

# Ochrona dróg oddechowych przed zagrożeniami biologicznymi – zmiana paradygmatu wobec masywnej transmisji SARS-CoV-2

Aleksander Michalski<sup>1</sup>, Agata Bielawska-Drózd<sup>2</sup>, Jarosław Pinkas<sup>3</sup>, Janusz Kocik<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Centrum Reagowania Epidemiologicznego Sił Zbrojnych RP

<sup>2</sup> Zespół Reagowania Epidemiologicznego, Wojskowy Ośrodek Medycyny Prewencyjnej w Modlinie

<sup>3</sup> Szkoła Zdrowia Publicznego, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego

## SŁOWA KLUCZOWE:

- SARS-CoV-2
- COVID-19
- ochrona dróg oddechowych

## STRESZCZENIE

Aktualnie obserwowane intensywne szerzenie się COVID-19 nasuwa podejrzenie, że wirus może być bardziej lotny niż dotąd zakładano i szerzyć się nie tylko drogą kropelkową (*ang. droplet*), ale także powietrzną/aerozolową (*ang. airborne*), na odległość większą niż dotychczas rekomendowana jako bezpieczna. W pracy przedstawiono aktualne rekomendacje i argumenty wskazujące na znaczenie ochrony dróg oddechowych w okresie pandemii COVID-19. Zastosowanie certyfikowanych respiratorów pozawala na ochronę krytycznych zasobów ludzkich i skuteczniejsze zabezpieczanie personelu medycznego. Powszechne i umiejętne wykorzystanie improwizowanych osłon osobistych wraz z pozostałymi elementami reżimu sanitarnego (izolacja, higiena rąk) pozwala na osiągnięcie synergistycznego efektu ograniczenia szerzenia się wirusa w społeczeństwie.

## KEYWORDS:

- SARS-CoV-2
- COVID-19
- respiratory protection

## ABSTRACT

Currently observed intensive spread of COVID-19 suggests the virus may be more airborne than previously assumed and may be also spread by air/aerosol, not only by droplet, at a distance greater than the recommended as safe. The paper presents current recommendations and arguments indicating the importance of respiratory protection during COVID-19 pandemic. The use of certified respirators allows the protection of critical human resources and more effective protection of medical personnel. The widespread and skillful use of improvised personal face coverings along with other elements of the sanitary regime (isolation, hand hygiene) allows achieving a synergistic effect of limiting the spread of the virus in society.

Intensywna transmisja wirusa SARS-CoV-2 była początkowo przypisywana jego przenoszeniu na dużych kroplach wydzielin z dróg oddechowych – drogą kropelkową. Obowiązuje paradygmat, że od osoby zakażonej wymaga się osłaniania ust i nosa podczas kichania i kaszlu. W ostatniej dekadzie obserwuje się zwiększone zainteresowanie przenoszeniem wirusa grypy i podobnych wirusów drogą powietrzną/aerozolową, tj. na bardzo małych drobinach, głęboko inhalowalnych, na dużą odległość. Badania wykazały, że do zakażeń wirusem grypy dochodzi także na przebiegu strumieni aerozolu wydzielanego przez pacjentów i zawierającego wirusy grypy (1, 2).

Wobec obserwowanych globalnie niedoborów środków ochrony dróg oddechowych można, zgodnie z zaleceniami WHO, rozważyć scenariusze ich oszczędnego i racjonalnego wykorzystania w warunkach zróżnicowanego ryzyka do różnych czynności medycznych, jak to opisano w innym miejscu (3). Dotychczas nie wydano jednak w tym zakresie

zaleceń dla osób wykonujących inne czynności zawodowe podwyższające ryzyko ekspozycji poprzez kontakt z innymi ludźmi: współpracownikami lub klientami. Co więcej, istnieje też zwiększone zainteresowanie ochroną dróg oddechowych ze strony społecznej – w sytuacjach podwyższonego ryzyka ekspozycji na aerozol zakaźny, związanej z aktywnością codzienną (transport publiczny, zakupy, niezbędne wizyty w instytucjach), także przy użyciu materiałów improwizowanych.

Maseczki chirurgiczne (medyczne), choć nie są zaliczane do środków ochrony dróg oddechowych ochraniających przed czynnikami biologicznymi, znajdują się w rekomendacjach WHO. Warto mieć jednak na względzie, że są to środki chroniące raczej przed skażeniem kropelkowym ze strony osoby, która nosi maseczkę i nie są to wystandaryzowane środki ochrony dróg oddechowych. Takimi są certyfikowane respiratory (maski) jednorazowe (FFP2 lub FFP3) (4) lub półmaski wielorazowe z wymiennymi filtrami (P2 lub P3) (5), które przeszły testy potwierdzające skuteczność działania.

Adres do korespondencji: \*Janusz Kocik, Zakład Gerontoonkologii, Szkoła Zdrowia Publicznego, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego, Kleczewska 61/63; 01-826 Warszawa, Polska; e-mail: jkocik@cmkp.edu.pl.

ISSN 2657-9669/ This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. Copyright © 2020 CMKP.

Publikowane i finansowane przez Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego; <https://doi.org/10.36553/wm.50>

Przed użyciem te środki ochrony wymagają standaryzowanej oceny dopasowania (*fit test*). Skuteczność ochrony w dużym stopniu opiera się na wytworzeniu ujemnego ciśnienia pomiędzy maską a twarzą, które wymusza filtrację. Zatem ważnym elementem determinującym skuteczność ochrony jest szczelność w obrębie części twarzowej, a jej ograniczenie może prowadzić do narażenia na aerozol biologiczny. Niestety, ze względu na gęstość filtra oraz ograniczenie dopasowania do owalu twarzy, wysoką wartość przecieku (*inward leakage*) wykazują właśnie maski typu FFP3. Wpływ na szczelność w obrębie części twarzowej mają broda lub wąsy, utrata lub przyrost masy ciała, zmarszczki, blizny, trądzik, makijaż, kształt twarzy, płytki dentystyczne. Zatem w celu wykluczenia nienormalnego przecieku przeprowadza się wspomniane testy dopasowania. Mogą one mieć charakter ilościowy, tj. maskę obciąża się sztucznym aerozolem, a ilość cząstek przedostających się jest zliczana. Inny rodzaj testów dopasowania to testy jakościowe, gdzie czynnikiem obciążającym jest aerozol posiadający smak, zapach lub drażniący (np. stosowana przy testowaniu masek wojskowych chloropikryna). Testy takie, przeznaczone dla konkretnego użytkownika, dotyczą konkretnego modelu oraz rozmiaru respiratora i są ważne przez rok, po tym terminie powinny być powtórzone.

