

# ADVIES IN VERBAND MET VENTILATIE IN HET KADER VAN SARS-COV-2

UPDATE SEPTEMBER 2020  
VALIDATED BY THE RMG 01/10/2020

## VRAAGSTELLING

De RAG evalueerde eind mei de wetenschappelijke literatuur rond mogelijke overdracht van SARS-CoV-2 via de lucht en beval op basis van het voorzorgsprincipe onder andere aan om ruimtes extra te ventileren (zie [advies](#) gevalideerd door RMG 25/05/2020).

**Is er inmiddels meer wetenschappelijk bewijs over overdracht via de lucht (zgn. ‘airborne transmission’) van SARS-CoV-2 en zo ja, is er noodzaak aan het bijstellen van protocollen en eerdere adviezen?**

## Besluit en aanbevelingen

**Overdracht van SARS-CoV-2 via de lucht is mogelijk en het belang ervan mag niet onderschat worden.** Het is tevens nodig hierover duidelijke informatie te geven aan de bevolking.

## IMPLICATIES

Het aanvaarden van het risico op overdracht via de lucht heeft belangrijke implicaties. **Het impliceert dat het houden van 1,5m afstand, regelmatig handen wassen en het ontsmetten van oppervlaktes vermoedelijk niet volstaan als preventieve maatregelen.** Hoewel de WHO nog steeds stelt dat overdracht via de lucht niet bewezen is, geeft ze tegelijkertijd met “the three C’s” de raad om “closed spaces” te vermijden en steunt het gebruik van mondneusmaskers in bepaalde gevallen (bv. in de klas), waarmee ze impliciet de mogelijkheid van airborne transmissie onderkent.

De reeds gekende hygiënische maatregelen zoals afstand houden en handhygiëne moeten verder aanbevolen worden, hun effect is aangetoond (1,2). Verder moet ingezet worden op **broncontrole**.

Wat betreft het vermijden van overdracht via de lucht worden volgende reeds bestaande aanbevelingen herhaald:

### Broncontrole:

- De meest efficiënte manier om overdracht via de lucht te voorkomen is door **isoleren van (mogelijke) gevallen van COVID-19 en hun nauwe contactpersonen**. Door het in quarantaine plaatsen en testen van nauwe contactpersonen wordt ook mogelijke asymptomatische of presymptomatische overdracht voorkomen. Het belang van testen van mogelijke gevallen, een goede contactopsporing en compliantie met de opgelegde zelf-isolatie en quarantaine kan dan ook niet genoeg benadrukt worden. Blijvende aandacht en sensibilisering is nodig.
- Mondmaskers: **mogelijke of bevestigde COVID-19 patiënten in thuis-isolatie moeten een mondneusmasker dragen** als ze zich in dezelfde ruime bevinden als andere huisgenoten. In de fiches voor patiënten wordt ook aangeraden om regelmatig de woning/ruimtes te ventileren.

- Mondmaskers zijn verplicht voor personen in quarantaine die zich toch buiten de woonst begeven voor essentiële verplaatsingen (bv. een doktersbezoek).
- Het veralgemeend gebruik van een **mondneusmasker in slecht geventileerde gesloten ruimtes** voorkomt het verspreiden van eventuele airborne partikels door asymptomatische personen.

#### Hoog-risico contacten:

- De huidige definitie van hoog-risico contacten stelt *Een persoon met een cumulatief contact van minstens 15 minuten binnen een afstand van <1,5 m ("face to face")<sup>1</sup>, bijvoorbeeld in een gesprek, zonder correct gebruik van een mondmasker (neus en mond volledig bedekkend) door één van beide personen. Dit omvat, onder andere, huisgenoten, kinderen van dezelfde groep in een residentiële collectiviteit, vrienden met wie men een maaltijd deelde en eventueel naaste burens op het werk.*

In het geval van overdracht via de lucht, kunnen ook personen die op meer dan 1,5m zaten besmet zijn. We bevelen echter aan om de **definitie ongewijzigd te laten** aangezien:

