

Obrazne maske v novi normalnosti Covid-19: materiali, testiranja in perspektive - povzetek članka

Originalni članek: **Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives** (Ming Hui Chua, et. al., Research, vol. 2020, Article ID 7286735)

Povzetek pripravili: Sara Masnik in Eva Polajnar

1. Uvod

Nastajajoče in ponovne okužbe so se pojavile kot grožnja za zdravje ljudi v zadnjih desetletjih (1). Glede na sedanjo medsebojno povezanost sveta lahko patogen, ki se prenaša s človeka na človeka, povzroči izbruh daleč od svojega izvira.

Svet je sredi pandemije, ki jo povzroča virus SARS-CoV-2, ki se prenaša pretežno preko respiratorne poti (2, 3). Najboljša nefarmakološka intervencija je **ohranjanje varnostne razdalje** (4, 5). Kjer ni mogoče ohraniti ustrezne razdalje, pa je bistvenega pomena **osebna varovalna oprema** (OVO). Ta predstavlja glavno fizično pregrado pred respiratornimi kapljicami, ki lahko vstopajo skozi nos in usta preko sluznice okuženih posameznikov. Učinkovitejša je, če jo nosi oseba, ki oddaja kapljice (tista, ki npr. govori) (19). Vloga OVO je še posebej pomembna pri tistih posameznikih, ki širijo virus in so pri tem asimptomatski oz. presimptomatski (6–10).

Obstaja več različnih tipov mask, ki nudijo različno stopnjo zaščite pred zunanjimi onesnaževalci različnih velikosti (11–15). Sem spadajo **maske za enkratno** (kirurške maske, respiratorji N95 in KN95) **ali večkratno uporabo** (respiratorji, ki omogočajo menjavo filtrov, ter doma narejene oziroma komercialne pralne maske).

Možnost filtriranja in s tem stopnja zaščite pred onesnaževalci in patogeni je odvisna od uporabljenih materialov in inženirskega načrtovanja teh materialov (11–15). SARS-CoV-2 je velikosti 60–140nm (16), kar je manj od velikosti bakterije, prahu in cvetnega prahu. Iz tega sledi, da maske in respiratorji, narejeni iz materialov, ki imajo večje pore, kot je velikost virusa (npr. bombaž in sintetična tkanina), ne bodo zmožni učinkovito filtrirati virusa oziroma drobnih virusnih kapljic. Po drugi strani pa so maske in respiratorji narejeni ali premazani z vodoodpornimi materiali, ki učinkoviteje ščitijo pred večjimi z virusom obogatenimi respiratornimi kapljicami in razlito tekočino.

Poleg zmogljivosti filtriranja so pomembni tudi drugi dejavniki, kot sta **udobnost za uporabnika in zračnost**, ki se med različnimi modeli mask razlikujejo (17, 18). Čeprav ima tesno prilegajoč se respirator N95 večjo zmogljivost filtriranja kot kirurške maske, ima po drugi strani nižjo zračnost (otežuje dihanje) in tako po več urah nošenja povzroči nelagodje. Zaradi pandemije Covid-19 je prišlo do velikega povpraševanja po kirurških maskah in respiratorjih in s tem tudi do njihovega globalnega pomanjkanja. Zaradi tega se je veliko ljudi odločilo, da začne maske šivati doma ali reciklirati že uporabljene maske, ki nudijo manj zaščite, kot je to dejansko potrebno.

Pri nošenju mask je izrednega pomena, da se pri tem **ne dotikamo obraza ter da poskrbimo za ustrezno higieno rok**. Pomembno je tudi omeniti, da lahko kapljice virusa prodrejo preko očesnih sluznic, kar poudari pomembnost dodatne zaščitne opreme (21).

2. Kako nas maske ščitijo pred respiratornimi boleznimi

Respiratorni virusi se prenašajo po treh poteh: **kontaktno, kapljično in aerogeno** (20). Kontakten prenos je možen direktno (preko onesnaženih rok) in indirektno (preko predmetov, ki služijo kot posrednik pri prenosu virusa) (20). Virus se širi kapljično v različnih velikostih, ko oseba zakašlja, kihne, poje, govori ali zgolj izdahne (17). Na tak način se kapljični oblak v kombinaciji z ostalimi okoljskimi dejavniki (npr. hitrost zraka/vetra) razširi tudi do 7 ali 8 metrov od vira (22). Na splošno velja, da delci, večji od 5 μm , padejo na tla v radiju 1 metra.

Poudariti je treba, da se tudi pri govorjenju sproščajo velike emisije kapljičnih delcev, in sicer več kot 1000–10.000 kapljic na sekundo (23). Nekateri avtorji ocenjujejo, da pri enominutnem glasnem govoru nastane več kot 1000 kapljic, ki vsebujejo virus. Emisije izdihanih delcev so proporcionalne glasnosti govorjenja (6 delcev/sekundo pri šepetanju ter do 53 delcev/sekundo pri glasnem govorjenju) (25).

