

Luftvägsvirus vid arbetsplatser

Smittvägar, riskfaktorer och skyddsåtgärder

Jakob Löndahl¹
Malin Alsved¹
Sara Thuresson¹
Carl-Johan Fraenkel²

- 1. Avdelningen för Ergonomi och Aerosolteknologi, LTH, Lunds universitet*
- 2. Infektionsmedicin och vårdhygien vid Skånes universitetssjukhus, SUS,
samt Infektionsmedicin, Lunds universitet*



GÖTEBORGS UNIVERSITET
ARBETS- OCH MILJÖMEDICIN

Första upplagan år 2021
Tryckt av Kompendiet, Göteborg
© Göteborgs universitet & Författarna

ISBN 978-91-85971-80-0
ISSN 0346-7821

CHEFREDAKTÖR

Kjell Torén, Göteborgs universitet

REDAKTION

Maria Albin, Stockholm

Lotta Dellve, Göteborg

Henrik Kolstad, Århus

Roger Persson, Lund

Kristin Svendsen, Trondheim

Mathias Holm, Göteborg

REDAKTIONSASSISTENT

Ulrika Sjödahl,

Göteborgs universitet

REDAKTIONSRÅD

Kristina Alexanderson, Stockholm

Berit Bakke, Oslo

Lars Barregård, Göteborg

Jens Peter Bonde, Köpenhamn

Jörgen Eklund, Stockholm

Mats Hagberg, Göteborg

Kari Heldal, Oslo

Kristina Jakobsson, Göteborg

Malin Josephson, Stockholm

Bengt Järvholm, Umeå

Anette Kærgaard, Herning

Carola Lidén, Stockholm

Svend Erik Mathiassen, Gävle

Catarina Nordander, Lund

Torben Sigsgaard, Århus

Gerd Sällsten, Göteborg

Ewa Wikström, Göteborg

Eva Vingård, Stockholm

För att kontakta redaktionen, beställa enstaka nummer eller starta en prenumeration:

E-post: arbeteochhalsa@amm.gu.se,

Telefon: 031-786 6854

En prenumeration kostar 800 kr per år exklusive moms (6 %).

Vill du läsa rapporterna digitalt så kan du kostnadsfritt gå in via länken nedan:
www.amm.se/publikationer

Innehållsförteckning

Redaktörernas förord	1
Referenser	2
Sammanfattning	4
Författarnas förord	5
1. Bakgrund	7
1.1 Syfte	7
2. Luftvägsvirus	8
3. Smittvägar	10
3.1 Inandning	12
3.2 Direkt deponering	21
3.3 Kontakt	22
3.4 Smittsamhet	26
3.5 Skyddsåtgärder	30
3.6 Personlig skyddsutrustning	33
3.7 Skydd genom produktutveckling och övervakning	38
4. Detektion av virus i miljön	38
4.1 Miljöprovtagning	38
4.2 Beräkningsmodeller för smittorisk	39
5. Säsongsvariation	41
6. Slutsatser	43
7. Referenser	45
7.1 Relaterade rapporter och rekommendationer	45
7.2 Referenser	46

Redaktörernas förord

Denna utgåva ingår i den serie av systematiska kunskaps-sammanställningar som ges ut av Göteborgs Universitet. Dessa kunskapssammanställningar hade ursprungligen sin bakgrund i ett behov att ange riktlinjer för hur man fastställer samband i arbetsskadeförsäkringen. Arbetet inleddes 1981 när en grupp ortopedier, yrkesmedicinare, andra arbetsmiljöforskare och läkare från LO i Läkartidningen diskuterade en modell för bedömning av vilka arbetsställningar som utgjorde skadlig inverkan för besvär i bröst och ländrygg. Gruppen pekade också på vikten av att systematiskt ställa samman kunskap inom området (Andersson 1981). Därefter publicerades flera systematiska kunskapssammanställningar med avsikt ge riktlinjer för förekomst av skadlig inverkan vid arbetsskadebedömningar (Westerholm 1995, 2002, Hansson & Westerholm 2001).

AFA Försäkring finansierar sedan 2008 ett långsiktigt projekt med avsikt att ta fram nya kunskapssammanställningar inom arbetsmiljöområdet. Arbetet samordnas av Arbets- och miljömedicin vid Sahlgrenska Akademin/Göteborgs Universitet. Dessa systematiska kunskapssammanställningar har som syfte att beskriva arbetsmiljöns betydelse för uppkomst eller försämring av sjukdom eller symptom i ett bredare perspektiv. Tillämpningen av resultaten får ske inom berörda myndigheter, arbetsplatser och försäkringsbolag.

Den nya serien av systematiska kunskapssammanställningar inleddes 2008 med en uppdaterad översikt om psykisk arbetsskada (Westerholm 2008), som sedan följdes av sammanställningar om fukt och mögel, helkroppsvibrationer och arbetets betydelse för uppkomst av depression (uppdatering), stroke, Parkinsons sjukdom, ALS, Alzheimers sjukdom, prostatacancer, reumatoid artrit, arbete i värme, effekter av att arbeta med armarna ovan axelhöjd, riskfaktorer i arbetslivet för suicid, riskfaktorer för ”slidigt i tommelens rodled”, arbete efter hjärtinfarkt och en analys av olika kunskapsöversikter inom arbetsmiljöområdet (Torén 2010, Burström 2012, Lundberg 2013, Jakobsson 2013, Gunnarsson 2014, 2015a, 2015b, Knutsson 2017, Kuklane 2017, Kjellström 2017, Milner 2018, Bach Lund 2018, Koch 2019, Gustavsson 2019, Järvholm 2020, Ilar 2020). Under 2021 har publicerat en analys om arbete efter stroke (Jood 2021). Under 2016 presenterades ett uppmärksammat dokument om skador efter exponering för handöverförda vibrationer (Nilsson 2016). Dessutom har vi tagit fram ett mycket efterfrågat dokument om hur diabetiker klarar av olika påfrestande arbetsmiljöer (Knutsson 2013). Eftersom kunskapsläget förändras finns det ett behov av uppdateringar av gamla kunskapssammanställningar, samtidigt som det finns ett behov av kunskapssammanställningar inom nya områden.

Denna nya kunskapsöversikt syftar till att ge kunskap om luftvägsvirus ur ett praktiktäna arbetsplatsperspektiv. Den riktar sig till exempel till företagshälsovård, skyddsombud och arbetsgivare som inte har möjlighet att sätta sig in i den mycket omfattande vetenskapliga litteraturen.

Området är alltför brett för att täckas in med en systematisk kunskapsöversikt, dokumentet har därför istället formen av en sk narrativ kunskapsöversikt. Den beskriver såväl smittovägar som skyddsfaktorer. Fokus är på riskbedömning utifrån spridning av luftvägsvirus på arbetsplatser, något som nu är högaktuellt.

Externa referenser har varit Stein Knardahl, Statens arbeidsmiljøinstitutt, Oslo, och Tomas Bergström, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Göteborg. Vi är tacksamma för författarnas gedigna arbete liksom de värdefulla och konstruktiva bidrag som referenterna har tillfört.

Lund, Umeå och Göteborg november 2021

Maria Albin
Bengt Järvholm
Kjell Torén

Referenser

- Andersson G, Bjurvall M, Bolinder E, Frykman G, Jonsson B, Kihlborn Å, Lagerlöf E, Michaëlsson G, Nyström Å, Olbe G, Roslund J, Rydell N, Sundell J, Westerholm P. Modell för bedömning av ryggskada i enlighet med arbetsskadeförsäkringen. Läkartidningen 1981;78:2765-2767.
- Bach Lund C, Mikkelsen S, Frølund Thomsen J. Systematiska kunskapsöversikter; 12. Arbejdsrelaterede risikofaktorer for slidgigt i tmmelens rodled. Arbejde og Hælsa 2018;52(4).
- Burström L, Nilsson T, Wahlström J. Exponering för helkroppsvibrationer och uppkomst av ländryggssjuklighet. I; Torén K, Albin M, Järvholm B (red). Systematiska kunskapsöversikter; 2. Exponering för helkroppsvibrationer och uppkomst av ländryggssjuklighet. Arbejde og Hælsa 2012;46(2).
- Gunnarsson LG, Bodin L. Systematiska kunskapsöversikter; 6. Epidemiologiskt påvisade samband mellan Parkinsons sjukdom och faktorer i arbetsmiljön. Arbejde og Hælsa 2014;48(1).
- Gunnarsson LG, Bodin L. Systematiska kunskapsöversikter; 7. Epidemiologiskt påvisade samband mellan ALS och faktorer i arbetsmiljön. Arbejde og Hælsa 2015a;49(1).
- Gunnarsson LG, Bodin L. Epidemiologiskt undersökta samband mellan Alzheimers sjukdom och faktorer i arbetsmiljön. Arbejde og Hælsa 2015b;49(3).

- Gustavsson P, Ljungman P. Arbete efter hjärtinfarkt – en kunskaps sammanställning. *Arbete och Hälsa* 2019;53(3).
- Hansson T, Westerholm P. Arbete och besvär i rörelseorganen. En vetenskaplig värdering av frågor om samband. *Arbete och Hälsa* 2001:12.
- Ilar A, Klareskog L, Alfredsson L. sambandet mellan kemiska exponeringar i arbetsmiljön och risken att utveckla ledgångsreumatism. *Arbete och Hälsa* 2020;54(3).
- Jakobsson K, Gustavsson P. Systematiska kunskapsöversikter; 5. Arbetsmiljöexponeringar och stroke – en kritisk granskning av evidens för samband mellan exponeringar i arbetsmiljön och stroke. *Arbete och Hälsa* 2013;47(4).
- Jood K, Fransson E. Faktorer i arbetslivet och återgång till arbete efter stroke eller risk för ny stroke: En kunskapsöversikt. *Arbete och Hälsa* 2021;55(1).
- Järholm B. Kunskapsöversikter inom arbetslivsområdet. *Arbete och Hälsa* 2020;54(1).
- Koch M, Wærsted M, Veiersted KB. Systematiska kunskapsöversikter; 14. Kan arbeid over skulderhøyde forårsake skulderlidelser – en systematisk litteraturgjennomgang. *Arbete och Hälsa* 2019;53(1).
- Kjellström T, Lemke B. Systematiska kunskapsöversikter; 11. Health impacts of workplace heat on persons with existing ill health. *Arbete och Hälsa* 2017;51(8).
- Knutsson A, Kempe A. Systematiska kunskapsöversikter; 4. Diabetes och arbete. *Arbete och Hälsa* 2013;47(3).
- Knutsson A, Krstev S. Arbetsmiljö och prostatacancer. *Arbete och Hälsa* 2017;51(1).
- Kuklane K, Gao C. Systematiska kunskapsöversikter; 10. Occupational heat exposure. *Arbete och Hälsa* 2017;51(7).
- Lundberg I, Allebeck P, Forsell Y, Westerholm P. Kan arbetsvillkor orsaka depressionstillstånd. En systematisk översikt över longitudinella studier i den vetenskapliga litteraturen 1998-2012. *Arbete och Hälsa* 2013;47(1).
- Milner A, LaMontagne AD. Systematiska kunskapsöversikter; 13. Suicide in the employed population: A review of epidemiology, risk factors and prevention activities. *Arbete och Hälsa* 2018;52(5).
- Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Systematiska kunskapsöversikter 9. Kärl och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer. *Arbete och Hälsa* 2016;49(4)
- Torén K, Albin M, Järholm B. Systematiska kunskapsöversikter; 1. Betydelsen av fukt och mögel i inomhusmiljön för astma hos vuxna. *Arbete och Hälsa* 2010;44(8).
- Westerholm P. Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete. Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (6 skadeområden). *Arbete och Hälsa* 1995;16.
- Westerholm P. Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete. Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (7 skadeområden). Andra, utökade och reviderade upplagan. *Arbete och Hälsa* 2002;15
- Westerholm P. Psykisk arbetsskada. *Arbete och Hälsa* 2008;42:1.

Sammanfattning

Att spridning av sjukdomsframkallande luftvägsvirus kostar samhället enorma resurser har blivit uppenbart för alla under covid-19, men ovälkomna virus har varit människans följeslagare genom hela historien och ständigt uppkommer nya varianter med särskilt hög smittsamhet eller dödlighet. Riskerna har ökat med befolkningstillväxt och globalisering. Samtidigt har våra förutsättningar att skydda oss också blivit bättre genom ökad kunskap och framsteg inom medicin och teknik.

Syftet med denna kunskapssammanställning är att beskriva smittvägar, riskfaktorer och skyddsåtgärder för infektiös luftvägssjukdom och därmed bidra till en minskad smittrisk vid arbetsplatser. Mycket av innehållet bygger på forskning om influensa och covid-19, men även en rad andra luftvägsinfektioner är inkluderade.

Spridning av virus har här delats upp i tre smittvägar: inandning, direkt deponering och kontakt. Risken för smitta via inandning av virus är särskilt stor när avstånden mellan människor är korta och uppehållstiden lång i lokaler med dålig ventilation. Risken ökar om det också pågår aktiviteter som innebär spridning av virusinnehållande aerosolpartiklar till luften, såsom högt tal eller sång eller vissa medicinska procedurer, eller om den inandade luftmängden är förhöjd, som vid tungt arbete. Virusöverföring via direkt deponering sker när stora smittbärande droppar stänker direkt på en mottagare vid exempelvis hosta. Virusspridning via både inandning och direkt deponering sker på olika sätt genom luften, men benämns här inte ”luftsmitta” eftersom detta begrepp åtminstone enligt klassisk medicinsk indelning syftar på (effektiv) smitta via inandning över avstånd mer än enstaka meter och eftersom det främst använts för sjukdomar som är mycket allvarliga och därför kräver extrema skyddsåtgärder. Smitta via kontakt kan ske antingen via direkt beröring eller genom mellanled, som handtag eller andra ytor.

Samtliga tre smittvägar är välbelagda för luftvägsvirus i den vetenskapliga litteraturen, men deras relativa betydelse varierar beroende situation, virustyp och interventioner för att minska smitta. För covid-19 pekar mycket forskning mot att inandning är en dominerande smittväg i många miljöer. Vissa yrkesgrupper, särskilt inom vårdsektorn, löper en förhöjd risk att smittas av luftvägsvirus.

En lång rad skyddsåtgärder finns tillgängliga för att på olika sätt minska smittrisker: distans, hygien, fysiska barriärer, ventilation, administrativa åtgärder (exempelvis information, regleringar, kontroller, checklistor) och personlig skyddsutrustning. De flesta av dessa åtgärder har starkt stöd av vetenskapliga studier.

Författarnas förord

Trots förödelsen forna pandemier orsakat har de fallit förvånansvärt fort i glömska. Därför var det inte många som intresserade sig när vi vid Lunds universitet för drygt tio år sedan, med stöd av AFA försäkring, började undersöka smittvägar för norovirus, som ger upphov till vinterkräksjuka. En vanlig infektionssjukdom som förmodades spridas i princip uteslutande via mat eller kontakt med kontaminerade ytor. Vi hade då utifrån fysikaliska resonemang en hypotes om att viruset också borde kunna överföras via luft.

För att utreda smittvägar behövs ett brett perspektiv som sträcker sig från medicin och mikrobiologi till fysik och teknik. Ett forskningssamarbete etablerades mellan aerosolteknik vid LTH, klinisk virologi vid medicinska fakulteten och infektionsmedicin, vårdhygien och klinisk mikrobiologi vid Region Skåne. Några år senare hade vi hittat norovirus i luftprover från sjukhus, mätt de virusinnehållande aerosolpartiklarnas storlek, kunnat koppla virusmängden i luft till patienters sjukdomssymtom och i laboratorieundersökningar visat att norovirus behåller sin infektionsförmåga under en luftfärd. Detta gav upphov till en diskussion inom vårdhygien och smittskydd i Sverige kring sjukhuspersonals skyddsutrustning och kring synen på vanliga infektionssjukdomars smittvägar.

År 2018 inleddes ett nytt projekt, också detta med stöd från AFA försäkring, med målsättning att undersöka mängden virus i luft från luftvägsinfektioner och hur dessa kunde minskas genom olika skyddsåtgärder. De virus vi tänkte studera var främst influensa och RS. Metodiken utvecklades, provtagningsprotokoll etablerades och i januari 2020 låg vi i startgroparna för att påbörja virusmätningarna vid infektionsklinikerna i Lund och Malmö. Sedan kom covid-19.

Omvärlden, som tidigare visat ett relativt blekt intresse för virusmitta, skrek plötsligt efter information. Vi gjorde vårt bästa för att förmedla den kunskap som fanns utifrån vetenskapliga studier, eller ibland snarare bristen på kunskap – för luckorna var många. Samtidigt fortsatte vi med vår forskning som planerat, med den modifikation att vi nu istället provtog det i stort sett enda virus som stod att finna vid infektionsklinikerna: SARS-CoV-2. Andra infektioner minskade dramatiskt genom de smittskyddsåtgärder som sattes in nationellt.

Nu ett drygt år senare befinner vi oss i en helt ny kunskapssituation. Gemene man diskuterar smittskyddsbegrepp som tidigare var förbehållna en mindre grupp experter. Frågor om munskydd, handtvätt och virusmutationer avhandlas i detalj i massmedia. Forskningsstudier väller fram i ett tempo som inte ens gick att fantisera om före pandemin.

Samtidigt är kunskapsluckorna fortfarande stora. Många av de vetenskapliga artiklar som publicerats i expressfart under pandemin har varit samman-

fattningar och debattinlägg snarare än originalstudier. En stor del av den snabbproducerande forskningen har dessutom hållit låg kvalitet och ibland varit direkt vilseledande. Traditionell erfarenhet har ifrågasatts. Där fakta saknats har åsikterna ofta varit desto starkare. Det har alltså inte varit lätt att orientera sig i informationsflödet.

För att möta en efterfrågan från medicinska experter kring virus spridning genom luft arrangerade vi i Lund i maj 2021 kursen ”Spridning av infektionssjukdomar via aerosoler och droppar”. Kursen genomfördes i ett samarbete mellan avdelningen för Ergonomi och Aerosolteknologi vid Lunds universitet och Vårdhygien vid Region Skåne. Innehållet i denna kunskapsöversikt bygger till stora delar på materialet som förmedlades under kursen och det finns därför förhållandevis mycket information om just luft som smittväg.

Kursansvariga var Malin Alsved (tekn. dr. och forskare kring smittspridning via partiklar i luft), Carl-Johan Fraenkel (med. dr., specialistläkare i infektionsmedicin, överläkare i vårdhygien) samt undertecknad. Medverkade gjorde också Johan Eriksson (ventilationsstrateg vid Region Skåne), Dick Harrison (professor i historia vid Lunds universitet), Patrik Medstrand (professor i virologi vid Lunds universitet), Matts Ramstorp (expert renrumsteknik och produktionshygien, adjungerad professor vid LTH), Sara Thuresson (doktorand i aerosolteknologi vid Lunds universitet) och Anders Widell (docent i klinisk mikrobiologi vid Lunds universitet och senior överläkare). Mindre delar av texten i Kunskapsöversikten finns också tidigare publicerade i bloggtexter på Forskning & Framsteg (fof.se).

Kunskapsöversikten spänner över ett brett område och är långtifrån heltäckande. Den har också skrivits under en period när forskningen fortfarande rör sig fort framåt och tidigare invanda begrepp och idéer kring smittskydd omprövas och debatteras internationellt. Det är därför möjligt att en del av den terminologi som används med tiden kommer att ändras. Ambitionen är dock att vara tydlig med de vetenskapliga oklarheter som finns och att ge en grund till ämnet som läsaren kan bygga vidare på efterhand som vetenskapen fördjupas.

Jakob Löndahl
Lund, oktober 2021

1. Bakgrund

Informationsmaterial kring smittorisker för covid-19 har tagits fram av ett stort antal svenska myndigheter och organisationer såsom Folkhälsomyndigheten, Kungliga vetenskapsakademien, MYNAK (Myndigheten för arbetsmiljökunskap), Prevent, SBU, Socialstyrelsen och specialistläkarföreningar (se Referenser). En betydande del av detta material är avsett specifikt för hälso- och sjukvård. Huvuddelen av texterna är också relativt kortfattade och inriktade mot allmänna råd. I de flesta fall saknas källhänvisningar, som ger vetenskaplig underbyggnad och bakgrundsinformation och som kan ge stöd för lokala anpassningar när råden inte är direkt tillämpliga. Det saknas en tillgänglig, men samtidigt grundlig, översikt med vetenskapliga referenser kring luftvägssmitta i arbetsmiljö.

1.1 Syfte

Syftet med denna kunskapssammanställning är att beskriva smittovägar, riskfaktorer och skyddsåtgärder för infektiös luftvägssjukdom och därmed bidra till en minskad smittrisk vid arbetsplatser. Ambitionen är att ge en överblick över tillgänglig information, men också att redogöra för områden där kunskap ännu saknas eller där det råder delade uppfattningar bland experter. En av många svårigheter med att hantera smitta vid en arbetsplats är att det krävs enkla och tydliga regler och riktlinjer som människor kan hålla sig till, samtidigt som forskningen på många punkter är vag och osäker.

I första hand utgår materialet från den forskning som tagits fram från de två kanske viktigaste luftvägsinfektionerna för närvarande, covid-19 och influensa, men mycket har giltighet även för luftvägsvirus såsom RS, rhinovirus, vissa adenovirus och andra coronavirus. Texten är tänkt att sammanfatta aktuell kunskap med hänvisning till vetenskapliga nyckelarbeten, samt att ge ett ramverk för att resonera kring smittrisk och skydd vid arbetsplatser. Till skillnad från andra hittills publicerade svenska rapporter ges en utförligare och ibland mer problematiserande beskrivning av ämnet. Därmed får läsaren en fördjupad förståelse för nyttan och effektiviteten av de åtgärder olika aktörer, vanligtvis i kort punktform, rekommenderar för att minska smitta. Förhoppningsvis ger detta en möjlighet både att bättre situationsanpassa smittskyddsåtgärder för den egna arbetsplatsen och att motivera införandet av sådana för de anställda.

