

医院 COVID-19 病区 SARS-CoV-2 病毒的环境污染及原因探讨

徐斌¹, 沈益鸣¹, 黄英², 周连¹, 吴晓松¹, 徐燕¹, 丁震^{1*}

(1. 江苏省疾病预防控制中心, 江苏 南京 210009; 2. 南京市第二医院, 江苏 南京 210003)

摘要:采用4种空气气溶胶采样器,在某收治新冠肺炎患者的传染病医院 COVID-19 病区采集空气气溶胶样本46份,其中1份样本中 SARS-CoV-2 呈弱阳性。用无菌拭子采集病区空调及通风系统表面灰尘样本12份,其中1份样本中 SARS-CoV-2 呈弱阳性。研究表明, SARS-CoV-2 存在于医院病区空气和部分通风系统物体表面,病毒有通过气溶胶短距离传播的风险,医护人员应加强个人防护,严格执行感染预防与控制措施,降低医院内部环境交叉感染的风险。

关键词:新型冠状病毒肺炎;新型冠状病毒;环境污染;气溶胶;通风系统;卫生间

中图分类号:R184

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2021)05-0052-04

Air and Ventilation System Contamination of SARS-CoV-2 in a General COVID-19 Ward and Reason Discussion

XU Bin¹, SHEN Yi-min¹, HUANG Ying², ZHOU Lian¹, WU Xiao-song¹, XU Yan¹, DING Zhen^{1*}

(1. Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210009, China; 2. The Second Hospital of Nanjing, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: In order to find out the SARS-CoV-2 contamination in the air and the surface of ventilation system in a general COVID-19 ward of an infectious disease hospital, four air aerosol samplers were used in the COVID-19 ward of the hospital. 46 air aerosol samples were collected from both inside and outside of the ward, and 1 sample was weakly positive. Sterile swabs was used to collect 12 samples of dust on the surface of the air conditioning and ventilation system in the ward, and one sample was weakly positive. The results show that SARS-CoV-2 exists in the air of general wards and surface of some ventilation system objects. The virus has the risk of short-distance transmission through aerosols. Medical staff should strengthen personal protection, strictly implement infection prevention and control measures, and reduce the internal risk of environmental cross-infection.

Key words: COVID-19; SARS-CoV-2; Environmental pollution; Aerosol; Ventilation system; Lavatory

2019年12月底,我国湖北省武汉市出现了数起不明原因的病毒性肺炎病例并且迅速呈流行态势,研究表明这种肺炎与一种新型冠状病毒有关。2020年2月11日,世界卫生组织(WHO)将这种新型冠状病毒感染的肺炎命名为 Corona Virus Disease 2019(COVID-19)。国际病毒分类委员会将新型冠状病毒命名为 Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2(SARS-CoV-2)。2020年3月11日,WHO正式宣布新冠肺炎疫情构成全球大

流行。

国家卫健委发布的《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)》指出, SARS-CoV-2 的传播途径有“经呼吸道飞沫传播和密切接触传播,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”“注意粪便及尿对环境造成气溶胶或接触传播”^[1]。由于 SARS-CoV-2 传播能力强、潜伏期长、可人传人且存在部分无症状感染者。自 COVID-19 暴发以来,迅速波及我国各

收稿日期:2021-05-06;修订日期:2021-07-05

基金项目:江苏省重点研发计划社会发展基金资助项目(BE2018745);江苏省青年医学重点人才基金资助项目(QNRC2016551)

作者简介:徐斌(1985—),男,主管医师,硕士,从事环境健康研究工作。

* 通讯作者:丁震 E-mail:jscdc@126.com

省、市及地区。医院内的空间相对密闭且人流量较大,气管插管等医疗操作可导致气溶胶产生,是 SARS-CoV-2 传播的理想场所,可能导致医务人员感染 SARS-CoV-2 的风险提升^[2]。Van Doremalen 等^[3]研究表明,病毒可以在气溶胶中存活 3 h 并保持感染性。一项大型流行病学调查显示,截至 2020 年 2 月 11 日,共有 1 716 名医务工作者确诊 COVID-19,其中 5 人死亡^[4]。武汉大学彭志勇^[5]团队研究发现,在防护不到位的情况下,院内感染率可达 41%。