### Stosowanie ochrony dróg oddechowych różnych klas wobec wybranych czynników biologicznych

Mimo że brakuje wciąż twardych dowodów, że nowy koronawirus przenosi się drogą powietrzną (*airborne transmission*), WHO rekomenduje przy bardziej ryzykownych czynnościach zakładających generowanie aerozoli (intubacja, tracheotomia, resuscytacja czy bronchoskopia) respiratory FFP klasy 2 (natomiast przy zwykłej opiece nad pacjentem mają wystarczająco maseczki chirurgiczne). Natomiast ECDC rekomenduje stałe wykorzystanie respiratorów FFP klasy 2, a przy ryzykownych operacjach – FFP klasy 3. WHO akceptuje maseczki chirurgiczne jako środek ochrony wykorzystywany zarówno przez pacjentów z symptomami na SOR lub oczekujących w poczekalniach, jak i przez personel medyczny podczas wchodzenia do sali oraz badania osób chorych lub podejrzanych o zachorowanie (6). Z drugiej strony wg ECDC w stosunku do personelu medycznego maski chirurgiczne traktowane są jako osłona warunkowa, improwizowana, dająca ograniczoną ochronę przed ekspozycją kropelkową lub kontaktową, stosowana w przypadku braku innych certyfikowanych środków (7). Istotnie, ze względu na ograniczone zasoby personelu medycznego, zwiększone ryzyko zakażenia oraz poważne konsekwencje potencjalnego zachorowania personelu medycznego, stałe noszenie respiratorów, zgodnie z rekomendacją ECDC, jest bardziej uzasadnione. Wskazują na to także opisane poniżej wyniki uzyskane przez kilka zespołów.

Bardzo ograniczoną skuteczność maseczek chirurgicznych wykazały badania porównawcze. Personel medyczny stałe używający respiratorów (np. FFP3/FFP2) zanotował najniższą ilość infekcji szerzących się drogą kropelkową (np. grypa), mniejszą skuteczność odnotował personel używający ich tylko podczas wykonywania procedur, natomiast stosowanie maseczek medycznych (chirurgicznych) w tym aspekcie okazało się nieskuteczną ochroną (8).

W badaniach w populacji ogólnej maski N95 stanowiły wartość dodaną do odkażania rąk w porównaniu z edukacją w ochronie przed grypą, istotną nawet przy złym przestrzeganiu zaleceń. Badania wśród studentów wykazały znaczące

zmniejszenie zachorowań na grypę w wyniku noszenia masek i higieny rąk (9). Osoby będące z kontaktu z chorym we wspólnym miejscu zamieszkania i używające masek N95 „stałe” lub „prawie stałe” rzadziej zapadały na choroby grypopodobne w porównaniu z osobami „rzadko” noszącymi maski (10). Jednakże metaanaliza badań z 2009 roku dotyczących skuteczności interwencji nefarmakologicznych w zapobieganiu grypie pandemicznej wykazała redukcję ryzyka w wyniku mycia rąk o 38% (OR = 0,62; 95% CI 0,52-0,73; I<sup>2</sup> = 0%), podczas gdy noszenie osłon twarzy nie było istotne (OR = 0,53; 95%CI 0,16-1,71; I<sup>2</sup> = 48%). Jefferson i wsp. podsumowali połączone dane, wykazując 91% skuteczność respiratorów N95 i 68% masek chirurgicznych w stosunku do wszystkich zakażeń oddechowych. 5 z 7 badań obserwacyjnych, wykonanych podczas epidemii SARS, wykazało efekt ochronny masek, jednakże ich jakość była problematyczna (11). Podstawą skuteczności ochrony, zarówno w warunkach szpitalnych, jak i domowych, było konsekwentne noszenie masek. Mimo to odsetek pielęgniarek noszących N95 był mniejszy o połowę od używających masek chirurgicznych, prawdopodobnie ze względu na dyskomfort (12).

Skuteczność noszenia masek w epidemii COVID-19 może być inna niż wykazana w badaniach dotyczących grypy ze względu na inne cechy wirusa. Jego trwałość w środowisku może determinować częstsze zakażenie się drogą brudnych rąk. Badania wykonywane w obszarze SARS 2002/2003 miały bardzo słabą metodykę, a metaanalizy łączą badania o bardzo zróżnicowanych układach (randomizowane, obserwacyjne, kliniczno-kontrolne). Powinny one być prowadzone poza warunkami kryzysowymi, które wprowadzają liczne zaburzenia analizy. Ich siła statystyczna musi obejmować niewielkie różnice i zasadniczy wpływ mycia rąk jako zmiennej współistniejącej. Obserwacja grupy kontrolnej, która nie stosuje ochrony dróg oddechowych, nie jest możliwa, szczególnie w zakładach leczniczych, gdzie rekomendacje powinny zalecać stałe noszenie masek.

W chwili obecnej można tylko stwierdzić, że koncentracja uwagi na aspekcie masek może szkodzić innym, istotniejszym elementom prewencji, jak przede wszystkim mycie rąk. Powoduje zaburzenia w funkcjonowaniu podmiotów leczniczych. Badania ich wpływu jako pojedynczego elementu kontroli zakażeń są niemożliwe. Ich użycie jest zawsze rekomendowane w zestawieniu z innymi interwencjami kontrolnymi. W zakładach leczniczych powinno się umożliwić i nakazywać stałe noszenie masek medycznych przez personel i pacjentów, a w przypadku opieki nad pacjentem chorym na COVID-19, a zwłaszcza procedur wysokiego ryzyka – masek o standardzie co najmniej FFP2 (N95). Niestety, jak wykazano w badaniu symulacyjnym, ścisłe przestrzeganie zaleceń dotyczących stosowania środków ochrony osobistej zdecydowanie negatywnie wpłynęło na funkcjonowanie oddziału w szpitalu w Wielkiej Brytanii (13). W warunkach komunalnych można pokusić się o podobną hierarchię interwencji kontrolnych. Jednakże w czasie planowania gotowości do pandemii i faktycznego jej zwalczania kwestia dostępności masek wpływa negatywnie na komunikację w obszarze zdrowia publicznego i przyćmiewa inne ważne interwencje kontrolne (14).

Wykorzystanie przez personel medyczny certyfikowanych respiratorów (FFP2, FFP3 lub odpowiadających im N95, N99) jako ochrony własnej jest najlepszym rozwiązaniem. Niektóre z respiratorów są zaopatrzone w wentyl wydechowy, który zmniejsza skraplanie się pary wodnej na wewnętrznej powierzchni maski i przyczynia się do zwiększenia komfortu oraz skuteczności filtracji. Warto podkreślić, że używanie respiratorów zaopatrzonych w wentyl

wydechowy przez pacjentów chorych na COVID-19 jest działaniem irracjonalnym. Niedopuszczalne jest ich użycie z uwagi na możliwość wydostania się z przestrzeni maski cząstek wirusa, co naraża środowisko zewnętrzne na skażenie. Jedynym sensownym rozwiązaniem dla chorych jest zastosowanie respiratorów bez wentyla lub maseczek medycznych, które, choć w ograniczonym zakresie, oferują minimalną ochronę otoczenia przed cząsteczkami wirusa pochodzącymi od chorego. Konsekwentnie respiratory FFP3 lub FFP2 zaopatrzone w wentyl powinny być jednak zarezerwowane dla zdrowego personelu medycznego pracującego w obszarze zakaźnym lub strefie ryzyka (lekarz, pielęgniarka, ratownik, diagnosta laboratoryjny). Natomiast ich szersze wykorzystanie w społeczeństwie może mieć nawet efekt przeciwny, zwłaszcza gdy mogłyby być wykorzystywane przez osoby chore bezobjawowe lub skąpoobjawowe, co powoduje nieświadome szerzenie wirusa.