- o studies rond contactonderzoek aantonen dat nauw fysiek contact de belangrijkste parameter is en langdurige blootstelling in dezelfde ruimte noodzakelijk is
  - o een uitbreiding van de definitie van hoog-risico contact kan leiden tot een groter aantal personen dat in quarantaine geplaatst wordt, met een mogelijk slechtere compliance tot gevolg
  - o het effect van ventilatie niet kwantitatief in rekening te brengen is
  - o alle personen die in dezelfde gesloten ruimte verbleven, nu reeds als laag-risico contacten beschouwd worden en dus extra aandachtig moeten zijn voor het ontstaan van symptomen, het dragen van een mondmasker en het houden van gepaste afstand.
  - o er in het geval van een cluster (bv. meerdere personen besmet in de 1<sup>e</sup> cirkel van hoog-risico contacten) door de gezondheidsautoriteiten overgegaan kan worden tot bredere screening en quarantaine.
- In het geval van openbaar vervoer is de huidige definitie van hoog-risico contact als volgt:

*“Een persoon die meer dan 15 minuten samen met een COVID-19 patiënt heeft gereisd, in eender welk transportmiddel, zittend binnen twee zitplaatsen (in eender welke richting) van de patiënt. In een vliegtuig ook bemanningsleden die dienst doen in de sectie van het vliegtuig waar het geval zat. Indien de ernst van de symptomen of de verplaatsing van de patiënt in het vliegtuig wijst op een mogelijk grotere blootstelling, kunnen passagiers die in hetzelfde compartiment zaten of alle passagiers in het vliegtuig worden beschouwd als hoog risico contacten (beoordeling door de dienst Infectieziektenbestrijding).”*

De bovengenoemde argumenten gelden ook voor deze definitie, met als bijkomend argument dat het dragen van een mondneusmasker verplicht is op het openbaar vervoer.

#### Preventie:

- De huidige officiële protocollen raden al sinds het begin van de epidemie aan om **regelmatig te verluchten en te waken over een goede ventilatie**. Het is onmogelijk om meer concrete adviezen te geven aangezien i) het aantal ACH dat bereikt kan worden sterk afhankelijk is van de omstandigheden (temperatuur, windrichting en – sterkte, grootte en oriëntatie van de ramen, grootte van de ruimte...) en ii) het aantal benodigde ACH afhangt van de besmettelijkheid van de indexpatiënt (o.a. beïnvloed door tijd tot aanvang symptomen en leeftijd en activiteit van indexpersoon).

<sup>1</sup> Indien er een volledige scheiding was door een wand uit plexiglas valt dit niet onder een face to face contact.

- **Mechanische ventilatiesystemen** moeten correct onderhouden worden. Hercirculatie van gebruikte lucht moet vermeden worden en de ventilatiesystemen moeten langer draaien. Er moet ook opgepast worden dat luchtstromen in de juiste richting gaan (“proper naar vuil”). Meer technische info is te vinden in [aanbevelingen van de Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associatins](#) (update 3 augustus) en de [Hoge Gezondheidsraad](#).
- **Activiteiten in de buitenlucht** verdienen de voorkeur boven activiteiten in gesloten ruimtes.
- De afgelopen hittegolf die een hoge dodentol eiste in België toont het belang aan van de proportionaliteit van de maatregelen. In het geval van extreme of ongunstige klimatologische omstandigheden moeten potentiële baten en risico's steeds afgewogen worden en mag het belang van SARS-CoV-2 overdracht via de lucht niet overschat worden.
- Het dragen van **mondneusmaskers in gesloten publieke ruimtes**, zoals het openbaar vervoer, winkels of cinema's, is een effectieve manier om zowel het risico op druppel- als op airborne transmissie te beperken.
- Het **beperken van het aantal aanwezigen in één ruimte** is zowel effectief in de preventie van druppel- als airborne transmissie.

