

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671—9638. 20222712

消毒与感控专题·论著

## 不同通风方式对消化内镜清洗消毒室气溶胶净化效果的研究

马久红, 李贤煌, 张云, 田信, 周梦娇, 毕正琴, 黄茜

(南昌大学第一附属医院消化内镜中心, 江西 南昌 330006)

**[摘要]** **目的** 评价轴流风柜机械通风、排风扇机械通风和自然通风 3 种方式净化消化内镜清洗消毒室气溶胶的效果。**方法** 试验分为轴流风柜机械通风(A组)、排风扇机械通风(B组)、自然通风(C组)3组。采集某院两个病区 3 组通风方式下消化内镜清洗消毒室静态环境(清洗消毒工作停止 12 h)通风 2 h 前后, 动态环境(清洗消毒工作进行中)工作起始状态 0 h 以及持续通风 1、2、4、6 h 的空气, 检测空气气溶胶中颗粒物、微生物、戊二醛的含量, 比较 3 种通风方式净化消化内镜清洗消毒室气溶胶的效果。**结果** 消化内镜清洗消毒室在静态环境下, 3 组通风方式通风 2 h 后, 空气中颗粒物、微生物和戊二醛含量均呈下降趋势, 其中 A、B 组通风 2 h 前后比较, 差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。清洗消毒室在工作起始状态 0 h 时, 3 组空气中颗粒物、微生物和戊二醛含量比较, 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。持续通风 1、2、4、6 h 时, 总体及任意两组间空气中颗粒物、微生物和戊二醛含量比较, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ), 且 A 组低于 B、C 组, B 组低于 C 组。A 组在动态环境下空气中颗粒物、微生物和戊二醛含量较低且波动范围小, 其中颗粒物含量在 100 万级洁净室规定范围内。B、C 组在持续通风 1、2、4 h 时戊二醛含量均超出最大安全接触限值  $0.175 \text{ mg/m}^3$ , 其中 C 组在 4~6 h(午休期间)的戊二醛含量仍超出最大安全限值。**结论** 3 种通风方式中, 轴流风柜机械通风方式能有效净化消化内镜清洗消毒室的气溶胶, 建议引入轴流风柜通风方式, 以保障工作人员的职业安全。

**[关键词]** 清洗消毒室; 内镜; 消化内镜; 机械通风; 气溶胶; 净化效果

**[中图分类号]** R187

## Effect of different ventilation methods on aerosol purification of digestive endoscope cleaning and disinfection room

MA Jiu-hong, LI Xian-huang, ZHANG Yun, TIAN Xin, ZHOU Meng-jiao, BI Zheng-qin, HUANG Xi (Center of Digestive Endoscopy, The First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the effect of axial-flow cabinet mechanical ventilation, exhaust fan mechanical ventilation and natural ventilation on cleaning and disinfecting aerosol in digestive endoscope cleaning and disinfection room. **Methods** The experiment was divided into three groups: Axial flow cabinet mechanical ventilation (group A), exhaust fan mechanical ventilation (group B) and natural ventilation (group C). Air in digestive endoscope cleaning and disinfection rooms in two wards of a hospital under three ventilation modes were collected: before and after 2 hours of ventilation in the static environment (the cleaning and disinfection work was stopped for 12 hours), 0 hour in the initial state of the dynamic environment (the cleaning and disinfection work was in progress) and 1, 2, 4, 6 hours of continuous ventilation, contents of particulate matter, microorganisms, glutaraldehyde in air aerosol were detected, effect of three ventilation modes on purifying the aerosol in digestive endoscope cleaning and disinfection room were compared. **Results** In static environment, contents of particulate matter, microorganism and glutaraldehyde in the cleaning and disinfection endoscope room showed a downward trend after 2 hours ven-

[收稿日期] 2022-04-01

[基金项目] 江西省科技厅应用培育项目(20212BAG70014); 江西省自然科学基金面上项目(20212BAB206023)

[作者简介] 马久红(1970-), 女(汉族), 江西省南昌市人, 副主任护师, 主要从事内镜护理与感染控制研究。

[通信作者] 黄茜 E-mail: 13767972188@163.com

tilation, differences between group A and B before and after 2 hours of ventilation were statistically significant ( $P < 0.05$ ). At 0 hour of initial working state of cleaning and disinfection room, contents of particulate matter, microorganism and glutaraldehyde in air among three groups were not significantly different (all  $P > 0.05$ ). After continuous ventilation for 1, 2, 4 and 6 hours, contents of particulate matter, microorganism and glutaraldehyde in air among all groups and between any two groups were significantly different (all  $P < 0.01$ ), group A was lower than group B and C, and group B was lower than group C. In group A, contents of particulate matter, microorganism and glutaraldehyde in dynamic environment was low and the fluctuation range was small, and content of particulate matter reached the specified range of class 1 million clean room. Contents of glutaraldehyde in group B and C exceeded the maximum safe exposure limit of  $0.175 \text{ mg/m}^3$  at 1, 2 and 4 hours of continuous ventilation, content of glutaraldehyde in group C still exceeded the maximum safe exposure limit during the lunch break of 4–6 hours. **Conclusion** Among three ventilation modes, axial flow cabinet mechanical ventilation mode can most effectively purify the aerosol in air of digestive endoscope cleaning and disinfection room, and it is recommended to introduce axial flow cabinet ventilation mode to ensure the occupational safety of staff.

