

Riziko vnitřních sportovních aktivit a kulturních akcí pro přenos COVID-19

(Restart-19)

Autoři: Stefan Moritz¹, Cornelia Gottschick², Johannes Horn², Mario Popp¹, Susan Langer², Bianca Klee², Oliver Purschke², Michael Gekle³, Angelika Ihling¹, Rafael Mikolajczyk²

Příslušnost:

¹Oddělení klinických infekčních nemocí, Univerzitní nemocnice Halle (Saale), Ernst-Grube Str. 40, 06120 Halle, Německo.

²Ústav epidemiologie, biometrie a informatiky, PZG, Univerzita Martina Luthera Halle-Wittenberg, Magdeburger Str. 8, 06112 Halle (Saale), Německo.

³Fyziologický ústav Julia Bernsteina, Fakulta lékařství, Univerzita Martina Luthera Halle-Wittenberg Magdeburger Str. 6, 06112 Halle (Saale), Německo.

Abstrakt:

Od vypuknutí SARS-CoV-2 byly na celém světě zakázány téměř všechny hromadné akce z důvodu údajného významného rizika přenosu COVID-19. My jsme zkoumali riziko přenosu SARS-CoV-2 pomocí kapének a aerosolů během experimentální vnitřní hromadné akce (s použitím respirátorů N95 a trasovacích zařízení) a provedli jsme simulační studii, abychom odhadli výslednou zátěž onemocnění v podmínkách řízené epidemie. Počet exponovaných kontaktů byl <10 u scénářů s přijetím hygienických opatření a řádným větráním, avšak v ostatních případech byl výrazně vyšší. Z následných případů lze 0 % – 23 % připsat hromadným akcím. Předpokládaný dodatečný vliv vnitřních hromadných akcí na infekční zátěž je celkově nízký za přijetí hygienických opatření a dostatečného větrání.

Krátké shrnutí:

Vnitřní akce s místy k sezení pořádané za hygienických opatření a při dostatečném větrání mají pouze malý dopad na šíření COVID-19.

Úvod

Ve většině zemí byl zákaz hromadných akcí jedním z prvních vládních protiopatření (1). Německá vláda začátkem března 2020 vydala obecný zákaz hromadných akcí s účastí více než 1000 lidí (2). S obratem 129 miliard eur v roce 2019 je zábavný průmysl šestým největším hospodářským odvětvím v Německu s téměř 1,5 miliony lidí, kteří jsou na tomto sektoru závislí (3). Insolvence v tomto odvětví nebudou mít pouze ekonomický dopad, ale mohou vést také ke ztrátě tvůrčích dovedností, tréninkové infrastruktury a mladých talentovaných sportovců. Dopad této ztráty se netýká pouze jednotlivců, ale ovlivňuje také významnou část společnosti jako celku. Dle některých pozorování druh pořádané akce určuje její potenciál šíření infekčních nemocí, například riziko šíření nemoci u náboženských akcí je vyšší než u sportovních událostí či koncertů (4-6).

Koronavirus SARS-CoV-2 (těžký akutní respirační syndrom) způsobující onemocnění COVID-19 se přenáší kapénkami, aerosoly nebo prostřednictvím kontaminovaných povrchů (7-11). Zatímco diskuse o relevanci různých cest přenosu pro šíření COVID-19 stále probíhá (12-14), o přenosu celkově rozhoduje fyzická blízkost a hygiena. K posouzení přenosu pomocí kapének lze použít nahlášené nebo testované kontakty; při zkoumání aerosolů hraje další roli druh činnosti (a následná inhalace zdrojů a příjemce), proudění vzduchu a větrání místnosti (15-17).

Zorganizovali jsme experimentální pop koncert za přijetí tří různých skupin hygienických opatření, a pomocí trasovacích zařízení jsme během této akce měřili kontakty každého diváka. Dále jsme vyvinuli počítačový model vnitřní arény a simulovali šíření aerosolů a výslednou expozici. Nakonec jsme pomocí modelu založeného na jednotlivci odhadli další vliv vnitřních hromadných akcí na celkovou infekční zátěž. Posoudili jsme různé aspekty této epidemie, včetně účinků různých hygienických opatření, nošení roušek, velikosti akce, systémů větrání a různých výchozích hodnot incidence.

Výsledky

Experiment

22. srpna 2020 se v Leipzig Arena uskutečnil pop koncert, kterého se zúčastnilo 1212 osob (tabulka S1). Všichni účastníci a zainteresovaný personál podstoupili během 48 hodin před akcí test na SARS-CoV-2 s negativním výsledkem. Všichni měli během akce respirátory N95.

Zkoumány byly tři různé scénáře: 1) žádná omezení (situace před pandemií), 2) mírná opatření (šachovnicové uspořádání sezení, dvojnásobný počet vchodů oproti scénáři 1), 3) silná omezení (párové sezení s odstupem 1,5 m od dalšího páru, čtyřnásobný počet vchodů).

Každý scénář zahrnoval vstup (60 minut), 1. polovinu (20 minut, prodlouženo na 45), přestávku (20 minut) včetně simulovaného občerstvení, 2. polovinu (20 minut, prodlouženo na 45), a odchod (15 minut). Kontakty v okruhu 1,5 m byly měřené pomocí trasovacích zařízení. Po vyhodnocení všech kontaktů (>10 s) byl počet kontaktů vysoký; po spočítání kritických kontaktů s trváním delším než 15 minut (na základě standardní definice pro trasování kontaktů (18)) tyto počty klesly pod 10 (obr. 1a, tabulka S2).

Vysoká čísla kontaktů byla zjištěna během vstupu a přestávky, ale jen málo z nich trvalo déle než 15 minut (obr. 1b). Hygienická opatření ve scénáři 2 a 3 vedla k výraznému snížení kontaktů. I když při opouštění místa došlo ke zvýšenému míchání osob, nebyly zaznamenány žádné kontakty trvající déle než 15 minut. Naopak téměř všechny kontakty během polovin trvaly déle než 15 minut. Ve scénáři 1 se nové kontakty akumulovaly během celé akce, zatímco ve scénáři 2 a 3 k většině kontaktů došlo při vstupu, bez dalších významných nárůstů (Obr. 2).