2. Luftvägsvirus

Under de senaste årtiondena har världshälsoorganisationen WHO vid ett flertal tillfällen varnat för pandemiska risker orsakade av virus med allvarliga konsekvenser och hög potential för spridning över flera kontinenter. Här kan exempelvis nämnas SARS (svår akut respiratorisk sjukdom orsakad av viruset SARS-CoV, 2003), svininfluensan (H1N1, 2009), ebola (2013-16, 2019), zikavirus (2016) och covid-19 (viruset SARS-CoV-2). Dessa virus har utvecklats under miljontals år hos djurarter såsom fladdermöss och fåglar, men i något skede förändrats – inte sällan via intermediära värdar – så att smitta till och mellan människor blivit möjlig.

Enkelt uttryckt är ett virus en bit genetiskt material, antingen i form av DNA (virus klass I-II) eller RNA (virus klass III-IV), förpackat i en proteinstruktur. De flesta respiratoriska virus är RNA-virus. Coronavirus tillhör klass IV. Den fysiska storleken hos ett smittämne är en av de egenskaper som har störst betydelse för dess spridningsförmåga, inte minst via luft. Även om det finns undantag återfinns de flesta virus i storleksområdet 0,02-0,3 µm, där SARS-CoV-2 med en diameter på ungefär 0,1 µm är ett typiskt exempel (Löndahl, 2014, Yao et al., 2020). Virus är alltså oerhört små. De mellan 1-100 miljarder virus som en människa bär när hon är som mest smittsam väger mindre än 0,1 mg. Med andra ord får alla de SARS-CoV-2-virus som för närvarande plågar miljontals människor runt om i världen plats i en handväska (Sender et al., 2021). Några av dessa virus sipprar ut i miljön med bibehållen livskraft. Det är denna försvinnande lilla mängd material som driver pandemin vidare och som forskare försöker spåra på ytor och i luft för att utreda smittvägar.

Virus har till skillnad från andra organismer inga energiproducerande system och kan inte heller föröka sig självständigt, utan måste ta sig in i målceller för att replikera. Ytstrukturer på viruset binder till specifika molekyler på cellernas yta. Därefter penetrerar viruset in i cellen, frisläpper sitt genetiska material och använder cellens mekanismer för att syntetisera de proteiner som behövs för att forma nya virus. Slutligen frisläpps de nybildade virusen. Så kallade höljeförsedda virus tar med sig en bit av lipidmembranet från värdcellen, medan andra virus är nakna och saknar ett yttre membran. Virus har en mycket kort generationstid på bara timmar till några få dagar. Ett enda virus kan ge upphov till flera miljarder nya per dag. Deras evolution är därmed mycket snabb.

Respiratoriska virus, som drabbar luftvägarna, är en av de vanligaste orsakerna till sjukdom hos människor. De flesta infektioner av respiratoriska virus läker ut av sig själva, men i vissa fall kan de orsaka allvarlig sjukdom. Detta gäller framför allt äldre, små barn och personer med bakomliggande sjukdomar. Även om flertalet inte blir allvarligt sjuka är priset högt: MSB

uppskattade att influensasäsongen 2008-2009 kostade det svenska samhället cirka 2 miljarder kronor (IHE, 2014).

Några vanliga luftvägsvirus är rhinovirus, influensavirus, paramyxovirus (som innefattar bl. a. respiratoriskt syncytievirus [RSV], mässling och påssjuka) metapneumovirus, coronavirus och adenovirus. Som tidigare nämnts är många luftvägsvirus RNA-virus, vilket bland annat gör att de är mer mutationsbenägna. Särskilt för influensa och SARS coronavirus förs mycket diskussion kring uppkomst av mutationer som kan ge upphov till nya subtyper och virusvarianter. I värsta fall är dessa nya virusvarianter främmande för vårt inlärdade immunförsvar och tillgängliga vacciner. För både influensa och SARS har det främst varit förändringar i ytproteiner som varit kritiska.

Influensa typ A, som kan spridas över kontinenter, klassificeras efter de två ytproteinerna hemagglutinin (H) och neuraminidas (N) som finns i 16 respektive 9 varianter och därmed kan ge upphov till 144 typer, med bekanta namn som exempelvis H1N1 (Spanska sjukan 1918 och svininfluensan 2009) eller H5N1 (fågelinfluensan). SARS-CoV-2 har istället fått beteckningar som B.1.1.7 (alfa, först upptäckt i Storbritannien), B.1.351 (beta, Sydafrika), P.1 (gamma, Brasilien) och B.1.617.2 (Delta, Indien). Ju fler människor som är smittade vid en given tidpunkt, desto fler tillfällen får också viruset att mutera. Det finns också en särskild risk för uppkomst av nya farligare mutationer hos patienter med nedsatt immunförsvar och långt infektionsförlopp, eftersom viruset då kan nå höga koncentrationer med många tillfällen till selektion. Det kan alltså finnas skäl att behandla dessa patienter särskilt försiktigt eftersom de kan vara en källa till nya virusvarianter (Otto et al., 2021).

Även om luftvägsvirus i denna kunskapsöversikt till stor del behandlas som en grupp är det långt ifrån alltid som slutsatser från en virustyp kan överföras till en annan. Luftvägsvirus tillhör olika klasser och familjer, har olika biologiska och kemiska egenskaper och beter sig därför på olika sätt i både den yttre miljön och hos sina värdar.

3. Smittvägar

Att undvika smittspridning av luftvägsvirus är eftersträvarsvärt både för den enskilda individen och för samhället, och speciellt viktigt innan effektiv behandling eller vaccin finns tillgängligt. Effektiviteten hos smittskyddsåtgärder beror dels på virusets smittsamhet och dels på de spridningsvägar viruset använder sig av. Ju bättre vi förstår spridningsvägarna, desto större är våra möjligheter att begränsa smittan.

Det finns ett stort antal vetenskapliga publikationer om smittvägar för luftvägsvirus (Belser et al., 2010, Brankston et al., 2007, Killingley and Nguyen-Van-Tam, 2013, Kutter et al., 2018, Leung, 2021, Shiu et al., 2019, Tang et al., 2006, Tellier, 2007, Tellier, 2009, Tellier et al., 2019). Historiskt har det mesta av denna forskning handlat om influensa, men sedan covid-19 bröt ut har nya studier publicerats i ett unikt högt tempo. Eftersom djuplodande experimentell forskning tar tid, har en stor del av det som publicerats kring covid-19 då denna rapport skrivs varit mindre studier, sammanfattningar och debattartiklar.

En vanlig indelning av smittvägar för luftvägsinfektioner har varit direkt kontaktsmitta, indirekt kontaktsmitta, droppsmitta och luftburen smitta (Vårdhandboken, 2019). Direkt kontaktsmitta innebär att den mottagliga personen är i fysisk kontakt med smittkällan, utan mellanled. Vid indirekt kontaktsmitta överförs smittämnet via något kontaminerat mellanled såsom händer, handtag, kläder eller dylikt. Droppsmitta förknippas med att smittbäraren avger en dusch av större smittbärande vätskedroppar som når en mottaglig individ. Dropparna förmodas falla fort till marken och därför huvudsakligen smitta inom någon enstaka meters avstånd. Luftburen smitta har främst varit associerad med mycket smittsamma sjukdomar som jämförelsevis enkelt sprids på långa avstånd via aerosolpartiklar i luften.

Under covid-19-pandemin har stundtals starka motstridiga åsikter uttryckts kring betydelsen av olika smittvägar och hur dessa fungerar. Inte minst har det pågått en debatt om smitta via droppar och aerosolpartiklar, benämnda ”droppsmitta” respektive ”luftsmitta”, eftersom dessa ord haft olika definitioner inom fysik och medicin (se Tabell 1). Som kan framgå av Tabell 1, kan en droppe och en aerosolpartikel vara samma sak för en fysiker, medan de inom medicin har helt olika betydelser. Vi har ännu inte nått någon universellt gemensam begreppsbyggnad, men i Sverige har många uppdaterade medicinska dokument nu övergått till en mer fysikalisk definition där den traditionella avskiljningen mellan aerosol- och droppar vid 5 μm ändrats till 100 μm . Däremot används fortfarande ”droppsmitta” och ”luftsmitta” som indelning av skyddsnivå för smittsam luftvägssjukdom. Definitionen av begreppet ”droppe” kan tyckas vara en detalj, men som framgår vidare nedan har den stor betydelse både för synen på smittvägarna och på deras inbördes

rangordning. Trots förvirringen kring hur vissa ord används av olika experter finns det ändå en god förståelse kring de centrala smittvägarna för vanliga luftvägsvirus.

I följande genomgång används en indelning av smittvägar som den amerikanska hälsovårdsmyndigheten CDC formulerat för covid-19 (CDC, 2021): inandning, direkt deponering och kontakt. Virus spridning genom både inandning och direkt deponering sker på olika sätt genom luften, men bör inte förväxlas med ”luftsmitta” eftersom detta begrepp åtminstone enligt klassisk medicinsk indelning syftar på (effektiv) smitta via inandning över avstånd mer än enstaka meter och också främst sjukdomar som är mycket allvarliga. Sjukdomar som klassas som ”luftsmittor” i traditionell medicinsk mening kräver inom vården en skydds nivå som är extremt resurs- och personalkrävande och som bara är möjlig att upprätthålla för ett fåtal patienter vid specialavdelningar.

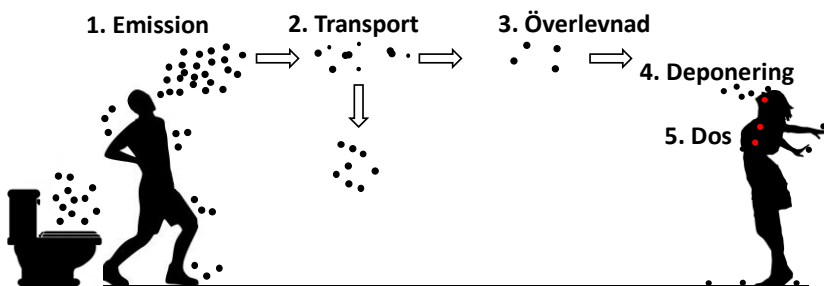
Genomgången av de olika smittvägarna gäller för covid-19, influensa och liknande luftvägsinfektioner, men en speciell egenskap hos covid-19 är att smittan särskilt inledningsvis under pandemin till jämförelsevis stor del har drivits av superspridningstillfällen. En typisk uppskattning är att 5-15 % av de infekterade av covid-19 bidragit till 80-85 % av smittspridningen (Althouse et al., 2020, Lloyd-Smith et al., 2005, Sneppen et al., 2021). För många andra sjukdomar gäller den så kallade 80/20-regeln, som härrör från paretoprincipen, att en mindre grupp på typiskt 20 % står för runt 80 % av all spridning. För covid-19 tycks detta förhållande alltså vara mer extremt (Woolhouse et al., 1997). Åtgärder som begränsar möjligheterna till superspridning är därför särskilt effektiva för covid-19. Dit hör exempelvis att undvika stora folksamlingar och att minimera kontakter mellan människor som inte möts regelbundet.

Tabell 1. Skillnader i hur ord som ofta använts i smittsammanhang uppfattats inom medicin, fysik och av allmänheten. En mer fysikalisk medicinsk begrepps bildning diskuteras, men är ännu inte etablerad (2021).

	Medicin	Fysik	Allmänhet
Luft-smitta	Smittämne som enkelt sprids över långa avstånd, har hög smittsamhet, kräver mycket skyddsutrustning, speciell ventilation och särskilda vårdrum.	Smitta via virus som finns i luft	Smitta via virus som finns i luft
Aerosol	Luftburna partiklar mindre än 5 µm, kräver täta andningsskydd.	Partiklar mindre än 100 µm i fast eller flytande fas som svävar i en gas.	Sprayprodukter
Droppe	Partiklar större än 5 µm som förmodas trilla snabbt till marken.	Vätskedroppe som hålls ihop av sin ytspänning. Storleken kan variera från betydligt mindre än 5 µm till långt mer.	Exempelvis regndroppar

3.1 Inandning

En viktig smittväg för luftvägsinfektioner är inandning. Virus från infekterade personer sprids till luft via aerosolpartiklar som sedan blir inandade av dem som befinner sig i närheten. Risken att smittas är störst för den som är nära smittkällan där koncentrationen är högst. På längre avstånd minskar mängden smitta dels genom utspädning och dels genom att aerosolpartiklarna deponerar på ytor. De steg som krävs för smitta via inandning visas i Figur 1.



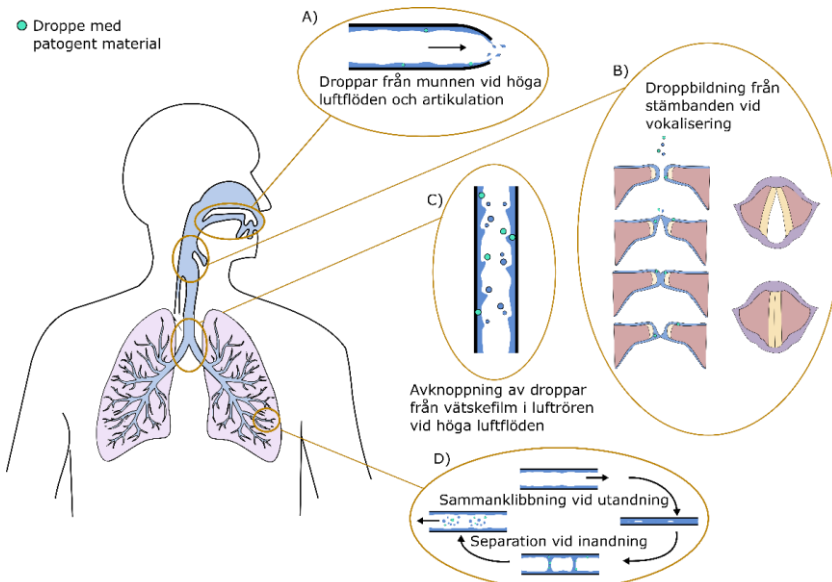
Figur 1. Översikt av de olika delarna i smitta via inandningsluft.

3.1.1 Emission av virus till luft

Emission av virusinnehållande aerosolpartiklar kan ske på en mängd olika sätt: vid andning, tal och sång, hostningar, nysningar och vid vissa medicinska procedurer. Aerosolpartiklar avges kontinuerligt från luftvägarna när vi andas, talar eller sjunger oavsett om vi är sjuka eller inte (Alsved et al., 2020b, Asadi et al., 2019, Gregson et al., 2021, Xie et al., 2009). När vi har en luftvägsinfektion kan virus finnas i vätskor och slem som aerosolpartiklar sedan bildas från. Hostningar och nysningar är typexempel på aerosolkällor, men förekommer vanligtvis från symtomatiska individer och mer sällan från asymtomatiska. Det kan vara värt att notera att även om en enskild hostning ger upphov till stora mängder aerosolpartiklar kan vanlig andning över tid sprida mer virus till luft därför att hostningar sker mer sällan (Lindsay et al., 2016).

Som framgår av Figur 2 bildas aerosol i övre luftvägar såväl som i djup lunga. Aerosolpartiklar och större droppar frigörs från mun och näsa genom läpparnas och tungans rörelser och kraften från luftflödet. Vid struphuvudet uppkommer aerosolpartiklar genom vibrationer från stämbanden. Längre ner i luftstrupen och vid de första förgreningarna i luftvägsträdet är luftfästigheten hög och också delvis turbulent, vilket kan slita loss aerosolpartiklar från slemhinnornas ytor. I den djupare delen av lungan är luftflödet laminärt och alldeles för lågt för att bilda aerosol. Där genereras istället partiklar genom att

vätskefilmen som täcker luftvägarnas yta spricker när lungan expanderar under inandning och då avger små partiklar som sedan sprids till omgivningen vid utandningen.



Figur 2. Bildning av aerosol och droppar från luftvägarna

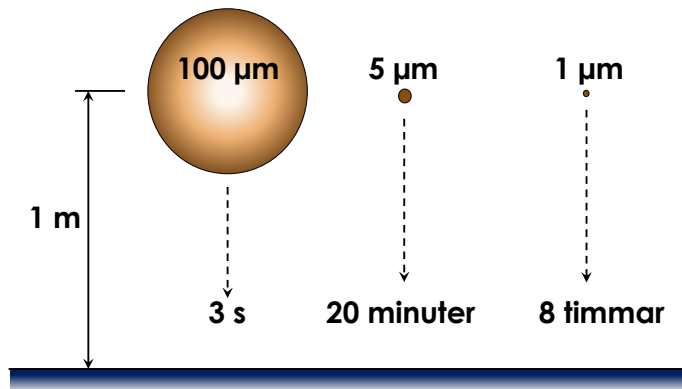
Inte bara andningsvägarna kan sprida virus till luft. En människa avger miljontals aerosolpartiklar varje timme genom hudfragment som lossnar vid rörelser och friktion mot kläder (Bhangar et al., 2016, Licina et al., 2017). Mängder av luftburna droppar fulla av mikroorganismer sprids från toalettpolningar (Johnson et al., 2013). Inom sjukvården finns vårdmoment som förmodas sprida extra mycket virusinnehållande aerosol, så kallade aerosolgenererande procedurer (AGP), även om mycket tyder på att många av dessa procedurer är jämförelsevis svaga aerosolkällor (Alsved et al., 2020a, Hamilton et al., 2021, Thuresson et al., 2021, Tran et al., 2012). Sammantaget är det ändå tveklöst att virus och andra mikroorganismer konstant avges till luft i stort antal från människor.

3.1.2 Transport av luftburna partiklar

Efter att ett virus tagit sig ut i luften behöver det transportera sig vidare till en ny plats där det kan föröka sig. Det som främst avgör hur långt partiklar sprider sig i atmosfären, både inomhus och utomhus, är deras storlek. Partiklar i alla storlekar påverkas av gravitationen, men ju mindre partiklarna är, desto mer motverkar luftmotståndet att de faller till marken. Partiklar med en diameter

upp till $100\ \mu\text{m}$ ($0,1\ \text{mm}$) behöver minst tre sekunder för att falla en meter i stillastående luft och kan alltså betraktas som luftburna (se Figur 3). Därför brukar $100\ \mu\text{m}$ användas som övre gräns vid definition av begreppet aerosol. Partiklar som är mindre än $1\ \mu\text{m}$ ($0,001\ \text{mm}$) har så stort luftmotstånd att fallhastigheten är försumbar och de följer istället luftens rörelser nästan fullständigt.

Vid nysningar, toalettpolningar och andra aktiviteter skickas material i alla möjliga storlekar ut i luften. En del är större än $100\ \mu\text{m}$ och deponerar huvudsakligen på några få sekunder inom enstaka meter från utsläppspunkten, vilket beskrivs närmare i nästa sektion "Direkt deponering" (Figur 9). En del är mindre och svävar därför runt minuter till timmar innan de fastnar på någon yta.



Figur 3. Fallhastighet för partiklar i luft med olika diameter.

Mängden virusinnehållande aerosol minskar radikalt när avståndet till smittkällan ökar. Detta beror dels på utspädning och dels på att en del partiklar deponerar på ytor i omgivningen. Utspädningen påverkas i sin tur av ventilationsflöden och luftrörelser.

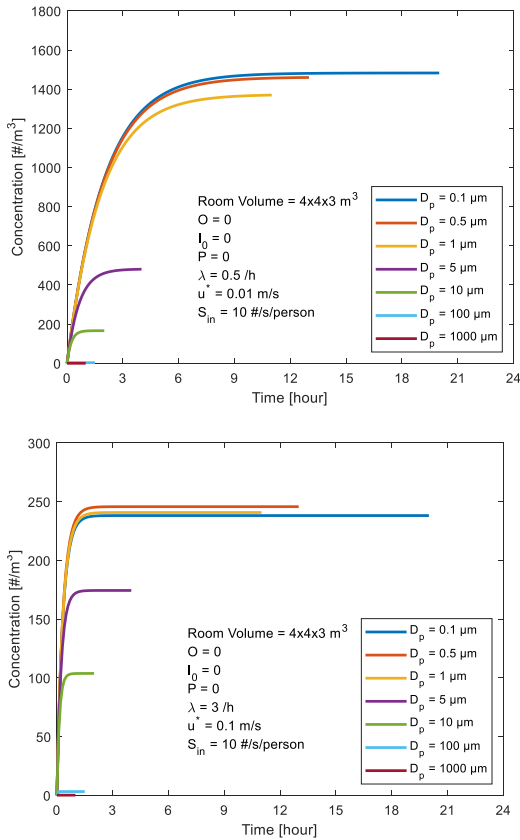
Utomhus är luftombytet nästan alltid mycket kraftigt och det byggs därför sällan upp några högre koncentrationer av virusinnehållande aerosol. Inomhus är förhållandena annorlunda och mängden luftburet smittämne kan ackumuleras succesivt över flera timmar tills koncentrationen blir jämförelsevis hög, särskilt i trånga dåligt ventilerade utrymmen (Figur 4). Effektiv ventilation och större rumsvolym minskar koncentrationen avsevärt. I rum mindre än $100\ \text{m}^2$ utan specialventilation är det ofta en god uppskattning att aerosolpartiklarna i luften sprids över hela volymen därför att temperaturgradienter och aktiviteter i lokalen skapar turbulens och luftströmmar som driver runt flödet. Nära smittkällan kommer koncentrationen

av virus visserligen att vara högre i luften, särskilt för de större aerosolpartiklarna, men hela rummet blir med tiden kontaminerat.

