



新型冠状病毒肺炎防控中 医学设备维修与使用的生物安全策略*

崔泽实^{①②*} 董放^{③△} 李志勇^{①*} 曾凯^①

[文章编号] 1672-8270(2020)02-0000-06 [中图分类号] R197.39 [文献标识码] A

[摘要] 我国医疗卫生机构、医学装备企业等领域的医学装备工程技术人员是与广大医务人员一道奋战在防控新型冠状病毒肺炎(NCP)战线上的一支专业队伍,医学设备的安全有效使用是NCP防控的技术保障,而科学防护、规范操作是保证疫情防控战斗力的首要环节。在文献复习、查阅世界卫生组织(World Health Organization, WHO)等机构网站发布的技术文本以及荟萃工程技术人员经验的基础上,从涉及的主要技术流程入手阐述生物安全防护技术要点,为NCP防控中医学设备维修与使用提供生物安全策略。

[关键词] 新型冠状病毒肺炎(NCP); 医学装备; 维护; 安全; 防护; 新型冠状病毒

DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2020.02.038

Biological safety strategy for maintenance and use of medical equipment in the prevention and control of novel coronavirus pneumonia/CUI Ze-shi, DONG Fang, LI Zhi-yong, et al//China Medical Equipment, 2020, 17(2):000-000.

[Abstract] Medical equipment engineers and technicians in China's medical and health institutions, medical equipment enterprises and related fields is a professional team together with the vast numbers of medical staffs to prevent and control the novel coronavirus pneumonia (NCP). The safe and effective use of medical equipment is a technical guarantee for the prevention and control of NCP, and scientific protection and standardized operation are the primary links to ensure the working ability and quality effectiveness. On the basis of literature review, collecting the technical texts published by World Health Organization (WHO) and other institutional websites, and based on the experience of engineering technicians, starting from the main technical process involved, state the key points of biosafety protection technology, and provides biosafety strategies for the maintenance and use of medical equipment in NCP prevention and control.

[Key words] Novel coronavirus pneumonia(NCP); Medical equipment; Maintenance; Protection; Safety; Novel coronavirus(2019-nCoV)

[First-author's address] China Association of Medical Equipment, Beijing 100086, China.

关于传染性疾病预防中医学设备使用与维修涉及的生物安全问题,已有些文献做过不同程度的报道^[1-7]。随着新型冠状病毒肺炎(novel coronavirus pneumonia, NCP)^[8]疫情防控工作的逐渐深入,为贯彻“科学防治、精准施策”方针,保障医学设备的安全有效使用,在文献评阅基础上,讨论NCP防控中医学设备维修与使用的生物安全技术。

1 维护和维修医学设备的生物安全

医护人员在治疗NCP患者时所面临的风险已受到明确关注,但从事医学设备维护或维修的人员同样承担着风险。根据主要相关技术流程,分析风险因素,讨论必要的生物安全措施。

1.1 进入NCP病区

如果必需进入病区,要参照对医护人员的防护指南^[9],采取把风险降至最低适当的防护措施是重要

的。美国疾病控制和预防中心要求除眼部防护外,还应视情穿戴符合标准的可防护接触和空气传播的个人防护设备,如防护服、手套和N95呼吸器等,且N95呼吸器必须经过测试^[10]。取下呼吸器和手套后,要遵照手部卫生要求洗手、用洗手液消毒^[11-12]。即使患者不在病区内,在进入前也要对病区完成消毒灭菌程序,消除空气中的污染物后方可进入。

1.2 设备外表的清洁与消毒

在维护和维修设备之前,要对设备外部进行了清洁和消毒,以消除源自设备外表面的风险。

1.3 设备内表的风险与安全处理

如果设备内部暴露在病区空气中,如由冷却风扇吸入设备的空气等,则可能存在感染风险。病毒、细菌可能沉积在设备的内表面上,并且这些表面不会有其他人员进行定期清洁,也不易在维修前进行清消。