在通风不良的室内环境下,SARS-CoV-2 能否通过气溶胶传播,目前世界各国尚存在较大争议。一些调查研究显示,在医疗机构以外的部分场所,气溶胶传播可能与飞沫传播同时存在^[6-8]。此外,多项研究表明,和 SARS-CoV-2 同属的 SARS-CoV (严重急性呼吸综合征冠状病毒)和 MERS-CoV (中东呼吸综合征冠状病毒)可通过气溶胶的形式远距离传播^[9-11]。当发生 COVID-19 人际传播时,很难确定是密切接触传播、飞沫传播和气溶胶传播中的一种还是多种情况共同存在,以及哪种传播途径起主导作用。因此,了解 COVID-19 收治病区内空气及通风系统中是否存在病毒及其传播的可能性,对医护人员的科学防护至关重要。现调查了某 COVID-19 患者定点收治医院病区内环境中 SARS-CoV-2 的污染情况,分析探讨该病毒通过气溶胶传播的可能性,为控制院内传播感染提供实验依据。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

空气采样:QuickTake-30 安德森撞击式采样器(美国 SKC 公司),采样介质为 10 mL Gibco 细胞培养基;AirPort MD8 便携式浮游菌采样仪(德国赛多利斯公司),采样介质为赛多利斯水溶性凝胶膜;WA-15 便携式生物气溶胶采样器(北京鼎蓝科技有限公司),采样介质为友康病毒保存液 UTM [MT0301,友康恒业生物科技(北京)有限公司];ASE-100 微生物气溶胶采样器(深圳市朗司科技有限公司),采样介质为朗司收集液。

物体表面采样:MT0301 病毒采样试剂盒配套的棉签[友康恒业生物科技(北京)有限公司]。

病毒核酸提取:NP968 核酸提取仪,EX-DNA/RNA 病毒提取试剂盒(西安天隆科技有限公司)。

病毒核酸检测:Applied Biosystems QuantStudio

Dx 实时荧光定量 PCR 仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);COVID-19 核酸检测试剂盒(上海五色石医学研究股份有限公司)。

1.2 样品采集

分别于 2020 年 2 月 8 日、20 日和 22 日,在收治新冠肺炎确诊患者病区的病房、病区走廊、护士站和位于病房楼顶排风管口等 17 个采样点,使用不同类型的空气气溶胶采样器采集空气气溶胶样本 46 份。2 月 20 日和 22 日,在病房空调出风口百叶及回风口滤网、病房卫生间排风口百叶、护士站出风口内表面、病房楼顶排风管内表面、病房楼顶集中空调回风管初效和中效过滤器内外表面等 10 个采样点,采集物体表面样本 12 份,每个样本均用棉拭子涂抹法采集面积 50 cm²。

1.3 样品包装和处理

用空气采样器采样完成后,立即将病毒保存液(收集液)或凝胶膜放入原包装,分别编号后,置于冷藏箱内。当日采样全部完成后,对冷藏箱外表面进行消毒处理,并用塑料袋密封。密封后对塑料袋外表面进行消毒处理,由病区物品专用电梯运出病区并立即送至实验室检测。

1.4 样品检测

病毒核酸检测在 P2 实验室(二级生物安全实验室)进行。用 NP968 核酸提取仪提取病毒核酸后,用实时荧光定量 PCR 仪进行扩增。吸取 200 μL 吸收液或凝胶溶解液(凝胶溶解到 10 mL 纯水中),用核酸试剂提取总 RNA,根据试剂盒操作说明书进行检测。实时 RT-PCR(逆转录-聚合酶链反应)条件:50 °C 持续 5 min,95 °C 持续 2 min,在 95 °C 进行 15 s 扩增,并在 60 °C 进行 45 s 扩增,扩增 40 个循环。Ct(扩增循环数)≤38,判定该样本为阳性;37 ≤ Ct < 38,判定该样本为弱阳性;Ct ≥ 38,判定该样本为阴性。

2 结果与讨论

2.1 空气样本 SARS-CoV-2 污染分析

病区空气样本采样条件和 SARS-CoV-2 核酸检测结果见表 1。由表 1 可见,1 份样本中 SARS-CoV-2 核酸呈弱阳性(Ct = 38),阳性率为 2.17%。该采样点位于病区库房间(医护人员离开病房脱下最外层防护服的地方)门口的走廊,表明当时空气中存在 SARS-CoV-2(核酸片段),有空气传播的可能。该采样点的其余小流量样本均为阴性,表明

