

二氧化氯空气消毒器对口腔诊室消毒效果的对照研究

张晓磊, 陈思思, 罗旭飞, 廖贵婷, 沙晶晶*

深圳口腔医院 广东深圳

【摘要】目的 一种高纯度二氧化氯 (ClO_2) 空气消毒器对口腔诊室空气消毒效果的对比观察。**方法** 选取本院 20 m^2 的 2 间口腔诊室, 分为实验组 55 例 (用高纯度二氧化氯空气消毒法消毒) 及对照组 30 例 (用静电吸附式空气消毒法消毒)。每日接诊后进行两组空气消毒, 消毒前及消毒 5 min、10 min、15 min、30 min 及消毒后 14 h (次日开诊前) 分别进行空气采样及细菌菌落数 (CFU) 培养, 并统计比较两组的空气质量合格率及 CFU。**结果** 空气质量合格率比较中, 2 组消毒后的空气质量合格率均呈持续上升的趋势, 且 ClO_2 组在消毒 15 min 后更快的实现 100% 的合格率。在各时间点上, 组间均无统计学差异 ($P>0.05$)。2 组 CFU 比较中, 消毒后 ClO_2 组在各个时间点的 CFU 均低于静电吸附式组, 特别是在消毒 15-30 min, 组间有统计学差异 ($P<0.05$), 且消毒效果保持到次日开诊前。 ClO_2 组中, 从消毒 5 min CFU 已显著小于消毒前 CFU ($P<0.05$), 且释放浓度始终在安全范围内 ($<0.28\text{ mg/m}^3$)。**结论** 口腔诊室内高纯度 ClO_2 可达到与静电吸附式空气消毒法相同的消毒效果, 且消毒更快更高效。

【关键词】 院感; 高纯度二氧化氯; 静电吸附式; 口腔诊室; 空气消毒

【基金项目】 深圳市口腔医院院内项目 (SSK-2022-01)

【收稿日期】 2025 年 5 月 15 日 **【出刊日期】** 2025 年 6 月 25 日 **【DOI】** 10.12208/j.iosr.20250001

A control study of the disinfection effect of chlorine dioxide air disinfectors in dental clinical rooms

Xiaolei Zhang, Sisi Chen, Xufei Luo, Guiting Liao, Jingjing Sha*

Shenzhen Stomatology Hospital, Shenzhen, Guangdong

【Abstract】Objective Observation of the air disinfection effect of a high-purity chlorine dioxide (ClO_2) air disinfectors in dental clinical rooms. **Methods** The 2 dental clinical rooms of about 20 m^2 in our hospital were divided into the experimental group (using high-purity ClO_2 air disinfection) with 55 cases and the control group (using electrostatic adsorption-type air disinfection) with 30 cases. Air sampling and bacterial colony-forming units (CFU) culture were performed before disinfection and 5 min, 10 min, 15 min, 30 min and 14 h after disinfection (before opening daily dental treatment the next day), respectively. The air quality qualification rate and CFU were statistically compared between the two groups at different time points. **Results** In the comparison of the air quality qualification rate of the two groups, the rate of the two groups after disinfection showed a trend of continuous increase, and the ClO_2 group reached 100% qualification rate faster than the control group after 15 min of disinfection. At each time point, there were no significant differences between the two groups ($P>0.05$). In the comparison of CFU between the two groups, the CFU of the ClO_2 group after disinfection was lower than that of the control group at all time points, especially 15-30 min after disinfection, and there was a statistical difference between the two groups ($P<0.05$), and the disinfection effect remained until the next day morning. In ClO_2 group, CFU after 5 min of disinfection was significantly lower than that before disinfection ($P<0.05$), and the ClO_2 release concentration was always within the safe range ($<0.28\text{ mg/m}^3$). **Conclusion** ClO_2 can achieve the same air disinfection effect as the electrostatic

第一作者简介: 张晓磊: 本科学历, 副主任护师;

*通讯作者: 沙晶晶, 博士学位, 副主任医师。

adsorption-type air disinfection method in dental clinical rooms, and the ClO_2 disinfection is faster and more efficient.

