

· 实验研究 ·

经排风系统传播 SARS 可能性的示踪气体实验研究

何耀 邢玉斌 倪彬 姜勇 索继江 钟光林 常青 姜斌

【摘要】 目的 测定和分析某医院住院部病房楼空气流向及其与排风管道分布的关系并探讨和验证严重急性呼吸综合征(SARS)在医院感染可能的传播途径和影响因素。方法 在某医院住院部 SARS 输入病例所在病房卫生间燃放植物油熏香(示踪气体);为控制病房卫生间排风扇的开启、顶层抽风机的状态和病房新风系统等主要影响因素,共设计了 6 种实验状态。由 4 组实验员分别盲法到各楼层的 4、5 号病房采集、测量空气样本,并分别按 10 等分记分法评估其气味浓度。结果 在医院住院部 8~13 层的各病房均检测到示踪气体,在不同实验状态下,气体弥散的方向和浓度不尽相同。结论 医院目前的建筑结构和通风系统具备了病原体气溶胶自下而上经排风管道垂直传播的通道和空气动力学条件,示踪气体的分布与发病分布有一定的关联性。提示 SARS 存在气溶胶或其他载体形式长距离传播的可能性和证据,而在现有设施条件下,针对性的预防管理措施可在一定程度上阻断病原体经排风系统的传播。

【关键词】 严重急性呼吸综合征;示踪剂;传播途径

Hypothesis on generating and tracer gas study regarding transmission of severe acute respiratory syndrome through ventilation system in a general hospital HE Yao*, XING Yu-bin, NI Bin, JIANG Yong, SUO Ji-jiang, ZHONG Guang-lin, CHANG Qing, JIANG Bin. *Institute of Geriatrics, Chinese People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100853, China

【Abstract】 Objective By measuring airflow and ventilation distribution of ward building, to explore and verify the hypothesis of airborne transmission and risk factor of severe acute respiratory syndrome (SARS) nosocomial infection. **Methods** Tracer gas (perfume of plant oil) was emitted to the bathroom of wards when SARS index patient lived. Six different experimental situations were designed to control the status of exhaust fan in bathrooms, exhaust fan in the top of building and fresh air exchange system. The concentration of perfume was separately measured by 4 groups of lab workers and recorded blindly by the scores of "tenth degree". **Results** Tracer gas was detected from the wards of 8th to 13th floor. **Conclusion** Architecture and ventilation system of the inpatient building in the hospital contributed to the aerodynamic condition of SARS nosocomial infection through airborne transmission. The distribution of tracer gas in the wards was associated with SARS patients in this building. It was possible that SARS could have been transmitted to for distance by aerosol or other carriers.

【Key words】 Severe acute respiratory syndrome; Tracer; Route of transmission

严重急性呼吸综合征(SARS)流行病学研究显示,其传播途径是以近距离飞沫传播、直接接触及间接接触为主^[1-5]。但很难解释香港淘大花园和北京部分医院沿楼层递次发病和垂直分布的现象。本课题组曾经报告了一起 SARS 医院感染的调查结果,其发病分布提示存在 SARS 病毒经排风管道垂直传播的可能性^[6,7]。1996、1998 和 2000 年加拿大的蒙

特利尔和我国台湾也曾报道结核杆菌和其他病原微生物经排风系统传播,造成医院感染爆发的案例^[8-10]。SARS 病毒是否存在气溶胶垂直传播或经空气长距离传播的方式,仍是目前学术界争论很大的且亟需研究解决的问题。本课题组以物理示踪剂的方法,在某医院 SARS 发病沿楼层递次分布的现场测定和分析病房楼空气流向及其与各类排风管道的关系,以探讨和验证 SARS 经空气传播的可能途径和影响因素。

