

# AZ ÚJ KORONAVÍRUSVAL VALÓ MEGFERTŐZŐDÉS VALÓSZÍNŰSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA NUMERIKUS MODELLEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL

## INVESTIGATING THE PROBABILITY OF INFECTION WITH THE NOVEL CORONAVIRUS USING NUMERICAL MODELS

Füri Péter

PhD, tudományos munkatárs

Energiatudományi Kutatóközpont Csillebérc KFKI Telephely, Budapest

furi.peter@ek-cer.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az új koronavírus elsősorban vírustartalmú részecskék belégzésével terjed. E tanulmányban numerikus modellezés segítségével megbecsültük, hogy mekkora valószínűséggel fertőződik meg egy fertőzött egyénnel azonos irodában ülő egészséges kolléga 15, 30 és 60 perc alatt. Ehhez a sztochasztikus tüdőmodellel megvizsgáltuk a beszéd közben kibocsátott cseppek légzőrendszeri kiülepedéseloszlását, majd következő lépésként a Human Emission of Aerosols and Droplet Statistics (HEADS) modellel meghatároztuk a megfertőződés valószínűségét. A sztochasztikus tüdőmodellel végzett számításaink alapján kijelenthető, hogy bár a legtöbb részecske a felső légutakban ülepszik ki, a kiülepedett szám szerinti részecskefrakció jelentős az acináris légutakban is. A szám szerinti kiülepedéssűrűséget vizsgálva, több nagyságrenddel nagyobb értékeket láthatunk a felső légutakban, mint a tüdőben. Ez igazolja a légutak e részének fontosságát az új koronavírusnak az acináris légutakba jutása során. A megfertőződés valószínűségét a HEADS-modellel vizsgálva kijelenthető, hogy az iroda mérete és a kibocsátott cseppekben lévő víruskoncentráció jelentős mértékben befolyásolja a megfertőződés valószínűségét. Amennyiben a víruskoncentráció nagy ( $10^9/\text{ml}$ ), az arcra nem tökéletesen illeszkedő, eldobható sebészi maszkok nem nyújtanak megfelelő védelmet. Ajánlott tehát jó szűrési hatékonyságú (például FFP2-es szabványnak megfelelő) maszkok viselése.

### ABSTRACT

The novel coronavirus spreads mainly with the inhalation of virus-containing particles. In this study, using numerical modelling we estimated the probability for a healthy person sitting in the same room with an ill colleague getting the infection in a 15, 30 and 60 minutes duration. For this purpose, using the Stochastic Lung Model we calculated the airway deposition distribution of the particles emitted when speaking. As the next step, with the Human Emission of Aerosols and Droplet Statistics (HEADS) model we calculated the probability of getting infected. Our calculation with the Stochastic Lung Model showed that however most of the inhaled particles deposited in the upper airways the deposition rates were quite high in the acinar airways

too. Investigating the number deposition density rates, the values were with more orders of magnitude higher in the extrathoracic region than in the acinar airways. Determining the probability of infection with the HEADS, it can be stated that the air volume of the office and the virus concentration in the emitted droplets affect the infection probability strongly. If the virus concentration is high ( $10^9/\text{ml}$ ), the disposable surgical face masks with improper fit cannot give the required protection. Thus, it is required to wear masks with better filtration efficiency (for example masks, that meet the FFP2 standard).

**Kulcsszavak:** koronavírus, cseppfertőzés, fertőzési valószínűség, távolságtartás, maszkviselés, sztochasztikus tüdőmodell, légzőrendszeri kiülepedésselosztás

**Keywords:** coronavirus, airborne transmission, infection probability, social distancing, wearing masks, Stochastic Lung Model, airway deposition distribution

## BEVEZETÉS

A környezeti levegőben általában nagyszámú részecske található. Ezek egy része természetes eredetű, mások az emberi tevékenységek során kerülnek a légkörbe. Fontos azonban kiemelni, hogy maga az emberi test is jelentős részecskékibocsátó lehet, hiszen köhögéskor, tüsszentéskor, de még beszéd közben is számos légzési csepp (respiratory droplet) hagyja el a légzőrendszert. Ezekben cseppfertőzéssel terjedhet számos kórokozó, mint például a *Mycobacterium tuberculosis*, az influenzavírus vagy az új koronavírus (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 [SARS-CoV-2]).