【**Keywords**】 Hospital infection; High-purity chlorine dioxide; Electrostatic adsorption-type; Dental clinical room; Air disinfection

口腔诊室作为患者接受口腔治疗的首要场所, 其环境面临高风险的交叉感染问题。日常的口腔治疗操作产生的飞沫, 加之患者口腔内微生物的存在, 若消毒措施不当, 容易造成疾病的传播^[1]。在口腔诊疗环境中, 有效的空气消毒净化消毒是阻断病原微生物、气溶胶通过空气传播的有效手段, 可以提高诊疗安全水平, 保障医患的健康^[2]。目前医院常使用的空气消毒方法有: 静电吸附式消毒器、等离子体消毒器等, 具有高效、广谱、无害的优点, 但易受空气湿度、温度, 气溶胶等因素影响, 消毒效果存在差异, 其过滤网需定期更换清洗, 消毒效果要定期监测, 且现市售各种空气消毒设备均具有各种不同优缺点^[3]。

近年来, ClO_2 消毒剂逐渐在医院消毒中得到应用, 是一种公认的安全、快速、高效的环保型消毒剂^[4-5], 具备快速氧化微生物细胞壁、破坏微生物代谢途径的能力, 可迅速杀灭细菌、病毒、真菌等多种病原体^[6]。然而, 研究者普遍认为气态二氧化氯非常活泼且不稳定, 在实际使用中需要现用现配, 浓度不易控制^[7], 且活化过程中易形成亚氯酸盐、氯酸盐酮醛或羰基类物质等副产物, 降低 ClO_2 纯度, 增加了不安全性和刺激性^[8], 从而降低其实用性。最近出现的一种高纯度 ClO_2 , 其稳定性高, 通过“免活化”过程进行合成, 释放纯度可达 99.98%, 无不良副产物产生^[9]。因此, 本实验在口腔诊室内使用高纯度 ClO_2 进行空气消毒中, 来观察其消毒的有效性。

1 资料与方法

1.1 材料及仪器

1.1.1 高纯度 ClO_2 空气消毒器

高纯度 ClO_2 空气消毒器 (深圳大奇消毒新技术有限公司, 型号: Q1000 型), 额定电压 220 V, 额定输入功率 80 W, 因子强度: 0.28 mg/m^3 (自动侦测变频), 产品尺寸 $320 \text{ mm} \times 480 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, 适用面积 $20 \sim 100 \text{ cm}^2$, 净重 40 kg, 为落地式, 出气孔距地面 1.8 米。

1.1.2 静电吸附式空气消毒器

静电吸附式空气消毒器 (深圳市赛得立实业有

限公司, 型号: KJF800 型), 额定电压 220 V, 额定输入功率 150 W, 净化效率 $\geq 50\%$, 消毒有效时间 90 min, 产品尺寸 $980 \text{ mm} \times 220 \text{ mm} \times 315 \text{ mm}$, 适用面积 75 cm^2 , 净重 11 kg, 为壁挂式。

1.1.3 其他材料

ClO_2 浓度检测管及气体检测仪 (日本 GASTEC 公司)。实验所用营养琼脂培养皿、生物安全柜、微生物培养箱等, 均为国内市售产品。

1.2 方法

1.2.1 实验方法

以深圳市口腔医院的面积在 20 m^2 左右的相同口腔诊室, 每日接诊量接近, 分为以高纯度 ClO_2 空气消毒的实验组 (ClO_2 组) 及以静电吸附式空气消毒的对照组 (静电吸附式组)。消毒前准备: 关闭诊室通风系统及门窗, 保持环境密闭。消毒方法: 两组每日诊疗结束后进行空气消毒, 消毒 30 min 时, 关闭消毒器, 诊室密闭至第二天开诊。

1.2.2 检测方法

采用平板暴露法采样, 设 4 角及中央共 5 点, 4 角的布点部位距墙壁 1 m 处。将普通营养琼脂平皿 ($\phi 90 \text{ mm}$) 放置各点, 采样高度为距地面 1.2 m 左右; 采样时将平皿盖打开, 暴露规定 5 min 时间后盖上平皿盖, 及时送检。将送检平皿置 $36^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 恒温箱培养 48 h, 计数 CFU 及细菌种类鉴定。消毒采样时间: 在 2024 年 4-8 月期间, 两组分别在消毒前、消毒 5 min、10 min、15 min、30 min 及 14 h (次日从事诊疗活动前) 进行 1 次空气采样。 ClO_2 组采样 55 例, 静电吸附式组每个时间点采样 30 例。采样时, 同时采用真空法检测 ClO_2 浓度。

