DOI:10.16016/j.1000-5404.202112023



依据传染病防控基本原则,精准预防新型冠状病毒感染

毛 青 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院感染病科,全军感染病研究所

[摘要] 新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎,coronavirus disease 2019,COVID-19)疫情暴发流行已两年,持续在全世界肆虐。由于各国采取的防控政策和措施不同,疫苗分配不均,加之新型冠状病毒(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2,SARS-CoV-2)变异迅速,导致疫情仍十分严重。随着疫情的发展,对新冠肺炎的临床特征、流行病学及SARS-CoV-2的生物学特征等有了深入研究和认识。人群普遍接种疫苗在控制新冠肺炎疫情中起到决定性作用,但注射疫苗后仍然存在一定比例的突破性感染。因此,依据传染病防控基本原则(管理传染源、切断传播途径、保护易感人群)进行物理防护仍十分重要。实践证明,"普遍疫苗接种+有效物理防护"是全面控制新冠肺炎疫情的根本措施,两者不可或缺。

[关键词] 新型冠状病毒肺炎;大规模接种疫苗;感染;预防

[中图法分类号] R183;R512.99 [文献标志码] A

Accurately prevent SARS-CoV-2 infections based on the basic principles of infectious disease prevention and control

MAO Qing Department of Infectious Diseases, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] The novel coronavirus pneumonia (coronavirus disease 2019, COVID-19) pandemic has been raging around the world for almost 2 years. Due to the different prevention and control policies and measures adopted by various countries, uneven distribution of vaccines and rapid mutation of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), the pandemic is still very serious. With the process of the pandemic, in-depth research and understanding of the clinical characteristics and epidemiology of COVID-19 and biological characteristics of SARS-CoV-2 have been made. Widespread vaccination of the population plays a decisive role in the control of the COVID-19 pandemic. However, there is still a certain percentage of breakthrough infections after vaccination. Therefore, the physical protection is still very important based on the basic principles of infectious disease prevention and control (management of the source of infection, cutting off the route of transmission and protection of the susceptible population). Practice has proved that "widespread

[通信作者] 毛 青,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,长江学者特聘教授。任中华医学会医学病毒学分会副主任委员、中华医学会感染病学分会常务委员、中国医师协会感染科医师分会常务委员、解放军传染病专委会副主任委员和生物军控与履约专业委员会委员、重庆市医学会感染病学分会主任委员,入选重庆市学术技术带头人和重庆英才名师名家。担任 *Gastroenterology* 和 *Clinical Gastroenterology and Hepatology* 审稿人、《中华实验和临床病毒学杂志》副主编及多家杂志编委。作为首席专家先后参与抗击非典、埃博拉(非洲)和新冠(武汉)疫情及"国际军事比赛-2021"等重大非战争军事行动。先后主持了973计划课题、国家科技重大专项课题、国家科技支撑计划、国家自然科学基金及军队和重庆市科研课题10余项。参与获得国家科技进步二等奖1项、军队科技进步二等奖2项、重庆市科技进步二等奖1项。在国内期刊上发表论文100余篇,在SCI收录的国外期刊发表论文30余篇,主编专著6部。主要从事病毒性肝炎和新发传染病防治方面的研究。E-mail:qingmao@tmmu.edu.cn

1000-5404/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

vaccination + effective physical precautions" is a fundamental measure for comprehensive control of COVID-19 pandemic, and both are indispensable.

[**Key words**] coronavirus disease 2019; mass vaccination; infection; prevention

Corresponding author: MAO Qing, E-mail: qingmao@tmmu.edu.cn

新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎,coronavirus disease 2019,COVID-19)疫情暴发流行已两年,持续在全世界肆虐,截止2021年12月1日,世界卫生组织(WHO)数据显示全球262 178 403人感染,死亡5 215 745人[1]。由于各国采取的防控政策和措施不同,疫苗分配不均,加之新型冠状病毒(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2)变异迅速,导致疫情仍十分严重,每天新增感染人数均在数十万,要在全球范围得到良好控制尚需时日。随着疫情的发展,对新冠肺炎的临床特征、流行病学及SARS-CoV-2的生物学特征等有了深入研究和认识;疫苗和抗病毒药物研发也取得了突破。截至2021年11月15日,WHO评定包括我国的两种疫苗在内的7种新冠肺炎疫苗已达到必要的安全性和有效性标准,授权新冠肺炎疫苗实施计划(COVAX)紧急采购使用[2]。众所周知,人群普遍接种疫苗在控制新冠肺炎疫情中起到决定性作用,但注射疫苗后仍然存在一定比例的突破性感染[3-4]。因此,依据传染病防控基本原则进行物理防护仍十分重要。实践证明,"普遍疫苗接种+有效物理防护"是全面控制新冠肺炎疫情的根本措施,两者不可或缺。