#### Gezondheidszorg:

- De [aanbevelingen rond het correct gebruik van mondmaskers](#) werden eind juni geüpdate en zijn nog steeds van toepassing. Aangezien overdracht via de lucht voorkomen kan worden door broncontrole (het gebruik van een mondmasker door de patiënt) en langdurige blootstelling vereist (zoals gedocumenteerd in de uitbraken en in de modellerings-studies) volstaat een chirurgisch mondneusmasker voor de meeste soorten van contact met een (mogelijk) geval van COVID19, behalve bij blootstelling aan aerosol-genererende procedures, in het bijzonder bij intubatie.

## Wetenschappelijke achtergrond

### LUCHTGEBONDEN OVERDRACHT VAN SARS-CoV-2 : MOGELIJK?

Het verschil tussen druppel- en airborne overdracht wordt gemaakt op basis van de **grootte van de partikels** die verantwoordelijk worden geacht voor de overdracht. Bij zogenaamde echte airborne transmissie blijven kleinere infectieuze partikels ('droplet nuclei' of 'aerosols') lange tijd in de lucht zweven en kunnen zich veel verder dan 1,5m verspreiden. Personen kunnen dan besmet worden zelfs in afwezigheid van de bronpatiënt als ze deze besmette lucht inademen (3).

#### *Positie van de Wereld Gezondheidsorganisatie*

De WHO stelde een panel van experts samen en evalueerde de beschikbare wetenschappelijke literatuur (inclusief pre-print artikels die nog geen peer-review ondergingen) en ervaringen van verschillende landen. In hun Scientific Brief van 9 juli (4) wordt gesteld dat **druppel-contact-besmettingen veruit de belangrijkste vorm van overdracht vertegenwoordigen**. Overdracht via de lucht is mogelijk bij het uitvoeren van bepaalde medische procedures die aerosolen genereren. De WHO erkent verder ook dat het virus in experimentele omstandigheden kan overleven in aerosolen, dat sommige studies viraal RNA in de lucht hebben gedetecteerd en dat bepaalde types van uitbraken in gesloten ruimtes doen denken aan luchtgebonden overdracht. Niettemin **acht de WHO de overdracht van SARS-CoV-2 via de lucht niet bewezen** en stelt dat veel meer onderzoek nodig is naar de mogelijke implicaties van deze transmissie route.

### *Experimentele argumenten voor overdracht via de lucht*

In **labo-omstandigheden** kan virus door krachtige vernevelaars tot aërosolen omgevormd worden en dan in gesloten containers gedurende lange tijd (>3u-16u) aanwezig en infectieus blijven (5,6). Deze omstandigheden zijn echter geenszins te vergelijken met omstandigheden in het dagelijks leven. Van fretten is aangetoond dat ze een goed diermodel vormen voor SARS-CoV-2. In twee experimenten werd luchtgebonden overdracht van SARS-CoV-2 tussen fretten bewezen (7,8). Interessant is dat in beide experimenten de overdracht via de lucht weliswaar mogelijk was, maar minder efficiënt leek te zijn dan overdracht via direct contact.

### *Empirische gegevens rond overdracht via de lucht*

Een evidence summary gemaakt door een Canadese groep lijst 8 studies op waar stalen van de lucht in ziekenhuizen genomen werden om SARS-CoV-2 op te sporen (9). **In 6/8 studies werd viraal RNA teruggevonden in de lucht.** Het gaat echter om bijzonder kleine hoeveelheden RNA en het is **onduidelijk of het infectieus virus betreft of enkel dood virusmateriaal**: respiratoire virussen worden vaak geïnactiveerd door bv. blootstelling aan UV licht of uitdroging. Slechts 3/6 studies probeerden het viraal RNA ook te kweken. In één studie lukte dat niet (10), bij een andere studie was het onduidelijk (11). In een zeer recent pre-print artikel (12) betogen de auteurs dat virussen in de lucht beschadigd kunnen worden tijdens staalname. Met een ander type toestel voor staalname verzamelden ze gedurende 3u lucht in de kamer van een COVID-19 patiënt op een afstand van 2 en 4,8m. **Uit de stalen isoleerden ze levend virus.** Als de lucht eerst langs een HEPA-filter passeerde, werd er geen virus aangetroffen. Hoewel deze resultaten verontrustend zijn, moet opgemerkt worden dat de aangetroffen concentraties virus bijzonder laag waren ondanks de tijdsspanne van 3u waarin lucht verzameld werd. Het betrof een relatief kleine, gesloten ruimte met wel een mechanisch ventilatiesysteem met 6 luchtverversingen per uur.