WHO konsekwentnie nie rekomenduje bardziej powszechnego używania masek chirurgicznych przez osoby zdrowe, niebędące personelem medycznym, w codziennych czynnościach. Tu dużym problemem jest koszt związany z codziennym zapewnieniem maski każdemu obywatelowi, prawdopodobieństwo wystąpienia nieprawidłowych zachowań związanych z nieprzebraniem szczegółowych zasad higieny i aseptyki podczas zakładania i zdejmowania oraz utylizacji masek. Inny negatywny aspekt noszenia masek to złudne poczucie bezpieczeństwa, a w konsekwencji zaniedbywanie innych, bardziej podstawowych zasad higieny o większym znaczeniu – mycia rąk. Wszystko to może prowadzić do przeciwności tego środka ochrony (6).

Z drugiej strony nie można pominąć pewnych walorów powszechnego noszenia maseczek medycznych. Pozwalają one na samokontrolę i uniknięcie mimowolnego dotykania twarzy, ust, nosa, co ogranicza ryzyko przeniesienia wirusa na błony śluzowe nosa i ust. Co więcej, biorąc pod uwagę dużą liczbę przypadków skąpoobjawowych i bezobjawowych COVID-19, noszenie powszechne maseczek może być traktowane nie jako ochrona własna, ale jako narzędzie ograniczenia transmisji wirusa SARS-CoV-2 w społeczeństwie. Jeśli większość obywateli będzie używać osłony dróg oddechowych, także osoby potencjalnie wydzielające wirusa, to obowiązkowa maseczka redukująca transmisję drogą kropelkową może być skutecznym rozwiązaniem. Modele matematyczne wspierają stosowanie takiego środka profilaktycznego przy powszechnym, przynajmniej 80%, przestrzeganiu zakładania maseczek przez obywateli w miejscach publicznych (15). Mimo dużych kosztów finansowych i organizacyjnych, niektóre państwa na Dalekim Wschodzie, a także w Europie zdecydowały się na takie rozwiązanie (np. Czechy, Polska czy Szwajcaria). Ostatnie doniesienia wskazują, że taki krok rozważają także inne kraje, a WHO może umieścić taką politykę w powszechnych rekomendacjach. W niniejszej pracy przedstawiono dowody naukowe dotyczące ochrony dróg oddechowych wobec zagrożeń biologicznych, w szczególności SARS-CoV-2.

## Podstawy ochrony dróg oddechowych przed biologicznymi zanieczyszczeniami powietrza

### *Transmisja cząstek biologicznych drogą aerozolu*

Cząsteczki wielkości <1 do 100  $\mu\text{m}$  mogą utrzymywać się w powietrzu przez dłuższy czas, im mniejsze, tym dłużej. W najnowszych badaniach w warunkach ambulatoryjnych wytwarzano aerozol wirusa SARS-CoV-2 i SARS-CoV-1

o wielkości cząstek <5  $\mu\text{m}$ . Wielkość *inoculum* była zbliżona do wartości obserwowanych w górnych i dolnych drogach oddechowych chorych. SARS-CoV-2 pozostawał aktywny przez czas trwania eksperymentu (3 h), ze zmniejszeniem miana o zaledwie 1 rząd wielkości (103,5 do 102,7 TCID<sub>50</sub>/l powietrza), podobnie jak wirus SARS. Autorzy wnioskowali, że wobec podobieństwa tej cechy wirusów SARS-CoV i SARS-CoV-2 inne czynniki epidemiologiczne decydują o większym „powodzeniu ewolucyjnym” wirusa SARS-2. Są to na przykład większe miana wirusa wydzielane przez chorych, także w okresie asymptomatycznym (16).

Cząsteczki aerozolu mniejsze niż 100  $\mu\text{m}$  mogą ulec inhalacji. Cząsteczki mniejsze niż 10  $\mu\text{m}$  wdychane są do poziomu większych oskrzelików. Cząsteczki mniejsze niż 5  $\mu\text{m}$  „schodzą” na poziom pęcherzyków płucnych. Transmisja czynnika zakaźnego na cząsteczkach tej ostatniej wielkości zachodzi na odległość wielu metrów i jest nazywana drogą powietrzną. Obserwowano, że mimo zasadniczej drogi kropelkowej, w ten sposób transmisji ulegają także wirusy SARS i grypy (17, 18, 19, 20). Interesującym doniesieniem jest informacja o możliwości przenoszenia infekcji przez nieosłonięte cząstki RNA wirusa SARS-CoV-2, które mimo swoistej nietrwałości w środowisku zewnętrznym są znacznie bardziej lotne niż całe wiriony (21). Spekuluje się, że podobnie jak wiroidy u roślin, mogą one stanowić czynnik infekcyjny i w drodze endocytozy dostawać się do komórek nabłonka u człowieka.

### *Filtracja*

Cząsteczki aerozolu wylapywane są przez włókna filtrów w różny sposób w zależności od wielkości aerodynamicznej. Te o wielkości ok. 0,6  $\mu\text{m}$  (wirusy mają śr. 0,02 do 0,3  $\mu\text{m}$ ) są wychwytywane przez przechwycenie przez włókno filtra na drodze strumienia powietrza, a także przez przechwytywanie (*interception*) i zaklinowanie inercyjne (*inertial impaction*). Następuje to wtedy, gdy cząsteczka nie jest w stanie nadążyć za biegiem strumienia powietrza ze względu na swoją inercję i uderza we włókno filtra. Mniejsze cząsteczki (1  $\mu\text{m}$ ) są wychwytywane przez włókna, kiedy chaotycznie dyfundują między nimi niesione strumieniami powietrza w różnych kierunkach. Paradoksalnie to nie najmniejsze cząsteczki są najtrudniejsze w filtracji. Im cząsteczka mniejsza, tym bardziej ulega efektywnemu mechanizmowi filtracji – dyfuzji. Najbardziej penetrujący rozmiar cząsteczki (*most penetrating particle size* – MPPS) jest na tyle duży, aby nie ulegała ona dyfuzji, a jednocześnie na tyle mały, aby nie ulegała przechwyceniu i zaklinowaniu. Zakres najniższej filtracji to cząsteczki 0,05-0,5  $\mu\text{m}$  – z dominantą skuteczności filtracji poniżej 95% przy wielkościach 0,08-0,1  $\mu\text{m}$  (wirus SARS ma śr. 0,125  $\mu\text{m}$ ). Znaczenie ma też prędkość przepływu powietrza (zależna od intensywności oddychania – średnie wartości pomiarowe 85 l/min) i ładunek elektrostatyczny powierzchniowy cząsteczki. Wielkość cząstek pochodzących z kichnięcia znajduje się powyżej MPPS. Aerozole biologiczne mają takie same właściwości, jak aerozole niebiologiczne – skuteczność filtracji zależy głównie od wielkości cząstki, ale także od jej kształtu. Bakterie o kształcie laseczek i pałeczek są lepiej wychwytywane niż ziarenkowce o budowie sferycznej, podobnie jak wirus SARS-CoV-2. W celu zapewnienia najlepszej ochrony należy używać certyfikowanych wyrobów zapewniających najwyższy wskaźnik ochrony. Wydolność filtracji jest tylko jednym z elementów całkowitej ochrony zapewnianej przez maskę.