1 传染病防控三原则

传染性疾病的传播流行必须具备3个条件,即有源头(传染源)、通过特定途径传播(传播途径)、同时存在对病原体易感的人(易感人群),只有这样才能形成传播链,三者缺一不可。因此,针对这3个必备条件就形成了传染病防控的3个基本原则:管理传染源、切断传播途径、保护易感人群。无论是新发传染病还是传统传染病暴发流行时,都必须依据这3个原则,有针对性地采取防控措施。既要管理好传染源,也要切断传播途径,还要保护好易感人群。应该指出的是,不同疾病防控措施有所不同,尤其是针对传播途径所采取的措施。另一方面,一个疾病可以通过多种途径传播。如新冠肺炎可以通过飞沫、气溶胶和接触等传播,因此,应针对所有途径采取防控措施。此外,采取防控措施的等级还与病原体的传染性强弱、疾病的严重程度、社会危害程度等相关。

2 及时发现新冠肺炎传染源,从源头控制传播

2.1 新冠肺炎的传染源

传染源是指体内有病原体生长繁殖并排出体外的人或动物。就新冠肺炎而言,作为传染源的主要有患者和无症状感染者,动物中间宿主作为传染源的作用尚不明确。通常情况,病原体进入人体后即生长繁殖,达到一定数量后开始致病,出现症状。因此,患者体内的病毒滴度比处于潜伏期的无症状感染者高,作为传染源的意义更大。SARS-CoV-2进入人体后侵入敏感细胞并复制增殖,至发病后1周病毒滴度达到高峰,随后开始下降。因此,最具传染性的时间是在症状出现前或出现后的前5 d[5]。故早期发现和隔离患者,是有效遏制SARS-CoV-2传播的关键。此外,有研究表明,重型/危重型患者病毒载量高、排毒时间长[6-7]。而无症状感染者虽可传播SARS-CoV-2,相对而言,传染性可能有限[8-9];但也有研究认为无症状感染者与患者鼻咽拭子检测的病毒载量无差别[10],不可忽视。

2.2 及时发现新冠肺炎传染源,做好源头管控

我国湖北省疫情结束后,全国的防控策略是"外防输入、内防反弹",新冠肺炎流行呈现出"持续低水平输入和间断本土病例暴发"的特点,且每一次形成本土传播的疫情都与境外输入关联。由于第一时间发现传染源,并采取动态清零的防控措施,所有疫情在1个月左右得到有效控制。因此,执行好早预防、早发现、早报告、早隔离、就地治疗的"四早一就"原则,对于控制疫情和治疗患者起到至关重要的作用。

2.2.1 倡导主动报告、主动筛查 2020年6月暴发的北京新发地农贸市场疫情就是第1例患者主动到医疗机构检测发现的,这为控制疫情争取到了时间。疫情暴发期间,针对新冠肺炎流行的每一个环节做好宣传,提高群众认识,才能让每个人真正成为疫情防控的参与者。出现发热、乏力、咳嗽、嗅觉异常等症状者,以及密切接触者和次密切接触者等均应主动到医疗机构筛查。

2.2.2 加强口岸城市管控 不同口岸城市由于病毒输入途径的不同,采取的防控措施有所差别。湖北省疫情结束后,几乎每天都有患者和/或无症状感染者输入。主要从两类口岸城市输入,即航空口岸城市和边境口岸城市。前者主要有上海、广州、成都等大型航空口岸,它们成为"外防输入"的前哨。现行做法是对入境人员立即进行核酸检测、实行闭环管理,核酸阳性