### *Epidemiologische gegevens rond overdracht via de lucht*

Vanaf het begin van de epidemie was er vrees voor luchtgebonden overdracht op basis van vermoedelijke long-distance airborne transmissie voor het **nauw verwante SARS-CoV-1** (13,14).

Ook voor SARS-CoV-2 lijkt luchtgebonden overdracht de beste verklaring te bieden voor **uitbraken zoals in een Zuid-Koreaans call center** (waarbij 94 personen op de 11<sup>e</sup> verdieping van een kantoorgebouw besmet raakten, zonder duidelijke relatie met afstand tot het indexgeval) (15), **in fitness centra** tijdens Zumba lessen (16), tijdens een **koor-repetitie** (waar afstand gehouden werd maar wel samen een tussendoortje genuttigd werd) (17), in een restaurant zonder aanvoer van verse lucht maar met een air conditioning systeem (18), onder passagiers in business class tijdens een vlucht van 10u (19) of onder **Chinese busreizigers** (20). De uitbraak onder de Chinese busreizigers levert wellicht het meest overtuigende bewijs: 24 van de 68 (35%) personen die samen met een besmette reiziger 100 minuten in de bus zaten, raakten besmet, tegenover 0 van de 60 personen op de andere bus. Alle personen (inclusief de indexpersoon) woonden hetzelfde evenement bij, dat grotendeels buiten plaatsvond. Op de bus was een verwarmingssysteem in werking dat de lucht hercirculeerde. Ook passagiers die in de bus op 5m afstand van de indexpersoon zaten en geen direct contact met de indexpersoon hadden gehad, raakten besmet. Wel leken personen die dichtbij het indexgeval zaten een iets hogere kans te hebben om besmet te zijn, al was het verschil niet significant – mogelijk door de kleine aantallen (relatief risico 1,8 [95% CI 0.9-3.3]). Het goede nieuws is dat het bij al deze uitbraken om langdurige en intense blootstelling in slecht geventileerde ruimtes gaat: bij de uitbraak in het call center werden geen besmettingen vastgesteld door interacties in de lobby of liften, bij rustigere lessen of kleinere groepen werden in de fitness centra geen secundaire besmettingen vastgesteld ondanks de aanwezigheid van besmette instructeurs en het indexgeval dat zorgde voor zoveel besmettingen op de bus, had op dezelfde dag ook een middagmaal in een grote ruimte gedurende ongeveer 30 minuten waar geen besmettingen gerapporteerd werden.

Bovenstaande uitbraken zijn sterk suggestief voor overdracht via de lucht. In theorie kan overdracht via bv. besmette voorwerpen niet uitgesloten worden, maar dit lijkt onwaarschijnlijk. Dat er moet opgepast worden met het trekken van conclusies rond overdracht via de lucht, toont niettemin het voorbeeld van het Princess Diamond cruise schip. Ook daar werd initieel aan verspreiding via de airconditioning gedacht (21), maar dit wordt bij gedetailleerder onderzoek door andere auteurs weerlegd (22).