**[Key words]** cleaning and disinfection room; endoscope; digestive endoscope; mechanical ventilation; aerosol; purification effect

气溶胶(aerosol)是指悬浮在气体介质中的固态或液态颗粒所组成的气态分散系统,粒径大小为  $0.001 \sim 100 \mu\text{m}^{[1-2]}$ 。气溶胶成分多样,主要以空气中细菌、真菌等微生物,以及醛类、苯等化学物附着于颗粒物上形成,被人体吸入后可致感染性疾病、急性毒性作用、过敏反应,甚至引起肿瘤等<sup>[3]</sup>;经气溶胶传播可引起患者之间、医护人员之间的交叉感染,导致医院感染发生,以呼吸道感染最常见<sup>[4-6]</sup>。气溶胶颗粒物粒径  $> 10.0 \mu\text{m}$  时主要由鼻腔黏膜捕获,很少进入人体呼吸系统,但携带花粉等过敏原时,会引起过敏反应等<sup>[7-8]</sup>。气溶胶颗粒物粒径  $\leq 10.0 \mu\text{m}$  时可进入呼吸道,其中粒径  $5.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$  的气溶胶粒子主要停留在上呼吸道,如咽喉和气管等部位,对人体健康的影响较为有限;粒径  $< 5.0 \mu\text{m}$  的气溶胶粒子则进入下呼吸道,如支气管和肺泡等部位,甚至通过血液循环系统运送至全身各器官,严重威胁人体健康<sup>[9-10]</sup>。

内镜清洗消毒过程中,工作人员的活动、清洗操作,以及使用消毒剂等,可产生颗粒物、微生物、化学消毒剂等相关气溶胶<sup>[11-12]</sup>。目前消化内镜清洗消毒室多采用自然通风或排风扇机械通风,我国《软式内镜清洗消毒规范》、欧洲胃肠内镜学会(ESGE),以及欧洲胃肠病护士协会(ESGENA)指南<sup>[13-14]</sup>指出,消化内镜清洗消毒室应保持通风良好,但具体采用哪种通风方式能有效净化室内气溶胶的报道尚少。轴流风柜机械通风依靠轴流风柜提供风压、风量,通过管道的送、排风系统进行室内外空气交换,同时带有预过滤网、中高效过滤网以及活性炭过滤网,对送入室内的空气进行净化等。通过设置排风量大于送

风量的方式,形成微负压  $6 \sim 9 \text{ Pa}^{[15-16]}$ ,以减少气溶胶向外界扩散。本研究采用轴流风柜机械通风、排风扇机械通风、自然通风 3 种方式,检测消化内镜清洗消毒室空气中颗粒物、微生物、化学消毒剂含量,比较 3 种通风方式净化气溶胶的效果,以期为消化内镜清洗消毒室采用更有效的通风方式提供依据,现报告如下。

## 1 材料与方法

1.1 材料 JYQ-IV 型浮游菌采样器(苏州市华宇净化设备有限公司),CLJ-E 型激光粒子计数器(苏州市华宇净化设备有限公司),QW-3000 型防爆大气采样器(无锡启沃环境科技有限公司),营养琼脂培养基和沙氏琼脂培养基(北京索莱宝生物科技有限公司),恒温培养箱(南京远拓科学仪器有限公司),TU-1901 型双光速紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司),酚试剂(上海麦克林生化科技有限公司),戊二醛标准品(上海安谱实验科技股份有限公司),十二水合硫酸铁铵(西陇科学股份有限公司),TSI-7515 室内空气品质测试仪(美国 TSI 集团中国公司)。

1.2 方法 选取某医院两个院区消化内镜清洗消毒室,均面积约  $60 \text{ m}^2$ ,容积约  $180 \text{ m}^3$ ,其中一院区安装轴流风柜,另一院区安装排风扇,可选用排风扇通风或自然通风。两院区清洗消毒室布局一致,均为南北方向,长  $\times$  宽  $\times$  高分别约为  $10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  (轴流风柜)、 $9 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  (排风扇或自然通风),位于建筑物的第三层。清洗消毒室环境采用紫外线

及含氯消毒剂综合消毒,试验前关闭门窗 12 h,试验过程中控制室内温度 18~25℃,相对湿度 55%~70%。试验选择在同一季节进行,每组重复 6 次。每次采样前对所有采样设备进行流量校正,所有检验项目经过计量认证。