V Hong Kongu so v času epidemije SARS naredili metaanalizo, s katero so ugotavljali **zaščitno funkcijo posameznih mask**. Že nošenje komercialnih obraznih mask je zaščitilo posameznike ($RR=0,34$, $95\% IZ=0,14-0,82$), medtem ko je pri nošenju kirurških in N95 mask znašal $RR=0,84$ ($95\% IZ=0,36-1,99$), kar kaže na to, da ni bilo razlike v tveganju (26).

V začetni fazi pandemije Covid-19 veliko držav ni priporočalo nošenja mask pri zdravih ljudeh, saj so s tem želeli preprečiti panično kupovanje in kopičenje zalog (27). Veliko držav je takrat poročalo o zbolelih, ki so bili asimptomatski oziroma presimptomatski. Znani so primeri negovalnega osebja, kjer je bilo med 30,3% pozitivnih na Covid-19 samo 43,5% simptomatskih, ostali pa so bili asimptomatski. Nekaterim od njih so se šele po tednu dni pojavili prvi simptomi (28, 29). Ugotovili so tudi, da se je prenos okužbe zgodil 1–3 dni pred pojavom prvih simptomov okužbe s Covid-19. Takšni primeri dodatno otežujejo preprečevanje širjenja virusa.

Veliko bolj dvoumno je, ko gre za priporočila o uporabi mask v gospodinjstvu. V skupini, ki je nosila maske doma, so ugotovili, da je znašal $RR=0,26$ ($95\% IZ=0,06-0,77$). Od tega jih je manj kot 50% nosilo masko ves čas. Nošenje mask in higiena rok nista dobro korelirala z značilnim padcem pojava nalezljivih bolezni (30). Nošenje mask v istem gospodinjstvu se je tako izkazalo za neučinkovito pri preprečevanju sezonskih nalezljivih bolezni.

Svetovna zdravstvena organizacija je 6. 4. 2020 izdala začasno navodilo, da zdravim ljudem ni treba nositi maske, saj ni bilo dovolj dokazov, da lahko maske zaščitijo nosilce okužbe. To pa je bilo v nasprotju s smernicami ameriškega centra za nadzor in preprečevanje bolezni (Center for Disease Control and Prevention – CDC), ki je 3. aprila priporočal obrazne pralne mase v javnih prostorih, zlasti tam, kjer je večja verjetnost prenosa bolezni.

Ugotovili so, da je v letu, ko so se nosile maske, v primerjavi z letom, ko te niso bile v splošni uporabi, prišlo do drastičnega zmanjšanja respiratornih okužb (31). Raziskava o širjenju SARS iz leta 2003, ki je potekala v petih hongkonških bolnišnicah, je pokazala, da je osebje, ki je spoštovalo vse štiri ukrepe: nošenje mask, rokavic, uporaba ustreznih oblek ter umivanje rok, ostalo zdravo. Osebje, ki je izpustilo vsaj enega od ukrepov, se je okužilo. **Za najpomembnejši ukrep izmed vseh pa se je izkazalo nošenje maske.** Kirurške maske in maske N95 nudijo najboljšo zaščito za zdrave ljudi, ki delajo v visokotveganim območju (32).

Če bi vsaj 80% ljudi nosilo maske, bi bil vpliv na pandemijo precejšen in bi prišlo do izravnania krivulje, so ugotovili s pomočjo matematičnih modelov (33). Ta ukrep pa se izniči, če maske nosi le 50% ljudi ali manj. Najkasneje do 50. dneva bi tako lahko ustavili pandemijo. S tem se poudarja pomen zgodnje intervencije nošenja mask. Če bi vsaj 80% ljudi nosilo maske, bi se krivulja rasti okužb bistveno bolj spustila, kot smo to dosegli z uvedbo zaustavljanja gospodarskih dejavnosti. Vlade bi tako morale uporabiti vsa sredstva, da zagotovijo zadostno število mask. Če je zaloga nezadostna, naj širša javnost zunaj svojih domov uporablja obrazne pralne maske.

Učinkovitost mask dobro ponazarja primer Hong Konga, kjer so ljudje dosledno nosili maske kljub vladnemu ukrepu obvezne uporabe mask le pri simptomatskih ljudeh. S tem so zabeležili majhno število primerov okužbe. S tridnevним opazovanjem jutranjih voženj so ugotovili, da le 3,4% ljudi od 10.050 opazovanih ni nosilo maske (24).

3. Razumevanje uspešnosti komercialnih mask

3.1. Trislojna kirurška maska

Trislojna kirurška maska je narejena iz **treh različnih plasti netkanega materiala**, od katerih ima vsak svojo funkcijo. Vlakna netkanega materiala so med seboj zlepljena bodisi z uporabo toplote, kemičnih ali mehanskih sredstev. Čeprav je netkani material šibkejši, je zagotovo najcenejši in hiter za izdelavo.

Zunanji del kirurške maske (del, ki je običajno modre barve) je vodoodporen in odbija tekočine, kot so npr. kapljice iz sluznic. **Srednja plast predstavlja filter**, ki preprečuje delcem nad določeno velikostjo, da prodirajo v katerokoli smer. **Notranja plast** je narejena iz vpojnih materialov, ki vpijajo sluznične kapljice uporabnika. Ta plast tudi absorbira vlago iz izdihanega zraka, s čimer se izboljša udobje. Skupaj te tri plasti učinkovito ščitijo tako uporabnika kot okolico z omejevanjem prodiranja delcev in patogenov v obe smeri.

