



马桶冲水行为与微生物气溶胶传播

毛怡心[#], 丁培[#], 孙宗科^{*}

中国疾病预防控制中心, 环境与健康相关产品安全所, 北京 100021

摘要:有关卫生间马桶冲水行为可能产生的微生物气溶胶扩散与病原微生物传播的情况一直受到广泛关注, 相关研究或报道时有出现。本文意在总结与马桶冲水行为产生的生物气溶胶相关的研究及进展, 讨论马桶冲水行为、开关马桶盖冲水行为以及马桶表面等因素在病毒、细菌及寄生虫等病原微生物通过生物气溶胶进行传播的过程中起到的作用。此外, 本文还探讨了与马桶相关的微生物气溶胶的产生可能为人体健康带来的潜在健康风险, 并就公众健康防护以及未来研究方向提出建议。

关键词: 卫生间, 气溶胶, 空气传播, 病原微生物, 室内公共场所

各国都面临感染性疾病的频繁爆发威胁, 手足口病(Hand-Foot-and-Mouth disease, HFMD)、禽流感、中东呼吸综合征(Middle East respiratory syndrome, MERS)、SARS 等多种疾病的高致病性及高死亡率^[1-5], 使包括科研人员在内的各类人群对细菌、病毒、寄生虫等各种病原微生物造成的危害及其在人群中的传播方式产生了极大关注。部分发展中国家由于环境卫生条件较差、基础设施薄弱或医疗条件不足, 感染性疾病的流行现状更为严峻。研究病原微生物如何完成人-人传播并导致疾病转移是流行病学和病原微生物学等多个领域的科研重点之一。普遍来讲, 病原微生物的人-人传播可能通过粪-口、空气、直接接触或媒介

传播等多种途径实现^[6]。了解病原微生物的传播方式及途径对于日后全国乃至全球的感染性疾病预防与控制、流行病学研究以及政府间合作等都具有重大的意义^[4], 并影响健康领域未来的研究走向以及政策制定。

在所有传播途径中, 空气传播是最难以预防和控制的控制的具有严重危害性的传播方式之一。空气传播被定义为气溶胶($< 5 \mu\text{m}$)传播或扩散距离大于 1 m, 而飞沫传播指大颗粒液滴($> 5 \mu\text{m}$)扩散至较近范围^[7]。已有多项研究指出病原微生物能够经由空气或空气中的气溶胶进行传播扩散。包含病原体的大颗粒物($> 6 \mu\text{m}$)主要影响人上呼吸道, 中性颗粒($2-6 \mu\text{m}$)主要集中至呼吸道中部, 而小颗

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0702800)

*通信作者。Tel: +86-10-50930174; E-mail: sunzongke@nieh.chinacdc.cn

[#]并列第一作者。

收稿日期: 2018-01-26; 修回日期: 2018-03-31; 网络出版日期: 2018-05-28

粒($<2\ \mu\text{m}$)会侵袭人肺部的肺泡区域^[8]。由于自身的特性,气溶胶颗粒非常容易随空气扩散,并侵袭入人呼吸道中,医学中也有利用气溶胶将药物递送至呼吸道的治疗方法^[8],而经空气传播的可吸入病原微生物则会对人类社会健康和经济等多个方面造成重大影响。

在日常生活中,卫生间环境是一个极易产生气溶胶、因此存在病原微生物交叉感染风险的场所。多项研究提示卫生间内的马桶可能在气溶胶的传播过程中,尤其是在医院、交通工具、餐厅等公共场所环境中,起到非常重要的作用^[9-12],在公共场所内活动的健康人群有可能仅仅通过与患病者或携带病菌者共用同一个卫生间而感染致病。2002年12月从伦敦飞往菲律宾的一架航班上,多名乘务人员发生急性胃肠道疾病,症状包括急性腹泻和呕吐等。研究人员在其中几名乘务人员的粪便样品中检测到诺如病毒(norovirus)的基因序列。研究人员对航班上191名乘客进行了问卷调查,在返回的93份问卷中有5.4%的乘客发生了血性腹泻(即极有可能为诺如病毒感染)。相较于入口的食品、饮料和冰块,研究人员发现使用飞机上的卫生间是导致感染的一个显著影响因素。虽然诺如病毒通过呕吐物进行传播的报道早已有之,但这是诺如病毒经卫生间传播的首例研究报道^[10]。此外还有很多针对感染性疾病爆发的研究都指出,病原微生物能够通过感染者产生的粪便或呕吐物扩散至空气中进行传播。粪便及呕吐物多数通过马桶排出,使得马桶成为病原微生物传播的重要媒介之一。