2019-ben a kínai Vuhan városában megjelent SARS-CoV-2 által okozott betegséget a víruscsaládról (Coronaviridae) és a dátum utolsó két számjegyéből Covid19-nek szokták nevezni (Paules et al., 2020). E betegség hamar világjárvánnyá vált (WHO, 2020), és az egészségügyre nehezedő hatalmas nyomás mellett komoly gazdasági károkat is okozott, illetve okoz e tanulmány írásakor is (2021. szeptember).

Az  $50\ \mu\text{m}$ -nél nagyobb átmérőjű részecskéket a gravitációs ülepedés gyorsan eltávolítja a levegőből, ám egy 1 mikrométeres részecske akár órákig a levegőben maradhat (Netz, 2020). Zárt térben (például irodák vagy tömegközlekedési eszközök) önmagában nem nyújt elégséges védelmet tehát az 1,5 m-es távolságtartás. Feltétlenül szükséges emellett a maszkok viselése is.

A SARS-CoV-2-fertőzés valószínűségének becsléséhez szükséges a légutakban kiülepedett vírusok mennyiségének meghatározása. Ez ma még sajnos nem vizsgálható kísérleti módszerekkel, ezért az olyan numerikus részecskekiülepedési modellek, mint az International Commission on Radiological Protection Human Respiratory Tract Modell (ICRP HRTM) (ICRP, 1994) vagy a sztochasztikus tüdőmodell (Koblinger–Hofmann, 1990; Hofmann–Koblinger, 1990, 1992) egyedülálló lehetőséget nyújtanak ennek vizsgálatára.

E munka célja az volt, hogy numerikus modellezés segítségével meghatározza a belélegzett vírustartalmú cseppek légúti kiülepedésseloszlását, illetve megbecsülje, hogy egy beteggel egy irodában dolgozó kolléga mekkora valószínűséggel fertőződik meg a SARS-CoV-2 vírussal 15, 30 és 60 perc alatt.

## A HUMÁN LÉGUTAK FELÉPÍTÉSE

E tanulmány eredményeinek megértéséhez szükséges a humán légzőszerv felépítésének rövid ismertetése. A légzőszervet a felső légutak (extratorakális régió), a tüdő és a kis vérkör alkotják. A tüdő felosztható továbbá bronchiális és acináris régióra. A bronchiális régió csak a tüdő mélyebb része felé vezeti a levegőt, az acináris légutak felületén azonban már találhatóak légzőhólyagok (alveolus), melyekben megtörténik a gázcsere.

## MÓDSZEREK

Egy, a beteg egyénnel azonos irodában dolgozó személy megfertőződési valószínűségének becslésekor első lépésként modellezni kell a belélegzett vírustartalmú cseppek légúti kiülepedésseloszlását. Ehhez a sztochasztikus tüdőmodellel meghatároztuk a kiülepedett részecskefrakciót (ez a kiülepedett és a belélegzett részecskék aránya) és a kiülepedéssűrűséget (ez a légutak egységnyi felületére eső kiülepedett részecskefrakció) a felső légutakban (ET) és a tüdő bronchiális (Br), valamint acináris (Ac) régiójában.

A kilélegzett részecskék eljutásának valószínűségét a kibocsátótól a befogadóiig, ezáltal a megfertőződés valószínűségét a HEADS<sup>1</sup>-szoftverrel határoztuk meg, amelynek bemenő adata a belélegzett részecskék a teljes légzőrendszerben (ET + Br + Ac) kiülepedett frakciója.

