

DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20256638

· 论 著 ·

基于医护人员真实行为的呼吸道传染病风险评估：以门诊耳鼻喉科为例

马正文¹, 马 慧^{1,2}

(1. 南方医科大学护理学院, 广东 广州 510515; 2. 解放军总医院护理部, 北京 100853)

[摘要] **目的** 基于医护人员真实行为信息构建风险评估模型, 精准评估医护人员日常工作病毒暴露量的变化及感染风险。**方法** 以北京市某综合三级甲等医院门诊耳鼻喉科医护人员及患者为研究对象, 使用深度摄像机、笔记本电脑、便携式电源、三角支架及可移动硬盘采集和储存相关人员行为信息, 具体包括相对位置、人际距离、面部朝向及触摸频率, 并使用半监督机器学习算法处理行为数据; 最终构建数理模型, 评估医护人员操作过程中病毒暴露量及感染风险的变化。**结果** 共采集 161 917 条行为数据, 包括外耳道冲洗、鼻内镜、喉内镜、耳内镜, 经检查排除后剩余 103 788 条行为数据。门诊耳鼻喉科医护人员在日常工作中平均近距离占比为 90.61%, 且主要以面对侧(Face-to-Side, F-S)密切接触为主。在进行鼻内镜时, 病毒 RNA 暴露量(viral RNA loads)最高, 为 0.543~0.745 viral RNA loads/s, 总体感染风险为 42.74%。通过佩戴 N95 口罩、医用外科口罩和棉布口罩, 感染风险可以分别降至 2.44%、14.20%、36.05%。**结论** 门诊耳鼻喉科医护人员日常工作存在较高的职业暴露风险, 医护人员应严格佩戴防护用品, 并保持适当的人际距离和相对面部朝向。

[关键词] 呼吸道传染病; 医护人员; 行为; 暴露量; 感染风险

[中图分类号] R183.3

Risk assessment of respiratory infectious diseases based on healthcare workers' actual behaviors: an example from otolaryngology outpatient clinics

MA Zhengwen¹, MA Hui^{1,2} (1. School of Nursing, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Department of Nursing, Chinese People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100853, China)

[Abstract] **Objective** To construct a risk assessment model based on healthcare workers' (HCWs) real behavioral data, and precisely quantify virus exposure dynamics and infection risks of HCWs during routine clinical practice. **Methods** HCWs and patients from otolaryngology outpatient clinics at a general tertiary first-class hospital in Beijing were selected as the research subjects. Behavior information of relevant individuals including relative position, interpersonal distance, facial orientation, and contact frequency, were recorded and stored using depth cameras, laptops, portable power supplies, tripod stands, and removable hard drives. Behavior data were processed by semi-supervised machine learning algorithms. A mathematical model was finally constructed to assess real-time viral exposure and infection risks during HCWs' procedure. **Results** A total of 161 917 behavioral datasets were captured in this study, including external auditory canal irrigation, nasal/laryngeal/otoscopic endoscopies. After inspection and exclusion, 103 788 behavioral datasets remained. HCWs in otolaryngology outpatient spent 90.61% of clinical time in close contact on average, predominantly in face-to-side (F-S) orientation. Nasal endoscopy generated peak viral RNA loads, ranging from 0.543 to 0.745 viral RNA loads/s, with an overall infection risk of 42.74%. Infection risks could be reduced to 2.44%, 14.20%, and 36.05% when wearing N95, medical surgical, and cotton

[收稿日期] 2024-06-24

[基金项目] 首都卫生发展科研专项重点攻关项目基金(2024-1G-5011)

[作者简介] 马正文(2003-), 男(回族), 新疆维吾尔自治区富蕴县人, 硕士研究生在读, 主要从事新发呼吸道传染病预防及控制研究。

[通信作者] 马慧 E-mail: mahui-28@163.com

masks, respectively. **Conclusion** HCWs in otolaryngology outpatient clinics face high risks of occupational exposure in their daily work. Personal protective equipment should be used strictly, and appropriate interpersonal distance and optimal face orientation should be maintained.