病区空气中 SARS-CoV-2 浓度较低,很难被采集和检测到。Ong 等^[11]在某中心隔离病房、病房接待室及清洁走廊上使用 Quick Take-30 安德森撞击式采样器和 AirPort MD8 便携式浮游菌采样器采集数个空气样本,样本体积分别为 1.2 和 1.5 m³,结果均为阴性。而 Cheng 等^[12]在病人处于 4 种不同状态(正常呼吸、深呼吸、连续说“1,2,3”、连续咳嗽)时在距离病人下颌 10 cm 处采集 1 m³空气,也未能检出 SARS-CoV-2,这可能与采集的空气量较少有关。但 Santarpia 等^[13]以 AirPort MD8 便携式采样器采集空气样本 0.75 m³,发现病房内和走廊的阳性率分别为 68.2% 和 58.3%。而在另一项研究中,Guo 等^[14]在火神山医院重病加强护理病房(ICU)及普通病房不同地点分别采集 9 m³气溶胶样本(Sass 2300 采样器,美国 Research International 公司),结果显示,ICU 空气阳性率为 35%,普通病房阳性率为 12.5%。由此可见,能否采集到空气中的病毒可能和当时空气中病毒的浓度及采样体积有关,与采样介质是吸收液还是凝胶膜关联不大。但使用凝胶膜采样时,无法使用较大的流量和较长的持续时间,在一定程度上限制了含有低浓度病毒空气的采样。

阳性样本采样点位于病区库房间门外的走廊。疫情期间,根据病区的流程,医护人员应在库房间脱除最外层防护装备并将废弃物置于房间内的垃圾桶中。平时,走廊上空间隔悬挂的紫外灯管定期开启进行常规消毒,但在采样时发现该处紫外灯管在消毒时间并未亮起,经检查该紫外灯管已损坏,推测库房间外的这一区域消毒不完全,这可能是在此处采集到阳性样本的原因之一。由此说明,紫外线消毒在疫情防控中的重要性,同时也说明医护人员脱除防护服的地点是产生 SARS-CoV-2 的高风险区域。Liu 等^[15]研究表明,在医护人员脱除防护装备的地方,病毒核酸浓度特别高。这意味着在去除防护装备之后,含有病毒的气溶胶很可能再次悬浮于空气中。如果空气消毒不彻底,病毒很可能会随气流播散至其他地方。Li 等^[16]在病区每日 4 次的常规空气消毒(等离子空气消毒器)后约 1 h,以 80 L/min 的流量采集 30 min 空气气溶胶样本,结果显示所有 135 份样本均为阴性。表明在严格执行消毒规范,并且病区的机械通风正常工作时,病区空气中的 SARS-CoV-2 可以得到较好的控制。对病区其他的紫外灯进行检查,未发现损坏,这可

能是其他采样点空气样本中未检出阳性的原因之一。

表 1 病区空气样本采样条件和 SARS-CoV-2 核酸检测结果^①

采样日期	序号	采样地点	采样设备	采样流量/ (L · min ⁻¹)	采样时 间/min	检测 结果
2020 - 02 - 08	1	1 - 3 床病房	QuickTake-30	10	30	-
	2	2 床床头柜	MD8	50	20	-
	3		ASE-100	500	2	-
	4	1 - 3 床病房	QuickTake-30	10	30	-
	5	2 床病床	MD8	50	20	-
	6	饭桌	ASE-100	500	2	-
	7	1 - 3 床病房	QuickTake-30	10	30	-
	8	窗户处	MD8	50	20	-
	9		ASE-100	500	2	-
2020 - 02 - 20	1	1 - 3 床病房	MD8	50	20	-
	2	2 床床头柜	ASE-100	500	20	-
	3		WA-15	14	30	-
	4	1 - 3 床病房	MD8	50	20	-
	5	2 床病床	ASE-100	500	20	-
	6	饭桌	WA-15	14	30	-
	7	1 - 3 床病房	MD8	50	20	-
	8	3 床床头柜	ASE-100	500	20	-
	9		WA-15n	14	30	-
	10	1 - 3 床病房	MD8	50	20	-
	11	3 床病床	ASE-100	500	20	-
	12	饭桌	WA-15	14	30	-
	13	1 - 3 床病房	MD8	50	20	-
	14	卫生间(排 风口下方)	ASE-100	500	20	-
	15		WA-15	14	30	-
	16	55 床病房 55 床床头柜	MD8	50	20	-
	17		ASE-100	500	20	-
18		WA-15	14	30	-	
19	55 床病房 55 床病床饭桌	MD8	50	20	-	
20		ASE-100	500	20	-	
21		WA-15	14	30	-	
22	55 床病房卫 生间(排风 口下方)	MD8	50	20	-	
23		ASE-100	500	20	-	
24		WA-15	14	30	-	
25	5 楼病区走 廊(库房间 门外)	MD8	50	20	-	
26		ASE-100	500	20	+	
27		WA-15	14	30	-	
28	病房楼顶排 风管口	MD8	50	20	-	
29		WA-15	14	30	-	
2020 - 02 - 22	1	5 楼病区护 士站空调出 风口 1 下方	MD8	50	20	-
	2		ASE-100	500	20	-
	3	5 楼病区护 士站空调出 风口 2 下方	MD8	50	20	-
	4		ASE-100	500	20	-
	5	5 楼病区走 廊(库房间 门外)	MD8	50	20	-
	6		ASE-100	500	20	-
	7	55 床病房 55 床病床饭桌	MD8	50	20	-
	8		ASE-100	500	20	-