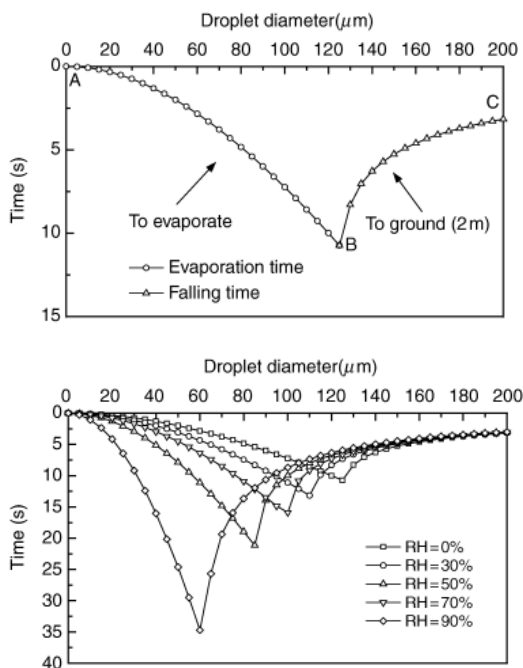
Vid värmekällor såsom element, apparater och människor skapas uppåtgående luftströmmar, medan kallare områden kring fönster och väggar driver luften neråt. En person som vid vila typiskt avger en effekt på 100 W skapar en uppåtgående luftström kring kroppen med en hastighet på 0.1-0.3 m/s vid normal rumstemperatur (Licina et al., 2014). Detta är alltså jämförbart med fallhastigheten för en 100 µm aerosolpartikel (Figur 3), vilket illustrerar att även relativt stora partiklar kan sväva uppåt i vissa zoner av ett rum.

Virus och andra smittämnen kan transporteras via ventilationssystemet mellan rum i en byggnad, men vanligtvis är utspädningen och partikelförlusterna på ytor så stora att smittrisken blir försumbar (Nissen et al., 2020). De undantag som finns beskrivna i den vetenskapliga litteraturen för covid-19 av smittspridning via ventilation utgör extremfall: äldre hus med undermålig ventilation av en typ som i princip inte förekommer i Sverige (Hwang et al., 2021). Däremot finns andra smittämnen, såsom legionella, som kan växa till i fuktiga ventilationsmiljöer och sedan effektivt spridas över långa avstånd via ventilationen (Dondero et al., 1980).

Luftfuktighet kan också påverka hur långt aerosolpartiklar transporteras (Hinds, 1999). En 100 µm aerosolpartikel som består av rent vatten evaporerar fullständigt på mindre än 10 sekunder vid 10 % relativ luftfuktighet och rumstemperatur. En virusinnehållande salivdroppe som avdunstar får en slutstorlek runt 20-40 % av ursprungsdiametern. När den faller från utandningshöjd hos en normallång vuxen hinner den alltså krympa till en storlek där den kan sväva runt i luften länge innan den når marken. Ökar luftfuktigheten till 80 % tar det en knapp minut för vattnet att avdunsta och partikeln når golvet betydligt fortare. Vattendroppar under 20 µm ångar bort fullständigt inom ett par sekunder även vid höga luftfuktigheter. En vattendroppes uppehållstid i luft bestäms alltså både av storlek och avdunstning. Det kan därför förmodas att torr luft utgör en riskfaktor för smittspridning via inandning, bland annat därför att virusinnehållande aerosolpartiklar stannar kvar längre i luften när vattnet evaporerar fortare. Dessa samband undersöktes i detalj redan på 1930-talet i ett antal klassiska studier av William Firth Wells (1886-1963) och hans fru Mildred Weeks Wells som var läkare. William Firth Wells är en av de mest tongivande forskarna kring luftburen smitta (Wells, 1934).



Figur 4. Koncentration smittämnen i inomhusluft beräknad för olika storlekar på aerosolpartiklar i ett rum med normal bostadsventilation på en halv luftomsättning per timme (övre) och förstärkt ventilation till 3 luftomsättningar per timme (undre) (Hussein et al., 2021). Smittspridaren kommer in i rummet vid tiden "0". Aerosolpartiklar mindre än ca 10 μm når sin jämviktskoncentration först efter minst en halvtimme vid det lägre ventilationsflödet. Jämviktskoncentrationen är ca fem gånger lägre för aerosolpartiklar under 5 μm vid förstärkt ventilation.



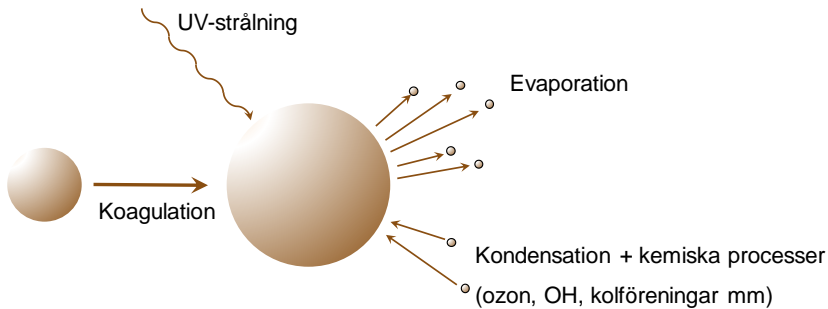
Figur 5. Evaporationstid och falltid från 2 m höjd för vattendroppar med olika storlek i torr luft vid 18 °C (Xie et al., 2007). Den övre bilden visar 0% luftfuktighet och den nedre bilden varierande luftfuktighet. Punkten B i det övre diagrammet markerar den största storlek som hinner förånga innan den når marken.

3.1.3 Överlevnad av smittämnen i luft

Det räcker inte att virusen kan transporteras genom luften. För att smitta måste de också överleva. Laboratoriestudier har visat att influensavirus, SARS-CoV-2, mässlingsvirus, RS-virus och många andra smittämnen överlever i aerosolpartiklar (Leung, 2021, Tang, 2009). Under laboratorieförhållanden kan SARS-CoV-2 behålla sin infektionsförmåga i aerosol under flera timmar (Fears et al., 2020, van Doremalen et al., 2020), men också i verkliga miljöer överlever viruset av allt att döma i luft (Lednický et al., 2020)¹. Luften är dock inget gemytligt semesterparadis för mikroorganismer, utan en miljö där de utsätts för intensiv stress från kemiska processer med reaktiva gaser, UV-strålning, evaporation, koagulation (sammanslagning) med andra aerosolpartiklar och kondensation av halvflyktiga ämnen (Figur 6). Många

¹ Lednický et al. publicerade att de lyckats odla SARS-CoV-2-virus som samlats in från luftprover på patientrum. Det finns dock metodologiska frågetecken kring deras studie och försök att replikera undersökningen har hittills misslyckats (sep 2021).

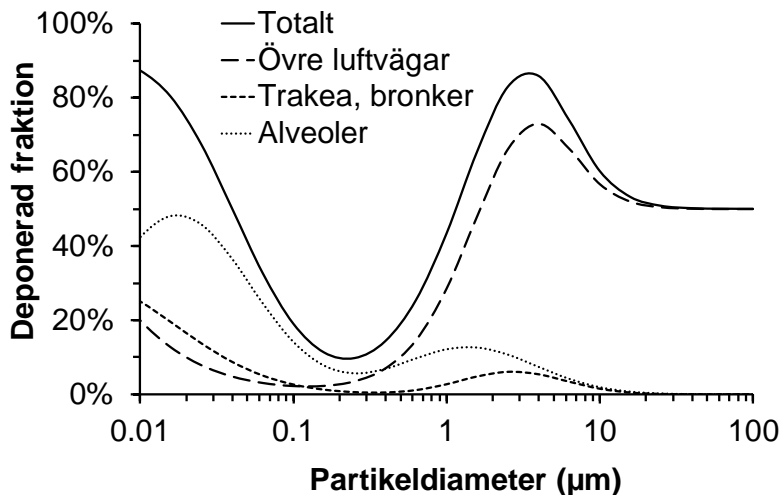
mikroorganismer har utvecklat skyddsmekanismer som gör att de ändå klarar sig tillräckligt bra för att kunna orsaka infektion efter luftfärden.



Figur 6. Processer som påverkar smittämns överlevnad i aerosolpartiklar.

3.1.4 Inandade partiklars deponering i luftvägarna

En del av virusen i luften får sin slutdestination i våra luftvägar. I arbetsmiljö-sammanhang delas aerosolpartiklar ofta in i olika fraktioner beroende på hur långt ner i luftvägarna de når vid inandning (Figur 7). En stor del av alla aerosolpartiklar upp till 100 μm följer med inandningsluften genom mun och näsa och kan alltså kallas inhalerbara. Ungefär hälften av partiklarna mindre än 10 μm passerar vidare förbi luftstrupen och benämns thorakala (eng. thoracic fraction). Partiklar mindre än cirka 4-5 μm tillhör den respirabla fraktionen eftersom de i hög utsträckning når alla delar av lungan inklusive alveolerna där gasutbytet med blodet sker.



Figur 7. Aerosolpartiklars deponering i luftvägarna beräknad för lätt ansträngning enligt ICRP-modellen (ICRP, 1994).

Aerosolpartiklar större än 1 µm deponerar huvudsakligen genom antingen sedimentation, alltså att de faller neråt, eller impaktion, vilket innebär att de slungas mot en yta när luftströmmen gör en skarp böj kring ett hinder. Partiklar mindre än 0,5 µm är tillräckligt små för att följa med luftströmmar även i skarpa svängar. De förflyttar sig istället bort från strömningslinjerna genom Brownsk rörelse i kontakt med luftens molekyler, vilket får dem att diffundera mot ytor i lungan. Därför är deponeringen av små partiklar (< 0,1 µm) hög i den alveolära delen av lungan där diffusionsavstånden är korta. I intervallet 0,1-1 µm finns ingen mekanism som effektivt får aerosolpartiklar att deponera, vilket gör att många av dessa partiklar följer med utandningsluften tillbaka (Löndahl et al., 2017, Löndahl et al., 2007, Rissler et al., 2017). Av samma anledning är vissa typer av partikelfilter mindre effektiva i det här storleksområdet.

Figur 7 ger en generell bild av partiklars deponering i lungorna, men individvariationerna kan vara betydande. Personer med lungsjukdom får ofta en heterogen deponering med ansamling av aerosolpartiklar mer centralt i lungan och i områden där sjukdomen orsakat flödesförändringar (De Backer et al., 2010, Möller et al., 2008). Barn skiljer sig också från vuxna eftersom de har mindre lungor, högre andningsfrekvens och ofta en jämförelsevis hög aktivitetsnivå. I förhållande till sin kroppsvikt får de därför i sig en större mängd luftföroreningar (Bennett and Zeman, 2004, Rissler et al., 2017). Individuella skillnader i andningsmönster påverkar också (Kim and Jaques, 2004). För alla människor är deponeringen av mikrometerstora partiklar (>1 µm) extra hög vid stämband, vid förgreningar i luftrören och vid andra platser i övre luftvägar där luftströmmen bryts, vilket ger upphov till lokala ”hot spots” med höga koncentrationer partiklar.

3.1.5 Inandad dos smittoämnen

Mängden virus en person får i sig via inandning av aerosolpartiklar beror på ett antal olika faktorer: koncentrationen virus i luften (C), andningsflödet (Q), partiklarnas sannolikhet att deponera i luftvägarna (deponerad fraktion, DF) och exponeringstiden (t). Mängden, eller dosen, inandad smitta vid en exponering kan beräknas som produkten av dessa faktorer (Hussein et al., 2013):

$$\text{Dos inandad smitta} = C \cdot Q \cdot DF \cdot t$$

Dessa faktorer har diskuterats ovan. Koncentrationen, C, smittsamt virus i luften beror på mängden som emitterats, luftombytet i miljön, lokalens storlek (om exponeringen sker inomhus), hur fort aerosolpartiklarna deponerar och hur fort virusen inaktiveras. Andningsflödet, Q, anges ofta i L/min och styrs främst av aktivitetsnivå hos den som exponeras. Vid ansträngning kan

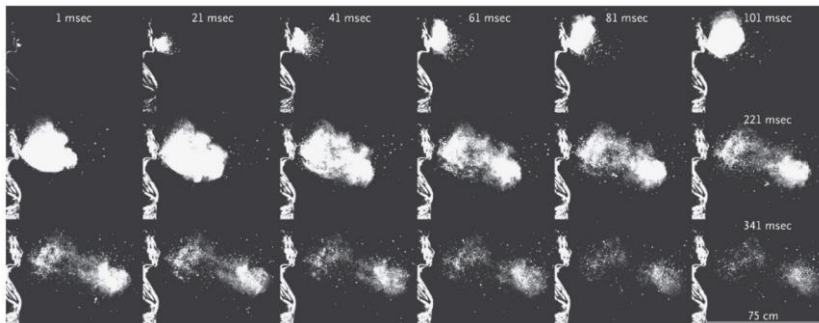
andningsflödet typiskt vara 4-5 gånger högre än vid vila. Personer med lungsjukdom eller övervikt kan ha ett förhöjt andningsflöde (Chlif et al., 2015, Tobin et al., 1983). Den deponerade fraktionen aerosolpartiklar beror främst på deras storlek (Figur 7), även om också andra parametrar såsom lungsjukdom, andningsmönster eller partikelkemi har betydelse. Exponeringstiden, t , är uppehållstiden i den smittsamma miljön. En fritt tillgänglig beräkningsmodell för inandad smitta beskrivs längre vidare längre fram i sektionen ”Beräkningsmodeller för smittrisk”.

Dosen inandad smitta, och därmed risken att andas in virus i tillräcklig mängd för att bli sjuk, är alltså särskilt stor i dåligt ventilerade lokaler där folk befinner sig under lång tid. Hög ljudvolym eller dålig hörsel ökar smittrisen eftersom vi sprider mer aerosol omkring oss ju högre vi pratar. Utförs hårt arbete i lokalen ökar också smittrisen eftersom andningsflödet då är högre. Därför kan träningsanläggningar eller fysiskt ansträngande arbeten inomhus vara särskilt problematiska. Infektionsdosen, alltså den mängd virus som krävs för att orsaka sjukdom, är svår att uppskatta utan att göra kontrollerad exponering av människor och sådana studier är av etiska skäl sällsynta (Roestenberg et al., 2018). För covid-19 är infektionsdosen ännu okänd för samtliga exponeringsvägar (en exponeringsstudie har påbörjats sommaren 2021 i Storbritannien), men en lägre gräns förmodas i likhet med andra vanliga luftvägsinfektioner ligga i intervallet 10-1000 viabla viruspartiklar (Karimzadeh et al., 2021, Roestenberg et al., 2018, Yezli and Otter, 2011). Mängden virus som krävs för att orsaka infektion skiljer sig åt beroende på var smittämnet deponeras (Yezli and Otter, 2011). Exempelvis kan infektionsdosen vara tusentals gånger högre i munnen jämfört med näsan (D'Alessio et al., 1984). Infektionsdosen måste dock ställas i relation till mängden virus som emitteras av en smittad person och ett mer användbart mått är därför ”quanta”, där 1 quanta motsvarar den dos som krävs för att 63% av alla mottagliga personer ska bli sjuka (Wells, 1955). För mässling kan en smittspridare avge tusentals quanta per timme, medan mängden bara är något tiotal för rhinovirus och någonstans däremellan för influensa och covid-19 (Azimi and Stephens, 2013, Buonanno et al., 2020, Riley et al., 1978).

Långt ifrån alla virus som deponerar i luftvägarna får chansen att infektera celler. Mycket av det som fastnar i mun och näsa sväljs ner i magen där det bryts ner. En stor del av de aerosolpartiklar som deponerar i lungan transporteras bort via slemmet som täcker de ledande luftvägarna. Även här spelar luftfuktigheten en viktig roll. Torr luft gör det skyddande slemmet trögare och minskar dess förmåga att transportera bort skadligt material (Kudo et al., 2019).

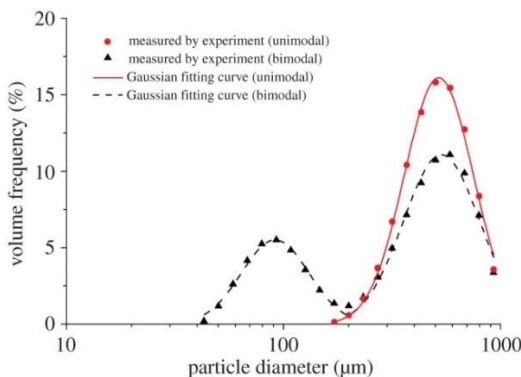
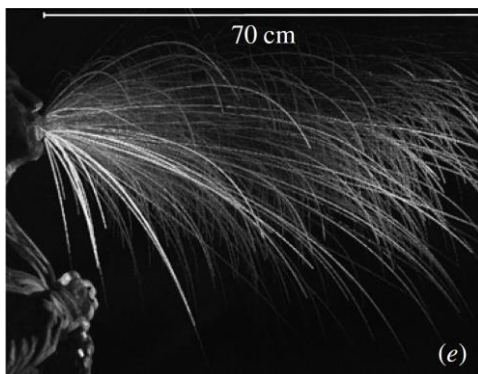
3.2 Direkt deponering

Den smittväg som här blivit betecknad ”direkt deponering”, sker också via luft men skiljer sig från smittvägen ”inandning” genom att det här inte handlar om aerosolpartiklar utan om större partiklar eller droppar som omedelbart träffar mottagaren. När någon hostar, nyser eller pratar finns risk att stora droppar stänker iväg och deponerar direkt på slemhinnor i ögon eller näsa (Figur 8). Precis som vid inandning av virus är risken för direkt deponering störst för den som befinner sig nära smittkällan. Men spridningsvägen ”direkt deponering” skiljer sig ändå i några väsentliga avseenden från ”inandning”, även om det inte går att dra någon skarp gräns mellan dem.



Figur 8. De första tiondelsssekunderna av en naturlig nysning. De största dropparna nådde 1-2 m innan de föll till marken, men en stor andel mindre droppar spreds på avstånd upp till 8 m (Bourouiba, 2016).

När smitta sker genom direkt deponering handlar det huvudsakligen om droppar större än $100\ \mu\text{m}$ som följer en kastbana och landar direkt i ansiktet på mottagaren (Figur 9). En enda nysning kan räcka för att överföra en smittdos och processen kan därför gå fort. Detta kan jämföras med smitta via inandning, där aerosolpartiklarna som innehåller virus behöver vara mindre än $100\ \mu\text{m}$ för att följa luftströmmen in i andningsvägarna och där det därför vanligtvis krävs en uppehållstid på åtskilliga minuter eller timmar för att mängden inandade virus ska bli tillräcklig för att orsaka infektion.



Figur 9. (övre) Fotografi av partiklar som sprids från en nysning (Bourouiba et al., 2014). (undre) Medelvärde av storleksfördelningar för partiklar som sprids vid 44 nysningar från 20 friska personer (Han et al., 2013).

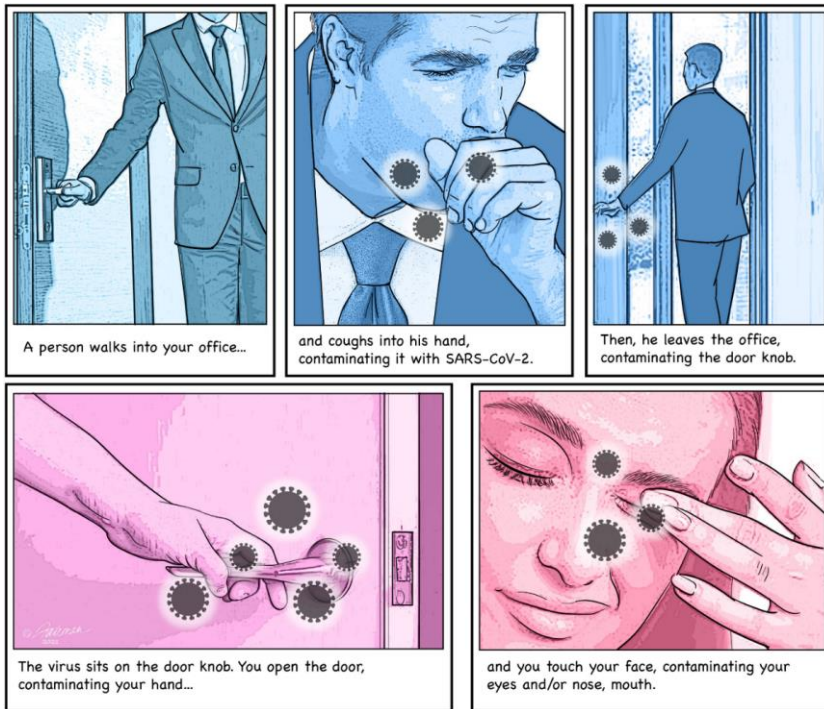
De större dropparna från en nysning når sällan längre än ett par meter, även om en del kan spridas på sträckor upp mot 6-8 m (Bourouiba, 2016). På längre avstånd ökar dock utspädningen och smittrisen minskar. Det är också viktigt att notera att vid de tillfällen då stora droppar stänker iväg genom en hostning, toalettspolning eller liknande sprids samtidigt alltid ett stort antal mindre aerosolpartiklar som kommer att stanna kvar länge i luften (Yang et al., 2007).