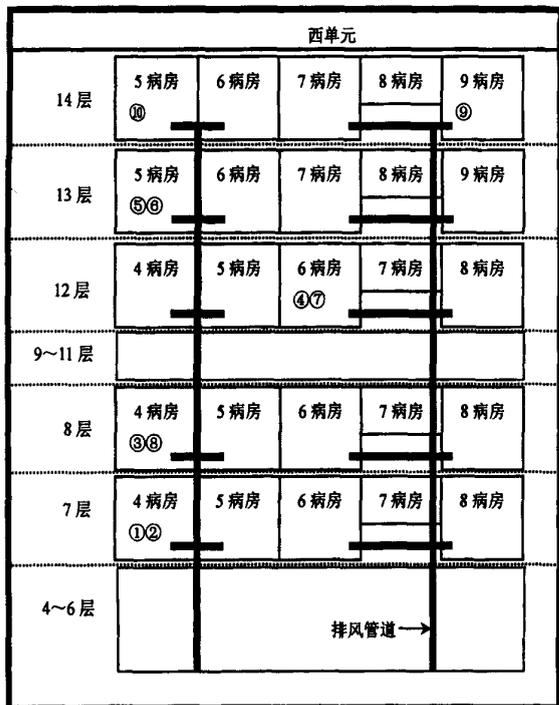
材料与方 法

1. 实验现场:选择在北京市某综合性医院的住

基金项目:全军非典型肺炎防治重大科技基金资助项目(03F020-1)

作者单位:100853 北京,解放军总医院老年医学研究所(何耀、倪彬、姜勇、常青),医院管理研究所(邢玉斌、索继江、钟光林),针灸科(姜斌)

院部大楼,该医院住院部大楼为东、中、西三单元 14 层建筑结构。住院患者的发病分布主要集中在西单元的 7、8、12、13、14 楼层(图 1),且相对集中发生在 4 号和 5 号两个病房(5~12 层 4、5 号病房的卫生间与 13~14 层 5、6 号病房的卫生间共用同一条排风管道;12 层 6、8 号病房的卫生间与 13~14 层 7、9 号病房的卫生间共用同一条排风管道)。该楼 SARS 住院病例及发病顺序的分布如图 1^[6]。有关病房的排风系统,为两个病房卫生间各自有独立的排风扇,但共用一个排风管道;在 14 层排风管道顶端有抽风机负压强迫排风。病房空调的新风系统,为设在病房及走廊的出风口或由天花板间隙 24 h 正压送风。这种建筑构造和送、排风系统,在理论上可以实现病毒气溶胶或其他载体形式的长距离传送。



注:①~⑩为 SARS 患者编号;①②和④为输入病例

图 1 SARS 住院病例的病区分布和病房排风管道示意图

2. 示踪剂:思力雅歌丹植物精炼油(商品名:尤加利)。

3. 实验方法:在 SARS 输入性病例所住的 7 层 4 号病房卫生间内用酒精喷灯定量持续燃放“尤加利”熏香,30 min 后由 4 组经统一培训的实验员分别、盲法到各楼层的 4、5 号病房采集、测量,并分别按 10 等分记分法评估其气味浓度。其中 0 记分为未闻到示踪剂气体气味,10 记分为在释放点所闻到

的气体浓度。

4. 实验条件:考虑到病房卫生间排风扇的开关、顶层抽风机的开关状态和病房新风系统等主要影响因素,共设计了 6 种实验状态(表 1)。各种状态均在条件设定后持续释放示踪剂 30 min 后进行检测。各种状态的间隔时间为 30 min 并充分抽风排空(即各起始状态的气味检测记分为 0)。

表 1 各种实验状态下各病房卫生间内示踪剂的测量值

顶风机 状态	卫生间排 风扇状态		分 组	示踪剂测量值的范围(单位:评分值) ($\bar{x} \pm s$)	
	4 号	5 号		4 号(8~13 层)	5 号(8~13 层)
关	关	关	1	2~8(5.07±1.95)	0~3(0.60±0.54)
	开	开	2	3~9(5.50±2.07)	0~3(1.03±0.32)
	关	开	3	1~9(5.23±2.54)	0~3(0.77±0.54)
	开	关	4	1~10(6.00±3.05)	0~2(0.73±0.33)
开	关	关	5	0~1(0.50±0.16)	0~2(0.25±0.16)
	开	开	6	0~2(0.83±0.38)*	0~1(0.58±0.26)*