**Contactonderzoek wijst er op dat langdurig nauw contact nodig is voor overdracht en dat het risico op besmetting veel groter is voor huisgenoten dan voor andere nauwe contacten** (23,24). De R0 (2-3) en de secondary attack rate (max. 15%) van SARS-CoV-2 is lager dan voor typische 'airborne' infecties zoals mazelen (R0 11-13, secondary attack rate 80-95%) en varicella (R0 5, secondary attack rate 61-100%) (25). Echter lijkt de SARS-CoV-2 epidemie gekenmerkt te worden door een lage K-waarde, wat betekent dat er interindividueel een grote variatie is in het aantal secundaire besmettingen: sommige patiënten besmetten weinig anderen, sommigen heel veel. De relatief lage R waarde zou zodoende ook verklaard kunnen worden door de mogelijkheid van verschillende transmissie routes: contact (direct/indirect), droplet en airborne (26).

### *Modelleringsstudies en fysica*

Het **onderscheid tussen grotere "druppels" en kleinere "aërosols"** is gebaseerd op werk uit de jaren '30 van Wells, maar meer en meer **staat het binaire concept ter discussie** ten voordele van een meer genuanceerd spectrum. Grotere druppels verdampen namelijk tot kleinere (zogenaamde 'droplet nuclei') zodra ze de mond verlaten, en kunnen zo lange tijd (tot >100 minuten) in de lucht blijven hangen (27). Bij hoesten en niezen wordt een soort gaswolk gevormd, waarin druppels tot 7-8m ver kunnen drijven (28). Ook bij praten worden potentieel infectieuze droplet nuclei gevormd, die tot 14 minuten in de lucht kunnen blijven hangen (29). Dat praten en zingen vergelijkbare hoeveelheden droplet nuclei kunnen produceren als hoesten, werd reeds aangetoond (30). De hoeveelheid droplet nuclei die geproduceerd wordt, stijgt met het geproduceerde volume (31,32).

## **EFFECT VAN VENTILATIE**

Als overdracht via de lucht mogelijk is, hoe kunnen we dit risico dan beperken? Van een **verhoogde ventilatie is aangetoond dat het overdracht via de lucht kan beperken** (33). Naast een verhoogde ventilatie worden door experts ook een beperkte bezetting van ruimtes, het vermijden van hercirculatie van lucht en geregelde pauzes aangeraden (34-38). Indien hercirculatie van lucht noodzakelijk is, kunnen HEPA filters (filtert 99,9% partikels van 0.3µm) of MERV13 (>90% partikels 0.3µm) voldoende kleine partikels filteren (35).

In twee pre-print artikelen proberen wiskundige modellen te simuleren wat het effect van ventilatie is op het risico dat iemand besmet wordt. Het betreft hier niet-peer reviewed schattingen. De wiskundige modellen gebruiken info van gedocumenteerde uitbraken en werken met verschillende assumpties, beperkingen, afleidingen en parameters, maar ze kunnen een indicatie geven van het effect van ventilatie. Dai en Zhao stellen bv. dat minstens 3-10 luchtverversingen per uur (air changes per hour, ACH) nodig zijn om <1% risico te lopen tijdens een busrit van een half uur met een besmette persoon. Voor een klas (les van 2u) zijn dat 2,5-7 ACH (39). Buonanno en collega's berekenden dat in een fitnesscentrum met een ventilatie van 0.5 ACH de kans op besmetting 1% bedraagt na 55 minuten, bij betere ventilatie (3ACH) is dat pas na 110 minuten. In een restaurant is dat 1% na 60 minuten bij 0.5 ACH en na 137 minuten bij 3 ACH. Mechanische ventilatiesystemen draaien meestal rond 2-3 ACH (maximum 4-8 ACH) en met de vensters wijd open kunnen, afhankelijk van de klimatologische omstandigheden, ongeveer 10 ACH gehaald worden.

