Original Article

Iran Occupational Health

http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health. 2020 (20 Dec);17: Special Issue: Covid-19.

Assessment of SARS-CoV-2 in air and surfaces of ICU ward in one of the designated hospitals in Tehran

Seyed Mohammad Seyedmehdi, Assistant Professor, Chronic Respiratory Diseases Research Center, National Research Institute of Tuberculosis and Lung Diseases, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Seyed Alireza Nadji, Professor of Virology Virology Research Center, National Research Institute of Tuberculosis and Lung Diseases, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Hamzeh Mohammadi, PhD Candidate, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Somayeh Farhang Dehghan, (*Corresponding author), Assistant Professor, Workplace Health Promotion Research Center, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. somayeh.farhang@gmail.com
Mohammad Hossein Vaziri, Assistant Professor, Workplace Health Promotion Research Center, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Hamidreza Jamaati, Professor of Medicine, Chronic Respiratory Diseases Research Center, National Research Institute of Tuberculosis and Lung Diseases, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mousa Jabbari, Associate Professor, Workplace Health Promotion Research Center, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mohammad Varahram, Assistant Professor Mycobacteriology Research Center, National Research Institute of Tuberculosis and Lung Diseases, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Sirvan Zareei, MSc Student, Departmentof Health, Safety and Environment (HSE), Young Researchers and Elites Club, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and aims: Over the past year, millions of people around the world have infected with the COVID-19 virus. The SARS-CoV-2 replicates efficiently in the human upper respiratory tract. Infected people produce large amounts of the virus in their upper respiratory tract during an introductory period, which leads to more spread of the virus to other people. The World Health Organization (WHO) has suggested that acute respiratory syndrome SARS-CoV-2 is transmitted through person-to-person transmission and contact with contaminated surfaces. However, the rapid spread of the disease suggests that other routes, such as airborne transmission, may play a role. Several research studies have been performed to evaluate the possible transmission of the virus through the air. Although some studies have found no evidence of airborne transmission, recent work has confirmed the presence of SARS-CoV-2 even in public places. Experience and knowledge of the mechanism of similar viruses such as SARS-CoV also support this hypothesis. During COVID-19 pandemic, while the hospitals can be one of the most important centers in providing health care services, due to the inappropriate air ventilation and purification system, high traffic of people; some of them have been introduced themselves as one of the most high-risk sources of SARS-CoV-2 transmission. The present study aimed to assess the SARS-CoV-2 in the air and surfaces of ICU ward in one of the designated hospitals in Tehran. So that, in addition to determining the possibility of inhalation and contact exposure in ICU, which is the main ward for presenting special medical care to patients with severe acute respiratory infections, it aimed to assess a hypothesis of SARS-CoV-2 airborne transmission.

Keywords

SARS-CoV-2,

Airborne transmission,

Sampling,

ICU ward

Received: 2020-06-01

Accepted : 2020-11-30

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

Methods: This cross-sectional experimental study was performed on April 29, 2020 in the Covid-19 ICU ward in one of the designated hospitals, Tehran, Iran. The area of ward was 50 m^2 and has seven beds, all of which were occupied at the time of sampling, and five medical staff were involving there. All patients were equipped with oxygen masks and all the staff used all conventional personal protective equipment such as Honeywell-75FFP100NL respirators. On average, surface disinfection was performed three times a day. The general ventilation system included the ceiling diffuser to supply fresh air into the room and wall-mounted exhaust vent and did not use natural ventilation (such as opening the window). It should be noted that the exhaust system did not work well at the time of sampling. This study was carried out in two phases including surface and air sampling. Impinger method was applied to air sampling. Thus, at a distance of 1.5 to 1.8 meters from the ground, the air of the ICU ward was passed through a sampling pump with an flow rate of 1.5 l/min into the porous midget impeller-30 ml containing 15 ml of virus transmission medium (PVTM) for 45 minutes. To reverse the presence of SARS-CoV-2 in air samples, the reverse polymerase chain reaction (RT-PCR) reaction method was used. Sampling of surfaces was done with the help of swabs impregnated with the solution of the Viral Transport Medium from a certain area (25 cm^2) from the desired part and putting it inside the vial containing the transfer medium (protein stabilizer, antibiotic and buffer solution). They are also were analyzed by RT-PCR technique. Prior to sampling, all laboratory equipment used was sterilized and autoclaved using a 70٪ alcohol solution according to the US Centers for Disease Control and Prevention (CDC) protocol. The air sampling was done at a distance of 1.5 to 2 meters from the patient's bed. The devices used to measure temperature, humidity and air velocity were multi-purpose anemometer (China BENETE, GM8910,) and air pressure, digital barometer (AIRFLOW, DB2, USA). The mean parameters of weather conditions included: air temperature 24 ° C, humidity 35٪, air pressure 1005 mb and air velocity of 0.09 m / s.

Results: Of the ten air samples, 6 were positive (60٪), with the highest RNA concentrations observed at the point between beds 6 and 7 (3913 copies per ml). Most of the reported negative air samples were from the middle of the ward, which was further away from the patients' beds. The mean RNA concentration of the virus was obtained 820 ± 2601 copies per milliliter. In addition, of ten samples taken from different surfaces of the ward, 4 samples were positive (40٪) and the highest concentration (8318 copies per ml) was related to the table next to bed number 3. All positive samples were observed close to the patient's bed, and the mean RNA concentration of the virus was 3227 ± 3674 copies per milliliter.

Conclusion: The results of the study indicated that the virus was present in the inhaled air of the ward and its surfaces, especially in areas close to the bed of patients. These findings underscore the airborne transmission of the virus along with other ways of transmission, such as person-to-person contact and contact with contaminated surfaces. Due to the environmental pollution of the studied ICU ward to the SARS-CoV-2 virus, the effective implementation of air isolation methods such as the use of respiratory protection equipment (N95 mask) and powered air-purifying respirator as well as ensuring the correct function of hospital ventilation systems and improving it, is essential for the protection of health care staff. Health care workers need to be continuously monitored and screened from a COVID-19 perspective, and infection prevention and control protocols (IPCs), such as respiratory protection, regular cleaning of

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

the environment, and effective disinfection of areas have been implemented. In the case of the virus, the spread of the disease through both direct methods (drops and person-to-person) as well as indirect contact (contaminated objects and airborne transmission) has almost been proven, which reaffirms the need for precautionary measures regarding airborne isolation against the virus. It has been suggested that in order to more accurately assess the transmission behavior of the virus, similar studies but longitudinal ones have been done from the admission to discharge of the patients in different wards of the hospitals. Moreover, the role of natural and mechanical ventilation systems more comprehensively examined in the presence of airborne virus.