1 马桶冲水行为与生物气溶胶

20世纪50年代,马桶冲水行为可能导致生物

气溶胶产生的想法被最初提出。研究人员向马桶中添加阳性菌种后进行冲水,使用放置在离马桶不同距离的沉降平皿捕捉受重力影响下落的气溶胶颗粒。放置于地面的平皿上生长出菌落,且在冲水后8 min的空气中捕捉到微生物,因此推断马桶冲水后使得空气中产生了某种微沫状气溶胶^[13]。他们还发现生物气溶胶在空气中的含量会随着马桶冲水量的增加而增大。气溶胶的扩散方式极易受到重力的影响^[14],使用沉降平皿法可测量已知时间内从空气沉降到已知表面区域的微生物量^[15],随后很多科研人员利用沉降法对马桶冲水后的气溶胶扩散方式进行研究。

Gerba^[16]将沉降平皿放置在马桶周围的地板上,在马桶中添加细菌和病毒后冲水,并分别于冲水后2、4、6 h收集沉降平皿。实验发现,2 h采集的细菌基本都在马桶附近的平皿中,而4 h和6 h采集到的细菌则散落在不同位置的平皿中。实验人员因此得出结论,更快下落的较大的微粒在马桶附近产生,而体积较小的微沫则随着空气流动逐渐扩散到房间各处,并于较晚时间沉降下来。有研究指出马桶的冲水强度与细菌的大小呈现负相关,且不同的水箱设计可能导致产生极小的气溶胶颗粒^[17]。

为了模拟因病原微生物导致的急性腹泻通过马桶传播的可能性,Barker和Jones^[18]向马桶内接种了粘质沙雷菌和MS2噬菌体,在马桶周围放置了沉降平皿,并在马桶前30 cm处和马桶上方20 cm处采集空气样本。马桶开盖冲水后,实验人员在一定时间内持续捕捉到生物气溶胶的存在。此外,他们对马桶内的水也进行了检测。随着冲水次数的增多,马桶水内的微生物含量逐渐降低。尽管冲水能够减少马桶水内的微生物数量,但仍然会有大量微生物附着在马桶内水及侧壁

上,并有可能通过后续的冲水行为继续传播至空气中。

Darlow 和 Bale^[19]针对直冲式马桶进行了类似的实验。他们在马桶中添加阳性菌种,采集马桶上方的空气样本,并在冲水后 5–7 min 的空气样本中检测到生物气溶胶。他们发现每次冲水会使马桶水中的微生物浓度下降 99%,而空气样本中的生物气溶胶则下降 50%–60%。

不同的马桶类型也可能对气溶胶的产生有所影响。直冲式马桶依靠水流的冲击力,直接将污物排除。而虹吸式马桶的内部下方有一个 S 形的水管(即虹吸管),当有足够的水量使 S 管内的水面越过最高点时,就会造成虹吸现象,马桶内的水会沿 S 管翻过比液面高的桶的口沿,流向马桶外更低处,直到马桶内的水全部流光,冲水后马桶内的水流会形成漩涡,这种现象可以很好地清理马桶内污物。有研究者指出,相较于直冲式马桶,虹吸式马桶似乎会产生较少的生物气溶胶。Bound 和 Atkinson^[20]针对不同类型马桶进行了实验,发现虹吸式马桶产生的生物气溶胶含量仅有具备同样冲水量的直冲式马桶的 1/14。