[Key words] respiratory infectious disease; healthcare worker; behavior; exposure load; infection risk

2019 年底,由严重急性呼吸综合征冠状病毒 2 (SARS-CoV-2)引发的新型冠状病毒感染 (coronavirus disease 2019, COVID-19) 在全球迅速扩散,至今已导致超过 7.6 亿人感染,690 万人死亡^[1]。近年来,COVID-19 等新发呼吸道传染病频发,对全球公共卫生体系构成了前所未有的挑战^[2-3]。

医护人员在抗击呼吸道传染病、促进公共卫生安全方面发挥着重要作用,也伴随着较高的职业暴露风险^[4]。在严重急性呼吸综合征 (SARS) 流行期间,约 20% 的感染者为医护人员^[5];中东呼吸综合征 (MERS) 暴发时约有 30.5% 的感染者为医护人员^[6];COVID-19 流行初期,医护人员感染占比高达 35%^[7]。大量研究^[8-10]表明,医护人员较高的职业暴露风险与执行气溶胶产生操作 (aerosol generating procedures, AGPs) 密切相关。而门诊耳鼻喉科医护人员经常需要执行鼻内镜、喉内镜、气管插管、气管切开等操作,这不可避免地会使其暴露于高风险环境中^[11]。

科学准确地预测呼吸道传染病对制定有效的防疫策略至关重要。尽管现有的易感者-感染者模型 (susceptible-infected model, SI)、易感者-感染者-移除者-易感者模型 (susceptible-infected-removed-susceptible model, SIRS) 及易感者-感染者-移除者模型 (susceptible-infected-removed model, SIR) 能够基于历史数据预测感染概率,但往往忽视了个体行为对疾病传播的影响。Huang 等^[12] 研究表明,行为因素对呼吸道传染病的传播至关重要。然而,目前聚焦于行为因素的研究鲜有报道。虽然 Sorokowska 等^[13] 采用问卷法研究了人际距离对疾病传播的影响,徐丹慧等^[14] 采用现场观察法探讨病毒的消杀策略,但问卷调查和现场观察法难免会受到人为误差的影响。因此,行为数据收集仍然存在局限性。

本研究采用深度相机配合半监督机器学习监测技术,收集和处​​理门诊耳鼻喉科医护人员和患者的行为数据。深度相机,又称机器视觉技术,能够捕捉场景的三维信息。Eyiokur 等^[15] 采用该方法对佩戴口罩情况进行了人脸识别,Tan 等^[16] 使用该技术识别手与面部的接触行为。Yolov8 算法属于一种机

器学习方法,在 Faster R-CNN、YOLO、SSD 三种最新的主流目标检测模型的比较中^[17],Yolov8 算法作为 YOLO 系列模型的一种,凭借其出色的 mAP (0.847) 和 IoU (0.906) 指标脱颖而出。因此,本研究将依托机器视觉技术配合半监督机器学习算法,实现行为数据的快速收集和批量处理。

本研究旨在评估医护人员呼吸道传染病感染风险,为进一步加强精准防护和防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 环境及设备 研究工具包括深度设备如 RGBD 深度摄像机、笔记本电脑、便携式电源、三角支架及可移动式硬盘,深度信息储存于 WD Elements 5 TB 硬盘中。便携式电脑需配置 Linux 系统,安装 Pycharm Community Edition 软件,并将提前编辑好的代码导入项目中,包括 Kinect_RGBD_Cap 项目用来捕捉行为数据,labeling4 RGBD 项目用来标注数据,Yolov8 算法用来对数据进行半监督机器学习。

1.2 样本量及纳入标准 根据预试验研究结果,本研究纳入变量至多 10 个且符合正态分布,参考多元回归分析样本量为变量的 5~10 倍计算,本研究需要纳入 50~100 名研究对象。医护人员的纳入标准为:(1)在职在岗;(2)经解释后自愿参与本研究。患者纳入标准为:(1)前来门诊耳鼻喉科就诊;(2)经解释后自愿参与本研究,并签署知情同意书。共收集 77 名医护人员及 90 例患者行为信息。