### Wykorzystanie ograniczonych zasobów

Zasadniczo są dwa podejścia optymalizujące wykorzystanie ograniczonych zasobów respiratorów: wydłużenie czasu noszenia maski oraz powtórne użycie (22). Respiratory FFP2 lub N95 są zdefiniowane jako środki jednorazowe, jednak nie jest określony czas ich wykorzystania. Doświadczenia wskazują, że mogą one być noszone nawet całą zmianę roboczą. Takie rozwiązanie w przypadku pracy na oddziale zakaźnym w sytuacji epidemii ma swoje zalety. Jest to ograniczenie zużycia środków ochrony osobistej, ograniczanie ryzykownych czynności przy zmianie środków ochrony czy konieczności ich przechowywania. Jednak maska powinna być zmieniona niezwłocznie po fizycznym zanieczyszczeniu, uszkodzeniu lub wyjściu z obszaru zakaźnego. Z drugiej strony przy konieczności częstego opuszczania oddziału (obszaru umownie zakaźnego) może zaistnieć konieczność powtórnego użycia respiratora. O ile producent na to pozwala, nie powinno być to więcej niż pięć razy. Jest to jednak opcja bardziej ryzykowna ze względu na konieczność oznakowania (środek osobisty) i bezpiecznego przechowywania oraz procedurę zdejmowania i ponownego zakładania skażonego respiratora (23).

Do tej pory nie określono zwalidowanych procedur dekontaminacji respiratora przed kolejnym jego wykorzystaniem, jednak do tego celu mogą być wykorzystane między innymi promienniki UV, tlenek etylenu oraz pary nadtlenu wodoru. Polecane metody podsumowano w Tabeli 1, jednak warto mieć na względzie wskazówki producenta w tym zakresie oraz konieczność każdorazowej weryfikacji ewentualnej degradacji materiału respiratorów. Jako metody dekontaminacji nie poleca się w szczególności prania, autoklawizacji, dekontaminacji chemicznej za pomocą alkoholu, chloru aktywnego czy mikrofal. Techniki te prowadzą do degradacji materiału i redukcji skuteczności filtracji lub wytwarzają toksyczne półprodukty, natomiast w przypadku mikrofal trudno wystandaryzować procedurę dekontaminacji.

Wobec znaczących trudności w zaopatrzeniu w środki ochrony, środowisko medyczne rozważa sensowność ciągłego używania masek (respiratorów) zamiast zakładania ich jedynie w sytuacjach oczywistego ryzyka – interakcji z jawnie chorym. Jest to standardową procedurą w Hong Kongu, Singapurze, innych częściach Azji i, obecnie, w niektórych szpitalach amerykańskich. Bez względu na przyjętą strategię warto łącznie z respiratorami używać tarcz twarzowych, które ograniczają możliwość zanieczyszczenia respiratora oraz mimowolne dotykanie go, co może prowadzić do kontaminacji.

### Przetrawianie drobnoustrojów na filtrach

W sytuacji braku wystarczającego zaopatrzenia pojawia się problem ponownego użycia masek – poszukuje się dowodów określających warunki bezpieczeństwa takiego odstępstwa od reguły jednorazowego użycia. Przeprowadzono wiele badań z różnymi rodzajami filtrów, w różnych warunkach wilgotności przechowywania, wobec różnych drobnoustrojów. Miana wirusów używane w badaniach były z reguły większe niż spodziewane w rzeczywistych warunkach używania. Przechowywanie w warunkach wysokiej wilgotności sprzyjało długotrwałemu przetrwaniu drobnoustrojów. Przechowywanie użytych masek w zamkniętych torbach plastikowych jest niewłaściwe. Powinny one być przechowywane niezłożone, a kontakt z nimi powinien odbywać się poprzez elementy niefiltracyjne – taśmy czy zaczepy uszne. Nie należy liczyć na przyspieszenie ograniczenia żywotności wirusów poprzez traktowanie masek preparatami odkażającymi (31, 32). Przy wykonywaniu procedur wysokiego ryzyka maski jednorazowe powinny być poddane utylizacji po jednorazowym użyciu.

Re-areozolizacja drobnoustrojów związanych siłami Van der Waals'a w materiale filtracyjnym jest niewielka (33). Zaleca się jednak ostrożność w postępowaniu ze zużytymi maskami, unikanie potrząsania i mycie rąk po ich utylizacji

**Tabela 1. Metody dekontaminacji respiratorów w celu powtórnego użycia (22).**

Lp	Metoda	Warunki	Uwagi	Referencje
1.	Pary nadtlenu wodoru	Suche pary nadtlenu wodoru Warunki określone parametrami pracy aparatury	Brak degradacji materiału oraz parametrów filtracji (dla większości testowanych urządzeń) Kosztowna aparatura Brak kompatybilności z produktami z celulozą	(24, 25, 26, 27)
2	Tlenek etylenu	55-60°C 725-800 mg/dm <sup>3</sup> 1-4 godz. ekspozycji	Brak degradacji materiału oraz parametrów filtracji Kosztowna aparatura	(24, 25)
3	Promieniowanie ultrafioletowe	UV-C 253-254 nm, średnio dawka: 1-2 J/cm <sup>2</sup> skrajanie do 2360 J/cm <sup>2</sup> intensywność 1,6-2,2 m W/cm <sup>2</sup> czas ekspozycji średnio 30 min (2 x 15 min), skrajnie do 5 h	Łatwa dostępność promienników Niska penetrowalność promieniowania Przy najwyższych dawkach niewielka degradacja materiałów Redukcja inokulum wirusowego	(24, , 25, 28, 29, 30)
4.	Wilgotne gorące powietrze	60°C Wilgotność 80% 15-30 min	Wymagany termostat Brak degradacji materiału oraz parametrów filtracji	(24, 25)

w przypadku drobnoustrojów przetrwalnikujących (laseczka wąglika). Ostrożność w stosunku do SARS-CoV-2, wirusa dość trwałego w środowisku, powinna być zalecana w przypadku planowanego przechowywania. Warunki tego przechowywania nie są jednak do końca jasne. Najdłuższe przeżycie koronawirusów obserwuje się w niskiej temperaturze (4°C) oraz przy niskiej i bardzo wysokiej wilgotności. Brakuje danych dotyczących materiałów filtracyjnych i innych elementów masek. Według niektórych bezpiecznie byłoby przechowywać maski przez 9 dni przed ponownym użyciem, gdyż na tyle zbiorczo ocenia się zdolność koronawirusów do przetrwania na powierzchniach nieożywionych (16), jednak opisane rekomendacje WHO wskazują na opisaną wyżej dekontaminację.