1.2.1 试验分组 试验分为 3 组,A 组:采用轴流风柜进行机械通风(2 台 DX 型系列静音式送风柜,额定功率 800 W/台;2 台 DX 型系列静音式排风柜,额定功率 1 500 W/台,通风量 6 000 m<sup>3</sup>/h,换气次数 33 次/h);B 组:采用排风扇进行机械通风(2 台 MX80-25-4 型电机排风扇,额定功率 250 W/台,通风量 5 000 m<sup>3</sup>/h,换气次数 28 次/h);C 组:采用开放门窗进行自然通风(依靠风压和室内外温差实现室内外对流通风,室外温度 22~28℃,风速 2.1~4.3 m/s)。

1.2.2 采样方法 静态环境通风采样:停止内镜清洗消毒工作 12 h 后,于通风前(上午 8:00)、通风后 2 h(上午 10:00)采集清洗消毒室空气,检测其中的颗粒物、微生物、戊二醛的含量。试验期间室内除采样人员外,无其他人员及活动。动态环境通风采样:试验期间由经过严格培训的 6 名固定专职人员清洗消毒,工作量控制在 150 条内镜,其中胃镜 130 条,肠镜 20 条。工作日在工作起始状态(上午 8:00,记为 0 h)以及持续通风 1、2、4、6 h 时,采集清洗消毒室空气,检测其中的颗粒物、微生物、戊二醛的含量,其中 4、6 h 采样时间点为午休时间 12:00—14:00。见图 1。依据国家卫生部 2012 年《医院消毒卫生标准》<sup>[17]</sup>和消化内镜清洗消毒室的面积,采样时设四角及中央 5 个采样点,四角距墙面 1 m,采样高度距地面 1 m,同时避开风口、风道。

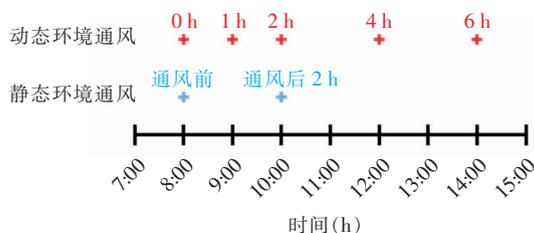


图 1 静态、动态环境采样时间图

Figure 1 Diagram of sampling time in static and dynamic environment

1.2.3 颗粒物含量检测及判断标准 根据《医药工业洁净室(区)悬浮粒子的测试方法》GB/T 16292—2010<sup>[18]</sup>,采用 CLJ-E 型激光粒子计数器检测清洗消毒室颗粒物含量。设置粒子通道为 0.5 μm,采样流

量 2.83 L/min,每次采样时间 1 min,检测后立即读取颗粒物(particle matter, PM)含量(颗/L),并打印结果。每次 5 个采样点连续检测 3 次取平均值,5 个采样点的均数记为该次试验的颗粒物浓度,取试验重复 6 次的均数作为相应时间点的总体均数。判断标准:根据 ISO 14644—2015 洁净室及相关受控环境国际标准<sup>[19]</sup>,PM<sub>0.5</sub>≤35 200 颗/L 为 100 万级洁净室。

1.2.4 微生物含量检测及判断标准 根据国家卫生部颁布的《公共场所卫生检验方法第 3 部分:空气微生物》GB/T 18204.3—2013<sup>[20]</sup>,应用 JYQ-IV 型浮游菌采样器进行微生物(细菌、真菌)采样、检测。空气采样流量设置 200 L/min,每次采样时间 5 min。细菌采集至普通琼脂培养基后放入(36±1)℃恒温箱培养 48 h,真菌采集至沙氏琼脂培养基后置于(25±1)℃恒温箱培养 5 d,进行菌落计数。微生物含量 P=1 000 N/V[P 为空气中的微生物含量(CFU/m<sup>3</sup>),N 为培养皿菌落数(CFU),V 为采样空气的体积(m<sup>3</sup>)]。各相应时间点的微生物含量计算方法同 1.2.3 颗粒物含量计算,将同批次琼脂培养基作为阴性对照,与试验样本一同培养记录结果。判断标准:依据标准 GB 15982—2012《医院消毒卫生标准》<sup>[17]</sup>,清洗消毒室属Ⅲ类环境,微生物菌落数应≤500 CFU/m<sup>3</sup>。

1.2.5 戊二醛含量检测及判断标准 根据国家卫生部颁布的《公共场所卫生检验方法第 2 部分:化学污染物》GB/T 18204.2—2014<sup>[21]</sup>检测室内空气中戊二醛含量。将装有 10 mL 酚试剂吸收液的大气泡吸收管安装于防爆大气采样器进行采气,流量 0.5 L/min,采气时间 15 min。采样后立即封闭吸收管进出气口,样品立即送至试验室由专业人员测定分析戊二醛含量(mg/m<sup>3</sup>)。相应时间点戊二醛含量的计算方法同 1.2.3 颗粒物含量计算,同批次的空白对照采样管送检 2 个,并与试验样本一同记录。判断标准:参考美国工业卫生学家会议(ACGIH)推荐的戊二醛上限接触含量为≤0.175 mg/m<sup>3</sup>。