1.2.3 判定标准

按照 GB15982-2012《医院消毒卫生标准》^[10], 空气平均菌落数 ≤ 4.0 (5 min) 菌落总数符合 IV 类环境空气菌落总数卫生标准, 未检测到致病性微生物, 视为空气质量合格。空气微生物污染检查方法中的空气采样器法计算公式为^[10]: 空气中细菌总数 (CFU/m^3) = 采样器各平皿菌落数之和 (CFU) / (采样速率 (L/min) * 采样时间 (min)) * 1000。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 24.0 软件统计分析。空气质量合格率数据用[n (%)]表示, 组间的空气质量合格率比较中, 采用 χ^2 检验比较组间差异, 以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。组间的 CFU 比较及 ClO₂ 组消毒前后的 CFU 比较中, 采用 Mann-Whitney U 检验比较组间差异。以 $P<0.05$ 被认为具有统计学意义。

2 结果

2.1 1 组空气质量合格率比较

消毒前, ClO₂ 组及静电吸附式组分别有 92.72%、90.00% 的空气质量合格率, 基线一致 ($P>0.05$)。消毒 5-10 min 时, 两组空气合格率持续上升, ClO₂ 组合格率略高于静电吸附式组。消毒 15 min 时, ClO₂ 组合格率先达到 100%, 消毒 30 min 时, 2 组的空气质量合格率均达到 100%, 效果保持到次日开诊前 (消毒后 14h) (见图 1)。在各时间点上, 组间均无统计学差异 ($P>0.05$)。

2.2 2 组 CFU 比较及 ClO₂ 空气浓度监测

消毒前, 2 组 CFU 比较中基线一致 ($P>0.05$)。消毒 10 min 时, ClO₂ 组的 CFU 由消毒前的 248.77

CFU/m³ 下降至 77.21 CFU/m³, 比静电吸附式组下降更快, 但组间无显著差异 ($P>0.05$)。消毒 15 min 时, ClO₂ 组的 CFU 快速低至 45.75 CFU/m³, $P=0.004$, 组间有统计学差异。消毒 30 min 时, ClO₂ 组的 CFU 最低至 37.17 CFU/m³, 而静电吸附式组的 CFU 仍大于 100 CFU/m³, $P=0.023$, 组间有统计学差异。次日开诊前, ClO₂ 组的 CFU 稍有回升至 84.92 CFU/m³, 静电吸附式组为 120.57 CFU/m³, $P=0.091$, 但整体仍符合消毒标准 (见表 1)。试验期间, 经细菌种类鉴定, 均未检测到致病性微生物。

ClO₂ 组消毒前后 CFU 的比较中, 从消毒 5 min 到次日开诊前的 CFU 都显著小于消毒前, 有统计学意义, $P<0.05$ 。静电吸附式组消毒前后 CFU 的比较中, 从消毒 15 min-30 min 的 CFU 都显著小于消毒前, 有统计学意义, $P<0.05$ (见表 1)。

此外, 在整个消毒中, 高纯度 ClO₂ 在 30 min 内持续升高, 但任何时间点检测 ClO₂ 空气浓度均未超过 0.28 mg/m³, 并在次日早晨开诊前, ClO₂ 浓度已降为 0 (见图 2)。