#### *Przetwanie SARS-CoV-2 na innych środkach ochrony osobistej*

Jeśli chodzi o pozostałe elementy strojów ochronnych, wcześniejsze badania laboratoryjne wykazały, że wirusy takie jak SARS-CoV, ludzki koronawirus 229E mogą pozostawać w stanie aktywnym na rękawiczkach i fartuchach jednorazowych, jednakże jak dotąd nie wykazano tego w okolicznościach klinicznych w stosunku do COVID-19 (34). W Singapurze w styczniu i lutym 2020 wykonano próbobranie w izolatkach o wysokim stopniu bezpieczeństwa w stosunku do zakażeń przenoszonych drogą powietrzną (*airborne infection isolation rooms*). Należy zaznaczyć, że są to pomieszczenia z intensywną wymianą powietrza (12 pełnych wymian na godzinę), bardzo często dezynfekowane. Obecność RNA wirusa odkryto na kratkach wentylacyjnych, co wskazuje na dużą lotność wirusa. Stwierdzono ją także na misce klozetowej, co sugeruje wydzielanie wirusa drogą pokarmową. Środki ochrony osobistej personelu były nieskażone, nie stwierdzono wynoszenia skażenia na obuwie (35). Nie stwierdzano także pozytywnych wyników wymazów z masek KN95 (azjatycki odpowiednik US N95). Wydaje się, że wydłużone użycie środków ochrony osobistej jest bezpieczne w idealnych warunkach higieny środowiska (36).

#### *Certyfikowane respiratory – jedyna realna ochrona dróg oddechowych przed SARS-CoV-2*

Niezaprzeczalnie ochrona dróg oddechowych personelu medycznego jest działaniem o udowodnionej skuteczności, szczególnie w przypadku procedur obarczonych dużym ryzykiem aerozolizacji wydzielin z układu oddechowego pacjenta. W takich sytuacjach maski powinny spełniać standardy respiratorów filtrujących – co najmniej 95% cząstek, o oznaczeniu wg standardu europejskiego EN 149:2001 w klasyfikacji: jednorazowa maska twarzowa filtrująca 2 (*filtering facepiece 2*, czyli FFP2 – skuteczność filtracji 95%), wg europejskiego standardu EN 143:2000, EN 140:1999, EN 136:1998 w klasyfikacji: maska twarzowa elastometryczna wielokrotnego użytku P2 (skuteczność filtracji powyżej 94%), wg amerykańskiego standardu NIOSH 42 CFR 84 o oznaczeniu N95 czy zgodnie z chińskim standardem GB2626-2006 o oznaczeniu KN95/KP95. Standard amerykański wymaga badań skuteczności filtracji, wielkości przecieku powietrza wokół maski, dopasowania i czynników ochronnych, podczas gdy w standardzie EN ocenia się tylko skuteczność filtracji.

Amerykański Instytut Higieny i Zdrowia Pracy (*National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*)

klasyfikuje respiratory twarzowe filtrujące cząsteczki (*particulate filtering facepiece respirators – FFRs*) do 9 kategorii: N95, N99, N100, P95, P99, P100, R95, R99, and R100, gdzie wartości numeryczne wskazują minimalną zdolność filtracyjną (95 – filtruje 95% cząstek zawieszonych w powietrzu), a oznaczenia literowe odporność na aerozol (N – nieodporne, R – nieco odporne, P – bardzo odporne) (37). Standard europejski (EN 149:2001) dzieli FFRs na 3 klasy: FFP1, FFP2 i FFP3 (o skuteczności filtracji odpowiednio: 80%, 94% i 99%). Standard FFP2 jest ekwiwalentem N95 FFRs i jest rekomendowany w profilaktyce chorób zakaźnych przenoszonych drogą powietrzną. W Wielkiej Brytanii jedynym akceptowanym standardem Health and Safety Executive (HSE) do tych celów jest ten najwyższy – FFP3 (38). Maski powinny być zgodne z Dyrektywą dot. Urządzeń Medycznych (MMD 93/42/EEC) i opatrzone znakiem CE. Wśród specjalistów toczy się dyskusja, czy wyższe standardy filtracji zapewniają wyższy poziom ochrony przed czynnikami zakaźnymi. Właściwa ocena czynnika dopasowania maski w warunkach ryzyka powodowanego przez każde kolejne stanowisko pracy jest trudna. Ocena się całkowity przeciek maski powodowany przez stopień narażenia (prędkość strumienia aerozolu, masywność jego skażenia) i sposób użytkowania. Poleganie na testowaniu dopasowania lub stopnia filtracji jest niewystarczające. Ocena faktycznej efektywności w warunkach rzeczywistych nastęrcza wielu trudności ze względu na bardzo odmienne nawyki codziennego użytkowania i szereg innych, konkurencyjnych, równie lub bardziej efektywnych dróg transmisji choroby w stosunku do drogi aerzolowej.

Wykazano, że właściwy wskaźnik ochrony najłatwiej osiąga się dla dużych cząstek 0,263-0,384 μm, podczas gdy wielkość cząstek wirusów i bakterii wynosi 0,093-1,61 μm (wirus SARS-CoV – śr. 0,125 μm). Gdy cząsteczki przechodzą przez materiał filtracyjny i poprzez przecieki wokół maski, dyfuzja powoduje depozyt mniejszych cząstek na materiale filtracyjnym, podczas gdy większe są zaklinowywane i przechwytywane. Największą penetrację powoduje przeciek wokół maski, a nie przez materiał filtracyjny (maski chirurgiczne 4-8 razy większy, maski N95 1,5-6,7 razy większy). Najważniejszym parametrem końcowym jest przypisany wskaźnik ochrony, czyli stosunek zanieczyszczenia powietrza na zewnątrz maski na danym stanowisku pracy w stosunku do osiąganego po jej wewnętrznej stronie osiągnięty przez 95% użytkowników (*Assigned Protection Factor – APF*). Wymagania pod tym względem stawiane respiratorom FFP2 i FFP3 są odpowiednio APF = 10 dla obu w USA oraz 10 i 20 w Wielkiej Brytanii. Wg badań modelowych współczynnik ten powinien wynosić co najmniej 5. Zanieczyszczenie powietrza skażonymi cząsteczkami jest inne na stanowisku endoskopowym, inne przy opiece pielęgniarskiej nad pacjentem zakażonym COVID-19, inne przy wizytach ambulatoryjnych potencjalnie niezakażonych pacjentów. Przy normalnym oddychaniu przepływ jest laminarny i wskaźnik ochronny nie zależy jedynie od wielkości cząstek aerzolu, a tym samym od jakości materiału filtracyjnego. Większe znaczenie ma kształt i wielkość maski decydujące o dopasowaniu do twarzy. W tym sensie respiratory o najwyższej zdolności filtracyjnej (FFP3), a o niskim wskaźniku dopasowania (*fit factor*) mogą nie mieć najwyższej zdolności ochronnej (*protection factor*). Maski FFP3 mają większe ciśnienie filtracji poprzez bardziej upakowany materiał filtracyjny, co powoduje większy przeciek zaciąganego powietrza przez nieszczelności wokół maski. Podkreśla to znaczenie testowania dopasowania maski przy pomocy standaryzowanych testów, szczególnie

w przypadku personelu wykonującego procedury wysokiego ryzyka związane z wytwarzaniem zakażonego aerozolu (intubacja, odsysanie, bronchoskopia, płukanie drzewa oskrzelowego).