者立即转至定点医疗机构隔离治疗,这一做法行之有效。随着全球疫苗接种的普及,应要求入境人员提供疫苗接种证明。边境口岸城市也是病毒输入的关口,云南瑞丽、黑龙江绥芬河、内蒙古满洲里等城市已发生多起境外输入关联的疫情暴发流行,甚至传播到全国多地。最近1次起源于内蒙古额济纳旗的疫情,至11月5日24时全国累计报告感染者918例,波及20省44市[11]。边境口岸城市除面对正常通关的人员、物资外,由于陆地接壤,边境居民存在广泛的自由往来,传播风险高。因此,边境口岸城市的防控压力更大、难度更高。应加强边境管控,做到国内人员不出境,入境人员就地隔离和核酸检测,并建立入境人员登记报告制度。

2.2.3 实施分层定期检测 建立针对重点人群的定期核酸检测制度,依据暴露风险大小决定筛查频度。重点人群包括:医务人员(含流行病学调查工作人员)、海关检疫人员、隔离观察点工作人员、冷链物品和入境物品搬运人员、入境航班空乘人员和勤务人员等。2021年9月发生在福建省的疫情的首个病例正是莆田仙游县某小学"适时抽检"时发现的,之后教育部向全国推广此项防疫政策[12]。

2.3 管理传染源及其接触者的有效措施

2.3.1 患者和无症状感染者 在专业机构集中隔离治疗和医学观察。发现核酸阳性后应在2 h内转运至定点医疗机构进行治疗和隔离医学观察。患者治愈出院后,应当继续隔离医学观察14 d;无症状感染者隔离医学观察14 d,原则上连续2次核酸检测呈阴性者(采样时间至少间隔24 h)可解除集中隔离医学观察。若患者出院后核酸复检呈阳性,根据是否出现症状,按照上述原则处理。解除集中隔离医学观察的无症状感染者,应继续进行14 d的居家医学观察并于第2周和第4周到定点医疗机构随访复诊,检测核酸[13]。

疑似病例在定点医疗机构单人单间隔离治疗,连续2次核酸检测阴性(采样时间至少间隔24 h),且发病7 d后SARS-CoV-2特异性抗体IgM和IgG仍为阴性,可排除疑似病例诊断[13]。但有疫苗接种史者,血清IgM和IgG不作为诊断指标。

2.3.2 密切接触者(密接者)和密接者的密切接触者(次密接者) 均集中隔离医学观察。根据流行病学调查结果,由公共卫生专业技术人员科学判定密接者和次密接者,并将其于12 h内转运至集中隔离场所进行隔离医学观察。对密接者观察期为14 d,在第1、4、7天和第14天分别进行1次核酸检测。解除隔离后继续进行7 d居家健康监测,期间减少流动,外出时做好个人防护,不参加聚集性活动,并在第2天和第7天各进行1次核酸检测。次密接者集中隔离医学观察期限根据其密接者的核酸检测结果确定,如密接者在隔离医学观察期间前两次核酸检测均为阴性,且次密接者第1、4、7天核酸检测阴性,可于第7天解除隔离医学观察;如其密接者前两次核酸检测有阳性结果,次密接者按照密接者管理至期满14 d[13]。

2.3.3 入境者 由于国外新冠肺炎疫情仍十分严重,加之变异毒株不断出现。因此,所有入境者应被视为密接者,实现闭环隔离管理。

3 有效切断传播途径,提高物理防控效果

3.1 新冠肺炎的传播途径

SARS-CoV-2经呼吸道(飞沫、气溶胶)和密切接触传播。以飞沫传播为主,在相对封闭的环境中长时间暴露于高浓度气溶胶情况下存在经气溶胶传播的可能[14]。但越来越多的证据表明,除了通过咳嗽或打喷嚏产生的较大飞沫感染外,气溶胶颗粒在SARS-CoV-2传播中起着重要作用[15]。此外,气溶胶传播可能在δ株的快速传播中起重要作用[16]。

由于在粪便、尿液中可分离到SARS-CoV-2,应注意其对环境污染造成接触传播或气溶胶传播的可能。

应该关注的是,SARS-CoV-2不仅能以"人传人"的方式传播,还能以"物传人"的方式传播。而后者已在我国造成多起疫情流行,北京新发地农贸市场和大连疫情就源于"物传人"。SARS-CoV-2污染冷链食品外包装,人接触后造成感染。通常病毒在没有生命体寄生的情况下会很快失活或死亡,但冷链低温为病毒提供了保持活性的条件,实现了"冻存-复苏"的过程。