## Referenties:

1. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ, 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* [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2020 Jun 2];0(0). Available from: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)31142-9/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)31142-9/abstract)
2. Durante-Mangoni E, Andini R, Bertolino L, Mele F, Bernardo M, Grimaldi M, et al. Low rate of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 spread among health-care personnel using ordinary personal protection equipment in a medium-incidence setting. *Clin Microbiol Infect*. 2020 May;S1198743X20302706.
3. World Health Organization,. WHO | Infection prevention and control of epidemic-and pandemic prone acute respiratory infections in health care [Internet]. WHO. [cited 2020 Mar 26]. Available from: [https://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection\\_control/publication/en/](https://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection_control/publication/en/)
4. World Health Organization. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions [Internet]. Update 9th July [cited 2020 Jul 14]. Available from: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>
5. Doremalen N van, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 Mar 17 [cited 2020 Mar 19]; Available from: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMc2004973>
6. Fears AC, Klimstra WB, Duprex P, Hartman A, Weaver SC, Plante KS, et al. Persistence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Aerosol Suspensions - Volume 26, Number 9—September 2020 - *Emerging Infectious Diseases journal* - CDC. [cited 2020 Sep 5]; Available from: [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/9/20-1806\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/9/20-1806_article)
7. Kim Y-I, Kim S-G, Kim S-M, Kim E-H, Park S-J, Yu K-M, et al. Infection and Rapid Transmission of SARS-CoV-2 in Ferrets. *Cell Host Microbe*. 2020 May 13;27(5):704-709.e2.
8. Richard M, Kok A, de Meulder D, Bestebroer TM, Lamers MM, Okba NMA, et al. SARS-CoV-2 is transmitted via contact and via the air between ferrets. *Nat Commun*. 2020 Jul 8;11(1):3496.
9. Prematunge C, National Collaborating Centre for Methods and Tools. Emerging Evidence on COVID-19. COVID-19 Summary of Heating, Ventilation, Air Conditioning (HVAC) systems and Transmission of SARS-CoV-2 [Internet]. Emerging Science Group; (Emerging Evidence on COVID-19.). Available from: <https://www.nccmt.ca/covid-19/covid-19-evidence-reviews/176>
10. Zhou J, Otter JA, Price JR, Cimpeanu C, Garcia DM, Kinross J, et al. Investigating SARS-CoV-2 surface and air contamination in an acute healthcare setting during the peak of the COVID-19 pandemic in London. *Clin Infect Dis* [Internet]. [cited 2020 Sep 5]; Available from: <https://academic.oup.com/cid/advance-article/doi/10.1093/cid/ciaa905/5868534>
11. Santarpia JL, Rivera DN, Herrera VL, Morwitzer MJ, Creager HM, Santarpia GW, et al. Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Sci Rep*. 2020 Jul 29;10(1):12732.
12. Lednicky JA, Lauzardo M, Fan ZH, Jutla AS, Tilly TB, Gangwar M, et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients [Internet]. *Epidemiology*; 2020 Aug [cited 2020 Sep 5]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.08.03.20167395>
13. Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L, et al. Detection of Airborne Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) Coronavirus and Environmental Contamination in SARS Outbreak Units. *J Infect Dis*. 2005 May 1;191(9):1472–7.