1.3 数据采集 于 2024 年 3 月开始,为保证研究具有代表性,选择门诊耳鼻喉科作为目标科室,连续监测 7 d,具体过程如下:根据耳鼻喉科诊室实际情况,选择合适的监测位点,确保观察区域与操作区域在 6 m 以内,以保证获取的行为数据清晰可靠。随后打开 Pycharm Community Edition 软件,启动 Kinect_RGBD_Cap 项目,使用深度相机捕捉行为数据。行为数据收集完成后,由 2 名经过培训的研究人员对数据进行检查,如果收集到的人员行为数据不含人员相对位置,或无法提取相关深度信息,则删除该项数据。对数据进行逐帧筛选,排除无深度行

为信息的数据。由于录制图像为深度图像,不涉及面部信息,保护了医护人员及患者的个人隐私。本研究经中国人民解放军总医院医学伦理委员会批准(S2023-522-01)。

1.4 数据标注及半监督机器学习 数据标注在 Pycharm Community Edition 软件内,根据参与者相对于深度相机的方向,构建面部朝向标签,用于判断参与者之间的相对面部朝向。选取 53 738 张深度图像进行逐帧标注,并使用 Yolov8 算法进行半监督机器学习。为客观评估模型的性能^[18],采用精确率(precision)、召回率(recall)、平均精度(mAP)衡量半监督机器学习的结果,详见公式 1~3。其中 TP 表示真阳性,FP 表示假阳性,FN 表示假阴性,C 表示数据集中的类别数量,AP 表示预测精度。其中 mAP 值越高,模型的性能越好。处理后,可以自动识别相对位置和面部朝向,识别准确率 mAP 为 93.9%。

$$\text{精确率} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{公式(1)}$$

$$\text{召回率} = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{公式(2)}$$

$$\text{平均精度} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c AP_i \quad \text{公式(3)}$$

1.5 病毒暴露量评估 病毒暴露量基于计算流体动力学技术(computational fluid dynamics, CFD)^[19]模拟构建呼吸道传染病暴露模型,如公式 $e(s, r) = \nu G(R) \cdot \eta(d) \cdot \eta(f) \cdot C(s)$ 所示,其中 $e(s, r)$ 表示感染者呼出的粒径为 s 的气溶胶通过 r 途径(吸入或沉降)的病毒暴露量(以 viral RNA loads/s 计); $\nu G(R)$ 表示感染者通过呼出活动 R (说话、呼吸)产生粒径为 s 的气溶胶体积速率($\mu\text{L/s}$),Chen 等^[20]研究表明,呼吸释放的小颗粒物气溶胶、说话释放的小颗粒物气溶胶和说话释放的大颗粒物气溶胶生成率分别为 1.73×10^{-8} 、 1.95×10^{-8} 、 $2.39 \times 10^{-3} \mu\text{L/s}$; $\eta(d)$ 表示因相对距离导致的衰减系数, $\eta(f)$ 表示因相对面部朝向导致的衰减系数; $C(s)$ 为粒径为 s 的气溶胶中病毒的浓度(以 viral RNA loads/s 计),Wei 等^[21]报道,呼吸小粒径、说话小粒径、说话大粒径气溶胶中病毒的产生速率分别是 4.5×10^{-2} 、 1.000 、 7.4×10^{-2} viral RNA loads/s。

1.6 感染风险评估 引入剂量反应模型评估医护人员呼吸道传染病的感染风险,如公式 4 所示,其中 P 代表感染风险; D_i 、 D_c 代表通过吸入和沉降两种方式的病毒暴露量; k_i 、 k_d 分别代表吸入和沉降时的剂量反应系数^[21], Mizukoshi 等^[22] 研究显示, k_i 为

4.065 viral RNA loads, k_d 为 406.5 viral RNA loads。

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{D_i}{k_i} - \frac{D_c}{k_d}\right) \quad \text{公式(4)}$$