Om stora mängder virusinnehållande material landar på en yta finns risk för vidare transport av smittämnet via indirekt kontakt.

3.3 Kontakt

Smitta via kontakt kan ske antingen genom direkt fysisk beröring av en smittad person eller via mellanled i ett eller flera steg (så kallad indirekt kontaktsmitta). Figur 10 visar hur smitta via ytor kan gå till (Ijaz et al., 2021). En person får smittämne på sina händer genom att nysa mot dem eller fingra kring näsan.

Personen tar sedan i ett handtag som blir kontaminerat. En stund senare berörs handtaget av en annan person som då får smittämnet på händerna. Genom att därefter röra vid näsa eller området kring ögonen med de kontaminerade händerna riskerar denna person att bli infekterad.



Figur 10. Illustration av hur virus kan spridas mellan människor via ytor (Ijaz et al., 2021)

Samtidigt illustrerar bilden flera av de vetenskapliga kunskapsluckor som finns. Vi vet vi inte särskilt mycket om mängden virus som finns på infekterade personers händer efter en nysning. Vi vet inte heller hur stor överföringen blir vid kontakt med ett handtag eller andra ytor. Informationen är begränsad kring hur mycket virus som lämnar handtaget när nästa person rör vid det. Slutligen är uppskattningarna mycket osäkra kring mängden virus som krävs för att orsaka en infektion för den person som fingerar sig i ögon eller näsa. Trots dessa kunskapsluckor finns det ändå mycket som pekar mot att kontakt är en betydande smittväg för luftvägsinfektioner: miljöprovtagning har ofta hittat mer virusmaterial på ytor än i luftprover, de vanligast förekommande luftvägs-virusen överlever timmar till dagar på de flesta ytor, många studier har visat på

effektiv transport av smittämnen från ytor till människors händer och ett antal undersökningar visar på ett tydligt samband mellan förbättrad handhygien och minskad risk för luftvägsinfektion (referenser i vidare text).

En del av de resonemang och begrepp som redovisats ovan för smittvägen inandning (Figur 1) är analoga med kontaktöverföring: smittämnet ska (1) emitteras till en yta, (2) transporteras vidare, (3) överleva i miljön och (4) nå en mottagare i (5) tillräcklig mängd för att orsaka infektion.

3.3.1 Transport av smitta mellan ytor

Studier som undersökt luftvägsvirus på ytor har bland annat hittat dem på handtag, bord, golv, hushållsredskap, toaletter, leksaker, fjärrkontroller och sängar (Meyerowitz et al., 2021, Otter et al., 2016). I patientrum på sjukhus har ofta virusmaterial återfunnits på en hög andel (>50%) av de ytor som provtagits (Bak et al., 2021, Ong et al., 2020, Otter et al., 2016, Santarpia et al., 2020, Zhou et al., 2021). Även i hemmiljö och skolor har virusmaterial (RNA) detekterats på många beröringsytor i samband med smittspridning (Boone and Gerba, 2005, Bright et al., 2010, Simmerman et al., 2010). I en studie av influensavirus minskade mängden virus på ytor i hushåll som hade randomiserats för ökad handtvätt (Simmerman et al., 2010).

En del illustrativa forskningsstudier har också gjorts kring hur människor genom beröring förflyttar virus och bakterier i inomhusmiljöer (Boone and Gerba, 2007, Reynolds et al., 2019). Exempelvis finns försök där forskare har placerat ett simulium (typiskt en bakteriofag – alltså ett virus som angriper bakterier) på ett dörrhandtag till en arbetsplats eller ett sjukhus (Kurgat et al., 2019). Någon timme senare har de tagit ytprover från handtag, muggar, kopieringsapparater och andra ytor runt om i byggnaden. Smittämnen på ytor kan förflytta seriellt från yta till yta även om koncentrationen sjunker i varje led (von Rheinbaben et al., 2000). Det tar inte lång tid innan det som ursprungligen bara satt fast på ett enda dörrhandtag eller på en hand återfinns överallt i ett hus.

Beräkningar som gjorts för influensa har indikerat att större ytor som vi är i kontakt med, såsom bordsskivor, utgör en högre smittrisk än små ytor som dörrhandtag (Zhao et al., 2012). Mikroorganismer överförs också mer effektivt från hårda släta ytor än från porösa ytor (Rusin et al., 2002).

3.3.2 Överlevnad av smittämnen på ytor

Laboriestudier har visat att i princip alla vanliga luftvägsvirus bibehåller sin infektionsförmåga på kontaminerade ytor (Bak et al., 2021, Bean et al., 1982, Chin and Poon, 2020, Kampf et al., 2020b, Otter et al., 2016, van Doremalen et al., 2020). De överlevnadstider som rapporterats är ofta timmar, dagar eller under optimala förhållanden till och med månader (Tabell 2). En studie rapporterar en överlevnadstid på hud på minst 9 timmar för SARS-CoV-

2 och knappt 2 timmar för influensa A (Harbourt et al., 2020, Hirose et al., 2020).

Tabell 2. Exempel på studier av luftvägsvirus överlevnad på ytor. Virusen har applicerats i droppar av cellmedium. Det kan vara värt att notera att en volym på 100 µL ungefär motsvarar en droppe som är en halv centimeter i diameter när den deponerats på en yta. Någon direkt jämförelse med överlevnad i de betydligt mindre (10-6-10-9 µL) aerosolpartiklarna är därför svår.

Virus	Yta	Volym (µL)	Resultat	Referens
SARS-CoV-2 och SARS-CoV-1	Stål, plast, koppar, papp	50	Viabla virus kunde detekteras upp till 72 timmar efter applicering. Överlevnad var bättre på plast och stål jämfört med koppar och papp	van Doremalen et al. (2020)
Influensa A och B	Stål, plast, tyg, papper, hud		Överlevnad 24-48 timmar på släta ytor och max 8-12 timmar på porösa ytor. Viruset överlevde upp till 5 minuter på händer efter överföring från yta.	Bean et al. (1982)
H1N1 influensa	N95 andningsskydd	100	Virusens viabilitet minskade till en tiondel efter 6 dagar. Torr luft förlängde överlevnadstiden.	Coulliette et al. (2013)
MERS coronavirus	Stål och plast	5	Viabiliteten halverades på cirka en timme. Viruset klarade sig bättre vid lägre temperatur och luftfuktighet (20°C och 30-40% RH vs 30°C och 80% RH)	van Doremalen et al. (2013)
SARS coronavirus, herpesvirus, adenovirus	Plast (petriskål)	5	Viabelt adenovirus kunde detekteras efter 9 dygn, SARS efter 6 dygn och herpesvirus efter 3 dygn.	Rabenau et al. (2005)

Faktorer som påverkar virusens livslängd på en yta är bland annat ytans struktur, temperatur, luftfuktighet, viruskoncentration, medium som virusen är inbäddade i och virusstam. Virus är i allmänhet mest stabila vid låga temperaturer och låg luftfuktighet (Casanova et al., 2010, Chan et al., 2011, McDevitt et al., 2010). Överlevnaden är bäst på släta ytor som rostfritt stål eller plast. På porösa ytor som tyg, papper eller händer är överlevnaden sämre, men fortfarande ofta flera timmar. För influensa har det visats att överlevnadstiden kan variera betydligt mellan olika stammar och att den också tycks vara längre i mer koncentrerade lösningar (Otter et al., 2016). Vilket medium virusen befinner sig i spelar också stor roll för deras livsduglighet. Exempelvis ökade överlevnadstiden avsevärt för influensavirus på sedlar när de var inbäddade i luftvägsslem (Thomas et al., 2008).

3.4 Smittsamhet

3.4.1 Hur smittsamt är ett virus?

En sjukdoms smittsamhet brukar karaktäriseras av dess reproduktionstal R_0 . R_0 är antalet individer som kan förväntas bli infekterade för varje smittfall i en befolkning där alla är mottagliga. Om $R_0 > 1$ kommer smittan att få ökad spridning i befolkningen, men inte om $R_0 < 1$. Ju högre R_0 desto svårare att begränsa smittan. R_0 beror på smittrisken vid kontakt mellan människor, antalet kontakter personer i en befolkning har i genomsnitt och sjukdomens smittsamhet:

$$R_0 = \text{risk för smitta per kontakt} \cdot \text{antal kontakter} \cdot \text{smittsamhetsperiod}$$

R_0 är alltså inte ett konstant tal utan styrs av miljöfaktorer och människors beteende, inte bara av virusets egenskaper. I ett område med hög befolkningstäthet kan exempelvis R_0 bli betydligt högre än i en glesare region där människor har färre kontakter. På samma sätt kan smittsamhetsperioden bli längre, och därför R_0 högre, i ett samhälle där människor har mer varaktiga kontakter. Det är därför svårt att jämföra R_0 mellan olika sjukdomar utan att använda en modell där alla parametrar är lika. Det är också svårt att ta reda på R_0 med experimentella metoder, utan uppskattningarna bygger i princip helt på olika typer av matematiska modeller. Det ska tilläggas att R_0 är en beräknad slutprodukt som avser en hel population – antalet personer enskilda individer smittar kan avvika avsevärt, inte minst för covid-19.

Tabell 3. R_0 och gränser för flockimmunitet för några vanliga infektionssjukdomar. Gränsen för flockimmunitet beräknad från $1-1/R_0$.

Sjukdom	R_0	Flockimmunitet	Källa
Säsongsinfluensa	1,3 (1,2-1,4)	23 % (17-29 %)	Chowell et al. (2008)
Covid-19*	2,9 (2,4-3,4)	65 % (58-71%)	Billah et al. (2020)
Covid-19 (delta)	5,1	80 %	Liu and Rocklöv (2021)
Smittkoppor	3,5-6,0	71-83 %	Gani and Leach (2001)
SARS	2-4	50-75 %	WHO (2003)
Mässling	12-18	92-94 %	Guerra et al. (2017)
Kikhosta	5,5	82 %	Kretzschmar et al. (2010)

*De varianter av viruset som cirkulerade i början av pandemin våren 2020

Reproduktionstalet vid en given tidpunkt brukar anges R_t och behöver inte utgå ifrån en helt mottaglig befolkning. Smittan klingar av då $R_t < 1$. När tillräckligt stor andel av befolkningen har uppnått immunitet för att spridning ska bli osannolik har flockimmunitet uppnåtts. Det kan alltså vara värt att notera att betydligt fler kommer att bli sjuka än andelen som krävs för

flockimmunitet innan sjukdomen helt försvunnit ur befolkningen (Ashby and Best, 2021). Tabell 3 ovan visar uppskattade R_0 och gränser för flockimmunitet för några luftvägsinfektioner.

3.4.2 Vilken smittväg dominerar?

Smittspridning sker huvudsakligen i inomhusmiljö, särskilt inom det egna hushållet, eftersom det är där vi tillbringar största delen av vår tid och eftersom avstånden till andra där oftare är kortare än utomhus, samtidigt som ventilationen är sämre (Ng et al., 2021). Smittspridning utomhus är betydligt mindre studerat än inomhus, men de få studier som finns indikerar att mindre än 10 % av alla fall inträffar utomhus (Bulfone et al., 2021). För både influensa och covid-19 överförs smitta vanligtvis på korta avstånd (< 2 m) från smittkällan även om det inte går att dra någon skarp gräns (Brankston et al., 2007, Chu et al., 2020, Jones et al., 2020) De har inte klassificerats som ”luftsmittor” enligt den traditionella medicinska definitionen (där luftsmitta innebär betydande spridning över långt avstånd), men kan mycket väl spridas via luft ur en mer fysikalisk bemärkelse, alltså via inandning av aerosolpartiklar, vilket är mest sannolikt nära smittkällan eftersom aerosolkoncentrationen där är högst.

En viktig parameter som spelar roll för smittspridning är när under infektionen som en person är smittsam. För både influensa och covid-19 är smittsamheten högst precis vid symtomstart. Enligt flera uppskattningar sker mer än hälften av smittspridningen av covid-19 före symtom eller av personer som har så milda symtom att de inte noterar dem (Casey-Bryars et al., 2021). Därmed är alla människor att betrakta som potentiella smittkällor. Smittskyddsåtgärder kan för covid-19 inte begränsas till dem som uppvisar sjukdomssymtom.

Den relativa betydelsen av de olika smittvägarna som beskrivits ovan är fortfarande till stor del oklar. I de flesta situationer är de svåra att separera. De kan också överlappa varandra – virus på ytor kan frigöras till luft och virus i luft landar förr eller senare på någon yta. Vad gäller influensa har diskussionen kring de olika smittvägarnas betydelse pågått i ett århundrade och i perioder också varit mycket polariserad. Både den europeiska hälsovårdsmyndigheten, ECDC, och den amerikanska, CDC, har med stöd av många forskare för närvarande (oktober 2021) dragit slutsatsen att inandning eller direkt deponering på kort avstånd från smittkällan är dominerande smittväg för covid-19 (Goldman, 2020, Lewis, 2021), men i den vetenskapliga litteraturen saknas fortfarande tydligt konsensus.

Det finns belägg för smitta via inandning, direkt deponering, såväl som kontakt och smittskyddsåtgärder måste därför ta samtliga i beaktande. I vissa situationer blir exponering via luft särskilt hög, som när vi vistas lång tid tillsammans i ett rum med dålig ventilation. I andra kan kontakt vara ett större

problem, som vid ett kort möte med beröring. Mycket pekar dock mot att det är när vi tillbringar längre stunder tillsammans inomhus som smittan oftast sprids.

En del studier har försökt beräkna smittvägarnas relativa betydelse (Atkinson and Wein, 2008, Kampf et al., 2020a, Meyerowitz et al., 2021). Här kan exempelvis nämnas en analys av covid-19 spridning på kryssningsfartyget Princess Diamond där cirka 20 % härleddes till inhalation och direkt deponering på kort avstånd, 40 % till inhalation på längre avstånd och 40 % till indirekt kontakt (Azimi et al., 2021). Efter att passagerarna satts i karantän blev förhållandet omvänt och nästan all smitta spreds via inhalation eller direkt deponering på främst kortare avstånd. En annan studie har undersökt spridningsvägar för influensa och SARS i samband med utbrott på passagerarflygplan (Lei et al., 2018). Enligt denna var indirekt kontakt negligerbar för influensa, men stod för över hälften av fallen av SARS. Ytterligare en studie gjorde en matematisk analys av risken för spridning av influensa vid omhändertagande av en sängliggande familjemedlem och härledde ungefär hälften till direkt deponering, en tredjedel till handkontamination och resten till inhalation, men visade också att smittvägarna ändrades beroende på patientens koncentration av virus i saliv (Nicas and Jones, 2009). För rhinovirus gjordes på 80-talet en experimentell undersökning där friska frivilliga fick spela kort i tolv timmar tillsammans med personer som var infekterade (Dick et al., 1987). Några av de friska hade armarna fastspända så att de inte kunde överföra virus via kontakt och andra satt i ett separat rum där de delade kort, men inte luft, med smittspridarna. Studien kunde påvisa rhinovirus smitta via inandning, men inte via ytor. Osäkerhetsmarginalerna i samtliga dessa studier är dock mycket stora.

Även virusstam kan ha betydelse för smittväg. Olika varianter av influensavirus har exempelvis visats ha stora skillnader i förmåga att spridas via inandning i djurmodeller (Herfst et al., 2012, Koster et al., 2012).

I de flesta situationer går det inte att särskilja de olika smittvägarna från varandra. När människor befinner sig i samma miljö föreligger i allmänhet risk för spridning av virus via luft (inandning och direkt deponering) såväl som via ytor och det är därför svårt att dra några slutsatser om vilken smittväg som dominerar.

Det finns en del studier av särskilt väldefinierade spridningstillfällen. Flera fall finns beskrivna för covid-19 där inandning av virus har varit den mest troliga, eller till och med enda möjliga, spridningsvägen: en körövning i Washington där 53-87 % av de 61 deltagarna smittades (Hamner et al., 2020), en kinesisk restaurang med undermålig ventilation (Li et al., 2021), en buss med recirkulerande luft (Shen et al., 2020) och en kyrka i Australien där en sångare på läktaren smittade personer i kyrkbänkarna nedanför på ett avstånd upp till 15 m (Katelaris et al., 2021). Även för andra luftvägsvirus finns en stor

mängd studier som visar att inandning är en vanlig smittväg (Cowling et al., 2013, Tellier et al., 2019). Ytterligare en indikation på att inandning är en betydande smittväg är att åtgärder såsom ökad ventilation och andningsskydd i många studier visat på minskade risker (se vidare längre fram). Djurstudier ger visserligen osäker information om den relativa betydelsen av olika smittvägar, men har visat att spridning av virus via aerosolpartiklar är möjlig för både covid-19 och influensa (Koster et al., 2012, Kutter et al., 2021, Sia et al., 2020, Zhou et al., 2018).

Också smitta via kontakt är välbelagt för luftvägsinfektioner och flera studier visar att det finns smittfall som är svåra att förklara på annat sätt än genom kontakt med kontaminerade ytor (Barker et al., 2001, Cai et al., 2020, Xie et al., 2020). Att kontakt är en viktig källa till spridning av luftvägsvirus framgår också tydligt av de många undersökningar som visat att särskilt förbättrad handhygien, och till viss del även dekontamination av ytor, avsevärt kan minska infektionsrisken för både covid-19, influensa och andra infektionssjukdomar (Bright et al., 2010, Doung-ngern et al., 2020, Niffenegger, 1997).

Miljön och människors beteenden påverkar också hur virus överförs. Är ventilationen dålig underlättas spridning via andning och på samma sätt kommer mer smitta att spridas via kontakt om handhygien inte sköts eller ytor sällan rengörs. När alltför stort fokus läggs på en enskild smittväg kommer denna visserligen att minska genom olika typer av åtgärder, men det finns då samtidigt risk att de övriga förbises och ökar i betydelse.

3.4.3 För vilka yrkesgrupper är risken störst för luftvägsinfektion?

Från beskrivningen av smittvägar och tidigare resonemang har det framgått att vissa miljöer och aktiviteter medför särskilt stor risk att bli smittad. En grundförutsättning är nästan alltid möte mellan människor på relativt nära avstånd. Risken ökar sedan om uppehållstiden i samma lokal är lång, om avstånden är korta, om hygien inte missköts, om ventilationen är undermålig, om det finns aktiviteter som riskerar att sprida mycket virus, såsom högt tal, eller aktiviteter som innebär större inandad dos virus, såsom tungt arbete. Av dessa skäl är risken vanligtvis extremt hög att smittas om någon blir sjuk i det egna hushållet. Andra miljöer där spridning sker inkluderar restauranger, träningslokaler, körövningar, religiösa samlingar, trånga kontor och allmänna transportmedel (Chang et al., 2021).

Det finns en hel del undersökningar över vilka yrkesgrupper som löper störst risk att smittas av luftvägsinfektion på jobbet. Generellt är risken högre för dem som arbetar nära andra människor. Särskilt utsatt är vårdsektorn, där personal också möter många sjuka. En svensk studie över slutenvård på grund av covid-19 visade att risken var fördubblad för sjuksköterskor, läkare,

sjukgymnaster, arbetsterapeuter och naprapater (Alderling et al., 2021). Riskökningen var också fördubblad bland exempelvis behandlingsassistenter, pastorer, trafiklärare, instruktörer, idrottsutövare och fritidsledare. Även internationella studier visar att risken för allvarlig infektion i covid eller influensa är särskilt stor för personal inom vårdsektorn och därutöver bland annat för dagligvaruhandel, taxichaufförer, säkerhetsvakter och enklare arbeten inom konstruktions- och processindustri (Luckhaupt et al., 2012, Public Health England, 2021). Det kan noteras att gruppen som saknar arbete har en betydligt större risk för sjukhusvård, även korrigerat för ålder (Luckhaupt et al., 2012). Att ha ett arbete är förknippat med bättre hälsa.

3.5 Skyddsåtgärder

Avsikten med denna sektion är inte att ge någon detaljerad enkelt applicerbar lista med lämpliga skyddsåtgärder för olika luftvägsinfektioner i olika miljöer och situationer. Sådana uppdateras kontinuerligt och finns enkelt åtkomliga via internationella organisationer som WHO, ECDC eller CDC, nationellt via Folkhälsomyndigheten eller mer lokalt via regionernas smittskyddsinformation eller via vårdhygien för dem som arbetar inom vården (se länkar i referenslistan). Den typen av riktlinjer måste göras tillräckligt enkla för att gå att kommunicera till målgruppen och tillräckligt tydliga för att bli efterföljda. Exempelvis finns förutsättningar för sjukvårdspersonal att hantera betydligt mer nyanserade riktlinjer än för befolkningen som helhet.

I praktiken är det inte enbart ett virus smittvägar som avgör vilken typ av åtgärder som vidtas. Sjukdomsriskerna måste tas i beaktande, vilket inkluderar både sannolikheten att smittas och konsekvenserna vid eventuell infektion. Därför har exempelvis allvarliga eller mycket smittsamma sjukdomar som tuberkulos, mässling och SARS/MERS en hög (och extremt dyr) skyddsnivå (inom vården i nuläget definierad som "luftsmitta"), medan influensa och rhinovirus har en lägre nivå ("droppsmitta"), trots att smittvägarna är liknande. Covid-19 har utmanat den här indelningen genom att den är ett gränsfall både vad gäller smittsamhet och konsekvenser för dem som infekteras.