①“+”为阳性;“-”为阴性。

2.2 表面样本 SARS-CoV-2 污染分析

病房和病区集中空调和通风系统表面样本的 RT-PCR 检测结果见表 2。由表 2 可见,1 份样品呈弱阳性($C_t = 38$),阳性率为 8.33%。该采样点是一间病房卫生间坐便器正上方的排气扇百叶表面(距地面高度为 2.7 m),结果表明,携带病毒的气溶胶可能被气流带动并沉积在排风口等设备上。

病毒可能来源于以下情况:(1)患者在卫生间咳嗽或打喷嚏向空气中排出含有病毒的飞沫,部分病毒扩散于气溶胶中随气流吸附于上方排风口百叶上;(2)来自患者粪便或尿液中的病毒在冲马桶时混入产生的气溶胶中扩散沉积于上方排风口百叶上。Ong 等^[11]同样在患者隔离室的排气扇表面样本中检出 SARS-CoV-2,表明病毒可能吸附在微小颗粒上,并漂浮于空气中,可随空气的流动在一定范围和距离内传播,吸附或沉降在物体表面。Knowlton 等^[17]和 Li 等^[18]的模拟实验结果均发现,马桶冲水时会产生大量的生物气溶胶,这些气溶胶可以到达马桶上方约 1 m 的高度。深圳市第三人民医院从部分新冠病人的粪便中检测出新冠病毒,表明其存在粪口传播的可能性,卫生间作为潜在的病毒传播场所应该受到更多的关注。

病房大楼的空调系统正常运转,且未在空调系统表面样本中检测到阳性,表明空调系统未受到污染。

表 2 病房和病区集中空调和通风系统样本的 RT-PCR 检测结果^①

采样日期	采样地点	检测结果
2020 - 02 - 20	1 - 3 床病房空调出风口百叶	-
	1 - 3 床病房空调回风口滤网	-
	55 床病房空调出风口百叶	-
	55 床病房空调回风口滤网	-
	病房楼顶排风管内表面	-
	病房楼顶集中空调回风管初效过滤器外表面	-
2020 - 02 - 22	病房楼顶集中空调回风管初效过滤器内表面	-
	病房楼顶集中空调回风管中效过滤器外表面	-
	病房楼顶集中空调回风管中效过滤器内表面	-
	护士站顶空调出风口 1 内表面	-
	护士站顶空调出风口 2 内表面	-
	55 床病房卫生间排风扇百叶	+

①“+”为阳性;“-”为阴性。

3 结论

在某收治新冠肺炎患者的传染病医院的 COVID-19 病房和病区,对空气和集中空调及通风

系统表面进行了采样并检测样本中的 SARS-CoV-2。结果表明,在某病区走廊的 1 份空气样本中检测到呈弱阳性的 SARS-CoV-2,其余样本均为阴性;在某病房卫生间排风扇百叶的 1 份表面样本中检测到呈弱阳性的 SARS-CoV-2,其余样本均为阴性。2 份呈弱阳性的样本表明,SARS-CoV-2 存在于医院环境空气中及部分通风系统物体表面,病毒有通过气溶胶短距离传播的风险,医护人员应加强个人防护,严格执行感染预防与控制措施,降低医院内部环境交叉感染的风险。

研究尚存在一定的局限性。首先,没有对采集的弱阳性样本进行毒株分离培养以进一步确定病毒的活性。其次,采用实时荧光定量 PCR 方法检测 SARS-CoV-2,不能排除所采集的样本中存在低于检测阈值的低浓度病毒。最后,由于 SARS-CoV-2 的传染性极强,研究人员在病房采样须穿戴 3 级防护设备,在一定程度上限制了采样布点的数量和操作的灵活性。

[参考文献]