Expozice aerosolům

Kromě kontaktů ve fyzické blízkosti změřených pomocí trasovacích zařízení jsme zkoumali také počet osob vystavených aerosolům pomocí počítačové simulace proudění tekutin (CFD). V simulované aktuální verzi větrání (VV) arény (VV 1) trasování částic odhalilo, že trysky umístěné v aréně produkují velké vzduchové válce na postranních velkých tribunách. Vypouštěné proudy vzduchu z rohu střechy nad nejvýše položenými řadami směrem dolů plynou paralelně s postranní velkou tribunou na vnitřní podlahu arény, kde pokračují směrem nahoru ke střeše, a

dochází k obnově cyklu proudění vzduchu (video S1). Trysky navíc výrazně zvyšují proudění vzduchu a tak snižují hustotu aerosolů. Porovnali jsme současné proudění vzduchu s druhou variantou systému větrání, v níž byl vzduch nasáván u střešy a trysky uzavřeny, aby došlo ke snížení vzduchových válců v aréně (VV 2). Zde nebylo dosaženo zamýšleného zvýšení vertikálního proudění vzduchu zespod střešy (vrstvosvá ventilace). Postranní příliv vzduchu vedl ke vzniku válců nad postranními velkými tribunami, které byly kvůli nízké míře výměny vzduchu (1,46 vs. 0,85 /h) menší a pomalejší ve VV 1 (video S2). Navzdory přítomnosti větších vzduchových válců byl maximální počet exponovaných osob na infekční osobu 10 s tryskami a vyšším prouděním vzduchu ve VV 1, a 108 ve VV 2 u scénáře 1. Obrázek S1 ukazuje příklad východní velké tribuny s oběma variantami. Hygienická opatření scénáře 2 a 3 navíc snížila počet exponovaných návštěvníků u obou variant větrání (tabulka 1).

Účinky akce na šíření epidemie SARS-CoV-2 (simulační model)

Aby bylo možné vyhodnotit potenciální účinky přenosu, k němuž dochází během vnitřních akcí, vyvinuli jsme specializovaný model založený na jednotlivci. Prošetřili jsme účinky hromadných akcí za podmínek epidemie řízené prostřednictvím celkového omezení kontaktů ve společnosti a trasování kontaktů jednotlivců s pozitivním výsledkem testu napodobující aktuální situaci v Německu (reprodukční číslo ~ 1). Kromě toho jsme zohlednili nárůst nových případů (například osob, které se vrátily z regionů s vyšší incidencí nebo z důvodu akcí s vysokým potenciálem šíření), a v důsledku tento počet nových případů (incidence) nezávisí na dynamice lokálního šíření (kterou představuje reprodukční číslo). V souladu se zjištěními serologických studií jsme předpokládali, že aktuální séroprevalence je zanedbatelná a většina osob je náchylná k infekci. Vyvodili jsme experimentální data, která odráží četné akce probíhající ve městě Lipsko, za předpokladu účasti 100 000 nebo 200 000 osob účastnících se hromadných akcí za měsíc (vyšší odhad odpovídal stavu před pandemií).

To, zda na hromadných akcích dochází k přenosu, závisí na tom, kolik infekčních osob se akce zúčastní, kolik kontaktů mají (včetně kontaktů souvisejících se šířením aerosolů), a na tom, zda je přenos snížen například díky rouškám. Nepočítaje veškeré osoby s pozitivním výsledkem nebo v karanténě kvůli kontaktu s jinými identifikovanými případy, nebo netestované, avšak

symptomatické, se akce zúčastní pouze podíl asymptomatických nebo presymptomatických osob a osob se symptomy, které nelze jednoznačně určit. Při incidenci 50/100 000 za týden pozitivně testovaných případů se jakékoliv akce zúčastní v průměru 10 až 40 infekčních osob, za předpokladu, že celkový počet účastníků se hromadné akce je 100 000 až 200 000 měsíčně (obr. 3). Předpandemický počet kontaktů s předpokládaným reprodukčním číslem kolem 3 vede k pravděpodobnosti přenosu přibližně 7 % na jeden kontakt trvající déle než 15 minut (na základě německých dat POLYMOD (19)). Výsledné počty osob, které by se během těchto akcí nakazily, jsou trvale nízké (obr. 4). U scénáře 2 a 3, zejména při používání roušek, je předpokládaný počet infekcí, k nimž dochází během těchto akcí, pod 10 za měsíc. Vliv těchto akcí na celkový počet případů s pozitivním výsledkem nebo osob, které musí nastoupit do karantény, ve srovnání se situací, kdy se nekonají žádné akce, je malý (obr. 5a). Celkově lze hromadným akcím u scénáře 1, 2 a 3 s použitím roušek pro incidenci 100/100 000 za týden a 100 000 osob na akcích za měsíc přičíst 2,3 %, 1,1 % a 0,4 % sledované incidence.

Tyto výsledky se vztahují na současný systém větrání v aréně (VV 1). Nicméně pokud se pro všechny pořádané akce předpokládá špatné větrání (VV 2), vede to k výraznému zvýšení zátěže nemoci (obr. 5b). V tom nejhorším možném scénáři (200 000 osob přítomných na akcích za měsíc, žádné roušky na akci, žádné rozestupy – scénář 1, špatné větrání), příslušný podíl na přenosu by narostl na 23 %. Další výstupy epidemiologického simulačního modelu jsou uvedeny v tabulce S3.

Přijatelnost hygienických opatření (šetření po experimentu)

Hygienická opatření měla výrazný dopad na počet kontaktů a potenciální přenos. Proto jsme zkoumali, jak je vnímali účastníci. Dotazník vyplnilo celkem 960 účastníků (79 % všech účastníků). 88 % z nich by si dokázalo představit účast na akci nebo koncertu za podmínek scénáře 2, a 82 % za podmínek scénáře 3. Většina respondentů (89 %) uvedla, že jim nošení respirátorů N95 nedělá problém, někdy je to trochu omezující, ale dokázali by si na to rychle zvyknout (obr. S2). Pokud by bylo potřeba nosit na koncertu normální ochranu úst a nosu nebo respirátor N95, 90 % a 78 % účastníků by tak učinilo.

