

Orientační překlad článku

Turbulentní aerodynamika vydechovaných plynů a emise respiračních patogenů - potencionální využití nových poznatků pro snížení přenosu onemocnění COVID-19

[Lydia Bourouiba, PhD¹](#)

¹The Fluid Dynamics of Disease Transmission Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge

JAMA. Published online March 26, 2020. doi:10.1001/jama.2020.4756

Článek obsahuje video rozptylu kapének po kýchnutí: [Video \(1:23\)](#)

Onemocnění novým typem koronaviru, COVID-19, demonstruje, jak významnou zátěž pro zdraví lidí představují respirační infekční onemocnění v globalizovaném světě. Ve snaze omezit šíření COVID-19 byly zavedeny bezprecedentní politická opatření, včetně omezení cestování, prověřování a testování cestujících, izolace a karantény, a uzavření škol.

Hlavním cílem těchto opatření je omezit setkávání infikovaných a vnímavých jedinců a tím zpomalit rychlost přenosu onemocnění v populaci. Přestože jsou tyto distanční sociální strategie v současné době zcela zásadní, zůstává překvapivé, že současné chápání cest přenosu mezi hostiteli u infekčních onemocnění dýchacích cest je založeno na modelu přenosu vyvinutém ve 30. letech 20. století; podle moderních standardů se tyto modely jeví příliš zjednodušené. Provádění doporučení v oblasti veřejného zdraví založených na těchto starých modelech může omezit účinnost navrhovaných intervencí.

Pochopení přenosu infekčních onemocnění dýchacích cest

V roce 1897 Carl Flügge ukázal, že ve vydechovaných kapénkách byly dostatečně velké patogeny, aby se usadily v prostředí kolem infikovaného jedince. „Přenos kapének“ vdechutím vydechnutých infikovaných kapének byl považován za primární cestu respiračního přenosu infekčních onemocnění. Tento pohled převažoval, dokud se William F. Wells ve 30. letech nezaměřil na přenos tuberkulózy a nerozdělil vydechované kapénky na malé a velké.

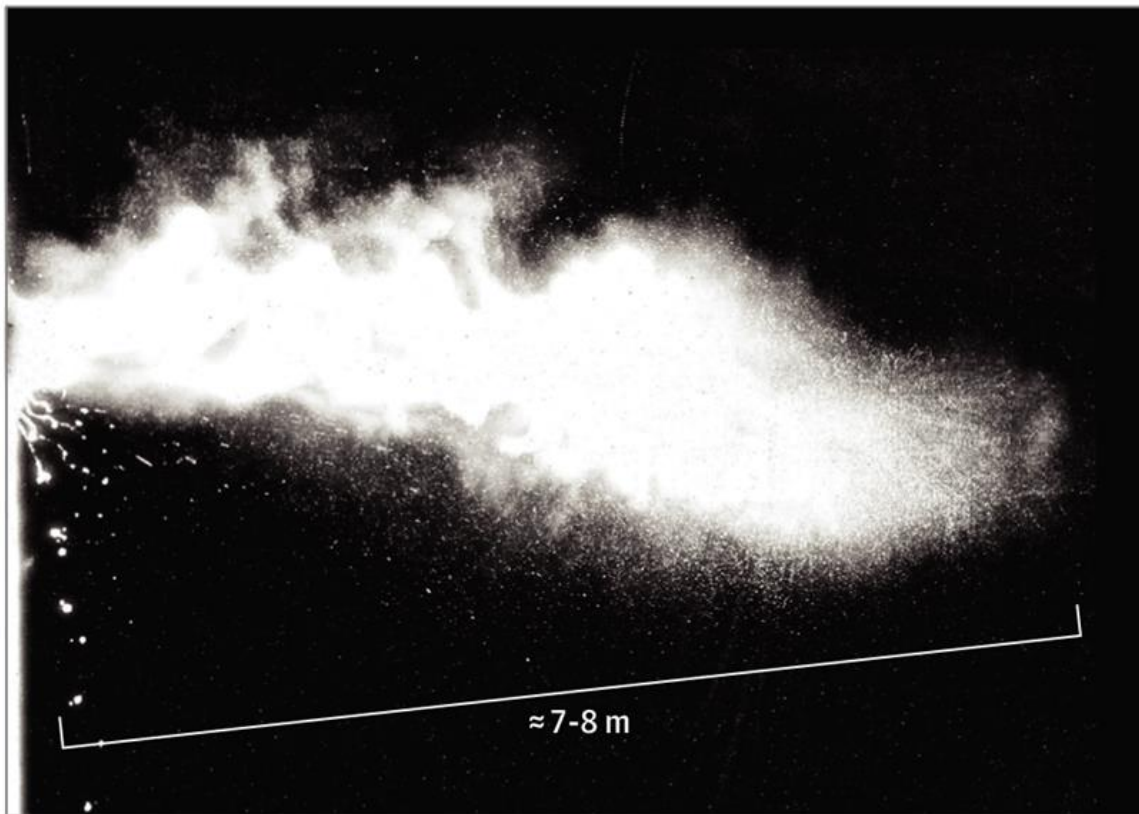
Podle Wellse jsou izolované kapénky emitovány při výdechu. Velké kapénky se usadí rychleji než se stačí vypařit, a kontaminují bezprostřední okolí infikovaného jedince. Naproti tomu malé kapénky se vypaří rychleji, než stihnou kontaminovat povrchy v okolí. U tohoto modelu přecházejí malé kapénky z teplých a vlhkých podmínek dýchacího systému do chladnějšího a suššího vnějšího prostředí, vypařují se a vytvářejí zbytkové pevné částice. Tyto zbytkové částice jsou označovány jako kapénková jádra a jsou součástí aerosolu. Další strategie kontroly infekčních onemocnění byly určovány na základě toho, zda je respirační infekční onemocnění primárně přenášeno cestou velkých nebo malých kapének.