此外,患者和无症状感染者居住地、停留地会受到SARS-CoV-2污染。因此,要对环境进行定期SARS-CoV-2核酸检测,以及时发现受污染区域,并处置。应定期进行空气、地面、物体表面的消毒,尤其是高频接触物表面。

3.2 人感染SARS-CoV-2的"门户"

SARS-CoV-2感染人体主要通过两种受体介导,即血管紧张素转化酶2(ACE2)和神经纤毛蛋白-1(NRP1)。ACE2广泛存在于全身几乎所有组织器官和细胞,尤其在肠(上皮细胞)、口和鼻黏膜、鼻咽、眼结膜、肺(Ⅰ、Ⅱ型肺泡上皮细胞)中高表达,并存在于动脉和静脉内皮细胞及所有器官的动脉平滑肌细胞[17-18]。NRPs是高度保守的非酪氨酸激酶单跨膜糖

蛋白,为各种分子的共同受体,在所有脊椎动物中都有表达[19]。研究表明,NRP1 在呼吸系统和嗅觉上皮细胞中高表达,在中枢神经系统中也有表达,包括嗅觉相关的区域(如嗅结节和嗅旁回)。因此,NRP1 促进 SARA-CoV-2 对中枢神经系统的损伤,并可能导致 SARA-CoV-2 具有嗜神经性[20]。

因此,保护好口、鼻、眼等"门户"是个人预防 SARA-CoV-2 感染的重点,所有预防措施都要围绕此展开。

3.3 *切断传播途径的有效措施*

3.3.1 戴口罩 中、高风险区除在自己居住的室内外,均应戴口罩;低风险区室外、非密集人聚集区可不戴。中、低风险环境,戴普通外科口罩;高风险环境或进行高风险操作时,应戴 N95 口罩。

3.3.2 洗手 接触高频触摸的物体后均应洗手,或用免洗消毒剂消毒,这是防止接触传播的重要手段。要求流水冲洗,揉搓不少于 15 s。

3.3.3 保持距离 安全社交距离各国规定不一,我国规定的安全社交距离是>1 m,这是依据说话时飞沫飘落地面的距离决定的。研究表明,以 1 m/s 的速度(说话、呼吸)产生的飞沫滴通常在距离不到 1 m 处掉落地面[21]。

3.3.4 良好通风 室内良好的通风可以通过空气交换起到稀释病原体和净化空气的作用。在我国,南方温暖地区人员密集的室内应尽可能持续通风;北方寒冷地区也应定时通风,每天 2 次,每次 10~20 min。

4 科学认识人对 SARS-CoV-2 的易感性

4.1 *未接种疫苗者的易感性*

疫情发展至今的事实表明,所有人群对 SARS-CoV-2 易感,且各类人群间易感性无差异。但不同人群感染后预后存在显著差别,老年人、患有慢性疾病者病死率显著高于其他人群[22-23]。因此,他们是预防保护的重点人群。

4.2 *对变异毒株的易感性*

SARS-CoV-2 变异迅速,两年来先后出现 α、β、γ、δ 和最新变异株 Omicron(o)等值得关注的变异株(VOC)。其中 δ 株影响最为广泛,是目前全球流行的主要病毒株。研究表明,δ 株刺突蛋白的 ACE2 受体结合域发生双突变(L452R+T478K),增加了刺突蛋白与 ACE2 的亲和力[24],导致人对 δ 株更加易感。δ 株的传染性较 α 株高 50%~100%[25]。o 株的传染性是否增强尚没有数据,有待流行病学和基础研究证实。

由于人对 SARS-CoV-2 普遍易感,而不断出现的变异株可能对人更易感。因此,个人物理防护不可松懈。

5 注射疫苗是预防 SARS-CoV-2 感染的根本措施

传染病防控史证明,疫苗是预防、控制和消灭传染病的根本措施。依靠疫苗,天花已经被消灭,脊髓灰质炎即将被消灭。大多数采用疫苗预防的传染病均得到了很好的控制。新冠肺炎疫情来势凶猛、前所未有,更应该充分发挥疫苗的保护作用。