Diskuse

Naše výsledky potvrzují obecně vžitý názor, že během hromadných akcí, a to i bez preventivních opatření, nedochází ke kontaktu s ostatními u každého návštěvníka. Také jsme zjistili, že u scénářů s dodržováním vzdáleností jsou výsledné počty kontaktů spíše nízká a efektivní riziko závisí primárně na vhodném větrání. Proto za přijetí hygienických opatření a při dobrém větrání má i vysoký počet vnitřních hromadných akcí pouze minimální vliv na celkový počet infekcí v populaci. Nedostatečné větrání však může vést k podstatně vyšší míře expozice aerosolům a tudíž k vysokému počtu infekcí.

V porovnání se všemi kontakty celé populace mají hromadné akce pouze malým přínos ke kontaktům, k nimž dochází kterýkoliv den. V kontextu řízené epidemie (reprodukční číslo 1) mohou další kontakty/infekce posunout reprodukční číslo epidemie nad hranici 1. Vzhledem k malému příspěví těchto akcí k šíření je však nepravděpodobné, že budou jedinou příčinou překročení této hranice. Zatímco v našich simulacích je rozdíl s a bez pořádání akcí v průměru blízko nule, v některých případech mohou být počty nových infekcí výrazné. V nepříznivém případě to může vzbuzovat dojem, že řadu infekcí způsobily právě tyto akce. Kromě jediné „nešťastné“ hromadné akce, která náhodou vedla k vypuknutí nemoci, mohou hromadné akce bez přijatých opatření mít významný dopad na šíření epidemie. Na druhé straně, hromadné akce s přijatými opatřeními přispívají pouze malým zlomkem nových případů a tento zlomek by byl zachován, i kdyby celková epidemie rostla s reprodukčním číslem R vyšším než 1. Některé kontakty během hromadných akcí navíc nemusely být ve skutečnosti důsledkem takové akce, protože obvyklé kontaktní osoby se mohou zúčastnit akce společně.

Zatímco nedostatečné větrání může významně zvýšit počet přenosů, předpokládáme, že používání roušek a zejména respirátorů N95 toto riziko snižuje. Na akcích s vysokým potenciálem šíření, o nichž se zmiňuje literatura, se roušky nenosily (20). Mezitím byl vliv roušek na snížení přenosu obecně akceptován (21, 22). Aerosoly vzbuzují zvláštní obavy během polovin, kdy návštěvníci zůstávají na svých místech, a prodlužuje se doba expozice. Proto je nošení roušek po většinu doby během sezení povinné, aby se maximalizoval ochranný účinek nošení roušky.

Pokud jde o kontakty, důležité jsou zejména „vstup“, „přestávka“ a „odchod“, ale především pro krátkodobé kontakty, ale ve scénáři 1 také pro kritickou délku trvání. Proto hygienická opatření musí zahrnovat organizační stránku, aby byla doba kontaktu během těchto fází co nejkratší (např. další vstupy, omezení jídla a pití při sezení, atd.).

Ve scénáři 1, aniž by mezi sedadly byly rozestupy, se počet kontaktů (>15min) postupem času zvyšoval, zatímco ve scénáři 2 a 3 zůstal počet kontaktů téměř neměnný. Proto je pro snížení kontaktů nezbytné používání plánek k sezení, včetně pravidel rozestupů (minimálně „šachovnicové sezení“).

Dvě další potenciální opatření jsou testování před nebo použití speciálních trasovacích zařízení během akce. Testování před akcí zvyšuje bezpečnost, ale je velice náročné na čas a prostředky. Kromě toho je testování tisíců lidí během několika hodin obrovskou organizační výzvou. Vzhledem k celkovému nízkému počtu kontaktů s dostatečnou expozicí a k potenciálně mnohem většímu účinku aerosolů, které nelze vytrasovat k jednotlivým osobám, se uplatnění dalšího trasování účastníků (kdy se trasovací zařízení rozdávají během akce) také nezdá být v aktuální situaci přínosné. Nicméně při jiných typech hromadných akcí to může mít své výhody.

Naše výsledky se vztahují na hromadné akce se zasedacím pořádkem a vysokou mírou dodržování přijatých hygienických opatření. Pořadatelé odpovídající za hygienu v našem experimentu museli zasahovat jen výjimečně, což mohlo být důsledkem vysoce disciplinovaných účastníků naší studie. Uplatňování hygienických opatření v běžné praxi je však pro snížení rizika zásadní a lze je podpořit využitím pořadatelů odpovídajících za hygienu.

Hromadné akce velkého rozsahu (jako např. fotbalové zápasy) a koncerty se stáním (např. rokové koncerty) se mohou od námi simulované hromadné akce lišit s ohledem na počet kontaktů a pravděpodobnost přenosu (21). V prvním ohledu budou větší davy stát u vstupu blíže k sobě z důvodu prostorových omezení, a po cestě na akci se mohou hromadit další kontakty. Ve druhém případě jsou návštěvníci velice blízko sobě a nestojí na pevně daných pozicích. Proto se postupem času může počet kontaktů zvyšovat.

Naše studie má několik omezení. Za prvé jsme nedosáhli zamýšleného cíle 4000 účastníků na akci. To jsme vyřešili prostorovými omezeními, ale je možné, že hustota kontaktů byla snížena. Za

druhé, stanovení hranice pro relevantní expozici aerosolům je docela náročné, protože existuje řada neznámých skutečností o přenosu COVID-19 vzduchem (např. minimální infekční dávka, virová zátěž aerosolů, atd.). Nicméně vzhledem k tomu, že jsme stejnou hranici použili ve všech výpočtech, výsledky jsou konzistentní a srovnatelné. Za třetí, zatímco jsme pro simulaci přenosu použili podrobný model, výsledky mohou ovlivnit další struktury v populaci. Například, pokud se všech akcí zúčastní i jen malá skupina, která přenáší získanou infekci z jedné akce na druhou, povede to k výraznějším dopadům hromadných akcí.

