

用于传染病隔离病房的空气净化器的研究

张智武

(越南河内东风药业医疗中心 河内 100803)

【摘要】空气净化器是一种用于预防传染病隔离病房和呼吸科疾病和病毒的理想空气净化装置,但根据现有的空气净化器标准,已经投入到了我国的防疫第一线,根据已知投入市场的净化器产品的调查,HEPA过滤器可以过滤0.5 μm以下的微粒粉尘,因此,净化器能够有效地清除这些飞沫和有害病毒等物质,因此,本文主要针对在传染病隔离病房等室内环境中使用的空气净化器展开研究,来进一步验证空气净化器在传染病房中的作用和效能。并对可预防传染病隔离病房的空气净化器装置的发展进行了展望。

【关键词】传染病;隔离病房;飞沫污染源;空气净化器;病毒去除

Research on air purifiers for infectious disease isolation wards

Zhiwu Zhang

(Dongfeng Pharmaceutical Medical Center, Hanoi, Vietnam, Hanoi, 100803)

【Abstract】Air purifier is an ideal air purification device for the prevention of infectious disease isolation wards and respiratory diseases and viruses, but according to the existing air purifier standards, has been put into the first line of epidemic prevention in China, according to the survey of purifier products known to be put into the market, HEPA filters can filter particulate dust below 0.5 μm, therefore, purifiers can effectively remove these droplets and harmful viruses and other substances, therefore, This paper mainly focuses on the research of air purifiers used in indoor environments such as infectious disease isolation wards to further verify the role and efficacy of air purifiers in infectious disease rooms. The development of air purifier devices in isolation wards for the prevention of infectious diseases is also prospected.

【Key words】Infectious diseases; Isolation ward; Droplet pollution sources; Air purifier; Virus removal

室内空气中的飞沫是主要的微生物污染源。人在呼吸、说话、咳嗽、打喷嚏的时候,口鼻中会释放出大量的飞沫,这些飞沫中含有大量的人类感染病原体。当颗粒大小达到一定浓度时,颗粒会下沉,而颗粒较小的颗粒会快速蒸发,缩小,形成飞沫核^[1],这种飞沫核是由病毒、细菌等致病菌组成,粒径很小,能在空中停留很久。人长期在这种环境下,很容易受到感染,一旦吸入肺里,含有足够的传染性微生物,就能使人感染。

医院是一种特殊的公共服务机构,对人们健康保障有着举足轻重的作用。医院采取治疗隔离等措施,对传染病等呼吸疾病采取有效的治疗和隔离,以防止由微生物气溶胶引起的呼吸道传染病的扩散。医院的宗旨是尽量减少患者之间的交叉感染,为患者创造一个更好的康复环境。但是,像传染病这样的隔离病房里的患者和病原体的带菌者,会增加患者和医务工作者之间的传染风险。世界卫生组织总干事谭德塞于2020年九月十七日指出,在全球范围内,医务工作者COVID-19的感染率大约是14%,有些国家的医务工作者感染率甚至达到35%。因此,必须加强对医院环境中传染性疾病的预防和控制,为患者、医护人员和护理人员创造一个健康、舒适的工作环境。

1 病房室内空气质量概述

国内外有关微生物污染物的研究多以生物因子、

污染源特性、通风方式等为研究对象的历史已近百年^[2]。呼吸道感染是一种最常见的传染病,其临床表现为从隐性感染到危及生命的全过程,其症状主要是由飞沫、空气等途径在室内传播,全年都有可能发生。尤其是在春季和冬季。到目前为止,已知可以导致呼吸道疾病的病毒就超过了200种。但由于微生物污染本身的危险性,试验研究的局限性很大,许多学者采用非生物污染物的方法来进行实验和数值模拟。但其结果大多缺乏可信度。国内外有关飞沫污染物的研究主要集中在飞沫污染物的粒径、浓度、速度、微生物存活、飞沫蒸发和沉降、温湿度、通风换气、污染物控制、感染概率和危险性评估等。而我国在这方面的研究相对滞后,主要集中在对气溶胶在大气中的分布和传播方面的研究。