2 结果

2.1 不同医疗操作时医护人员与患者人际距离 对门诊耳鼻喉科医护人员的行为信息进行收集,共采集 161 917 条行为数据,经筛选排除无深度行为信息的数据后,剩余 103 788 条,包括外耳道冲洗、鼻内镜、喉内镜、耳内镜,共 52 721 帧。其中医护人员与患者的平均距离分别为 0.68、0.71、0.70、0.39 m,近距离占比分别为 90.72%、91.40%、90.46%、89.88%,平均近距离占比 90.61%。见表 1。

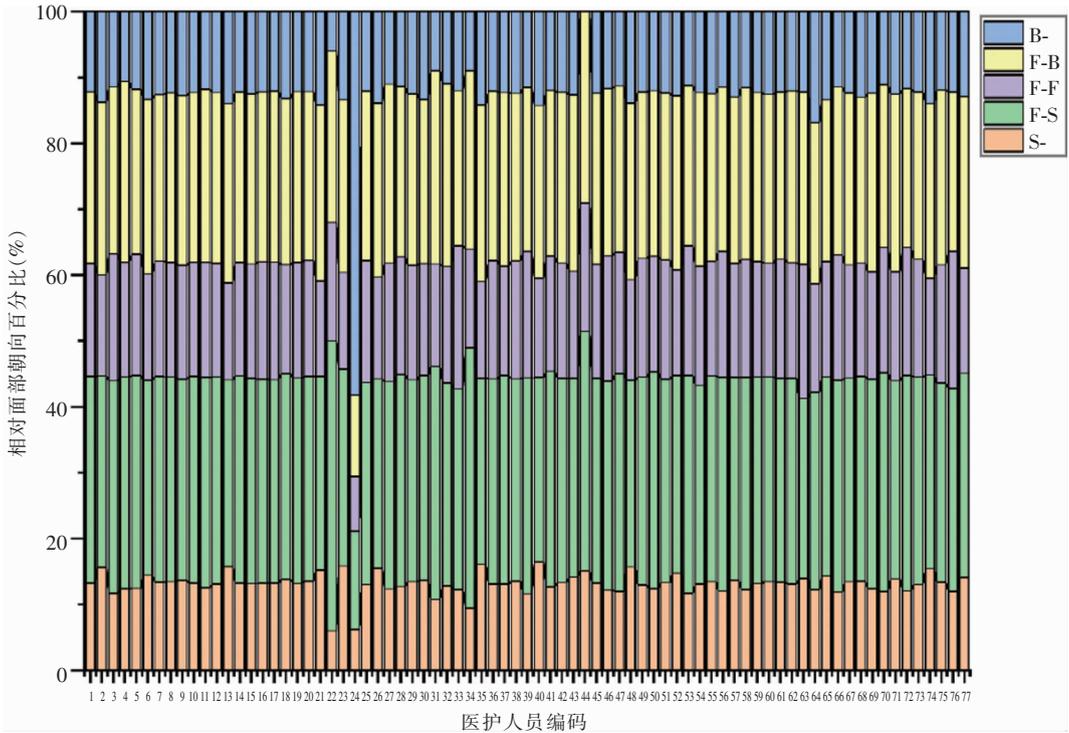
表 1 不同医疗操作时医护人员与患者人际距离

Table 1 Interpersonal distance between HCWs and patients during various medical procedures

医疗操作	平均值 (m)	标准偏差 (m)	最小值 (m)	最大值 (m)	近距离占比 (%)
喉内镜	0.68	0.34	0.10	2.80	90.72
鼻内镜	0.71	0.38	0.10	3.13	91.40
耳内镜	0.70	0.44	0.10	3.66	90.45
外耳道冲洗	0.39	0.20	0.10	2.66	89.88