1.3 统计学分析 所有试验原始数据用 Excel 进行初步整理,应用 SPSS 25.0 进行统计分析。计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,不同通风方式三组间比较采用单因素方差分析,方差齐时以 One-way ANOVA 检验结果为 P 值,两两多重比较采用 Bonferroni 法;方差不齐时以 Welch 检验结果为 P 值,两两多重比较采用 Tamhane's T<sub>2</sub> 法。不同通风时间两组间比较采用两独立样本 t 检验,方差不

齐时则采用校正  $t$  检验。 $P \leq 0.05$  为差异有统计学意义。使用 GraphPad Prism 7 软件绘制图表。

## 2 结果

### 2.1 静态环境通风前后气溶胶检测结果

清洗消毒室通风 2 h 前后的颗粒物、微生物和戊二醛含量均在限值范围内,其中 A、B 组在通风前和通风 2 h

后比较,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),C 组在通风前和通风 2 h 后比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。A、B 在通风后气溶胶含量均呈下降趋势。A、B、C 组间通风前和通风 2 h 后颗粒物、微生物、戊二醛含量比较,通风前 3 组间各检测物含量差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ ),通风 2 h 后 3 组间检测物含量差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。见表 1。

表 1 清洗消毒室静态环境通风前及通风 2 h 后的气溶胶检测结果( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Detection results of aerosol in static environment of cleaning and disinfection room before and 2 hours after ventilation ( $\bar{x} \pm s$ )

采样时间	A 组			B 组			C 组		
	颗粒物 (颗/L)	微生物 (CFU/m <sup>3</sup> )	戊二醛 (mg/m <sup>3</sup> )	颗粒物 (颗/L)	微生物 (CFU/m <sup>3</sup> )	戊二醛 (mg/m <sup>3</sup> )	颗粒物 (颗/L)	微生物 (CFU/m <sup>3</sup> )	戊二醛 (mg/m <sup>3</sup> )
通风前	13 104.8 ± 609.28	20.00 ± 1.41	0.024 ± 0.002	13 719.33 ± 1 214.01	22.67 ± 2.07	0.026 ± 0.002	13 956.83 ± 1 760.91	23.17 ± 2.93	0.026 ± 0.003
通风后 2 h	979.50 ± 87.38	4.33 ± 1.21	0.007 ± 0.001	4 367.17 ± 368.94	13.83 ± 1.47	0.014 ± 0.002	12 026.67 ± 1 536.90	20.83 ± 2.93	0.023 ± 0.003
$t$	32.050	17.760	9.200	10.890	5.303	7.268	2.472	1.432	1.412
$P$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.071	0.197	0.185

### 2.2 动态环境气溶胶检测结果

#### 2.2.1 颗粒物检测结果

工作开始后持续通风, B、C 组颗粒物含量增加趋势明显,尤其在清洗消毒工作高峰期,即持续通风 2 h 时,颗粒物含量达到最大值,2 h 后呈下降趋势,4~6 h(午休期间)下降明显。其中 C 组在 4~6 h(午休期间)通风后,即持续通风 6 h 时,颗粒物含量仍高于 100 万洁净室规定的范围。A 组动态环境下各个时间的颗粒物含量增加趋势不明显,持续通风 6 h 时颗粒物含量低于起始状态。见图 2。

工作起始状态时,总体以及任意两组间颗粒物含量比较,差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。持续通风 1、2、4、6 h 时,A、B、C 3 组颗粒物含量比较,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ),且 A 组颗粒物含量均低于 B、C 组,B 组均低于 C 组。A、B、C 3 组在工作起始状态分别与持续通风 1、2、4、6 比较,结果显示 B、C 组在持续通风 1、2、4、6 h 时颗粒物含量均高于工作起始状态(均  $P < 0.01$ )。A 组在持续通风 4 h 时虽然颗粒物含量高于工作起始状态,但差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),持续通风 6 h 时低于工作起始状态( $P < 0.01$ )。见表 2。

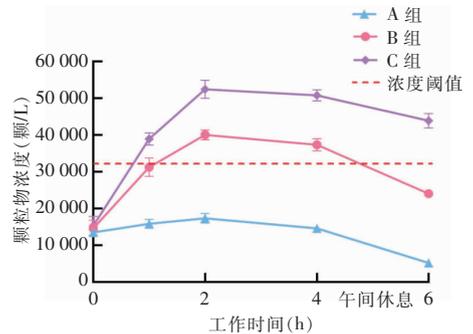


图 2 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下颗粒物含量变化曲线图

Figure 2 Curve of change in particulate matter content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation

#### 2.2.2 微生物检测结果

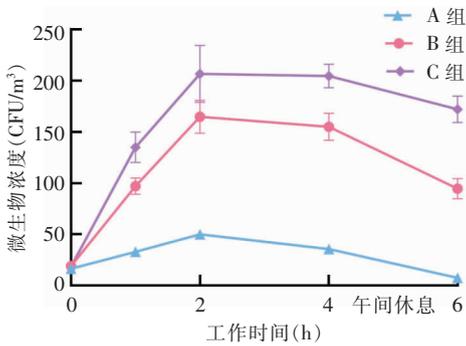
A、B、C 组在工作起始状态及持续通风 1、2、4、6 h 的微生物含量均  $\leq 500$  CFU/m<sup>3</sup>,在国家标准规定的 III 类环境限值范围内。其中 A、B、C 3 组在清洗消毒工作高峰期 2 h 时的微生物含量分别为 50、167、215 CFU/m<sup>3</sup>,C 组含量为 A、B 组的 4.3、1.3 倍。2 h 后 3 组呈下降趋势,4、6 h 时(休息期间)明显下降。见图 3。

**表 2** 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下颗粒物检测结果( $\bar{x} \pm s$ )

**Table 2** Detection results of particulate matter content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation ( $\bar{x} \pm s$ )

采样时间(h)	A 组(颗/L)	B 组(颗/L)	C 组(颗/L)	F	P
0	13 526.67 ± 1 118.23	14 623.83 ± 2 211.11	15 335.00 ± 2 562.70	1.176	0.336
1	15 872.17 ± 1 200.33	31 277.50 ± 2 521.43*	38 973.17 ± 1 643.38*#	237.222	<0.001
2	17 365.33 ± 1 300.08	40 091.00 ± 1 375.79*	52 469.50 ± 2 475.76*#	587.492	<0.001
4	14 641.83 ± 899.98	37 369.50 ± 1 635.90*	50 811.50 ± 1 520.80*#	1 037.503	<0.001
6	5 200.83 ± 247.59	24 073.83 ± 1 121.48*	43 924.17 ± 1 969.29*#	1 298.636	<0.001

注: \*表示与 A 组比较,  $P < 0.001$ ; #表示与 B 组比较,  $P < 0.001$ 。



**图 3** 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下微生物含量变化曲线图

**Figure 3** Curves of change in microbial content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation

工作起始状态时, 总体以及任意两组间比较, 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。通风 1、2、4、6 h 时, A 组的微生物含量均低于 B、C 组, B 组的微生物含量低于 C 组; A、B、C 组 3 组比较, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ), A 与 B 组、A 与 C 组以及 B 与 C 组比较, 差异也均具有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。B、C 组持续通风 6 h 时, 微生物含量仍高于工作起始状态( $P < 0.01$ ), 而 A 组经过 4~6 h(午休期间)通风后, 微生物含量低于工作起始状态( $P < 0.01$ )。见表 3。

**表 3** 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下微生物检测结果( $\bar{x} \pm s$ )

**Table 3** Detection results of microbial content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation ( $\bar{x} \pm s$ )

采样时间(h)	A 组(CFU/m <sup>3</sup> )	B 组(CFU/m <sup>3</sup> )	C 组(CFU/m <sup>3</sup> )	F	P
0	16.50 ± 1.87	19.00 ± 2.10	18.68 ± 2.81	2.104	0.157
1	33.00 ± 3.41	97.17 ± 7.99*	135.17 ± 14.83*△	162.632	<0.001
2	50.17 ± 2.93	164.83 ± 16.20*	206.83 ± 27.69*△	114.070	<0.001
4	35.67 ± 3.78	155.17 ± 13.24*	204.68 ± 11.57*#	420.014	<0.001
6	7.50 ± 1.05	94.67 ± 9.71*	172.17 ± 12.97*#	463.540	<0.001

注: \*表示与 A 组比较,  $P < 0.001$ ; △表示与 B 组比较,  $P < 0.01$ ; #表示与 C 组比较,  $P < 0.001$ 。

**2.2.3 戊二醛检测结果** A、B、C 3 组在工作起始状态及持续通风 1、2、4、6 h 时, 均检测出不同含量的戊二醛。其中 A 组戊二醛含量较低, 增加趋势不明显。B、C 组戊二醛含量随着清洗消毒工作的开展, 增加趋势明显, 在持续通风 1、2、4 h 时均超出最大安全接触限值 0.175 mg/m<sup>3</sup>。C 组在 4~6 h(午休期间)戊二醛含量仍超出安全限值。见图 4。