2 关于病房内人体飞沫污染源传播特性

目前,国内外已有许多学者利用固体/液体撞击法、电子碰撞法、光学技术、飞行时间技术、粒子电荷分离技术,利用显微镜,安德森采样仪,高速照相机,光学粒子计数器,扫描电迁移粒度仪(SMPS),对人体呼气活动(呼吸,说话,咳嗽,打喷嚏)的飞沫扩散特征开展相关研究。目前,我国对这一领域的试验研究很少,主要是通过对国外的相关研究或在其基础上进行分析和计算。

2.1 组分

飞沫的蒸发组分仅为水，早期的研究中，对飞沫的蒸发进行了分析，而忽略了钠、钾、钙、磷、糖蛋白和乳酸盐等成分。香港大学 L. Liu, Y. G. Li, J. J. Wei 等根据飞沫成分的特性，利用相位模型将飞沫分解成含 NaCl 的悬浮球形混合液滴。

2.2 温度

Hoppe 等人在不同的环境中测量了人体的飞沫温度，结果表明，环境温度对人体的影响最大。若不考虑周围环境温度对水的作用，则可将其与人体体温相等。当前，有关室内呼吸道疾病的传播和扩散规律的研究，一般将沫的温度边界条件以人体的正常体温定义为 309 K。

2.3 初始粒径

由于试验技术、仪器和方法的不同，所获得的飞沫粒径尺寸分布也有很大差别。总的来说，人体咳嗽和说话时产生的飞沫粒径大小基本一致，并呈现出双峰分布。William G 利用气溶胶粒子光谱仪对感冒患者在患病期间及痊愈后咳嗽时所喷出的飞沫进行了试验，结果显示，正常人吸入的飞沫直径在 0 ~ 2.5 微米之间，90% 以上为 1 微米以下；谈话所生成的飞沫颗粒尺寸在 0.1 ~ 2000 微米之间，颗粒尺寸为 1 ~ 10 微米和 60 ~ 90 微米的颗粒颗粒所占比例高；咳嗽所产生的飞沫颗粒大小在 0.1 ~ 2000 微米之间，颗粒直径在 1 ~ 10 微米和 60 ~ 120 微米之间。罗森 - 拉姆勒分布是目前国际上应用最广泛的方法。

2.4 速度

人体呼出的飞沫污染物是一种连续相（空气）和一种离散相（飞沫）的混合体，其喷射速率与空气的速率大致相当。正常呼吸会产生 0.2 ~ 0.3 米 / 秒的飞沫，而咳嗽、打喷嚏则会出现较大的飞沫，最高可以达到 10 米 / 秒和 25 米 / 秒。不同的呼吸运动引起的飞沫速度是不固定的，比如，呼吸时的飞沫是正弦波，而咳嗽时的飞沫是脉冲函数。

3 人体飞沫产生及传播机制

人体呼出的飞沫和飞沫核通过人与人之间的接触是目前已知呼吸道疾病传染的一种非常复杂的传播疾病。飞沫的蒸发特性、呼气气流湍动特性、室内温湿度、气流组织、人员活动等都和飞沫的特性密切相关。目前，国外已有很多关于微生物传播的研究，主要是 CFD 模拟，很少有试验手段。

3.1 蒸发特性的影响

早期的研究假定飞沫的直径是不变的，而忽视了飞沫的汽化性质。事实上，身体的飞沫中含有大量的

湿气，它的温度比室内空气中的湿度要高，因此，空气中的水分会不断地被蒸发。而飞沫的直径也会逐渐变小，最终达到一个稳定的状态。2005 年，尼卡斯等人提出了飞沫直径随时间的变化规律。HQian 建立了基于 Drift-Flux 模式的多相流动模型，用于计算飞沫颗粒物的蒸发过程。该模型假定了颗粒物浓度与室内空气的相互作用是单向的，也就是说，飞沫颗粒物的运动状态是由室内的空气决定的，而颗粒物之间的动量和能量转移是可以忽略的。