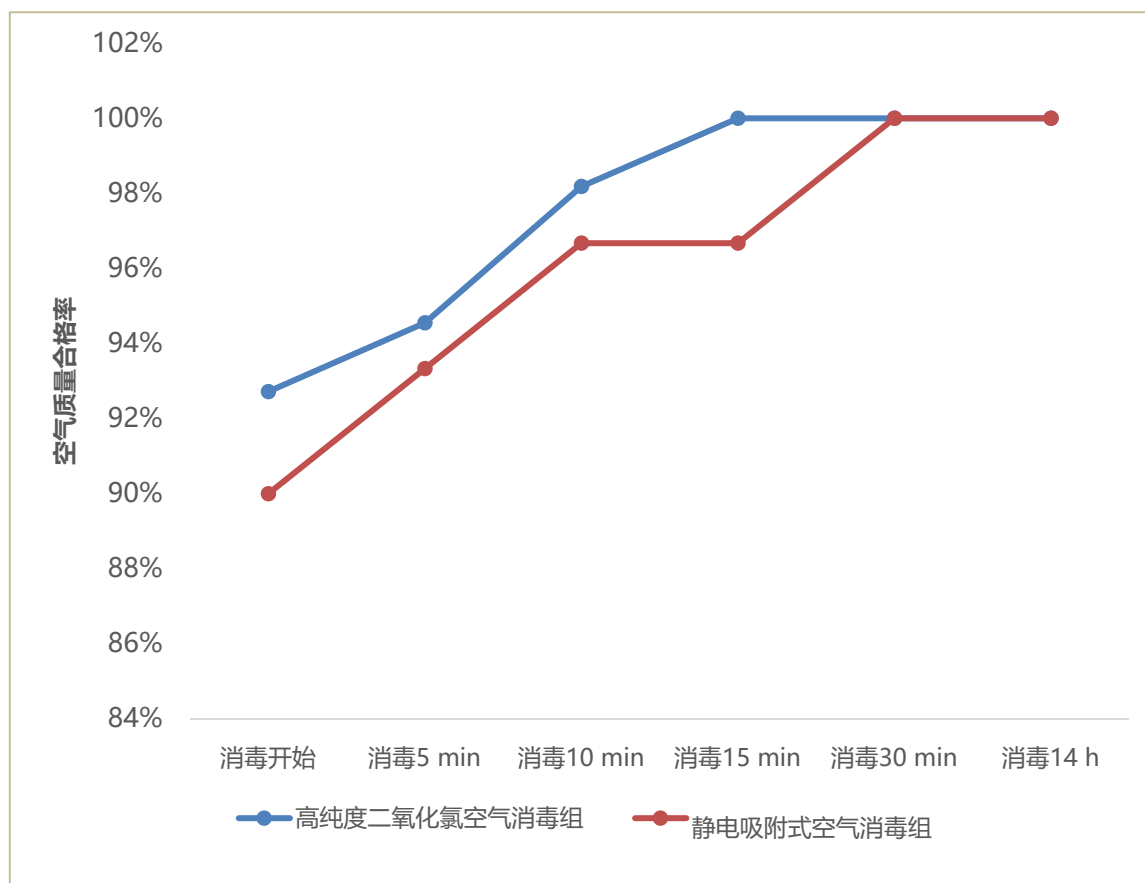


图 1 口腔诊室消毒前后 2 组空气质量合格率比较

表 1 口腔诊室空气消毒前后 2 组细菌菌落计数比较

时间	高纯度二氧化氯空气消毒组	静电吸附式空气消毒组	U 值	P 值
消毒前	248.77	267.36	778.00	0.652
消毒 5 min	151.55 ^a	188.72	723.00	0.272
消毒 10 min	77.21 ^a	152.03	753.50	0.443
消毒 15 min	45.75 ^a	125.81 ^a	595.00	0.004
消毒 30 min	37.17 ^a	110.09 ^a	641.50	0.023
消毒结束后 14 h	84.92 ^a	120.57	661.00	0.091