Material, ki se najpogosteje uporablja pri izdelavi trislojne kirurške maske, je polipropilen, saj je razmeroma poceni in je enostaven za obdelavo. Drugi materiali, ki se še uporabljajo, so: polistiren, polikarbonat, polietilen, poliamid, poliuretan, poliester (34).

3.2. Pretok zraka skozi masko

Za razumevanje pretoka je potrebno znanje mehanizma pretakanja tekočin, ki ga ponazarja Bernoullijeva enačba. Ta nam pove, da večja kot je razlika med predeli, kjer zrak potuje, oziroma da manjše kot so pore maske, večji je padec tlaka; z drugimi besedami: uporabnik težje diha skozi takšno masko.

3.3. Merila uspešnosti za komercialne maske

Po poročanju Ameriške družbe za preizkušanje in materiale (ASTM) standard F2100 o učinkovitosti uporabljenih materialov v obraznih medicinskih maskah določa pet lastnosti, ki zagotavljajo doslednost pri izdelavi mask (35), končnemu uporabniku pa nudi ustrezne informacije, na podlagi katerih se lahko odloči za morebitno uporabo maske:

a) Učinkovitost filtracije delcev (PFE)

Ta test meri učinkovitost filtracije obraznih mask proti monodisperziji delcev pod konstantno hitrostjo pretoka zraka. Za testiranje PFE se v skladu z ameriško Agencijo za hrano in zdravila (Food and Drug Administration – FDA) uporabljajo 0,1 μm polistirenski delci lateksa pri hitrostih zračnega toka 0,5–25 cm/s, kot je priporočeno po standardu ASTM F2299 za kvantifikacijo učinkovitosti filtracije materialov, uporabljenih v obraznih maskah (36). Zmožnost filtriranja delcev (E) pogosto izražamo v odstotkih. Višja kot je vrednost E, boljša je sposobnosti maske za filtriranje submikronskih delcev. PFE ne ocenjuje prileganja maske lastnostim obraza uporabnika.

b) Učinkovitost filtriranja bakterij (BFE)

Tu gre za učinkovitost obrazne maske pri filtriranju aerosola, ki vsebuje bakterijo *Staphylococcus aureus*, kot priporoča standard ASTM F2101 866). *S. aureus* je bil izbran zaradi svoje klinične pomembnosti ter zato, ker je eden vodilnih vzrokov bolnišničnih okužb (67, 68). BFE izrazimo v odstotkih, kjer primerjamo število bakterijskih kolonij v kontrolni skupini brez prisotnosti filtrirnega materiala. Pri kirurških maskah je potreben BFE, ki znaša vsaj 95% (70). Tako kot PFE tudi BFE v skladu z standardi ASTM F2101 ne ocenjuje prileganja maske lastnostim obraza uporabnika.

c) Učinkovitost filtriranja virusov (VFE)

Tu gre za učinkovitost obrazne maske pri filtriranju aerosola, ki vsebuje virus bakteriofag ΦX174 . Vrednost VFE se izračunava po podobnem postopku kot BFE (37).

d) Vodoodpornost

Ocenjuje se odpornost na tekočino, ki prihaja od zunaj zaradi brizganja na notranje plasti obrazne maske. Hitrosti ustrezajo različnim krvnim tlakom. Izražamo jo v mmHg: Level 1: pritisk v venah 80 mmHg, Level 2: pritisk v arterijah 120 mmHg, Level 3: visoki pritiski (travma/kirurški posegi z visokotlačnim brizganjem 160 mmHg) (38).

e) Diferencialni tlak (DP)

DP meri sposobnost materiala za omejitev pretoka zraka skozi obrazno masko z merjenjem diferenciala zračnega pritiska na obeh straneh maske. Daje objektivno oceno zračnosti maske. Merimo ga v mm H₂O/cm². Manjše vrednosti napovedujejo boljšo zračnost ter omogočajo lahkotnost uporabe pri uporabniku. DP pri srednje in visoko bariernih obraznih maskah znaša <5,0, medtem ko pri nizko bariernih maskah znaša <4,0 (39).

f) Vnetljivost

Glede na standard ASTM F2100 morajo materiali, ki se uporabljajo v medicinskih obraznih maskah, izpolnjevati zahteve vnetljivosti razreda 1 s povprečnim časom gorenja $\geq 3,5$ sekunde (40). Prav tako je treba zagotoviti, da materiali ne škodujejo uporabniku (testi citotoksičnosti, kožne občutljivosti) (41, 42).