Conflicts of interest: None

Funding: Workplace Health Promotion Research Center, Chronic Respiratory Diseases Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences.

How to cite this article:
Seyed Mohammad Seyedmehdi, Seyed Alireza Nadji, Hamzeh Mohammadi,Somayeh Farhang Dehghan, Mohammad Hossein Vaziri, Hamidreza Jamaati, Mousa Jabbari, Mohammad Varahram, Sirvan Zareei. Assessment of SARS-CoV-2 in air and surfaces of ICU ward in one of the designated hospitals in Tehran. Iran Occupational Health. 2020 (20 Dec);17: Special Issue: Covid-19.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۱۳۹۹/ ویژه نامه: کووید-۱۹

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی SARS-CoV-2 در هوا و سطوح بخش ICU یکی از بیمارستان‌های معین شهر تهران

سیدمحمد سیدمهدی: استادیار، مرکز تحقیقات بیماری‌های مزمن تنفسی، پژوهشکدهٔ سل و بیماری‌های ریوی، بیمارستان مسیح دانشوری ، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
سیدعلیرضا ناجی: استاد، مرکز تحقیقات ویروس شناسی، پژوهشکدهٔ سل و بیماری‌های ریوی، بیمارستان مسیح دانشوری، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران .
حمزه محمدی: دانشجوی دکتری، گروه بهداشت حرفه‌ای ، دانشکدهٔ بهداشت ، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران .
سمیه فرهنگ‌دهقان: (* نویسنده مسئول) استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت محیط کار، دانشکدهٔ بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران . somayeh.farhang@gmail.com
محمد حسین‌وزیری: استادیار، گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت محیط کار، دانشکدهٔ بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
حمیدرضا جماعتی: استاد، مرکز تحقیقات بیماری‌های مزمن تنفسی، پژوهشکدهٔ سل و بیماری‌های ریوی، بیمارستان مسیح دانشوری ، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
موسی جباری قره‌باغ: دانشیار، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت محیط کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
محمد ورهرام: استادیار، مرکز تحقیقات مایکوباکتریولوژی، پژوهشکدهٔ سل و بیماری‌های ریوی، بیمارستان مسیح دانشوری ، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
سیروان زارعی: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: درحالی که بیمارستان‌ها یکی از نهادهای مهم در ارائهٔ خدمات بهداشتی ـ درمانی محسوب می‌شوند، این روزها به‌علت نبود سیستم تبادل و تصفیهٔ هوا کافی، میزان تهویه کم و تردد بیش‌ازاندازهٔ افراد، به یکی از کانون‌های خطر انتقال ویروس SARS-CoV-2 تبدیل شده‌اند. مطالعهٔ حاضر به ارزیابی حضورSARS-CoV-2 در هوا و سطوح بخش ICU در یکی از مهم‌ترین بیمارستان‌های معین در شهر تهران می‌پردازد تا از این طریق علاوه‌بر مشخص شدن امکان مواجههٔ استنشاقی و تماسی افراد در بخش ICU که اصلی‌ترین مرکز ارائهٔ خدمات درمانی ویژه به بیماران با عفونت شدید حاد تنفسی محسوب می‌شود، به بررسی فرضیهٔ انتقال هوابرد SARS-CoV-2 نیز پرداخته باشد.

روش بررسی: به‌منظور نمونه‌برداری از هوای بخش، از روش ایمپینجر استفاده شد؛ به این ترتیب که در فاصلهٔ ۱/۵ تا ۱/۸متری از سطح زمین، هوای بخش از طریق یک پمپ نمونه‌برداری با نرخ هواگذر ۱/۵ لیتر بر دقیقه به داخل ایمپینجر متخلخل- ml۳۰ حاوی ۱۵ میلی‌لیتر محیط انتقال ویروس، پاستوویرال ترانسپورت مدیوم (PVTM)، به مدت ۴۵ دقیقه عبور داده شد. برای تشخیص حضور SARS-CoV-2 در نمونه‌های هوا، از روش واکنش زنجیره‌ای پلیمراز رونویسی معکوس (RT-PCR) استفاده گردید. نمونه‌برداری از سطوح قسمت‌های مختلف بخش با کمک سواپ آغشته به محلول محیط انتقال (Viral Transport Medium) از یک سطح مشخص (۲۵ cm^2) از محل‌های مورد نظر صورت گرفت و نمونه‌ها داخل ویال حاوی محیط انتقال (تثبیت‌کنندهٔ پروتئین، آنتی‌بیوتیک و محلول بافر) قرار گرفتند و از طریق روش RT-PCR آنالیز شدند.

یافته ها: از ۱۰ نمونهٔ جمع‌آوری‌شده از هوای اتاق، ۶ عدد آن مثبت (۶۰٪) بود که بیشترین غلظت RNA، ۳۹۱۳ کپی در میلی‌لیتر ثبت شد. اکثر نمونه‌های منفی اعلام‌شده مربوط به هوای عمومی وسط اتاق بودکه فاصله بیشتری از تخت‌های بیماران داشتند. میانگین غلظت RNA ویروس در هوای اتاق مورد بررسی ۸۲۰ ± ۲۶۰۱ کپی بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. همچنین از ۱۰ نمونهٔ تهیه‌شده از سطوح مختلف اتاق، ۴ نمونه آن (۴۰٪) مثبت بود که بالاترین غلظت، ۸۳۱۸ کپی بر میلی‌لیتر تعیین گردید. تمام نمونه‌های مثبت در کنار تخت بیماران مشاهده شد و میانگین غلظت RNA ویروس در سطوح مورد بررسی ۳۲۲۷ ± ۳۶۷۴ کپی بر میلی‌لیتر گزارش گردید.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه حاکی از حضور این ویروس در هوای و سطوح بخش ICU به‌خصوص محل‌های نزدیک تخت بیماران مبتلا بود. این یافته‌ها بر راه انتقال هوابرد این ویروس در کنار سایر طرق انتقال، مانند تماس فرد به فرد و تماس با سطوح آلوده، تأکید می‌کند. با توجه به آلودگی محیط بخش ICU مورد مطالعه به ویروس SARS-CoV-2، اجرای مؤثر روش‌های ایزولاسیون هوایی مانند استفاده از تجهیزات حفاظت تنفسی (ماسک N95) و ماسک‌های الکتریکی تصفیه‌کنندهٔ هوا و همچنین اطمینان از صحت عملکرد سیستم‌های تهویهٔ بیمارستانی و بهبود آن جهت حفاظت از کارکنان مراقبت‌های بهداشتی کاملاً ضروری است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.
منبع حمایت کننده: مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت محیط کار، مرکز تحقیقات بیماری‌های مزمن تنفسی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