Dichotomie velkých vs. malých kapének zůstává jádrem klasifikačních systémů cest přenosu dýchacích nemocí přijatých Světovou zdravotnickou organizací a dalšími agenturami, jako je např. Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí (CDC, Atlanta, USA). Tato klasifikační dichotomie nadále určuje řízení rizik respiračních infekčních onemocnění, i když nemusí plně odpovídat realitě. Platí to také pro kontrolu infekčního onemocnění COVID-19. Od začátku byla prosazována strategie maximálního zadržování a zpomalení šíření tohoto onemocnění, přesto se velmi rychle tato nemoc rozšířila do celého světa. Tato dynamika šíření onemocnění naznačuje, že použití mezních limitů velikosti kapének nemusí přesně odrážet realitu, tj. co se skutečně děje s respiračními emisemi, jakmile jsou vydechnuty. Nevhodná klasifikace může a pravděpodobně přispívá k neúčinnosti některých postupů k omezení šíření respiračních onemocnění.

Nový model pro respirační emise

Nedávná práce ukázala, že při vydechování, kýchnutí a kašli se uvolňují z dýchacích cest nejen kapénky po semibalistických trajektoriích s krátkým dosahem, ale především vícesložkový turbulentní plyn (oblak), který strhává okolní vzduch a nese uvnitř shluky kapének (viz obrázek a video). Vlhká a teplá atmosféra uvnitř turbulentního oblaku plynu umožňuje, že se kapky v něm obsažené vyhýbaly odpařování a tím pádem vlastnímu vysušení mnohem déle, než je tomu u izolovaných kapének. Za těchto podmínek by mohla být životnost kapének značně prodloužena.

Obrázek: Vícefázový turbulentní oblak plynu z lidského kýchnutí



Video. Schopnost vydechovaného plynu šířit se do velké vzdálenosti [Video \(1:23\)](#)

Díky přední hybnosti oblaku vydechovaného vzduchu při kýchnutí jsou kapénky nesoucí patogen poháněny mnohem dále, než kdyby byly emitovány izolovaně bez turbulentního proudění, které je zachycuje a přenáší dopředu. Vzhledem k různým kombinacím fyziologických podmínek jednotlivých pacientů a vlivům prostředí, jako je vlhkost a teplota, může oblak vydechovaného plynu a infikovaných kapének doletět na vzdálenost 7-8 m. Důležité je, že v turbulentním oblaku plynu se nacházejí jak velké, tak malé kapénky, na rozdíl od běžně přijímaného dichotomického modelu. V průběhu trajektorie takto vydechnutého vzduchu se navíc kapénky všech velikostí usazují nebo odpařují rychlostí, která závisí nejen na jejich velikosti, ale také na stupni turbulence a rychlosti oblaku plynu ve spojení s vlastnostmi okolního prostředí (teplota, vlhkost a proudění vzduchu).

Kapénky, které se usazují podél trajektorie vydechnutého vzduchu, mohou kontaminovat povrchy, zatímco zbytek zůstává v pohybujícím se oblaku. Nakonec oblak ztratí na hybnosti a zbývající kapénky se postupně vypaří, přičemž vytvářejí tzv. zbytky nebo jádra, které mohou zůstat rozptýleny ve vzduchu po dobu několika hodin, a to podle vzorců proudění vzduchu zavedeného systémem ventilace nebo klimatizace. Stupeň a rychlost odpařování silně závisí na okolních teplotách a

podmínkách vlhkosti, ale také na vnitřní dynamice turbulentního oblaku, který je dán mj. složením kapaliny vydechované pacientem.

Zpráva z roku 2020 z Číny ukázala, že ve ventilačních systémech v nemocničních pokojích pacientů s COVID-19, lze nalézt částice viru SARS-CoV-2. Nalezení virových částic v těchto systémech více odpovídá hypotéze turbulentního oblaku vydechovaného vzduchu než by ozřejmil dichotomický model, protože vysvětluje, jak životaschopné virové částice mohou cestovat na velké vzdálenosti od pacientů. Není známo, zda tato zjištění mají také klinické důsledky s ohledem na průběh COVID-19.