△共同第一作者:董放; *共同通信作者:李志勇

*基金项目:国家重点研发计划(2018YFC0114501)“面向贫困地区的远程、移动、智慧医疗一体化服务联合体数字诊疗装备配置解决方案研究”; 国家药品监督管理局药品评价中心委托课题(20186X002)“医疗器械不良事件术语数据索引模版系统研究”

①中国医学装备协会 北京 100086

②中国医科大学药学院 辽宁 沈阳 110122

③国家药品监督管理局药品评价中心医疗器械监测和评价二部 北京 100022

*通信作者: zscui@mail.cmu.edu.cn; 13811113632@163.com

作者简介:崔泽实,男,(1954-),教授,研究方向:卫生(装备)技术评估、实验医学研究;董放,男,(1966-),硕士,高级工程师,研究方向:医疗器械不良事件监测与评价。



多数带冷却风扇的设备内部都会有些发热,并有循环空气,这有助于干燥颗粒物,并大大缩短病毒的传染性持续时间,随着时间的推移,有生命体进入设备继续存活的可能性很低。但仍建议应谨慎行事,注意以下事项,并采取防护措施:

(1)避免接触传播。如果维修人员触摸到设备内部的污染表面,杜绝揉眼睛,碰鼻、嘴等身体部位;

(2)尽可能清洁和消毒所有表面。必要时可使用带有高效微粒空气滤器(high efficiency particulate air filter, HEPA filter)的真空吸尘器等工具。

(3)飞溅物或气溶胶暴露。如果维修人员在清洁或维修过程中扰乱了一些灰尘或触动了某些颗粒物,如在打开部件或碎片或在喷涂润滑剂时可能会传递动能,造成飞溅物或气溶胶暴露。为防止此类事件发生,需要在上述预防措施的基础上,增加手术面罩和护目镜等眼部保护措施提供足够的保护,以防止污染微粒落入眼睛。

在罕见情况下,污染性可吸入微粒可能小到足以到达肺部,外科口罩则不能起到防护作用。针对性的措施是要求维修人员佩戴呼吸保护装置,如N95呼吸器,佩戴方法要遵循有关要求^[13-15]。

1.4 高风险设备表面

高风险设备表面,系指与患者的呼吸或其他分泌物接触而不能被轻易消毒的表面,病毒仍然存活的可能性更大^[13]。这些表面包括:

(1)呼吸机呼吸回路。包括呼吸机附件和呼吸机内呼吸回路的任何部分、吸引装置,或暴露于患者呼出的呼吸和分泌物的任何其他装置。

(2)HEPA滤器。HEPA滤器安装在某些设备(如呼吸机呼吸管路等处)、室内送排风系统、便携移动式高效过滤空气净化器(mobile high-efficiency-filter air cleaners, MHEFAC),用于控制室内空间或某处气体腔隙的空气污染,其必然会沾染传染性粒子。

(3)放置在病床上的任何手持物品或其他物品。包括呼叫护士器按钮、电视机遥控器、枕头扬声器、无创血压袖带和遥测发射器等。

(4)最大的风险是暴露在患者分泌物中的设备内表面。如,无法消毒的呼吸回路,患者躺在床上操纵护

士呼叫器,可能使其暴露在尿液等体液中(尽管尚不能确定通过患者呼吸道以外的体液传播新型冠状病毒肺炎的可能性)。

设备维修人员打开并清除一些仍然潮湿的污染物时,可能会产生气溶胶。故在此类表面上进行维修操作时要谨慎采取呼吸保护等措施。

1.5 选择呼吸防护装备的建议

原则上,要根据所处工作环境生物安全情况,按照标准进行评估,选配相应的防护。

当需要呼吸防护从感染患者传播给其他人员时,最常用的是N95呼吸器。其材料设计在规定的试验条件下可阻挡95%直径为0.3 μm的颗粒。需注意的问题,①防护效果取决于与佩戴者的面部是否吻合适宜,在首次使用前,必须对面罩进行适宜性测试,验证密封性;②佩戴者必须接受正确使用的培训,口罩增加了呼吸力,佩戴的时间较长可能会感到不舒服。