工作起始状态时, 总体以及任意两组间戊二醛含量比较, 差异均无统计学(均  $P > 0.05$ )。持续通风 1、2、4、6 h 时, A 组的戊二醛含量低于 B、C 组, B 组低于 C 组; A、B、C 组总体间以及组间两两比较, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。A、B、C 组在工作状态持续通风 1、2、4 h 时均高于工作起始状态(均  $P < 0.01$ ), 在 4~6 h(午休通风后), A 组戊二醛含量下降且低于工作起始状态, B、C 组虽然下降仍高于工作起始状态( $P < 0.01$ )。见表 4。

工作起始状态时, 总体以及任意两组间戊二醛

表 4 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下戊二醛检测结果 (mg/m<sup>3</sup>,  $\bar{x} \pm s$ )

Table 4 Detection results of glutaraldehyde content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation (mg/m<sup>3</sup>,  $\bar{x} \pm s$ )

采样时间(h)	A 组	B 组	C 组	F	P
0	0.022 ± 0.003	0.026 ± 0.003	0.028 ± 0.007	2.476	0.118
1	0.057 ± 0.010	0.183 ± 0.017*	0.279 ± 0.024*#	232.258	<0.001
2	0.109 ± 0.008	0.341 ± 0.032*	0.473 ± 0.036*#	260.188	<0.001
4	0.094 ± 0.009	0.320 ± 0.042*	0.467 ± 0.050*#	149.021	<0.001
6	0.017 ± 0.005	0.153 ± 0.031*	0.389 ± 0.029*#	355.080	<0.001

注: \*表示与 A 组比较, P<0.001; #表示与 B 组比较, P<0.001。

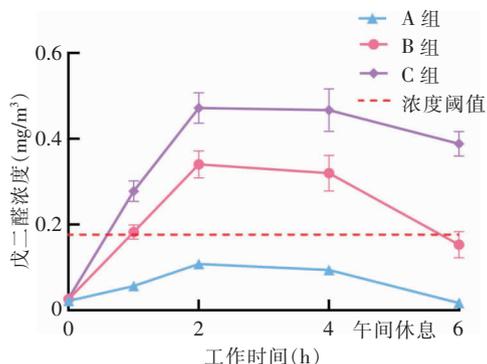


图 4 清洗消毒室动态环境 3 种通风方式持续通风下戊二醛含量变化曲线图

Figure 4 Curves of change in glutaraldehyde content in dynamic environment of cleaning and disinfection room under 3 ventilation modes for continuous ventilation

### 3 讨论

本研究显示,3 种通风方式在通风 2 h 前后比较,A 组和 B 组对颗粒物、微生物、戊二醛含量均有一定的净化效果,C 组为自然通风,通风前后无差异。自然通风主要以风压和室内外温差为动力实现室内通风换气,尽管该通风方式是净化室内气溶胶的一种手段,但受气候影响较大,通风量不易控制,且气流紊乱不能形成合理的气流组织,导致其通风效果难以达到理想状态<sup>[22]</sup>。本研究中 C 组颗粒物、微生物、戊二醛含量高于 A、B 组,通风前后比较差异也无统计学意义。清洗消毒室自然通风依赖的是门窗的对流,如环境相对密闭则无对流通风,导致通风效果不佳;同时由于室内气流紊乱,易将清洗消毒室内的气溶胶扩散至内镜诊疗区域,而污染整个工作环境。

在动态工作环境下,随着清洗消毒工作的开展,

B、C 两组在工作高峰 2 h 时,室内颗粒物含量激增,且严重超出 100 万洁净室标准范围内,同时戊二醛含量激增超出安全限值,微生物数量也激增,说明排风扇通风方式及自然通风方式对颗粒物的净化效果差。排风扇机械通风是一种局部通风方式,尽管在静态环境下通风效果较好,但由于仅单向排气换气,不能向室内引入新风<sup>[23]</sup>,其在动态工作环境下难以有效净化清洗消毒室气溶胶。还需注意的是,虽然 B、C 两组的微生物含量均在合格范围,但试验结果高于 A 组(均 P<0.01),提示应提高警惕。清洗消毒操作产生的微生物气溶胶往往具有独特的生物活性,若未采用有效的通风方式,不仅增加工作人员呼吸道感染风险,还可导致消毒合格的内镜发生二次污染。

本研究采用的轴流风柜机械通风是利用轴流风柜动力装置进行室内送风和排风。进入清洗消毒室内空气经预过滤网、中高效过滤网以及活性炭过滤网过滤后送入,室内墙体安装 2 个强力排风井,距离地面 60~80 cm 为排风口,各排风口安装空气净化装置;同时设置室内排风量大于送风量,产生固定气流差异并形成微负压 6~9 Pa。研究结果显示,A 组持续通风 1、2、4、6 h 时,颗粒物、微生物、戊二醛含量均较低,净化效果优于 B、C 组(均 P<0.01),且 PM<sub>0.5</sub> 含量在 100 万级洁净室规定范围内。同时 A 组在 4~6 h(午休期间)通过 2 h 通风,颗粒物、微生物、戊二醛浓度低于工作起始状态,而 B、C 组仍高于工作起始状态,说明轴流风柜机械通风短时间内即可实现高效净化室内气溶胶。该通风方式通过合理设置送、排风口,使室内空气流形成有序的定向流,避免室内气溶胶的四处弥散和死角积聚,实现以最小风量达到最佳的通风效果,最大限度地净化和隔离气溶胶,对控制气溶胶扩散意义重大。