Důsledky pro prevenci a nastavení preventivních opatření

Ačkoli žádné studie přímo nevyhodnocovaly biofyziku kapének a tvorbu plynového oblaku u pacientů infikovaných virem SARS-CoV-2, lze na tento virus aplikovat některé vlastnosti oblaku vydechovaného plynu a respiračního přenosu. Pokud by tomu tak bylo, mohlo by to ovlivnit současná doporučení určená k minimalizaci rizika přenosu nemocí. Podle nejnovějších doporučení WHO pro COVID-19 se zdravotnickému personálu a ostatním zaměstnancům doporučuje udržovat vzdálenost 1 m od osoby s příznaky onemocnění COVID-19, jako jsou kašel a kýchání. CDC doporučuje separaci 2 m. Tyto vzdálenosti jsou však založeny na odhadech dosahu kapének podle dichotomického modelu, který nezohledňuje možnou přítomnost oblaku s vysokou hybností nesoucího kapénky na velké vzdálenosti. Tato doporučení (odstup 1-2 m) mohou podhodnocovat vzdálenost, časový rámec a perzistenci infekčních kapének ve vzduchu po kýchnutí. Z těchto a dalších důvodů je pro zdravotnické pracovníky pečující o pacienty, kteří mohou být infikováni, životně důležité nosit vhodné osobní ochranné prostředky, i když jsou dále než 2 metry od pacienta.

Dynamika vydechovaného oblaku plynu by měla ovlivnit doporučení k používání chirurgických a jiných roušek. Tyto roušky mohou být používány jak pro omezení šíření onemocnění od infikované osoby, tak pro ochranu vnímavé osoby. Ochranná účinnost masek N95 závisí na jejich schopnosti filtrovat přiváděný vzduch: jsou však určeny pouze pro určité specifikované okolní podmínky a mají omezenou dobu používání. Účinnost masek závisí na jejich schopnosti zachytit emise plyného oblaku s vysokou hybností. Maximální rychlost výdechu může dosáhnout 10-30 m/s a vydechovaný oblak může dosáhnout do vzdálenosti 7-8 m. Ochranné masky by měly mít schopnost opakovaně odolávat tlaku vícesměrného turbulentního oblaku plynu s vysokou hybností, který může vzniknout během kýchání nebo kašlání. V současné době používané chirurgické roušky a respirátory N95 nejsou testovány na tyto potenciální vlastnosti vydechovaných plynů.

Je třeba pochopit biofyziku přenosu respiračních onemocnění mezi hostiteli, fyziologii hostitele, patogenezi a epidemiologii šíření nemocí. Rychlé šíření onemocnění COVID-19 zdůrazňuje potřebu lépe porozumět dynamice přenosu respiračního onemocnění, aby se potenciálně zlepšila ochrana pracovníků první linie a zabránilo se šíření onemocnění mezi nejzranitelnějšími skupinami obyvatelstva.

Citace

1. *Infection Prevention and Control of Epidemic-and Pandemic-Prone Acute Respiratory Infections in Health Care*. World Health Organization; 2014.
2. Scharfman BE, Tchet AH, Bush JWM, Bourouiba L. Visualization of sneeze ejecta: steps of fluid fragmentation leading to respiratory droplets. *Exp Fluids*. 2016;57:24. [Google ScholarCrossref](#)
3. Bourouiba L, Dehandshoewercker E, Bush JWM. Violent respiratory events: on coughing and sneezing. *J Fluid Mech*. 2014;745:537-563. [Google ScholarCrossref](#)
4. Bourouiba L. Images in clinical medicine: a sneeze. *N Engl J Med*. 2016;375(8):e15. [PubMedGoogle Scholar](#)
5. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. Published online March 4, 2020. doi:[10.1001/jama.2020.3227](#) [ArticlePubMedGoogle Scholar](#)

6. Q&A How to protect yourself when travelling during the coronavirus (COVID-2019) outbreak. World Health Organization YouTube page. Accessed March 20, 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=0KBvReECRrI&feature=youtu.be&t=1110>
7. Travelers from countries with widespread sustained (ongoing) transmission arriving in the United States. Centers for Disease Control and Prevention website. Accessed March 13, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/travelers/after-travel-precautions.html>
8. Management of ill travellers at points of entry—international airports, seaports and ground crossings—in the context of COVID-19 outbreak. World Health Organization website. Published February 16, 2020. Accessed March 13, 2020. <https://www.who.int/publications-detail/management-of-ill-travellers-at-points-of-entry-international-airports-seaports-and-ground-crossings-in-the-context-of-covid--19-outbreak>
9. MacIntyre CR, Wang Q, Cauchemez S, et al. A cluster randomized clinical trial comparing fit-tested and non-fit-tested N95 respirators to medical masks to prevent respiratory virus infection in health care workers. *Influenza Other Respir Viruses*. 2011;5(3):170-179. [PubMedGoogle ScholarCrossref](#)

Zdroj: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2763852>