کلیدواژه‌ها

ویروس SARS-CoV-2،

انتقال هوابرد،

نمونه‌برداری،

بخش ICU

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰

شیوه استناد به این مقاله:

Seyed Mohammad Seyedmehdi, Seyed Alireza Nadji, Hamzeh Mohammadi,Somayeh Farhang Dehghan, Mohammad Hossein Vaziri, Hamidreza Jamaati, Mousa Jabbari, Mohammad Varahram, Sirvan Zareei. Assessment of SARS-CoV-2 in air and surfaces of ICU ward in one of the designated hospitals in Tehran. Iran Occupational Health. 2020 (20 Dec);17: Special Issue: Covid-19.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

مقدمه

در ۲۹ دسامبر ۲۰۱۹، پزشکان بیمارستانی واقع در شهر ووهان چین متوجه موارد غیرمعمولی از بیماران مبتلا به ذات‌الریه شدند. (۱) بررسی‌های بعدی نشان داد منشأ این بیماری از بازار غذاهای دریایی، طیور و حیوانات زنده واقع در شهر ووهان واقع در استان هوبای در مرکز چین بوده است. (۲) پس از افزایش موارد ابتلا و گسترش جهانی این ویروس، سازمان جهانی بهداشت (WHO) در تاریخ ۳۰ ژانویه ۲۰۲۰ با انتشار بیانیه‌ای، شیوع کروناویروس جدید را ششمین عامل وضعیت اضطراری بهداشت عمومی در سرتاسر جهان اعلام نمود که تهدیدی نه‌فقط برای چین، بلکه برای تمام کشورها به‌شمار می‌رفت. (۳) سازمان جهانی بهداشت در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۲۰، نام رسمی را برای بیماری ویروس جدید کرونا تحت عنوان کووید ۱۹ (COVID-19) انتخاب نمود و کمیتهٔ بین‌المللی طبقه‌بندی ویروس‌ها[1] (ICTV) نیز در همین روز، نام ویروس ایجادکننده این بیماری را از 2019-nCoV به SARS-CoV-2 تغییر داد. (۴)

ویروس COVID-19 یک ویروس پوشش‌دار با ژنومی از نوع ریبونوکلئیک‌اسید به طول ۲۹/۸ کیلو باز است. ژنوم این ویروس دارای ۱۴ قالب خواندن باز[2] (ORF) است که ۲۷ پروتئین را کد می‌کنند. (۵) ویروس جدید کرونا به‌طور کارآمدی در دستگاه تنفسی فوقانی تکثیر می‌شود. افراد آلوده در طول یک دورهٔ مقدماتی، مقادیر زیادی از ویروس را در دستگاه تنفسی فوقانی خود تولید می‌کنند که این امر منجر به انتشار بیشتر این ویروس به سایر افراد می‌گردد. عفونت با ویروس جدید کرونا در مرحلهٔ مقدماتی با علائم غیراختصاصی و کلی نظیر احساس کسالت، خستگی و بدن‌درد، تب و سرفهٔ خشک همراه است. بیماران کمی قبل از تب ممکن است در ابتدا علائمی از حالت تهوع و اسهال داشته باشند. تعداد کمی از بیماران ممکن است سردرد یا استفراغ خونی نیز داشته و حتی نسبتاً بدون علامت باشند. علاوه‌بر این، تب، سرفه، تنگی‌نفس و درد عضله و خستگی نیز به‌ترتیب جزو شایع‌ترین علائم بالینی این عفونت گزارش شده است. (۶)

در این مقوله، بیمارستان یکی از نهادهای مهم در خدمات‌رسانی بهداشتی ـ درمانی است که با امکانات و تسهیلات خود در بازگرداندن سلامت جسمی و روحی افراد بیمار، تحقیقات پزشکی و آموزش نیروهای مورد نیاز گروه‌های درمانی و پزشکی، نقش مهمی را ایفا می‌کند. وجود عوامل زیان‌آور در محیط بیمارستان بر سطح سلامتی بیماران تأثیر خواهد داشته و حتی ممکن است حضور آلاینده‌های بیولوژیک و میکرواورگانیسم‌ها بیماری افراد را تشدید کند. توجه به کیفیت هوای داخلی در بیمارستان‌ها به‌دلایل متعددی حائز اهمیت است؛ زیرا مطالعات در بیمارستان‌های اروپایی نشان می‌دهد عفونت‌های بیمارستانی در افزایش میزان مرگ‌ومیر دخیل بوده و بسیاری از این عفونت‌ها توسط پاتوژن‌های موجود در هوا (هوابرد) منتقل می‌شوند. افزون‌بر این، بسیاری از بیماران مبتلا به عفونت‌هایی می‌گردند که از طریق هوا قابل انتقال‌اند که در این میان، بخش‌های مراقبت‌های ویژه (ICU) از پرخطرترین مکان‌ها برای ابتلا به عفونت بیمارستانی به‌شمار می‌روند. (۷)

هوا نیز، به‌عنوان ضروری‌ترین نیاز بشر، حاوی ذرات و میکروارگانیسم‌های مختلفی است. این درحالی است که تنفس افراد در هر محیطی یک منبع گرمازا و آلاینده‌ساز بوده و باعث می‌گردد مقدار زیادی از این ذرات معلق توسط سایر افراد استنشاق شود. سایر فعالیت‌های ریوی روزمره مانند سرفه، عطسه و صحبت کردن نیز منابع بی‌هوازی هستند که می‌توانند به‌عنوان عوامل بیماری‌زای مسئول انتقال بیماری‌های عفونی مطرح باشند. (۸) آلوده‌کننده‌های بیولوژیک هوابرد (بیوآئروسل) شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و... هستند. قطر این ذرات ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰ میکرومتر است. آئروسل‌ها ذرات جامد، مایع یا ذرات معلق در هوا هستند و ۵ دقیقه صحبت کردن و سرفه کردن هرکدام ممکن است ۳۰۰۰ قطره تولید کند. همچنین عطسه کردن حدوداً ۴۰۰۰ قطره، عمدتاً با قطر حدود ۱۲ـ۰/۵ میکرومتر ایجاد می‌نماید. (۷)