2.2 医护人员与患者相对面部朝向 按照相对方位分为 5 类,面对面(Face to Face, F-F)、面对侧(Face to Side, F-S)、面对背(Face to Back, F-B)、患者侧(To Side, S-)、患者后(To Back, B-)。累计收集 98 774 条面部朝向信息,其中 F-S 占比最高(30.48%),其次为 F-B(25.23%)、F-F(17.05%),见图 1。

2.3 呼吸道传染病病毒暴露量 基于门诊耳鼻喉科医护人员行为信息,当医护人员执行喉内镜操作时,吸入累计病毒暴露量为 0.488 viral RNA loads,沉降病毒累计暴露量为 0.674 viral RNA loads;执行鼻内镜操作时,吸入累计病毒暴露量为 0.543 viral RNA loads,沉降累计暴露量为 0.745 viral RNA loads;执行耳内镜操作时,吸入累计病毒暴露量为 0.388 viral RNA loads,沉降累计病毒暴露量为 0.526 viral RNA loads;执行外耳道冲洗操作时,吸入累计病毒暴露量为 0.300 viral RNA loads,沉降累计病毒暴露量为 0.331 viral RNA loads。见图 2、3。



注：横坐标为 77 名医护人员的编码顺序，其中 1~20 表示执行喉内镜操作的医护人员，21~45 表示执行鼻内镜操作的医护人员，46~60 表示执行耳内镜操作的医护人员，61~77 表示执行外耳道冲洗操作的医护人员。

图 1 医护人员与患者相对面部朝向分布

Figure 1 Distribution of physician-patient facial orientations

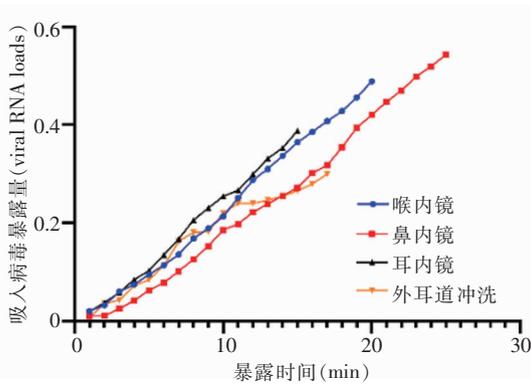


图 2 耳鼻喉科医务人员执行不同医疗操作时病毒吸入累计暴露量

Figure 2 Cumulative inhaled viral exposure of HCWs in otolaryngology outpatient clinics during medical procedures

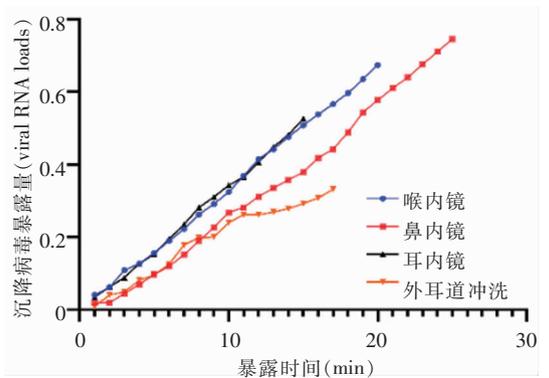


图 3 耳鼻喉科医务人员执行不同医疗操作时病毒沉降累计暴露量

Figure 3 Cumulative deposited viral exposure of HCWs in otolaryngology outpatient clinics during medical procedures

2.4 呼吸道感染感染风险 根据收集耳鼻喉科医护人员行为数据，计算病毒暴露量，引入剂量-反应模型预测呼吸道感染感染风险。据本研究所得病毒暴露量，可计算门诊耳鼻喉科医护人员的感染风险为 42.74%。参考不同口罩的有效滤过率，当医护人员分别佩戴 N95 口罩、医用外科口罩、棉布口罩时，感染风险分别可降至 2.44%、14.20%、36.05%。

3 讨论

本研究使用机器视觉配合半监督机器学习技术，实现了行为数据的自动化、高效化处理，克服了既往行为数据收集难度大、标准化过程复杂的难题，并进一步构建了门诊耳鼻喉科呼吸道感染风险模型，对