Závěrem jsme zjistili, že návštěvníci koncertu s místy k sezení v dobře větrané aréně mají vysoký počet krátkodobých kontaktů a nízký počet dlouhotrvajících kontaktů. I mírně omezující hygienická opatření (tj. scénář 2) vedla k významnému snížení rizika nakažení. Většina účastníků výrazně akceptovala nošení roušek během koncertu, které může poskytnout další snížení rizika. Při přijetí hygienických opatření a splnění podmínek dostatečného větrání se zdá, že hromadné akce přispívají k šíření epidemie COVID-19 pouze v malém rozsahu. Chybějící hygienická opatření a nedostatečné větrání může významně zvýšit počet ohrožených osob.

Odkazy

1. M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi, A. Kerwan, A. Al-jabir, Comparing SARS-CoV-2 with SARS-CoV and influenza pandemics. *Int. J. Surg. J.* **78**, 185-193 (2020).
2. CDC, Public health guidance for community-related exposure (2020), (dostupné na <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/public-health-recommendations.html>).
3. Research Institute for Exhibition and Live-Communication, Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Veranstaltungsbranche (2020), doi:10.1007/978-3-663-02615-0_4.
4. D. A. Ishola, N. Phin, Could influenza transmission be reduced by restricting mass gatherings? Towards an evidence-based policy framework. *J. Epidemiol. Glob. Health.* **1**, 33-60 (2011).
5. A. Figueroa, R. K. Gulati, J. J. Rainey, Estimating the frequency and characteristics of respiratory disease outbreaks at mass gatherings in the United States: Findings from a state and local health department assessment. *PLoS One.* **12**, 1-14 (2017).
6. WHO, Key Planning Recommendations for Mass Gatherings in the Context of COVID- 19: Interim Guidance, 19 March 2020. *World Heal. Organ.* **19**, 1-5 (2020).
7. G. Correia, L. Rodrigues, M. Gameiro da Silva, T. Goncalves, Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med. Hypotheses.* **141** (2020), doi:10.1016/j.mehy.2020.109781.
8. H. Qian, T. Miao, L. LIU, X. Zheng, D. Luo, Y. Li, Indoor transmission of SARS-CoV-2 (2020), doi:10.1101/2020.04.04.20053058.
9. P. Ying Chia, K. Kelli Coleman, Y. Kim Tan, S. Wei, X. Ong, M. Gum, S. Kiang Lau, S. Sutjipto, P. Hua Lee, T. The Son, B. Edward Young, D. K. Milton, G. C. Gray, S. Schuster, T. Barkham, P. Prathim De, S. Vasoo, M. Chan, B. Sze Peng Ang, B. Huan Tan, Y.-S. Leo, O.-T. Ng, M. Su Yen Wong, K. Marimuthu, Detection of Air and Surface Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Hospital Rooms of Infected Patients. *Public Health*, doi:10.1101/2020.03.29.20046557.
10. Y. Liu, Z. Ning, Y. Chen, M. Guo, Y. Liu, N. K. Gali, L. Sun, Y. Duan, J. Cai, D. Westerdahl, X. Liu, K. Xu, K. fai Ho, H. Kan, Q. Fu, K. Lan, Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in

- two Wuhan hospitals. *Nature*. **582**, 557-560 (2020).
11. M. Klompas, M. A. Baker, C. Rhee, Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Jama*. **324**, 441 (2020).
 12. L. Morawska, J. Cao, Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ. Int.* **139**, 105730 (2020).
 13. M. Richard, A. Kok, D. de Meulder, T. M. Bestebroer, M. M. Lamers, N. M. A. Okba, M. Fentener van Vlissingen, B. Rockx, B. L. Haagmans, M. P. G. Koopmans, R. A. M. Fouchier, S. Herfst, SARS-CoV-2 is transmitted via contact and via the air between ferrets. *Nat. Commun.* **11**, 1-6 (2020).
 14. S. Tang, Y. Mao, R. M. Jones, Q. Tan, J. S. Ji, N. Li, J. Shen, Y. Lv, L. Pan, P. Ding, X. Wang, Y. Wang, C. R. MacIntyre, X. Shi, Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environ. Int.* **144**, 106039 (2020).
 15. A. Fernstrom, M. Goldblatt, Aerobiology and Its Role in the Transmission of Infectious Diseases. *J. Pathog.* **2013**, 1-13 (2013).
 16. G. Buonanno, L. Stabile, L. Morawska, Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environ. Int.* **141** (2020), doi:10.1016/j.envint.2020.105794.
 17. L. Gammaitoni, M. C. Nucci, Using a Mathematical Model to Evaluate the Efficacy of TB Control Measures. *Emerg. Infect. Dis.* **3**, 335-342 (1997).
 18. Centers for Disease Control and Prevention, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), (dostupné na <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/contact-tracing/contact-tracing-plan/appendix.html#contact>).
 19. J. Mossong, N. Hens, M. Jit, P. Beutels, K. Auranen, R. Mikolajczyk, M. Massari, S. Salmaso, G. S. Tomba, J. Wallinga, J. Heijne, M. Sadkowska-Todys, M. Rosinska, W. J. Edmunds, Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. *PLoS Med.* **5**, 0381-0391 (2008).
 20. A. Ahammer, M. Halla, M. Lackner, "Mass gatherings contributed to early COVID-19 spread: Evidence from US sport, Working Paper, No. 2003" (2020), (dostupné na <http://hdl.handle.net/10419/222442>).
 21. D. K. Chu, E. A. Akl, S. Duda, K. Solo, S. Yaacoub, H. J. Schünemann, A. El-harakeh, A. Bognanni, T. Lotfi, M. Loeb, A. Hajizadeh, A. Bak, A. Izcovich, C. A. Cuello-Garcia, C. Chen, D. J. Harris, E. Borowiack, F. Chamseddine, F. Schünemann, G. P. Morgano, G. E. U. Muti Schünemann, G. Chen, H. Zhao, I. Neumann, J. Chan, J. Khabisa, L. Hneiny, L. Harrison, M. Smith, N. Rizk, P. Giorgi Rossi, P. AbiHanna, R. El-khoury, R. Stalteri, T. Baldeh, T. Piggott, Y. Zhang, Z. Saad, A. Khamis, M. Reinap, 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**, 1973-1987 (2020).
 22. J. Howard, A. Huang, Z. Li, A. Rimoin, Face Masks Against COVID-19: An Evidence Review [Pre-proof]; [not peer-reviewed]. *Pnas* (2020), doi:10.20944/preprints202004.0203.v3.
 23. D. Mürbe, M. Fleischer, J. Lange, H. Rotheudt, M. Kriegel, Aerosol emission is increased in professional singing (2020), , doi:10.14279/depositonce-10375.
 24. A. Hartmann, J. Lange, H. Rotheudt, M. Kriegel, Emission rate and particle size of bioaerosols during breathing, speaking and coughing, doi:10.14279/depositonce-10331.
 25. V. Stadnytskyi, C. E. Bax, A. Bax, P. Anfinrud, The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission, doi:10.5281/zenodo.3770559.
 26. D. Jacot, G. Greub, K. Jaton, O. Opota, Viral load of SARS-CoV-2 across patients and compared to other respiratory viruses. *Microbes Infect.* (2020), doi:10.1016/j.micinf.2020.08.004.
 27. M. K. Slifka, L. Gao, Is presymptomatic spread a major contributor to COVID-19 transmission? *Nat. Med.* **26**, 1531-1534 (2020).
 28. S. Karimzadeh, R. Bhopal, N. T. Huy, Review of infective dose, routes of transmission, and outcome of COVID-19 caused by the SARS-COV2 virus: comparison with other respiratory viruses Running title: COVID-19 infective dose review, 1-20 (2020).
 29. Landesmeldestelle, Faelle Schleswig-Holstein (2020), (dostupné na https://schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Coronavirus/Zahlen/Tabelle_Altersgruppen/altersgruppen_t