#### *Wykorzystanie masek chirurgicznych i innych improwizowanych osłon twarzy*

Jak wcześniej opisano, maseczki chirurgiczne nie stanowią rzeczywistego środka ochrony osobistej. Maski chirurgiczne blokują duże cząsteczki zakaźne. Stanowią prowizoryczną ochronę zdrowego użytkownika jedynie przed dużymi kroplami przypadkowego kaszlnięcia czy kichnięcia, rozpryskiem skażonych wydaliny o dużej prędkości przemieszczania się aerozolu. Zatrzymują też duże krople aerozolu wydychane przez noszące je osoby chore, np. podczas rozmowy (39). Są rekomendowane do użytku przez objawowych chorych w momencie interakcji ze zdrowymi. Używane przez pracowników ochrony zdrowia mogą ograniczać transmisję od zakażonego personelu nie demonstrującego objawów do zdrowych pacjentów, ale tylko drogą aerozolu. Nie mogą być ściśle dopasowane do owalu twarzy i nie są rekomendowane jako ochrona przed chorobami zakaźnymi. Potwierdzono to zarówno warunkach laboratoryjnych (40), jak i zakładach leczniczych. Gdy porównywano częstość zakażenia między pracownikami opieki zdrowotnej, którzy nie nosili masek, nosili maski chirurgiczne i maski N95, wykazano jej zmniejszenie jedynie w tym ostatnim przypadku (41).

Badania symulacyjne wykazują, że ochrona nadawana przez maski chirurgiczne w stosunku do cząstek wielkości 0,04-1,3  $\mu\text{m}$  (wirus SARS-CoV – śr. 0,125  $\mu\text{m}$ ) jest 8-12 razy mniejsza niż maski N95 (42). Wykazuje się jednak, że ochrona przeciw wirusowi grypy może być zapewniona w podobnym stopniu przez maski chirurgiczne, jak przez N95, gdy stężenia wirusa są niskie (43). Należy jednak pamiętać, że czynnik ochronny (PF) masek chirurgicznych jest 15,9 razy mniejszy niż masek FFP2. Należy uznać, że maski chirurgiczne są złym substytutem masek referencyjnych. Różnica we wskaźnikach dopasowania i wskaźnikach protekcyjnych jest zbyt duża, aby te maski porównywać. Wskaźnik dopasowania maski jest kluczowym elementem. Luźno dopasowane maski mają niski wskaźnik ochronny nawet przy ich wysokiej zdolności filtracyjnej. Test dopasowania ma zasadnicze znaczenie przy procedurach medycznych powodujących wysokie zagrożenie aerozolem zakaźnym. Maski chirurgiczne nie poddają się żadnym standardom oceny dopasowania NIOSH. Ocena ich skuteczności nie może opierać się na tym wskaźniku (44). Istnieją chirurgiczne respiratory N95 chroniące pole operacyjne przed kontaminacją ze strony operatorów i jednocześnie zapewniające ochronę filtracyjną noszącego poprzez możliwość ich ścisłego dopasowania.

W podmiotach leczniczych noszenie maski chirurgicznej w sposób ciągły ma nieudokumentowaną wartość. Jednak maska chirurgiczna, przy braku dostępnych certyfikowanych respiratorów, jest niezbędnym elementem stroju podczas opieki nad pacjentem z objawami infekcji układu oddechowego, łącznie ze środkami ochrony oczu, rękawiczkami i kombinezonem ochronnym. Podczas kontaktu z chorym z nierozpoznanym COVID-19 stosowanie maski bez ochrony oczu może być zagrożeniem. Nie zabezpiecza przed zakażeniem drogą inokulacji na spojówkach. Ponadto noszący maskę mają tendencję do częstszego dotyknięcia twarzy. Mogą przez to przenieść na siebie infekcję na zabrudzonych

rękawiczkach (rękach). Noszenie maski może zapobiegać przeniesieniu infekcji od członków personelu medycznego, którzy są asymptomatyczni w czasie inkubacji, ale już zakaźni, do ich współpracowników i pacjentów. Prawdopodobieństwo takiej sytuacji rośnie w miarę coraz większego rozpowszechnienia zakażenia COVID-19 w populacji. Przenoszenie tą drogą zostało potwierdzone, choć nie jest jasne, czy znacznie przyczynia się do rozwoju epidemii. Pracownicy mogą przypisywać niejasne objawy, jak bóle mięśni, zmęczenie, ból gardła, upośledzenie drożności nosa stresowi, sezonowym alergiom, ekspozycji na preparaty dezynfekcyjne, podczas gdy w rzeczywistości mogą rozwijać pierwsze objawy cięższego zachorowania lub przechodzić chorobę w sposób łagodny. Nakaz ciągłego noszenia masek chirurgicznych w rutynowych warunkach pracy przez wszystkich pracowników służby zdrowia mógłby ograniczyć rozprzestrzenianie choroby tą drogą. Nie może to jednak prowadzić do zaniedbania pozostałych, bardziej zasadniczych elementów prewencji transmisji drogą skażonych rąk i powierzchni. Do czynności tych należą: restrykcyjne zasady higieny rąk, skринing pacjentów w kierunku objawów (nie tylko skринing temperatury); zakładanie masek pacjentom objawowym i bezobjawowym; ich izolacja, wszystkie elementy ochrony (łącznie z ochroną oczu) przy ich badaniu; codzienne ocenianie przyjętych pacjentów, którzy mogą wychodzić z okresu inkubacji do fazy objawowej lub być zakażeni w szpitalu, pod kątem objawów infekcji oddechowej. Wątpliwości należy interpretować na korzyść postawy ostrożnościowej. Należy rozszerzyć kryteria kwalifikacji do testu potwierdzającego zakażenie dla pracowników i pacjentów szpitali do łagodnych objawów infekcji, a nie tylko pełnych kryteriów przypadku epidemiologicznie podejrzanego. Dystansowanie się pracowników od siebie w pracy oraz od innych poza podmiotem leczniczym powinno być wymaganym standardem. Ograniczenie liczby odwiedzających i ich skринowanie to kolejny wymóg.