به‌طور کلی ۷۵٪ از میکروارگانیسم‌ها پتانسیل انتقال از طریق هوا را دارند و به‌طور میانگین ۱۰٪ درصد از عفونت‌های بیمارستانی هوابرد هستند. همچنین به‌طور میانگین ۱۶٪ از عفونت‌های بخش مراقبت‌های ویژه درنتیجهٔ انتقال پاتوژن‌های هوابرد است. (۹) عوارض تنفسی و تضعیف عملکرد ریه از مهم‌ترین اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با بیوآئروسل‌ها به‌حساب می‌آید. برای افراد شاغل در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی بیوآئروسل‌ها ازجمله عوامل زیان‌آور شغلی محسوب می‌گردد و معضلاتی ازقبیل کاهش بهره‌وری در محیط

1 International Committee on Taxonomy of Viruses
2 Open reading frame

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

کار و غیبت از کار و غیره را سبب می‌شود. (۱۰) به‌طور کلی نوع بیماران بستری در بیمارستان، میزان رطوبت، وسعت فضا و وضعیت تهویه از عوامل مؤثر بر تراکم بیوآئروسل‌ها است که برای کنترل آن باید نقش هرکدام از این عوامل بررسی و در برنامهٔ کاهش بار آلودگی به همهٔ آن‌ها توجه شود. (۱۱) عوارض بهداشتی ناشی از استنشاق بیوآئروسل‌ها باعث ایجاد هزینه‌های سنگین به سیستم بهداشتی کشورها به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه می‌شود. (۱۲)

سازمان جهانی بهداشت پیشنهاد کرده است که سندرم حاد تنفسی SARS-CoV-2 از طریق انتقال فرد به فرد و تماس با سطوح آلوده منتقل می‌شود. با این حال، گسترش سریع این بیماری نشان می‌دهد ممکن است مسیرهای دیگری مانند انتقال هوایی در این خصوص نقش داشته باشد. چند مطالعهٔ تحقیقاتی برای ارزیابی انتقال احتمالی این ویروس از طریق هوا انجام شده است. اگرچه برخی از پژوهش‌ها شواهدی مبنی بر انتقال هوابرد پیدا نکرده‌اند، کارهای اخیر جدید حضور SARS-CoV-2 حتی در اماکن عمومی را اثبات کرده است. همچنین تجربیات و دانش گذشته دربارهٔ مکانیسم ویروس‌های مشابه مانند SARS-CoV از این فرضیه پشتیبانی می‌کند. (۱۳)

اهمیت استنشاق هوای پاک و توجه به آنچه از طریق تنفس وارد بدن می‌شود، روزبه‌روز نمود بارزتری پیدا می‌کند. از سوی دیگر وضعیت بحرانی ناشی از ویروس کرونا بر کسی پوشیده نیست. (۱۴) این درحالی است که سیستم ناکافی تبادل و تصفیهٔ هوا، میزان تهویهٔ کم و تردد بیش‌ازاندازهٔ افراد، از عوامل خطرساز در هوای داخل بیمارستان‌هاست (۱۵)؛ به‌طوری که در این محیط‌های محصور، کارکنان، کادر درمانی، خدماتی، بیماران و ملاقات‌کنندگان در معرض ریسک استنشاق بیوآئروسل‌ها و تماس با سطوح آلوده به آن‌ها قرار دارند. (۱۶) لذا مطالعهٔ حاضر به ارزیابی حضور SARS-CoV-2 در هوا و سطوح اتاق ICU بیماران مبتلا در یکی از مهم‌ترین بیمارستان‌های معین در سطح کشور می‌پردازد تا از این طریق علاوه‌بر مشخص شدن امکان مواجههٔ استنشاقی و تماسی افراد در بخش ICU که اصلی‌ترین مرکز ارائهٔ خدمات درمانی ویژه به بیماران با عفونت شدید حاد تنفسی محسوب می‌شود، به بررسی فرضیهٔ انتقال هوابرد SARS-CoV-2 نیز پرداخته باشد. ضمن اینکه با نتایج این مطالعه، می‌توان در گام بعدی، ارزیابی و بهبود عملکرد سیستم تهویهٔ این بخش را مد نظر قرار داد.