使用N99或N100呼吸器面罩可获得更高级别的保护。但事实上过滤面罩式(N95、N99和N100呼吸器),其面对面罩的密封失效率均为10%^[13]。如果需要更大的保护,可以使用更适合长期穿戴的松动固定式有源气体净化呼吸器(powered air-purifying respirator, PAPR)^[15]。

外科口罩主要用于防护飞溅物,不能提供足够的呼吸保护,且不能替代N95呼吸器。建议患者应佩戴外科口罩,以尽量减少飞沫在房间内传播。

防护设备佩戴不正确或长期佩戴会产生某些器械相关压力性损伤(device related pressure injuries, DRPI)表现,建议尽可能采取可借鉴的DRPI防护措施^[16]。

1.6 具体步骤的防护

在维护和维修已使用过或与患有或怀疑患有NCP患者位于同一病房的设备时,建议首先要了解当前有关NCP防控的有关信息及专家经验,掌握感染控制程序。

(1)尽量减少设备对NCP的暴露。NCP患者进入房间之前,要移除任何不必要的设备。使用呼吸回路过滤器保护呼气阀和其他呼吸机部件免受污染^[17]。在可能的情况下,为NCP患者使用一次性器械或附件。

(2)遵守手卫生规范。必须经常用肥皂和水彻底洗手。如果手没有明显弄脏,也不能立即使用洗手液

施,可以使用酒精洗手液。避免用戴着手套的手触摸房间内不涉及设备维修的其他表面(如门把手、电话、测试设备、计算机终端、键盘、手册等)。在没有脱下所有的防护服并洗手前,更不能吃、喝、嚼口香糖、吸烟或应用化妆品。

(3)采取合格的去污染和运输措施。①如果必须将设备转运出病区,要由相应的专业人员进行清洁和消毒后才能转运;并要确认整个设备的外部(包括设备的背面和底部)是否完成清消。②如果有设备或设备部件必须移至病区外进行清洁和消毒,则应遵守医院有关运输受污染设备的制度要求,在运输前将其装袋以控制污染,在设备上贴上标签并表明污染的性质。③暴露于患者呼吸、分泌物或体液的一次性部件(如呼吸回路),应在设备从房间中移出之前由专业人员处理掉;维修需要时,应使用新的一次性或洁净的可重复使用的附件。

(4)选择适当的工作区域。有条件情况下,应在指定区域内进行设备维修操作。该区域不应靠近任何患者治疗区域、食品准备或储存区域、药品区域或其他清洁区域,远离员工通道;工作表面应能承受去污染处理,应由木材以外的无孔材质制成。但要注意,不要在金属表面进行电气设备维修操作,以避免触电的风险。限制工作区域内堆放杂物,以利于清洁和消毒。有报道认为在维修区域不需要特殊的通风(如使用高换气率或将空气排到外部),即使是维修患者使用过的设备,但必要时则可以使用MHEFAC。MHEFAC不会清除有毒蒸汽,如消毒剂和溶剂,所以应避免在此环境中使用^[13]。

(5)穿戴合适的防护装备。对在任何未经清洁和消毒的高风险表面工作的人员,建议使用的个人防护装备(personal protective equipment, PPE)^[9,18]是:手套,呼吸保护的N95呼吸器,防护服、围裙或实验室外套,眼睛保护的护目镜或面罩(眼镜保护性不足)。这些PPE将有助于保护皮肤、眼睛和嘴,也有助于防止用手触摸眼睛、鼻子和嘴巴。

当维修那些仅暴露在室内空气中的设备时,某些机构可能会选择外科口罩而不是呼吸防护。然而,并非所有专家都同意这种方法,医院出于谨慎考虑还是要使用呼吸器。如果使用呼吸防护装置,所要佩戴的

N95、N99、N100呼吸器或PAPR,一定要选用符合标准品,完成特定规格和型号的测试,经过呼吸器的使用、限制和维护培训。如果使用可重复使用的呼吸器,每次使用后必须按照制造商说明书要求进行清洁和消毒。取下PPE后,应立即完成洗手流程。