Z drugiej strony należy pamiętać, że przenoszenie infekcji od osób asymptomatycznych oceniono na podstawie obserwacji w Wuhan na jedynie 1-3% i jest ono na pewno mniejszym problemem od transmisji od osób symptomatycznych. W tym sensie personel nie mający opisanego wyżej, znaczącego kontaktu z osobą zakażoną nie powinien być odsuwany od pracy. Powinien jednak zachowywać reguły dystansowania się i podwyższonej higieny oraz, co w takich wypadkach wydaje się najbardziej wskazane, powinien od momentu wejścia na teren podmiotu leczniczego stale nosić maskę chirurgiczną. Jeśli jednak wiąże się to z ryzykiem braku masek do opieki nad pacjentem objawowym, środek ten nie powinien być stosowany. Z drugiej strony ciągłe stosowanie jednej maski przez cały dzień pracy może prowadzić do większych oszczędności w użyciu tego sprzętu niż zakładanie ich *ad hoc* w sytuacjach podwyższonego ryzyka. Jednak w przypadku maseczek chirurgicznych wydaje się, że wydłużone korzystanie z maseczek może być gorszym rozwiązaniem ze względu na szybkie zawilgotnienie maseczki parą wodną, a także stosunkowo niewielki koszt oraz większą podaż i dostępność maseczek niż certyfikowanych respiratorów. Warto zatem, przy założeniu polityki stałego noszenia maseczek, zmieniać je częściej w miarę potrzeb.

Zakłada się jednak, że noszenie masek, także poza podmiotami leczniczymi, może zapewnić minimalną ochronę przed czynnikami zakaźnymi. Nadal uważa się, że znacząca ekspozycja na COVID-19 to kontakt twarzą w twarz z objawowym chorym na odległość mniejszą niż 1,8 m (6 stóp) przez przynajmniej kilka minut (niektórzy zakładają 10,

a nawet 30 min). Możliwość zakażenia podczas poruszania się w przestrzeni publicznej wydaje się być minimalna. Z jednej strony dążność do zakładania masek w wolnej przestrzeni jest odruchem lękowym w obliczu pandemii. Z drugiej strony, wobec eksplozji pandemii SARS-CoV-2, istnieje oczekiwanie zaleceń stosowania ochrony dróg oddechowych ze strony pracodawców dla pracowników w instytucjach niezbędnych dla funkcjonowania społecznego, które muszą podtrzymać swoje operacje. Ponadto ostatnio w wielu krajach maseczki chirurgiczne lub inne improwizowane osłony twarzy stały się obowiązkowe w miejscach publicznych. Warto podkreślić, że improwizowane osłony twarzy nie są rekomendowane w obszarze medycznym, a ich skuteczność jako ochrony własnej jest jeszcze niższa niż maseczek chirurgicznych (22).

Jak opisano wcześniej ich powszechne użycie ma dodatkowe znaczenie związane z ograniczeniem transmisji od chorych asymptomatycznie, czy przeniesieniem zakażenia na błony śluzowe ust i nosa. Jednak pojawiają się także informacje o braku ochrony wobec SARS-CoV-2 poprzez bariery o różnej konstrukcji nakładane na twarz, aby uniknąć zakażenia przy ekspozycji w warunkach nieuniknionych interakcji społecznych (sklepy, apteki, środki komunikacji, w tym szczególnie zamknięte pomieszczenia o małej kubaturze – windy, taksówki). Z przeprowadzonych badań wynika, że niektóre materiały są lepszym surowcem do stworzenia improwizowanej osłony w warunkach domowych (45). Z przebadanych parametrów wzięto pod uwagę stopień filtracji cząstek o określonej wielkości (bakterie i wirusy) oraz łatwość w oddychaniu. Wyniki wskazują, że poza innymi walorami improwizowane osłony oferują także pewną ochronę, zwłaszcza te wykonane z bawełny (koszulki typu T-shirt czy bielizna pościelowa).

Ciągłe noszenie maski może mieć dodatkowy wymiar psychologiczny przypominający innym o ostrożności i podnoszący poczucie własnego bezpieczeństwa. Nie powinno to jednak zastępować edukacji w zakresie właściwej oceny ryzyka ekspozycji własnej związanej z obowiązkami służbowymi i w różnych sytuacjach życiowych oraz dostosowania do nich własnego zachowania higienicznego (46).

Podsumowując, pozytywne efekty w walce z zagrożeniem zakażenia koronawirusem przyniesie stosowanie adekwatnych do ryzyka osłon dróg oddechowych, w tym osłon improwizowanych, łącznie z pozostałymi zasadami profilaktyki, to jest z zachowaniem odległości, przestrzeganiem zasad restrykcyjnej higieny rąk oraz reżimu sanitarno-higienicznego. Wszystkie te elementy stosowane jednocześnie dają synergistyczny efekt znacznej redukcji niekontrolowanego szerzenia się wirusa w społeczeństwie.

#### PIŚMIENNICTWO:

- Lindsley WG, Blachere FM, Thewlis RE, et al. Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PLoS ONE* 2010; 5:e15100. DOI:10.1371/journal.pone.0015100.
- Wong BCK, Lee N, Li Y et al. Possible role of aerosol transmission in a hospital outbreak of influenza. *Clin Infect Dis* 2010; 51:1176-1183.
- Bielawska-Drózd A, Michalski A, Cieślak P, Makowski P, Kocik J. Metody diagnostyki laboratoryjnej COVID-19. *Wiedza Medyczna* 2020; 1-9.
- EN 149:2001+A1:2009 Respiratory protective devices. Filtering half masks to protect against particles. Requirements, testing, marking.
- EN 143:2000 Respiratory protective devices. Particle filters. Requirements, testing, marking.
- Advice on the use of masks in the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak WHO 2020 CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- European Centre for Disease Prevention and Control. Guidance for wearing and removing personal protective equipment in healthcare settings for the care of patients with suspected or confirmed COVID-19. Stockholm: ECDC 2020.
- MacIntyre CR, Chughtai AA, Rahman B, et al. The efficacy of medical masks and respirators against respiratory infection in healthcare workers. *Influenza Other Respi Viruses* 2017; 11:511-517. <https://doi.org/10.1111/irv.12474>.
- Aiello AE, Murray GF, Perez V, et al. Mask use, hand hygiene, and seasonal influenza – like illness among young adults: a randomized intervention trial. *J Infect Dis* 2010; 201:491-498.
- MacIntyre CR, Cauchemez S, Dwyer DE et al. Face mask use and control of respiratory virus transmission in households. *Emerg Infect Dis* 2009; 15:233-241.
- Jefferson T, Del Mar CB, Dooley L, Ferroni E, Al-Ansary LA, Bawazeer GA, van Driel ML, Nair S, Jones MA, Thorning S, Conly JM, Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses. The Cochrane database of systematic reviews 2011 (7), CD006207. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006207.pub4>.
- Bin-Reza F, Lopez Chavarrias V, Nicoll A, Chamberland ME. The use of masks and respirators to prevent transmission of influenza: a systematic review of the scientific evidence. *Influenza Other Respir Viruses* 2012; 6(4):257-267. DOI:10.1111/j.1750-2659.2011.00307.x
- Phin NF, Rylands A, Allan J, Edwards C, Enstone JE, Nguyen-Van-Tam J. Personal protective equipment in an influenza pandemic: a UK simulation exercise. *J Hosp Infect* 2009; 71:15-21.
- Srinivasan A, Perl TM. Respiratory protection against influenza. *JAMA* 2009 Nov 4; 302(17):1903-4. DOI:10.1001/jama.2009.1494. Epub 2009 Oct 1. PubMed PMID: 19797473.
- Yan J, Guha S, Hariharan P, Myers M, Modeling the Effectiveness of Respiratory Protective Devices in Reducing Influenza Outbreak. *Risk Analysis*, 39:647-661. DOI:10.1111/risa.13181.
- van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1 [published online ahead of print, 2020 Mar 17]. *N Engl J Med* 2020; 10.1056/NEJMc2004973. DOI:10.1056/NEJMc2004973.
- Blachere FM, Lindsley WG, Pearce TA, et al. Measurement of airborne influenza virus in a hospital emergency department. *Clin Infect Dis*. 2009; 48:438-40.
- Stelzer-Braid S, Oliver BG, Blazey AJ et al. Exhalation of respiratory viruses by breathing, talking and coughing. *Journal of Medical Virology*. 2009; 81:1674-1679.
- Tellier R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *J. R. Soc. Interface* 2009, 6 (Suppl 6): S783-S790.
- Yu ITS, Wong TW, Chiu, et al. Temporal-spatial analysis of Severe Acute Respiratory Syndrome among hospital inpatients. *Clin Infect Dis* 2005, 40:1237-1243.
- Zhongneng Xu, Can the novel coronavirus transmit via RNAs without protein capsids? DOI:10.31219/osf.io/4nj6e – dane nie recenzowane.
- World Health Organization. (2020). Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance, 6 April 2020. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331695>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