2 开关马桶盖冲水行为与生物气溶胶

研究人员随后意识到马桶冲水时是否关闭马桶盖可能会是影响其气溶胶散播的重要因素之一。2012 年, Best 和 Sandoe^[21]将接种了艰难梭状芽胞杆菌(*Clostridium difficile*)的粪便悬液加入马桶,分别使用开盖和关盖两种方式冲水。结果显示开盖冲水后,在马桶上方 25 cm 内的高度内艰难梭状芽胞杆菌都被检测到,且能够检出的时间持续至冲水后 90 min。开盖冲水后被检测到的细菌浓度是关盖冲水的 12 倍多。研究人员得出结论,

使用开盖冲水会使艰难梭状芽胞杆菌的污染风险显著增高,并提议弃用无盖马桶。

也有研究人员针对马桶可能对卫生间空气中细菌群落特征的影响进行了研究,熊家声等^[22]在使用开盖和关盖两种方式进行马桶冲水后,对采集到的空气微生物样本进行宏基因组测序,发现开盖冲水后卫生间空气中的微生物有更高的物种丰富度,而不管是否关盖,马桶冲水行为都会干扰细菌的群落分布特征。

从以上研究不难看出,马桶开盖冲水的行为会导致一些细小微沫悬浮至空气中,并随时间逐渐扩散开来。生物气溶胶随马桶冲水而扩散成为马桶中病原微生物转移的一种潜在途径。

3 马桶表面与病原微生物传播

除了马桶冲水行为产生的生物气溶胶,很多研究人员也关注到马桶本身可能造成的微生物传播。1956 年, Hutchinson^[23]发现痢疾的传播与被宋内志贺菌污染的马桶座位有关,从此引发一系列相关研究。有研究发现微生物会在马桶冲水后,污染马桶座圈、马桶盖以及马桶周围区域,而这些表面污染同样可能造成病原微生物的传播。

Barker 和 Bloomfield^[11]向马桶内接种肠炎沙门菌,并于冲水后采集空气及马桶表面样本。他们发现马桶座圈和马桶盖下部存在肠炎沙门菌污染。实验人员在 12 d 后检测了马桶水中的沙门菌,并在 50 d 后检测了马桶水下部的生物膜。推论细菌产生的生物膜可能在病原微生物传播过程中起到一定的生物学作用。

多项研究指出马桶内积水、马桶表面甚至马桶管道都有可能作为媒介参与病原微生物的传播。而一个非常关键的影响病原微生物感染风险

的因素, 就是这些微生物在物体或液体表面的存活能力。很多病原微生物, 包括志贺菌、大肠杆菌、艰难梭状芽胞杆菌、SARS 冠状病毒以及诺如病毒等, 不仅可以在感染者的呕吐物或者粪便中存活, 也能够物体或液体表面存活几周, 有的甚至能够存活几个月。

4 卫生间生物气溶胶的潜在健康风险

在所有可能通过马桶传播的病原微生物中, 健康风险较大的种类之一是病毒, 腹泻以及呕吐是病毒感染最常见的两种症状。SARS 冠状病毒、H5N1 等很多病毒均被指出能够通过空气或气溶胶进行传播^[24-27], 能够长期存在于患病者的尿液、粪便或呕吐物中^[28-29], 也能够排出物或环境表面存活很久^[29-30], 而且感染病毒只需要浓度很低的感染剂量^[31]。因此, 在感染者或病毒携带者使用马桶腹泻或呕吐, 以及环卫人员对马桶内粪便及呕吐物进行废物处置等过程中, 很有可能通过产生气溶胶造成病毒的传播及感染。

可能通过气溶胶传播的另一类微生物是细菌。由病毒引起的疾病较为严重, 而细菌引起的疾病数量则更多。全球因生物气溶胶引起的呼吸道感染发生率高达 20%, 经气溶胶传播的致病菌约占全部已发现致病菌的 20%, 在全部传播途径占据首位。结核分枝杆菌(*Mycobacterium tuberculosis*, TB)能够通过气溶胶进行有效传播, 对健康工作者或者医院内的病人造成极大的健康损害^[32]。由于感染的症状之一就是腹泻, 因此马桶冲水产生的气溶胶似乎是一种很有可能的 TB 感染途径。嗜肺军团菌(*Legionella pneumophila*)能够引起肺部严重病变, 且容易通过吸入气溶胶形式的致病菌感染^[33]。葡萄球菌被认为是能够在卫生间环境中定植的一