国际建筑环境控制系统,如欧洲供暖、通风和空

调协会联合会(REHVA),美国采暖、通风和空调工程师协会(ASHRAE)等相关组织均推荐在产生气溶胶等有害污染物质的室内,使用负压机械通风<sup>[24-26]</sup>。目前负压机械通风广泛应用于隔离病房,在新型冠状病毒疫情期间发挥重要作用,并成为控制气溶胶扩散的关注热点<sup>[27-29]</sup>。本研究中的轴流风柜机械通风控制室内排风量略大于送风量,进而形成固定气流差异,产生 6~9 Pa 的负压差,避免室内气溶胶向工作区域扩散的风险,形成有效的室内外动态空气隔离,减少环境的污染。此外,轴流风柜带有的预过滤网,可过滤大颗粒杂质,如昆虫、毛发等,中高效过滤网对 0.3 μm 以上颗粒物、细菌、真菌以及花粉等也有明显的净化能力,同时活性炭过滤网还可吸附有害气体,有效避免室外污染空气引入,进而造成室内气溶胶含量增加的风险。因此,建议引入轴流风柜通风方式,以保障工作人员的职业安全。

综上所述,本研究创新性提出轴流风柜机械通风,并结合微负压排风系统应用于清洗消毒室气溶胶管理,有效降低清洗消毒室气溶胶含量,可以防止工作人员职业危害的发生,净化工作环境。根据研究结果,建议无论采用何种通风方式,每日工作前 2 h 均需对清洗消毒室进行通风,以减少室内气溶胶,最大程度为工作人员的职业健康提供积极作用。本研究因动态环境下清洗消毒室内空气中微生物菌落数过多等原因,仅对静态环境下的菌落进行了鉴定,同时缺乏工作人员气溶胶暴露引发呼吸道感染等不良症状的具体数据。今后可开展实时智能化监测动态环境下清洗消毒室的气溶胶含量和类别,整理医院工作人员发生空气源性感染的的数据,为清洗消毒室的通风设置和调整提供科学依据。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

## [参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 病原微生物实验室生物安全通用准则: WS 233—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. General biosafety standard for causative bacteria laboratories: WS 233 - 2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [2] Morakinyo OM, Mokgobu MI, Mukhola MS, et al. Health outcomes of exposure to biological and chemical components of inhalable and respirable particulate matter[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(6): 592.
- [3] Ulbricht C. An evidence-based systematic review of lutein by the natural standard research collaboration[J]. *J Diet Suppl*, 2015, 12(4): 383 - 480.
- [4] 安弘, 吴健, 李琼, 等. 人员活动和空气净化器对支气管镜室空气微生物和颗粒物的影响[J]. *中国感染控制杂志*, 2017, 16(12): 1109 - 1115.  
An H, Wu J, Li Q, et al. Effect of human activities and air purifier on airborne microorganisms and particulate matter in a bronchoscopy room[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2017, 16(12): 1109 - 1115.
- [5] 高芳, 张杰, 吴艳艳, 等. 4 249 例住院患者医院感染现患率调查[J]. *中国消毒学杂志*, 2015, 32(3): 250 - 252.  
Gao F, Zhang J, Wu YY, et al. Investigation on prevalence rate of nosocomial infections in 4 249 hospitalized patients[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2015, 32(3): 250 - 252.
- [6] 任南, 文细毛, 吴安华. 2014 年全国医院感染横断面调查报告[J]. *中国感染控制杂志*, 2016, 15(2): 83 - 87.  
Ren N, Wen XM, Wu AH. Nationwide cross-sectional survey on healthcare-associated infection in 2014[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2016, 15(2): 83 - 87.
- [7] Achilleos S, Kioumourtzoglou MA, Wu CD, et al. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: a systematic review and Meta-regression analysis[J]. *Environ Int*, 2017, 109: 89 - 100.
- [8] You SM, Yao ZY, Dai YJ, et al. A comparison of PM exposure related to emission hotspots in a hot and humid urban environment: concentrations, compositions, respiratory deposition, and potential health risks[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 599 - 600: 464 - 473.
- [9] Elsaid AM, Mohamed HA, Abdelaziz GB, et al. A critical review of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems within the context of a global SARS-CoV-2 epidemic [J]. *Process Saf Environ Prot*, 2021, 155: 230 - 261.
- [10] 李佳明. 封闭式猪舍内环境空气颗粒物监测及微生物气溶胶分布规律研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.  
Li JM. Environmental air particulates monitoring and distribution of microbial aerosol in intensive pig farms[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2018.
- [11] 顾青, 方英, 岑莉, 等. 隔断分区模式在内镜中心布局中的设计与应用效果评价[J]. *中国护理管理*, 2021, 21(4): 493 - 498.  
Gu Q, Fang Y, Cen L, et al. Application of partition mode in endoscopic center[J]. *Chinese Nursing Management*, 2021, 21(4): 493 - 498.
- [12] Yamamoto S, Hachiya Y, Yuasa E, et al. Evaluation of the ceiling levels of ortho-phthalaldehyde exposure among health care workers engaged in endoscope disinfection: a new methodology using video-exposure monitoring[J]. *J Occup Health*, 2020, 62(1): e12139.
- [13] Beilenhoff U, Biering H, Blum R, et al. Reprocessing of flexible endoscopes and endoscopic accessories used in gastrointestinal endoscopy: position statement of the European Society of

- Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastroenterology Nurses and Associates (ESGENA)-update 2018[J]. *Endoscopy*, 2018, 50(12): 1205 - 1234.
- [14] 刘运喜, 邢玉斌, 巩玉秀. 软式内镜清洗消毒技术规范 WS 507—2016[J]. *中国感染控制杂志*, 2017, 16(6): 587 - 592. Liu YX, Xing YB, Gong YX. Regulation for cleaning and disinfection technique of flexible endoscope[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2017, 16(6): 587 - 592.
- [15] Siegel JD, Rhinehart E, Jackson M, et al. 2007 guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in health care settings[J]. *Am J Infect Control*, 2007, 35(10 Suppl 2): S65 - 164.
- [16] Leung M, Chan AHS. Control and management of hospital indoor air quality[J]. *Med Sci Monit*, 2006, 12(3): SR17 - SR23.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 医院消毒卫生标准: GB 15982—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Hygienic standard for disinfection in hospitals: GB 15982 - 2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 医药工业洁净室(区)悬浮粒子的测试方法: GB/T 16292—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Test method for airborne particles in clean room(zone) of the pharmaceutical industry: GB/T 16292 - 2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [19] International Organization for Standardization. Cleanrooms and associated controlled environments — part 1: classification of air cleanliness by particle concentration; ISO 14644 - 1:2015 [S]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2015.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 公共场所卫生检验方法 第 3 部分: 空气微生物: GB/T 18204.3—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Examination methods for public places — part 3: airborne microorganism; GB/T 18204.3 - 2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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, 2014. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Examination methods for public places — part 2: chemical pollutants; GB/T 18204.2 - 2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [22] 赵磊. 不同通风净化方式改善居住建筑室内通风状况的研究[D]. 天津: 天津大学, 2018. Zhao L. Research on residential IAQ improvement of different ventilation and purification mode[D]. Tianjin: Tianjin University, 2018.
- [23] 高源. 基于墙式通风器的居住建筑室内空气品质研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016. Gao Y. Research of indoor air quality of residential building based on wall type ventilator [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.
- [24] Saran S, Gurjar M, Baronia A, et al. Heating, ventilation and air conditioning (HVAC) in intensive care unit[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 194.
- [25] Aliabadi AA, Rogak SN, Bartlett KH, et al. Preventing airborne disease transmission: review of methods for ventilation design in health care facilities [J]. *Adv Prev Med*, 2011, 2011: 124064.
- [26] Shajahan A, Culp CH, Williamson B. Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: a review of scientific research on hospital buildings[J]. *Indoor Air*, 2019, 29(2): 161 - 176.
- [27] 刘蕾, 杜坤. 上海某医院应急发热门诊及负压隔离病房空调通风系统设计[J]. *暖通空调*, 2020, 50(8): 82 - 86, 74. Liu L, Du K. Air conditioning and ventilation system design for emergency fever clinics and negative pressure isolation wards of a hospital in Shanghai[J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2020, 50(8): 82 - 86, 74.
- [28] Morawska L, Tang JW, Bahnfleth W, et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? [J]. *Environ Int*, 2020, 142: 105832.
- [29] Chen YH, Lei JP, Li J, et al. Design characteristics on the indoor and outdoor air environments of the COVID-19 emergency hospital[J]. *J Build Eng*, 2022, 45: 103246.

(本文编辑:文细毛)

**本文引用格式:** 马久红, 李贤煌, 张云, 等. 不同通风方式对消化内镜清洗消毒室气溶胶净化效果的研究[J]. *中国感染控制杂志*, 2022, 21(7): 623 - 630. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20222712.

**Cite this article as:** MA Jiu-hong, LI Xian-huang, ZHANG Yun, et al. Effect of different ventilation methods on aerosol purification of digestive endoscope cleaning and disinfection room[J]. *Chin J Infect Control*, 2022, 21(7): 623 - 630. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20222712.