(6)开始工作前。先要确认①一次性附件是否已取下并处理,如果没有,先卸下这些附件并按要求处理;②设备的外表面(包括底部和背面)是否进行了合格的清洁与消毒,如果没有,要立即对这些表面进行消毒。如果在短期内不使用此设备,建议在维修之前留出一定时间(几小时到过夜)让病毒死亡(大多数病毒会随着时间而死亡,特别是在水分蒸发后),但不意味着可替代清洁消毒等感染控制程序。

如果设备内部有灰尘,在拆卸和进行设备内部操作之前,在获得足够的通路后,可使用装有HEPA滤器的真空吸尘器清除灰尘。切勿在设备上吹气或使用压缩空气清除灰尘微粒,这可能会使感染性物质再气融化或再悬浮。

(7)完成维修后的清理。完成维修后,要对工作区域进行清洁和消毒处理。对必须退回供应商或送出维修的任何受污染设备或部件,要进行清洁和消毒,并遵循生物安全要求包装转运。消毒要使用合格的医院用消毒剂。

2 医学设备使用相关的生物安全

以呼吸机为例,讨论与呼吸机械通气支持设备相关的生物安全,以及生物安全柜、离心机等临床实验室设备的安全使用。

2.1 呼吸机

治疗NCP继发的低氧血呼吸衰竭以及呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)有时需要机械通气。感染控制方面所担忧的是NCP病毒可能会由呼吸道中的液滴携带,从呼吸机的呼出端泄出^[2,17-18]。

2.1.1 安全风险分析

(1)呼吸管路。病毒可能以雾滴或气溶胶形式随患者的呼出的气排出呼吸机,酿成病区内感染性污染,特别是在使用高频振荡通气(high-frequency oscillatory ventilation, HFOV)的情形下。



(2)压力传感器污染。多数呼吸机内部安装有压力传感器,通过一根采样管路对呼吸回路中的压力进行采样。由于无法接近传感器进行清洁和消毒,因此必须防止其污染。

(3)呼吸机不良反应。呼吸机呼吸回路中的任何新安装部件都可能带来新的风险。过滤器中积水会导致呼气阻力增加或阻塞,降低通气效果,甚至引发气胸。也存在呼吸回路元件错误连接或断开的可能。

2.1.2 风险控制方案

对应上述风险的控制方案是:

(1)安装呼吸回路过滤器(breathing-circuit filters)。如果医院已经在呼吸机呼吸回路的呼出端安装了常规使用的气体过滤器,在没有条件验证常规用过滤器是否能有效防控NCP病毒传播或认定此过滤器不能提供足够保护的情况下,谨慎的措施是建议使用特定的HEPA滤器^[19-20],安装在现有常规过滤器和呼气阀的上流端。对于重症监护用呼吸机,过滤器通常应连接在呼出端侧管道的末端和呼吸机之间,以防止污染呼气阀和其他位于呼吸机内的可重复使用部件。作为替代方案,对细菌和病毒过滤效率为99.97%或更高的呼吸回路过滤器将提供等于或优于HEPA过滤器的防护效果。但在选用前,应检查过滤器与管路的配合情况,以确认此过滤器不会增加呼吸管路断开、错误连接或阻塞的风险。

(2)一般情况下,位于呼气管路和呼吸机之间连接处的呼吸回路过滤器将可起到防止传感器污染的作用。但如果呼吸回路压力传感器管路是连接到患者Y形管,则要确保在Y形管和呼吸机之间的压力传感器管路中使用HEPA滤器(或更好的滤器),还需避免湿气不会产生反压或阻塞而干扰压力传感。

(3)制定使用呼吸回路过滤器的技术规范。对呼吸治疗、护理和其他与呼吸机使用、维护等相关的人员提供培训,技术规范与培训的内容应包括:①根据生产厂规定定期更换过滤器(通常为24 h),并标记安装在呼吸回路中的日期和时间;②检查过滤器是否安装正确、牢固,不会造成呼吸回路任何部分断开的风险,或组件连接错误;③要在执行手动使用前检查和自动呼吸机呼吸回路顺应性符合性测试之前安装过滤器;④遵循制造商的建议和医院规定排水收集器(积