类细菌, Mkrtychyan 等^[34]对 4 座不同公共建筑 18 个厕所的样本进行检测, 发现了 19 种不同的葡萄球菌菌株。耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)能够通过空气传播^[35], 有研究指出在公共卫生间的地板上发现 MRSA 的毒力基因^[36]。大肠菌群是一类极易在马桶中长期存在的细菌, 虽然在空气中传播的报道较少, 但人群可通过与马桶水、座圈及盖的直接接触获得。此外, 大肠杆菌、葡萄球菌等在卫生间环境中定植的细菌, 非常容易在定植过程中逐渐获得耐药性, 对人体健康造成严重危害。

除病毒和细菌外, 寄生虫也是一类能够引起健康危害的微生物。贾第鞭毛虫以及隐孢子虫被发现存在于粪便中, 且具有较低感染剂量。贾第鞭毛虫和隐孢子虫在环境中可相对稳定存在, Balderram 等^[37]曾在室外采集到的空气颗粒物样本中检测到贾第鞭毛虫和隐孢子虫, 但目前没有在气溶胶中检测到卵囊存在的文献报道。

5 问题和展望

生物气溶胶在很多感染性疾病的传播过程中起到至关重要的作用, 这一观点现在被广泛认可。从前述研究中不难看出, 马桶在生物气溶胶的产生及传播过程中起到关键作用。生物气溶胶一旦产生, 将极易随着空气的流动而扩散。与病原微生物感染者或携带者共用同一个卫生间成为病原微生物在公众之间进行交叉传播的潜在方式。值得注意的是, 患病者的呕吐物或粪便中可能含有非常高浓度的病原微生物, 每克粪便中可能含有 10^5 – 10^9 CFU 志贺菌, 10^4 – 10^8 CFU 沙门菌^[38], 或诺如病毒 10^8 – 10^9 个基因组拷贝数^[39], 每毫升呕吐物中包含至少 10^6 个基因拷贝的诺如病毒^[31]。当患病者使用完马桶后, 通过马桶的冲水行为形成的

气溶胶或者马桶表面就很有可能附着大量的病原微生物。因此感染者通过使用马桶产生病原微生物气溶胶这一传播途径具有一定的公共健康危害,值得公众、健康工作者和科研工作者关注。

不同马桶的冲水方式对微生物气溶胶的形成也具有一定影响。相较于直冲式排水,漩涡式排水方式产生的气溶胶更少,不过这还需要更多实验加以验证。此外,有针对马桶冲水时开关盖的研究指出开盖冲水时空气中的气溶胶颗粒显著增多,但究竟哪种冲水方式更加对健康产生危害,目前还不好定论。关盖冲水时,马桶盖内侧易沾染到马桶水溅起的飞沫,也可能有潜在的健康风险。当然,人们也逐渐了解到,病原微生物能否实际对人体产生致病作用可能受多种因素的影响,包括病原微生物在物体或液体表面存活的能力、暴露个体的免疫和健康状况、病原微生物在现存环境中的生存活性、吸入或感染的病原微生物数量、病原体本身的生物结构以及这些病原微生物的毒力等等。

对卫生间马桶的频繁清洁似乎是最有效的防护措施,针对物体表面进行擦洗或消毒对于微生物的杀灭被认为有一定作用^[40],但也有研究发现定植于积水中的病原微生物并不容易被清洗下去。Gerba 等^[16]观察到 MS2 噬菌体以及脊髓灰质炎病毒在冲水 7 次后仍然存在,并且不管是否使用表面活性剂,对马桶进行擦洗只能最低限度地消除这些残留的生物体。当然,对马桶圈、马桶盖等可能被严重污染的表面的清洁及消毒在很大程度上还是能够对病原微生物的生长及传播产生较为显著的抑制作用。