* 5 组与 6 组间比较 $P < 0.05$

5. 统计学方法:多人多次的测量结果取均值和组间 t 检验。

结 果

7 层 4 号病房(示踪剂源)的排风扇状态为持续开。而各种状态下 7 层 5 号病房的排风扇不论开或关均未检测到示踪剂。提示,同楼层两病房卫生间虽共用同一排风管道,但只要各排风扇防倒流叶片完好,可阻隔同层气流的横向流动(4 号的气流因烟囱效应直接上行)。

14 层的 5、6 号病房虽与 7 层的 4、5 号病房为同一排风管道,但在各类状态下也均未检测到示踪剂,可能是因为气体浓度随传播距离的长短及时间递减和距顶层排风口(或抽风机)相距较近有关。

8~13 层在各种状态下于 5/4 或 6/5 号病房卫生间中示踪剂采集的测量值见表 1。结果提示,顶层抽风机关闭状态时,4 号病房卫生间排风扇无论开或者关均可发生下层气流向上层同侧及对侧卫生间内流动和弥散,似以排风扇开启状态时的弥散流量比较大,且同侧(4 号病房)流量高于对侧(5 号病房)。但各种状态下示踪剂的测量值未见统计学差异(见表 1 分组 1~4)。

顶层抽风机为持续抽风状态时,下层病房卫生间的示踪剂气流向上层同侧和对侧卫生间内的弥散浓度明显下降。尤以两卫生间的排风扇均处于关闭状态,下层向上层弥散的流量最低,表中 5 组的测量

值水平明显低于 6 组。

讨 论

1. 研究的方法学:在研究呼吸道传染病的传播途径时,采用示踪气体技术是国外环境流行病学研究常用的客观手段之一^[8-10]。本研究采用植物油熏香(特殊的香味)为示踪剂,在 SARS 输入性病例所住的病房(传染源)卫生间释放示踪气体,监测病房楼卫生间排风系统所涉及病房中的示踪气体分布及浓度,追踪和描述气体弥散的流向,探寻 SARS 病毒在该院病房楼内传播的建筑构造特点和空气动力学机理。其结果表明,医院目前的建筑结构和通风系统具备了病原体气溶胶或其他载体形式自下而上经排风管道垂直传播的通道和空气动力学条件。

2. SARS 空气传播的相关证据:示踪剂的楼层分布和浓度测定结果支持本课题组对该院 SARS 医院感染病例楼层分布的描述和分析。结合本试验结果和相关证据,我们对这起 SARS 医院感染传播途径的推测是:输入病例(后经证实为 SARS 超级传播者^[3])在症状期排毒量大,而卫生间体积狭小、通风差,SARS 患者咳嗽或抽水马桶冲便时,产生 SARS 气体气溶胶,经卫生间排风管道上传至上层病房卫生间,致该病房的两位高龄合并多种基础病的患者在潜伏期内相继受染,此后进一步上传至 13 层的同侧病房的病例。当时现场勘查的证据还有:输入病例所住病房卫生间的排风扇滤网破损;14 楼顶层的抽风机为间断工作,夜间基本停机;病房各楼层新风系统的流向为走廊→病房→卫生间排风管道;发病时间集中在 3 月上旬,此时北京天气较冷,病房很少开窗通风。综上所述,本研究为 SARS 病毒可能存在气溶胶长距离传播的假说提供了新的客观的空气动力学证据。香港卫生署有关淘大花园 SARS 爆发流行的调查报告亦显示:示踪剂六氟化硫检测的分布和流向支持 SARS 病毒可经排污管道垂直长距离传播^[11]。香港学者最新的空气动力学研究表明^[12],淘大花园 SARS 的大爆发与病例分布提示 SARS 存在经空气长距离垂直或水平传播的可能。