Att i alla situationer i exempelvis vårdmiljö hålla högsta möjliga skyddsklass vore kanske idealt, men är i realiteten ohanterligt och skulle få negativa konsekvenser både för behandlingen av patienter och för personalens arbetsituation (Karlsson and Fraenkel, 2020). Många skyddsåtgärder är dessutom kostsamma. Särskilt dyrt är skydd mot smitta från inandning av aerosol eftersom detta kräver exempelvis effektiv ventilation, luftrenare, barriärer och andningsskydd. Några studier jämför effektiviteten av olika skyddsåtgärder (Brauner et al., 2021, Chu et al., 2020). En viktig utmaning för forskningen är att identifiera de situationer och individer som utgör störst smittrisk och därigenom möjliggöra en förbättrad anpassning av smittskyddet.

Ambitionen med den följande texten är främst att ge förståelse och vetenskaplig motivering till olika skyddsåtgärder. Ordningen utgår ifrån en klassisk allmän hierarki när det gäller exponerings- och smittskydd som går från förmodat mest till minst effektivt (CDC, 2015): 1. eliminering av smittämnet, 2. minskad exponering (distans, barriärer, ventilation) 3. administrativ kontroll (hjälp människor att göra rätt) och slutligen 4. personlig skyddsutrustning.

3.5.1 Hygien och desinfektion

Hygien och desinfektion är grundläggande för smittskydd och det gäller även vid luftvägsinfektion (Barker et al., 2001, Bright et al., 2010, Carter et al., 1980, Doung-ngern et al., 2020, Niffenegger, 1997). Förbättrad och mer frekvent handtvätt har i många studier visats minska risken för smitta av luftvägsvirus (Aiello et al., 2008). Bland annat har interventionsstudier vid influensa visat på minskad infektionsrisk för de deltagare som randomiserats för ökad handhygien (Apisarnthanarak et al., 2009, Bright et al., 2010, Cowling et al., 2009). Även för covid-19 har god handhygien visats vara en av de absolut mest effektiva smittskyddsåtgärderna (Ran et al., 2020, Wang et al., 2020). Att desinfektera händerna skyddar både från att bli smittad och från att smitta andra. Därför behöver även den som blivit sjuk vara noga med handhygien.

Rengöring med tvål och vatten eller alkoholbaserat rengöringsmedel (koncentration 70 % etanol) oskadliggör både influensavirus och SARS-CoV-2 på 30 sekunder (Grayson et al., 2009, Kratzel et al., 2020). Både tvål och etanol löser upp lipidmembranet som finns hos de höljeförsedda virustyperna. De är beroende av sina ytproteiner för att binda in till och infektera celler, och fungerar därför inte utan membranet. För avdödning av höljelösa virus rekommenderar Vårdhandboken oxiderande desinfektionsmedel (Vårdhandboken: Desinfektion av ytor). Mekanisk rengöring som löser upp och avlägsnar orenheter är viktigt både för handhygien och för rengöring av ytor.

3.5.2 Distans och fysiska barriärer

Långvariga kontakter på nära avstånd utgör den absolut största risken för smitta. Att på olika sätt undvika fysiska möten eller öka avstånd mellan människor är därför kanske det mest effektiva sättet att motverka smittspridning (Haug et al., 2020). Som framgått av tidigare information om smitta via inandning och direkt deponering finns det inget specifikt avstånd där smittrisen försvinner helt.

Under covid-19-pandemin har stora mängder plexiglasbarriärer satts upp som skydd. Den här typen av barriärer har ännu svagt vetenskapligt stöd. Aerosolpartiklar följer enkelt med luftströmmen runt dem, men de ökar

transportvägen för partiklarna mellan personer och har en effekt mot direkt deponering av större droppar. I värsta fall blockerar barriärer ventilationen i lokalen. En stor amerikansk studie där olika typer av smittskyddsåtgärder i skolor jämfördes sågs exempelvis ingen effekt av fysiska barriärer runt skolbänkarna, men en stor minskning i smitta med förbättrad ventilation (Gettings et al., 2021). Däremot är det möjligt att plexiglasbarriärer eller andra avskärmningar kan ha en positiv effekt vid vårdmoment där det finns risk att virusinnehållande droppar stänker ut i omgivningen, även om det då måste vägas mot de negativa effekter sådana avskärmningar kan ge upphov till (Canelli et al., 2020, Kovatsis et al., 2020, Ortega et al., 2020, Rosenblatt and Sherman, 2020).

3.5.3 Ventilation och andra metoder att rena luften

God ventilation eller luftrening minskar mängden smittämnen i luften och risken att bli smittad via inandning. Här finns många alternativ: öppna fönster, luftrenare, förbättring av allmänventilationen eller att flytta aktiviteter utomhus. Ibland kan också en justerad placering av ventilationsdon och flödesriktningar effektivisera luftreningen (Alsved et al., 2018).

Många studier visar på smitta där ventilationen inte fungerat tillfredsställande: en pojke med mässling som via luftströmmar smittade sju personer i ett väntrum (Bloch et al., 1985); en annan pojke med vattkoppor som befann sig i ett rum med övertryck och därför spred smittan till åtta sekundärfall i angränsande lokaler (Gustafson et al., 1982); en sjuksköterska som blev smittad av vattkoppor genom ett baksug vid en dörr (Tang et al., 2005); totalt 76 personal som smittades av en tuberkulospatient på ett våningsplan med dålig ventilation och övertryck på patientrummet (Calder et al., 1991); spridning av SARS i överensstämmelse med luftflödessimuleringar (Li et al., 2005); smitta av covid-19 på en restaurang i en zon med recirkulerande luft (Li et al., 2021); spridning av covid-19 på ett äldreboende med nedsatt ventilation (de Man et al., 2021).

Det finns nästan inga studier som anger vad som är tillräcklig ventilation för att undvika smitta. I en sammanställning från WHO ges vissa riktvärden för vårdmiljö (Atkinson and World Health Organization., 2009): 160 L/s per patient i rum för isolering av luftsmitta och 60 L/s och patient för generella vårdrum. Detta motsvarar cirka 10 rumsolymer per timme (rv/t) i ett vårdrum för luftsmitta och runt 4 rv/t för ett vanligt vårdrum om rumsytan är 20 m². Dessa flöden kan ställas i relation till ventilation i bostäder som ligger på 0,5 rv/t (0,35 L/m², BoVerkets Byggregler). Ventilationskrav enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2020:1) är 7 L/s och person i rum med stillasittande arbete (i enlighet med standarden SS-EN 16798-1:2019). I ett rum med välombländad luft transporteras 63 % av aerosolen bort för varje luftomsättning förutsatt att partiklarna inte deponerar på några ytor.

Det finns tre typer av aggregat för mekanisk ventilation: roterande värmväxlare där luftläckaget kan vara 3 % mellan till- och frånluft, motströmsväxlare som har max 0,5 % läckage och vätskekopplade batterier där flödena är helt separerade. Kontaminationen mellan in- och utflöde är alltså i dessa fall liten. Men det finns också klimatanläggningar som recirkulerar luften utan filtrering och sådana har i ett par fall förknippats med smittrisk (Li et al., 2021, Shen et al., 2020).

Ibland är installation av luftrenare ett bättre eller enklare alternativ än att höja allmänventilationen. Många luftrenare recirkulerar luften genom ett partikelfilter och kan reducera mängden aerosolpartiklar i en lokal motsvarande många luftomsättningar per timme. Andra sätt att oskadliggöra smittämnen i luft inkluderar UV-ljus, jonisering eller elektrostatiska partikelfällor (Bolashikov and Melikov, 2009).

3.5.4 Administrativa åtgärder

Administrativa åtgärder för minskad smittrisk inkluderar information, regleringar, checklistor, kontroller mm. Listan på den här typen av åtgärder kan göras lång: utbildning kring smittskydd (exempelvis genom användning av den här kunskapssammanställningen), golvmarkeringar för att öka avstånd mellan personer, påminnelser om hostetikett och handhygien, stöd för distansarbete, uppdelning i arbetslag för att minska antalet kontakter, enskilda rum istället för delade ytor, flexibla tider för att undvika trängsel vid entréer vid vissa tidpunkter och så vidare.

Utformning av kontor kan också spela roll för smittrisk. Några studier har visat på ökad sjukskrivning och effektiv spridning av smitta bland personer som arbetar i öppna kontorslandskap och flexkontor, där fler människor vanligtvis möts på nära håll under lång tid jämfört med i cellkontor (Danielsson et al., 2014, Park et al., 2020). Men här behövs mer forskning.

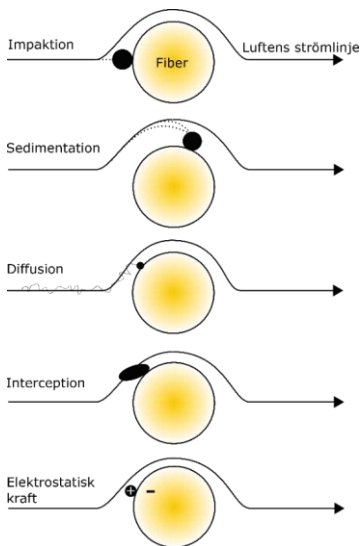
3.6 Personlig skyddsutrustning

3.6.1 Andningsskydd och munskydd

Inom vården används framför allt två sorters skydd: kirurgiska munskydd och filtrerande andningsskydd. Kirurgiska munskydd är utvecklade för att hindra att droppar och aerosolpartiklar från operationspersonalens utandning hamnar i det öppna operationssåret och orsakar infektion. De är alltså optimerade för att hindra spridning från bäraren. Munskydd är också en fysisk barriär som skyddar bäraren mot stänk från patienten. Filtrerande andningsskydd är framtagna för att skydda bäraren från att andas in aerosolpartiklar i den omgivande luften. De används dels inom vården i kontakt med patienter med luftvägssmitta, och dels inom yrken där det förekommer höga koncentrationer

av damm t.ex. vid bygg- eller renoveringsprojekt. En del andningsskydd filtrerar luften både på inandning och utandning (skyddar då både bäraren och omgivningen), men det är vanligt att andningsskydd har en utandningsventil som gör det lättare att andas ut, men som gör att omgivningen inte skyddas i lika hög grad.

Både munskydd och andningsskydd är gjorda av filtermaterial. Filtermaterialen består av en mängd tunna fibertrådar som ligger i ett tredimensionellt nät. När luft sugas genom filtret fastnar aerosolpartiklar på fibertrådarna. Det finns fem mekanismer som gör att partiklar fastnar på fibertrådar i filter (se Figur 11): impaktion, diffusion, interception, sedimentation och elektrostatiske krafter. Impaktion, interception och sedimentation är mest effektiva för att fånga in partiklar $> 0,5 \mu\text{m}$, medan diffusion och elektrostatiske krafter är mest effektiva för partiklar $< 0,1 \mu\text{m}$. Den partikelstorlek som är svårast att fånga är ca $0,3 \mu\text{m}$ i diameter och det är därför som filtereffektivitet mäts för partiklar av just den storleken, ”most penetrating particle size” (MPPS). Om man jämför ett filter med en sil, så fångar en sil alla korn som är större än hålen i silen, medan ett filter även fångar partiklar som är mindre än porstorleken i filtret.



Figur 11: Schematisk bild av de olika depositionsmechanismerna i ett filter. Luften följer den heldragna pilens linje, runt om fibertrådarna, medan den svarta partikeln fastnar på fibertrådarna. Impaktion: när partikeln inte hinner böja av runt ett objekt och istället fortsätter rakt fram. Sedimentation: gravitationen påverkar partikeln så att den faller neråt. Diffusion: små partiklar är så små att de påverkas av att stöta ihop med molekyler i luften och rör sig därför avvikande från luftströmmen. Interception: partiklar som

lyckas följa luftströmmen runt ett objekt, men som ändå fastnar på grund av att de är större i en dimension. Elektrostatisk kraft: en positivt laddad partikel dras till ett negativt laddad fiber.

Det finns EU-standarder för krav och test av munskydd (EN-14683) respektive andningsskydd (EN-149), och de gäller även i Sverige. Munskyddsstandarderna omfattar tre kategorier: typ I, typ II och typ IIR, se Tabell 4. Typ I ska bara användas av smittsamma patienter i syfte att minska deras spridning till omgivningen. Typ II och typ IIR är de som ska användas av vårdpersonal. Skillnaden mellan dessa är att typ IIR testas för att vara splash-resistent mot blodstänk och tillåts ha ett högre inandningsmotstånd

Tabell 4. Testkrav på munskydd enligt EU-standarderna EN-14683.

	Filtereffektivitet, bakterie-aerosol (%)	Inandningsmotstånd, tryckskillnad (Pa/cm ²)	Splash-resistens (kPa)	Mikrobiologisk renhet (cfu/g)
Typ I	≥ 95	< 40	-	≤ 30
Typ II	≥ 98	< 40	-	≤ 30
Typ IIR	≥ 98	< 60	≥ 16,0	≤ 30

Det finns också tre kategorier av andningsskydd i den europeiska standarden: P1, P2 och P3. De tre kategorierna har stegrande krav på hur liten mängd aerosolpartiklar som får släppas igenom (P1 lägsta krav, P3 högsta), se Tabell 5.

Tabell 5. Testkrav på munskydd enligt EU-standarderna EN-149

	Filter-effektivitet, hyroskopisk aerosol (%)	Filter-effektivitet, icke-hyroskopisk aerosol (%)	Inhalations-motstånd, tryckskillnad vid flöde 30 L/min (hPa)	Inhalations-motstånd, tryckskillnad vid flöde 95 L/min (hPa)
FFP180		80	0,6	2,1
FFP294		94	0,7	2,4
FFP399,95		99,95	1,0	3,0

Det finns ytterligare en EU-standard för andningsskydd i form av en tättslutande gummimask med filterpuckar som sätts fast (och kan bytas ut) på utsidan: EN-143 (med kategorierna P1, P2 och P3 som motsvarar FFP1, FFP2 och FFP3). Förutom de europeiska standarderna används ofta de amerikanska kategorierna N95, N99, N100 och de asiatiska kategorierna KN95, KN99, KN100 på marknaden med de något högre filtereffektiviteterna 95 %, 99 % respektive 99,97 % jämfört med de europeiska kraven. I de amerikanska och kinesiska testkraven ska munskydd testas för både en bakterie-aerosol (partikelstorlek 3,0 µm) och en latex-partikelaerosol (partikelstorlek 0,1 µm), men filtereffektiviteten är samma som i den europeiska standarden.

En viktig parameter som gäller både andningsskydd och munskydd är hur tätt de sitter på bäraren. Om de inte sitter tätt går luftströmmarna hellre genom öppningar än genom filtermaterialet och då förlorar man den filtrerande förmågan. Av samma anledning är det viktigt att ha ett lågt inandningsmotstånd genom filtret, så att så stor del som möjligt går genom filtret istället för runtom.

3.6.2 Munskydd under covid-19-pandemin

Att hava eller inte hava munskydd – det är frågan. Under covid-19-pandemin har munskydd diskuterats otroligt mycket av politiker, smittskyddsexperten och arbetsgivare såväl som bland vanligt folk i allmänhet. En orsak till debatten är att forskningsläget tidigt under pandemin inte var särskilt tydligt kring vilken effekt munskyddsbärande för befolkningen i stort har på spridningen av covid-19. Det fanns dock resultat som visade att munskydd skyddade vårdpersonal från SARS-CoV-1 (2002-2003) och andra övre luftvägsinfektioner (Chu et al., 2020). Flera länder ställde krav på sina medborgare att använda munskydd på publika platser, och under andra halvan av 2020 hade ett antal studier också konkluderat att munskydd bidrog till att minska smittspridningen i samhället (Bo et al., 2021, Cheng et al., 2020, Lyu and Wehby, 2020, Mitze et al., 2020, Van Dyke et al., 2020). Detta sammanfattades av WHO i ett vägledande dokument som publicerades i december 2020 (World Health, 2020). WHO tydliggjorde dock att ”enbart ett munskydd, även om det används korrekt, är otillräckligt för att ge fullgott skydd”, och menade att munskydd bör vara en del i ett paket av smittskyddsåtgärder där hålla avstånd, undvika trängsel, tvätta händerna, ha god ventilation inomhus och att följa karantänsregler är andra viktiga komponenter.

Under pandemin har det dels publicerats forskningsstudier som utvärderar andelen droppar och aerosolpartiklar som ett munskydd stoppar, och dels studier som utvärderar effekten på smittspridningen i ett samhälle efter att krav på munskydd trätt i kraft. Den förstnämnda sorten som fokuserat på experimentella mätningar i laboratorium visar tydligt att munskyddsbärande minskar spridningen av aerosolpartiklar till omgivningen (Alsved et al., 2020b, Leung, 2021, Pan et al., 2021).

För den andra sortens studier, som studerar effekterna i en population genom statistik, har flera sett en signifikant minskad risk och några sett en icke-signifikant minskad risk, och endast en har sett en icke-signifikant ökad risk (Chu et al., 2020). WHO sammanfattar det med att det saknas signifikanta belägg för att andningsskydd utgör ett bättre skydd än munskydd mot ’influensa-liknande sjukdom’, men att munskydd eller andningsskydd minskar risken jämfört med att inte ha något skydd alls (WHO-rapport).

En meta-analys baserad på data från 21 tidigare publicerade studier konkluderade att munskydd tydligt minskar risken att smittas av luftvägsvirus

(Liang et al., 2020). De tittade också på olika virustyper separat och kunde se att munskydd minskade risken för SARS-CoV-1, SARS-CoV-2 och generellt för influensa, men inte för influensa av typen H1N1. Det kan alltså vara så att munskydd fungerar olika bra för olika virussjukdomar. Flertalet studier klumpar ihop ”influensa-liknande sjukdom”, vilket skulle kunna vara en anledning till att en del studier inte ser någon signifikant skillnad med eller utan munskydd.

3.6.3 Handskar

Handskar kan visserligen skydda händerna från kontamination, men studier visar också att de är kopplade till sämre handhygien (Eveillard et al., 2012, Fuller et al., 2011). Handskar har en viktig funktion i vissa vårdssituationer och på laboratorier, men det är oklart om de har någon skyddseffekt hos befolkningen utanför dessa miljöer. En kontaminerad handske kan överföra smitta lika väl som en kontaminerad hand. Huden med sin flora av mikroorganismer har också en viss skyddseffekt mot patogener (Sullivan et al., 2001). Handskar kan i värsta fall utgöra en falsk trygghet, i bästa fall en påminnelse om smitta som minskar kontakterna mellan hand och ansikte. Det finns alltså en möjlighet att handskar utgör en ökad smittrisk för befolkningen.

3.6.4 Visir

Visir används inom vården för att skydda mot stänk av kroppsvätskor mot ansikte (vårdhandboken.se). När det gäller luftvägsinfektioner så skyddar visir mot att bäraren får en dusch direkt i ansiktet (och därmed exponerade slemhinnor) från en nysande eller hostande patient, men skyddet mot aerosolpartiklar som man kan andas in är ineffektivt.

En review-artikel konkluderade att skyddsglasögon/visir signifikant minskade risken för SARS, och MERS, men tillräcklig data för covid-19 saknades (juni 2020). Författarna till studien är dock försiktiga med att tolka resultaten eftersom evidensen är otillräckliga och för att skyddsglasögon/visir bärs samtidigt som munskydd/andningsskydd. De formulerade därför sin slutsats som att ”ögon-skydd kan ge ökad skyddseffekt” (Chu et al., 2020).

I en experimentell studie undersöktes munskydd och visir för deras skyddseffekt om smittkällan bär dem, respektive om den mottaglige bär dem (Pan AS&T 2020). Studien visade att visir som används för att skydda en mottaglig person har 10 % skydd mot aerosolpartiklar av storleken 2 µm, medan munskydd hade motsvarande 50 % skydd. Både munskydd och visir visade däremot högre skyddseffekt om smittkällan bär dem, 30 % för visir och 75 % för munskydd.

3.7 Skydd genom produktutveckling och övervakning

Det finns redan nu en uppsjö produkter designade för att minska smitta genom olika typer av antimikrobiella tekniker: material som förhindrar mikrobiell tillväxt, automatisk rengöring av toaletter eller handtag, effektivare luftrenare och mycket mer. Det pågår också intensiv utveckling av ny teknik för att bättre anpassa och förbättra skydd genom olika typer av provtagning och miljöövervakning. På sikt är det troligt att detta blir en mer fundamental del av smittskyddet, särskilt i sjukhusmiljö och andra kritiska samhällssektorer.

Utbyggnad av 5G och senare även 6G ger helt nya möjligheter att snabbare och säkrare samla in och analysera data från större mängder sensorer. Här finns enkla lösningar, som kontinuerlig kontroll av ventilation eller dörröppningar, såväl som visioner om teknik för att direkt upptäcka spridning av smittämnen. Se vidare nedan.

För covid-19 har det visats att inlagda patienter med höga virusnivåer (lågt Ct-värde) sprider mer virusmaterial till omgivningen (Thuresson et al., 2021). Sjukhuslaboratorier rapporterar i allmänhet endast provsvar kvalitativt (exempelvis positivt eller negativt virustest), men för en del infektionsjukdomar skulle kvantitativ information alltså kunna ge en viss vägledning för smittskydd.

4. Detektion av virus i miljön

4.1 Miljöprovtagning

Att direkt, och helst i realtid, analysera mängden virus i en miljö vore idealt för att övervaka smittrisker. Dessvärre behövs ytterligare många års teknikutveckling innan vi har den möjligheten. Militära forskningsinstitut har tagit fram olika metoder för att i realtid mäta biologiska ämnen i luft med hjälp av bland annat fluorescens. Sådan teknik kan möjligen varna om det sker ett plötsligt utsläpp av stora mängder bakterier, som vid ett terroristattentat eller anfall med biologiska stridsmedel. För att informera om de låga koncentrationer virus vi utsätts för, även i närheten av sjuka patienter, behövs metoder med mycket hög känslighet och dessutom tillräcklig precision för att kunna skilja sjukdomsframkallande virus från alla de andra helt ofarliga virus och mikroorganismer som ständigt omger oss.