水杯),以最大限度地降低感染风险,同时确保积水杯不会溢出到过滤器。⑤在处理和处置污染的过滤器时要格外注意。⑥在机械通气过程中,注意监测有无阻塞或呼气阻力增加的迹象,方法是在显示器上观察呼气峰流量和呼气的持续时间和斜率,如果没有波形显示,也可在保持呼气动作期间检查呼气压力;⑦如果可能,还可考虑使用装有加热丝管路或热/湿交换器(heat/moisture exchanger, HME),以尽量减少呼吸回路中的水分,从而减少过滤器上的水分负载。

要根据需要更新呼吸机工作表,至少要记录过滤器更换以及高阻抗检查情况。

重要的是要贯彻有备在先的原则,获得符合要求的过滤器,并确保能熟知性能并正确使用。反之,一旦有患者需要机械通气治疗时,可能没有足够的时间来实施所需的措施。可能会不必要地增加人员暴露病毒的风险,或使患者面临不正确的过滤器应用和维护的风险。

2.1.3 环境风险控制

可能产生传染性气溶胶的医疗程序还包括雾化药物治疗、痰诱导诊断、支气管镜检查;气道吸引、气管插管、通过面罩(如BiPAP、CPAP)进行正压通气(空气可能被挤出面罩)以及HFOV^[2,17-19]。医院应加强环境风险评估,制定防护医护及相关人员免于潜在气溶胶感染风险的措施。

2.2 生物安全柜

生物安全柜或称生物安全操作台(biological safety cabinet, BSC),是用于保护操作者、实验材料免受暴露于感染性气溶胶以及当操作含有传染性实验材料时可能产生的溅污物所带来危害的装置,是临床实验室生物安全装备的核心仪器。但如果安装、操作、维护不当,也会带来附加的安全风险^[21]。

2.2.1 安全风险分析

BSC风险主要源于:

(1)BSC安装定位不合理。较脆弱的前风屏气流易受到外界环境气流干扰,其他人员在操作者身后频繁走动也会带来此问题;

(2)频繁通过BSC前开窗气屏。扰乱气流,破坏气屏障的稳定性,影响防护效果;

(3)器材放置不当。放置的器材或样本容器阻挡空气循环通路；

(4)监测、维护问题。没有坚持时常监测风速、压力等BSC安全运行指标，未能及时更换HEPA滤器。

2.2.2 风险控制方案

(1)安装定位。远离通道和有潜在干扰气流的位置，BSC两侧和后方应保留有30 cm的空间距离以便于维护，上方也需要有30~35 cm的空间，以能够精确的测量通过排气滤器的气体速度，并便于更换排气滤器；其他人员不要靠近BSC处走动，开门或关门，不要临近使用正负压气体供应装置，避免这些因素所产生的气流影响BSC风屏效能；

(2)规范操作。尽量减少通过前开窗次数，操作者双臂在进出BSC时要注意维持气流的稳定性；手臂垂直于前开口，动作务必缓慢，且要在手臂放入BSC后静置1 min后方可开始操作，以允许BSC内气流调整，同时对手臂表面进行气体清扫。

(3)合理放置器材。在开始操作前，可预放好必要的内置器械和材料，但不要阻挡BSC内空气循环通路；应尽量远离柜体，面朝工作面的后侧缘，但不能阻塞后侧通风栅格；可产生气溶胶的仪器(如混合器、离心机等)应放在BSC的后侧；消毒过的散装物品，如生物危害品袋、移液器架(盘)、吸引收集瓶等应放在柜内一侧，不能放在BSC的外面。工作流程应是从清洁区域通过工作面再向污染区域。