3.2 呼气气流湍动特性的影响

L. Liu, Y. G. Li, J. J. Wei 把人体进行咳嗽时的气流过程进行了湍流射流数值模拟，并利用随机漫步模型和自相关模型，探讨了湍流速度脉动的变化规律。其研究的飞沫雾化过程表明：飞沫进入大气后，会受到布朗力，重力，电动，热浮力，电磁辐射，湍流扩散，惯性力，温度和相对湿度等影响。由于以上的影响，飞沫在进入大气后会进一步蒸发、扩散、沉降，或者被易受影响的人吸入。结果表明，微小飞沫颗粒物可以长时间地随风运动，而体积较大的飞沫颗粒物则会迅速地下沉。湍流中的速度脉动对提高液滴的扩散和传播距离有很大的影响。

3.3 环境湿度的影响

L. Liu, Y. G. Li, J. J. Wei 等人利用数值模拟相关方法，利用蒸发和非等温射流的方法，对人体喷出的飞沫在咳嗽射流中的传播距离和路径进行了数值模拟，并以其初始大小、平衡大小和相对湿度为函数。在干燥的环境中，飞沫的传播范围比在潮湿的情况下要大。中、小型飞沫迅速汽化为飞沫核，并维持其均匀大小持续移动。在干燥的空气中，空气传播的危险性要大得多。这一结果符合了季节性流感的特征。

3.4 环境温度的影响

N. P. Gao、Q. B. He、J. L. Niu、J. Z. Wu 等人通过对室内温度分层的观察，发现呼吸区中呼出的颗粒物有闭锁的现象。周琦、钱华利用射流力学的理论，对这种现象进行了深入的解释，结果表明，随着密度梯度的增加，阿基米德数的减小，“锁定”了呼气的气流，增加了室内感染的可能性。Yan Y, Li X, Tu J 等人在密闭空间内进行了人体对咳嗽飞沫的蒸发与扩散的模拟。研究发现，由于空气中的水分蒸发和人体的热量作用，使其向呼吸区上升，使其体积减小，从而使其在室内人体中的吸入和传染的危险增加。而且，随沉积时间的延长，飞沫的传播距离也会有明显的增大，从而使咳嗽的飞沫进一步扩散。

3.5 通风方式的影响

就通风方式对人体飞沫的相关研究目前已在医院病房、手术室、学校教室、办公室、高层住宅、飞机机舱等室内环境中的传播进行了大量的实验和CFD数值仿真。

L. Liu, Y. G. Li 等利用全尺寸试验和CFD仿真技术, 对不同距离、环境湿度、通风、呼吸方式等因素对两个人间的飞沫和飞沫核的影响进行了分析。结果表明, 在不同的飞行路径(短程和长程)之间, 有一个临界点是1.5m。N. P. Gao 等将 RNGk- ϵ 模型、SSTk- ω 模型和 RSM 模型在拉格朗日法框架下的应用进行了比较, 并给出了一种能够显著提高改进预测精度的渐变湍流动能修正方法。

4 室内空气净化器应用的标准

现行的空气净化器的设计, 没有考虑到如何清除传染性、隔离病室的病毒等, 所以, 关于如何清除包括细菌和病毒在内的微生物, 在标准中的定义上存在着争议, 因为相关标准中缺少这部分内容, 所以, 所以用于阻率病毒的性能测试依据现行标准进行主要指标如下。

4.1 微生物去除

在我国多家实验室进行除菌实验时, 采用了国家卫生部《消毒技术规范》(2002)规定的菌种, 其中包括: 金黄色葡萄球菌 ATCC6538、铜绿假单胞菌 ATCC15442、大肠杆菌 8099、枯草杆菌 ATCC9372、白色葡萄球菌 8032。目前, 我国的空气净化器除菌检验基本上是在 JG/T294-2010 《空气净化器污染物净化性能测定》中进行, 根据 JG/T294-2010 E. 2. 3 条中所述:

“采用自然大气中的自然细菌作为污染源, 不进行人为的污染”; 同时, 按照 GB 21551.3-2010 A. 3. 2. 1 条的要求, 用来测试空气净化器的细菌是白色葡萄球菌, 因此, 很多国家的实验室报告都给出了对细菌的清除效果。《空气净化器能效限定值及能效等级》GB36893-2018 《环境标志产品技术要求空气净化器》均无微生物脱除的技术指标, 而 HJ2544-2016 《环境标志产品技术要求空气净化器》中, 均未涉及到除菌的技术指标。

4.2 颗粒物去除

GB/T18801-2015 中第 5.3 条规定: “净化装置的洁净空气量, 对于微粒和气体污染物, 其测量值必须低于标准的 90%; GB 36893-2018 第 6.1.1.1 条规定: “根据 GB/T 18801-2015 标准, 采用 CADR 法测定空气净化器的微粒含量。

洁净空气量 CADR 是指在标准工况下, 在指定的测试条件下, 用于净化目标污染物(微粒和气体)的能力的一个参数, 代表了空气清洁器供给清洁空气的速度, 其速度可以通过以下公式(3)来计算:

$$Q = \theta (\alpha_e \alpha_n) V \quad (3)$$

在上述公式中 Q 是清洁空气的体积 m^3/h , α_e 是

总的衰减常数, $\min - 1$, α_n 是自然衰减常数, $\min - 1$; V 是实验室内的体积, m^3 。

5 飞沫及气溶胶传播的颗粒物去除

目前的空气净化器规范缺乏对病毒或其它病原体的杀灭能力的标准和相关硬性规定, 因此, 根据该标准生产并测试的空气净化器是否能够杀死在传染性疾病房间中的飞沫和气溶胶的悬浮颗粒物, 是一项值得深入研究的课题^[3-5]。各国的疾控中心和许多专家一致同意, 目前的空气净化器并不能有效地清除悬浮微粒和气溶胶。目前用于防疫前线的空气净化器, 虽然被称为“消灭冠状病毒”, 但其杀毒技术的合理性有待商榷, 其清除冠状病毒的能力是否可靠, 还有待进一步研究。因为大部分呼吸道传染病都会与人体长期共存, 为了防治流感的蔓延和对人体的伤害, 近年来, 空气净化、去除病毒、杀菌等新技术陆续投入实际应用, 空气净化器是一种非常普遍的家用电器, 它可以有效地清除病毒, 净化空气中的微粒和有害气体。国内的空气净化器制造商过千家, 但绝大多数的技术都不能应用到呼吸系统疾病的防治上, 因此, 对现有的净化技术进行了进一步的探索和改进。同时, 对有关国家标准进行修改, 建立权威的检验机构。

6 结论

要创造一个较好的通风条件, 就必须对其进行优化设计。目前, 医院病房内的微生物污染物浓度限制值是以碰撞法、沉降法测定的, 与病房内的实际污染物浓度存在一定的差异, 因此, 《住宅设计规范》中, 在使用空气净化器等装置时, 不使用集中新风的净化器, 以 1 次/小时的新风换气量作为应急通风量的计算依据, 健康人的呼吸排放污染物的浓度作为污染源的扩散, 并求解出该条件下的空气污染浓度, 并以此来确定医院传染病隔离病房的紧急通风量。在此条件下, 室内的排气量分别为 $0.0083 m^3/s$, 污染源释放量为 $5.51 \times 10^{-9} mg/s$, 基础浓度大小为 $3.5 \times 10^{-7} mg/m^3$ 。

参考文献:

- [1] 殷平. 空气净化器用于抗击新型冠状病毒肺炎疫情的评价与思考[J]. 暖通空调, 2020, 50(9):10.
- [2] 陈何易, 张仁祥. 医用空气净化器:CN201310294140.X[P].CN103353146B[2023-07-06].
- [3] 陈杨. 医院室内空气质量实时监测系统[D]. 东北石油大学[2023-07-06].DOI:CNKI:CDMD:2.1016.210702.
- [4] 倪洁. 空气消毒净化机用于综合性ICU空气净化消毒的效果观察[J]. 上海护理, 2012, 12(8).
- [5] 何苏. 一种呼吸科病房用空气净化器.2020[2023-07-06].