et al. ARRDC4 regulates enterovirus 71-induced innate immune response by promoting K63 polyubiquitination of MDA5 through TRIM65 [J]. Cell Death Dis, 2017, 8(6):e2866.

[33] De castro IF, Volonte L, Risco C. Virus factories; biogenesis and structural design [J]. Cell Microbiol, 2013, 15(1):24-34.

【收稿日期】 2021-12-23 **【修回日期】** 2022-02-14

(上接 142 页)

[61] Shen Y, Xu W, Li C, et al. A Cluster of novel coronavirus disease 2019 infections indicating person-to-person transmission among casual contacts from social gatherings; an outbreak case-contact investigation [J]. Open Forum Infect Dis, 2020, 7(6): ofaa231.

[62] Bernadou A, Bouges S, Catroux M, et al. High impact of COVID-19 outbreak in a nursing home in the Nouvelle-Aquitaine region, France, March to April 2020 [J]. BMC Infect Dis, 2021, 21(1): 198.

[63] 张 晓, 黄 勇, 李 科, 等. 一起娱乐场所共同暴露引起的外籍人员新型冠状病毒肺炎聚集性疫情的传播特征分析 [J]. 医学动物防制, 2021, 37(8):814-817.

[64] Madewell ZJ, Yang Y, Longini IM, et al. Household transmission of SARS-CoV-2; a systematic review and meta-analysis [J]. JAMA Netw Open, 2020, 3(12):e2031756.

[65] Ministry of Health, Labour, and Welfare. Avoid the “Three Cs”! [EB/OL]. <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000619576.pdf>.

[66] 王 姣, 王 先 良, 叶 丹, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情期间公共场所卫生防控措施 [J]. 环境卫生学杂志, 2020, 10(4):410-413.

[67] Ong SWX, Tan YK, Chia PY, et al. Air, Surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient [J]. Jama, 2020, 323(16):1610-1612.

[68] Hellewell J, Abbott S, Gimma A, et al. Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of cases and contacts [J]. Lancet Glob Health, 2020, 8(4):e488-e496.

[69] Atzrodt CL, Maknoja I, Mccarthy RDP, et al. A Guide to COVID-19; a global pandemic caused by the novel coronavirus SARS-CoV-2 [J]. FEBS J, 2020, 287(17):3633-3650.

[70] Black JRM, Bailey C, Przewrocka J, et al. COVID-19; the case for health-care worker screening to prevent hospital transmission [J]. Lancet, 2020, 395(10234):1418-1420.

[71] CDC expands definition of who is a ‘close contact’ of an individual with covid-19 [EB/OL]. <https://www.washingtonpost.com/health/2020/10/21/coronavirus-close-contact-cdc/>.

【收稿日期】 2021-11-23 **【修回日期】** 2022-02-11