## A SZTOCHASZTIKUS TÜDŐMODELL ÉS BEMENŐ ADATAI

A belélegzett részecskék légzőrendszeri kiülepedésseloszlásának jellemzésére szolgál a sztochasztikus tüdőmodell, melynek kezdeti verzióját Koblinger László és Werner Hofmann dolgozta ki 1985 és 1992 között (Koblinger–Hofmann, 1990; Hofmann–Koblinger, 1990, 1992). E modellt létrehozatala óta fejlesztik Magyar-

<sup>1</sup> Human Emission of Aerosols and Droplets Statistics, Max Planck Institute for Dynamics and Self-organization Laboratory for Fluid Physics, Pattern Formation and Biocomplexity, Göttingen – University Medical Center Institute of Infection Control and Infectious Diseases, Göttingen.

országon, az Energiatudományi Kutatóközpontban, illetve a Salzburgi Egyetemen is. Az elvégzett, orrlégzést feltételező szimulációkhoz a légzési paramétereket ( $750 \text{ cm}^3$  légzési térfogat,  $3300 \text{ cm}^3$  maradványkapacitás, 2,5 másodperces be- és kilégzés) az ICRP 66-os kiadványból vettük (ICRP, 1994).

### A HEADS 1.0 MODELL ÉS BEMENŐ ADATAI

A Human Emission of Aerosol and Droplet Statistics (HEADS, URL1) egy SARS-CoV-2-vel való fertőződési valószínűséget becsülő modell, amelyet a göttingeni Max Planck Intézet és a University Medical Center készített. Az e modell által használt adatbázist, mely a kilélegzett levegőben lévő részecskék méreteloszlását és koncentrációját tartalmazza több mint százhusz, öt és nyolcvan év közötti önkéntes segítségével végzett méréssel határozták meg. E tanulmányban a HEADS 1.0 segítségével egy kétfős és egy ötfős irodát modelleztünk 1-1 fő fertőzöttet feltételezve. A kisebb iroda 10, míg a nagyobb 20  $\text{m}^2$ -es volt 2,8 m belmagassággal. Az irodákban nem volt légcserre. Hogy szemléltessük a kilélegzett cseppekben lévő víruskoncentráció hatását annak a valószínűségére, hogy egy egészséges kolléga megfertőződik, mind a nagy és a kicsi irodára számításokat végeztünk  $10^7/\text{cm}^3$  és  $10^9/\text{cm}^3$  víruskoncentrációval is 15, 30 és 60 perc időtartamra.

Számításaink során a HEADS-ben „normál beszédet” ( $0,57 \text{ m}^3/\text{óra}$  belélegzési térfogatáram) feltételeztünk mind a fertőzött személy, mind az egészséges kolléga/kollégák esetén. Ez megfeleltethető a kiüledéseloszlás meghatározásához használt, az ICRP 66-ban lévő ülésnek ( $0,54 \text{ m}^3/\text{óra}$ )

Az általunk vizsgált esetben a maszkok belélegzéskor és kilégzéskor is 60%-át szűrték ki az átszívott cseppeknek. 20%-át a cseppeknek pedig a maszk mellett lélegezték be a maszkot viselő egyének. A levegőből belélegzett részecskék átmérője 33%-a volt a beszédkor kibocsátott részecskék átmérőjének. 200 vírust állítottunk be emellett átlagos fertőző dózissnak. A HEADS-modellben ez az alapbeállítás. Továbbá, kizárólag  $50 \mu\text{m}$  alatti részecskeméretű cseppek játszottak szerepet a vírus terjesztésében.

Fontos kiemelni, hogy a megfertőződés valószínűsége számos, adott helyre vagy akár az adott egyénre jellemző paramétertől függ. Az e tanulmányban feltüntetett eredmények tehát csak a modellezett tényezők együttállásakor érvényesek.

### A BESZÉD KÖZBEN KIBOCSÁTOTT CSEPPEK MÉRETELOSZLÁSA

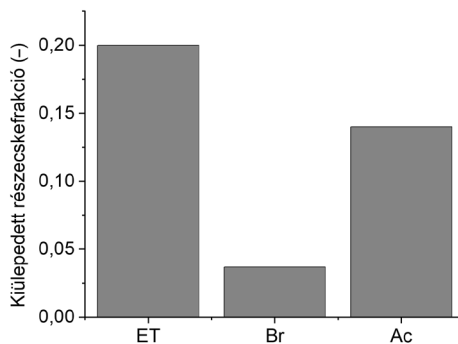
Sima Asadi és munkatársai (Asadi et al., 2019) aerodinamikus részecskeszámláló (Aerodynamic Particle Sizer, APS) segítségével  $0,5$  és  $20 \mu\text{m}$ -es átmérő között igen jó felbontással mérték az „a” hang kimondása közben keletkező részecs-