不同医疗操作产生的病毒暴露量和感染风险进行评估,从而为制定更为精准的防控策略提供科学依据。

保持安全有效的距离被视为阻止呼吸道传染病传播的关键措施^[23]。为精确地量化距离对病毒暴露量的影响,本研究引入了距离衰减系数。结果表明,随着人际距离的增加,病毒暴露量逐渐减少。这与世界卫生组织(WHO)的指导原则高度一致^[24]。WHO 明确指出,与人群保持至少 1 m 的安全距离是防止疾病人际间传播的有效策略,张佳琦等^[25]同样强调了距离的重要性。本研究中,在执行喉内镜、鼻内镜、耳内镜及外耳道冲洗操作时,医护人员与患者间的平均人际距离均 < 1 m,这基本符合 WHO 对密切接触的定义。特别是执行外耳道冲洗操作时,由于该项操作需要医护人员位于患者两侧,并频繁使用耳镜观察患者耳部状况,不可避免地缩减了人际距离,最近时仅为 0.39 m,这无疑会增加病毒在室内环境下的传播风险。此外,相对面部朝向同样是影响病毒暴露水平的关键因素。本研究结果表明,在进行喉内镜、鼻内镜、耳内镜及外耳道冲洗相关操作时,由于医疗操作的要求,医护人员需要位于患者躺椅或治疗床两侧进行诊疗,因此 F-S、F-B、F-F 成为门诊耳鼻喉科医护人员与患者之间的主要密切接触模式。本研究将面部朝向衰减系数作为关键参数纳入研究,结果与 Nielsen 等^[26]研究结果一致,F-F 接触时病毒暴露量最高,F-S 次之,而 B-几乎无直接暴露风险。尽管为满足工作需求可能无法限制人际距离和面部朝向,但良好的自我防护意识对医护人员至关重要。特别是在气溶胶产生较多的科室,佩戴口罩、面屏是必要的防护措施^[27]。本研究观察发现,大部分医护人员能按要求佩戴口罩、手套和防护服,但佩戴面屏的依从性极低。因此,建议在从事 AGPs 时,应将佩戴面屏作为医护人员必要的防护措施之一。

本研究通过 CFD 模型模拟了不同人际距离和面部朝向时的病毒暴露量。结果显示,门诊耳鼻喉科医护人员在常规操作时,其所处的环境具有较高的病毒暴露风险,与聂雯瑾等^[28]的研究相吻合。具体而言,进行鼻内镜操作时,医护人员的病毒累计暴露量为 0.543~0.745 viral RNA loads。通过剂量-反应模型评估医疗操作期间感染风险,结果显示感染风险高达 42.74%。MacIntyre 等^[29]研究强调了无论是在社区还是医院环境,佩戴口罩对控制呼吸道传染病传播极为重要。目前常见的口罩类型包括 N95 口罩、医用外科口罩和棉布口罩。根据 Koh 等^[30]研究结果,N95 口罩、医用外科口罩和棉布口罩的有效防护效率分别为 94.10%、51.90%、38.10%。因

此,当医护人员佩戴 N95 口罩时,感染风险能够降低至原风险的 2.44%;而佩戴医用外科口罩和棉布口罩则分别能将感染风险降低至 14.20%、36.05%。然而,在 COVID-19 已经趋于稳定的当下,人群对于呼吸道传染病的警惕性有所减弱。本研究发现,门诊耳鼻喉科医护人员在执行相关操作时,大部分选择佩戴医用外科口罩,而部分人员选择不佩戴口罩,这无疑增加了传染病流行的风险。因此,建议门诊耳鼻喉科医护人员在执行相关操作时,严格佩戴口罩和面屏,正确的行为和防护手段是确保自身和他人健康安全的根本保障。