Detektion av virus från luft eller på ytor går dock att göra, men kräver avancerad utrustning för provtagning och analys. Eftersom virusmängden som normalt finns på ytor eller i luft bara är en bråkdel av den i ett typiskt patientprov är det viktigt med optimering av känsligheten i analysprocessen.

Den metodik som används i klinisk rutin vid ett sjukhus är sällan anpassad för detta utan ytterligare analyssteg kan behöva läggas till, såsom uppkoncentrering av prover.

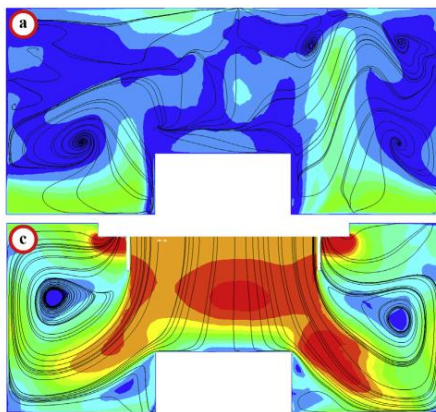
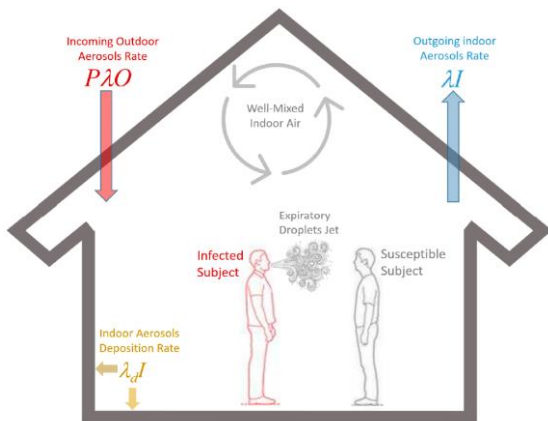
Luftprovtagning kan göras på flera olika sätt och anpassas till provtagningsmiljön och analysmetoden. Vid analys av biologiskt material utgår många metoder från vätskor och det är då praktiskt att direkt samla in till vätska med exempelvis en vätskecyklon eller impinger. Luftprovtagning med filter kan vara enklare att genomföra i fält, men är svårare att extrahera provmaterial från jämfört med vätskebaserade analyser.

För att detektera virus används oftast PCR-teknik (polymerase chain reaction), vilket innebär att man amplifierar en specifik RNA- eller DNA-sträng. Man utgår då från en specifik nukleinsyre-sträng och undersöker om den finns i provet. PCR-teknik kan bara detektera närvaro av genetiskt material, och säger inget om smittsamheten hos virusen. För att analysera smittsamhet behövs undersökning med odling av viruset i en cellkultur. Det krävs mycket arbete för att få ett cellkultursystem att fungera, och ofta krävs relativt mycket virusmaterial, vilket gör analysen svår från miljöprover eftersom de mängder som hittas på ytor eller i luft ofta är mycket små. PCR-teknik är mer tillgängligt och har en väldigt låg detektionsgräns.

Även om det vanligtvis inte är möjligt att mäta virus i miljön finns andra typer av detektorer som kan vara till hjälp för att indikera smittrisk. Regelbunden kontroll av ventilationssystem är viktigt och i särskilt utsatta lokaler kan även tryck- eller flödesmätare användas för kontinuerlig övervakning av luftflöden. Mätning av koldioxid är kanske det enklaste sättet att kontrollera luftkvalitén. Koldioxidkoncentrationen blir hög om ventilationen i en lokal är otillräcklig i förhållande till antalet personer i en lokal och deras aktiviteter. Modellberäkningar visar att koldioxidhalt bör korrelera mot smittrisk (Rudnick and Milton, 2003), även om experimentella studier ännu inte tydligt har påvisat samband, vilket förmodligen huvudsakligen beror på metodologiska begränsningar (Myatt et al., 2002).

4.2 Beräkningsmodeller för smittrisk

Att mäta virus i miljön är vanligtvis både för tekniskt avancerat och för tidskrävande för att kunna användas som beslutsunderlag för den egna verksamheten. Ofta är modeller ett enklare och snabbare verktyg för att göra exponeringsuppskattningar och riskbedömningar. För spridning av virusmitta finns främst modeller., 2020). Två vanliga typer av modeller är CFD-modeller (computational fluid dynamic), som kan visa luftströmmar med hög upplösning i 3D, och box-modeller, som är mindre datorkrävande eftersom de utgår ifrån att luften i en lokal är fullständigt ombländad (Figur 11).



Figur 12. Två typer av modeller som kan användas för att beräkna exponering via inandning. Överst en box-modell som utgår ifrån att luften är helt omblandad och därför kan använda några relativt enkla ekvationer för luftombyte och deponering – se även Figur 4 (Hussein et al., 2013). Den undre en CFD-bild av luftströmmarna i två operationssalar med olika typer av ventilation (Alsved et al., 2018).

Modeller ger ofta resultat i stor detalj och med många värdesiffror, men osäkerheterna är stora eftersom de aldrig blir mer exakta än ingångsvärdena modellerna matas med. Ibland är det därför bättre att välja en enklare modell baserad på färre och mer robusta ingångsvärden än en avancerad modell som inkluderar osäkra variabler. För en CFD-modell behövs bland annat en 3D-struktur för rummets utformning, temperatur på ytor, placering och flöde för till- och frånluft och information om utsläppskällans storlek. Flera av dessa faktorer kan vara svåra att ta reda på – exempelvis vet vi väldigt lite om storleken på de aerosolpartiklar som sprider mest smitta. Trots att CFD är en

avancerad beräkningstyp görs ändå vanligen antaganden om att aerosolpartiklarna har konstant storlek (dvs ingen evaporation) eller att lokalen är helt statisk (inga rörelser från människor, dörröppningar eller dylikt). Boxmodeller är betydligt enklare, men ger ingen bild av exponeringen på olika platser i ett rum.

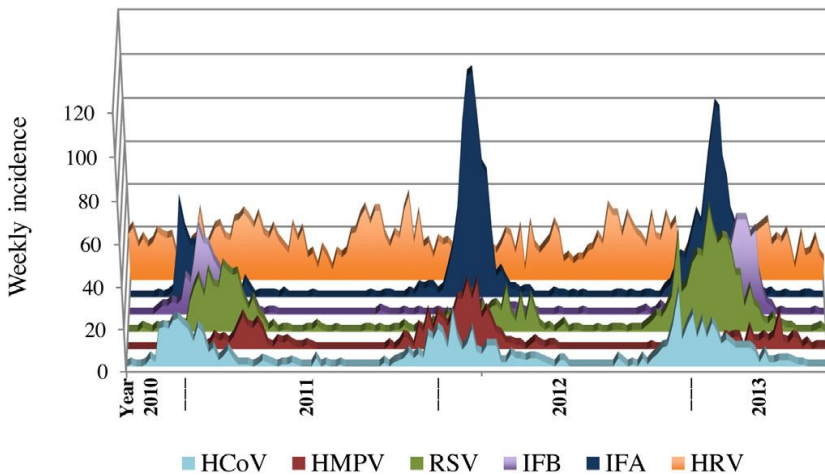
En användarvänlig och fritt tillgänglig box-modell i Excel-format för beräkning av inandade virus är Airborne Infection Risk Calculator (AIRC) (<https://www.cunybpl.org/resources/airborne-infection-risk-calculator/>). En utförlig beskrivning av modellen finns i dess användarmanual och repeteras därför inte här. De ingångsvärden som krävs för en beräkning är rumsarea, höjd i rummet, antalet luftomsättningar, antalet smittsamma personer och deras aktiviteter. Den fungerar för beräkningar av smittorisk i lokaler med en yta upp till ett par hundra kvadratmeter. Därefter kan ”smittorisken” uppskattas för ett antal vanliga luftvägsinfektioner vid olika exponeringstid med mera. De risker modellen beräknar bygger på ett antal relativt osäkra antaganden om mängden virus patienter sprider till luft, men beräkningar kan ändå ge en god bild av effekten av olika typer av interventioner: Hur mycket minskar smittorisken med fördubblad ventilation? Hur lång tid tar det innan smittan försvunnit ur luften i ett rum? Hur beror smittorisken på exponeringstid?

Även om modeller av exponering för smitta, precis som mätningar, har stora felmarginaler kan de ändå fungera som ett utmärkt hjälpmedel för att bedöma exponeringsrisker och hur dessa kan reduceras.

5. Säsongsvariation

De flesta respiratoriska virus är på något sätt kopplade till säsong (Figur 13). Influenzavirus, humana coronavirus och RS-virus, de höljeförsedda virustyperna, visar tydliga toppar under vintern, främst november till mars, med små inbördes skillnader (Moriyama et al., 2020). En del virus följer dock inte denna säsongsvariation, som exempelvis adenovirus och rhinovirus, som också är höljelösa. Det finns dessutom några typer av enterovirus som istället verkar kulminera under sommaren. För svenska förhållanden har dessa variationer visats tydligt vid mätning av incidensen för coronavirus, influensa A och B, humant metapneumovirus, RS-virus och rhinovirus veckovis under fyra år (se Figur 13) (Sundell et al., 2016). Den här typen av säsongsvariation gäller framför allt för tempererade zoner; nära Ekvatorn, i exempelvis Sydostasien syns istället toppar halvårsvis (Bloom-Feshbach et al., 2013). Nyligen hittade man ett samband mellan coronavirus och säsong när man analyserade prover från de senaste tio åren i Stockholm (Dyrdak et al., 2021). Alfa-coronavirus och beta-coronavirus turas om att dominera vartannat år, vilket även har visats i andra studier från liknande tempererade zoner. Dessutom

kunde de visa att betacoronavirus, som SARS-CoV-2 tillhör, hade sin topp tidigare under vintern än alphacoronavirus. Detta kan vara intressant att ha i betänkande för en framtid där SARS-CoV-2 eventuellt blir ett endemiskt virus.



Figur 13. Veckovis incidens för olika virus på Sahlgrenska sjukhuset under perioden 2010-2013. Tydliga toppar syns under vinterhalvåret för coronavirus (HCoV), RS-virus (RSV), influensa A och B (IFA och IFB) samt humant metapneumovirus (HMPV) (Sundell et al., 2016). Rhinovirus (HRV) förekom däremot mer kontinuerligt under hela året.

Man vet fortfarande inte exakt vad dessa säsongsvariationer beror på. En förklaring som ligger nära till hands är att man befinner sig mer inomhus på vintern, och att virus därför lättare kan spridas i nära kontakter. Studier har dock visat att man spenderar mer än 90 % av sin tid inomhus även på sommaren eftersom de flesta sover, äter och jobbar inomhus året runt, så detta förklarar inte fenomenet fullt ut (Klepeis et al., 2001, Schweizer et al., 2007). Å andra sidan kan det finnas andra förklaringar som har med mänskligt beteende att göra: ökade sociala kontakter via jobbet och skolan under vintern, resor mellan kontinenter ökar, samt skolor som öppnar och stänger (Fisman, 2012).

Men det finns också ett antal andra bidragande faktorer. En har att göra med virusens överlevnad vid olika relativa luftfuktigheter och temperaturer. Virusets ytpoteiner och lipidmembranets stabilitet påverkas av dessa yttre faktorer, och många virus är mer stabila vid låg relativ luftfuktighet. I försök med marsvin har man kunnat se att smittsamma influensavirus verkar mer stabila i droppar vid höga (>60%) och låga (<40%) relativa luftfuktigheter, men att viabiliteten minskar vid intermediär relativ luftfuktighet (40-60%)

(Lowen et al., 2007). Experiment med aerosoliserat virus har även visat att virus som är vanliga på sommaren ofta trivs bra i högre luftfuktighet, medan de som florerar vintertid trivs bättre i 10-40% RH.

Skillnader i temperatur och luftfuktighet påverkar även kroppens eget försvar mot infektion på flera nivåer. Vårt immunförsvar innefattar mekaniska barriärer i form av epitelceller och cilier som med hjälp av ett slemlager transporterar bort främmande ämnen, så kallad mukociliär rening (Bustamante-Marin and Ostrowski, 2017). Den här transportmekanismen försvagas vid torr och kall luft, eftersom slemlagret förlorar vätska och sjunker ihop och cilierna får svårare att röra sig. Dessutom orsakar inandning av torr luft skador på de skyddande epitelcellerna. D-vitamin-brist är vanligt under vintermånaderna på våra breddgrader och har också angetts som en tänkbar förklaring (Moriyama et al., 2020).

När det gäller smitta via inhalation, som diskuterats tidigare, spelar också klimatet roll för hur droppar och aerosoler beter sig i luften. Vid lägre luftfuktighet sker intorkning av dropparna snabbare, och ju mindre storlek de har desto längre tid, stannar de kvar i luften, vilket kan öka risken för smitta via inhalation.

Sammanfattningsvis är det svårt att hitta en enkel, specifik förklaring till säsongsvariation. Troligen är det en komplex samverkan av olika faktorer som gör det fördelaktigt för vissa respiratoriska virus att smitta oss under vinterhalvåret. Den låga temperaturen, mindre solljus och låg absolut luftfuktighet ute, gör vårt eget immunförsvar sämre rustat att skydda sig mot infektion. En låg absolut luftfuktighet utomhus leder till en låg relativ luftfuktighet inomhus där virusen trivs bättre. Detta skulle kunna ligga till grund för anpassning av inomhusmiljöer. Till exempel visade en studie från en skola i Minnesota, USA, att befuktning av luften till 45 % RH minskade antalet infektioner av influensa A betydligt (Reiman et al., 2018).

6. Slutsatser

Skydd mot luftvägsvirus är komplicerat. Det vi vet om smittvägar och skyddsåtgärder för en luftvägsinfektion gäller inte nödvändigtvis för en annan. Därför kan vi inte enkelt dra slutsatser från exempelvis influensa till covid-19. Även för samma virustyp kan skillnaderna vara stora mellan olika varianter. Ännu är mycket av detta område relativt utforskad terräng.

Trots kunskapsluckorna finns det också mycket vi faktiskt vet om smittvägar och skyddsåtgärder. Det är viktigt att ha ett brett perspektiv, att skydda sig mot inandning av virus såväl som överföring via kontaminerade händer och att använda skyddsutrustning och andra tekniska hjälpmedel i de situationer som är särskilt riskabla. Förmåga att identifiera dessa

risksituationer är också angeläget för att kunna skydda sig själv och andra. Förhoppningsvis tjänar denna rapport som stöd för att förstå hur luftvägsvirus smittar, som vägledning för bedömning av risker och som guide för att effektivt minska riskerna för spridning genom kloka val av skyddsåtgärder.

7. Referenser

7.1 Relaterade rapporter och rekommendationer

- Arbetsmiljöverket, "Smittorisker på arbetsplatser", <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/sjukdomar-smitta-och-mikrobiologiska-risker/smittorisker-i-arbetsmiljon/coronaviruset/smittorisker-pa-arbetsplatsen/>
- Arbetsmiljöverket, AFS2018:4, Smittorisker
- CAMM, <https://www.camm.sll.se/aktuellt/ny-guide-for-riskbedomning-av-coronavirus-pa-arbetsplatser/>
- Folkhälsomyndigheten, "Covid-19", <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/aktuella-utbrott/covid-19/>
- KVA, Expertgrupp om Covid-19, <https://www.kva.se/sv/pressrum/pressmeddelanden/vetenskapsakademien-bildar-expertgrupp-om-covid-19>,
- MYNÄK, "Arbetsmiljö i organisationer vid utbrott av epidemier och pandemier" (1 aug 2020 – 1 sep 2021), <https://www.mynak.se/projekt/social-och-organisatorisk-arbetsmiljo-vid-utbrott-av-epidemier-och-pandemier/>
- Prevent, "Smittorisker", <https://checklists.prevent.se/checklist/answer/190>
- SBU, "Inventering och prioritering av forskningsfrågor gällande långvariga symtom vid covid-19", <https://www.sbu.se/sv/pagaende-projekt/inventering-och-prioritering-av-forskningsfragor-gallande-langvariga-symtom-vid-covid-19/>
- Socialstyrelsen, "Stöd och vägledning till hälso- och sjukvården" <https://www.socialstyrelsen.se/coronavirus-covid-19/stod-till-halso-och-sjukvard/>
- Svenska Infektionsläkarföreningen, Svenska Hygienläkarföreningen och Föreningen för Klinisk Mikrobiologi, "Nationellt vårdprogram för misstänkt och bekräftad covid-19", <https://infektion.net/nationellt-varldprogram-covid19-version-1-0-juni-2020/>
- Suntarbetsliv, "Arbetsmiljöarbete i tider av corona" <https://www.suntarbetsliv.se/verktyg/arbetsmiljoarbete-i-tider-av-corona/>
- Se även uppdaterad information från WHO, ECDC och CDC (länkar nedan gäller covid-19, men här finns också mycket information om andra):
- CDC, Centers for Disease Control and Prevention (USA), <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>
- ECDC, European Centre for Disease Prevention and Control: All resources on COVID-19, <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/all-reports-covid-19>
- WHO, World Health Organization: <https://www.who.int/emergencies/overview>

7.2 Referenser

- Aiello, A. E., Coulborn, R. M., Perez, V. & Larson, E. L. 2008. Effect of hand hygiene on infectious disease risk in the community setting: A meta-analysis. *American Journal of Public Health*, 98(8):1372-1381.
- Alderling, A., Albin, M., Ahlbom, A., Alfredsson, L., Lyström, J. & Selander, J. 2021. Risk att sjukhusvårdas för covid-19 i olika yrken. Stockholm: Centrum för arbets- och miljömedicin.
- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelín, A., Andersson, A. E., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Sadrizadeh, S., Larsson, P. A., Bohgard, M., Santl-Temkiv, T. & Londahl, J. 2018. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *Journal of Hospital Infection*, 98(2):181-190.
- Alsved, M., Fraenkel, C. J., Bohgard, M., Widell, A., Soderlund-Strand, A., Lanbeck, P., Holmdahl, T., Isaxon, C., Gudmundsson, A., Medstrand, P., Bottiger, B. & Londahl, J. 2020a. Sources of Airborne Norovirus in Hospital Outbreaks. *Clin Infect Dis*, 70(10):2023-2028.
- Alsved, M., Matamis, A., Bohlin, R., Richter, M., Bengtsson, P. E., Fraenkel, C. J., Medstrand, P. & Londahl, J. 2020b. Exhaled respiratory particles during singing and talking. *Aerosol Science and Technology*, 54(11):1245-1248.
- Althouse, B. M., Wenger, E. A., Miller, J. C., Scarpino, S. V., Allard, A., Hebert-Dufresne, L. & Hu, H. 2020. Superspreading events in the transmission dynamics of SARS-CoV-2: Opportunities for interventions and control. *PLoS Biol*, 18(11):e3000897.
- Apisarnthanarak, A., Apisarnthanarak, P., Cheevakumjorn, B. & Mundy, L. M. 2009. Intervention with an Infection Control Bundle to Reduce Transmission of Influenza-Like Illnesses in a Thai Preschool. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 30(9):817-822.
- Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M. & Ristenpart, W. D. 2019. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep*, 9(1):2348.
- Ashby, B. & Best, A. 2021. Herd immunity. *Current Biology*, 31(4):R174-R177.
- Atkinson, J. & World Health Organization. 2009. Natural ventilation for infection control in health-care settings, Geneva, World Health Organization.
- Atkinson, M. P. & Wein, L. M. 2008. Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza. *Bulletin of Mathematical Biology*, 70(3):820-867.
- Azimi, P., Keshavarz, Z., Cedeno Laurent, J. G., Stephens, B. & Allen, J. G. 2021. Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the Diamond Princess cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 118(8).
- Azimi, P. & Stephens, B. 2013. HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment*, 70:150-160.
- Bak, A., Muggleston, M. A., Ratnaraja, N. V., Wilson, J. A., Rivett, L., Stoneham, S. M., Bostock, J., Moses, S. E., Price, J. R., Weinbren, M., Loveday, H. P., Islam, J. & Wilson,

- A. P. R. 2021. SARS-CoV-2 routes of transmission and recommendations for preventing acquisition: joint British Infection Association (BIA), Healthcare Infection Society (HIS), Infection Prevention Society (IPS) and Royal College of Pathologists (RCPath) guidance. *Journal of Hospital Infection*, 114:79-103.
- Barker, J., Stevens, D. & Bloomfield, S. F. 2001. Spread and prevention of some common viral infections in community facilities and domestic homes. *Journal of Applied Microbiology*, 91(1):7-21.
- Bean, B., Moore, B. M., Sterner, B., Peterson, L. R., Gerding, D. N. & Balfour, H. H. 1982. Survival of Influenza-Viruses on Environmental Surfaces. *Journal of Infectious Diseases*, 146(1):47-51.
- Belser, J. A., Maines, T. R., Tumpey, T. M. & Katz, J. M. 2010. Influenza A virus transmission: contributing factors and clinical implications. *Expert Rev Mol Med*, 12:e39.
- Bennett, W. D. & Zeman, K. L. 2004. Effect of body size on breathing pattern and fine-particle deposition in children. *Journal of Applied Physiology*, 97(3):821-826.
- Bhanger, S., Adams, R. I., Pasut, W., Huffman, J. A., Arens, E. A., Taylor, J. W., Bruns, T. D. & Nazaroff, W. W. 2016. Chamber bioaerosol study: human emissions of size-resolved fluorescent biological aerosol particles. *Indoor Air*, 26(2):193-206.
- Billah, M. A., Miah, M. M. & Khan, M. N. 2020. Reproductive number of coronavirus: A systematic review and meta-analysis based on global level evidence. *Plos One*, 15(11).
- Bloch, A. B., Orenstein, W. A., Ewing, W. M., Spain, W. H., Mallison, G. F., Herrmann, K. L. & Hinman, A. R. 1985. Measles Outbreak in a Pediatric Practice - Airborne Transmission in an Office Setting. *Pediatrics*, 75(4):676-683.
- Bloom-Feshbach, K., Alonso, W. J., Charu, V., Tamerius, J., Simonsen, L., Miller, M. A. & Viboud, C. 2013. Latitudinal variations in seasonal activity of influenza and respiratory syncytial virus (RSV): a global comparative review. *PLoS One*, 8(2):e54445.
- Bo, Y., Guo, C., Lin, C., Zeng, Y., Li, H. B., Zhang, Y., Hossain, M. S., Chan, J. W. M., Yeung, D. W., Kwok, K. O., Wong, S. Y. S., Lau, A. K. H. & Lao, X. Q. 2021. Effectiveness of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 transmission in 190 countries from 23 January to 13 April 2020. *Int J Infect Dis*, 102:247-253.
- Bolashikov, Z. D. & Melikov, A. K. 2009. Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens. *Building and Environment*, 44(7):1378-1385.
- Boone, S. A. & Gerba, C. P. 2005. The occurrence of influenza A virus on household and day care center fomites. *Journal of Infection*, 51(2):103-109.
- Boone, S. A. & Gerba, C. P. 2007. Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(6):1687-1696.
- Bourouiba, L. 2016. A Sneeze. *New England Journal of Medicine*, 375(8):E15-E15.
- Bourouiba, L., Dehandschoewercker, E. & Bush, J. W. M. 2014. Violent expiratory events: on coughing and sneezing. *Journal of Fluid Mechanics*, 745:537-563.
- Brankston, G., Gitterman, L., Hirji, Z., Lemieux, C. & Gardam, M. 2007. Transmission of influenza A in human beings. *Lancet Infectious Diseases*, 7(4):257-265.