控制卫生间的温度和湿度也是降低病原微生物生长传播的有效措施,大部分微生物对温、湿度非常敏感。高温能杀灭某些微生物,但在日常

生活中很难达到足以杀灭微生物的环境温度。当环境温度较低时,pH 和湿度可能对微生物的减少有影响。但卫生间的温度和湿度均是较难控制的环境因素,对卫生间定期通风能有效调节温度或湿度,从而减少空气中微生物的浓度。

此外,感染者使用完马桶后关盖冲水以及用后及时消毒也非常重要。感染者产生的含有高浓度病原微生物的粪便或呕吐物是卫生间内一大传播源,当在家庭成员中发现有罹患感染性疾病的患者,分开使用马桶或卫生间,或者在患者使用完后关盖冲水并及时对马桶进行消毒似乎是一种合理的防护措施。公共场合无法预知公众的患病情况,因此需要对公共卫生间及时进行清洁、通风和控温,公众在使用公共马桶时应尽量避免皮肤直接接触马桶表面,并在使用完毕后及时清洁双手。

目前,针对经空气传播的病原微生物的研究更多集中在室外环境或特殊场所室内环境,对于卫生间内病原微生物传播的研究缺乏系统性及深度。未来可多关注的研究方向包括:马桶冲水行为产生气溶胶的空气动力学机制、卫生间内病原微生物的传播情况及机制、生物气溶胶中病原体的传播对呼吸道的影响、家用卫生间及公共场所卫生间环境对病原微生物性状的影响、卫生间内气溶胶传播疾病的预防和控制、卫生间清洗与消毒对环境微生物耐药性的影响等等。

如何彻底消灭某些致病的微生物还需要研究人员和公共卫生人员的共同努力。不过这些微生物的存在对于人体健康和免疫系统的发展来说,也许未必是一件坏事。过度使用消毒剂和抗生素杀灭微生物也为我们的健康和环境带来了危害,人体微生物丰度的降低、大量微生物产生耐药性等问题日趋严重。如何在保持人类自身健康的同

