

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20216195

· 译文 ·

外科口罩覆盖 N95 自吸过滤式防护口罩:增加泄漏风险

谭彩霞(TAN Cai-xia) 译,吴安华(WU An-hua) 审校

(中南大学湘雅医院医院感染控制中心, 湖南 长沙 410008)

(Center for Healthcare-associated Infection Control, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China)

[关键词] 口罩; 外科口罩; 自吸过滤式防护口罩; 医用口罩; 防护效果

[中图分类号] R183

摘要:本报告通过对相关流体力学和密封压力的分析建模,论证了当 N95 自吸过滤式防护口罩(N95 FFR)被外科口罩、布口罩或医用口罩(统称为外科口罩)覆盖时,将增加颜面部与口罩之间密封泄漏的潜在风险。以前发表的关于呼吸器压力和泄漏的试验研究也适用于此问题。在可预见的未来,正确使用 N95 FFR 仍将是保证医护人员安全的重要组成部分,特别是对于那些从事产生气溶胶操作(AGP)(如气管插管)的人员。在考虑泄漏风险时,重要的是要了解哪些因素可能会影响颜面部与口罩之间的密封性。N95 FFR 的适配度和密封性会随着反复的穿戴和落纱而退化。据报道,一些 N95 FFR 再处理或回收技术可以加速这种退化。简而言之,N95 型口罩密封性容易受损,可能会受到多种因素的影响。

方法:与单独佩戴 N95 FFR 相比,额外佩戴外科口罩对气流产生了新的阻力。作为一种多孔介质,流体通过 N95 的难易程度可以用达西定律中的渗透率“k”建模。达西定律规定,通过多孔介质的流速与该介质的渗透率和压降成正比,如公式(1)所示。

$$Q = \frac{-KA}{\mu L} \Delta p \quad (1)$$

其中 Q 是体积流量(类似于每分钟通气量),A 是横截面积, μ 是流体的黏滞系数,L 是多孔介质的长度, Δp 是压降。这个定律表明,对于相同的压降,渗透到多孔介质的流量随着介质长度的增加而减小。根据公式(1)如果使用外科口罩覆盖 N95

FFR,则多孔介质的长度(即两个口罩的厚度)增加,因为如果压降不变,那么通过口罩的气流量就会降低。因此,为了保持正常的每分钟通气量,呼吸压力(压降)必须随着阻力的增加而增加。

根据公式(1)如果 Q_B 是通过口罩的正常体积流量,则通过该口罩的压降定义为公式(2):

$$\Delta p = \frac{-Q_B \mu L}{A K} = -Q_B \mu R \quad (2)$$

其中 R 定义为流动阻力($\frac{L}{KA}$),类似于导电电阻。对于多个口罩(即 N95 FFR 及外面的外科口罩),口罩两端的总压降等于每个口罩上的总压降之和。因此,总压降可以定义为公式(3):

$$\Delta p_{tot} = -Q_B \mu R_{eq} = -Q_B \mu \sum_{i=1}^2 R_i = -Q_B \mu (R_1 + R_2) \quad (3)$$

其中 R_{eq} 是两个口罩的等效流阻, R_1 和 R_2 分别是 N95 FFR 和外科口罩的流阻。等效流阻等于各电阻之和,类似于电路中串联的电阻。根据公式(3)的结果表明,与仅使用 N95 FFR 相比,在 N95 FFR 外面覆盖外科口罩时,由于呼吸流量不变,流动阻力增加了 R_2 ,因此两个口罩的总压降有所增加。当使用者保持正常的每分钟通气量时,由于额外的外科口罩而产生的新阻力,进而在口罩内和气道内相对于大气(室内空气)压力产生更高的呼吸压力。

因此,呼吸循环压力必然会在吸气时更负压,在呼气时更正压,以克服组合式口罩增加的阻力,从而试图保持正常的气流或每分钟通气量。随着口罩上压降的增加,同样的大气到气道压降也适用于 N95

[收稿日期] 2020-02-20

[作者简介] 谭彩霞(1996-),女(汉族),湖南省株洲市人,硕士研究生,主要从事感染病学研究。

[通信作者] 吴安华 E-mail:dr_wuanhua@sina.com

FFR 边缘与颜面部的密封。因此,当较高的压差在柔性机械密封(如 N95 FFR 边缘与颜面部密封)上脉动时,可能会逐渐发生泄漏。

当颜面部和 N95 FFR 边缘相互贴合形成密封时,配合表面之间的任何间隔都会大大增加泄漏风险。倍增的密封面间隔可以使泄漏风险增加 8 倍。这可以将密封界面处的临界收缩近似为具有较长宽度和相对较小高度的矩形截面的孔洞。假设不可压缩的牛顿流体, U_1 为各配合面之间的平均分离高度,则单位时间内通过临界收缩的体积流量(泄漏率)由公式(4)(泊肃叶流动)计算:

$$Q_t \propto \frac{\mu_1^3}{\eta} \Delta p \quad (4)$$

其中 η 是流体黏度, Δp 是口罩之间的压降,如公式(3)所示。

结果:根据公式(4),在 N95 FFR 外面覆盖外科口罩可增加脉动压力差从而可能会导致泄漏的风险增加。

讨论:分析模型包括简化假设,例如可以忽略外科口罩边缘周围的多相流和泄漏的影响。此外,在吸气过程中,密封物体的平衡率可能会增加,从而抵消了密封性能的增加。

用外科口罩覆盖 N95 FFR 可能会增加 N95 FFR 泄漏的风险。需要更多的研究对这一风险进行适当的评估,包括更高阶的理论分析、计算流体动力学模型、台架试验和/或人体研究。我们从事这项研究的同时,也鼓励其他人也做此类研究。在进一步研究之前,N95 FFR 的临床应用指南和使用外科口罩覆盖 N95 FFR 的说明应该考虑并评估这种风险。

译自:Mueller JT, Karimi S, Poterack KA, et al. Surgical mask covering of N95 filtering facepiece respirators: the risk of increased leakage [J]. Infect Control Hosp Epidemiol, DOI: 10.1017/icc.2021.50.