4. Maske iz gospodinjskih materialov

Pralne maske **nudijo zaščito pred virusi in bakterijami do neke stopnje**, vendar njihova učinkovitost ni nikakor primerljiva z maskami N95 in kirurškimi maskami ne glede na čas nošenja (14). Vsekakor lahko nošenje maske zmanjša verjetnost pojava bolezni, ne more pa ga odpraviti (18). Pomembni so tudi ostali preventivi ukrepi kot npr. higiena rok, varnostna razdalja, karantena in imunizacija, ki lahko zmanjšajo prenos okužbe oziroma jo ustavijo (43). S te perspektive gledano so pralne maske **skrajno sredstvo**, ko se soočamo s pomanjkanjem zaloge obraznih mask in lahko v neki meri zaščitijo splošno javnost. Vsekakor pa pralne maske niso primerne za zdravstveno osebje, posebej ne za tiste, ki delajo v visokorizičnem okolju (44–46).

Za najboljše gospodinjske materiale, iz katerih so izdelane pralne maske, so se izkazale prevleke za blazine in 100% bombažne majice. Nadaljnje študije so pokazale, da podvajanje slojev ni bistveno izboljšalo učinkovitosti obrazne maske (12). Če se pri izdelavi mask uporabljata dva sloja, pride do nekoliko oteženega dihanja uporabnika.

Filtracijo delcev velikosti od 10 nm do 10 μ m (47) lahko dosežemo s **kombinacijo različnih materialov** kot npr. bombaž-svila, bombaž-šifon, bombaž-flanela in s tem nekoliko povečamo učinkovitost filtracije delcev. Do tega pride zaradi sinergističnega učinka bombaža in pojava elektrostatične filtracije z druge strani (npr. svila). Upoštevati pa je treba tudi število plasti materiala, gostoto plasti, obliko obraza (odprtine in reže med robom maske in konturo obraza).

5. Dekontaminacija obraznih mask

Pri dekontaminaciji je pomembno to, da je varna in učinkovita pri uničenju patogenov, da ohrani učinkovitost materialov obrazne maske in ustrezno tesnjenje ter da po postopku ne pušča kemikalij, ki bi lahko vplivale na zdravje uporabnika.

Kirurške maske in maske FFR so narejene za enkratno uporabo in niso namenjene ponovni uporabi. Če pa se zaradi pomanjkanja pojavi potreba po ponovni uporabi, je na voljo **več dobro preučenih metod dekontaminacije**. Med temi so načini dekontaminacije z UV-sevanjem (UVGI), s pomočjo hlapov vodikovega peroksida (VHP) ter z vlažno toplotno obdelavo bolj učinkoviti in primerni za obsežnejše razkuževanje mask v bolnišnici, medtem ko se lahko razkuževanja s pomočjo vlažne ali suhe toplote in obdelave s paro poslužujemo tudi doma, vendar z omejenimi cikli razkuževanja (47–50). Nekatero druge metode morda niso priporočljive, saj lahko ogrozijo strukturno celovitost mask in poslabšajo njihovo delovanje ali celo ogrozijo zdravje posameznika (npr. etilen oksid). Priporoča se, da pri dekontaminaciji mask nosite zaščitne rokavice, maske in celo zaščitna očala, po tem pa si temeljito umijete roke z milom ali razkužilom.

6. Načrtovanje večnamenskih mask in materialov za njihovo proizvodnjo

Na področju proizvodnje mask potekajo intenzivne raziskave in razvoj (izboljšanje filtriranja zraka, dodajanje novih funkcij maskam, povečanje udobnosti nošenja mask za uporabnike). Glavne značilnosti, ki vplivajo na funkcijo zračnih filtrov, so: premer vlaken, debelina membrane ter prepustnost zraka. Filtri so izdelani iz mreže naključno razporejenih polimernih ali steklenih vlaken (ϕ od nekaj μm do nekaj deset μm) v debelih plasteh.

Izboljšave zračnih filtrov za zadrževanje trdnih delcev (PM) v zadnjih petih letih vključujejo:

- **polimerne membrane iz nanovlaken** (tanjše, večja površina in poroznost, nižji zračni upor; proizvedene so z metodo električnega predenja – električno nabit curek raztopine polimera (51); povezava nanovlaken z 2D nanomrežami – take membrane so znatno boljše od polipropilenskih/membran iz steklenih vlaken (52));
- **naelektrene membrane** (aktivno lovljenje delcev, tanjše, proizvedene z metodo električnega predenja, ki naelektri vlakna – ojačevalci naboja v raztopini so različni nanodelci (53, 54, 55, 56), ali z naelektrivijo preko zunanega električnega polja (57)). Slabost teh dveh načinov naelektritve je nizka stabilnost učinkovite filtracije zaradi hitrega razpadanja površinske naelektritve po stiku z vlago ali oljnimi kapljicami (58); naelektritev s pomočjo trenja s konstantnim polnjenjem (triboelektrični nanogenerator, ki energijo pridobiva iz mehanskega gibanja – npr. dihanja, že uporabili pri obraznih maskah) je bolj stabilna tudi pri visoki vlažnosti, naelektritev je možna tudi z drgnjenjem plasti med seboj (59, 60, 61); ter
- **porozne, na kovinsko-organskih okvirih temelječe filtre** (kovinski kationi in organski povezovalci, dobra toplotna stabilnost, visoka poroznost, vdelani v polimerne fibrozne membrane, učinkoviti na različnih substratih, pralni, obstojni pri temperaturah do 300°C (62, 63)).