14. Yu IT-S, Qiu H, Tse LA, Wong TW. Severe Acute Respiratory Syndrome Beyond Amoy Gardens: Completing the Incomplete Legacy. *Clin Infect Dis*. 2014 Mar 1;58(5):683–6.
15. Park SY, Kim Y-M, Yi S, Lee S, Na B-J, Kim CB, et al. Early Release - Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea - Volume 26, Number 8—August 2020 - *Emerging Infectious Diseases journal - CDC*. [cited 2020 Jun 25]; Available from: [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-1274\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-1274_article)
16. Jang S, Han SH, Rhee J-Y. Cluster of Coronavirus Disease Associated with Fitness Dance Classes, South Korea. *Emerg Infect Dis*. 2020 Aug;26(8):1917–20.
17. Hamner L. High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice — Skagit County, Washington, March 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep [Internet]*. 2020 [cited 2020 May 20];69. Available from: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6919e6.htm>
18. Lu J, Gu J, Li K, Xu C, Su W, Lai Z, et al. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerg Infect Dis*. 2020 Apr 2;26(7).
19. Khanh NC, Thai PQ, Quach H-L, Thi N-AH, Dinh PC, Duong TN, et al. Early Release - Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 During Long Flight - Volume 26, Number 11—November 2020 - *Emerging Infectious Diseases journal - CDC*. [cited 2020 Sep 24]; Available from: [https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/11/20-3299\\_article](https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/11/20-3299_article)
20. Shen Y, Li C, Dong H, Wang Z, Martinez L, Sun Z, et al. Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China. *JAMA Intern Med [Internet]*. 2020 Sep 1 [cited 2020 Sep 3]; Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/fullarticle/2770172>
21. Almilaji O, Thomas P. Air recirculation role in the infection with COVID-19, lessons learned from Diamond Princess cruise ship [Internet]. *Public and Global Health*; 2020 Jul [cited 2020 Sep 5]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.07.08.20148775>
22. Xu P, Qian H, Miao T, Yen H, Tan H, Cowling BJ, et al. Transmission routes of Covid-19 virus in the Diamond Princess Cruise ship. *medRxiv*. 2020 Apr 14;2020.04.09.20059113.
23. Bi Q, Wu Y, Mei S, Ye C, Zou X, Zhang Z, et al. Epidemiology and Transmission of COVID-19 in Shenzhen China: Analysis of 391 cases and 1,286 of their close contacts. *medRxiv*. 2020 Mar 4;2020.03.03.20028423.
24. Burke RM. Active Monitoring of Persons Exposed to Patients with Confirmed COVID-19 — United States, January–February 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep [Internet]*. 2020 [cited 2020 Mar 17];69. Available from: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6909e1.htm>
25. World Health Organization. WHO | Varicella [Internet]. WHO. [cited 2020 May 22]. Available from: <https://www.who.int/immunization/diseases/varicella/en/>
26. Endo A, Centre for the Mathematical Modelling of Infectious Diseases COVID-19 Working Group, Abbott S, Kucharski AJ, Funk S. Estimating the overdispersion in COVID-19 transmission using outbreak sizes outside China. *Wellcome Open Res*. 2020 Apr 9;5:67.
27. Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environ Int*. 2020 Aug 1;141:105794.
28. Bourouiba L. Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions: Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. *JAMA [Internet]*. 2020 Mar 26 [cited 2020 Apr 3]; Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2763852>
29. Stadnytskyi V, Bax CE, Bax A, Anfinrud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc Natl Acad Sci [Internet]*. 2020 May 13 [cited 2020 May 22]; Available from: <https://www.pnas.org/content/early/2020/05/12/2006874117>

30. Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Corbett S, et al. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J Aerosol Sci.* 2009 Mar 1;40(3):256–69.
31. Alsvéd M, Matamis A, Bohlin R, Richter M, Bengtsson P-E, Fraenkel C-J, et al. Exhaled respiratory particles during singing and talking. *Aerosol Sci Technol.* 2020 Aug 24;0(0):1–4.
32. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep.* 2019 Feb 20;9(1):2348.
33. Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticona E, Pan W, et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLoS Med.* 2007 Feb;4(2):e68.
34. Melikov AK, Ai ZT, Markov DG. Intermittent occupancy combined with ventilation: An efficient strategy for the reduction of airborne transmission indoors. *Sci Total Environ.* 2020 Nov 20;744:140908.
35. Dietz L, Horve PF, Coil DA, Fretz M, Eisen JA, Wymelenberg KVD. 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission. *mSystems* [Internet]. 2020 Apr 28 [cited 2020 Sep 5];5(2). Available from: <https://msystems.asm.org/content/5/2/e00245-20>
36. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int.* 2020 Jun 1;139:105730.
37. Stewart EJ, Schoen LJ, Mead K, Olmsted RN, Sekhar C, Vernon W, et al. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols. 2020;24.
38. Heating, ventilation and air conditioning systems in the context of COVID-19. 2020;5.
39. Dai H, Zhao B. Association of infected probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces: a Wells-Riley equation based investigation [Internet]. *Emergency Medicine*; 2020 Apr [cited 2020 Sep 4]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.04.21.20072397>