kék méreteloszlását, ezért az e tanulmányban közölt, a légúti kiülepedéseloszlást modellező számításokhoz az ebből a publikációból származó részecskeméret-eloszlást használtuk. A légzőrendszerből beszédkor kibocsátott cseppek méreteloszlásának maximuma Asadi és munkatársai mérése alapján körülbelül  $1\ \mu\text{m}$ -nél található. Az ilyen, kisméretű részecskék esetén nem elegendő az 1,5 m-es távolságtartás, hiszen azok akár órákig is a levegőben maradhatnak. Amennyiben tehát egy SARS-CoV-2-fertőzött egyén bármilyen, nem megfelelően szellőző zárt térben van, az általa kibocsátott cseppek és az abban lévő vírusok nagy valószínűséggel eljuthatnak az adott helyiségben tartózkodó egészséges egyénekhez. Fontos adat azonban, hogy hány vírusnak kell kiülepednie a légutakban, hogy az immunrendszer már ne tudja elég gyorsan semlegesíteni a kórokozókat, így azok elszaporodva kiválthassák nem kívánt biológiai hatásukat.

Ez a szám természetesen számos paramétertől függ, nem azonos például a SARS-CoV-2 eredeti és béta vagy delta változatának fertőzőképessége.

#### A BELÉLEGZETT RÉSZECSKÉK LÉGZŐRENDSZERI KIÜLEPEDÉSELOSZLÁSA

A belélegzett cseppeknek a sztochasztikus tüdőmodellel meghatározott kiülepedéseloszlása a felső légutakban, valamint a tüdő bronchiális és acináris részében az 1. ábrán látható.



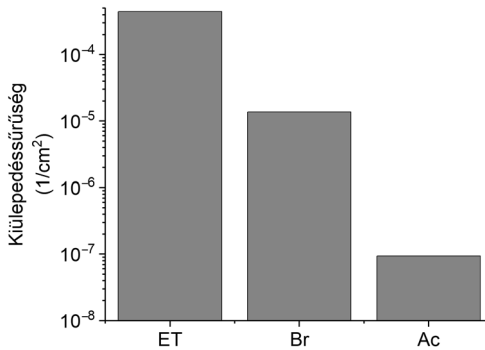
**1. ábra.** A belélegzett cseppekből kiülepedett részecskefrakció a felső légutakban (ET), valamint a tüdő bronchiális (Br) és acináris (Ac) régiójában (a szerző szerkesztése)

A felső légutak (ET), főleg orrlégzés esetén nagy hatékonysággal szűrik ki a kicsi, néhány nanométeres, illetve a  $4\text{--}5\ \mu\text{m}$ -es átmérőjűnél nagyobb részecskéket. A cseppek mérete nemcsak abból a szempontból fontos, hogy a légutak mely részén ülepednek ki, hanem az átmérő azt is meghatározza, hogy egy cseppben hány vírus található. Fontos észrevenni, hogy a kiülepedéseloszlás nem egyenletes a légutakban. A legtöbb beszédkor kibocsátott részecske a felső légutakban

ülepszik ki. Ráadásul jellemzően éppen a nagyobb, több vírust tartalmazó cseppet szűrik ki a belélegzett levegőből e légutak. A SARS-CoV-2 „célterülete” azonban elsődlegesen az acináris régió, hiszen itt vált ki legtöbbször tüdőgyulladást.

A vírus a felső légutakból több úton is eljuthat a tüdő acináris részébe. Lehetséges például, hogy egy beteg egyén belélegzi az általa korábban kibocsátott cseppeket. Másik lehetőség, hogy a cseppek és az abban lévő vírusok el sem hagyják a légzőrendszert. Ekkor a belélegzett levegő kis „nyákdarabokat” szakít le és sodor magával a felső légutakból a tüdő mélyebben fekvő része felé.