Izboljšave filtrov in materialov za odstranjevanje mikroorganizmov vključujejo:

- **izvlečke naravnih produktov** (mikrobna toksičnost pripisana flavonoidom, ki poškodujejo funkcijo celične membrane in zavirajo encim DNA-girazo (64); gre za izvlečke rastlin (čajevca (65), oljka (66), grenivka (67), ...); trajnost teh izvlečkov je vprašljiva);

- **kovinske nanodelce in njihove spojine** (srebro, titanov oksid – TiO₂, cinkov oksid – ZnO, aluminijev oksid – Al₂O₃) (prekinejo metabolizem celičnih membran zaradi penetracije nanodelcev in/ali sproščanja kovinskih ionov ali imajo fotokatalitični učinek, ki povzroči oksidativni stres pri mikroorganizmih; bakrovi nanodelci so se nedavno pokazali kot učinkoviti proti Covidu-19 (68), niso pa še poročali o njihovi vključitvi v osebno varovalno opremo);
- **na kovinsko-organskih okvirih temelječe filtre** (delujejo biocidno preko kovinskih ionov). Povezovanje antimikrobnih snovi s filtri za čiščenje zraka je še v začetni fazi razvoja.

6.1. Razvoj mask z antimikrobno aktivnostjo

Nedavna raziskava je pokazala, da lahko virus SARS-CoV-2 ostane aktiven na zunanji površini maske tudi po šestih dneh (69). Tako lahko z dotikom maske tudi za manj kot 5 sekund virus (npr. 32% virusa influence A) prenesemo na roke (70).

Antimikrobno delujejo:

1. **Kovinski nanodelci:** nizka toksičnost pri koncentracijah, ki so učinkovite za inaktivacijo patogena; srebro, baker (99,85-odstotna učinkovitost filtracije virusa influence A, tudi pralne maske (71)); nanodelci kot fotokatalizator (produkcija reaktivnih kisikovih spojin) – TiO₂, ZnO, učinkoviti le ob zadostni količini svetlobe; kombinacije nanodelcev koristne za biocidno aktivnost.
2. **Kemikalije v gospodinjstvu:** organske kisline (npr. citronska kislina na maski N95, potrjena s strani FDA kot antimikrobna maska (72)) preprečujejo virusu vstop v celice; NaCl poškoduje virusne membrane.
3. **Organske spojine:** polifenoli poškodujejo virusne membrane ter zavirajo podvajanje virusa, nanos premaza iz polifenolov na maske lahko inaktivira >99% testiranih virusov (73); kationske amonijeve spojine (že na voljo na maskah za široko uporabo, a o biocidni aktivnosti niso poročali); polimeri (kisli polimeri).
4. **2D materiali:** grafen (fizična poškodba bakterijske celice; zvišanje temperature na površini – inaktivacija mikroorganizmov).
5. **Kombinacije:** več primerov antimikrobnih mask, odobrenih s strani FDA.

Antimikrobno aktivnost so proučevali v laboratorijskih razmerah.

Druge funkcionalne lastnosti mask:

- hidrofobnost (grafen),
- transparentnost (maske ovirajo delovanje tehnologij, ki prepoznavajo obraz ter otežujejo komunikacijo slabše slišočim in ljudem, ki delajo s strankami; na trgu so prozorne maske iz termoplastične folije z antimikrobno prevleko ter prva popolnoma prozorna obrazna maska ClearMask),
- udobnost za uporabnika ter čiščenje (kirurške maske so udobnejše od doma narejenih, bolje se prilagodijo obrazu, so lažje; LMP S2 je iz silikona, je mehkejša in udobnejša od N95; samosterilizirajoč grafen v zračnih filtrih, ki ga skušajo uporabiti tudi na široko dostopnih obraznih maskah, v maske vgrajena UV-lučka, ki deluje preko polnjenja s pomočjo USB – Aeri maska).

Raziskujejo tudi inovativne tehnološke ideje kot npr. mehurček očiščenega zraka okoli glave posameznika, maske z vključenimi sluškami, s senzorji dihanja, trajanja nošenja maske, kvalitete zraka, maske z LCD-zasloni, ki se napajajo z dihanjem, maske z detektorji mikrobov (uporabne pri okužbah z *M. tuberculosis*, razvijajo pa take z detektorjem za SARS-CoV-2 (74)).

Velik problem mask za enkratno uporabo so odpadki, ki nastanejo po uporabi (njihovo količino bi lahko zmanjšali z nošnjo mask z zamenljivim filtrom in z uporabo ustrezno toplotno stabilnih biorazgradljivih materialov); drug problem pa so toplogredni plini (nastajajo že med proizvodnjo mask).