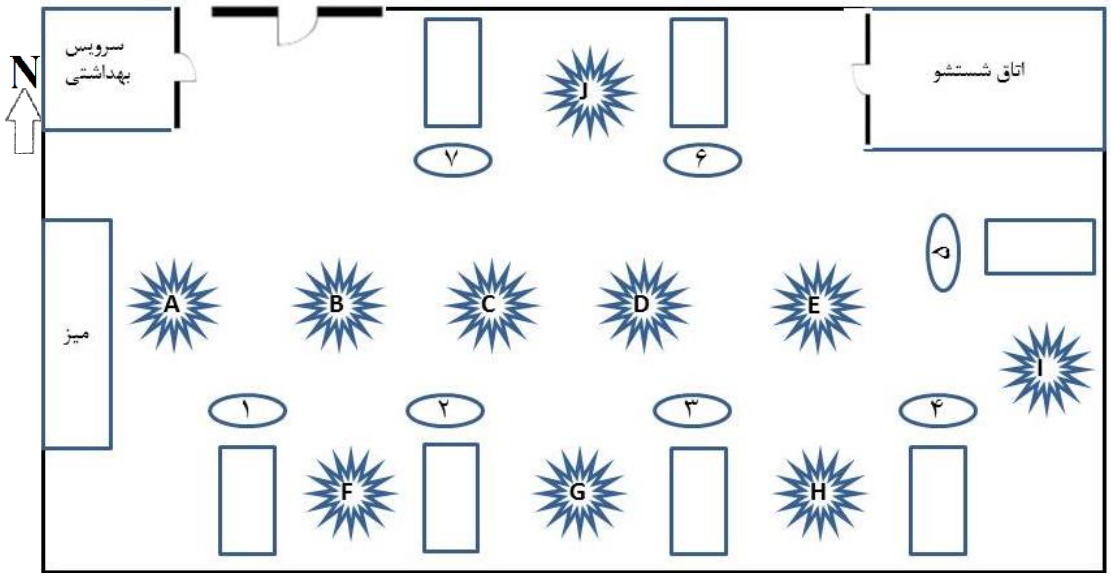
روش بررسی

این مطالعهٔ تجربی ـ مقطعی در ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۹ در بخش ICU مختص بیماران مبتلا به کووید ۱۹ یکی از بیمارستان‌های معین تابع دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام گردید. این بخش به ابعاد تقریبی ۵۰ مترمربع دارای ۷ تخت بستری است که به هنگام نمونه‌برداری هر ۷ تخت آن اشغال بود (شکل ۱) و ۵ پرسنل کادر درمانی در بخش درحال رفت‌وآمد بودند. همهٔ بیماران مجهز به ماسک اکسیژن و تمام پرسنل مجهز به همهٔ تجهیزات حفاظت فردی مرسوم مانند ماسک تنفسی مدل 75FFP100NL-Honeywell بودند. به‌طور متوسط در طول شبانه‌روز، ۳ مرتبه ضدعفونی سطوح در این بخش انجام می‌شد. سیستم تهویهٔ عمومی این بخش شامل تعبیهٔ دمنده‌هایی از نوع شکافدار و شیاردار در سقف اتاق و حضور مکنده‌های شکافدار دیواری بود و از تهویهٔ طبیعی (مانند باز کردن پنجره) نیز استفاده نمی‌کردند (شایان ذکر است سیستم مکندهٔ این بخش در زمان نمونه‌برداری غیر فعال بود). این مطالعه در دو فاز شامل نمونه‌برداری از سطوح و نمونه‌برداری از هوا انجام شد (شکل ۲) که جزئیات اجرای آن در ادامه آورده شده است.

مطالعهٔ حاضر دارای مصوبهٔ اخلاق در پژوهش با شناسهٔ IR.SBMU.PHNS.REC.1399.049 در کمیتهٔ اخلاق دانشکدهٔ بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است.

به‌منظور نمونه‌برداری از هوای اتاق، از روش نمونه‌برداری به‌وسیلهٔ ایمپینجر استفاده شد (شکل ۲ـ الف) (۱۷)؛ به این ترتیب که در فاصلهٔ ۱/۵ تا ۱/۸متری از سطح زمین، هوای بخش از طریق یک پمپ نمونه‌برداری با نرخ هواگذر ۱/۵ لیتر بر دقیقه به داخل ایمپینجر متخلخل- ml۳۰ حاوی ۱۵ میلی‌لیتر محیط انتقال ویروس، پاستوویرال ترانسپورت مدیوم (PVTM)، به مدت ۴۵ دقیقه عبور داده شد. قبل از نمونه‌برداری، تمام وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده با محلول الکل ۷۰٪ براساس پروتکل مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های امریکا (CDC) استریل و اتوکلاو شد. محل‌های نمونه‌برداری از هوای عمومی بخش (با رعایت فاصله ۱/۵ تا ۲متری از تخت بیمار) (۱۷) با علامت ستاره در شکل ۱ مشخص است. دستگاه‌های مورد استفاده جهت سنجش دمای و رطوبت

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]



شکل ۱ـ طرح شماتیک از محل نمونه‌برداری

و سرعت هوا، دستگاه آنمومتر چندمنظوره (China BENETE, GM8910,) و فشار هوا، بارومتر دیجیتال (AIRFLOW, DB2,USA) بود. میانگین پارامترهای شرایط جوی به‌هنگام نمونه‌برداری شامل دمای هوا: ۲۴ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۳۵٪، فشار هوا ۱۰۰۵ میلی‌بار و سرعت هوا ۰/۰۹ متر بر ثانیه به‌دست آمد.

مادۀ داخل ایمپینجر حاوی ۱۵ میلی‌لیتر بافر هنکس، آنتی‌بیوتیک، فنل رد (نشانگر pH) بود. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده بعد از اتمام نمونه‌برداری داخل باکس یخ قرار داده و به آزمایشگاه ویروس‌شناسی انتقال داده شد. در آزمایشگاه، نمونه‌ها به مدت ۱/۵ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شد. برای تشخیص حضور SARS-CoV-2 در نمونه‌های هوا، از آغازگر (پرایمر) خاص و پروب واکنش زنجیره‌ای پلیمراز رونویسی معکوس [1] (RT-PCR) با هدف تشخیص پلیمراز وابسته به RNA (RdRp) و ژن‌های پوششی [2] برای تعیین ژنوم ویروسی استفاده شد. با استفاده از یک کیت استخراج اسیدهای نوکلئیک ویروسی (DNA/RNA)، RNA ویروسی از مادۀ نمونه استخراج و قبل از RT-PCR، در داخل یک بافر شست‌وشو جمع‌آوری شد. تقویت PCR با استفاده از سیستم RT-PCR یک‌مرحله‌ای SuperScript III ™ با Platinum ™ Taq DNA Polymerase انجام شد. هر واکنش شامل ۱۲/۵ میکرولیتر Invitrogen 2X Master Mix، ۰/۵ میکرولیتر از پرایمرها و پروب مخصوص SARS-CoV-2 پیشنهادشده توسط WHO، ۲ لیتر آب فاقد نوکلئاز بود. در آخر ، ۵ لیتر از نمونه RNA برای PCR قرائت مستقیم آماده‌سازی گردید. واکنش‌های آماده‌شده با شرایط اولیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه ، ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه و به‌دنبال آن ۴۵ چرخه ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ثانیه و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه اجرا شد. مقادیر CT [3] (حد آستانه) بالاتر از ۳۸ به‌عنوان نتایج منفی درنظر گرفته شد. (۱۷)