5.1 *注射疫苗的效果*

实践证明,完成规定疫苗注射剂次后,可有效预防 SARS-CoV-2 感染,减少住院及重症的发生率,有效降低病死率。注册临床研究发现,两剂 BNT162b2 mRNA 疫苗方案对 16 岁或以上人群的保护率为 95%,且老年人保护率相当,人种间无差异[26]。mRNA-1273 疫苗也有类似效果[27]。我国北京生物的灭活疫苗 BBIBP-CorV[28]和科兴生物的灭活疫苗 CoronaVac[29]同样具有很好的保护作用。

5.2 *疫苗对变异株仍然有效*

在接种两剂疫苗后,与 α 株相比,疫苗对 δ 株的保护效率仅有轻微降低。但在接受第 1 剂疫苗后,疫苗对 δ 株的保护效率下降明显[30]。这一发现提示,高风险人群应尽快完成两剂疫苗的接种。还有研究表明,尽管 BNT162b2 和 mRNA-1273 疫苗在卡塔尔人群中预防 δ 株感染的有效性降低,但同样能有效减少住院和死亡病例[31]。至于最新出现的、2021 年 11 月 26 日才被 WHO 列为 VOC 的 o 株是否对人更易感?致病性是否更强?有待研究。不过,因其包含了 30 多种刺突蛋白的变异,已引起科学家和 WHO 的高度重视[32]。

5.3 *注射疫苗加强针可迅速提高抗体水平*

注射新冠肺炎疫苗后有部分人群发生突破性感染。美国 CDC 报道,在 1.3 亿接种疫苗的人中,有 10 262 人发生突破性感染[3];对 3 720 名接种完两剂 BNT162b2 疫苗的医务人员的随访研究发现,有 33 人突破性感染 SARS-CoV-2,其 100 d 累积感染率为 0.93%[4]。出现这种情形的原因尚不完全清楚,其中抗体滴度下降是重要原因之一[33]。因此,提高血清抗体水平是解决突破性感染的有效方法。研究表明,结束全程新冠肺炎疫苗接种后半年加强注射可迅速提高血清抗体滴度[34]。因此,高风险人群应尽可能加强接种 1 剂疫苗。

6 小结

伴随着 SARA-CoV-2 变异株的不断涌现,全球新

冠疫情仍然处在大流行的高水平流行阶段,各国应该采取统一措施防控疫情传播,WHO 提醒“With a fast-moving pandemic, no one is safe, unless everyone is safe”[35]。疫情当前,没有谁能够独善其身。普遍接种疫苗联合科学物理防护,方可有效阻断病毒传播,最终实现完全控制疫情的目标。

参考文献:

[1] WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard [R/OL]. [2021-12-01]. https://covid19.who.int/.

[2] COVID-19 advice for the public: Getting vaccinated[EB/OL]. (2021-11-15) [2021-12-08]. https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines/advice.

[3] CDC COVID-19 Vaccine Breakthrough Case Investigations Team. COVID-19 vaccine breakthrough infections reported to CDC—United States, January 1-April 30, 2021[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2021, 70(21): 792-793. DOI:10.15585/mmwr.mm7021e3.

[4] ROVIDA F, CASSANITI I, PAOLUCCI S, *et al*. SARS-CoV-2 vaccine breakthrough infections with the alpha variant are asymptomatic or mildly symptomatic among health care workers[J]. Nat Commun, 2021, 12(1): 6032. DOI: 10.1038/s41467-021-26154-6.

[5] CEVIK M, TATE M, LLOYD O, *et al*. SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV viral load dynamics, duration of viral shedding, and infectiousness: a systematic review and meta-analysis[J]. Lancet Microbe, 2021, 2(1): e13-e22. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30172-5.

[6] CEVIK M, KUPPALLI K, KINDRACHUK J, *et al*. Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2 [J]. BMJ, 2020: m3862. DOI:10.1136/bmj.m3862.

[7] ZHENG S F, FAN J, YU F, *et al*. Viral load dynamics and disease severity in patients infected with SARS-CoV-2 in Zhejiang Province, China, January-March 2020: retrospective cohort study[J]. BMJ, 2020: m1443. DOI:10.1136/bmj.m1443.