- Brauner, J. M., Mindermann, S., Sharma, M., Johnston, D., Salvatier, J., Gavenciak, T., Stephenson, A. B., Leech, G., Altman, G., Mikulik, V., Norman, A. J., Monrad, J. T., Besiroglu, T., Ge, H., Hartwick, M. A., Teh, Y. W., Chindelevitch, L., Gal, Y. & Kulveit, J. 2021. Inferring the effectiveness of government interventions against COVID-19. *Science*, 371(6531).
- Bright, K. R., Boone, S. A. & Gerba, C. P. 2010. Occurrence of Bacteria and Viruses on Elementary Classroom Surfaces and the Potential Role of Classroom Hygiene in the Spread of Infectious Diseases. *Journal of School Nursing*, 26(1):33-41.
- Bulfone, T. C., Malekinejad, M., Rutherford, G. W. & Razani, N. 2021. Outdoor Transmission of SARS-CoV-2 and Other Respiratory Viruses: A Systematic Review. *Journal of Infectious Diseases*, 223(4):550-561.
- Buonanno, G., Stabile, L. & Morawska, L. 2020. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International*, 141:105794.
- Bustamante-Marin, X. M. & Ostrowski, L. E. 2017. Cilia and Mucociliary Clearance. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 9(4):a028241.
- Cai, J., Sun, W. J., Huang, J. P., Gamber, M., Wu, J. & He, G. Q. 2020. Indirect Virus Transmission in Cluster of COVID-19 Cases, Wenzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(6):1343-1345.
- Calder, R. A., Duclos, P., Wilder, M. H., Pryor, V. L. & Scheel, W. J. 1991. Mycobacterium tuberculosis transmission in a health clinic. *Bull Int Union Tuberc Lung Dis*, 66(2-3):103-6.
- Canelli, R., Connor, C. W., Gonzalez, M., Nozari, A. & Ortega, R. 2020. Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation. *New England Journal of Medicine*, 382(20):1957-1958.
- Carter, C. H., Hendley, J. O., Mika, L. A. & Gwaltney, J. M., Jr. 1980. Rhinovirus inactivation by aqueous iodine in vitro and on skin. *Proc Soc Exp Biol Med*, 165(3):380-3.
- Casanova, L. M., Jeon, S., Rutala, W. A., Weber, D. J. & Sobsey, M. D. 2010. Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(9):2712-2717.
- Casey-Bryars, M., Griffin, J., McAloon, C., Byrne, A., Madden, J., Mc Evoy, D., Collins, A., Hunt, K., Barber, A., Butler, F., Lane, E. A., O'Brien, K., Wall, P., Walsh, K. & More, S. J. 2021. Presymptomatic transmission of SARS-CoV-2 infection: a secondary analysis using published data. *BMJ Open*, 11(6):e041240.
- CDC 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- CDC. 2021. Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission [Online]. Centers for Disease Control and Prevention. Available: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fcoronavirus%2F2019-ncov%2Fscience%2Fscience-briefs%2Fscientific-brief-sars-cov-2.html [Accessed].

- Chan, K. H., Peiris, J. S., Lam, S. Y., Poon, L. L., Yuen, K. Y. & Seto, W. H. 2011. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Adv Virol*, 2011:734690.
- Chang, S., Pierson, E., Koh, P. W., Gerardin, J., Redbird, B., Grusky, D. & Leskovec, J. 2021. Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature*, 589(7840):82-87.
- Cheng, V. C., Wong, S. C., Chuang, V. W., So, S. Y., Chen, J. H., Sridhar, S., To, K. K., Chan, J. F., Hung, I. F., Ho, P. L. & Yuen, K. Y. 2020. The role of community-wide wearing of face mask for control of coronavirus disease 2019 (COVID-19) epidemic due to SARS-CoV-2. *J Infect*, 81(1):107-114.
- Chin, A. W. H. & Poon, L. L. M. 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions reply. *Lancet Microbe*, 1(4):E146-E146.
- Chlif, M., Temfemo, A., Keochkerian, D., Choquet, D., Chaouachi, A. & Ahmaidi, S. 2015. Advanced Mechanical Ventilatory Constraints During Incremental Exercise in Class III Obese Male Subjects. *Respiratory Care*, 60(4):549-560.
- Chowell, G., Miller, M. A. & Viboud, C. 2008. Seasonal influenza in the United States, France, and Australia: transmission and prospects for control. *Epidemiology and Infection*, 136(6):852-864.
- Chu, D. K., Akl, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub, S., Schunemann, H. J. & Review, C.-S. U. 2020. 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. *Lancet*, 395(10242):1973-1987.
- Coulliette, A. D., Perry, K. A., Edwards, J. R. & Noble-Wang, J. A. 2013. Persistence of the 2009 Pandemic Influenza A (H1N1) Virus on N95 Respirators. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(7):2148-2155.
- Cowling, B. J., Chan, K. H., Fang, V. J., Cheng, C. K. Y., Fung, R. O. P., Wai, W., Sin, J., Seto, W. H., Yung, R., Chu, D. W. S., Chiu, B. C. F., Lee, P. W. Y., Chiu, M. C., Lee, H. C., Uyeki, T. M., Houck, P. M., Peiris, J. S. M. & Leung, G. M. 2009. Facemasks and Hand Hygiene to Prevent Influenza Transmission in Households A Cluster Randomized Trial. *Annals of Internal Medicine*, 151(7):437-W144.
- Cowling, B. J., Ip, D. K., Fang, V. J., Suntarattiwong, P., Olsen, S. J., Levy, J., Uyeki, T. M., Leung, G. M., Malik Peiris, J. S., Chotpitayasunondh, T., Nishiura, H. & Mark Simmerman, J. 2013. Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread. *Nat Commun*, 4:1935.
- D'Alessio, D. J., Meschievitz, C. K., Peterson, J. A., Dick, C. R. & Dick, E. C. 1984. Short-Duration Exposure and the Transmission of Rhinoviral Colds. *Journal of Infectious Diseases*, 150(2):189-194.
- Danielsson, C. B., Chungkham, H. S., Wulff, C. & Westerlund, H. 2014. Office design's impact on sick leave rates. *Ergonomics*, 57(2):139-147.
- De Backer, W., Devolder, A., Poli, G., Acerbi, D., Monno, R., Herpich, C., Sommerer, K., Meyer, T. & Mariotti, F. 2010. Lung Deposition of BDP/Formoterol HFA pMDI in Healthy Volunteers, Asthmatic, and COPD Patients. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 23(3):137-148.

- de Man, P., Paltansing, S., Ong, D. S. Y., Vaessen, N., van Nielen, G. & Koelman, J. G. M. 2021. Outbreak of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in a Nursing Home Associated With Aerosol Transmission as a Result of Inadequate Ventilation. *Clin Infect Dis*, 73(1):170-171.
- Dick, E. C., Jennings, L. C., Mink, K. A., Wartgow, C. D. & Inhorn, S. L. 1987. Aerosol Transmission of Rhinovirus Colds. *Journal of Infectious Diseases*, 156(3):442-448.
- Dondero, T. J., Rendtorff, R. C., Mallison, G. F., Weeks, R. M., Levy, J. S., Wong, E. W. & Schaffner, W. 1980. Outbreak of Legionnaires-Disease Associated with a Contaminated Air-Conditioning Cooling-Tower. *New England Journal of Medicine*, 302(7):365-370.
- Doung-ngern, P., Suphanchaimat, R., Panjangampatthana, A., Janekrongtham, C., Ruampoom, D., Daochaeng, N., Eungkanit, N., Pisitpayat, N., Srisong, N., Yasopa, O., Plernprom, P., Promduangsi, P., Kumphon, P., Suangtho, P., Watakulsin, P., Chaiya, S., Kripattanapong, S., Chantian, T., Bloss, E., Namwat, C., et al. 2020. Case-Control Study of Use of Personal Protective Measures and Risk for SARS Coronavirus 2 Infection, Thailand. *Emerging Infectious Diseases*, 26(11):2607-2616.
- Dyrdak, R., Hodcroft, E. B., Wahlund, M., Neher, R. A. & Albert, J. 2021. Interactions between seasonal human coronaviruses and implications for the SARS-CoV-2 pandemic: A retrospective study in Stockholm, Sweden, 2009-2020. *Journal of clinical virology : the official publication of the Pan American Society for Clinical Virology*, 136:104754-104754.
- Eveillard, M., Joly-Guillou, M. L. & Brunel, P. 2012. Correlation between glove use practices and compliance with hand hygiene in a multicenter study with elderly patients. *American Journal of Infection Control*, 40(4):387-388.
- Fears, A. C., Klimstra, W. B., Duprex, P., Hartman, A., Weaver, S. C., Plante, K. S., Mirchandani, D., Plante, J. A., Aguilar, P. V., Fernandez, D., Nalca, A., Totura, A., Dyer, D., Kearney, B., Lackemeyer, M., Bohannon, J. K., Johnson, R., Garry, R. F., Reed, D. S. & Roy, C. J. 2020. Persistence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Aerosol Suspensions. *Emerging Infectious Diseases*, 26(9):2168-2171.
- Fisman, D. 2012. Seasonality of viral infections: mechanisms and unknowns. *Clinical Microbiology and Infection*, 18(10):946-954.
- Fuller, C., Savage, J., Besser, S., Hayward, A., Cookson, B., Cooper, B. & Stone, S. 2011. "The Dirty Hand in the Latex Glove": A Study of Hand Hygiene Compliance When Gloves Are Worn. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 32(12):1194-1199.
- Gani, R. & Leach, S. 2001. Transmission potential of smallpox in contemporary populations. *Nature*, 414(6865):748-751.
- Gettings, J., Czarnik, M., Morris, E., Haller, E., Thompson-Paul, A. M., Rasberry, C., Lanzieri, T. M., Smith-Grant, J., Aholou, T. M., Thomas, E., Drenzek, C. & MacKellar, D. 2021. Mask Use and Ventilation Improvements to Reduce COVID-19 Incidence in Elementary Schools - Georgia, November 16-December 11, 2020. *Mmwr-Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(21):779-784.
- Goldman, E. 2020. Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fomites (vol 20, pg 892, 2020). *Lancet Infectious Diseases*, 20(9):E215-E215.
- Grayson, M. L., Melvani, S., Druce, J., Barr, I. G., Ballard, S. A., Johnson, P. D. R., Mastorakos, T. & Birch, C. 2009. Efficacy of Soap and Water and Alcohol-Based Hand-Rub

- Preparations against Live H1N1 Influenza Virus on the Hands of Human Volunteers. *Clinical Infectious Diseases*, 48(3):285-291.
- Gregson, F. K. A., Watson, N. A., Orton, C. M., Haddrell, A. E., McCarthy, L. P., Finnie, T. J. R., Gent, N., Donaldson, G. C., Shah, P. L., Calder, J. D., Bzdek, B. R., Costello, D. & Reid, J. P. 2021. Comparing aerosol concentrations and particle size distributions generated by singing, speaking and breathing. *Aerosol Science and Technology*, 55(6):681-691.
- Guerra, F. M., Bolotin, S., Lim, G., Heffernan, J., Deeks, S. L., Li, Y. & Crowcroft, N. S. 2017. The basic reproduction number (R-0) of measles: a systematic review. *Lancet Infectious Diseases*, 17(12):E420-E428.
- Gustafson, T. L., Lavelly, G. B., Brawner, E. R., Hutcheson, R. H., Wright, P. F. & Schaffner, W. 1982. An Outbreak of Airborne Nosocomial Varicella. *Pediatrics*, 70(4):550-556.
- Hamilton, F., Arnold, D., Bzdek, B. R., Dodd, J., group, A., Reid, J. & Maskell, N. 2021. Aerosol generating procedures: are they of relevance for transmission of SARS-CoV-2? *Lancet Respir Med*, 9(7):687-689.
- Hamner, L., Dubbel, P., Capron, I., Ross, A., Jordan, A., Lee, J., Lynn, J., Ball, A., Narwal, S., Russell, S., Patrick, D. & Leibrand, H. 2020. High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice - Skagit County, Washington, March 2020. *Mmwr-Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(19):606-610.
- Han, Z. Y., Weng, W. G. & Huang, Q. Y. 2013. Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze. *Journal of the Royal Society Interface*, 10(88).
- Harbour, D. E., Haddow, A. D., Piper, A. E., Bloomfield, H., Kearney, B. J., Fetterer, D., Gibson, K. & Minogue, T. 2020. Modeling the stability of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) on skin, currency, and clothing. *PLoS Negl Trop Dis*, 14(11):e0008831.
- Haug, N., Geyrhofer, L., Londei, A., Dervic, E., Desvars-Larrive, A., Loreto, V., Pinior, B., Thurner, S. & Klimek, P. 2020. Ranking the effectiveness of worldwide COVID-19 government interventions. *Nature Human Behaviour*, 4(12).
- Herfst, S., Schrauwen, E. J. A., Linster, M., Chutinimitkul, S., de Wit, E., Munster, V. J., Sorrell, E. M., Bestebroer, T. M., Burke, D. F., Smith, D. J., Rimmelzwaan, G. F., Osterhaus, A. D. M. E. & Fouchier, R. A. M. 2012. Airborne Transmission of Influenza A/H5N1 Virus Between Ferrets. *Science*, 336(6088):1534-1541.
- Hinds, W. C. 1999. *Aerosol technology : properties, behavior, and measurement of airborne particles*, New York, Wiley.
- Hirose, R., Ikegaya, H., Naito, Y., Watanabe, N., Yoshida, T., Bandou, R., Daidoji, T., Itoh, Y. & Nakaya, T. 2020. Survival of SARS-CoV-2 and influenza virus on the human skin: Importance of hand hygiene in COVID-19. *Clin Infect Dis*.
- Hussein, T., Löndahl, J., Paasonen, P., Koivisto, A. J., Petaja, T., Hameri, K. & Kulmala, M. 2013. Modeling regional deposited dose of submicron aerosol particles. *Sci Total Environ*, 458-460:140-9.
- Hussein, T., Löndahl, J., Thuresson, S., Alsved, M., Al-Hunaiti, A., Saksela, K., Aqel, H., Junninen, H., Mahura, A. & Kulmala, M. 2021. Indoor Model Simulation for COVID-19

- Transport and Exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6).
- Hwang, S. E., Chang, J. H., Oh, B. & Heo, J. 2021. Possible aerosol transmission of COVID-19 associated with an outbreak in an apartment in Seoul, South Korea, 2020. *International Journal of Infectious Diseases*, 104:73-76.
- ICRP 1994. Human respiratory tract model for radiological protection. A report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection.
- IHE 2014. Samhällets kostnader för utbrottet av pandemisk influensa A(H1N1) : 2009/2010. In: MSB (ed.).
- Ijaz, M. K., Nims, R. W. & McKinney, J. 2021. Indirect transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus virus 2 (SARS-CoV-2): What do we know and what do we not know? *Infect Control Hosp Epidemiol*:1-2.
- Johnson, D. L., Mead, K. R., Lynch, R. A. & Hirst, D. V. L. 2013. Lifting the lid on toilet plume aerosol: A literature review with suggestions for future research. *American Journal of Infection Control*, 41(3):254-258.
- Jones, N. R., Qureshi, Z. U., Temple, R. J., Larwood, J. P. J., Greenhalgh, T. & Bourouiba, L. 2020. Two metres or one: what is the evidence for physical distancing in covid-19? *BMJ - British Medical Journal*, 370:m3223.
- Kampf, G., Bruggemann, Y., Kaba, H. E. J., Steinmann, J., Pfaender, S., Scheithauer, S. & Steinmann, E. 2020a. Review Potential sources, modes of transmission and effectiveness of prevention measures against SARS-CoV-2. *Journal of Hospital Infection*, 106(4):678-697.
- Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S. & Steinmann, E. 2020b. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, 104(3):246-251.
- Karimzadeh, S., Bhopal, R. & Nguyen Tien, H. 2021. Review of infective dose, routes of transmission and outcome of COVID-19 caused by the SARS-COV-2: comparison with other respiratory viruses- CORRIGENDUM. *Epidemiol Infect*, 149:e116.
- Karlsson, U. & Fraenkel, C. J. 2020. Complete protection from covid-19 is possible for health workers All they need is the right protective equipment. *BMJ - British Medical Journal*, 370.
- Katellaris, A. L., Wells, J., Clark, P., Norton, S., Rockett, R., Arnott, A., Sintchenko, V., Corbett, S. & Bag, S. K. 2021. Epidemiologic Evidence for Airborne Transmission of SARS-CoV-2 during Church Singing, Australia, 2020. *Emerg Infect Dis*, 27(6):1677-1680.
- Killingley, B. & Nguyen-Van-Tam, J. 2013. Routes of influenza transmission. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 7:42-51.
- Kim, C. S. & Jaques, P. A. 2004. Analysis of total respiratory deposition of inhaled ultrafine particles in adult subjects at various breathing patterns. *Aerosol Science and Technology*, 38(6):525-540.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C. & Engelmann, W. H. 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 11(3):231-52.

- Koster, F., Gouveia, K., Zhou, Y., Lowery, K., Russell, R., MacInnes, H., Pollock, Z., Layton, R. C., Cromwell, J., Toleno, D., Pyle, J., Zubelewicz, M., Harrod, K., Sampath, R., Hofstadler, S., Gao, P., Liu, Y. & Cheng, Y. S. 2012. Exhaled aerosol transmission of pandemic and seasonal H1N1 influenza viruses in the ferret. *PLoS One*, 7(4):e33118.
- Kovatsis, P. G., Matava, C. T. & Peyton, J. M. 2020. More on Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation. *New England Journal of Medicine*, 382(21).
- Kratzel, A., Todt, D., V'kovski, P., Steiner, S., Gultom, M., Thao, T. T. N., Ebert, N., Holwerda, M., Steinmann, J., Niemeyer, D., Dijkman, R., Kampf, G., Drosten, C., Steinmann, E., Thiel, V. & Pfaender, S. 2020. Inactivation of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 by WHO-Recommended Hand Rub Formulations and Alcohols. *Emerging Infectious Diseases*, 26(7):1592-1595.
- Kretzschmar, M., Teunis, P. F. M. & Pebody, R. G. 2010. Incidence and Reproduction Numbers of Pertussis: Estimates from Serological and Social Contact Data in Five European Countries. *Plos Medicine*, 7(6).
- Kudo, E., Song, E., Yockey, L. J., Rakib, T., Wong, P. W., Homer, R. J. & Iwasaki, A. 2019. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(22):10905-10910.
- Kurgat, E. K., Sexton, J. D., Garavito, F., Reynolds, A., Contreras, R. D., Gerba, C. P., Leslie, R. A., Edmonds-Wilson, S. L. & Reynolds, K. A. 2019. Impact of a hygiene intervention on virus spread in an office building. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(3):479-485.
- Kutter, J. S., de Meulder, D., Bestebroer, T. M., Lexmond, P., Mulders, A., Richard, M., Fouchier, R. A. M. & Herfst, S. 2021. SARS-CoV and SARS-CoV-2 are transmitted through the air between ferrets over more than one meter distance. *Nature Communications*, 12(1).
- Kutter, J. S., Spronken, M. I., Fraaij, P. L., Fouchier, R. A. M. & Herfst, S. 2018. Transmission routes of respiratory viruses among humans. *Current Opinion in Virology*, 28:142-151.
- Lednický, J. A., Lauzardo, M., Fan, Z. H., Jutla, A., Tilly, T. B., Gangwar, M., Usmani, M., Shankar, S. N., Mohamed, K., Eiguren-Fernandez, A., Stephenson, C. J., Alam, M. M., Elbadry, M. A., Loeb, J. C., Subramaniam, K., Waltzek, T. B., Cherabuddi, K., Morris, J. G. & Wu, C. Y. 2020. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *International Journal of Infectious Diseases*, 100:476-482.
- Lei, H., Li, Y., Xiao, S., Lin, C. H., Norris, S. L., Wei, D., Hu, Z. & Ji, S. 2018. Routes of transmission of influenza A H1N1, SARS CoV, and norovirus in air cabin: Comparative analyses. *Indoor Air*, 28(3):394-403.
- Leung, N. H. L. 2021. Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 19(8):528-545.
- Lewis, D. 2021. Covid-19 Rarely Spreads through Surfaces. So Why Are We Still Deep Cleaning? *Nature*, 590(7844):26-28.
- Li, Y., Huang, X., Yu, I. T. S., Wong, T. W. & Qian, H. 2005. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air*, 15(2):83-95.