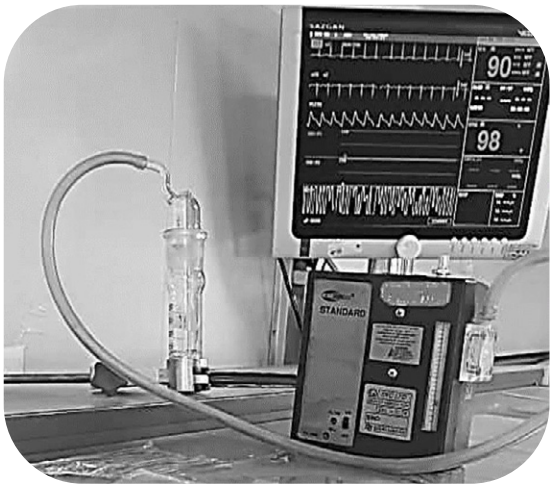
نمونه‌برداری از سطوح قسمت‌های مختلف بخش مورد مطالعه مانند میز گزارش‌نویسی، میز کنار تخت بیمار، سرویس بهداشتی، میز قابل حمل و ظرف‌شویی صورت گرفت (شکل ۲ـ ب). برای این منظور با کمک سواپ آغشته به محلول محیط انتقال (Viral Transport Medium, YOCON, China) از یک سطح مشخص (cm^2 ۲۵) نمونه‌ها از محل‌های مورد نظر گرفته شد (۱۸) و داخل ویال حاوی محیط انتقال (تثبیت‌کنندۀ پروتئین، آنتی‌بیوتیک و محلول بافر) قرار گرفت و با استفاده از باکس یخ به آزمایشگاه‌های ویروس‌شناسی فرستاده شد. برای آنالیز این نمونه‌ها از روش RT-PCR (همانند نمونه‌های هوا) استفاده گردید. (۱۹) حد پایین تشخیص (LOD) روش آنالیز حدود ۱۰۰ کپی در میلی‌لیتر محیط انتقال بود. (۲۰)

1 Reverse transcription -Polymerase Chain Reaction
2 Envelop (E) genes
3 Cycle threshold

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

یافته‌ها

نتایج نمونه‌برداری از هوا و سطوح مختلف بخش ICU به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. مطابق جدول ۱، از ۱۰ نمونهٔ جمع‌آوری‌شده از هوای اتاق، ۶ عدد آن مثبت (۶۰٪) بود که بیشترین غلظت RNA مشاهده‌شده مابین تخت شمارهٔ ۶ و ۷ بود (۳۹۱۳ کپی در میلی‌لیتر). همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، بیشتر نمونه‌های منفی اعلام‌شده مربوط به هوای عمومی وسط بخش است که فاصلهٔ بیشتری از تخت‌های بیماران داشتند. میانگین غلظت RNA ثبت‌شدهٔ ویروس در هوای بخش مورد بررسی ۸۲۰ ± ۲۶۰۱ کپی بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. مطابق جدول ۲، از ۱۰ نمونهٔ تهیه‌شده از سطوح مختلف بخش، ۴ نمونهٔ آن (۴۰٪) مثبت بود که بالاترین غلظت (۸۳۱۸ کپی بر میلی‌لیتر) مربوط به میز کنار تخت شمارهٔ ۳ است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، تمام نمونه‌های مثبت در کنار تخت بیماران مشاهده شد. میانگین غلظت RNA ثبت‌شدهٔ ویروس در سطوح مورد بررسی ۳۲۲۷ ± ۳۶۷۴ کپی بر میلی‌لیتر تعیین گردید.



الف– نمونه برداری از هوا

ب– نمونه برداری از سطوح

شکل ۲ـ تصاویری از نحوهٔ نمونه‌برداری از بخش ICU. شکل الف: تصویری از ستاپ نمونه‌برداری از هوا شامل پمپ نمونه‌برداری و ایمپینجر حاوی محیط انتقال؛ شکل ب ـ و شکل ب: تصویری از نحوهٔ نمونه‌برداری از سطوح آغشته به محلول محیط انتقال با کمک را در محل مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ نتایج نمونه‌برداری SARS-CoV-2 از هوا

محل نمونه‌برداری	نتیجه	غلظت RNA ویروس (کپی در میلی‌لیتر)
A	مثبت	۲۲۲۶
B	منفی	-
C	منفی	-
D	منفی	-
E	مثبت	۲۳۹۰
F	مثبت	۲۸۲۲
G	مثبت	۲۸۲۲
H	منفی	-
I	مثبت	۱۴۳۴
J	مثبت	۳۹۱۳

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

جدول ۲ـ نتایج نمونه‌برداری SARS-CoV-2 از سطوح

محل نمونه‌برداری	نتیجه	غلظت RNA ویروس (کپی در میلی‌لیتر)
میز گزارش‌نویسی بخش	منفی	–
میز کنار تخت شمارهٔ ۱	مثبت	۱۵۲۲
ترالی تخت شمارهٔ ۲	منفی	–
میز کنار تخت شمارهٔ ۳	مثبت	۸۳۱۸
مانیتور کنار تخت شمارهٔ ۴	منفی	–
میز کنار تخت شمارهٔ ۵	منفی	–
کنار ظرف‌شویی	منفی	–
میز کنار تخت شمارهٔ ۶	مثبت	۱۴۴۳
میز کنار تخت شمارهٔ ۷	مثبت	۳۴۱۳
شیرآلات سرویس بهداشتی	منفی	–

بحث

مطالعهٔ حاضر با هدف ارزیابی کیفی و کمّی SARS-CoV-2 در هوا و سطوح بخش ICU، به‌عنوان اصلی‌ترین مرکز ارائهٔ خدمات درمانی ویژه به بیماران با عفونت شدید حاد تنفسی، در یکی از بیمارستان‌های معین شهر تهران انجام شد. این تحقیق برآن بود که امکان مواجههٔ استنشاقی و تماسی افراد حاضر در بخش ICU را بررسی نماید و همچنین به این فرضیه بپردازد که آیا امکان انتقال هوابرد این ویروس وجود دارد. مطابق یافته‌های مطالعه، حضور SARS-CoV-2 در ۶۰٪ نمونه‌های هوای گرفته‌شده از این بخش تأیید شد که عمدتاً مربوط به نقاط اندازه‌گیری نزدیک تخت بیماران می‌شد. فریدی و همکاران در ۱۷ مارس ۲۰۲۰ (۲۷ اسفند ۱۳۹۸) به بررسی SARS-CoV-2 در هوای اتاق‌های مختلف ICU در مجتمع بیمارستانی امام خمینی پرداختند. (۱۷) نمونه‌های هوا در ایمپینجر استریل استاندارد حاوی ۲۰ میلی‌لیتر DMEM[1] با ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر استرپتومایسین، ۱۰۰U/mL پنی‌سیلین و ۱٪ معرف ضد کف به مدت ۱ ساعت جمع‌آوری شده بود. در این مطالعه، تمام نمونه‌های هوا که در فاصلهٔ ۲ تا ۵متری از تخت بیماران مبتلا جمع‌آوری شده بود، منفی گزارش شد. بااینکه که جواب تمام نمونه‌های هوا منفی بود، نویسندگان مقاله پیشنهاد دادند آزمایش‌های درون‌تنی[2] با بهره گیری از شرایط واقعی حالت‌های بیمار مثل سرفه، عطسه و تنفس انجام شود تا امکان بررسی تولید آئروسل‌های حاوی ویروس وجود داشته باشد. از علت‌های اختلاف نتایج این مطالعه با پژوهش حاضر می‌توان به وجود سیستم‌های تهویهٔ مکانیکی و طبیعی فعال در بخش‌های مورد بررسی مطالعهٔ فریدی و همکاران، تفاوت در حجم و نوع مدیای نمونه‌برداری دو مطالعه و بزرگ بودن فضاهای مورد بررسی نسبت به تعداد بیماران (بر ای مثال ۳۳۵ مترمربع برای ۹ بیمار) پژوهش فریدی و همکاران اشاره کرد.