时维护自然界的平衡，也许才是真正值得我们思考的地方。

参 考 文 献

- [1] de Wit E, van Doremalen N, Falzarano D, Munster VJ. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology*, 2016, 14(8): 523–534.
- [2] Zheng GH, Cao JY, Yu J, Zhang ZZ, Liu QB, Chen JH. Risk factors for death in children with critical and severe hand-foot-and-mouth disease in Chongqing, China: An observational study. *Medicine*, 2017, 96(49): e8934.
- [3] Linster M, van Boheemen S, de Graaf M, Schrauwen EJA, Lexmond P, Mänz B, Bestebroer TM, Baumann J, van Riel D, Rimmelzwaan GF, Osterhaus ADME, Matrosovich M, Fouchier RAM, Herfst S. Identification, characterization, and natural selection of mutations driving airborne transmission of A/H5N1 virus. *Cell*, 2014, 157(2): 329–339.
- [4] Vincent A, Awada L, Brown I, Chen H, Claes F, Dauphin G, Donis R, Culhane M, Hamilton K, Lewis N, Mumford E, Nguyen T, Parchariyanon S, Pasick J, Pavade G, Pereda A, Peiris M, Saito T, Swenson S, Van Reeth K, Webby R, Wong F, Ciacci-Zanella J. Review of influenza A virus in swine worldwide: a call for increased surveillance and research. *Zoonoses and Public Health*, 2014, 61(1): 4–17.
- [5] Herfst S, Böhringer M, Karo B, Lawrence P, Lewis NS, Mina MJ, Russell CJ, Steel J, De Swart RL, Menge C. Drivers of airborne human-to-human pathogen transmission. *Current Opinion in Virology*, 2017, 22: 22–29.
- [6] de Graaf M, Beck R, Caccio SM, Duim B, La Fraaij P, Le Guyader FS, Lecuit M, Le Pendu J, de Wit E, Schultsz C. Sustained fecal-oral human-to-human transmission following a zoonotic event. *Current Opinion in Virology*, 2017, 22: 1–6.
- [7] Fernstrom A, Goldblatt M. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *Journal of Pathogens*, 2013, 2013: 493960.
- [8] Darquenne C. Aerosol deposition in health and disease. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 2012, 25(3): 140–147.
- [9] Ho MS, Monroe SS, Stine S, Cubitt D, Glass RI, Madore HP, Pinsky PF, Ashley C, Caul EO. Viral gastroenteritis aboard a cruise ship. *The Lancet*, 1989, 334(8669): 961–965.
- [10] Widdowson MA, Glass R, Monroe S, Beard RS, Bateman JW, Lurie P, Johnson C. Probable transmission of norovirus on an airplane. *JAMA*, 2005, 293(15): 1859–1860.
- [11] Barker J, Bloomfield SF. Survival of Salmonella in bathrooms and toilets in domestic homes following salmonellosis. *Journal of Applied Microbiology*, 2000, 89(1): 137–144.
- [12] Giannini MA, Nance D, McCullers JA. Are toilet seats a vector for transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*? *American Journal of Infection Control*, 2009, 37(6): 505–506.
- [13] Johnson DL, Mead KR, Lynch RA, Hirst DVL. Lifting the lid on toilet plume aerosol: a literature review with suggestions for future research. *American Journal of Infection Control*, 2013, 41(3): 254–258.
- [14] Darquenne C. Aerosol deposition in the human lung in reduced gravity. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 2014, 27(3): 170–177.
- [15] Rodríguez A, de Toro I, Mediavilla M, Fiñana M, Maldonado R, Rodríguez-Rodríguez D, Leyva L. 144-Growth promotion efficiency of dehydrated Agar settle plates used for monitoring viable particles in grade A environments. *Cytotherapy*, 2017, 19(S5): S88.
- [16] Gerba CP, Wallis C, Melnick JL. Microbiological hazards of household toilets: droplet production and the fate of residual organisms. *Applied Microbiology*, 1975, 30(2): 229–237.
- [17] Lai ACK, Tan TF, Li WS, Ip DKM. Emission strength of airborne pathogens during toilet flushing. *Indoor Air*, 2018, 28(1): 73–79.
- [18] Barker J, Jones MV. The potential spread of infection caused by aerosol contamination of surfaces after flushing a domestic toilet. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, 99(2): 339–347.
- [19] Darlow HM, Bale WR. Infective hazards of water-closets. *The Lancet*, 1959, 273(7084): 1196–1200.
- [20] Bound WH, Atkinson RI. Bacterial aerosol from water closets. A comparison of two types of pan and two types of cover. *The Lancet*, 1966, 287(7451): 1369–1370.
- [21] Best EL, Sandoe JAT, Wilcox MH. Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk. *Journal of Hospital Infection*, 2012, 80(1): 1–5.
- [22] Xiong JS, Li R, Yu GR, Zhang ZJ. Prokaryotic community structure in bathroom air under two ways of flushing the toilet. *Modern Preventive Medicine*, 2016, 43(13):