本研究存在以下局限性:首先,仅考虑了病毒通过空气传播对医护人员造成的感染风险,而实际上触摸污物同样是病毒传播的重要路径。其次,本研究使用半监督机器学习算法处理行为数据,汇总的行为数据与真实情况仍然会存在一定差异。最后,本研究行为数据源于单中心,样本量有限,因此数据特征无法代表北京地区所有门诊科室。因此,下一阶段的研究需要扩大研究范围,获取广泛且多样化的数据样本,从而更精准地评估呼吸道传染病传播风险。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) [EB/OL]. (2023-08-09)[2024-05-08]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-%28covid-19%29>.
- [2] Burki TK. Double threat of COVID-19 and influenza[J]. *Lancet Respir Med*, 2020, 8(12): e97.
- [3] Pak A, Adegboye OA, Adekunle AI, et al. Economic consequences of the COVID-19 outbreak: the need for epidemic preparedness[J]. *Front Public Health*, 2020, 8: 241.
- [4] Zhong NS, Zheng BJ, Li YM, et al. Epidemiology and cause of severe acute respiratory syndrome (SARS) in Guangdong, People's Republic of China, in February, 2003[J]. *Lancet*, 2003, 362(9393): 1353-1358.
- [5] World Health Organization. Summary of probable SARS cases with onset of illness from 1 November 2002 to 31 July 2003 [EB/OL]. (2015-07-24)[2024-05-12]. http://www.who.int/csr/sars/country/table2004_04_21/en/.
- [6] Kim CJ, Choi WS, Jung Y, et al. Surveillance of the Middle East respiratory syndrome (MERS) coronavirus (CoV) infection in healthcare workers after contact with confirmed MERS patients: incidence and risk factors of MERS-CoV seropositivity[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2016, 22(10): 880-886.
- [7] World Health Organization. Keep health workers safe to keep patients safe[EB/OL]. (2020-09-17)[2024-09-21]. <https://www.who.int/news/item/17-09-2020-keep-health-workers-safe-to-keep-patients-safe-who>.