نتایج نمونه‌برداری از سطوح مختلف بخش ICU حاکی از آن بود که در ۴۰٪ از آن‌ها حضور SARS-CoV-2 تأیید شده بود که تمام نمونه‌های مثبت در کنار تخت بیماران مشاهده گردید که این موضوع هم‌راستا با نتایج نمونه‌های هوای بخش بود. با این حال، تعداد نمونه‌های مثبت هوای بخش مورد بررسی از تعداد نمونه‌های مثبت سطوح آن بیشتر بود. از دلایل آن می‌توان به این موضوع اشاره کرد که سطوح مورد نظر طی شبانه‌روز ۳ مرتبه ضدعفونی می‌شوند و این درحالی است که اتاق در زمان نمونه‌برداری فاقد تهویهٔ طبیعی بود و سیستم‌های مکندهٔ آن نیز فعال نبود و صرفاً دمش هوا از طریق دمنده‌های سقفی و خروج هوا هنگام باز و بسته شدن در ورودی اتاق صورت می‌گرفت و این‌چنین تعداد جابه‌جایی هوا به حد کفایت نبود و تعویض هوا به‌خوبی در بخش مورد نظر انجام نمی‌شد.

سانتارپیا[3] و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی پتانسیل انتقال SARS-CoV-2 در مرکز پزشکی دانشگاه نبراسکا[4] پرداختند. (۱۹) آن‌ها سه نوع نمونه را مورد ارزیابی قرار

1 Dulbecco's Modified Eagle's medium
2 In Vivo
3 Santarpia
4 Nebraska

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

دادند: نمونه‌های سطوح (سطوح مشترک اتاق‌ها، وسایل شخصی و سرویس بهداشتی)، نمونه‌های هوای با حجم بالا (نمونه‌برداری محیطی) و نمونه‌های هوای با حجم پایین (نمونه‌برداری فردی). نمونه‌های هوای محیطی با دبی ۵۰ لیتر بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه بر روی فیلتر ژلاتینی ۸۰ میلی‌متری و نمونه‌های فردی با دبی ۴ لیتر بر دقیقه بر روی فیلتر ژلاتینی ۲۵ میلی‌متری جمع‌آوری گردید. نمونه‌های سطوح و آئروسل با استفاده از RT-PCR با هدف قرار دان ژن E مربوط به ویروس SARS-CoV-2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه، ۷۵٪ نمونه‌های سطوح مربوط به میز کناری تخت‌های بیماران (با متوسط غلظت حدود ۲۰۰ کپی بر میلی‌لیتر)، ۱۰۰٪ نمونه‌های فردی اتاق‌های بستری (با متوسط غلظت حدود ۴۰۰ کپی بر میلی‌لیتر) و حدود ۶۷٪ نمونه‌های هوای محیطی راهروها (با متوسط غلظت حدود ۱۰۰ کپی بر میلی‌لیتر) مثبت ارزیابی شد که نشان‌دهندهٔ انتقال ذرات حاوی ویروس از اتاق‌های بستری به‌سمت راهروها طی فعالیت‌های نمونه‌برداری بود. مطالعهٔ سانتارپیا و همکاران نیز مشابه پژوهش حاضر، حضور ویروس SARS-CoV-2 در سطوح و هوای اتاق‌های مربوط به بستری بیماران مبتلا را نشان می‌دهد. با این حال، غلظت‌های گزارش‌شده در بررسی سانتارپیا و همکاران کمتر از غلظت‌های به‌دست‌آمده در مطالعهٔ پیش‌رو است که از دلایل آن می‌توان به روش‌های مختلف نمونه‌برداری، متفاوت بودن عملکرد سیستم‌های تهویه در بیمارستان‌های مورد بررسی و همچنین متفاوت بودن بخش‌های مورد بررسی در بیمارستان و نسبت تعداد بیماران به فضای اتاق اشاره نمود.

نتایج تحقیقات اخیر که آئروسل‌های انتشاریافته از طریق انسان را ارزیابی کرده‌اند، نشان می‌دهند بخش قابل توجهی از ذرات معلق در هوا منتشرشده از طریق انواع فعالیت‌های انسانی (مانند تنفس، سرفه و صحبت کردن) دارای قطر کمتر از ۱۰ میکرون هستند و وجود بیماری‌های تنفسی فوقانی باعث افزایش تولید این ذرات معلق در هوا می‌شود. (۲۱) درمجموع نتایج این مطالعات حاکی از آن است که ویروس از افراد مبتلا، حتی با میزان خفیف بیماری، منتشر می‌شود و می‌تواند در محیط اطراف حتی درصورت عدم سرفه یا سایر روش‌های تولید آئروسل منتقل گردد. (۱۹) به‌علاوه مطالعه‌ای جدید درمورد آئروسل SARS-CoV-2 و میزان ته‌نشست آن بر روی سطوح حاکیز از آن است که این آئروسل عفونی می‌تواند برای چندین ساعت در هوا و برای ۲ روز بر روی سطوح باقی بماند. (۲۲) با توجه به آلودگی محیط بخش ICU مورد مطالعه به ویروس SARS-CoV-2، اجرای مؤثر روش‌های ایزولاسیون (جداسازی) هوایی مانند استفاده از تجهیزات حفاظت تنفسی (ماسک N95) و ماسک‌های الکتریکی تصفیه‌کنندهٔ هوا و همچنین اطمینان از صحت عملکرد سیستم‌های تهویه بیمارستانی و بهبود آن جهت حفاظت از کارکنان مراقبت‌های بهداشتی امری کاملاً ضروری است. لازم است کارکنان مراقبت‌های بهداشتی به‌طور پیوسته از نظر COVID-19 مورد بررسی و غربالگری قرار گیرند و پروتکل‌های پیشگیری و کنترل عفونت (IPC)، مانند حفاظت تنفسی، تمیز کردن منظم محیط و ضدعفونی کردن مناطق مراقبت از بیمار و محیط‌های اطراف به‌طور مؤثر اجرا شود. درمورد این ویروس، انتشار بیماری از طریق هر دو روش مستقیم (قطره و فرد به فرد) و همچنین تماس غیرمستقیم (اشیای آلوده و انتقال هوابرد) تقریباً به اثبات رسیده که این موضوع تأکید مجددی بر لزوم اتخاذ اقدامات احتیاطی درخصوص ایزولاسیون هوابرد دربرابر این ویروس است. (۱۹)