7. Literatura

1. S. Y. Wong and B. H. Tan, "Megatrends in infectious diseases: the next 10 to 15 years," *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, vol. 48, no. 6, pp. 188–194, 2019.
2. M. Xie and Q. Chen, "Insight into 2019 novel coronavirus –an updated interim review and lessons from SARS-CoV and MERS-CoV," *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 94, pp. 119–124, 2020.
3. W.-j. Guan, Z.-y. Ni, Y. Hu et al., "Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 18, pp. 1708–1720, 2020.
4. S. G. Benzell, A. Collis, and C. Nicolaidis, "Rationing social contact during the COVID-19 pandemic: transmission risk and social benefits of US locations," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 26, pp. 14642-14644, 2020.
5. D. K. Chu, E. A. Akl, S. Duda et al., "Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to- person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis," *The Lancet*, vol. 395, no. 10242, pp. 1973–1987, 2020.
6. J. W. Tang, T. J. Liebner, B. A. Craven, and G. S. Settles, "A schlieren optical study of the human cough with and without wearing masks for aerosol infection control," *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 6, Supplement 6, pp. S727–S736, 2009.
7. C. C. Leung, T. H. Lam, and K. K. Cheng, "Mass masking in the COVID-19 epidemic: people need guidance," *The Lancet*, vol. 395, no. 10228, p. 945, 2020.
8. D. He, S. Zhao, Q. Lin et al., "The relative transmissibility of asymptomatic COVID-19 infections among close contacts," *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 94, pp. 145–147, 2020.
9. M. Gandhi, D. S. Yokoe, and D. V. Havlir, "Asymptomatic transmission, the Achilles' heel of current strategies to control Covid-19," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 22, pp. 2158–2160, 2020.
10. Z. Gao, Y. Xu, C. Sun et al., "A systematic review of asymptomatic infections with COVID-19," *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 2020.
11. Y. Long, T. Hu, L. Liu et al., "Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks against influenza: a systematic review and meta-analysis," *Journal of Evidence-Based Medicine*, vol. 13, no. 2, pp. 93–101, 2020.
12. A. Davies, K.-A. Thompson, K. Giri, G. Kafatos, J. Walker, and A. Bennett, "Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic?," *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, vol. 7, no. 4, pp. 413–418, 2013.
13. A. V. Mueller, M. J. Eden, J. J. Oakes, C. Bellini, and L. A. Fernandez, "Quantitative method for comparative assessment of particle filtration efficiency of fabric masks as alternatives to standard surgical masks for PPE," *medRxiv*, 2020, 2020.04.17.20069567.

14. M. van der Sande, P. Teunis, and R. Sabel, "Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population," *PLoS One*, vol. 3, no. 7, article e2618, 2008.
15. S. D. Rubbo and L. R. Abbott, "Filtration efficiency of surgical masks: a new method of evaluation," *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, vol. 38, no. 1, pp. 80–83, 1968.
16. N. Zhu, D. Zhang, W. Wang et al., "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 8, pp. 727–733, 2020.
17. N. H. L. Leung, D. K. W. Chu, E. Y. C. Shiu et al., "Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks," *Nature Medicine*, vol. 26, no. 5, pp. 676–680, 2020.
18. S. E. Eikenberry, M. Mancuso, E. Iboi et al., "To mask or not to mask: modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic," *Infectious Disease Modelling*, vol. 5, pp. 293–308, 2020
19. G. R. J. Swennen, L. Pottel, and P. E. Haers, "Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks," *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 49, no. 5, pp. 673–677, 2020.
20. S. Kutter, M. I. Spronken, P. L. Fraaij, R. A. M. Fouchier, and S. Herfst, "Transmission routes of respiratory viruses among humans," *Current Opinion in Virology*, vol. 28, pp. 142–151, 2018.
21. K. H. Chan and K.-Y. Yuen, "COVID-19 epidemic: disentangling the re-emerging controversy about medical facemasks from an epidemiological perspective," *International Journal of Epidemiology*, 2020.
22. T. Dbouk and D. Drikakis, "On coughing and airborne droplet transmission to humans," *Physics of Fluids*, vol. 32, no. 5, article 053310, 2020.
23. P. Anfinrud, V. Stadnytskyi, C. E. Bax, and A. Bax, "Visualizing speech-generated oral fluid droplets with laser light scattering," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 21, pp. 2061–2063, 2020.
24. R. Pung, C. J. Chiew, B. E. Young et al., "Investigation of three clusters of COVID-19 in Singapore: implications for surveillance and response measures," *The Lancet*, vol. 395, no. 10229, pp. 1039–1046, 2020.
25. S. Asadi, A. S. Wexler, C. D. Cappa, S. Barreda, N. M. Bouvier, and W. D. Ristenpart, "Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, p. 2348, 2019.
26. V. Offeddu, C. F. Yung, M. S. F. Low, and C. C. Tam, "Effectiveness of masks and respirators against respiratory infections in healthcare workers: a systematic review and metaanalysis," *Clinical Infectious Diseases*, vol. 65, no. 11, pp. 1934–1942, 2017.
27. S. Feng, C. Shen, N. Xia, W. Song, M. Fan, and B. J. Cowling, "Rational use of face masks in the COVID 19 pandemic," *The Lancet Respiratory Medicine*, vol. 8, no. 5, pp. 434–436, 2020.
28. X. Pan, D. Chen, Y. Xia et al., "Asymptomatic cases in a family cluster with SARS-CoV-2 infection," *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 20, no. 4, pp. 410-411, 2020.
29. A. Kimball, K. M. Hatfield, M. Arons et al., "Asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections in residents of a long-term care skilled nursing facility - King County, Washington, March 2020," *Morbidity and Mortality Weekly Report*, vol. 69, no. 13, pp. 377–381, 2020.
30. C. R. MacIntyre, S. Cauchemez, D. E. Dwyer et al., "Face mask use and control of respiratory virus transmission in households," *Emerging Infectious Diseases*, vol. 15, no. 2, pp. 233–241, 2009.
31. A. D. Sung, J. A. M. Sung, S. Thomas et al., "Universal mask usage for reduction of respiratory viral infections after stem cell transplant: a prospective trial," *Clinical Infectious Diseases*, vol. 63, no. 8, pp. 999–1006, 2016.

32. W. H. Seto, D. Tsang, R. W. H. Yung et al., "Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS)," *The Lancet*, vol. 361, no. 9368, pp. 1519-1520, 2003.
33. D. Kai, G.-P. Goldstein, A. Morgunov, V. Nangalia, and A. Rotkirch, "Universal masking is urgent in the COVID-19 pandemic: SEIR and agent based models, empirical validation, policy recommendations," *arXiv Physics and Society* (pre-print), 2020.
34. B. Henneberry, "How surgical masks are made," <https://www.thomasnet.com/articles/other/how-surgical-masks-aremade/>.
35. ASTM, F2100-19e1, Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2019.
36. ASTM, F2299 / F2299M-03(2017), Standard Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2017.
37. N. Labs, "Bacterial & viral filtration efficiency (BFE/VFE)," May 2020, <https://www.nelsonlabs.com/testing/bacterialviral-filtration-efficiency-bfe-vfe/>.
38. "Mask protection standards & medical face mask information for use," May 2020, <https://www.primed.ca/clinicalresources/astm-mask-protection-standards/>.
39. ASTM, F1862 / F1862M-17, Standard Test Method for Resistance of Medical Face Masks to Penetration by Synthetic Blood (Horizontal Projection of Fixed Volume at a Known Velocity), ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2017.
40. N. Labs, "Flammability test," May 2020, <https://www.nelsonlabs.com/testing/flammability-test/>.
41. "ISO 10993-5:2009 biological evaluation of medical devices— part 5: tests for in vitro cytotoxicity," 2009.
42. "ISO 10993-10:2010 biological evaluation of medical devices— part 10: tests for irritation and skin sensitization," 2010.
43. A. Patel, L. Lee, S. K. Pillai, A. L. Valderrama, L. J. Delaney, and L. Radonovich, "Approach to prioritizing respiratory protection when demand exceeds supplies during an influenza pandemic: a call to action," *Health Security*, vol. 17, no. 2, pp. 152–155, 2019.
44. J. A. CAPPS, "Measures for the prevention and control of respiratory infections in military camps," *Journal of the American Medical Association*, vol. 71, no. 6, pp. 448–451, 1918.
45. D. Tham, N. Hien, P. Nga et al., "Use of cloth masks among healthcare workers in hospitals in Hanoi," *Tạp chí Y hoặc dũã phoãng*, vol. 22, pp. 104–110, 2012.
46. P. Yang, H. Seale, C. Raina MacIntyre et al., "Mask-wearing and respiratory infection in healthcare workers in Beijing, China," *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, vol. 15, no. 2, pp. 102–108, 2011.
47. A. Konda, A. Prakash, G. A. Moss, M. Schmoltdt, G. D. Grant, and S. Guha, "Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks," *ACS Nano*, vol. 14, no. 5, pp. 6339–6347, 2020.
48. R. Fischer, D. H. Morris, N. van Doremalen et al., Assessment of N95 respirator decontamination and re-use for SARS-CoV-2, *medRxiv*, 2020.
49. Q. Ou, C. Pei, S. C. Kim et al., "Original work: Covid-19 pandemic– decontamination of respirators and masks for the general.," <https://www.apsf.org/article/covid-19-pandemicdecontamination-of-respirators-and-masks-for-the-generalpublic-healthcare-workers-and-hospital-environments/>.
50. K. Jansen, "During the coronavirus pandemic, hospitals have taken unprecedented steps to disinfect N95 face masks," in *Chemical and Engineering News (c&en)*, The American Chemical Society: Chemical and Engineering News, 2020.
51. F. E. Ahmed, B. S. Lalia, and R. Hashaikeh, "A review on electrospinning for membrane fabrication: challenges and applications," *Desalination*, vol. 356, pp. 15–30, 2015.

52. X. Wang, B. Ding, G. Sun, M. Wang, and J. Yu, "Electro-spinning/netting: a strategy for the fabrication of threedimensional polymer nano-fiber/nets," *Progress in Materials Science*, vol. 58, no. 8, pp. 1173–1243, 2013.
53. J. Liu, H. Zhang, H. Gong, X. Zhang, Y. Wang, and X. Jin, "Polyethylene/polypropylene bicomponent spunbond air filtration materials containing magnesium stearate for efficient fine particle capture," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 11, no. 43, pp. 40592–40601, 2019.
54. S. Wang, X. Zhao, X. Yin, J. Yu, and B. Ding, "Electret polyvinylidene fluoride nanofibers hybridized by polytetrafluoroethylene nanoparticles for high-efficiency air filtration," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 8, no. 36, pp. 23985–23994, 2016.
55. F. Liu, M. Li, W. Shao et al., "Preparation of a polyurethane electret nanofiber membrane and its air-filtration performance," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 557, pp. 318–327, 2019.
56. X. Ding, Y. Li, Y. Si, X. Yin, J. Yu, and B. Ding, "Electrospun polyvinylidene fluoride/SiO₂ nanofibrous membranes with enhanced electret property for efficient air filtration," *Composites Communications*, vol. 13, pp. 57–62, 2019.
57. H. Zhang, J. Liu, X. Zhang, C. Huang, and X. Jin, "Design of electret polypropylene melt blown air filtration material containing nucleating agent for effective PM_{2.5} capture," *RSC Advances*, vol. 8, no. 15, pp. 7932–7941, 2018.
58. P. Jiang, X. Zhao, Y. Li et al., "Moisture and oily molecules stable nanofibrous electret membranes for effectively capturing PM_{2.5}," *Composites Communications*, vol. 6, pp. 34–40, 2017.
59. G. Q. Gu, C. B. Han, C. X. Lu et al., "Triboelectric nanogenerator enhanced nanofiber air filters for efficient particulate matter removal," *ACS Nano*, vol. 11, no. 6, pp. 6211–6217, 2017.
60. G. Liu, J. Nie, C. Han et al., "Self-powered electrostatic adsorption face mask based on a triboelectric nanogenerator," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 10, no. 8, pp. 7126–7133, 2018.
61. Y. Bai, C. B. Han, C. He et al., "Washable multilayer triboelectric air filter for efficient particulate matter PM_{2.5} removal," *Advanced Functional Materials*, vol. 28, no. 15, article 1706680, 2018.
62. S. Qiu, M. Xue, and G. Zhu, "Metal–organic framework membranes: from synthesis to separation application," *Chemical Society Reviews*, vol. 43, no. 16, pp. 6116–6140, 2014.
63. Z. Hao, J. Wu, C. Wang, and J. Liu, "Electrospun polyimide/- metal-organic framework nanofibrous membrane with superior thermal stability for efficient PM_{2.5} capture," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 11, no. 12, pp. 11904–11909, 2019.
64. A. A. I. A. S. Komaladewi, K. Khoiruddin, I. W. Surata, I. D. G. A. Subagia, and I. G. Wenten, "Recent advances in antimicrobial air filter," *E3S Web of Conferences*, vol. 67, article 03016, 2018.
65. R. Huang, O. V. Pyankov, B. Yu, and I. E. Agranovski, "Inactivation of fungal spores collected on fibrous filters by *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil)," *Aerosol Science and Technology*, vol. 44, no. 4, pp. 262–268, 2010.
66. D. H. Lee, J. H. Jung, and B. U. Lee, "Effect of treatment with a natural extract of *Mukdenia Rossii* (Oliv) Koidz and unipolar ion emission on the antibacterial performance of air filters," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 13, no. 2, pp. 771–776, 2013.
67. C. G. Woo, J.-S. Kang, H.-J. Kim, Y.-J. Kim, and B. Han, "Treatment of air filters using the antimicrobial natural products propolis and grapefruit seed extract for deactivation of bioaerosols," *Aerosol Science and Technology*, vol. 49, no. 8, pp. 611–619, 2015.
68. L. Tamayo, M. Azócar, M. Kogan, A. Riveros, and M. Páez, "Copper-polymer nanocomposites: an excellent and cost-effective biocide for use on antibacterial surfaces," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 69, pp. 1391–1409, 2016.
69. A. W. H. Chin, J. T. S. Chu, M. R. A. Perera et al., "Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions," *The Lancet Microbe*, vol. 1, no. 1, article e10, 2020.

70. B. Bean, B. M. Moore, B. Sterner, L. R. Peterson, D. N. Gerding, and H. H. Balfour Jr., "Survival of influenza viruses on environmental surfaces," *The Journal of Infectious Diseases*, vol. 146, no. 1, pp. 47–51, 1982
71. G. Borkow, S. S. Zhou, T. Page, and J. Gabbay, "A novel antiinfluenza copper oxide containing respiratory face mask," *PLoS One*, vol. 5, no. 6, p. e11295, 2010.
72. GlaxoSmithKline, 510(k) Summary K081923 Actiprotect UF N95 Respirator, 2009.
73. K. Nashimoto and Y. Tashiro, "Gargling cup, antiviral mask, antiviral filter, antifungal, antibacterial, and antiviral filter air cleaner and air-cleaner humidifier," US Patent 5888527, 1999.
74. A. MacDonald, "Mask sampling for COVID-19 detection | technology networks," <https://www.technologynetworks.com/diagnostics/articles/mask-sampling-for-covid-19-detection-333724>