- [8] Hui DS. Epidemic and emerging coronaviruses (severe acute respiratory syndrome and middle east respiratory syndrome) [J]. *Clin Chest Med*, 2017, 38(1): 71–86.
- [9] Tran K, Cimon K, Severn M, et al. Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to healthcare workers: a systematic review [J]. *PLoS One*, 2012, 7(4): e35797.
- [10] Raboud J, Shigayeva A, McGeer A, et al. Risk factors for SARS transmission from patients requiring intubation: a multicentre investigation in Toronto, Canada [J]. *PLoS One*, 2010, 5(5): e10717.
- [11] 诸铭轩, 吉晨, 朱夏, 等. 空气污染物对肺功能变化的影响: 一项基于英国生物银行的人群关联研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2024, 45(8): 1059–1065.
Zhu MX, Ji C, Zhu X, et al. The effect of air pollution on lung function changes: a population-based association study from United Kingdom Biobank[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2024, 45(8): 1059–1065.
- [12] Huang WW, Gao CX, Luo DT, et al. Risk evaluation of venue types and human behaviors of COVID-19 outbreaks in public indoor environments: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Environ Pollut*, 2024, 341: 122970.
- [13] Sorokowska A, Sorokowski P, Hilpert P, et al. Preferred interpersonal distances: a global comparison [J]. *J Cross Cult Psychol*, 2017, 48(4): 577–592.
- [14] 徐丹慧, 丁建芬, 杨周蕊, 等. 口腔诊疗操作中高频接触表面的量性研究[J]. *中国感染控制杂志*, 2024, 23(3): 351–357.
Xu DH, Ding JF, Yang ZR, et al. Quantitative study on high-touch surface in oral diagnosis and treatment procedures[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2024, 23(3): 351–357.
- [15] Eyiokur FI, Ekenel HK, Waibel A. Unconstrained face mask and face-hand interaction datasets: building a computer vision system to help prevent the transmission of COVID-19[J]. *Signal Image Video Process*, 2023, 17(4): 1027–1034.
- [16] Tan MX, Le Q. EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks [C]//Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning. Chia Laguna Resort, Sardinia, Italy: PMLR, 2019: 6105–6114.
- [17] Benfold B, Reid I. Stable multi-target tracking in real-time surveillance video [C]//CVPR 2011. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 3457–3464.
- [18] 魏永越, 赵杨, 陈峰, 等. 传染病动力学模型的理论基础及在疫情防控中的应用价值[J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(6): 602–607.
Wei YY, Zhao Y, Chen F, et al. Principles of dynamics model and its application in forecasting the epidemics and evaluation the efforts of prevention and control interventions[J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2020, 54(6): 602–607.
- [19] Qian H, Li YG, Nielsen PV, et al. Spatial distribution of infection risk of SARS transmission in a hospital ward[J]. *Build Environ*, 2009, 44(8): 1651–1658.
- [20] Chen WZ, Zhang N, Wei JJ, et al. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact[J]. *Build Environ*, 2020, 176: 106859.
- [21] Wei JJ, Li YG. Enhanced spread of expiratory droplets by turbulence in a cough jet [J]. *Build Environ*, 2015, 93, Part 2: 86–96.
- [22] Mizukoshi A, Nakama C, Okumura J, et al. Assessing the risk of COVID-19 from multiple pathways of exposure to SARS-CoV-2: modeling in health-care settings and effectiveness of nonpharmaceutical interventions [J]. *Environ Int*, 2021, 147: 106338.
- [23] CDC. Infection Control Guidance; SARS-CoV-2 [EB/OL]. (2023–05–08)[2025–03–25]. <https://www.cdc.gov/covid/hcp/infection-control/index.html>.
- [24] World Health Organization. Advice for the public: coronavirus disease (COVID-19) [EB/OL]. (2023–03–18)[2024–05–22]. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>.
- [25] 张佳琦, 刘国华, 黄建安. 新冠病毒奥密克戎变异株的特点与防控措施[J]. *中国感染控制杂志*, 2022, 21(8): 816–822.
Zhang JQ, Liu GH, Huang JA. Characteristics, prevention and control measures of SARS-CoV-2 Omicron variant [J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2022, 21(8): 816–822.
- [26] Nielsen PV, Olmedo I, de Adana MR, et al. Airborne cross-infection risk between two people standing in surroundings with a vertical temperature gradient [J]. *HVAC&R Res*, 2012, 18(4): 552–561.
- [27] 付亚群, 赵婧雨, 韩沛恩, 等. 新型冠状病毒肺炎非药物干预防控措施经济学评价研究进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2022, 43(7): 1030–1037.
Fu YQ, Zhao JY, Han PE, et al. Progress in research of economic evaluation of non-pharmaceutical interventions for COVID-19 prevention and control [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2022, 43(7): 1030–1037.
- [28] 聂雯瑾, 归纯漪, 杭冯易, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情下耳鼻喉科护士应对气道护理风险的防控策略[J]. *中国眼耳鼻喉科杂志*, 2020, 20(3): 203–207.
Nie WJ, Gui CY, Hang FY, et al. Prevention and control strategies for ear nose and throat nurses to deal with the risk of airway care under coronavirus disease 2019 [J]. *Chinese Journal of Ophthalmology and Otorhinolaryngology*, 2020, 20(3): 203–207.
- [29] MacIntyre CR, Chughtai AA. Facemasks for the prevention of infection in healthcare and community settings [J]. *BMJ*, 2015, 350: h694.
- [30] Koh XQ, Sng A, Chee JY, et al. Outward and inward protection efficiencies of different mask designs for different respiratory activities [J]. *J Aerosol Sci*, 2022, 160: 105905.

(本文编辑: 翟若南)

本文引用格式: 马正文, 马慧. 基于医护人员真实行为的呼吸道传染病风险评估: 以门诊耳鼻喉科为例 [J]. *中国感染控制杂志*, 2025, 24(4): 486–491. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20256638.

Cite this article as: MA Zhengwen, MA Hui. Risk assessment of respiratory infectious diseases based on healthcare workers' actual behaviors: an example from otolaryngology outpatient clinics [J]. *Chin J Infect Control*, 2025, 24(4): 486–491. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20256638.