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌صورت مقطعی در یکی روزهای اردیبهشت ۱۳۹۹ در بخش ICU یکی از بیمارستان‌های معین ویروس کووید ۱۹ در شهر تهران انجام شد. نتایج آن حاکی از حضور این ویروس در هوای عمومی بخش و سطوح آن، به خصوص محل‌های نزدیک تخت بیماران مبتلا، بود. نتایج این مطالعه بر راه انتقال هوایی این ویروس در کنار سایر طرق انتقال، مانند تماس فرد به فرد و تماس با سطوح آلوده، تأکید می‌کند. با این حال، پیشنهاد می‌گردد به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر رفتار انتقالی این ویروس، مطالعاتی مشابه ولی به‌صورت طولی از زمان بستری بیماران مبتلا تا زمان ترخیص، علاوه‌بر اتاق ICU در بخش‌های مختلف بیمارستان‌های معین صورت گیرد؛ ضمن آنکه به‌صورت جامع‌تر نقش سیستم‌های تهویهٔ طبیعی و مکانیکی در حضور هوابرد این ویروس بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی مشترک بین سه مرکز تحقیقات ارتقای سلامت محیط کار، مرکز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]

تحقیقات بیماری‌های مزمن تنفسی و مرکز تحقیقات ویروس‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (کد طرح: 23698) می‌باشد که با حمایت مالی این دانشگاه اجرا شده است.

References

1. Yang Y, Lu Q, Liu M, Wang Y, Zhang A, Jalali N, Dean N, Longini I, Halloran ME, Xu B: Epidemiological and clinical features of the 2019 novel coronavirus outbreak in China. MedRxiv 2020.
2. Heymann DL, Shindo N: COVID-19: what is next for public health? The Lancet. 2020; 395(10224): 542-545.
3. Zu ZY, Jiang MD, Xu PP, Chen W, Ni QQ, Lu GM, Zhang LJ: Coronavirus disease 2019 (COVID-19): a perspective from China. Radiology. 2020: 200490.
4. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X: Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. The Lancet. 2020; 395(10223): 497-506.
5. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, Qiu Y, Wang J, Liu Y, Wei Y: Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. The Lancet. 2020; 395(10223): 507-513.
6. Xu J, Zhao S, Teng T, Abdalla AE, Zhu W, Xie L, Wang Y, Guo X: Systematic comparison of two animal-to-human transmitted human coronaviruses: SARS-CoV-2 and SARS-CoV. Viruses. 2020; 12(2): 244.
7. Hasanvand Z, Sekhavatjo M, Zakavat R: Assessment the Bio-Aerosols Type and Concentration in Various Wards of Valiasr Hospital, Khorramshahr during 2011. Iranian Journal of Health and Environment.
8. Wu Z, McGoogan JM: Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. Jama; 2020.
9. Harison: Infectious Diseases, vol. 12. Tehran: ayene book; 1990 .
10. Bisesi M, Kohn P: Industrial hygiene evaluation methods michaels. In.: Lewis; 2004.
11. Günal MM, Pidd M: DGHPSIM: generic simulation of hospital performance. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS). 2011; 21(4): 1-22.
12. Chartier Y, Pessoa-Silva C: Natural ventilation for infection control in health-care settings: World Health Organization; 2009.
13. Hadei M, Hopke PK, Jonidi A, Shahsavani A: A Letter about the Airborne Transmission of SARS-CoV-2 Based on the Current Evidence. Aerosol and Air Quality Research. 2020; 20(5): 911-914.
14. Sadeghi Hasanvand Z, Sekhavatjo MS: Assessment the bio-aerosols type and concentration in various wards of Valiasr Hospital, Khorramshahr during 2011. Iranian journal of health and environment. 2013; 6(2): 201-210.
15. Wu A, Peng Y, Huang B, Ding X, Wang X, Niu P, Meng J, Zhu Z, Zhang Z, Wang J: Genome composition and divergence of the novel coronavirus (2019-nCoV) originating in China. Cell host & microbe; 2020.
16. Dehdashti A, Sahranavard N, Rostami R, Barkhordari A, Banayi Z: Survey of bioaerosols type and concentration in the ambient air of hospitals in Damghan, Iran. Occupational medicine quarterly Journal. 2013; 4(3): 41-51.
17. Faridi S, Niazi S, Sadeghi K, Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, Jandaghi NZS, Sadeghniiat K, Nabizadeh R, Yunesian M: A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. Science of The Total Environment; 2020.
18. Surface sampling of coronavirus disease (COVID-19): A practical "how to" protocol for health care and public health professionals [https://apps.who.int/iris/handle/10665/331058]
19. Santarpia JL, Rivera DN, Herrera V, Morwitzer MJ, Creager H, Santarpia GW, Crown KK, Brett-Major D, Schnaubelt E, Broadhurst MJ: Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center. MedRxiv; 2020.
20. Arnaout R, Lee RA, Lee GR, Callahan C, Yen CF, Smith KP, Arora R, Kirby JE: SARS-CoV2 Testing: The Limit of Detection Matters. bioRxiv : the preprint server for biology 2020:2020.2006.2002.131144.
21. Lee J, Yoo D, Ryu S, Ham S, Lee K, Yeo M, Min K, Yoon C: Quantity, size distribution, and characteristics of cough-generated aerosol produced by patients with an upper respiratory tract infection. Aerosol and Air Quality Research. 2018; 19(4): 840-853.
22. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI: Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. New England Journal of Medicine. 2020; 382(16): 1564-1567.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2022-08-14]