(4)规范操作与维护。操作的关键是维持BSC正常运行，防止发生传染物溢漏；①BSC风机在开始工作前及完成工作后至少要运转5 min，以进行柜内“清洗”；②在BSC处于使用状态时，不能打开玻璃观察板；③应避免在BSC内使用火焰(如煤气灯)，因其能扰乱气流。④定期检查BSC的生物安全性能。常规检查HEPA滤器泄漏、下向风流速度、压力、报警等状况，也应当选择性地对漏电、照明光、紫外光强度、噪音水平和振动情况进行测试。根据监测指标提示，适时更换HEPA滤器和进行维护。

2.3 离心机

2.3.1 安全风险分析

可能造成危害的主要因素是气溶胶、飞溅物和离

心管泄漏，在离心过程中会释放出高速运动的气溶胶颗粒。

2.3.2 风险控制方案

(1)性能符合生物安全要求。为适合生物安全需要，离心机应具备良好的性能；

(2)离心附件安全密闭。①采用封闭式的吊桶、离心容器(瓶、管)和转头^[22]，固定角转头要加盖离心，用前要检查密封圈是否完好；②水平转头最好选用风屏密闭式的；③装有真空泵的离心机(如超速离心机)，要在两者之间的通路上安装HEPA滤器，并要建立完整的转头运行记录制度和预防性维护程序^[23]。

(3)合理定位。有条件的情况下，离心机应安放在低于操作者能看到离心舱的高度位置，以便能够准确地安装转头和离心吊桶；

(4)在BSC中装卸离心吊桶和离心管。必须坚持此项操作，且在离心后至少要静止30 min方可开盖；

(5)严格执行重量配平。①在进行高速离心操作时，要避免采用容量配平方法；②按照制造厂说明书要求，控制离心管的装液量；当使用角转头时，更需注意离心管不能超负荷装样，以防发生渗漏；

(6)日常检查。①要检查离心舱内壁有否污渍或锈斑，特别是对转头水平处；如果发现，应及时做除污染处理，并对离心方法作重新评估；②检查离心机的转头和吊桶有否锈蚀和裂痕。

3 结论

安全、规范及有效的运用医学装备临床技术、维修工程技术，是NCP疫情防控工作的重要技术保障。因此，需要掌握必要的生物安全技术，在进入现场、维护污染或疑似污染设备、处理维修器件、转运设备及部件、检测、使用操作等环节，应严格遵守相关技术规范，强化患者安全文化与医学装备安全文化意识^[24]。谨籍此文能为战斗在疫情防控一线的医疗卫生机构、生产经销企业等领域的医学装备工程技术人员乃至相关设备的操作者们参考、助力。

