

Obrazne maske in respiratorji v boju proti pandemiji Covid-19: pregled materialov, prednosti in perspektive v prihodnosti – povzetek članka

Originalni članek: **Face Masks and Respirators in the Fight Against the COVID-19 Pandemic: A Review of Current Materials, Advances and Future Perspectives** (O'Dowd K, Nair KM, Forouzandeh P, et al. Materials (Basel). 2020; 13(15): 3363)

Povzetek pripravila: Ajda Erzar

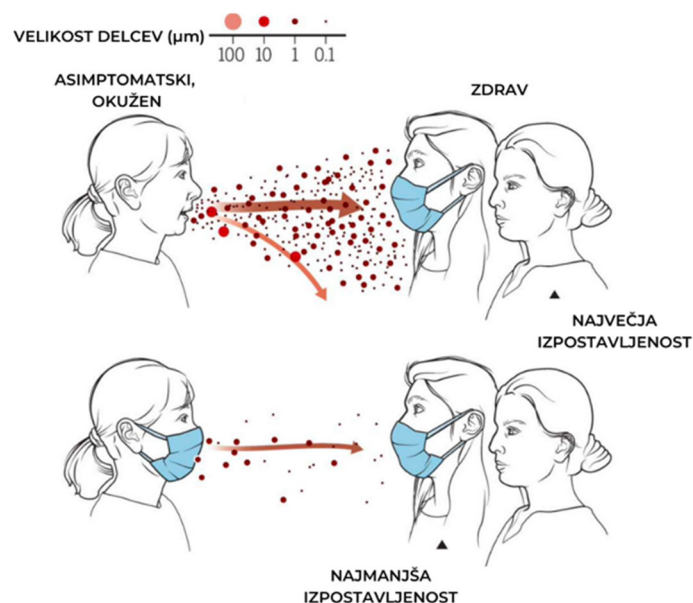
1. Uvod

1.1. Pandemija COVID-19

Izbruh bolezni COVID-19 se je zgodil decembra 2019 v mestu Wuhan na Kitajskem (1). Povzročča jo virus SARS-CoV-2, ki naj bi izviral z ribje tržnice na Kitajskem (2). Zaradi naraščajočega števila obolelih je Svetovna zdravstvena organizacija 30. 1. 2020 razglasila globalno zdravstveno krizo (3) in 19. 3. 2020 izdala smernice za preprečevanje okužbe s SARS-CoV-2 (4).

Virus se med ljudmi prenaša **preko kapljičnih izločkov dihalnih poti** (velikosti delcev 5-10 μm) **in aerosola** (velikost delcev 5 μm) (5). Od velikosti delcev, ki jih v okolje odda okuženi, je odvisen način okužbe druge osebe. Delci, večji kot 20 μm , bodo hitreje in lažje padli na okolne predmete, manjši delci (manj kot 5-10 μm) pa bodo dlje časa prisotni v okolnem zraku. Delci, velikosti 1 μm , lahko v okolnem zraku ostanejo do 12 ur, ob močnem kašljanju pa letijo do 6 metrov od obolelega.

Dokazali so, da je v 40% aerosola in 30% respiratornih kapljicah obolelega, ki ne uporablja maske, možno dokazati virus. Pri obolelih, ki nosijo masko, pa virusa v aerosolu in kapljicah niso našli (6). To pomeni, da je uporaba maske pomemben dejavnik pri obvladovanju širjenja virusa.



Slika 1: Slika prikazuje, kako uporaba maske zmanjša prenos virusa med osebami (4)

1.2. Obrazne maske

Prvič je leta 1897 o uporabi obrazne medicinske maske pisal poljski kirurg Mikulicz Radecki. Poročal je, da maska zmanjša delež izločenih kapljic iz ust uporabnika. V tistem času je maska predstavljala enoslojno gazo, ki so jo namestili pred usta (7). V letu 1898 so opazili, da število slojev maske ključno vpliva na učinkovitost maske (8). V letu 1960 so pričeli izdelovati maske za enkratno uporabo (9).

1.3. Respiratorji

Že Rimljani so za zaščito pred vdihovanjem nevarnih kemikalij uporabljali preproste respiratorje, ki so jih izdelali iz mokrega kosa blaga. V letu 1877 so razvili nekoliko bolj dovršene respiratorje za zaščito reševalcev v požarih (10).

2. Standardi in legalizacija

Kirurške maske predstavljajo neposredno prepreko med dihalnim sistemom človeka in njegovo okolico. Učinkovitost maske in respiratorja je določena z dvema glavnimi dejavnikoma: stopnjo filtracije in ravno puščanja ob maski oziroma respiratorju (11).

Na podlagi standardov ameriške Agencije za hrano in zdravila (FDA) lahko **medicinske maske** glede na **stopnjo filtracije in odpornosti za prehajanje telesne tekočine** razdelimo v 1., 2. in 3. kategorijo, pri čemer 3. kategorija zagotavlja najvišjo učinkovitost filtracije in visoko odpornost na prehajanje telesnih tekočin (12). V Evropi morajo biti medicinske maske izdelane v skladu z Evropskim Standardom EN 14683:2019 (13).

V primerjavi z **respiratorji** so kirurške maske manj učinkovite. Prednost respiratorjev je v tem, da se bolje prilegajo obrazu uporabnika in imajo **boljšo filtracijo** tudi manjših delcev. Ameriški Nacionalni inštitut za varnost in zdravje pri delu (NIOSH) je razdelil respiratorje glede na učinkovitost filtracije na N-, R- in P-serijo. N-serija predstavlja respiratorje, ki niso odporni na olje, R-serija predstavlja srednjo odpornost na olje in P-serija visoko odpornost. Vsaka od teh serij ima še tri stopnje filtracije (95, 99 in 99.97%), kar zapišemo kot na primer N95, R95, P95 itd. (14).

V Evropi respiratorje in maske razvrščamo v maske FFP (ang. filtering face pieces), polmaske, respiratorje z lastnim napajanjem (ang. PAPR, powered air-purifying respirator) in respiratorje z lastnim izvorom zraka (ang. SAR, atmosphere-supplying respirator) (15). Glede na evropske standarde maske FFP delimo na FFP1, FFP2 in FFP3. FFP1 predstavlja 80-odstotno učinkovitost, FFP2 94-odstotno in FFP3 99-odstotno zaščito (EN 149:2001) (16, 17).

Osebna varovalna oprema je lahko **učinkovita le, če je uporabljena pravilno**. Maske in respiratorji morajo ustrezati naslednjim zahtevam (18, 19):

1. Zagotavljajo naj učinkovito zaščito.
2. Primerni naj bodo za predvideno uporabo.
3. Vsebujejo naj oznako »CE« (izdelani glede na Direktivo 89/686/EEC).
4. Zagotovljena naj bo ustrezna hramba in vzdrževanje.
5. Od poučenega uporabnika se pričakuje, da izbere ustrezno masko in z njo ravna pravilno.

V času pandemije je ključnega pomena, da se zdravstvenim delavcem zagotovi ustrezna osebna varovalna oprema, vključno z maskami in respiratorji. Pristojne institucije, kot je na primer ameriški center za nadzor in preprečevanje bolezni (Center for Disease Control and Prevention – CDC), odsvetujejo rabo respiratorjev v splošni javnosti v času epidemije. Njihova neustrezna uporaba namreč lahko vodi v povečano tveganje za okužbo.

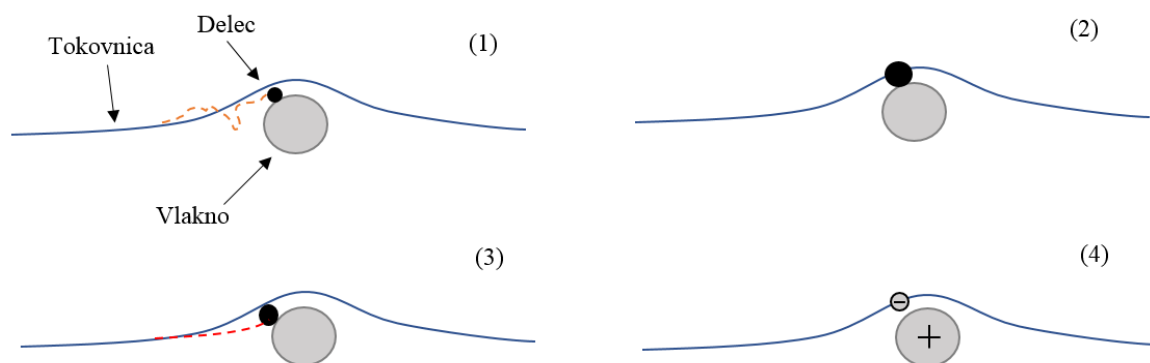
Izbira ustrezne osebne varovalne opreme za zaščito dihal je odvisna od (20):

- vrste nevarne snovi;
- časa izpostavljenosti nevarni snovi;
- oblike, v kateri se nahaja nevarna snov, in
- vrste dela, ki se opravlja ob prisotnosti nevarne snovi.

3. Materiali

Filtrirne membrane v maskah morajo omogočati, da ujeti delci na njih ne ovirajo normalnega dihanja uporabnika (21). **Fizikalni mehanizmi, ki jih uporabljajo pri globinski filtraciji v maskah**, so (slika 2) (22):

1. **Difuzija:** je učinkovita za majhne delce, še posebej za tiste, ki imajo premer manjši od 0,1 μm . Ti so na poti skozi filter zaradi trkov s plinastimi molekulami preusmerjeni s svoje poti v bližino vlaken, kjer se zaustavijo.
2. **Prestrezanje:** delci, ki potujejo po tokovnicah, pridejo v neposredno bližino vlakna in se primejo nanj.
3. **Nalet na vlakno:** večji delci zaradi vztrajnosti ne morejo slediti tokovnicam v zraku in se izogniti zraku, temveč se zaletijo v vlakno; ta učinek se poveča z manjšim razmakom med vlakni ter večjo hitrostjo toka.
4. **Elektrostatični privlak:** delci v zraku ter filtrirni medij vsebujejo nasprotni elektrostatični naboj, zaradi česar se med sabo privlačijo.



Slika 2: Mehанизmi filtracije: (1) difuzija, (2) prestrezanje, (3) nalet na vlakno in (4) elektrostatični privlak (22)

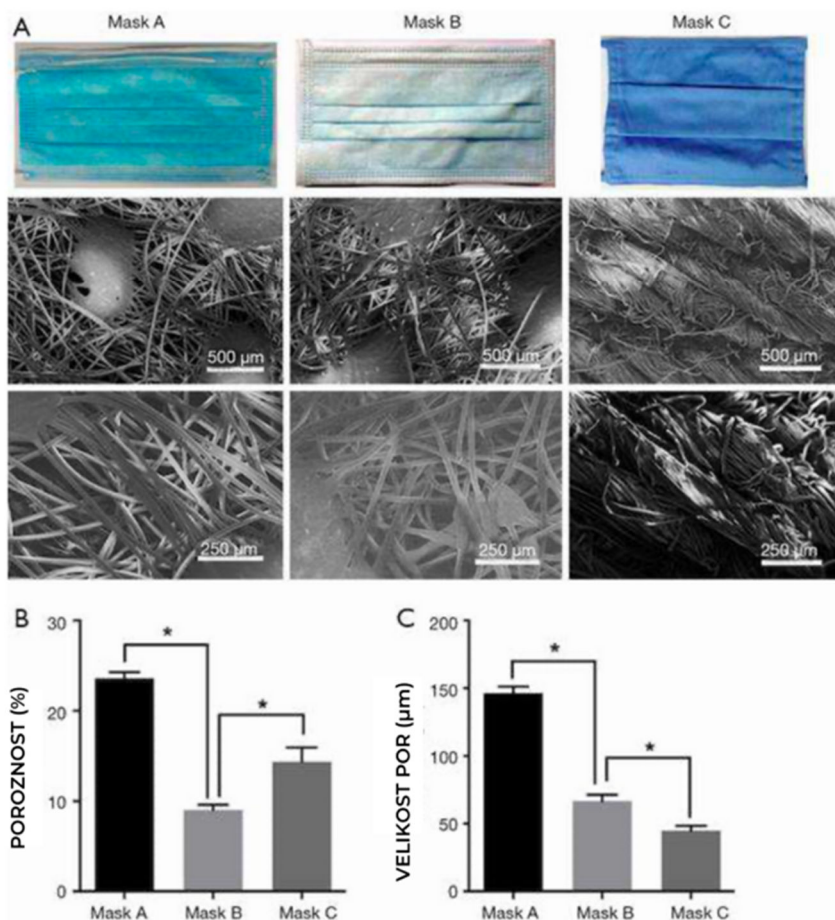
Učinkovitost filtrirne membrane je **odvisna od strukture materiala** (velikosti por, organizacije vlaken), naboja, debeline in premera vlaken, itd. Vlakna, ki imajo majhen premer, veliko skupno površino in malo praznega prostora med seboj, imajo za razliko od dolgih vlaken boljše lastnosti za filtracijo (23).

Medicinske maske so običajno izdelane **iz treh slojev** (24, 25):

1. zunanji sloj: iz t. i. »spunbonding« netkane tekstilije (vlaknovine);
2. vmesni filtrni sloj: iz t. i. »melt-blowing« vlaknovine in
3. notranji sloj: iz t. i. »spunbonding« netkane tekstilije (vlaknovine).

Zunanji in notranji sloj iz »spunbonding« vlaknovine imata dobre mehanske in fizikalne lastnosti in sta vodoodbojna, vendar omogočata dobro prepustnost vodne pare. **Filtrirni sloj**, ki je izdelan iz t. i. »melt-blowing« vlaknovine, pa ima dobro vpojnost, obenem pa deluje kot bariera oz. filter, saj onemogoča prehod delcev. Sloje, ki sestavljajo medicinsko zaščitno masko, spojijo skupaj strojno z ultrazvočno tehniko spajanja. Vsi sloji so običajno izdelani iz polipropilenskih vlaken (PP vlaken), ki ne vpijajo vode, imajo nizko gostoto in so zaradi tega maske tudi lahke (25).

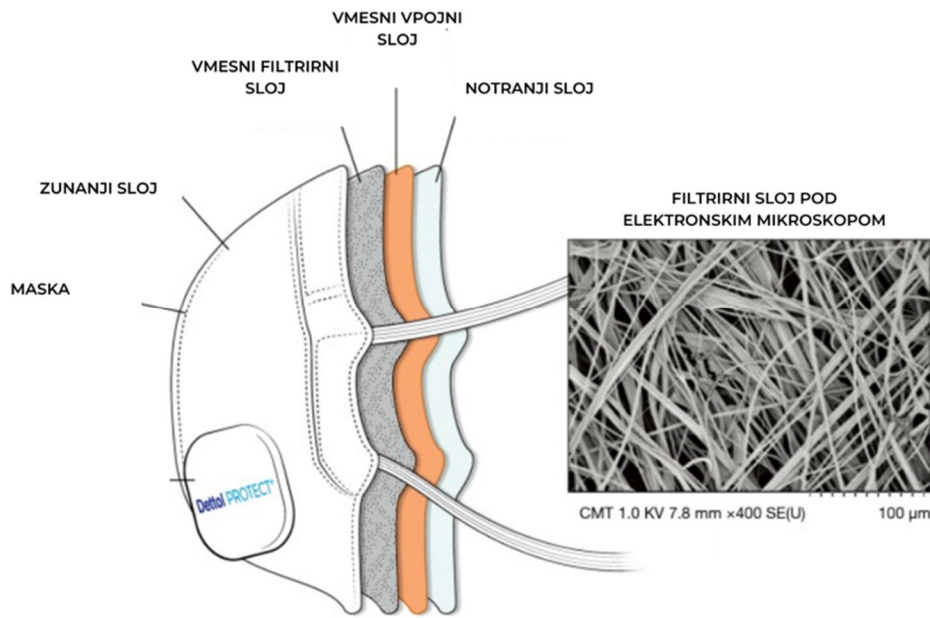
V raziskavi so primerjali tri **različne vrste mask z različno učinkovitostjo filtriranja, poroznostjo in upornostjo pretoka zraka** (24). Mask A je imela samo en filtrirni sloj, maska B dva sloja, maska C pa je bila pralna. Ugotovljeno je bilo, da je imela maska B najboljšo filtracijo, kar so pripisali nižji poroznosti materiala in najvišji stopnji učinkovitosti filtriranja. Material v maski A je imel največ por med posameznimi vlakni, kar je onemogočalo dobro filtracijo. Pri maski C pa je bila velika stopnja rezistence pretoka zraka, kar je otežilo dihanje uporabnika (slika 3) (24).



Slika 3: (A) tri različni tipi mask in njihova mikroskopska struktura vlaken; (B) delež poroznosti vsake maske; (C) velikosti por v vsaki mask (24).

Za razliko od kirurških mask so **respiratorji** običajno sestavljeni iz **4 različnih slojev** (slika 4) (26):

1. zunanji sloj: plast netkanih polipropilenskih vlaken (hidrofobna plast);
2. vmesni filtrirni sloj: plast netkanih polipropilenskih vlaken in »melt-blowing« vlaknovine;
3. vmesni vpojni sloj: monoakrilna vlakna in
4. notranji sloj: plast netkanih polipropilenskih vlaken (hidrofobna plast).



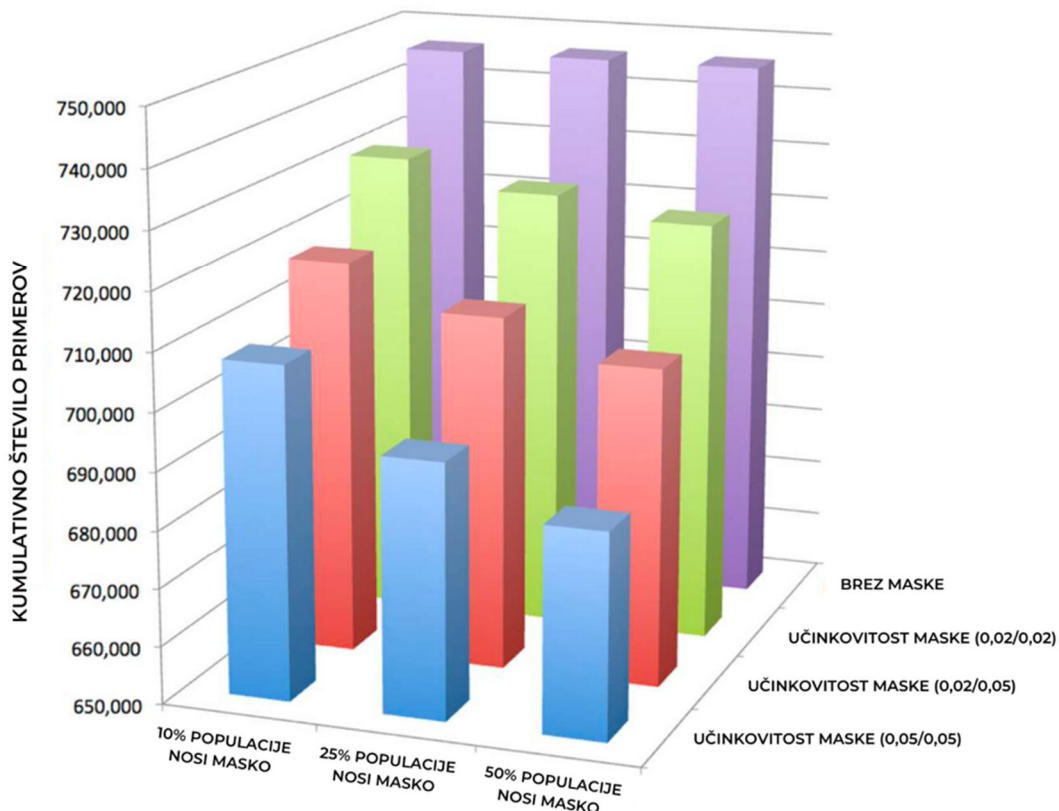
Slika 4: Shema sestave N95 respiratorja (26)

4. Matematično modeliranje

Številne primere iz življenja, naravoslovja in drugih ved lahko rešujemo z matematičnimi orodji. Realni nematematični problem prevedemo z matematičnim vedenjem v matematični problem, ki ga rešimo z matematičnimi postopki, izračuni in obravnavami. Rešitev imenujemo matematični model (27). Matematične modele je mogoče uporabiti tudi na primerih epidemij. Njihove napovedi med drugim pomagajo oblikovati ustrezne javnozdravstvene ukrepe.

Z matematičnimi modeli so na primer dokazali tudi, da **uporaba necertificiranih kirurških in doma narejenih mask pomembno zniža reprodukcijsko število virusa gripe** in vpliva na zakasnitev pojava pandemije ali celo prepreči njen nastanek (28). S pomočjo drugega matematičnega modela pa so želeli ugotoviti, kdo bi moral ob aerogeno prenosljivem agensu nositi maske: so to okuženi ali neokuženi posamezniki? Izkazalo se je, da je v primeru omejene količine mask **bolj smiselno, da jih uporabljajo okuženi**. Vendar to ni vedno izvedljivo, saj pogosto ne vemo, kdo je okužen (29).

Na primeru pandemije H1N1 so z matematičnim modelom prikazali, da z **boljšo učinkovitostjo mask ali višjim deležem ljudi**, ki uporablja masko, pade kumulativno število primerov obolelih s tem virusom (30). S pravilno uporabo mask, katerih učinkovitost je ocenjena na 20%, lahko zmanjšamo število obolelih za 50%. Če bi 25% populacije uporabljalo maske, ki so učinkovite 50-odstotno, bi lahko epidemijo zaustavili (slika 5) (30).



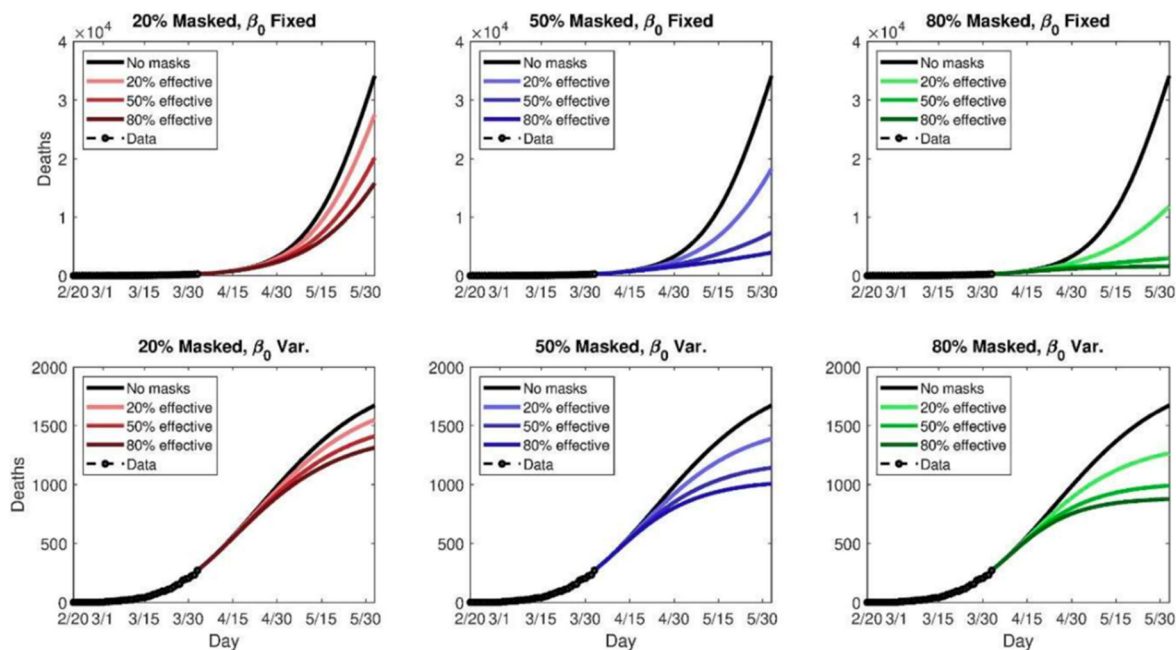
Slika 5: Povezava med kumulativnim številom primerov (y-os), deležem populacije, ki uporablja masko (x-os) in učinkovitostjo mask (z-os) (30)

Z matematičnim modelom so želeli ugotoviti učinkovitost mask pri prenosu virusa gripe. Rezultati so pokazali, da je **nošnja maske učinkovita za zaščito proti kapljičnem prenosu virusa, kar pa za aerosolni prenos ne velja** (6).

Potrdili pa so, da ima **uporaba maske pomembno vlogo pri zmanjševanju števila umrlih za Covid-19** (30). V primeru, da bi 80% ljudi nosilo maske, ki so 50-odstotno učinkovite, predvidevajo, da bi to lahko preprečilo od 17% do 45% smrti v dveh mesecih (slika 6) (31).

Z matematičnimi modeli je možno dokazati, da je univerzalna uporaba mask ključni dejavnik pri uspešnem obvladovanju širjenja virusa (33). Predvidevajo, da bi se brez uporabe mask in samo z upoštevanjem ustrezne razdalje približno polovica populacije okužila z novim SARS-CoV-2. Ob tem pa bi zabeležili približno milijon smrti v državi velikosti Velike Britanije (33).

Glavno sporočilo večine matematičnih modelov torej je, da je **ustrezna uporaba mask ob upoštevanju drugih varovalnih ukrepov glavni dejavnik pri obvladovanju širjenja nalezljive bolezni, kot je Covid-19** (6, 28, 31, 33).



Slika 6: Grafi v zgornji vrstici prikazujejo vpliv deleža ljudi, ki nosi masko in stopnje učinkovitosti le-te na kumulativno število umrlih, pri fiksni stopnji prenosa. Grafi v spodnji vrstici prikazujejo vpliv deleža ljudi, ki nosi masko in stopnjo učinkovitosti le-te na kumulativno število umrlih, pri variabilni stopnji prenosa (31, 32)

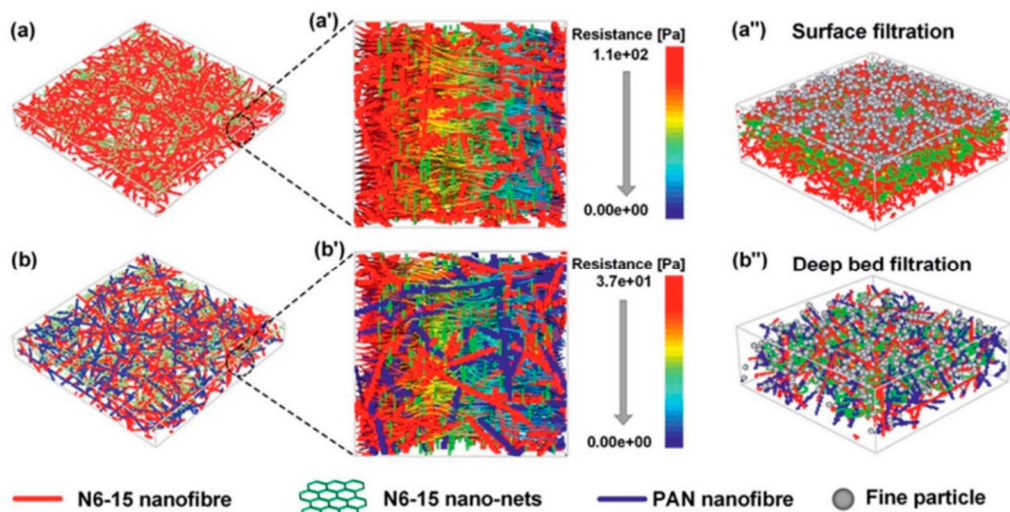
5. Izboljšave mask

Raziskave se usmerjajo v razvoj novih materialov, ki bi omogočile boljšo učinkovitost zaščitnih mask in respiratorjev. V ospredje prihaja uporaba novih materialov, ki **izboljšajo učinkovitost filtriranja in povečajo protimikrobno zaščito**, to so na primer srebrni nanodelci (AgNPs) (34), bakrov oksid (35), jod (36, 37), titanov oksid (TiO_2) (38) itd.

V zadnjih desetletjih smo priča pospešenemu razvoju nanomaterialov in njihove uporabe v maskah in respiratorjih. Nanovlakna med seboj tvorijo manj praznih odprtih, so lažja, imajo boljšo permeabilnost in tvorijo boljše povezave med seboj. Obdelava nanovlaken z drugim kemikalijami izboljša protimikrobne lastnosti materiala (39).

Dokazali so, da imajo **maske in respiratorji, ki vsebujejo nanovlakna**, v primerjavi z navadnimi komercialnimi manjšo upornost za pretok zraka, boljšo učinkovitost filtracije in boljše protimikrobne lastnosti ter manj puščajo (40, 41, 42). Boljšo filtracijsko sposobnost maske lahko pridobimo tudi z dodajanjem dodatne polimerne plasti v material. Namreč ta lahko vsebuje elektrostatična vlakna, ki izboljšajo proces filtracije.

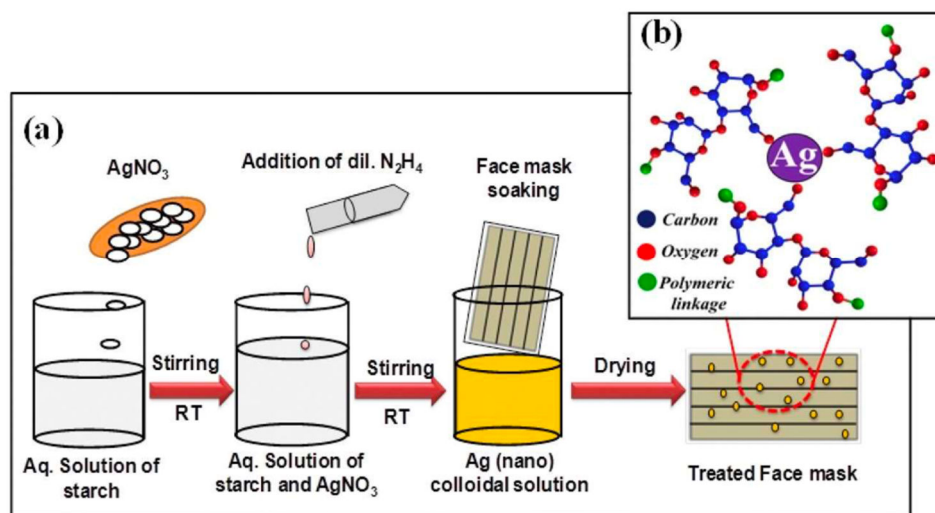
Wang in sodelavci so izdelali material iz posebnih nanovlaken v mrežah (ang. nylon 6-polyacrylonitrile nanofibre net (N6-PAN NNB)), ki lahko filtrira delce v premeru $2,5 \mu\text{m}$. Izdelan je iz nanovlaken poliakrilonitrila (PAN) in poliamida 6-15 (PA6-15). V primerjavi z drugimi komercialnimi materiali omogoča t. i. globoko filtracijo za razliko od površinske, ki jo omogočajo običajni materiali. Nižja pa je tudi upornost za pretok zraka (slika 7) (43).



Slika 7: Prikazuje primerjavo med dvema materialoma: (a) 3D N6-15 NFN in (b) N6-PAN NNB v upornosti pretoka zraka (43)

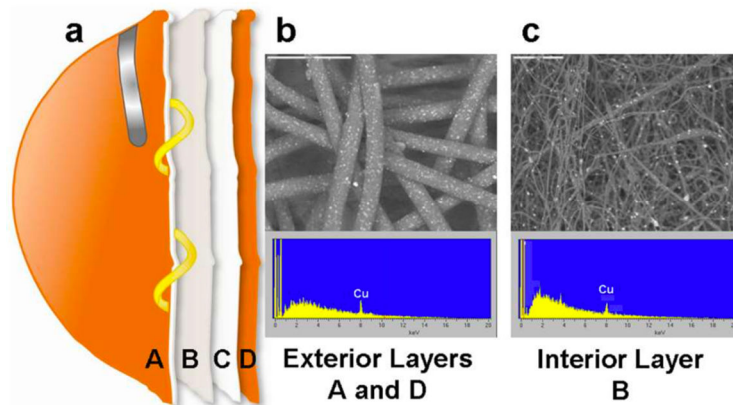
Glede na dokaze, da je ponovna uporaba mask kljub dekontaminaciji, tvegana, se raziskave usmerjajo v razvoj materialov, ki bi omogočali, da bi se mikrobi inaktivirali že v stiku z masko oziroma respiratorjem. To poskušajo doseči z **nanašanjem** antigensko specifičnih protiteles, kovinskih nanodelcev (baker, srebro), natrijevega klorida (NaCl), srebrovega nitrata (AgNO_3), titanijevega dioksida (TiO_2), grafenovega oksida itd. na površino maske (44). Za učinkovite so se izkazali tudi nanosi iz spojin, ki vsebujejo srebro (slika 8).

Primerjali so maske, ki so prevlečene s srebrovim nitratom in titanovim oksidom, s tistimi, ki omenjenih sestavin ne vsebujejo. Ugotovili so, da se je število enot bakterij na prvih maskah znižalo za 100%, na drugih pa za 25–50% zvišalo (34).



Slika 8: Prikazuje postopek nanosa srebra na površino maske (45)

Preizkušajo tudi maske z nanosom ekstraktov rastlin, npr. mangostina, ki se je izkazal za učinkovitega pri zaščiti proti tuberkulozi, *S. Aureusu* in *E. Coli* (46). Z namenom boljše zaščite pred gripo so razvili nanos iz bakrovega oksida, ki zveča protimikrobne lastnosti respiratorja (slika 9) (35).



Slika 9: Prikazuje 4 različne sloje respiratorja, od katerih sta zunanji in notranji sloj prevlečena z bakrovim oksidom (35)

Pri izdelavi mask uporabljajo nove materiale z nanovlakni tudi za doseganje termoregulacije, kar omogoča, da pospešeno oddajanje toplote v toplem okolju ohlaja material, v hladnem pa obratno. Vse to povečuje udobnost pri nošnji maske (47).

Avtorji povzetega članka so zaključili, da raziskovalce čaka še veliko možnosti za razvoj na področju boljše učinkovitosti filtracije, boljših protimikrobnih lastnosti, ponovne uporabe in termoregulacijskih lastnosti mask ter respiratorjev. Za konec so pregledali še nekaj objav glede učinkovitosti pralnih mask. Konda s sodelavci je preučeval učinkovitost filtracije aerosola v različni pralnih maskah: iz bombaža, svile, šifona, flanela, sintetičnega materiala in kombinacije materialov. Ugotovili so, da **bombaž, svila in šifon** zagotavljajo 50-odstotno učinkovitost, kar razlagajo z višjo gostoto tkanja. Bombaž se je izkazal za najbolj učinkovitega za filtracijo manjših delcev. Poudarili so, da je dobro prileganje maske prav tako zelo pomemben dejavnik učinkovitosti (48).

6. Ponovna uporaba

Raziskave o možnosti ponovne uporabe respiratorjev so pokazale, da bi bila ta mogoča pri nekontaktnem prenosu agensa. S ponovno uporabo se namreč poslabša udobnost maske, zato je večja možnost, da jo uporabnik popravi in s tem kontaminira, kar poveča verjetnost okužbe. Ponovna uporaba pa vpliva tudi na kakovost sestavnih delov, npr. trakove (49).

Preučevali so učinke različnih postopkov obdelave respiratorjev, ki bi omogočali njihovo **ponovno uporabo**: ultravijolično dezinfekcijsko obsevanje, belilo, paro vodikovega peroksida, etilen dioksid in obdelavo v mikrovalovni pečici. Dekontaminacija z belilom se je izkazala za neuporabno, saj so po njej opazovali moteč neprijeten vonj in sproščanje klora neposredno v okolje. Mikrovalovni žarki so povzročili mehansko poškodbo respiratorjev. Zato sta navedeni metodi najmanj primerni za morebitno nadaljnje raziskovanje ali celo uporabo. Zaključili so, da metode, kot so UV-obsevanje, vodikov peroksid in etilen dioksid, največ obljublajo. Nujne so nadaljnje raziskave, da bi bile lahko oblikovane ustrezne smernice (50).

V eni od raziskav so preučevali vpliv petih postopkov dekontaminacije mask na penetracijo delcev pri treh različnih vrstah mask. Uporabili so kuhalnik za riž, avtoklav, belilo, etanol in izopropanol. Velikost penetracijskih delcev v maski N95 se je po vseh metodah kontaminacije povečala, razen po uporabi kuhalnika za riž. Podobno so ugotovili tudi pri drugih dveh maskah. Omenjene tehnike, razen kuhalnika za riž, so na maskah povzročile spremembe materiala, kar je povečalo prepustnosti delcev. Zaključili so, da preiskovane dekontaminacijske metode niso ustrezne, saj preveč zmanjšajo kakovost filtracije. Ponovno uporabljene maske namreč ne filtrirajo delcev, manjših kot 400 nm (51).

7. Učinkovitost in namestitvev

Proučevali so prisotnost virusa v okolici preiskovancev, pozitivnih na SARS-CoV-2, ki so **ob nošnji maske močno kašljali**. Ugotovili so, da je kljub nošnji maske virusno breme v okolici veliko. Zato je poleg nošnje maske nujna ustrezna higiena kašlja in varnostna razdalja (52).

Če je posameznik okužen, kirurška maska ščiti predvsem ljudi okoli njega. Maske filtrirajo delce nad velikostjo 100 µm, kar je za zaščito pred virusom SARS-CoV-2, ki meri do 140 nm, nezadostno (53). Maske pa učinkovito zadržijo večje kapljice iz dihalnih poti, ki nosijo SARS-CoV-2 (6). N95 respiratorji lahko filtrirajo delce, večje kot 100 nm, zaradi tega varujejo tudi uporabnika in ne samo okolico (54).

Nujno je, da se maska in respirator tesno prilegata obrazu. Uporabnik mora pred uporabo respiratorja preveriti tudi stopnjo puščanja. To izvedemo s t. i. »fit« testom. Znano je, da od 71% do 75% posameznikov uspešno opravi omenjeni test, vendar jih od tega 18% do 31% test narobe oceni (55). **Le pravilno nameščena maska in respirator delujeta učinkovito.**

8. Pogled v prihodnost in zaključek

Ves znanstvenoraziskovalni napor je v zadnjih mesecih usmerjen v obvladovanje pandemije Covid-19 in njenih posledic. Ključni dejavnik pri obvladovanju širjenja bolezni je uporaba ustrezne osebne varovalne opreme. Raziskovalci se trudijo, da bi **kakovost opreme dopolnili in izboljšali**. V ospredju je uporaba novih materialov in tehnik izdelave varovalne opreme, predvsem mask in respiratorjev. Zaradi večjih potreb se soočamo tudi z njihovim pomanjkanjem. Zato so na mestu raziskave o učinkovitosti metod, ki omogočajo ponovno uporabo varovalne opreme.

Vendar raziskovalci opozarjajo, da dolgotrajno nošenje mask N95/N99 predstavlja vir kontaminacije z bakterijami in virusi, ki se ob dolgi izpostavljenosti akumulirajo na površini maske. Kot rešitev Andrey s sodelavci predlaga modifikacijo maske N95/N99 z vgraditvijo nizkotemperaturne plazme, ki bi omogočila boljšo filtracijo in deaktivacijo patogenov (56).

V času pandemije se srečujemo tudi s problemom pravočasne identifikacije okuženih. Podatki kažejo, da je najbolj učinkovita uporaba mask pri okuženih. Zaradi tega so prišli tudi na idejo, da bi v maske vgradili termoobčutljiv material. To bi omogočilo, da bi sprememba v barvi maske pokazala posameznike s povišano telesno temperaturo (57).

Z namenom po preprečitvi ponovnih izbruhov pandemij poskušajo rešitve najti tudi z pomočjo novih tehnologij, kot so na primer umetna inteligenca, 3D-tiskanje, holografija in virtualna realnost (58, 59). Tako je Swenn s sodelavci razvil 3D-tehnologijo, s pomočjo katere lahko načrtujejo in izdelujejo individualizirane maske, ki se odlično prilegajo obrazu posameznika (60).

Z uporabo umetne inteligence in geografskim mapiranjem je možno napovedati izbruh nalezljive bolezni. Prav tako lahko umetno inteligenco uporabimo za nadzor nad upoštevanjem ukrepov (npr. nošnja maske) in za iskanje kontaktov z okuženimi posamezniki (61). Tehnologijo virtualne realnosti je možno uporabiti za vzpostavitev telemedicine (62).

Avtorji povzetih člankov poudarjajo, da je **pravilna uporaba mask ključna pri uspešnem obvladovanju pandemije**. Netkani materiali, ki se trenutno uporabljajo za izdelavo mask in respiratorjev ter so v uporabi že od 20. stoletja, so po njihovem mnenju še vedno primerni za trenutne razmere, z razvojem pa poskušajo izboljšati lastnosti obstoječih materialov ali ustvariti nove. Metode, ki bi omogočile ponovno uporabo mask in respiratorjev, so trenutno omejene in bolj ali manj neuspešne, zato so na tem področju potrebne še nadaljnje raziskave.

9. Literatura

1. Zheng, Y.-Y.; Ma, Y.-T.; Zhang, J.-Y.; Xie, X. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat. Rev. Cardiol.* 2020, 17, 259–260.
2. Guo, Y.-R.; Cao, Q.-D.; Hong, Z.; Tan, Y.-Y.; Chen, S.; Jin, H.; Tan, K.S.; Wang, D.Y.; Yan, Y. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - an update on the status. *Mil. Med. Res.* 2020, 7, 1–10.
3. Velavan, T.P.; Meyer, C.G. The COVID-19 epidemic. *Trop. Med. Int. Health* 2020, 25, 278–280.
4. Prather, K.A.; Wang, C.C.; Schooley, R.T. Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science* 2020, 368, 1422–1424.
5. Infection Prevention and Control during Health Care When Novel Coronavirus (nCoV) Infection Is Suspected [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: [https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-\(ncov\)-infection-is-suspected-20200125](https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-(ncov)-infection-is-suspected-20200125)
6. Leung, N.H.L.; Chu, D.K.W.; Shiu, E.Y.C.; Chan, K.-H.; McDevitt, J.J.; Hau, B.J.P.; Yen, H.-L.; Li, Y.; Ip, D.K.M.; Peiris, J.S.M.; et al. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nat. Med.* 2020, 26, 676–680.
7. Tunevall, T.G. Postoperative wound infections and surgical face masks: A controlled study. *World J. Surg.* 1991, 15, 383–387.
8. Spooner, J.L. History of Surgical Face Masks. *AORN J.* 1967, 5, 76–80.
9. Schrader, E.S. From apron to gown: A history of OR attire. *AORN J.* 1976, 24, 52–67.
10. Cohen, H.J.; Birkner, J.S. Respiratory Protection. *Clin. Chest Med.* 2012, 33, 783–793.
11. Oberg, T.; Brosseau, L.M. Surgical mask filter and fit performance. *Am. J. Infect. Control* 2008, 36, 276–282.
12. ASTM F2100-11(2018). *Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: <https://www.astm.org/Standards/F2100.htm>.
13. Coronavirus: Harmonised Standards for Medical Devices [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_522

14. Rengasamy, A.; Zhuang, Z.; Berryann, R. Respiratory protection against bioaerosols: Literature review and research needs. *Am. J. Infect. Control* 2004, *32*, 345–354.
15. Ippolito, M.; Vitale, F.; Accurso, G.; Iozzo, P.; Gregoretto, C.; Giarratano, A.; Cortegiani, A. Medical masks and Respirators for the Protection of Healthcare Workers from SARS-CoV-2 and other viruses. *Pulmonology* 2020, *26*, 204–212.
16. British Standards Institution. *Respiratory Protective Devices-Filtering Half Masks to Protect against Particles-Requirements, Testing, Marking*; British Standards Institution: London, UK, 2020 [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: https://books.google.ie/books/about/Respiratory_Protective_Devices_Filtering.html?id=4A3TAAACAAJ&source=kp_book_description&redir_esc=y
17. Serfozo, N.; Ondracek, J.; Žíková, N.; Lazaridis, M.; Zdimal, V. Size-Resolved Penetration of Filtering Materials from CE-Marked Filtering Facepiece Respirators. *Aerosol Air Qual. Res.* 2017, *17*, 1305–1315.
18. HSE. Regulation 11 Health Surveillance. In *Appendix A: Control of Substances Hazardous to Health Regulations*; HSE: London, UK, 2002 [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: <https://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/l5.pdf>
19. HSE. Personal Protective Equipment at Work Personal Protective Equipment at Work Regulations 1992. 2015 [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25. 10. 2020 s spletne strani: <https://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/l25.pdf>
20. Coia, J.; Ritchie, L.; Adishes, A.; Booth, C.M.; Bradley, C.; Bunyan, D.; Carson, G.; Fry, C.; Hoffman, P.; Jenkins, D.; et al. Guidance on the use of respiratory and facial protection equipment. *J. Hosp. Infect.* 2013, *85*, 170–182.
21. Sutherland, K.; Chase, G. Section 2 - Filter Media. In *Filters and Filtration Handbook*, 5th ed.; Elsevier: Oxford, UK, 2008; pp. 41–95.
22. Kragl, Denis, 2019, Razvoj namizne filtrirne naprave za cigaretni dim : magistrsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo. [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25.10.2020 s spletne strani:<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=73243>
23. Bien, C.; Revoir, W.H. *Respiratory Protection Handbook*; Taylor & Francis Limited: Oxforshire, UK, 2019.
24. Liu, Z.; Yu, D.; Ge, Y.; Wang, L.; Zhang, J.; Li, H.; Liu, F.; Zhai, Z. Understanding the factors involved in determining the bioburdens of surgical masks. *Ann. Transl. Med.* 2019, *7*, 754.
25. Univerza v Ljubljani. Naravoslovnotehniška fakulteta. Postopek izdelave zapčitne medicinske maske [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25.10.2020 s spletne strani: <https://www.ntf.uni-lj.si/toi/news/postopek-izdelave-zascitne-medicinske-maske/>
26. Zhou, S.S.; Lukula, S.; Chiossone, C.; Nims, R.W.; Suchmann, D.B.; Ijaz, M.K. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *J. Thorac. Dis.* 2018, *10*, 2059–2069.
27. VEGA 3. Matematično modeliranje [spletna stran na internetu]. Pridobljeno 25.10.2020 s spletne strani: <https://eucbeniki.sio.si/vega3/415/index1.html>
28. Brienen, N.C.J.; Timen, A.; Wallinga, J.; Van Steenbergen, J.E.; Teunis, P.F.M. The Effect of Mask Use on the Spread of Influenza During a Pandemic. *Risk Anal.* 2010, *30*, 1210–1218.
29. Schimit, P.; Monteiro, L. Who should wear mask against airborne infections? Altering the contact network for controlling the spread of contagious diseases. *Ecol. Model.* 2010, *221*, 1329–1332.
30. Tracht, S.M.; Del Valle, S.Y.; Hyman, J.M. Mathematical Modeling of the Effectiveness of Facemasks in Reducing the Spread of Novel Influenza A (H1N1). *PLoS ONE* 2010, *5*, e9018.
31. Eikenberry, S.E.; Mancuso, M.; Iboi, E.; Phan, T.; Eikenberry, K.; Kuang, Y.; Kostelich, E.; Gumel, A.B. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infect. Dis. Model.* 2020, *5*, 293–308.
32. Liu, D.; Clemente, L.; Poirier, C.; Ding, X.; Chinazzi, M.; Davis, J.T.; Vespignani, A.; Santillana, M. A machine learning methodology for real-time forecasting of the 2019-2020 COVID-19 outbreak using Internet searches, news alerts, and estimates from mechanistic models. *arXiv* 2020, arXiv:2004.04019.

33. Kai, D.; Goldstein, G.P.; Morgunov, A.; Nangalia, V.; Rotkirch, A. Universal Masking is Urgent in the COVID-19 Pandemic: SEIR and Agent Based Models, Empirical Validation, Policy Recommendations. *arXiv* 2020, arXiv:2004.13553.
34. Li, Y.; Leung, P.H.; Yao, L.; Song, Q.; Newton, E. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *J. Hosp. Infect.* 2006, *62*, 58–63.
35. Borkow, G.; Zhou, S.S.; Page, T.; Gabbay, J. A Novel Anti-Influenza Copper Oxide Containing Respiratory Face Mask. *PLoS ONE* 2010, *5*, e11295.
36. Ratnesar-Shumate, S.; Wu, C.-Y.; Wander, J.; Lundgren, D.; Farrah, S.; Lee, J.-H.; Wanakule, P.; Blackburn, M.; Lan, M.-F. Evaluation of Physical Capture Efficiency and Disinfection Capability of an Iodinated Biocidal Filter Medium. *Aerosol Air Qual. Res.* 2008, *8*, 1–18.
37. Lee, J.-H.; Wu, C.-Y.; Wysocki, K.M.; Farrah, S.; Wander, J. Efficacy of iodine-treated biocidal filter media against bacterial spore aerosols. *J. Appl. Microbiol.* 2008, *105*, 1318–1326.
38. Pini, M.; Cedillo-González, E.I.; Neri, P.; Siligardi, C.; Ferrari, A.M. Assessment of Environmental Performance of TiO₂ Nanoparticles Coated Self-Cleaning Float Glass. *Coatings* 2017, *7*, 8.
39. Akduman, C.; Kumbasar, E.P.A. Nanofibers in face masks and respirators to provide better protection. *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.* 2018, *460*, 012013.
40. Skaria, S.D.; Smaldone, G.C. Respiratory source control using surgical masks with nanofiber media. *Ann. Occup. Hyg.* 2014, *58*, 771–781.
41. Suen, L.K.; Guo, Y.P.; Ho, S.S.; Au-Yeung, C.H.; Lam, S. Comparing mask fit and usability of traditional and nanofibre N95 filtering facepiece respirators before and after nursing procedures. *J. Hosp. Infect.* 2020, *104*, 336–343.
42. Tong, H.W.; Kwok, S.K.C.; Kwok, H.C. Protective Masks with Coating Comprising Different Electrospun Fibers Interweaved with Each Other, Formulations Forming the Same, and Method of Producing Thereof. Patent WO2016101848A1, 30 June 2016.
43. Wang, N.; Yang, Y.; Al-Deyab, S.S.; El-Newehy, M.; Yu, J.; Ding, B. Ultra-light 3D nanofibre-nets binary structured nylon 6–polyacrylonitrile membranes for efficient filtration of fine particulate matter. *J. Mater. Chem. A* 2015, *3*, 23946–23954.
44. Kerry, R.G.; Malik, S.; Redda, Y.T.; Sahoo, S.; Patra, J.K.; Majhi, S. Nano-based approach to combat emerging viral (NIPAH virus) infection. *Nanomed. Nanotechnol. Boil. Med.* 2019, *18*, 196–220.
45. Hiragond, C.B.; Kshirsagar, A.S.; Dhapte, V.V.; Khanna, T.; Joshi, P.; More, P. Enhanced anti-microbial response of commercial face mask using colloidal silver nanoparticles. *Vacuum* 2018, *156*, 475–482.
46. Ekabutr, P.; Chuysinuan, P.; Suksamrarn, S.; Sukhumsirichart, W.; Hongmanee, P.; Supaphol, P. Development of antituberculosis melt-blown polypropylene filters coated with mangosteen extracts for medical face mask applications. *Polym. Bull.* 2018, *76*, 1985–2004.
47. Yang, A.; Cai, L.; Zhang, R.; Wang, J.; Hsu, P.-C.; Wang, H.; Zhou, G.; Xu, J.; Cui, Y. Thermal Management in Nanofiber-Based Face Mask. *Nano Lett.* 2017, *17*, 3506–3510.
48. Konda, A.; Prakash, A.; Moss, G.A.; Schmoldt, M.; Grant, G.D.; Guha, S. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. *ACS Nano* 2020.
49. Fischer, W.; Weber, D.J.; Wohl, D.A. Personal Protective Equipment: Protecting Health Care Providers in an Ebola Outbreak. *Clin. Ther.* 2015, *37*, 2402–2410.
50. Viscusi, D.J.; Bergman, M.S.; Eimer, B.C.; Shaffer, R.E. Evaluation of Five Decontamination Methods for Filtering Facepiece Respirators. *Ann. Occup. Hyg.* 2009, *53*, 815–827.
51. Lin, T.-H.; Chen, C.-C.; Huang, S.-H.; Kuo, C.-W.; Lai, C.-Y.; Lin, W.-Y. Filter quality of electret masks in filtering 14.6–594 nm aerosol particles: Effects of five decontamination methods. *PLoS ONE* 2017, *12*, e0186217.
52. Bae, S.; Kim, M.-C.; Kim, J.Y.; Cha, H.-H.; Lim, J.S.; Jung, J.; Oh, D.K.; Lee, M.-K.; Choi, S.-H.; Sung, M.; et al. Effectiveness of Surgical and Cotton Masks in Blocking SARS-CoV-2: A Controlled Comparison in 4 Patients. *Ann. Intern. Med.* 2020, *173*, 22.

53. Smereka, J.; Ruetzler, K.; Szarpak, L.; Filipiak, K.J.; Jaguszewski, M. Role of Mask/Respirator Protection Against SARS-CoV-2. *Anesthesia Analg.* 2020, *131*, e33–e34.
54. Bar-On, Y.M.; Flamholz, A.; Phillips, R.; Milo, R. SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers. *eLife* 2020, *9*, 57309.
55. Lam, S.C.; Lee, J.; Yau, S.; Charm, C. Sensitivity and specificity of the user-seal-check in determining the fit of N95 respirators. *J. Hosp. Infect.* 2011, *77*, 252–256.
56. Starikovskiy A.Y., Usmanova D.R. Medical mask with plasma sterilizing layer. arXiv. 20202004.00807
57. Eisenbrey J., Daecher A. Temperature Sensitive Surgical Face Mask for Identifying at Risk Patients and Reducing Viral Infection. US20190125011. U.S. Patent. 2019 May 2;
58. Rao A.S.R.S., Vazquez J.A. Identification of COVID-19 can be quicker through artificial intelligence framework using a mobile phone-based survey when cities and towns are under quarantine. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 2020:1–5. doi: 10.1017/ice.2020.61.
59. Javaid M., Haleem A., Vaishya R., Bahl S., Suman R., Vaish A. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes Metab. Syndr. Clin. Res. Rev.* 2020;14:419–422. doi: 10.1016/j.dsx.2020.04.032.
60. Swennen G.R., Pottel L., Haers P.E. Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks. *Int. J. Oral Maxillofacial Surg.* 2020 doi: 10.1016/j.ijom.2020.03.015.
61. Boulos M.N.K., Geraghty E.M. Geographical tracking and mapping of coronavirus disease COVID-19/severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic and associated events around the world: How 21st century GIS technologies are supporting the global fight against outbreaks and epidemics. *Int. J. Health Geogr.* 2020;19:8. doi: 10.1186/s12942-020-00202-8.
62. McCall B. COVID-19 and artificial intelligence: Protecting health-care workers and curbing the spread. *Lancet Digit. Health.* 2020;2:e166–e167. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30054-6.