- Li, Y. G., Qian, H., Hang, J., Chen, X. G., Cheng, P., Ling, H., Wang, S. Q., Liang, P., Li, J. S., Xiao, S. L., Wei, J. J., Liu, L., Cowling, B. J. & Kang, M. 2021. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Building and Environment*, 196:107788.
- Liang, M., Gao, L., Cheng, C., Zhou, Q., Uy, J. P., Heiner, K. & Sun, C. 2020. Efficacy of face mask in preventing respiratory virus transmission: A systematic review and meta-analysis. *Travel Med Infect Dis*, 36:101751.
- Licina, D., Pantelic, J., Melikov, A., Sekhar, C. & Tham, K. W. 2014. Experimental investigation of the human convective boundary layer in a quiescent indoor environment. *Building and Environment*, 75:79-91.
- Licina, D., Tian, Y. & Nazaroff, W. W. 2017. Emission rates and the personal cloud effect associated with particle release from the perihuman environment. *Indoor Air*, 27(4):791-802.
- Lieber, C., Melekidis, S., Koch, R. & Bauer, H. J. 2021. Insights into the evaporation characteristics of saliva droplets and aerosols: Levitation experiments and numerical modeling. *Journal of Aerosol Science*, 154:105760.
- Lindsley, W. G., Blachere, F. M., Beezhold, D. H., Thewlis, R. E., Noorbakhsh, B., Othumpangat, S., Goldsmith, W. T., McMillen, C. M., Andrew, M. E., Burrell, C. N. & Noti, J. D. 2016. Viable influenza A virus in airborne particles expelled during coughs versus exhalations. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 10(5):404-413.
- Liu, Y. & Rocklöv, J. 2021. The reproductive number of the Delta variant of SARS-CoV-2 is far higher compared to the ancestral SARS-CoV-2 virus. *Journal of Travel Medicine*.
- Lloyd-Smith, J. O., Schreiber, S. J., Kopp, P. E. & Getz, W. M. 2005. Superspreading and the effect of individual variation on disease emergence. *Nature*, 438(7066):355-359.
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J. & Palese, P. 2007. Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature. *PLOS Pathogens*, 3(10):e151.
- Luckhaupt, S. E., Sweeney, M. H., Funk, R., Calvert, G. M., Nowell, M., D'Mello, T., Reingold, A., Meek, J., Yousey-Hindes, K., Arnold, K. E., Ryan, P., Lynfield, R., Morin, C., Baumbach, J., Zansky, S., Bennett, N. M., Thomas, A., Schaffner, W. & Jones, T. 2012. Influenza-associated hospitalizations by industry, 2009-10 influenza season, United States. *Emerg Infect Dis*, 18(4):556-62.
- Lyu, W. & Wehby, G. L. 2020. Community Use Of Face Masks And COVID-19: Evidence From A Natural Experiment Of State Mandates In The US. *Health Affairs*, 39(8):1419-1425.
- Löndahl, J. 2014. Physical and Biological Properties of Bioaerosols. In: Jonsson, P., Olofsson, G. & Tjärnhage, T. (eds.) *Bioaerosol Detection Technologies*. 1 ed. New York: Springer-Verlag.
- Löndahl, J., Jakobsson, J. K., Broday, D. M., Aaltonen, H. L. & Wollmer, P. 2017. Do nanoparticles provide a new opportunity for diagnosis of distal airspace disease? *Int J Nanomedicine*, 12:41-51.
- Löndahl, J., Massling, A., Pagels, J., Swietlicki, E., Vaclavik, E. & Loft, S. 2007. Size-resolved respiratory-tract deposition of fine and ultrafine hydrophobic and hygroscopic aerosol particles during rest and exercise. *Inhal Toxicol*, 19(2):109-16.

- McDevitt, J., Rudnick, S., First, M. & Spengler, J. 2010. Role of Absolute Humidity in the Inactivation of Influenza Viruses on Stainless Steel Surfaces at Elevated Temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(12):3943-3947.
- Meyerowitz, E. A., Richterman, A., Gandhi, R. T. & Sax, P. E. 2021. Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. *Annals of Internal Medicine*, 174(1):69-+.
- Mitze, T., Kosfeld, R., Rode, J. & Walde, K. 2020. Face masks considerably reduce COVID-19 cases in Germany. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 117(51):32293-32301.
- Moriyama, M., Hugentobler, W. J. & Iwasaki, A. 2020. Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annu Rev Virol*, 7(1):83-101.
- Myatt, T. A., Staudenmayer, J., Adams, K., Walters, M., Rudnick, S. N. & Milton, D. K. 2002. A study of indoor carbon dioxide levels and sick leave among office workers. *Environmental Health*, 1(1):3.
- Möller, W., Felten, K., Sommerer, K., Scheuch, G., Meyer, G., Meyer, P., Haussinger, K. & Kreyling, W. G. 2008. Deposition, retention, and translocation of ultrafine particles from the central airways and lung periphery. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177(4):426-432.
- Ng, O. T., Marimuthu, K., Koh, V., Pang, J. X., Linn, K. Z., Sun, J., Wang, L. D., Chia, W. N., Tiu, C., Chan, M., Ling, L., Vasoo, S., Abdad, M. Y., Chia, P. Y., Lee, T. H., Lin, R. J., Sadarangani, S. P., Chen, M. I. C., Said, Z., Kurupatham, L., et al. 2021. SARS-CoV-2 seroprevalence and transmission risk factors among high-risk close contacts: a retrospective cohort study. *Lancet Infectious Diseases*, 21(3):333-343.
- Nicas, M. & Jones, R. M. 2009. Relative Contributions of Four Exposure Pathways to Influenza Infection Risk. *Risk Analysis*, 29(9):1292-1303.
- Niffenegger, J. P. 1997. Proper handwashing promotes wellness in child care. *J Pediatr Health Care*, 11(1):26-31.
- Nissen, K., Krambrich, J., Akaberi, D., Hoffman, T., Ling, J. X., Lundkvist, A., Svensson, L. & Salaneck, E. 2020. Long-distance airborne dispersal of SARS-CoV-2 in COVID-19 wards. *Scientific Reports*, 10(1).
- Ong, S. W. X., Tan, Y. K., Chia, P. Y., Lee, T. H., Ng, O. T., Wong, M. S. Y. & Marimuthu, K. 2020. Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient. *Jama-Journal of the American Medical Association*, 323(16):1610-1612.
- Ortega, R., Nozari, A. & Canelli, R. 2020. More on Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation Reply. *New England Journal of Medicine*, 382(21).
- Otter, J. A., Donskey, C., Yezli, S., Douthwaite, S., Goldenberg, S. D. & Weber, D. J. 2016. Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination. *Journal of Hospital Infection*, 92(3):235-250.
- Otto, S. P., Day, T., Arino, J., Colijn, C., Dushoff, J., Li, M., Mechai, S., Van Domselaar, G., Wu, J., Earn, D. J. D. & Ogden, N. H. 2021. The origins and potential future of SARS-CoV-2 variants of concern in the evolving COVID-19 pandemic. *Curr Biol*, 31(14):R918-R929.

- Pan, J., Harb, C., Leng, W. & Marr, L. C. 2021. Inward and outward effectiveness of cloth masks, a surgical mask, and a face shield. *Aerosol Science and Technology*, 55(6):718-733.
- Park, S. Y., Kim, Y.-M., Yi, S., Lee, S., Na, B.-J., Kim, C. B., Kim, J.-i., Kim, H. S., Kim, Y. B., Park, Y., Huh, I. S., Kim, H. K., Yoon, H. J., Jang, H., Kim, K., Chang, Y., Kim, I., Lee, H., Gwack, J., Kim, S. S., et al. 2020. Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea. *Emerging Infectious Disease journal*, 26(8):1666.
- Public Health England 2021. Disparities in the risk and outcomes of COVID-19. PHE publications. London.
- Rabenau, H. F., Cinatl, J., Morgenstern, B., Bauer, G., Preiser, W. & Doerr, H. W. 2005. Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Medical Microbiology and Immunology*, 194(1-2):1-6.
- Ran, L., Chen, X. Y., Wang, Y., Wu, W. W., Zhang, L. & Tan, X. D. 2020. Risk Factors of Healthcare Workers With Coronavirus Disease 2019: A Retrospective Cohort Study in a Designated Hospital of Wuhan in China. *Clinical Infectious Diseases*, 71(16):2218-2221.
- Reiman, J. M., Das, B., Sindberg, G. M., Urban, M. D., Hammerlund, M. E. M., Lee, H. B., Spring, K. M., Lyman-Gingerich, J., Generous, A. R., Koep, T. H., Ewing, K., Lilja, P., Enders, F. T., Ekker, S. C., Huskins, W. C., Fadel, H. J. & Pierret, C. 2018. Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A. *PLoS One*, 13(9):e0204337.
- Reynolds, K. A., Sexton, J. D., Pivo, T., Humphrey, K., Leslie, R. A. & Gerba, C. P. 2019. Microbial transmission in an outpatient clinic and impact of an intervention with an ethanol-based disinfectant. *American Journal of Infection Control*, 47(2):128-132.
- Riley, E. C., Murphy, G. & Riley, R. L. 1978. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *Am J Epidemiol*, 107(5):421-32.
- Rissler, J., Gudmundsson, A., Nicklasson, H., Swietlicki, E., Wollmer, P. & Londahl, J. 2017. Deposition efficiency of inhaled particles (15-5000 nm) related to breathing pattern and lung function: an experimental study in healthy children and adults. *Part Fibre Toxicol*, 14(1):10.
- Roestenberg, M., Hoogerwerf, M. A., Ferreira, D. M., Mordmuller, B. & Yazdanbakhsh, M. 2018. Experimental infection of human volunteers. *Lancet Infectious Diseases*, 18(10):E312-E322.
- Rosenblatt, W. H. & Sherman, J. D. 2020. More on Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation. *New England Journal of Medicine*, 382(21).
- Rudnick, S. N. & Milton, D. K. 2003. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air*, 13(3):237-45.
- Rusin, P., Maxwell, S. & Gerba, C. 2002. Comparative surface-to-hand and fingertip-to-mouth transfer efficiency of gram-positive bacteria, gram-negative bacteria, and phage. *Journal of Applied Microbiology*, 93(4):585-592.
- Santarpia, J. L., Rivera, D. N., Herrera, V. L., Morwitzer, M. J., Creager, H. M., Santarpia, G. W., Crown, K. K., Brett-Major, D. M., Schnaubelt, E. R., Broadhurst, M. J., Lawler, J. V., Reid, S. & Lowe, J. J. 2020. Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Scientific Reports*, 10(1).

- Schweizer, C., Edwards, R. D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W. J., Ilacqua, V., Juhani Jantunen, M., Lai, H. K., Nieuwenhuijsen, M. & Künzli, N. 2007. Indoor time–microenvironment–activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17(2):170-181.
- Sender, R., Bar-On, Y. M., Gleizer, S., Bernshtein, B., Flamholz, A., Phillips, R. & Milo, R. 2021. The total number and mass of SARS-CoV-2 virions. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 118(25).
- Shen, Y., Li, C. W., Dong, H. J., Wang, Z., Martinez, L., Sun, Z., Handel, A., Chen, Z. P., Chen, E. F., Ebell, M. H., Wang, F., Yi, B., Wang, H. B., Wang, X. X., Wang, A. H., Chen, B. B., Qi, Y. L., Liang, L. R., Li, Y., Ling, F., et al. 2020. Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China. *Jama Internal Medicine*, 180(12):1665-1671.
- Shiu, E. Y. C., Leung, N. H. L. & Cowling, B. J. 2019. Controversy around airborne versus droplet transmission of respiratory viruses: implication for infection prevention. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 32(4):372-379.
- Sia, S. F., Yan, L. M., Chin, A. W. H., Fung, K., Choy, K. T., Wong, A. Y. L., Kaewpreedee, P., Perera, R. A. P. M., Poon, L. L. M., Nicholls, J. M., Peiris, M. & Yen, H. L. 2020. Pathogenesis and transmission of SARS-CoV-2 in golden hamsters. *Nature*, 583(7818):834+.
- Simmerman, J. M., Suntarattiwong, P., Levy, J., Gibbons, R. V., Cruz, C., Shaman, J., Jarman, R. G. & Chotpitayasunondh, T. 2010. Influenza Virus Contamination of Common Household Surfaces during the 2009 Influenza A (H1N1) Pandemic in Bangkok, Thailand: Implications for Contact Transmission. *Clinical Infectious Diseases*, 51(9):1053-1061.
- Sneppen, K., Nielsen, B. F., Taylor, R. J. & Simonsen, L. 2021. Overdispersion in COVID-19 increases the effectiveness of limiting nonrepetitive contacts for transmission control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(14).
- Sullivan, A., Edlund, C. & Nord, C. E. 2001. Effect of antimicrobial agents on the ecological balance of human microflora. *Lancet Infect Dis*, 1(2):101-114.
- Sundell, N., Andersson, L. M., Brittain-Long, R., Lindh, M. & Westin, J. 2016. A four year seasonal survey of the relationship between outdoor climate and epidemiology of viral respiratory tract infections in a temperate climate. *J Clin Virol*, 84:59-63.
- Tang, J. W. 2009. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society Interface*, 6:S737-S746.
- Tang, J. W., Eames, I., Li, Y., Taha, Y. A., Wilson, P., Bellingan, G., Ward, K. N. & Breuer, J. 2005. Door-opening motion can potentially lead to a transient breakdown in negative-pressure isolation conditions: the importance of vorticity and buoyancy airflows. *Journal of Hospital Infection*, 61(4):283-286.
- Tang, J. W., Li, Y., Eames, I., Chan, P. K. S. & Ridgway, G. L. 2006. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection*, 64(2):100-114.
- Tellier, R. 2007. Questioning aerosol transmission of influenza - Response. *Emerging Infectious Diseases*, 13(1):174-175.

- Tellier, R. 2009. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *Journal of the Royal Society Interface*, 6:S783-S790.
- Tellier, R., Li, Y. G., Cowling, B. J. & Tang, J. W. 2019. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary. *BMC Infectious Diseases*, 19.
- Thomas, Y., Vogel, G., Wunderli, W., Suter, P., Witschi, M., Koch, D., Tapparel, C. & Kaiser, L. 2008. Survival of influenza virus on banknotes. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(10):3002-3007.
- Thureson, S., Fraenkel, C. J., Sasinovich, S., Solemyr, J., Widell, A., Medstrand, P., Alsved, M. & Löndahl, J. 2021. Airborne SARS-CoV-2 in hospitals – effects of aerosol generating procedures, HEPA-filtration units, duration of illness and physical distance.
- Tobin, M. J., Chadha, T. S., Jenouri, G., Birch, S. J., Gazeroglu, H. B. & Sackner, M. A. 1983. Breathing Patterns .2. Diseased Subjects. *Chest*, 84(3):286-294.
- Tran, K., Cimon, K., Severn, M., Pessoa-Silva, C. L. & Conly, J. 2012. Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to healthcare workers: a systematic review. *PLoS One*, 7(4):e35797.
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E. & Munster, V. J. 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16):1564-1567.
- van Doremalen, N., Bushmaker, T. & Munster, V. J. 2013. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Eurosurveillance*, 18(38):7-10.
- Van Dyke, M. E., Rogers, T. M., Pevzner, E., Satterwhite, C. L., Shah, H. B., Beckman, W. J., Ahmed, F., Hunt, D. C. & Rule, J. 2020. Trends in County-Level COVID-19 Incidence in Counties With and Without a Mask Mandate - Kansas, June 1-August 23, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 69(47):1777-1781.
- Wang, Y., Tian, H. Y., Zhang, L., Zhang, M., Guo, D. D., Wu, W. T., Zhang, X. X., Kan, G. L., Jia, L., Huo, D., Liu, B. W., Wang, X. L., Sun, Y., Wang, Q. Y., Yang, P. & MacIntyre, C. R. 2020. Reduction of secondary transmission of SARS-CoV-2 in households by face mask use, disinfection and social distancing: a cohort study in Beijing, China. *BMJ Global Health*, 5(5).
- Vejerano, E. P. & Marr, L. C. 2018. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(139).
- Wells, W. F. 1934. On air-borne infection - Study II Droplets and droplet nuclei. *American Journal of Hygiene*, 20(3):611-618.
- Wells, W. F. 1955. Airborne contagion and air hygiene, Cambridge., Published for the Commonwealth Fund by Harvard University Press.
- WHO 2003. Consensus document on the epidemiology of severe acute respiratory syndrome (SARS). Geneva: World Health Organization.
- von Rheinbaben, F., Schunemann, S., Gross, T. & Wolff, M. H. 2000. Transmission of viruses via contact in a household setting: experiments using bacteriophage phi X174 as a model virus. *Journal of Hospital Infection*, 46(1):61-66.

- Woolhouse, M. E. J., Dye, C., Etard, J. F., Smith, T., Charlwood, J. D., Garnett, G. P., Hagan, P., Hii, J. L. K., Ndhlovu, P. D., Quinnell, R. J., Watts, C. H., Chandiwana, S. K. & Anderson, R. M. 1997. Heterogeneities in the transmission of infectious agents: Implications for the design of control programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(1):338-342.
- World Health, O. 2020. Mask use in the context of COVID-19: interim guidance, 1 December 2020. Geneva: World Health Organization.
- Vuorinen, V., Aarnio, M., Alava, M., Alopaeus, V., Atanasova, N., Auvinen, M., Balasubramanian, N., Bordbar, H., Erasto, P., Grande, R., Hayward, N., Hellsten, A., Hostikka, S., Hokkanen, J., Kaario, O., Karvinen, A., Kivisto, I., Korhonen, M., Kosonen, R., Kuusela, J., et al. 2020. Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. *Saf Sci*, 130:104866.
- Vårdhandboken. 2019. Smitta och smittspridning [Online]. Available: <https://www.vardhandboken.se/vardehygien-infektioner-och-smittspridning/infektioner-och-smittspridning/smitta-och-smittspridning/smittvagar/> [Accessed].
- Xie, C., Zhao, H., Li, K., Zhang, Z., Lu, X., Peng, H., Wang, D., Chen, J., Zhang, X., Wu, D., Gu, Y., Yuan, J., Zhang, L. & Lu, J. 2020. The evidence of indirect transmission of SARS-CoV-2 reported in Guangzhou, China. *BMC Public Health*, 20(1):1202.
- Xie, X., Li, Y., Chwang, A. T. Y., Ho, P. L. & Seto, W. H. 2007. How far droplets can move in indoor environments - revisiting the Wells evaporation-falling curve. *INDOOR AIR*, 17(3):211-225.
- Xie, X. J., Li, Y. G., Sun, H. Q. & Liu, L. 2009. Exhaled droplets due to talking and coughing. *Journal of the Royal Society Interface*, 6:S703-S714.
- Yang, S. H., Lee, G. W. M., Chen, C. M., Wu, C. C. & Yu, K. P. 2007. The size and concentration of droplets generated by coughing in human subjects. *Journal of Aerosol Medicine-Deposition Clearance and Effects in the Lung*, 20(4):484-494.
- Yao, H. P., Song, Y. T., Chen, Y., Wu, N. P., Xu, J. L., Sun, C. J., Zhang, J. X., Weng, T. H., Zhang, Z. Y., Wu, Z. G., Cheng, L. F., Shi, D. R., Lu, X. Y., Lei, J. L., Crispin, M., Shi, Y. G., Li, L. J. & Li, S. 2020. Molecular Architecture of the SARS-CoV-2 Virus. *Cell*, 183(3):730-+.
- Yezli, S. & Otter, J. A. 2011. Minimum Infective Dose of the Major Human Respiratory and Enteric Viruses Transmitted Through Food and the Environment. *Food and Environmental Virology*, 3(1):1-30.
- Zhao, J. J., Eisenberg, J. E., Spicknall, I. H., Li, S. & Koopman, J. S. 2012. Model Analysis of Fomite Mediated Influenza Transmission. *Plos One*, 7(12).
- Zhou, J., Otter, J. A., Price, J. R., Cimpeanu, C., Meno Garcia, D., Kinross, J., Boshier, P. R., Mason, S., Bolt, F., Holmes, A. H. & Barclay, W. S. 2021. Investigating Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Surface and Air Contamination in an Acute Healthcare Setting During the Peak of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic in London. *Clin Infect Dis*, 73(7):e1870-e1877.
- Zhou, J., Wei, J. J., Choy, K. T., Sia, S. F., Rowlands, D. K., Yu, D., Wu, C. Y., Lindsley, W. G., Cowling, B. J., McDevitt, J., Peiris, M., Li, Y. G. & Yen, H. L. 2018. Defining the sizes of

airborne particles that mediate influenza transmission in ferrets. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(10):E2386-E2392.