23. Coulliette A, Perry K, Edwards J, Noble-Wang J. Persistence of the 2009 Pandemic Influenza A (H1N1) Virus on N95 Respirators. *Appl Environ Microbiol* 79(7): 2148-2155 (2013).
24. Viscusi D, Bergman M, Elmer B, Shaffer R. Evaluation of Five Decontamination Methods for Filtering Facepiece Respirators. *Ann Occup Hyg*. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep070>.
25. Bergman MS, Viscusi DJ, Heimbuch BK, Wander JD, Sambol AR, Shaffer RE. Evaluation of multiple (3-cycle) decontamination processing for filtering facepiece respirators. *J Eng Fiber Fab*, 5(4), 155892501000500405. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/155892501000500405>.
26. Final Report for the Bioquell Hydrogen Peroxide Vapor (HPV) Decontamination for Reuse of N95 Respirators. Prepared by Battelle Columbus, Ohio. Prepared under Contract No. HHSF223201400098C. Study Number 3245. Prepared for the FDA. July 2016. Accessed, March 26, 2020 from <https://www.fda.gov/media/136386/download>.
27. Reuse of FFP2 masks 2020. The Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM National Institute for Public Health and the Environment). <https://www.rivm.nl/en/documenten/reuse-of-ffp2-masks>.
28. Lindsley WG, Martin SB Jr, Thewlis RE, Sarkisian K, Nwoko JO, Mead KR, Noti JD. Effects of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) on N95 Respirator Filtration Performance and Structural Integrity. *J Occup Environ Hyg* 12(8): 509-17. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25806411>.
29. Mills D, Harnish DA, Lawrence C, Sandoval-Powers M, Heimbuch BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control*, 46(7), e49-e55. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.018>.
30. Heimbuch BK, Harnish D. Research to Mitigate a Shortage of Respiratory Protection Devices During Public Health Emergencies. Applied Research Associates. <https://www.ara.com/sites/default/files/MitigateShortageofRespiratoryProtectionDevices.pdf>.
31. Eninger RM, Adhikari A, Reponen T, Grinshpun SA. Differentiating Between Physical and Viable Penetrations When Challenging Respirator Filters with Bioaerosols. *Clean* 2008; 36(7), 615-621.
32. Wu C-Y, Lee J-H, Riemenschneider L, Theodore AD. Evaluation of the performance of iodine-treated biocide filters challenged with bacterial spores and viruses. Air Force Research Laboratory Report, AFRL-RX-TY-TR-2008-4511, 2008.
33. Qian Y, Willeke K, Grinshpun SA, Donnelly J. Performance of N95 respirators: reaerosolization of bacteria and solid particles. *Am. Ind. Hyg Assoc. J.* 1997, 58:876-880.
34. Casanova L, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Coronavirus survival on healthcare personal protective equipment. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(5): 560-561 (2010).
35. Ong SWX, Tan Y-K, Chia P-Y, et al. Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient. *JAMA*. Published online March 04, 2020. DOI:10.1001/jama.2020.3227.
36. Ong S, Tan Y, Sutjipto S, Chia P, Young B, Gum M, Ng O. Absence of contamination of personal protective equipment (PPE) by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2). *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 1-6. DOI:10.1017/ice.2020.91.
37. National Institute for Occupational Safety and Hygiene (NIOSH) NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators Certified Under 42 CFR 84. Cincinnati, Ohio, USA: National Institute for Occupational Safety and Hygiene (NIOSH); 1996. (DHHS (NIOSH) Publication no. 96-101).
38. Coia JE, Ritchie L, Adisesh A, et al. Guidance on the use of respiratory and facial protection equipment. *Journal of Hospital Infection*. 2013;85(3):170-182. DOI:10.1016/j.jhin.2013.06.020.
39. Anfinrud P, Bax CE, Stadnytskyi V, Bax A, Could SARS-CoV-2 be transmitted via speech droplets? medRxiv 2020.04.02.20051177; DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20051177>.
40. Oberg T, Brosseau L. Surgical mask filter and fit performance. *American Journal of Infection Control* 2008; 36(4):276-282.
41. MacIntyre CR, Wang Q, Rahman B, et al. Efficacy of face masks and respirators in preventing upper respiratory tract bacterial colonization and co-infection in hospital healthcare workers. *Preventive Medicine*. 2014; 62:1-7.
42. Lee S-A, Grinshpun SA, Reponen T. Respiratory performance offered by N95 respirators and surgical masks: human subject evaluation with NaCl aerosol representing bacterial and viral particle size range. *Annals of Occupational Hygiene*. 2008; 52(3):177-185. DOI:10.1093/annhyg/men005.
43. Loeb M, Dafoe N, Mahony J, et al. Surgical mask vs N95 respirator for preventing influenza among health care workers: a randomized trial. *The Journal of the American Medical Association*. 2009; 302(17):1865-1871. DOI:10.1001/jama.2009.1466.
44. Lee S-A, Hwang D-C, Li H-Y, et al. Particle Size-Selective Assessment of Protection of European Standard FFP Respirators and Surgical Masks against Particles-Tested with Human Subjects. *J Healthc Eng*. 2016; 2016:8572493. DOI:10.1155/2016/8572493.
45. Davies A, Thompson KA, Giri K, Kafatos G, Walker J, Bennett A. Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? *Disaster Med Public Health Prep* 2013 Aug; 7(4):413-8. DOI:10.1017/dmp.2013.43.
46. Klompas M, Morris CA, Sinclair J, Pearson M, Shenoy ES. Universal Masking in Hospitals in the Covid-19 Era [published online ahead of print, 2020 Apr 1]. *N Engl J Med*. 2020;10.1056/NEJMp2006372. DOI:10.1056/NEJMp2006372.