- abellarisch_node.html).
30. RKI, Faelle Deutschland (2020), (dostupné na <https://npgeo-corona-npgeo-de.hub.arcgis.com/datasets>).
 31. Statistisches Bundesamt, Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes, (dostupné na <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>).
 32. Stadt Leipzig, No Title (2020), (dostupné na <https://statistik.leipzig.de/statcity/table.aspx?cat=2&rub=5&obj=0>).
 33. M. an der Heiden, U. Buchholz, Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland (2020).
 34. S. Khailaie, T. Mitra, B. Arnab, S. Marta, P. Mascheroni, P. Vanella, B. Lange, S. Binder, M. Meyer-Hermann, Estimate of the development of the epidemic reproduction number R. *medRxiv*, 0-18 (2020).
 35. M. M. Böhmer, U. Buchholz, V. M. Corman, M. Hoch, K. Katz, D. V. Marosevic, S. Böhm, T. Woudenberg, N. Ackermann, R. Konrad, U. Eberle, B. Treis, A. Dangel, K. Bengs, V. Fingerle, A. Berger, S. Hörmansdorfer, S. Ippisch, B. Wicklein, A. Grahl, K. Pörtner, N. Müller, N. Zeitlmann, T. S. Boender, W. Cai, A. Reich, M. an der Heiden, U. Rexroth, O. Hamouda, J. Schneider, T. Veith, B. Mühlemann, R. Wölfel, M. Antwerpen, M. Walter, U. Protzer, B. Liebl, W. Haas, A. Sing, C. Drosten, A. Zapf, Investigation of a COVID-19 outbreak in Germany resulting from a single travel-associated primary case: a case series. *Lancet Infect. Dis.* **20**, 920-928 (2020).
 36. W. Xia, J. Liao, C. Li, Y. Li, X. Qian, X. Sun, H. Xu, G. Mahai, X. Zhao, L. Shi, J. Liu, L. Yu, M. Wang, Q. Wang, A. Namat, Y. Li, J. Qu, Q. Liu, X. Lin, S. Cao, S. Huan, J. Xiao, F. Ruan, H. Wang, Q. Xu, X. Ding, X. Fang, F. Qiu, J. Ma, Y. Zhang, A. Wang, Y. Xing, S. Xu, Transmission of corona virus disease 2019 during the incubation period may lead to a quarantine loophole (2020), doi:10.1101/2020.03.06.20031955.
 37. A. B. Docherty, E. M. Harrison, C. A. Green, H. E. Hardwick, R. Pius, L. Norman, K. A. Holden, J. M. Read, F. Dondelinger, G. Carson, L. Merson, J. Lee, D. Plotkin, L. Sigfrid, S. Halpin, C. Jackson, C. Gamble, P. W. Horby, J. S. Nguyen-Van-Tam, A. Ho, C. D. Russell, J. Dunning, P. J. M. Openshaw, J. K. Baillie, M. G. Semple, Features of 20 133 UK patients in hospital with covid-19 using the ISARIC WHO Clinical Characterisation Protocol: Prospective observational cohort study. *BMJ.* **369**, 1-12 (2020).
 38. B. U. an der Heiden M, Modellierung von Beispielszenarien der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland (2020), doi:10.25646/6571.2.
 39. R. Woelfel, V. M. Corman, W. Guggemos, M. Seilmaier, S. Zange, M. A. Mueller, D. Niemeyer, P. Vollmar, C. Rothe, M. Hoelscher, T. Bleicker, S. Bruenink, J. Schneider, R. Ehmann, K. Zwirgmaier, C. Drosten, C. Wendtner, *medRxiv*, in press.
 40. D. Wang, B. Hu, C. Hu, F. Zhu, X. Liu, J. Zhang, B. Wang, H. Xiang, Z. Cheng, Y. Xiong, Y. Zhao, Y. Li, X. Wang, Z. Peng, Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA - J. Am. Med. Assoc.* **323**, 1061-1069 (2020).
 41. O. Byambasuren, M. Cardona, K. Bell, J. Clark, M.-L. McLaws, P. Glasziou, Estimating the Extent of True Asymptomatic COVID-19 and Its Potential for Community Transmission: Systematic Review and Meta-Analysis. *SSRN Electron. J.*, 1-14 (2020).
 42. N. M. Ferguson, D. Laydon, G. Nedjati-Gilani, N. Imai, K. Ainslie, M. Baguelin, S. Bhatia, A. Boonyasiri, Z. Cucunuba, G. Cuomo-Dannenburg, A. Dighe, I. Dorigatti, H. Fu, K. Gaythorpe, W. Green, A. Hamlet, W. Hinsley, L. C. Okell, S. Van Elsland, H. Thompson, R. Verity, E. Volz, H. Wang, Y. Wang, P. Gt Walker, C. Walters, P. Winskill, C. Whittaker, C. A. Donnelly, S. Riley, A. C. Ghani, Report 13: Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries. *Imp. Coll. COVID-19 Response Team* (2020) (dostupné na <https://doi.org/10.25561/77482>).