A biológiai hatás szempontjából lényeges azonban a légutak felülete is. Fontos megemlíteni, hogy míg a felső légutak mindössze körülbelül  $470 \text{ cm}^2$ , az acináris légutak  $1,5$  millió  $\text{cm}^2$  felületűek. Bár a kiülepedett részecskefrakció jelentős az acináris légutakban, az adott felületre eső kiülepedett részecskefrakció (kiülepedéssűrűség) nagyságrendekkel nagyobb a felső légutakban, mint a tüdő bronchiális vagy acináris régiójában (2. ábra). Ez jól szemlélteti, hogy amennyiben bizonyos adott felületre eső vírussűrűség szükséges ahhoz, hogy a SARS-CoV-2 elszaporodhasson, akkor a vírus megtelepedésére sokkal nagyobb a valószínűség a felső légutakban, mint a tüdő acináris légútjaiban.



**2. ábra.** A belélegzett cseppek kiülepedéssűrűsége a felső légutakban (ET), valamint a tüdő bronchiális (Br) és acináris (Ac) régiójában. Fontos észrevenni, hogy itt az y tengely logaritmikus (a szerző szerkesztése)

## MEGFERTŐZŐDÉSI VALÓSZÍNŰSÉG

Szemléltetésképpen megadjuk egy tetszőleges, a beteg egyénnel azonos irodában ülő egészséges személy megfertőződési valószínűségét kétféle víruskoncentrációra ( $10^7$  és  $10^9$  vírus/cm<sup>3</sup>-re).

A megfertőződés valószínűségének vizsgálatához a HEADS-szoftverben szükséges megadni a belélegzett részecskék a teljes légzőrendszerben (felső légúti + bronchiális + acináris) kiülepedett frakcióját. Ez az általunk modellezett esetben

38,6% volt (a felső légúti kiülepedés 20,6%, a bronchiális kiülepedés 3,7%, az acináris kiülepedés 14,3%).

**1. táblázat.** Egy fő megfertőződésének átlagos valószínűsége, ha a fertőzött egyén és az egészséges kolléga/kollégák is visel/viselnek maszkot

Bent tartózkodás hossza (perc)	15 perc, kis iroda	15 perc, nagy iroda	30 perc, kis iroda	30 perc, nagy iroda	60 perc, kis iroda	60 perc, nagy iroda
Egy fő megfertőződésének valószínűsége (%) $10^7$ vírus/ml	0,12	0,06	0,32	0,16	0,77	0,38
Egy fő megfertőződésének valószínűsége (%) $10^9$ vírus/ml	10,7	5,50	26,5	14,3	52,18	30,85

Mint az *1. táblázatban* látható, az iroda mérete fontos szerepet játszik a megfertőződés valószínűségében.

Egy olyan, cseppfertőzéssel terjedő betegség, mint a Covid19 esetén, természetesen az a legjobb, ha egy helyiségben lehetőleg csak egy fő van. Amennyiben ez nem valósítható meg, jobb, ha az iroda légtere minél nagyobb, és a kollégák minél messzebb ülnek egymástól.

Mivel szellőztetéssel jelentősen csökkenthető a levegőben lévő cseppek száma, amennyiben az lehetséges, erősen ajánlott az ablakok gyakori kinyitása.

További lényeges paraméter a beteg egyénnel együtt töltött idő hossza. Ez természetesen minél rövidebb, annál jobb. A helyiség méretén és az együtt töltött időn túl kulcsfontosságú a víruskoncentráció a kilelegzett cseppekben. Mint az *1. táblázatban* látható, a megfertőződés valószínűsége erősen függ a cseppekben található víruskoncentrációtól. Pan Jang (Yang Pan) és munkatársai (Pan et al., 2020) a *The Lancet* folyóiratban publikált adatai szerint, mérésük során az átlagos vírus RNS-másolat-koncentráció  $7,52 \times 10^5/\text{cm}^3$  RNS-másolat volt, de az értékek igen erősen,  $641/\text{cm}^3$  és  $10^{11}/\text{cm}^3$  között ingadoztak. Ennek és a beszéd közben kibocsátott cseppek mennyiségének egyéni adottságoktól (például légúti geometria, légzési mód) való függése magyarázza, hogy bizonyos emberek (szuperterjesztő) nagyobb valószínűséggel fertőznek meg másokat, mint egy átlagos egyén.