- [1] 国家卫生健康委办公厅. 新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)[R/OL]. (2020-03-04)[2021-05-05]. <http://www.nhc.gov.cn/zyygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f5912eb1989.shtml>.
- [2] TRAN K, CIMON K, SEVERN M, et al. Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to health care workers: a systematic review [J]. PLoS One, 2012, 7(4):35797.
- [3] VAN DOREMALEN N, BUSHMAKER T, MORRIS D H, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1 [J]. The New England Journal of Medicine, 2020, 382: 1564-1567.
- [4] WANH D W, HU B, HU C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China [J]. JAMA, 2020, 323(11): 1061-1069.
- [5] 中国疾病预防控制中心新型冠状病毒肺炎应急响应机制流行病学组. 新型冠状病毒肺炎流行病学特征分析[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(2): 145-151.
- [6] LU J, GU J, LI K, et al. COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020 [J]. Emerging Infectious Diseases, 2020, 26(7): 1628-1631.
- [7] JANG S, HAN S H, RHEE J Y. Cluster of coronavirus disease associated with fitness dance classes, South Korea [J]. Emerging Infectious Diseases, 2020, 26(8): 1917-1920.

(下转第 59 页)

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 吴攀,王旺成,李腊梅,等. 2015年荆门市公共场所卫生状况分析[J]. 现代预防医学, 2017, 44(13): 2466-2470.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共场所卫生检验方法 第6部分: 卫生监测技术规范: GB/T 18204. 6—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共场所卫生检验方法 第1部分: 物理因素: GB/T 18204. 1—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共场所卫生检验方法 第2部分: 化学污染物: GB/T 18204. 2—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共场所卫生检验方法 第4部分: 公共用品用具微生物: GB/T 18204. 4—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [7] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 公共场所卫生指标及限值要求: GB 37488—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [8] 贺艳娇,熊小芳. 安福县2017年公共场所卫生监测结果分析[J]. 实验与检验医学, 2019, 37(4): 740-742.
- [9] 李红霞,符地宝. 泗阳县公共场所卫生监测结果分析[J]. 中国药物经济学, 2014(2): 190-191.
- [10] 苏海涛,何英华,解名环,等. 200家公共场所卫生监测结果分析[J]. 中国卫生工程学, 2014, 13(5): 398-399, 402.
- [11] 邝辉. 2003—2007年海口市旅店业卫生监测结果分析[J]. 中国热带学, 2008, 8(10): 1860-1861.
- [12] 马立新. 公共场所卫生监测存在问题与探讨[J]. 中国保健营养, 2019, 29(4): 390.
- [13] 金涛. 公共场所卫生监测相关问题的探讨[J]. 中国卫生监督杂志, 2015, 22(6): 588-590.
- [8] YU I T, LI Y G, WONG T W, et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus[J]. The New England Journal of Medicine, 2004, 350(17): 1731-1739.
- [9] KI M. 2015 MERS outbreak in Korea: hospital-to-hospital transmission[J]. Epidemiol Health, 2015, 37: 2015033.
- [10] AZHAR E I, HASHEM A M, EL-KAFRAWY S A, et al. Detection of the middle east respiratory syndrome coronavirus genome in an air sample originating from a camel barn owned by an infected patient[J]. mBio, 2014, 5(4): 1414-1450.
- [11] ONG S W X, TAN Y K, CHIA P Y, 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.
- [12] CHENG V C, WONG S C, CHEN J H, et al. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the Coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong [J]. Infection Control & Hospital Epidemiology, 2020, 41: 493-498.
- [13] SANTARPIA J L, RIVERA D N, HERRERA V, et al. Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 12732.
- [14] GUO Z D, WANG Z Y, ZHANG S F, et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020 [J]. Emerging Infectious Diseases, 2020, 26(7): 1583-1591.
- [15] LIU Y, NING Z, CHEN Y, et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan Hospitals [J]. Nature, 2020, 582(7813): 557-560.
- [16] LI Y H, FAN Y Z, JIANG L, et al. Aerosol and environmental surface monitoring for SARS-CoV-2 RNA in a designated hospital for severe COVID-19 patients [J]. Epidemiol Infect, 2020, 14: 148-154.
- [17] KNOWLTON S D, BOLES C L, PERENCEVICH E N, et al. Bioaerosol concentrations generated from toilet flushing in a hospital-based patient care setting [J]. Antimicrobial Resistance & Infection Control, 2018, 7(1): 16.
- [18] LI Y Y, WANG J X, CHEN X. Can a toilet promote virus transmission? From a fluid dynamics perspective [J]. Physics of Fluids, 2020, 32(6): 65107.

(上接第55页)