- 2340–2343. (in Chinese)
- 熊家声, 李锐, 余国荣, 张志杰. 不同方式冲洗马桶对卫生间空气中细菌群落特征的影响研究. *现代预防医学*, 2016, 43(13): 2340–2343.
- [23] Hutchinson RI. Some observations on the method of spread of Sonne dysentery. *Monthly Bulletin of the Ministry of Health and the Public Health Laboratory Service*, 1956, 15: 110–118.
- [24] Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L, Li Y, Spence M, Paton S, Henry B, Mederski B, White D, Low DE, McGeer A, Simor A, Vearncombe M, Downey J, Jamieson FB, Tang P, Plummer F. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *The Journal of Infectious Diseases*, 2005, 191(9): 1472–1477.
- [25] Yu ITS, Li YG, Wong TW, Tam W, Chan AT, Lee JH, Leung DY, Ho T. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *New England Journal of Medicine*, 2004, 350(17): 1731–1739.
- [26] Imai M, Herfst S, Sorrell EM, Schrauwen EJA, Linster M, de Graaf M, Fouchier RAM, Kawaoka Y. Transmission of influenza A/H5N1 viruses in mammals. *Virus Research*, 2013, 178(1): 15–20.
- [27] Jones RM, Brosseau LM. Aerosol transmission of infectious disease. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2015, 57(5): 501–508.
- [28] To KKW, Chan KH, Li IWS, Tsang TY, Tse H, Chan JFW, Hung IFN, Lai ST, Leung CW, Kwan YW, Lau YL, Ng TK, Cheng VCC, Peiris JSM, Yuen KY. Viral load in patients infected with pandemic H1N1 2009 influenza A virus. *Journal of Medical Virology*, 2010, 82(1): 1–7.
- [29] Pinsky BA, Mix S, Rowe J, Ikemoto S, Baron EJ. Long-term shedding of influenza A virus in stool of immunocompromised child. *Emerging Infectious Diseases*, 2010, 16(7): 1165–1167.
- [30] Glass RI, Parashar UD, Estes MK. Norovirus gastroenteritis. *New England Journal of Medicine*, 2009, 361(18): 1776–1785.
- [31] Caul EO. Small round structured viruses: airborne transmission and hospital control. *The Lancet*, 1994, 343(8908): 1240–1242.
- [32] Jensen PA, Lambert LA, Iademarco MF, Ridzon R. Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings, 2005. *MMWR Recommendations and reports: Morbidity and Mortality Weekly Report Recommendations and Reports*, 2005, 54(RR-17): 1–141.
- [33] Prussin II AJ, Schwake DO, Marr LC. Ten questions concerning the aerosolization and transmission of *Legionella* in the built environment. *Building and Environment*, 2017, 123: 684–695.
- [34] Mkrtchyan HV, Russell CA, Wang N, Cutler RR. Could public restrooms be an environment for bacterial resistomes? *PLoS One*, 2013, 8(1): e54223.
- [35] Eickhoff TC. Airborne nosocomial infection: a contemporary perspective. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1994, 15(10): 663–672.
- [36] Gibbons SM, Schwartz T, Fouquier J, Mitchell M, Sangwan N, Gilbert JA, Kelley ST. Ecological succession and viability of human-associated microbiota on restroom surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 2015, 81(2): 765–773.
- [37] Balderrama-Carmona AP, Gortáres-Moroyoqui P, Álvarez-Valencia LH, Castro-Espinoza L, Mondaca-Fernández I, de Jesús Balderas-Cortés J, Chaidez-Quiroz C, Meza-Montenegro MM. Occurrence and quantitative microbial risk assessment of *Cryptosporidium* and *Giardia* in soil and air samples. *International Journal of Infectious Diseases*, 2014, 26: 123–127.
- [38] Thomson S. The numbers of pathogenic bacilli in faeces in intestinal diseases. *Journal of Hygiene*, 1955, 53(2): 217–224.
- [39] Atmar RL, Opekun AR, Gilger MA, Estes MK, Crawford SE, Neill FH, Graham DY. Norwalk virus shedding after experimental human infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2008, 14(10): 1553–1557.
- [40] Duszak R, Jr, Lanier B, Tubbs JA, Ogilvie M, Thompson-Jaeger S. Bacterial contamination of radiologist workstations: results of a pilot study. *Journal of the American College of Radiology*, 2014, 11(2): 176–179.

Toilet flushing related microorganism aerosol transmission

Yixin Mao[#], Pei Ding[#], Zongke Sun^{*}

Institute of Environmental Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China

Abstract: Potential relationships between toilet flushing or toilet plume-related microorganism aerosol and pathogenic microbe transmission have been widely concerned. Continuing studies or reports have been published from time to time. This review aimed to summarize toilet bio-aerosol related research and progress, to discuss the potential effect of toilet flushing, flush with lid open or closed and toilet surface on aerosol-related pathogenic microbe transmission, including virus, bacteria and parasites. Furthermore, this review also discussed the potential health risks that toilet-related microbial aerosol may have on human and made suggestions about public health protection and future research prospect.

Keywords: toilet, aerosol, airborne transmission, pathogenic microbes, indoor public places

(本文责编: 李磊)

Supported by the National Key Research and Development Plan (2017YFC0702800)

^{*}Corresponding author. Tel: +86-10-50930174; E-mail: sunzongke@nieh.chinacdc.cn

[#]These authors contributed equally to this work.

Received: 26 January 2018; Revised: 31 March 2018; Published online: 28 May 2018