Poděkování:

Nejprve chci poděkovat zejména Karstenovi Guentherovi, jednateli SC DHfK Handball, Lipsko, a

Philippovi Frankemu a Matthiasovi Koelmelovi (ředitelé Quarterback Immobilien Arena), kteří dali podnět k vypracování této studie a s vášní tento experiment podporovali, poskytli arénu a pomohli najmout účastníky. Děkujeme hudebníkovi Tim Bendzkovi, který koncert odehrál. Také děkujeme vládám federálních států Sasko a Sasko-Anhaltsko, které souhlasily s financováním projektu a potřebných testů. Děkujeme všem, co se na projektu podíleli, všem, co pomáhali připravit a zorganizovat celodenní akci. Nakonec bychom rádi poděkovali všem účastníkům experimentu, kteří tomuto projektu věnovali celý den.

Financování: Ministerstvo hospodářství, vědy a digitalizace, federální stát Sasko-Anhaltsko, a Ministerstvo vědy, kultury a cestovního ruchu, federální stát Sasko.

Žádná z uvedených stran neměla žádný vliv na autory ohledně výsledků studie a rozhodnutí je zveřejnit.

Příspěvní autorů: **Stefan Moritz:** koncepce, metodologie, formální analýza, řešení, prostředky, psaní – původní návrh, psaní – revize a editace, dohled, správa projektu, získání financování.

Cornelia Gottschick: koncepce, metodologie, řešení, prostředky, psaní – původní návrh, psaní – revize a editace, vizualizace. **Johannes Horn:** metodologie, software, formální analýza, řešení, prostředky, ošetření dat, vizualizace. **Mario Popp:** koncepce, metodologie, formální analýza, řešení, prostředky, ošetření dat, psaní – původní návrh. **Susan Langer:** řešení, prostředky, psaní – původní návrh. **Bianca Klee:** řešení, prostředky, psaní – původní návrh. **Angelika Ihling:** koncepce, prostředky. **Oliver Purschke:** software, formální analýza, ošetření dat. **Michael Gekle:** řešení, dohled, získání financování. **Rafael Mikolajczyk:** koncepce, metodologie, řešení, psaní – revize a editace, dohled, správa projektu.

Konkurenční zájmy: Všichni autoři prohlašují, že nemají žádné konkurenční zájmy.

Dostupnost dat a materiálů:

Většina kvantitativních výsledků je uvedena v doplňujících tabulkách. Údaje o rozložení a jednotlivých osobách v anonymizované podobě lze poskytnout na vyžádání. Kód simulačního modelu je poskytován jako doplňující materiál.

Doplňující materiály:

Materiály a postupy

Obrázky S1-S4

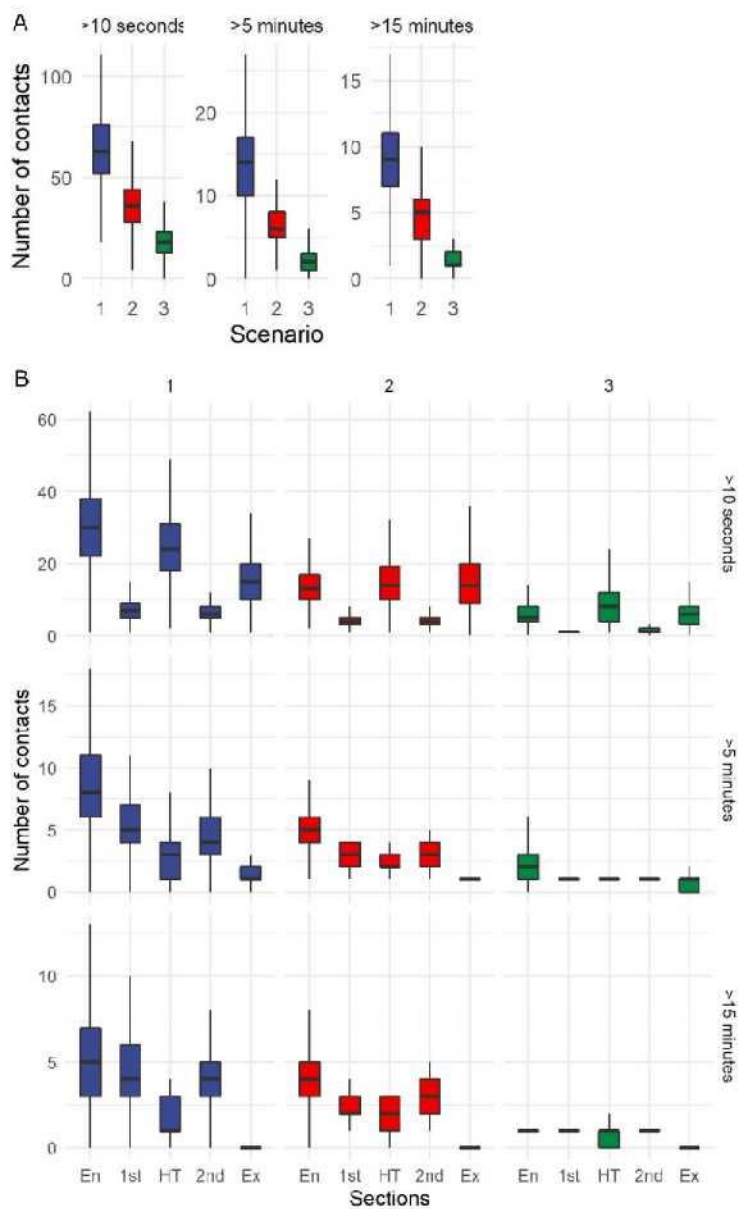
Tabulky S1-S9

Videa S1-S2

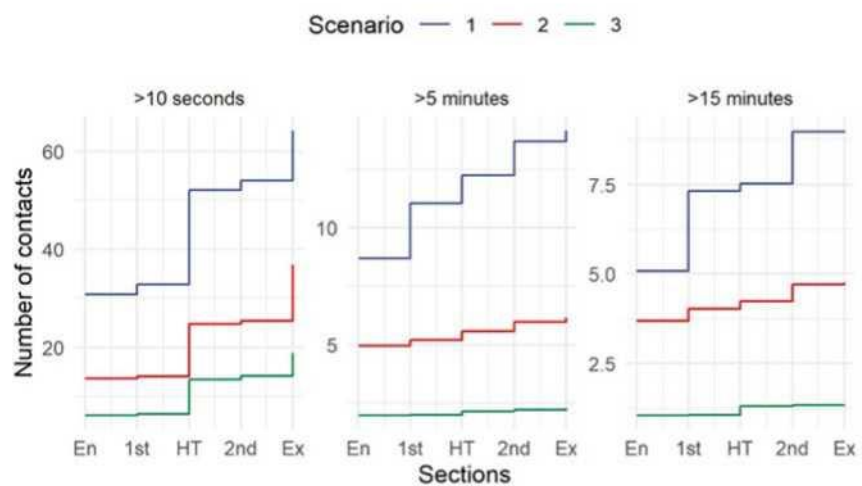
Odkazy (24-42)

Obrázky a tabulky

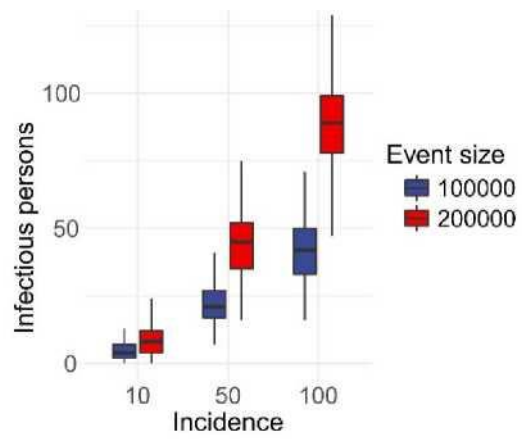
Obr. 1: Počet kontaktů ve scénáři 1–3 a dle trvání (>10 s, >5 min, >15 min). **A)** celkem, **B)** během různých časových úseků: vstup (En), 1. polovina (1st), přestávka (HT), 2. polovina (2nd), odchod (Ex).



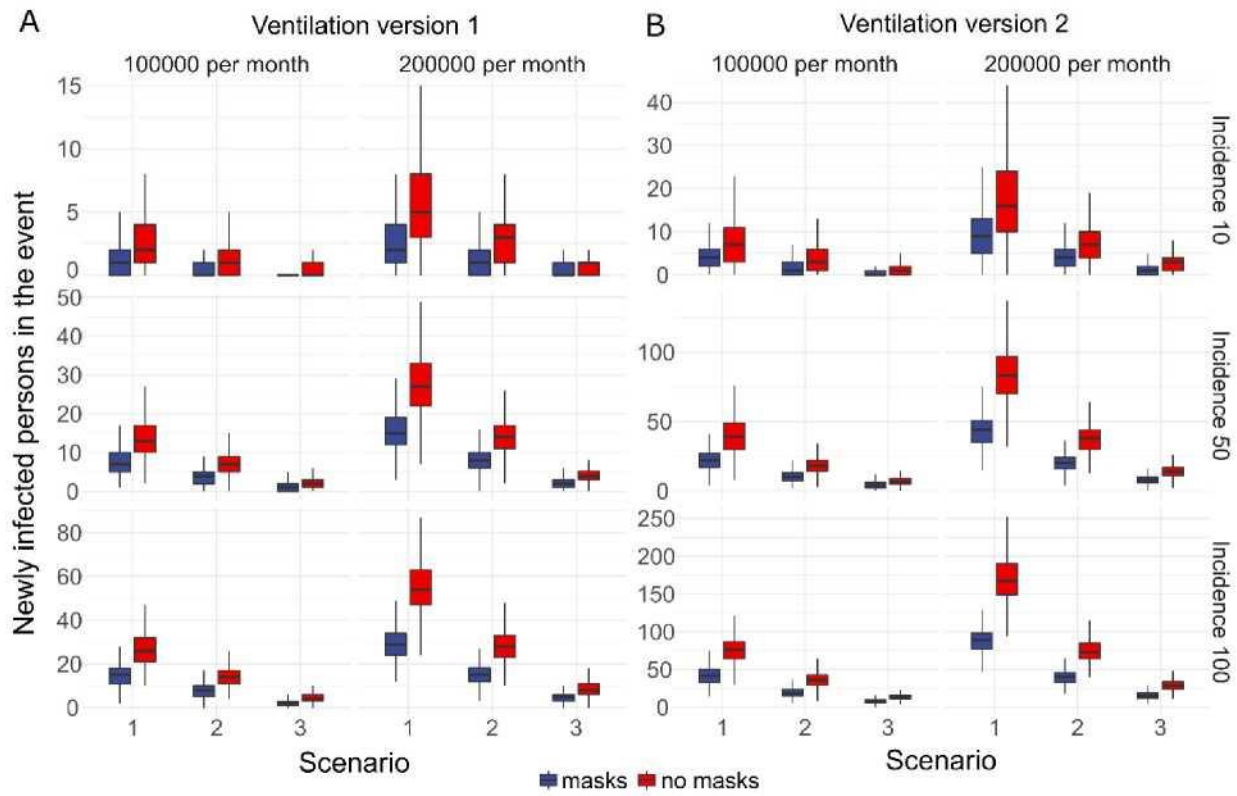
Obr. 2: Kumulativní počet nových kontaktů v různých časových úsecích: vstup (En), 1. polovina (1st), přestávka (HT), 2. polovina (2nd), odchod (Ex).