注 (Note): ^a 表示与同组消毒前比较, 有统计学意义, 均 $P<0.05$ 。

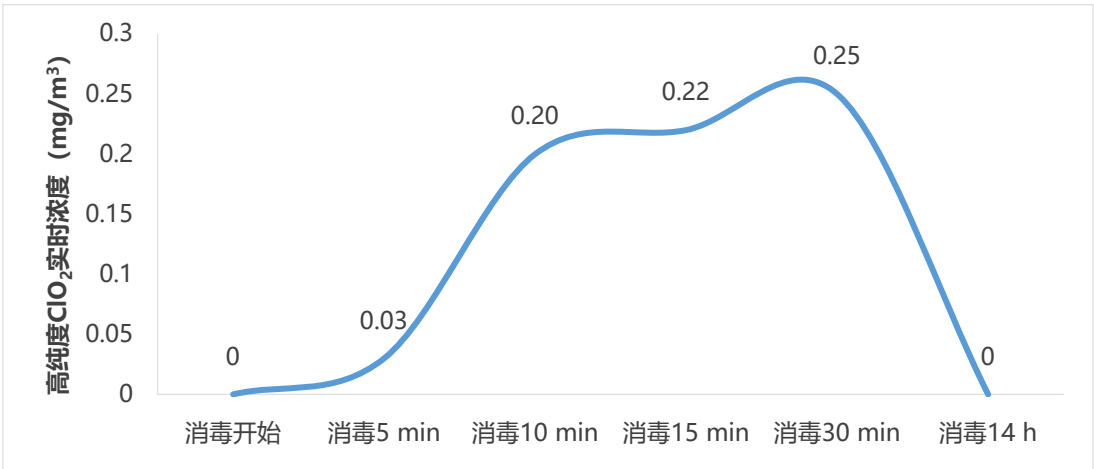


图 2 ClO₂ 组消毒过程中实时 ClO₂ 浓度监测

3 讨论

近年来, 防控各种新型呼吸道疾病促进了消毒技术的快速发展, 为新消毒方法的研究带来挑战, 口腔医院诊疗环境复杂, 等需要更快找到合适的空气消毒方法。本研究结果显示, ClO₂ 组消毒后的空气质量合格率较静电吸附式组最先达到 100%, 消毒 5 min 时 ClO₂ 组的 CFU 明显较消毒前下降 ($P<0.05$), 且可以把 CFU 抑制在 <100 CFU/m³的低水平, 比静电吸附式组消毒效果会更快速高效。次日开诊前 ClO₂ 浓度已至 0, 但空气质量仍可以达到 100%的合格率, 说明了随着时间推移, 空气中的残留的 ClO₂ 也会继续发挥作用并缓慢衰减, 但其消毒抑菌能力具有持久性^[11]。李炎等研究发现^[12], ClO₂ 空气中浓度为 8 mg/m³, 作用 30 min, 即可对空气中白色葡萄球菌的杀灭率达到 99.96%, 对现场自然菌的杀灭率 99.61%。奚小艳^[13]的研究, 当 ClO₂ 气体浓度为 0.2 mg /m³, 对医院病房内空气杀

菌 30 min, 杀菌率为 93.07 %。谢锦尧^[14]等研究, 使用 2 000 mg/L 的二氧化氯溶液用气溶胶喷雾器喷雾后 30 min, 平均细菌杀灭率为 95.88%。与上述研究对比, 本实验中高纯度 ClO₂ 即使在低浓度的状态下 (<0.28 mg/m³) 15 min 就可以达到 100%的杀菌率, 更证实了其有快速有效性。高纯度 ClO₂ 空气消毒器可提供 99.98%纯度的 ClO₂ 气体, 这使得产生最大化的消毒效果。此外, 设备从 1.8 米左右的喷气口释放 ClO₂ 分子, 这样的设计使诊室的人体活动空间均可以得到 ClO₂ 分子的扩散及分布, 它在空气中和微生物可以直接充分的接触。因此, 高纯度 ClO₂ 空气消毒的有效性是值得认可的。

在安全性方面, ClO₂ 消毒时不产生氯化副产物, 通过强氧化作用杀灭细菌, 与细菌等原核生物不同, 人等高等动物由于进化, 具有抗氧化系统, 且抗性较大的细胞分布于体表, 功能细胞藏于深处, 不易受氧化剂攻击。有研究显示 ClO₂ 氧化能力为氯的