[8] MEYEROWITZ E A, RICHTERMAN A, BOGOCH I I, *et al*. Towards an accurate and systematic characterisation of persistently asymptomatic infection with SARS-CoV-2[J]. Lancet Infect Dis, 2021, 21(6): e163-e169. DOI: 10.1016/s1473-3099(20)30837-9.

[9] BUITRAGO-GARCIA D, EGLI-GANY D, COUNOTTE M J, *et al*. Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: a living systematic review and meta-analysis[J]. PLoS Med, 2020, 17(9): e1003346. DOI:10.1371/journal.pmed.1003346.

[10] LAVEZZO E, FRANCHIN E, CIAVARELLA C, *et al*. Suppression of a SARS-CoV-2 outbreak in the Italian municipality of Vo'[J]. Nature, 2020, 584(7821): 425-429. DOI: 10.1038/s41586-020-2488-1.

[11] 国家卫生健康委宣传司.国务院联防联控机制2021年11月6日新闻发布会文字实录[EB/OL].(2021-11-06)[2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/xcs/fkdt/202111/28aeb8577b8747ed877f582d50f51035.shtml.
Publicity Department of National Health Commission. Transcript of the press conference of the joint prevention and control mechanism of the State Council on November 6, 2021 [EB/OL]. (2021-11-06) [2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/xcs/fkdt/202111/28aeb8577b8747ed877f582d50f51035.shtml.

[12] 金振娅. 对返校学生“适时抽检”——教育部向全国推广福建防疫“实招”[N/OL]. 光明日报, 2021-09-17 [2021-12-08]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202109/t20210917_564006.html.
JIN Z Y. “Sampling inspections at the right time” for returning students—the Ministry of Education promotes Fujian's “practical measures” for epidemic prevention throughout the country[N/OL]. Guangming Daily, 2021-09-17 [2021-12-08]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202109/t20210917_564006.html.

[13] 国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情联防联控机制综合组.新型冠状病毒肺炎防控方案(第八版)[R/OL].(2021-05-14)[2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202105/6f1e8ec6c4a540d99fafef52fc86d0f8.shtml.
The Joint Prevention and Control Group of the State Council Against New Coronavirus Pneumonia. New coronavirus pneumonia prevention and control plan (8th Edition) [R/OL]. (2021-05-14) [2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202105/6f1e8ec6c4a540d99fafef52fc86d0f8.shtml.

[14] 国家卫生健康委办公厅,国家中医药管理局办公室.新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第八版 修订版)[R/OL].(2021-04-15)[2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202104/7de0b3837c8b4606a0594aeb0105232b.shtml.
General Office of National Health Commission, Office of the State Administration of Traditional Chinese Medicine. New coronavirus pneumonia diagnosis and treatment plan (Trial 8th Edition, Revised) [R/OL]. (2021-04-15) [2021-12-08]. http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202104/7de0b3837c8b4606a0594aeb0105232b.shtml.

[15] MORAWSKA L, CAO J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality[J]. Environ Int, 2020, 139: 105730. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105730.

[16] LEE B U. Why does the SARS-CoV-2 delta VOC spread so rapidly? Universal conditions for the rapid spread of respiratory viruses, minimum viral loads for viral aerosol generation, effects of vaccination on viral aerosol generation, and viral aerosol clouds[J]. Int J Environ Res Public Heal, 2021, 18(18): 9804. DOI:10.3390/ijerph18189804.

[17] HAMMING I, TIMENS W, BULTHUIS M L, *et al*. Tissue distribution of ACE2 protein, the functional receptor for SARS coronavirus. A first step in understanding SARS pathogenesis[J]. J Pathol, 2004, 203(2): 631-637. DOI:10.1002/path.1570.

[18] HIKMET F, MÉAR L, EDVINSSON Å, *et al*. The protein expression profile of ACE2 in human tissues[J]. Mol Syst Biol,2020,16(7):e9610. DOI:10.15252/msb.20209610.

[19] KYROU I, RANDEVA H S, SPANDIDOS D A, *et al*. Not only ACE2-the quest for additional host cell mediators of SARS-CoV-2 infection: Neuropilin-1 (NRP1) as a novel SARS-CoV-2 host cell entry mediator implicated in COVID-19[J]. Signal Transduct Target Ther, 2021, 6(1): 1-3. DOI:10.1038/s41392-020-00460-9.

[20] DAVIES J, RANDEVA H S, CHATHA K,*et al*. Neuropilin-1 as a new potential SARS-CoV-2 infection mediator implicated in the neurologic features and central nervous system involvement of COVID-19[J]. Mol Med Rep,2020,22(5): 4221-4226. DOI: 10.3892/mmr.2020.11510.

[21] XIE X, LI Y, CHWANG A T, *et al*. How far droplets can move in indoor environments: revisiting the Wells evaporation-falling curve[J]. Indoor Air, 2007, 17(3): 211-225. DOI:10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x.

[22] The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19)-China, 2020[J]. China CDC Wkly,2020,2(8):113-122.

[23] STOKES E K, ZAMBRANO L D, ANDERSON K N, *et al*. Coronavirus disease 2019 case surveillance—United States, January 22-may 30, 2020[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2020, 69(24): 759-765. DOI:10.15585/mmwr.mm6924e2.

[24] KHAN M I, BAIG M H, MONDAL T,*et al*. Impact of the double mutants on spike protein of SARS-CoV-2 B.1.617 lineage on the human ACE2 receptor binding: a structural insight[J]. Viruses,2021,13(11):2295. DOI: 10.3390/v13112295.

[25] Scientific Advisory Group for Emergencies. Imperial College London: Delta (B.1.617.2) transmission in England-risk factors and transmission advantage, 1 June 2021[R/OL]. (2021-06-14) [2021-12-08]. https://www.gov.uk/government/publications/imperial-college-london-delta-b16172-transmission-in-england-risk-factors-and-transmission-advantage-1-june-2021.

[26] POLACK F P, THOMAS S J, KITCHIN N, *et al*. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA covid-19 vaccine[J]. N Engl J Med, 2020, 383(27): 2603-2615. DOI:10.1056/nejmoa2034577.

[27] BADEN L R, SAHLY H M EL, ESSINK B, *et al*. Efficacy and safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 vaccine[J]. N Engl J Med,2021,384(5):403-416. DOI: 10.1056/NEJMoa2035389.

[28] XIA S L, ZHANG Y T, WANG Y X, *et al*. Safety and immunogenicity of an inactivated SARS-CoV-2 vaccine, BBIBP-CorV: a randomised, double-blind, placebo-controlled, phase 1/2 trial[J]. Lancet Infect Dis,2021,21(1):39-51. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30831-8.

[29] ZHANG Y J, ZENG G, PAN H X, *et al*. Safety, tolerability, and immunogenicity of an inactivated SARS-CoV-2 vaccine in healthy adults aged 18-59 years: a randomised, double-blind, placebo-controlled, phase 1/2 clinical trial[J]. Lancet Infect Dis, 2021, 21(2): 181-192. DOI:10.1016/S1473-3099(20)30843-4.

[30] LOPEZ BERNAL J, 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.

[31] TANG P, HASAN M R, CHEMAITELLY H, *et al*. BNT162b2 and mRNA-1273 COVID-19 vaccine effectiveness against the SARS-CoV-2 Delta variant in Qatar[J]. Nat Med, 2021: 1-8. DOI:10.1038/s41591-021-01583-4.

[32] CALLAWAY E. Heavily mutated Omicron variant puts scientists on alert[J]. Nature, 2021, 600(7887): 21. DOI:10.1038/d41586-021-03552-w.

[33] MIZRAHI B, LOTAN R, KALKSTEIN N,*et al*. Correlation of SARS-CoV-2-breakthrough infections to time-from-vaccine[J]. Nat Commun, 2021, 12(1): 6379. DOI: 10.1038/s41467-021-26672-3.

[34] KESKIN A U, BOLUKCU S, CIRAGIL P, *et al*. SARS-CoV-2 specific antibody responses after third CoronaVac or BNT162b2 vaccine following two-dose CoronaVac vaccine regimen[J]. J Med Virol, 2022, 94(1): 39-41. DOI:10.1002/jmv.27350.

[35] WHO. With a fast-moving pandemic, no one is safe, unless everyone is safe[EB/OL]. [2021-12-08]. https://www.who.int/initiatives/act-accelerator/covax.

(收稿:2021-12-03;修回:2021-12-14)

(编辑 王 红)