致谢：在本文的文献采集过程中，美国急救医学研究所(Emergency Care Research Institute, ECRI)提供了有关文献全文，在此感谢。



参考文献

- [1] Esquinas AM, Egbert Pravinkumar S, Scala R, et al. Noninvasive mechanical ventilation in high-risk pulmonary infections: a clinical review[J]. *Eur Respir Rev*, 2014, 23(134): 427-438.
- [2] Simonds AK, Hanak A, Chatwin M, et al. Evaluation of droplet dispersion during non-invasive ventilation, oxygen therapy, nebuliser treatment and chest physiotherapy in clinical practice: implications for management of pandemic influenza and other airborne infections[J]. *Health Technol Assess*, 2010, 14(46): 131-172.
- [3] 陈建平, 梅桂萍, 黄文杰, 等. 试论非典期间医疗器械使用与维护管理要点[J]. *医疗卫生装备*, 2003, 23(7): 26.
- [4] 汤惠琼, 苏玉英, 张丽随. 严重急性呼吸综合征机械通气的防护[J]. *广东医学*, 2005, 26(11): 1597-1598.
- [5] 范关荣, 陈宗南, 姜彪, 等. 呼吸机呼气滤器的研制及防护效果评价[J]. *上海生物医学工程*, 2004, 25(4): 15-18.
- [6] 苏秀娜, 周玮芳. COPD呼吸衰竭患者呼吸机相关性肺炎因素分析与防护对策[J]. *护理实践与研究*, 2019, 16(24): 27-29.
- [7] 国家卫生健康委员会. 关于印发新型冠状病毒实验室生物安全指南(第二版)的通知: 国卫办科教函〔2020〕70号[EB/OL]. (2020-01-23)[2020-01-30]. <http://www.nhc.gov.cn/qijys/s7948/202001/0909555408d842a58828611dde2e6a26.shtml>.
- [8] 国家卫生健康委员会. 国家卫生健康委关于新型冠状病毒肺炎暂命名事宜的通知: 国卫医函〔2020〕42号[EB/OL]. (2020-02-08)[2020-02-08]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202002/18c1bb43965a4492907957875de02ae7.shtml>.
- [9] 国家卫生健康委员会. 关于印发医疗机构内新型冠状病毒感染预防与控制技术指南(第一版)的通知: 国卫办医函〔2020〕65号[EB/OL]. (2020-01-23)[2020-01-29]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7659/202001/b91fdab7c304431eb082d67847d27e14.shtml>.
- [10] CDC. Interim domestic guidance on the use of respirators to prevent transmission of SARS [EB/OL]. (2003-05-06)[2020-02-04]. <http://www.cdc.gov/ncidod/sars/respirators.htm>.
- [11] WHO. Five moments for hand hygiene[OB/OL]. (2006-10-00)[2020-01-29]. https://www.who.int/gpsc/tools/5momentsHandHygiene_A3.pdf?ua=1.
- [12] WHO. A Guide to the Implementation of the WHO Multimodal Hand Hygiene Improvement Strategy[EB/OL]. (2009-02-00)[2020-01-29]. https://www.who.int/gpsc/5may/tools/WHO_IER_PSP_2009.02_eng.pdf?ua=1.
- [13] ECRI. Protecting against SARS during equipment maintenance[J]. *Health Devices*, 2003, 32(6): 213-219.
- [14] WHO. Occupational safety and health in public health emergencies: A manual for protecting health workers and responders [EB/OL]. (2018-10-00)[2020-02-06]. <http://www.who.org>. www.who.org.
- [15] CDC NIOSH. A Guide to Air-Purifying Respirators[EB/OL]. (2018-08-16)[2020-02-10]. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-176/>.
- [16] 陈佳丽, 宁宁, 蒋艳, 等. 新型冠状病毒疫情下医护人员器械相关压力性损伤防护华西紧急推荐[J/OL]. *中国修复重建外科杂志*: 1-5[2020-02-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1372.R.20200207.0954.002.html>.
- [17] ECRI. Mechanical ventilation of SARS patients. Safety issues involving breathing-circuit filters[J]. *Health Devices*, 2003, 32(6): 220-222.
- [18] WHO. Clinical management of severe acute respiratory infection when novel coronavirus (2019-nCoV) infection is suspected. Interim guidance[EB/OL]. (2020-01-28)[2020-02-04]. <http://www.who.org>. www.who.org.
- [19] CDC. Interim domestic infection control precautions for aerosol-generating procedures on patients with severe acute respiratory syndrome (SARS) [EB/OL]. (2003-05-20)[2020-02-08]. <http://www.cdc.gov/ncidod/sars/aerosolinfectioncontrol.htm>.
- [20] Safdar N, Crnich CJ, Maki DG. The pathogenesis of ventilator-associated pneumonia: its relevance to developing effective strategies for prevention[J]. *Respir Care*, 2005, 50(6): 725-739.
- [21] WHO. Laboratory biosafety manual, third edition. Geneva[EB/OL]. (2004-11-00)[2006-04-12] <http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/>.
- [22] Gilbert GL. Laboratory testing in management of patients with suspected Ebola virus disease: infection control and safety[J]. *Pathology*, 2015, 47(5): 400-402.
- [23] 李臣, 赵晨晖. 实验室安全管理的几点思考[J]. *国际检验医学杂志*, 2011, 32(18): 2163.
- [24] 李志勇, 李鹏伟, 曾凯, 等. 倡导安全文化建设促进医学装备安全有效使用[J]. *中国医学装备*, 2019, 16(10): 138-144.

收稿日期: 2020-02-10