3. 针对性的预防措施:依据本实验结果,对今后医院呼吸道传染病病房的建筑设计应为具备独立的排污、排风及空调系统的负压病房。而综合性医院现有病房条件下的预防措施应包括:①顶层风机 24 h 持续抽气排风;②定时巡查和检修各卫生间排风扇滤罩和防返流叶片的状况;③定时检查地漏和

水封是否完好;④一旦病房出现呼吸道传染病患者,立即停用空调;⑤新风系统的气流走向要保证走廊和病房间不互串。

4. 研究的局限:本实验仅为物理示踪剂的定性研究,示踪剂的定量释放技术和浓度测量的方法尚不精确和客观;香气气体分子与病原体气溶胶的流动弥散规律可能不尽相同,如:9~11 层均检测到示踪剂,但并无 SARS 医院感染病例发生;而 14 层的 5 号病房未能检测到示踪剂,又如何合理解释该楼层病例⑨⑩的感染方式,尚有待进一步分析现场调查资料和收集其他相关证据。当然,14 层的病例亦可能由 12 层或 13 层 SARS 患者经空气传播传染或由该层病区已发病的医护人员所传染;实验条件的设计和控制有待完善,如 5 号排放扇开启时、4 号排放扇关闭时,是否会促进排风管道中上行气体向 4 号病房的倒流等。因此本研究的结果仅能有助于建立病原微生物可能经病房排风系统垂直长距离传播的理论假设,尚有待于设计实验条件更严格、指标更客观的空气微生物学实验以进一步研究和探讨这一假说。

参 考 文 献

- 何剑峰,彭国文,郑慧贞,等. 广东省 13 市传染性非典型肺炎首发病例流行病学分析. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 347-349.
- 谢淑云,曾光,雷杰,等. 一起传染性非典型肺炎爆发的“超级传播者”和传播链分析. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 449-453.
- 贺雄,沈壮,宁芳,等. 北京市首例输入性传染性非典型肺炎家族内传播的流行病学分析. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 557-560.
- 梅志强,关联欣,柴志凯,等. 山西省传染性非典型肺炎流行病学特征分析. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 454-457.
- 王颖秀,冯洪友,刘东,等. 天津市传染性非典型肺炎流行特点及主要控制措施效果评价. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 565-569.
- 何耀,姜勇,邢玉斌,等. 北京市某医院传染性非典型肺炎医院内感染传播途径的初步调查. 中华流行病学杂志, 2003, 24: 554-556.
- 何耀,姜勇,倪彬,等. 某综合性医院传染性非典型肺炎医院内感染的流行病学调查. 第四军医大学学报, 2004, 25: 616-620.
- Schwartzman K, Loo V, Pasztor J, et al. Tuberculosis infection among health care workers in Montreal. Am J Respir Crit Care Med, 1996, 154(4Pt 1): 1006-1012.
- Chung KC. Airborne contaminant exposure control in a partitioned work environment by exhaust ventilation systems. Am Ind Hyg Assoc J, 1998, 59: 346-352.
- Menzies D, Fanning A, Yuan L, et al. Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in canadian health care workers. Canadian Collaborative Group in Nosocomial Transmission of TB. Ann Intern Med, 2000, 133: 779-789.
- World Health Organization Regional Office for the Western Pacific. Environmental health team reports on Amoy Gardens. 2003. Accessed March 26, 2004, at <http://www.info.gov.hk/info/ap/who-amoye.pdf>
- TS Yu, YG Li, TW Wong, et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus ignatius. N Engl J Med, 2004, 350: 1731-1739.

(收稿日期:2004-02-10)

(本文编辑:尹廉)