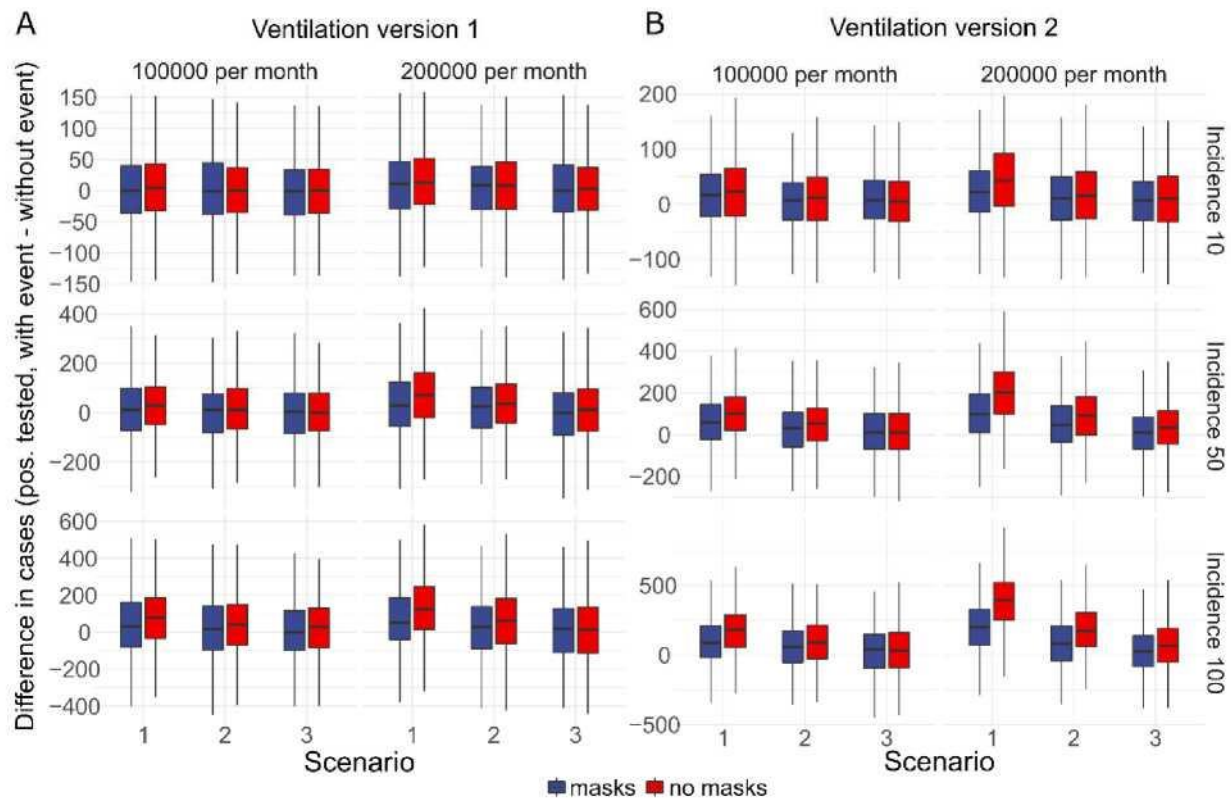
Obr. 3: Předpokládaný počet infekčních osob na hromadné akci dle celkového počtu účastníků se akcí za měsíc (velikost akce) a incidence.



Obr. 4: Počet osob, které se nakazily během hromadné akce dle scénáře, počtu účastníků hromadné akce za měsíc, a porovnání nošení versus nenošení roušek pro A) verzi větrání 1, B) verzi větrání 2



Obř. 5: Porovnání nadměřného počtu řpřpadů s pozitivním testem dle scénáře, počtu účastníků hromadné akce za měsíc, a porovnání nošení versus nenošení roušek pro A) verzi větrání 1, B) verzi větrání 2.



Tabulka 1. Průměrný počet osob vystavených aerosolům na každého nakaženého jednotlivce v obou verzích větrání (VV). Počty jsou uvedeny pro tři velké tribuny arény (přízemí, západní velká tribuna, východní velká tribuna) a všechny ochozy. SD = standardní odchylka.

Tribuna	Průměrný počet exponovaných osob na každou nakaženou osobu (\pm SD) v VV 1			Průměrný počet exponovaných osob na každou nakaženou osobu (\pm SD) v VV 2		
	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3
Přízemí	3,4 (\pm 2,9)	1,6 (\pm 1,3)	0,6 (\pm 0,9)	12,1 (\pm 6,1)	5,3 (\pm 3,0)	2,9 (\pm 2,3)
Západní velká tribuna	4,8 (\pm 3,5)	2,6 (\pm 1,8)	1,1 (\pm 1,1)	28,6 (\pm 31,0)	13,4 (\pm 14,9)	5,8 (\pm 7,1)
Východní velká tribuna	2,5 (\pm 2,3)	1,5 (\pm 1,2)	0,3 (\pm 0,7)	35,8 (\pm 34,6)	16,8 (\pm 17,0)	7,4 (\pm 8,1)
Všechny ochozy	3,5 (\pm 2,9)	1,9 (\pm 1,5)	0,7 (\pm 1,0)	25,5 (\pm 27,8)	11,8 (\pm 13,5)	5,3 (\pm 6,4)