2.5 倍,在遇到微生物时,迅速发生氧化还原反应,而不是取代反应,因此在高纯度的 ClO_2 在消毒反应过程中,基本不会产生卤代有机副产物,这也是其消毒迅速又安全的原因,可实现人与消毒剂的共存^[8,15]。《国家标准 GB 28931—2024》推荐的:通过喷雾或汽化或熏蒸的方法,用 $0.75 \text{ mg/m}^3 \sim 2.5 \text{ mg/m}^3$ 二氧化氯进行室内空气消毒 15-30 min^[16],会是安全可靠的消毒方法。本实验与其相比,使用的是高浓度的 ClO_2 ,所以当实验中检测的有效浓度低于美国职业安全与健康管理局与美国国家职业安全与健康研究所规定的: 0.28 mg/m^3 的安全限值时^[17],仍可产生良好的消毒效果。这与王妍彦等研究显示, 0.28 mg/m^3 浓度下消毒效果具有持续性,对医院病房、门诊等容易通过物品接触感染的环境具有感控意义的结果相一致^[18]。因此,高纯度 ClO_2 空气消毒是实现口腔诊室“一患一消毒”或者“常规诊间消毒”的安全有效消毒方式。值得注意的是, ClO_2 的消毒空间要具有良好的密闭性,才能保持有效浓度;消毒后也应及时通风换气,尽可能避免其对人体的伤害;若长时间使用设备,仍然建议夜间停诊或人员撤离后使用。此外,此设备禁止 AB 液加错,且需定期维护和校准,防止因设备故障导致的气体泄露或浓度失控。

目前,本实验还需要多维度进行完善,如:多科室不同诊疗环境下的模拟实验、对有人环境下进行观察等,我们将在进一步实验中进行优化。综上所述,高纯度 ClO_2 空气消毒器在口腔诊室空气消毒方面表现出显著的优势,适合口腔诊室内快速空气消毒。

参考文献

- [1] 万紫千红,杜龙环,王小霞,等.口腔诊室内气溶胶传播与沉降的数值研究[J/OL].工程科学与技术,1-14.
- [2] 郭柳媚,毕小琴.口腔专科诊疗中气溶胶传播风险及感染防控策略[J].四川医学,2021,42(05):515-519.
- [3] 曹珈璐,徐瑞燕,周霖屹,等.口腔诊室内气溶胶防护研究现状[J].黑龙江医学,2023,47(22):2808-2811.
- [4] 王飞瑶,林秋海,朱建平.一种二氧化氯缓释型消毒装置的消毒效果观察[J].中国消毒学杂志,2024,41(09):659-661.
- [5] 吴明松,马仕慈,刘博.二氧化氯在医院消毒中的应用[J].中国消毒学杂志,2019,36(01):60-63.
- [6] Noszticzus Z, Wittmann M, Kály-Kullai K, et al. Chlorine dioxide is a size-selective antimicrobial agent. PLoS One. 2013 Nov 5;8(11):e79157.
- [7] 李国培,洪平,李海镛,等.一种组合固体碱消毒剂空气净化器对大型空间动态消毒效果观察[J].中国消毒学杂志,2023,40(05):333-336.
- [8] 李文萱.水中天然有机物对二氧化氯消毒副产物生成的影响及其控制[D].南京信息工程大学,2024.
- [9] Zhang X, Sha J, Huang Z, et al. A pilot study comparing the disinfecting effects of commercialized stable ClO_2 solution (free of activation) with conventional H_2O_2 on dental unit waterlines in the dental practice setting. Drug Discov Ther. 2023 Nov 18;17(5):357-362.
- [10] 国家标准化管理委员会. GB15982-2012 医院消毒卫生标准. [M].北京;中国标准出版社.2012.
- [11] 王涛,吴金辉,郝丽梅,等.气体二氧化氯对高效空气过滤单元的消毒效果研究[J].中国消毒学杂志,2016,33(10):929-932.
- [12] 李炎,王妍彦,赵斌秀.二氧化氯气体对空气和物体表面消毒效果的观察[J].中国卫生检验杂志,2011,21 (5):1143-1145.
- [13] 奚小艳.气体二氧化氯对公共场所空间环境消毒效果研究[D].中北大学,2012.
- [14] 谢锦尧,肖娜,林海.医院门诊二氧化氯空气消毒效果研究[J].现代预防医学,2006,(08):1377+1382.
- [15] 李高宝.新生代二氧化氯气体对 EICU 病房消毒杀菌效果的临床评价[D].南方医科大学,2021.
- [16] GB 28931-2024,二氧化氯消毒剂发生器卫生要求[S].
- [17] 崔超,胡双启,晋日亚.气体二氧化氯浓度检测研究进展[J].环境与健康杂志,2011,28(07):646-649.
- [18] 王妍彦,张流波.低浓度二氧化氯消毒研究现状[J].中国消毒学杂志,2019,36(02):147-150.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS