



Projekts Nr. VPP-COVID-2020/1-0025

Jaunās tehnoloģijas Covid-19 pacientu tēmētai monitorēšanai, testēšanai un terapijai (3-T Project)

**Parametri, kas ietekmē COVID-19 izplatību:
Literatūras apskats**

Tehniskais ziņojums

1. pielikums

Rīgā, 2020

Satura radītājs

1 Ievads.....	3
2 Dažādu parametru ietekme uz COVID-19 izplatības risku	9
Infekcijas izplatības veidi	10
Izelpoto pilienu pārneses mehānisma fizika.....	14
Daļiņu izmēra sadalījums	14
Iztvaikošana	17
Relatīvā gaisa mitruma un temperatūras ietekme.....	18
Kopsavilkums	21
Atsauces	23

1 Ievads

Kaut gan jaunākās COVID-19 statistikas izsekošana vairs nav tik aizraujoša kā martā, COVID-19 izplatība ir tikai savā sākuma stadijā. 1.1. un 1.2. attēlā redzams, ka gan Latvijā, gan Eiropas Savienībā (ES) ir beidzies pirmais un, cerams, pēdējais COVID-19 epidēmijas vilnis. Aplūkojot COVID-19 gadījumus globālā mērogā, redzams, ka pandēmija ir tikko sākusies un jaunu gadījumu skaits strauji pieaug.

Septiņus mēnešus pēc pirmās saslimšanas Uhaņā, Ķīnā, COVID-19 ir sasniedzis gandrīz visas pasaules valstis, nogalinājis vairāk nekā 700 tūkstošus cilvēku un inficējis vairāk nekā 18 miljonus. Londonā, Ņujorkā, Madridē un citur (1.3. attēls) mirušo skaits 2020. gadā ir bijis divreiz lielāks nekā parasti šajā laika posmā reģistrēto nāves gadījumu skaits. Latvijā 2020. gada mirstības rādītāji būtiski neatšķiras no iepriekšējiem gadiem (1.4. attēls) - mirstības līmenis iepriekšējos gados ir bijis līdzīgs. Latvijā līdz šim reģistrēts 31 COVID-19 izraisīts nāves gadījums.

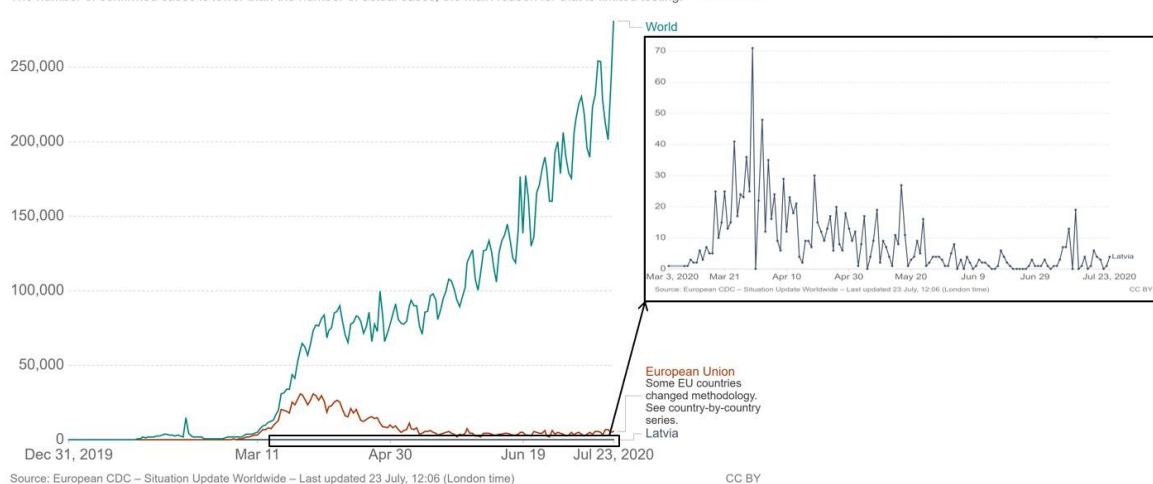
Neskatoties uz lielo inficēto cilvēku skaitu visā pasaulē, pat smagāk skartajās valstīs ir inficēti ne vairāk kā 4% cilvēku. [31] Pat pieņemot, ka inficētie cilvēki uz kādu laiku iegūst imunitāti pret COVID-19, dzīve vairs nevar atgriezties "normālā stāvoklī", jo mirušo skaits atkal strauji pieaugtu. *Robert Verity* (Londonas Imperiālā koledža, Londona) *et al.* pētījumā [36] tiek secināts, ka aptuveni 3,8% inficēto cilvēku nonāk slimnīcā. Tas nozīmē, ka līdz brīdim, kad plaši kļūs pieejama vakcīna, būs jāņem vērā COVID-19 drošības pasākumi.

Pat visoptimistiskākie vakcinācijas scenāriji rāda, ka vakcīna nebūs pieejama ātrāk par 2021. gada janvāri. [28] Turklāt atkarībā no vakcīnas veida un valsts, kura to izgatavo, vakcīnu vispirms piedāvās/pārdos vai nu tām valstīm, kam tā visvairāk nepieciešama, vai tām, kas vairāk maksās. [18] Tas nozīmē, ka ir vērts apsvērt visefektīvākos preventīvos pasākumus.



Daily new confirmed COVID-19 cases

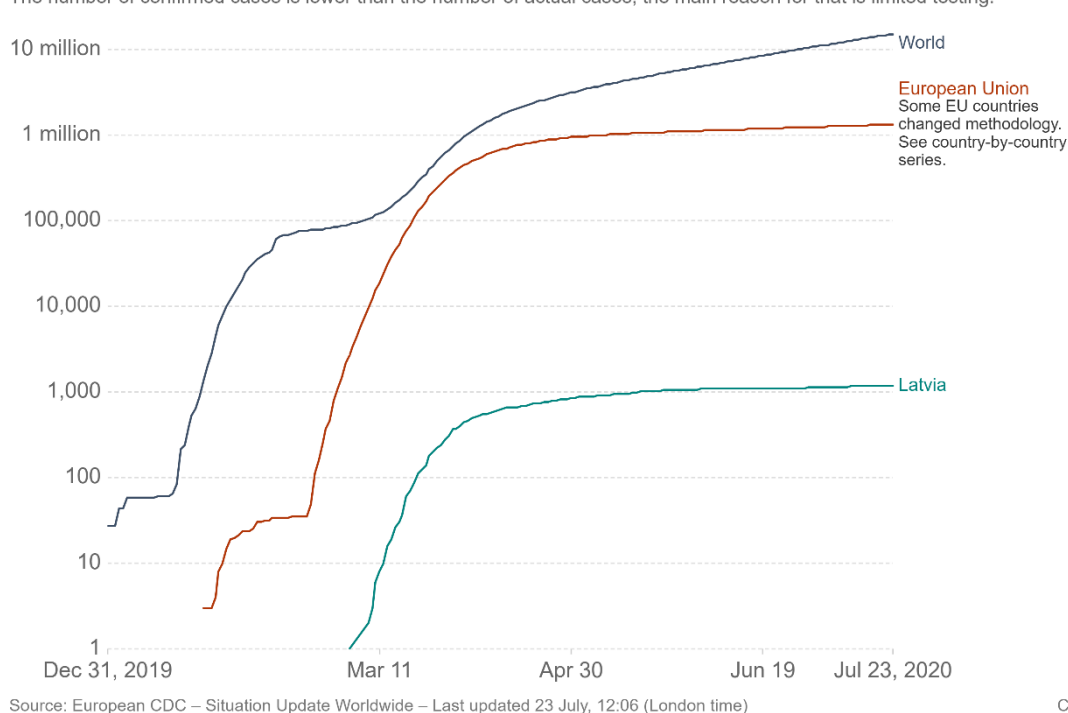
The number of confirmed cases is lower than the number of actual cases; the main reason for that is limited testing.



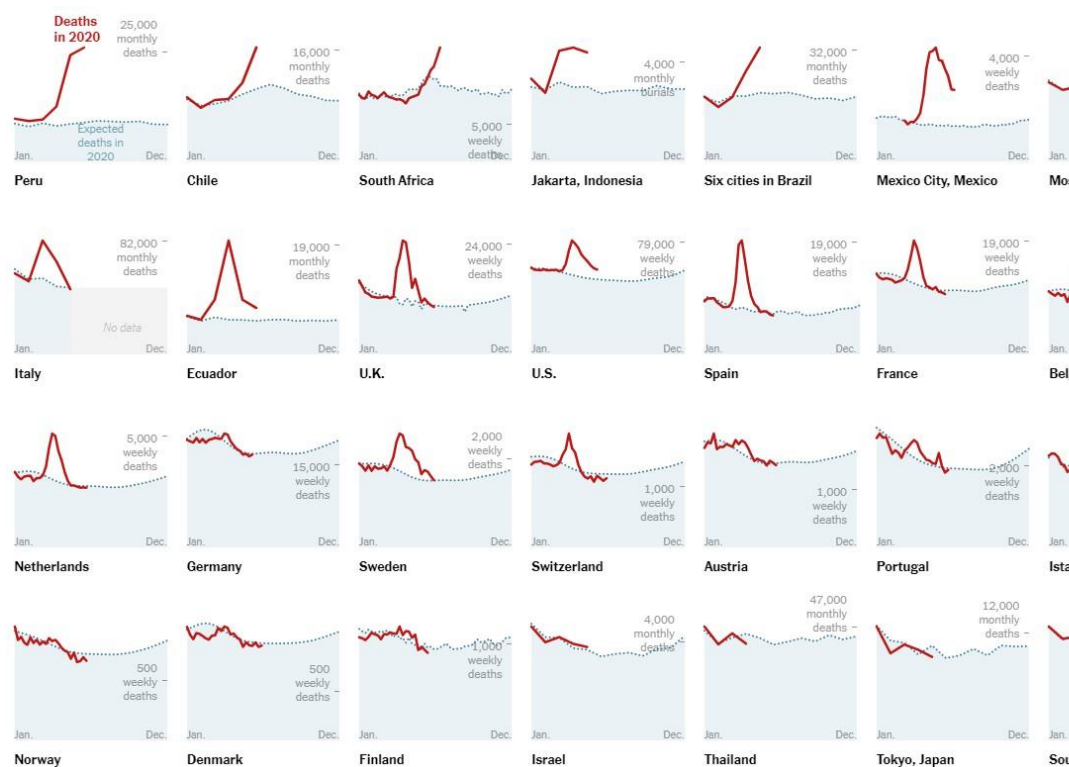
1.1. attēls: Jauni COVID-19 gadījumi dienā (lineārā skala) pasaulē, Eiropas Savienībā un Latvijā. Labajā pusē ir redzams gadījumu skaita grafiks ar citu mērogu [9].

Cumulative confirmed COVID-19 cases

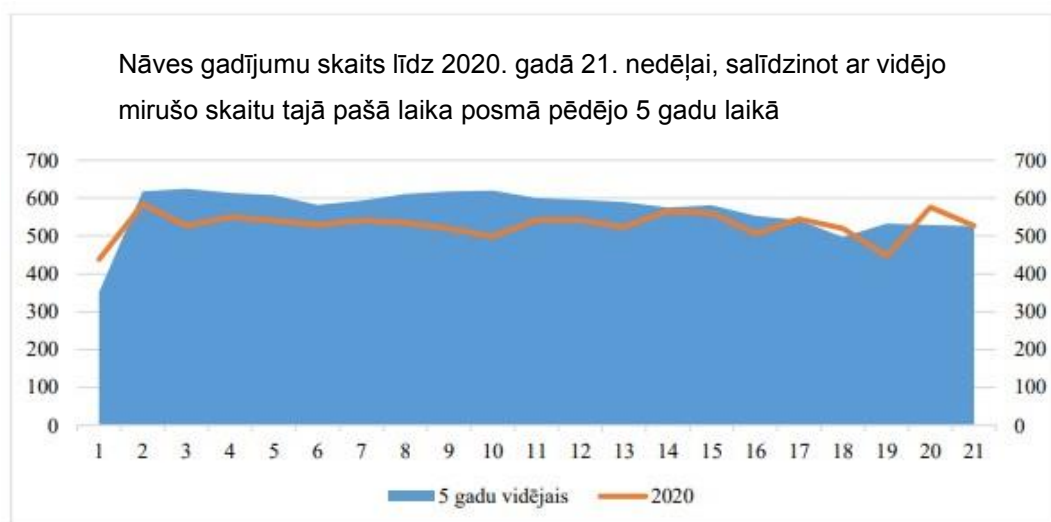
The number of confirmed cases is lower than the number of actual cases; the main reason for that is limited testing.



1.2. attēls: COVID-19 kumulatīvais rādītājs pasaulē, Eiropas Savienībā un Latvijā (logaritmiskā skala) [9].



1.3. attēls: 2020. gada faktisko nāves gadījumu skaita salīdzinājums ar paredzamo nāves gadījumu skaitu 2020. gadā, ja nebūtu sākusies COVID-19 pandēmija. [15]



1.4. attēls: Nāves gadījumu skaita salīdzinājums 2020. gadā un iepriekšējos 5 gados Latvijā [4]

Profilaktisko pasākumu galvenais mērķis ir to cilvēku grupu aizsardzība, ko infekcija ietekmētu vissmagāk. Tomēr to ir grūti īstenot, ja liela daļa iedzīvotāju ir inficēti. Tagad ir skaidrs, ka nevajadzētu ignorēt pat nelielu gadījumu skaita pieaugumu. Valstis, kuras pirmās piedzīvoja COVID-19 infekciju viļņus, tagad atzīst, ka viena no smagākajām kļūdām bija nepietiekama piesardzība pansionātos. Nāves gadījumu skaits pansionātos veido 40% no kopējā nāves gadījumu skaita Itālijā, ASV un citur. [8] Paaugstināta riska grupā ir ne tikai cilvēki vecumā virs 60 vai 80 gadiem, bet arī cilvēki ar cukura diabētu, sirds slimībām un lieko svaru. Dati rāda, ka aptuveni 22% pasaules iedzīvotāju ir viens no faktoriem, kas viņus iekļauj augsta riska grupā. Šis skaitlis neņem vērā vecumu kā riska faktoru, bet iekļauj hroniskas elpceļu slimības, aknu un sirds slimības un diabētu. Eiropā 31% iedzīvotāju ir kāda no šīm saslimšanām. [7] Citi pētījumi parāda, ka papildu riska faktori ir vēzis, augsts asinsspiediens un smēķēšana. [17, 35]

Lai aizsargātu pilsoņus, valdībai ir jāveic plaša testēšana, lai spētu reaģēt uz izmaiņām COVID-19 gadījumu skaitā un pielāgotu drošības pasākumus, piemēram, sociālo distancēšanos, masku lietošanu, dezinfekcijas pasākumus birojos un veikalos, kā arī noteiktu zonu norobežošanu, kurās ir lielāks infekciju skaits. Ir svarīgi informēt cilvēkus, lai viņi zinātu riskus. Pandēmijas sākumā Apvienotās Karalistes valdība nosūtīja apmēram 2,2 miljonus vēstuļu augsta riska iedzīvotāju grupai, lai viņus īpaši brīdinātu un ieteiktu neatstāt mājas. Tikpat svarīgi ir censties inficētiem pacientiem piemērot izolācijas pasākumus, lai netiktu inficēti citi cilvēki. Inficēšanās gadījumā pacientus bieži ir grūti pārliecināt sniegt informāciju par saviem draugiem un radniekiem un viņu tālruņa numurus, lai brīdinātu, lūgtu viņus palikt mājās un veikt COVID-19 testu. Latvijā šo problēmu daļēji atrisina *Apturi Covid* - kontaktu fiksēšanas tālruņa lietotne. Šo lietotni izmanto aptuveni 5% Latvijas iedzīvotāju, kas nav pietiekami, lai tā būtu efektīva metode, kā informēt cilvēkus par iespējamu infekciju. Islandē un Singapūrā, kur līdzīgu lietotni izmanto 40% iedzīvotāju, tālruņa zvani joprojām izrādās efektīvāki. [16] Pētījumi rāda, ka, lai kontaktu fiksēšanas lietotnes būtu efektīvas, tās jāizmanto aptuveni 60% cilvēku. Šādu lietotņu efektivitāti izsaka kvadrātiska funkcija, kas ir atkarīga no lietotāju skaita. Ja lietotni



izmantotu 60% iedzīvotāju, tas samazinātu jauno gadījumu skaitu par 40%; ja to izmantotu 80% - tas samazinātu jauno gadījumu skaitu par 70%. [3]

Gadījumos, kad nav iespējams izsekot infekcijas izcelsmei un brīdināt citus par iespējamu inficēšanos, svarīgi ir citi drošības pasākumi. Cits veids, kā samazināt infekcijas iespējamību, ir sociālās distancēšanās pasākumu ieviešana. Pētījumi par to, kāda ir droša distance, atšķiras. Pasaules Veselības organizācija rekomendē viena metra distanci. Tikmēr Vācijā ieteicamā distance ir 1,5 metri, ASV - 6 pēdas jeb 1,8 metri un Latvijā - 2 metri. Dānijā rekomendētā distance bija 2 metri, bet maija vidū to mainīja uz vienu metru. Tomēr viens ir skaidrs - jo lielāks attālums no inficētā indivīda, jo drošāk tas ir. Ieteicamā distance ir balstīta uz pieņēmumu, ka izdalītie pilieni nespēj pārvietoties tālāk par diviem metriem. Tomēr vairākos rakstos, piemēram, *Prateek Bahl (School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Austrālija) et al.* rakstā [1] minēts, ka nav labu zinātnisko pierādījumu par ieteicamo distanci, jo pilieni var pārvietoties pat līdz 8 metriem. Citos pētījumos ziņots, ka inficēšanās ir iespējama ne tikai ar pilieniem, bet arī ar aerosolu, kas saglabājas gaisā līdz pat 3 stundām [34], tāpēc svarīga ir laba telpu ventilācija.

Arī maskas valkāšana publiskās vietās samazina inficēšanās risku. [25, 13] *Dijia Wang* (Rietumķīnas slimnīca, Sičuāņas universitāte, Čendu, Ķīna) *et al.* salīdzināja dažādu materiālu masku efektivitāti un secināja, ka šalle, ko izmanto kā sejas masku, bloķē apmēram 60% pilienus, maska, kas ir no neausta materiāla, bloķē apmēram 70% no izdalītajiem pilieniem, bet ķirurģiskā maska aptur aptuveni 75% pilienus.

Daudzu valstu valdības iedzīvotājiem rekomendē valkāt maskas, padarot to par sociālu normu. Viens no iemesliem, kāpēc maskas valkāšanas normalizēšana gan Latvijā, gan citur ir apgrūtināta, ir tas, ka laika gaitā rekomendācijas par sejas maskas valkāšanu ir mainītas. Pandēmijas sākumā medicīnas darbiniekiem trūka maskas, tāpēc valdība lūdza neiegādāties medicīniskās maskas, jo tās vairāk nepieciešamas slimnīcās. Turklāt maskas valkāšana varētu izraisīt plašāku izplatību sabiedrībā. Šobrīd gan Pasaules Veselības organizācija, gan Latvijas valdība iesaka valkāt sejas maskas. Vairākās ES valstīs tas ir ne tikai ieteikums, bet obligāta prasība sabiedriskajās telpās, piemēram, veikalos un sabiedriskajā transportā.

Valstīs, kuras piedzīvoja SARS pandēmiju 2003. – 2004. gadā, cilvēkus ir daudz vieglāk pārliecināt par masku valkāšanu.

Sociālā distancēšanās ir vissvarīgākais parametrs, jo COVID-19 izplatība ir atkarīga no cieša kontakta. Ir četri galvenie faktori, kas visvairāk ietekmē COVID-19 izplatību - neliels attālums starp cilvēkiem, ilgs kopā pavadīts laiks, lieli pūļi un aktivitātes, kuru laikā cilvēku izelpotā gaisa apjoms palielinās, piemēram, dziedāšana, kliegšana un smagas fiziskās aktivitātes. Šo faktoru kombinācija rada izdevīgus apstākļus COVID-19 izplatībai. Kora mēģinājuma laikā Sietlā viens cilvēks inficēja 61 citu cilvēku, no kuriem divi vēlāk nomira. Tāpēc pastāv dažādi ierobežojumi, piemēram, Lielbritānijā ir atļautas kāzas, bet kāzās ir aizliegts dziedāt. Zviedrijā ir atļauts apmeklēt bārus, bet pie bāra drūzmēties aizliegts, atļauta apkalpošana tikai pie galda.

Tas nozīmē, ka drošākais veids, kā saslimt ar SARS CoV-2 vīrusu, ir slikti vēdināmā telpā ilgstoši dziedāt vai skaļi kliegt kopā ar inficētu personu, atrodoties vienam pret otru bez maskām.

Pat ja tiek ievēroti visi preventīvie pasākumi, cilvēki joprojām izmisīgi vēlas, lai dzīve atgrieztos normālās sliedēs. Piemēram, Spānijā cilvēki lielākoties ievēro preventīvos pasākumus, taču piektdienu vakaros bāri joprojām ir pilni ar cilvēkiem, kuri sēž tiešā tuvumā bez sejas maskām. Lielbritānijā cilvēki ir pieķerti nelegālu mūzikas festivālu organizēšanā. Berlīnē, kur maskas ir obligātas veikalos un sabiedriskajā transportā, tikko tika ieviesti naudas sodi, jo samazinājās to cilvēku skaits, kuri faktiski nēsāja maskas. Ja cilvēki neievēro preventīvos pasākumus, bieži palielinās COVID-19 infekcijas gadījumu skaits.

2 Dažādu parametru ietekme uz COVID-19 izplatības risku

Xi He (Guandžou Medicīnas universitāte, Guandžou, Ķīna) *et al.* rakstā tiek lēsts, ka 44% sekundāro inficēšanos ir notikušas fāzē pirms simptomu parādīšanās (ticamības intervāls 95%)¹. Tas nozīmē, ka tikai ar kontaktu izsekošanu un inficēto pacientu izolēšanu nepietiks, lai apturētu COVID-19 izplatīšanos. Nepieciešama testēšanas, izolācijas, kontaktu izsekošanas un fiziskas distancēšanās kombinācija.

Adam J. Kucharski (Londonas Higiēnas un tropu medicīnas skola) *et al.* [21] ir modelējuši dažādus scenārijus, lai noskaidrotu, kuri no šiem preventīvajiem pasākumiem ir vissvarīgākie, un secinājuši, ja vienīgais piesardzības pasākums būtu inficēto pacientu izolēšana, tas samazinātu inficēšanās risku par 32%, salīdzinājumā ar situāciju, kad nav ieviesti nekādi drošības pasākumi. Ja izolācijas pasākumiem pievienotu manuālu kontaktu izsekošanu, tas samazinātu risku par 57%. Ja kontaktu izsekošanu veiktu kontaktu fiksēšanas lietotne, kuru izmantoja 44% iedzīvotāju, infekcijas izplatība tiktu samazināta par 53%, nevis 57%. Ja katru dienu testētu 5% iedzīvotāju, tas infekcijas izplatību samazinātu tikai par 2%. Ja tiktu noteikti ierobežojumi pulcēties vairāk nekā 4 cilvēkiem, tad apvienojumā ar kontaktu izsekošanu COVID-19 izplatība samazinātos par 64%, nevis 57%, kad pulcēšanās ierobežojumi nav noteikti. Tiek secināts, ka visefektīvākie infekcijas izplatības samazināšanas veidi ir kontaktu fiksēšana un inficēto pacientu izolēšana. Tiek konstatēts, ka ierobežojumi pulcēties grupās un liela apjoma testēšana ir daudz mazāk efektīvi.

Neeraj Gupta (Nacionālais tehnoloģiju institūts, Indija) [33] ir izveidojis modeli, kas balstīts uz pašreizējiem COVID-19 infekcijas rādītājiem, un secinājis, ka pilnīga izolācija (*total lockdown*) efektīvi samazinātu COVID-19 izplatību, kas nozīmē, ja cilvēki nepamestu savas mājās, tad izplatības ātrums samazinātos no $r = 2.3$ līdz $r = 0.001$.

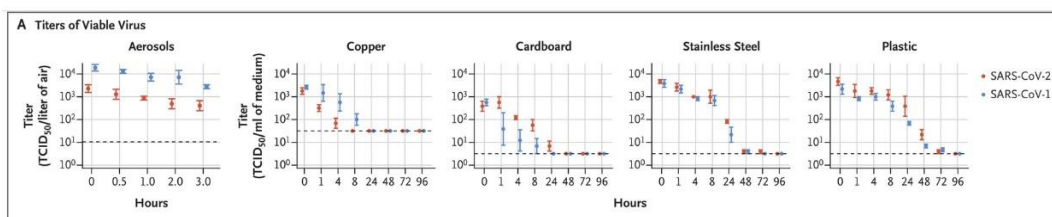
¹ Simptomi parādās vidēji 5,1 dienu pēc inficēšanās. [23]

Infekcijas izplatības veidi

Saskaņā ar pētījumiem [14, 24, 5] SARS CoV-2 var pārnest ar pilieniem, kas izdalās elpošanas laikā. Šo pilienu pārņemšana notiek, cilvēkiem atrodoties tiešā tuvumā (parasti tuvāk par metru), ja izelpotie pilieni nonāk gļotādās (mutē un degunā) vai konjunktīvā (acīs). Parasti šo pilienam diametrs ir 5 līdz 10 μm . Šo pilienam pārņemšana ir iespējama arī caur objektiem, uz kuriem tie ir nonākuši. [27] Šajā pētījumā [27] zinātnieki ir apskatījuši vietas un telpas, kur notikusi vīrusa izplatība. Secināts, ka:

1. Pilienu var nonākt ventilācijas atverēs, jo gaisa plūsmas vada tos noteiktajā virzienā, taču vīrusa atlieku koncentrācija ir zema;
2. Vīrusu nevar pārņemt ar kurpēm. Ja uz grīdas ir vīrusa pēdas, tas gana labi nelīp pie apaviem, lai to varētu nogādāt citur. Tas nozīmē, ka bāhila valkāšana veikalos un citur nav nepieciešama;
3. Pēc telpas dezinfekcijas vīruss tajā vairs nav atrodams.

Neeltje van Dormalen (Nacionālais alerģiju un infekcijas slimību institūts, Hamiltona, MT) et al. [34] salīdzināja SARS SoV-1 un SARS CoV-2, kas saglabājas gaisā un nogulsnes uz dažādām virsmām. Tika konstatēts, ka vīrusa koncentrācija ar laiku samazinās, bet pat pēc 3 stundām gaisā joprojām ir konstatējamas vīrusa pēdas.



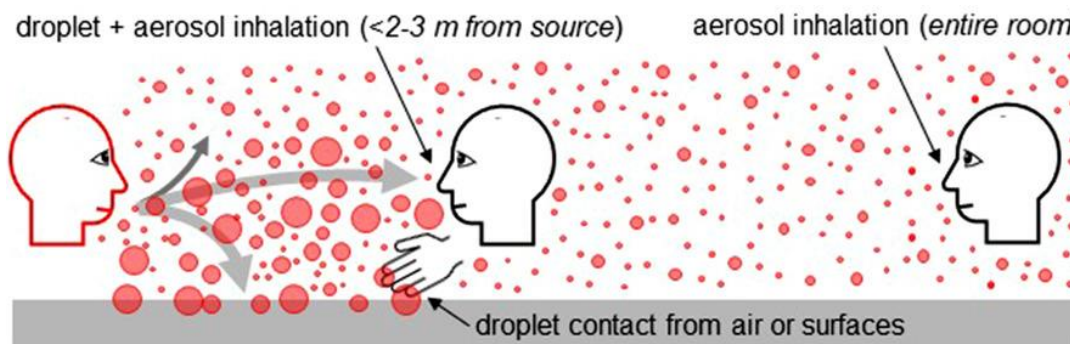
2.1. attēls: Vīrusa koncentrācija gaisā un uz dažādām virsmām, kas izteikta infekciozajā devā ($TCID_{50}$ vai koncentrācija, kas nepieciešama, lai inficētu 50% šūnu) uz litru gaisa. Tas nozīmē, ja litrā gaisa koncentrācija ir no 1 līdz 10^3 , tad tiek inficēta puse no tilpuma šūnām. No tā var secināt, ka pēc ilgāka laika perioda ir nepieciešama lielāka koncentrācija, lai inficētu 50% šūnu. Punktētā līnija parāda noteikšanas robežu. [4]

Tātad ir trīs vīrusa pārņemšanas veidi (skat. 2.2. attēlu):



- Tiešā pārnese ar pilieniem - inficētās personas izelpotie pilieni nonāk citas personas mutē, degunā vai acīs;
- Tiešais kontakts - pilieni ir nogulsējušies uz virsmām, no kurām ar roku tiek transportēti uz cilvēka muti, degunu vai acīm;
- Aerosols² – sīki pilieni, kas satur vīrusu, uzturas gaisā un pēc tam tiek ieelpoti.

Ir grūti pateikt, cik bieži cilvēki inficējas konkrētajā pārnese veidā. Šķiet, ka vīrusa pārnese, pieskaroties virsmām, ir salīdzinoši retāka nekā tiešā pārnese vai inficēšanās ar aerosolu. Dažādiem pārnese veidiem ir atšķirīgs pilienu izmērs. Vidējais pilienu izmērs ir no 5 līdz 10 μm , bet to diametrs var sasniegt pat 100 μm . Aerosola daļiņas ir daudz mazākas - no 0.1 līdz 10 μm (skat. 2.3. attēlu).



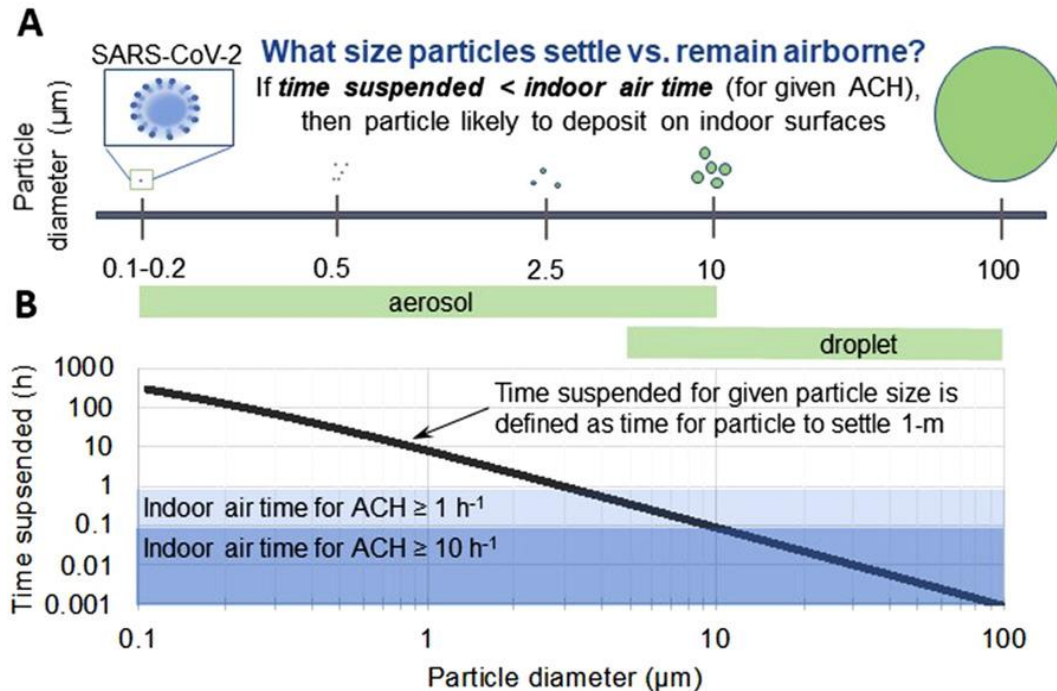
2.2. attēls: Vīrusa pārnese ar aerosolu un pilieniem [20]

Daži agrīnie pētījumi neliecina par transmisiju ar aerosolu [30], bet citi norāda, ka nav cita izskaidrojuma augstajam saslimstības līmenim, izņemot pārnese ar aerosolu. Turklāt, tā kā vīruss uz plastmasas virsmām saglabājas vidēji 6,8 stundas un uz metāla virsmām 5,6 stundas, kā arī to var atklāt pat pēc 72 stundām, var pieņemt, ka SARS CoV-2 vidē uzturas ilgāk nekā citi vīrusi. [11] Šajā pētījumā tiek salīdzināti arī daļiņu izmēri (skat. 2.4. attēlu). Pilienu izmērs ir atkarīgs no tādiem vides faktoriem, kā temperatūra un relatīvais gaisa mitrums. Ja izelpotie (vai klepus

² Aerosols ir smalkas, cietas daļiņas vai šķidruma pilieni gaisā vai citā gāzē. To var iztēloties kā daļiņas, kas seko gāzes plūsmas līnijām.

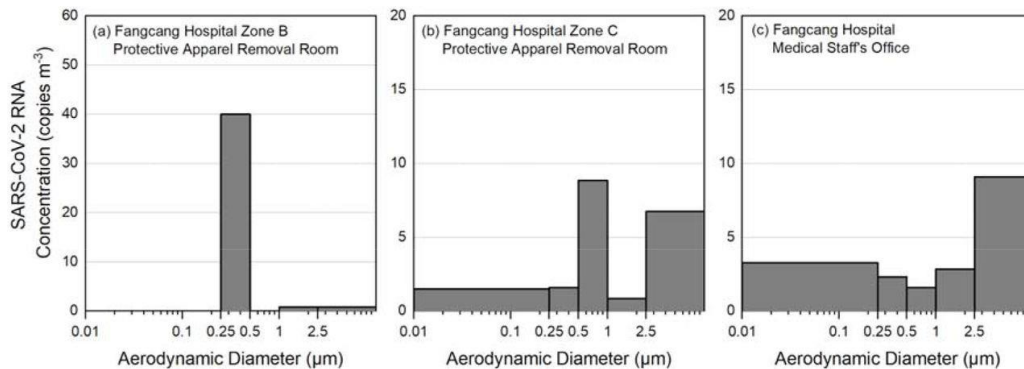


vai šķaudišanas ceļā izvadītie) pilieni ir maza izmēra, tie iztvaiko, pārvēršoties aerosolā; ja tie ir lieli, tad tie ātri nogulsņējas uz grīdas vai uz citām virsmām.



2.3. attēls: Pilienu un aerosola daļiņu diametrs, kā arī laiks, cik ilgi tie var saglabāties iekštelpu gaisā. Laiks tiek aprēķināts, ņemot vērā gravitācijas ietekmi - pilieni ar 100, 10, 1 un $0.1 \mu\text{m}$ diametru nokrīt vienu metru attiecīgi 3,3 sekundēs, 5,6 minūtēs, 9,3 stundās un 39 dienās. To ietekmē pilienu raksturīpašības un ventilācija. ACH parametrs raksturo gaisa plūsmu (ventilācija stundā); telpās, kur gaisa apmaiņa notiek vairāk nekā 10 reizes stundā, daļiņas, kuru suspensijas laiks ir mazāks par 0,1 stundu, uz virsmām netiek konstatētas.

[20] Daļiņas, kuru diametrs ir mazāks par $2.5 \mu\text{m}$, netiek suspendētas uz virsmām Brauna kustības un gravitācijas dēļ [22].



2.4. attēls: Aerosola daļiņu koncentrācija pēc diametra mikrometros trīs dažādās slimnīcās Ķīnā. [11]

Michael A. Kohanski (Pensilvānijas Universitāte, Filadelfija, ASV) pārskata rakstā [20] ir salīdzināti vairāki zinātniskie raksti par aerosola pārnesei un secināts, ka ir svarīgi izprast plūsmas dinamiku telpās. Slimnīcās ar augstāku infekcijas risku ir redzams, ka telpās ir slikta ventilācija. Tāpēc slimnīcām jāapsver pacienta kontakta vietas pārvietošana uz konkrētās telpas vislabāk vēdināmo daļu, lai samazinātu infekcijas risku caur aerosolu. Slimnīcām arī jāpārlicinās, ka aerosols nespēj iekļūt ventilācijas šahtās, lai nodrošinātu citu cilvēku aizsardzību ēkā. Tā kā gaisa plūsma katrā telpā ir ļoti specifiska, ir grūti izveidot vispārēju gaisa plūsmas modeli.

Citā modelēšanas pētījumā tika apskatīts, cik ilgs laiks un kāda gaisa plūsma ir pietiekami, lai cilvēki neinficētos, pat ja viņi īsu brīdi atrodas vienā telpā ar inficētu personu, piemēram, kāpjot pa kāpnēm uzreiz pēc inficētas personas. Tika izstrādāta formula, kas raksturo šo attiecību:

$$t_{min} = \pi_{room} f_a \log 10 \frac{V_{src}}{100 nl} \frac{10m^3}{V_{room} \frac{\Delta t}{1 min}}$$

t_{min} ir minimālais laiks, kas jānogaida pirms kāpšanas pa kāpnēm pēc tam, kad pa tām tikko uzkāpis inficēts cilvēks. Šis laiks ir atkarīgs no ventilācijas telpā, ko apraksta π_{room} , iztvaikošanas, ko apraksta f_a , aerosola avota tilpuma V_{src} (tas ir atkarīgs no tā, vai iepriekšējā persona ir šķaudījusi, klepojusi vai neviens no minētajiem), telpas tilpuma un Δt - laika, ko iepriekšējā persona pavadīja telpā. Piemēram, kāpnūtelpā ar $V_{room} = 1000 m^3$ tilpumu un sliktu ventilāciju (laiks gaisa apmaiņai ir 60 minūtes) nav nepieciešams gaidīšanas laiks, ja iepriekšējā persona

ir tikai elpojusi vai pat skaļi runājusi, bet, ja persona bija klepojusi, pirms to pašu kāpņu izmantošanas jānogaida 34 minūtes.

Turpmākajās literatūras pārskata daļās galvenā uzmanība tiks pievērsta pilienu un aerosola pārnesšanai, kā arī parametriem, kas to ietekmē.

Inficētai personai vienā sekrēta pilienā ir vidēji $10^{5.4} = 251'188$ RNA/ml vīrusa [37], vairāk nekā sākumā.

Izelpoto pilienu pārneses mehānisma fizika

Daļiņu izmēra sadalījums

Ir svarīgi aplūkot kopējo pilienu tilpumu, kā arī izmēra intervālu un sadalījumu. Šie parametri šķaudīšanai, klepošanai, runāšanai un elpošanai atšķiras [19], turklāt tie ir ļoti atšķirīgi arī starp dažādiem cilvēkiem. *Yang Shinhao* (Taivānas Nacionālā universitāte) *et al.* [38] eksperimentāli noteica, ka klepus gadījumā vidējais pilienu diametrs ir $0.58 - 5.42 \mu\text{m}$, turklāt 82% pilienu bija izmēra diapazonā no $0.74 - 2.12 \mu\text{m}$, pilienu izmēra kopējais intervāls bija $0.58 - 15.9 \mu\text{m}$; tika noteikta arī vidējā gaisa plūsma klepojot, kas bija 0,47 litri sekundē, un pilienu koncentrācija, kas bija vienāda ar 586 pilieniem uz cm^3 (skat. 2.3. att.).

Patricia Fabian (Hārvarda sabiedrības veselības skola, ASV) *et al.* [10] salīdzināja izelpoto pilienu koncentrāciju veseliem pacientiem un pacientiem ar elpceļu infekcijas simptomiem. Tika konstatēts, ka pacienti ar elpceļu infekciju simptomiem izelpoja apmēram 32 pilienus/litrā gaisa. 82% šo pilienu bija diametra diapazonā no $0.300 - 0.499 \mu\text{m}$. Šķaudot lielākā daļa pilienu ir diametra diapazonā no $341.5 - 398.1 \mu\text{m}$, bet vidējais diametrs ir $74,4 \mu\text{m}$. [12] Pilienu izmērs un sadalījums ir redzams 2.5. - 2.8. attēlos.

Apkopojot minēto, var secināt, ka cilvēki izdala pilienus, kuru izmērs ir robežās no $0.5 \mu\text{m}$ līdz $100 \mu\text{m}$. Izmērs, kā arī kopējais tilpums ir atkarīgs no tā, kā šie pilieni tiek izdalīti.

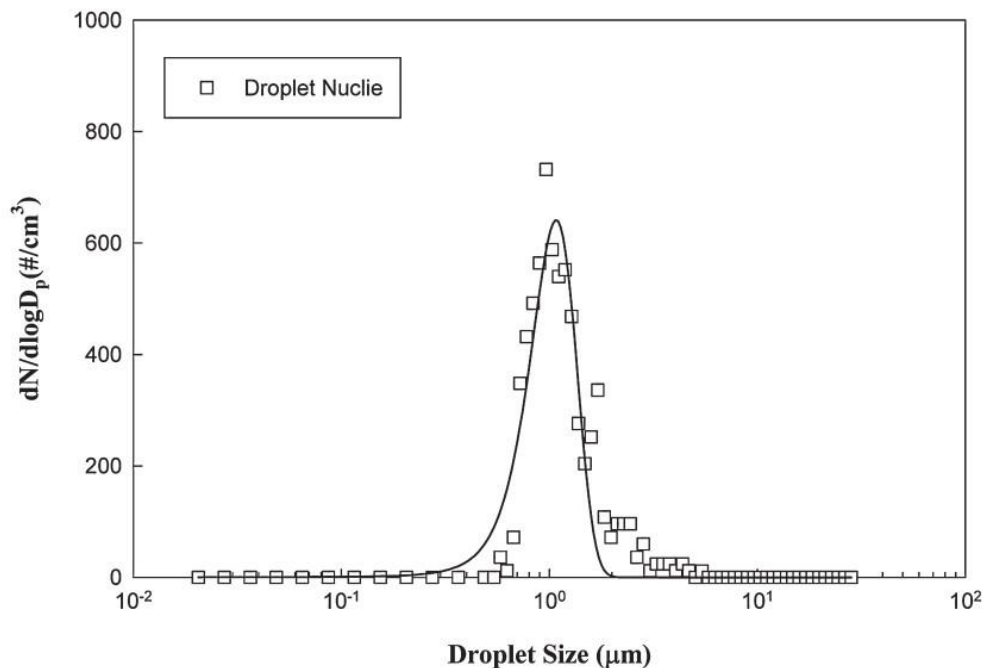
Swetaprovo Chaudhuri (Toronto Universitāte, Kanāda) *et al.* [6] COVID-19 pētījuma ietvaros modelēja pilienu sadalījumu gaisā un konstatēja, ka pilienu koncentrācija šķaudot ir 59 ppm, klepojot - 549 ppm, bet skaļi runājot - 263 ppm. Tika pieņemts, ka vienā izelpā cilvēks izelpo vidēji 0,5 litrus gaisa. Izelpu skaits minūtē mainās, bet vidēji ir no 10 līdz 18 izelpām, kas nozīmē, ka cilvēks minūtē izelpo vidēji 5 līdz 9



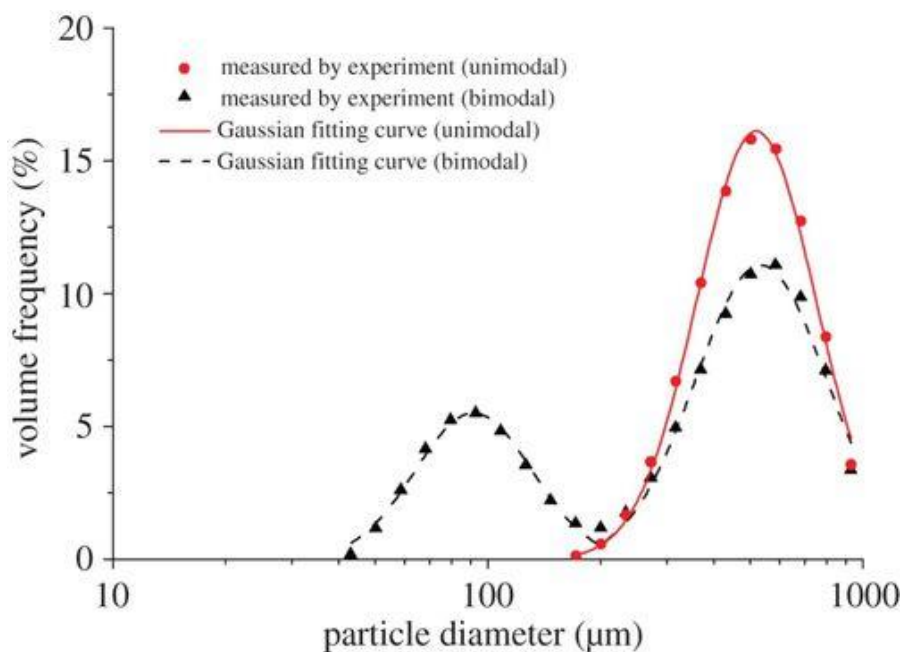
litrus gaisa. Šķaudīšanas laikā pilieni tiek izplatīti ar ātrumu 50 m/s, runāšanas laikā - 3 m/s. [20]

Lydia Bourouiba (Masačūsetsas Tehnoloģiju institūts, ASV) [2] pētīja turbulentus gāzes mākoņus un to iespējamo ietekmi COVID-19 izplatības samazināšanā un secināja, ka gāzes mākonis var būt 7 - 8 metrus plats, un lielākie novērotie pilienu ātrumi bija 10 - 30 m/s.

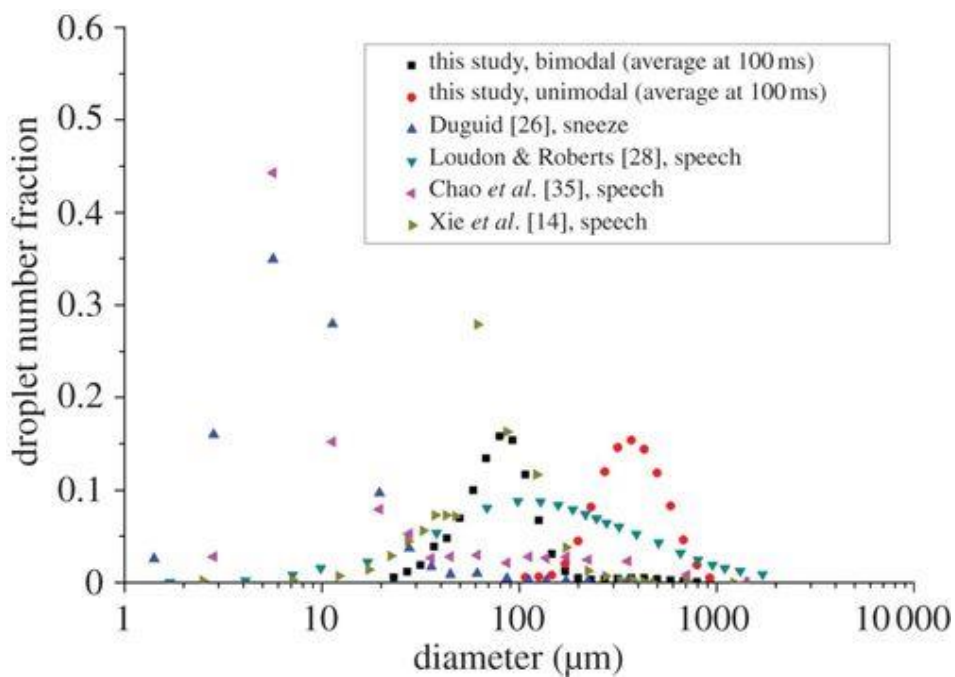
Šķaudīšanas gadījumā, kad daļiņas parasti ir lielākas par 10 μm , tās visbiežāk nosēžas un paliek uz virsmām, bet citos gadījumos var veidoties aerosols. Iekštelpu gaisa plūsmu ietekmē roku kustības, apkure un gaisa ventilācija.



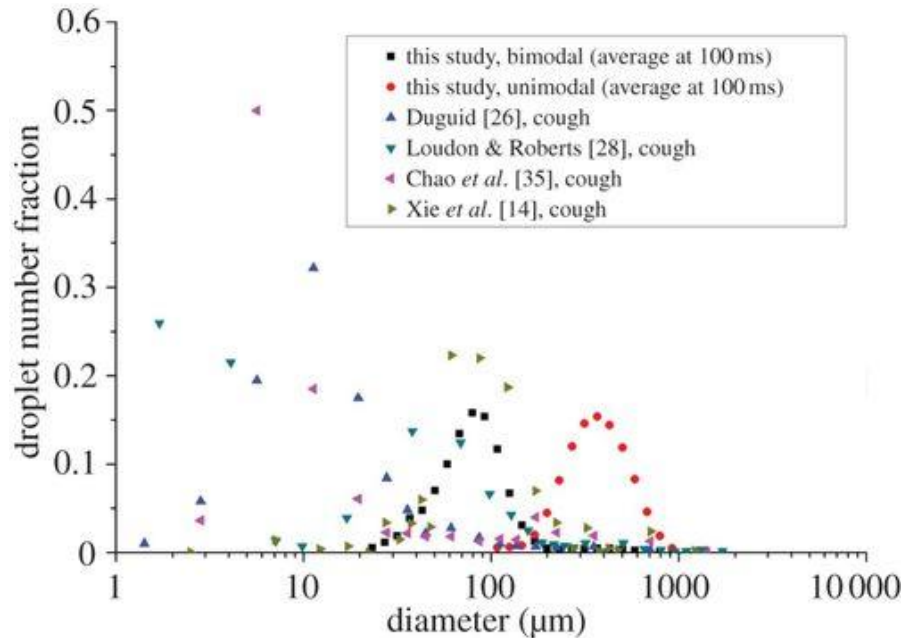
2.5. attēls: Pilienu izmēru sadalījums klepojot un to koncentrācija pēc tilpuma [38]



2.6. attēls: Pilienu izmēru sadalījums šķaudot un to koncentrācija pēc tilpuma [12]



2.7. attēls: Pilienu izmēru sadalījums šķaudot un runājot - dažādu rakstu salīdzinājums [12]



2.8. attēls: Pilienu izmēru sadalījums šķaudot un klepojot - dažādu rakstu
salīdzinājums [12]

Iztvaikošana

Papildus iepriekš minētajam [6], pilienu iztvaikošanas modeli salīdzināja ar eksperimentālajiem pilienu diametra izmaiņu rezultātiem laikā. Tika konstatēts, ka pusotras minūtes laikā 346 μm pilienš kļuva piecas reizes mazāks (skat. 2.9. attēlu). Samazināšanās ātrums ir atkarīgs no piliena diametra:

- Mazi pilieni, kuru diametrs ir mazāks par 5 μm , iztvaiko dažās sekundes daļās;
- Lieli pilieni, kuru diametrs ir lielāks par 100 μm , krīt lejup un apmēram 0,5 sekundēs nogulsnējas uz virsmām;
- Vislielākais infekcijas risks ir vidēja izmēra pilienam, jo tam ir visgarākais iztvaikošanas laiks.

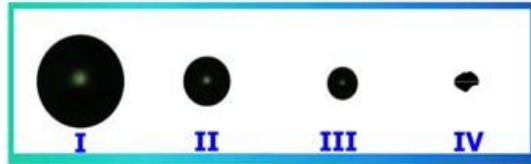


VPP

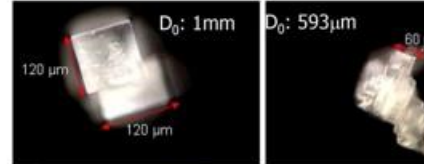
Valsts pētījumu
programma

3T CONCEPT
TRACING · TESTING · TREATMENT

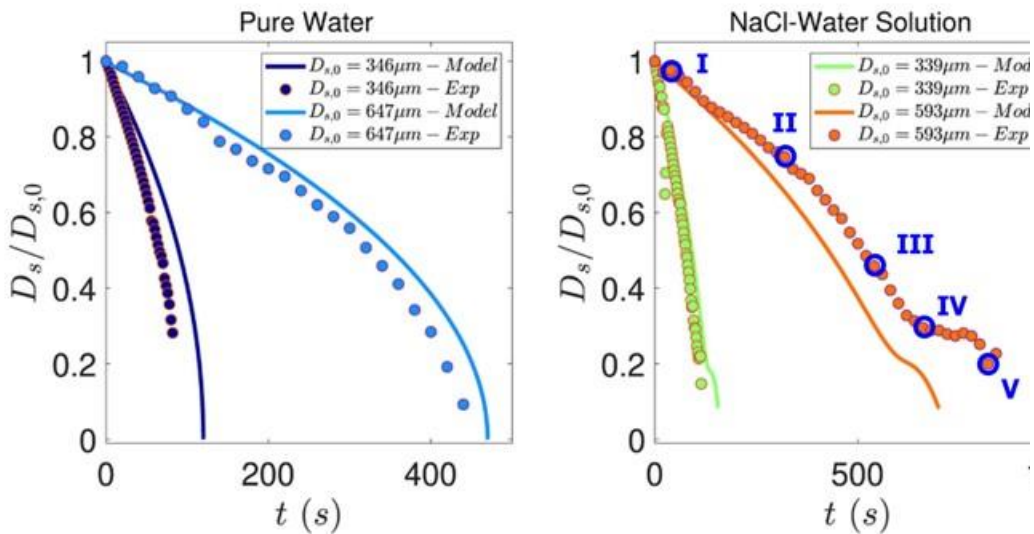
“Jaunās tehnoloģijas Covid-19 pacientu tēmētai monitorēšanai,
testēšanai un terapijai (3-T Project)” (Nr. VPP-COVID-2020/1-0025)



I-IV: Images during evaporation of NaCl-water solution



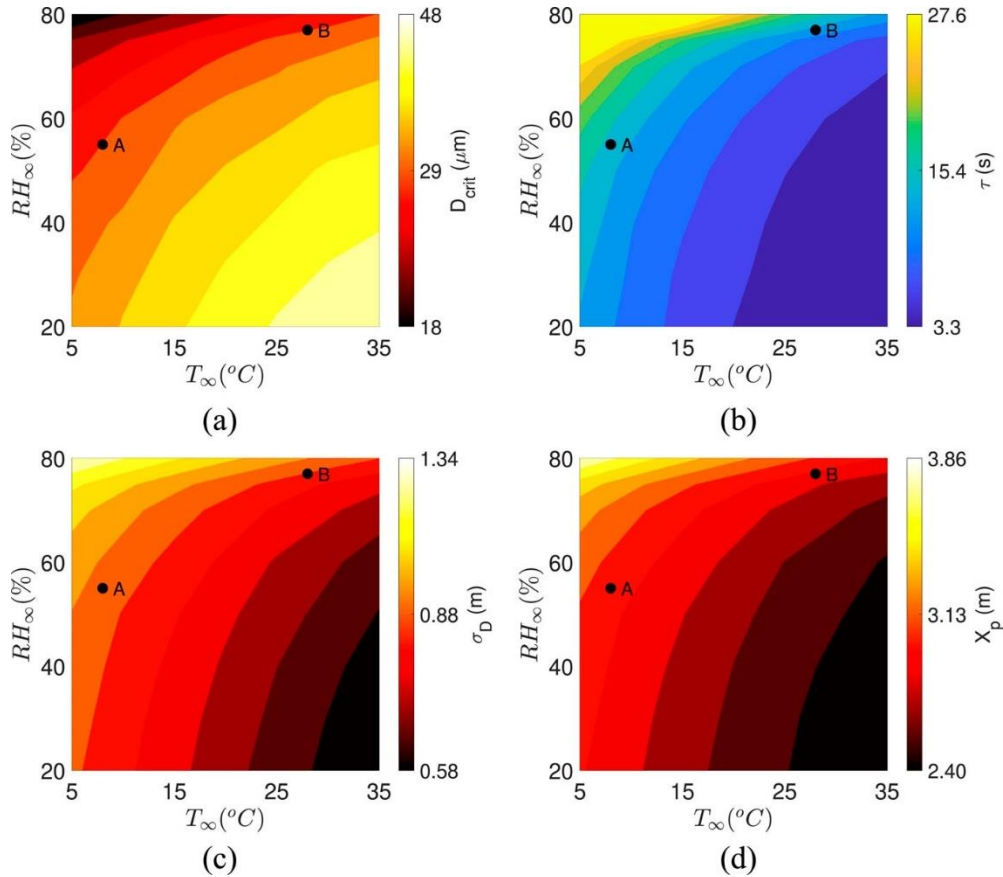
V: Crystal structures



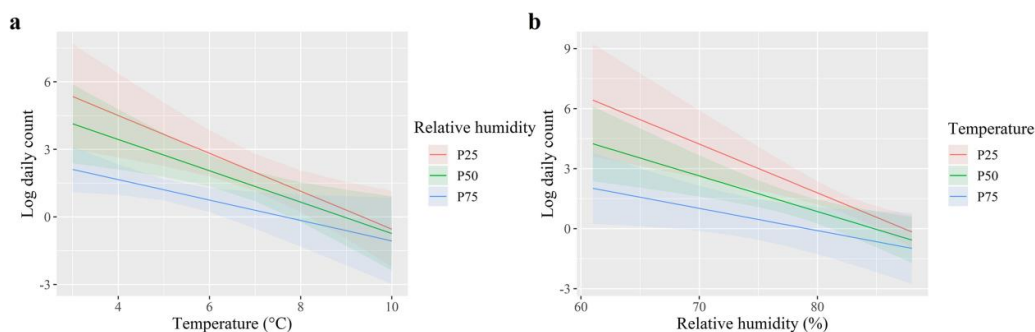
2.9. attēls: Pilienu izmēra dinamiskās izmaiņas - ūdens un 1% NaCl sālsūdens
pilienu salīdzinājums [6]

Relatīvā gaisa mitruma un temperatūras ietekme

Iztvaikošanas laiks ir atkarīgs no relatīvā gaisa mitruma (skat. 2.10. attēlu). 2.10. (a) attēlā var redzēt, ka augstas temperatūras un zema relatīvā gaisa mitruma apstākļos pat lieli pilieni iztvaiko ātri. Pretējos apstākļos – pie zemas temperatūras un augsta relatīvā gaisa mitruma, kritiskais pilienu diametrs ir liels. 2.10. (b) attēlā ir redzams, ka augstas temperatūras un zema relatīvā gaisa mitruma apstākļos pilienu mūža ilgums ir visīsākais. Jo lielāks ir pilienu mūža ilgums, jo lielāku attālumu tas spēj veikt (skat. 2.10. (c) att.) un jo lielāks pilienu mākonis veidojas (skat. 2.10. (d) att.). Apkopojot šos rezultātus, mēs varam secināt, ka zema temperatūra un augsts relatīvais gaisa mitrums pagarina pilienu mūža ilgumu.



2.10. attēls: Temperatūras un relatīvā gaisa mitruma ietekme uz pilienu raksturlielumiem: (a) D_{crit} – kritiskais diametrs. Pilieni, kas ir mazāki par kritisko diametru, iztvaiko, bet pilieni, kas ir lielāki par kritisko diametru, nosēžas uz virsmām. Pilieni, kas ir vienādi ar kritisko diametru, vislabāk pārnēsā vīrusu. (b) attēlā redzams kritiskā diametra pilienu iztvaikošanas laiks. (c) attēlā redzams aksiālais izplatīšanās attālums X_p vai minimālais fiziskais attālums starp cilvēkiem šajos apstākļos. (d) attēlā redzams pilienu mākoņa izmērs - attālums, kuru piliens var veikt dažādos vides apstākļos A - $T = 8^{\circ}\text{C}, RH = 55\%$, un B gadījumā, kad $T = 28^{\circ}\text{C}, RH = 77\%$. [6]



2.10. attēls: Relatīvā gaisa mitruma un temperatūras ietekme uz jaunu infekciju skaitu [32].

Hongchao Qi (Fudaņas Universitāte, Ķīna) *et al.* pētījumā [32] tika aplūkoti laikapstākļi un analizēta to ietekme uz jaunu infekciju skaitu noteiktā laika periodā kādā Ķīnas provincē. Tika secināts, ka relatīvā gaisa mitruma diapazonā no 67% līdz 85,5%, temperatūrai paaugstinoties par 1 grādu pēc Celsija, infekciju skaits samazinājās par 36% līdz 57%. Ja relatīvais gaisa mitrums palielinās par 1%, infekciju skaits samazinās par 11% līdz 22%, ja gaisa temperatūras intervāls ir 5,04 līdz 8,20°C.

Kopsavilkums

Šis ir literatūras pārskats par pašreizējo situāciju un jaunākais pētījums par COVID-19 infekcijas izpratnes un ierobežošanas attīstību. Tas tika sagatavots 2020. gada augusta sākumā.

Ievadā ir aprakstīti nozīmīgākie infekcijas riski un vairāku profilakses pasākumu efektivitāte dažādās valstīs, sniedzot vērtējumu par to, kuri pasākumi ir visefektīvākie. Kamēr vakcīna pret COVID-19 nav plaši pieejama, valdībai būs jāuzrauga situācija un jāīsteno noteikti ierobežojumi. Drošākais veids, kā inficēties, ir ilgstoša dziedāšana vai kliegšana kopā inficētu personu slikti vēdināmā telpā. Četri galvenie profilakses pasākumi COVID-19 infekcijas izplatības ierobežošanai ir - inficētu pacientu izolācija, kontaktu izsekošana, lai pārliecinātos, ka potenciāli inficētie cilvēki paliek izolēti, masveida pārbaude un fiziskā distancēšanās starp cilvēkiem. Efektīvākie mehānismi no šiem četriem šķiet inficēto pacientu izolēšana, kā arī kontaktu izsekošana. Masveida testēšana varētu nebūt labākais risinājums, jo pirms pozitīvu testa rezultātu iegūšanas inficētie cilvēki jau varēja inficēt citus. Cilvēki var inficēt citus pat pirms simptomu parādīšanās. Arī maskas valkāšana var palīdzēt neinficēties sabiedriskās vietās, piemēram, tirdzniecības centros un sabiedriskajā transportā.

Tā kā cilvēki ļoti vēlas, lai dzīve atgrieztos normālās sliedēs, būtu patiešām noderīgi izveidot modeli, kas aprēķina infekcijas risku konkrētā telpā.

Pirms modeļa izveides ir svarīgi saprast, ka ir trīs galvenie inficēšanās ceļi:

- Tiešā pārnese ar pilieniem - inficētās personas izelpotie pilieni nonāk citas personas mutē, degunā vai acīs;
- Tiešais kontakts - pilieni ir nogulsējušies uz virsmām, no kurām ar roku tiek transportēti uz cilvēka muti, degunu vai acīm;
- Aerosols – sīki pilieni, kas satur vīrusu, uzturas gaisā un pēc tam tiek ieelpoti.

Pilieni tiek izdalīti elpojot, runājot, klepojot un šķaudot. Kopējais izdalīto pilienu tilpums un pilienų izmēra sadalījums ir atkarīgs no darbības, turklāt dažādiem cilvēkiem ir ļoti atšķirīgs. Tomēr tas, kas notiek ar izdalītajiem pilieniem, ir atkarīgs no to izmēra:



- Lieli pilieni, kuru diametrs ir lielāks par 100 μm , krīt lejup un apmēram 0,5 sekundēs nogulsnējas uz virsmām;
- Mazi pilieni, kuru diametrs ir mazāks par 5 μm , iztvaiko dažās sekundes daļās;
- Vislielākais infekcijas risks ir vidēja izmēra pilienam, jo tam ir visgarākais iztvaikošanas laiks.

Atkarībā no apstākļiem, piemēram, temperatūras un relatīvā gaisa mitruma, vidēja izmēra pilieni gaisā uzturas ilgāku vai īsāku laika periodu. Jo ilgāk tie uzturas gaisā, jo lielāka ir infekcijas iespējamība. Zema temperatūra un augsts relatīvais gaisa mitrums pagarina pilienu dzīvildzi, tāpēc zemākā temperatūrā un augstākā relatīvā gaisa mitrumā ir vieglāk inficēties.

Atsauces

- [1] Prateek Bahl u. c. “Airborne or droplet precautions for health workers treating COVID-19?”: The Journal of infectious diseases (2020).
- [2] Lydia Bourouiba. “Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions: Po-tential Implications for Reducing Transmission of COVID-19”. JAMA 323.18 (2020. g. maijs), 1837.—1838. lpp. issn: 0098-7484. doi: 10 . 1001 / jama . 2020 . 4756. ep-rint: https://jamanetwork.com/journals/jama/articlepdf/2763852/jama_bourouiba_2020_it_200011.pdf. url: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4756>.
- [3] Giulia Cencetti u. c. “Digital Proximity Tracing in the COVID-19 Pandemic on Empi-ric Contact Networks”. (2020).
- [4] Slimību profilakses un kontroles centrs. Iedzīvotāju nāves cēloņu statistika 2020.gadā pa mēnešiem. url: https://www.spkc.gov.lv/sites/spkc/files/content/Profesionali/Veselibas%5C%20aprupes%5C%20statistika/Statistikas%5C%20dati/iedzivotaju_naves_celonu_statistika_2020_menesi.pdf. (apmeklēta: 20.07.2020).
- [5] Jasper Fuk-Woo Chan u. c. “A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster”. The Lancet 395.10223 (2020), 514.—523. lpp.
- [6] Swetaprovo Chaudhuri u. c. “Modeling the role of respiratory droplets in Covid-19 type pandemics”. Physics of Fluids 32.6 (2020), 63309. lpp.
- [7] Andrew Clark u. c. “Global, regional, and national estimates of the population at increased risk of severe COVID-19 due to underlying health conditions in 2020: a mo-delling study”. The Lancet Global Health (2020).
- [8] Adelina Comas-Herrera u. c. “Mortality associated with COVID-19 outbreaks in care homes: early international evidence”. LTCcovid.org, International Long-Term Care Policy Network (2020).

- [9] European Centre for Disease Prevention un Control (ECDC). Data on COVID-19 (co-ronavirus). url: <https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data>. (visited: 23.07.2020).
- [10] Patricia Fabian u. c. “Origin of exhaled breath particles from healthy and human rhinovirus-infected subjects”. Journal of aerosol medicine and pulmonary drug delivery 24.3 (2011), 137.—147.
- [11] Thushara Galbadage, Brent M Peterson un Richard S Gunasekera. “Does COVID-19 Spread Through Droplets Alone?”: Frontiers in Public Health 8 (2020), 163.
- [12] ZY Han, WG Weng un QY Huang. “Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze”. Journal of the Royal Society Interface 10.88 (2013), 20130560.
- [13] Jeremy Howard u. c. “Face masks against COVID-19: an evidence review”. (2020).
- [14] Chaolin Huang u. c. “Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China”. The lancet 395.10223 (2020), 497.—506. lpp.
- [15] Josh Katz Jin Wu Allison McCann un Elian Peltier. 187,000 Missing Deaths: Tracking the True Toll of the Coronavirus Outbreak. url: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/04/21/world/coronavirus-missing-deaths.html>. (apmeklēta: 20.07.2020).
- [16] Bobbie Johnson. Nearly 40% of Icelanders are using a covid app—and it hasn’t helped much. url: <https://www.technologyreview.com/2020/05/11/1001541/iceland-rakning-c19-covid-contact-tracing/>. (apmeklēta: 19.07.2020).
- [17] Rachel E Jordan, Peymane Adab un KK Cheng. Covid-19: risk factors for severe disease and death. 2020.
- [18] Roxanne Khamisi. If a coronavirus vaccine arrives, can the world make enough? url: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01063-8>. (apmeklēta: 19.07.2020).
- [19] C Kleinstreuer un Z Zhang. “Airflow and particle transport in the human respiratory system”. Annual review of fluid mechanics 42 (2010), 301.—334.

- [20] Michael A Kohanski, L James Lo un Michael S Waring. “Review of Indoor Aerosol Generation, Transport and Control in the Context of COVID-19”. International forum of allergy & rhinology. Wiley Online Library. 2020.
- [21] Adam J Kucharski u. c. “Effectiveness of isolation, testing, contact tracing and physical distancing on reducing transmission of SARS-CoV-2 in different settings”. medRxiv (2020).
- [22] Alvin CK Lai un William W Nazaroff. “Modeling indoor particle deposition from turbu-lent flow onto smooth surfaces”. Journal of aerosol science 31.4 (2000), 463.—476.
- [23] Stephen A Lauer u. c. “The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application”. Annals of internal medicine 172.9 (2020), 577.—582. lpp.
- [24] Jiaye Liu u. c. “Community transmission of severe acute respiratory syndrome corona-virus 2, Shenzhen, China, 2020”. (2020).
- [25] Timo Mitze u. c. “Face Masks Considerably Reduce COVID-19 Cases in Germany: A Synthetic Control Method Approach”. (2020).
- [26] Nisreen MA Okba u. c. “SARS-CoV-2 specific antibody responses in COVID-19 pa-tients”. medRxiv (2020).
- [27] Sean Wei Xiang Ong u. c. “Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient”. Jama 323.16 (2020), 1610.—1612.
- [28] World Healt Organization. Draft landscape of COVID-19 candidate vaccines. url: <https://www.who.int/publications/m/item/draft-landscape-of-covid-19-candidate-vaccines>. (apmeklēta: 19.07.2020).
- [29] World Healt Organization. Immunity passports in the context of COVID-19. url: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/immunity-passports-in-the-context-of-covid-19>. (apmeklēta: 20.07.2020).
- [30] World Healt Organization. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). url: <https://www.who.int/docs/>

default - source / coronaviruse / who - china - joint - mission - on - covid - 19 - final
- report . pdf. (apmeklēta: 20.07.2020).

- [31] World Health Organization. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. url: https://covid19.who.int/?gclid=Cj0KCQjwvIT5BRCqARIsAAwwD-TlcaUaeFapEKE9y4NGMeEwuM_wcB. (visited on: 20.07.2020).
- [32] Hongchao Qi u. c. “COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis”. *Science of the Total Environment* (2020), 138778.
- [33] Anuradha Tomar un Neeraj Gupta. “Prediction for the spread of COVID-19 in India and effectiveness of preventive measures”. *Science of The Total Environment* (2020), 138762.
- [34] Neeltje Van Doremalen u. c. “Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1”. *New England Journal of Medicine* 382.16 (2020), 1564.—1567.
- [35] Constantine I Vardavas un Katerina Nikitara. “COVID-19 and smoking: A systematic review of the evidence”. *Tobacco induced diseases* 18 (2020).
- [36] R Verity u. c. “S.[van Elsland], E”. Volz, H. Wang, Y. Wang, X. Xi, CA Donnelly, AC Ghani, and NM Ferguson, “Estimates of the severity of coronavirus disease (2019).
- [37] Roman Wölfel u. c. “Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019”. *Nature* 581.7809 (2020), 465.—469.
- [38] Shinhao Yang u. c. “The size and concentration of droplets generated by coughing in human subjects”. *Journal of Aerosol Medicine* 20.4 (2007), 484.—494.