A maszkok viselésével nagymértékben csökkenthető annak a valószínűsége, hogy a beteg egyén által kibocsátott cseppeket valamelyik egészséges kolléga belegegzi. Fontos azonban a maszk részecskeszűrési hatékonysága és a minél jobb illeszkedés is az acra.

E tanulmány megmutatta, hogy amennyiben a víruskoncentráció nagy a cseppekben, az egészséges kolléga megfertőződésének valószínűsége egy óra kitettség esetén igen nagy, még 60%-os részecskeszűrési határfokú maszkok viselése esetén is.

## KÖVETKEZTETÉS

A sztochasztikus tüdőmodellel végzett kiülepedéseloszlás számításaink igazolták, hogy a belélegzett cseppekben lévő vírusok közvetlenül belélegzéskor is eljuthatnak a tüdő acináris régiójába, ám a felső légutak fontosságát jelzi, hogy jellemzően éppen a nagyobb, több vírust tartalmazó cseppek ülepedtek itt ki, illetve a kiülepedéssűrűség, azaz a légutak egységnyi felületére kiülepedett részecskefrakció nagyságrendekkel nagyobb a légutak e részén, mint az acináris régióban, ahol a tüdőgyulladás általában kialakul. Eredményeink alapján valószínűsíthető tehát, hogy a vírus először megtelepszik a felső légutakban, majd később nagyméretű, sok vírust tartalmazó cseppekben jut le az acináris légutakba. Ez lehetővé teszi azonban a Covid19 egyfajta megelőző kezelését is. Ennek során vírusölő hatású szájvizetek és orrspray-k rendeltetésszerű használatával gyérítjük a vírusok számát a felső légutakban. E kezelési mód hatásosságának igazolásához azonban klinikai vizsgálatok szükségesek.

Az egy fertőzött egyénnel egy kicsi és egy nagy irodában dolgozó kolléga megfertőződési valószínűségét vizsgáló számításaink megmutatták, hogy amennyiben a beteg egyén által kibocsátott cseppekben nagy a víruskoncentráció ( $10^9$  vírus/ml), még a 60%-os részecskeszűrési hatékonyságú maszkok viselése sem elegendő az egészséges kolléga megfertőződési valószínűségének alacsony szintre csökkentéséhez. Kijelenthető továbbá, hogy a SARS-CoV-2 terjedését megelőzendő, lehetőleg nagy légtérű, jól szellőző helyiségekre van szükség. Mivel az egyes egyének által kibocsátott cseppekben lévő víruskoncentráció a legtöbb esetben nem ismert, minden olyan zárt helyen, ahol rövid időn belül többen megfordulnak, a távolságtartás mellett feltétlenül szükséges a jó részecskeszűrési hatékonyságú maszkok (például az FFP2-szabványnak megfelelő) viselése is. További intézkedésként munka után a helyiségek fertőtlenítése történhet például germicid lámpákkal vagy ózongenerátorral (URL2). Összefoglalásként kijelenthető, hogy nem szabad félvállról venni az olyan cseppfertőzéssel terjedő kórokozókat, mint a SARS-CoV-2. Minden rendelkezésre álló eszközzel gátolni kell ezek terjedését. A SARS-CoV-2 esetén szerencsére ma már rendelkezésre állnak megfelelő oltások is a vírus ellen, amelyek tömeges beadásával nagymértékben csökkenthető az újabb fertőzési láncok kialakulásának valószínűsége.

## IRODALOM

- Asadi, S. – Wexler, A. S. – Cappa, C. D. et al. (2019): Aerosol Emission and Superemission during Human Speech Increase with Voice Loudness. *Scientific Reports*, 9, 1, 2348 DOI: 10.1038/s41598-019-38808-z, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38808-z>

- Hofmann, W. – Koblinger L. (1990): Monte Carlo Modeling of Aerosol Deposition in Human Lungs. Part II: Deposition Fractions and Their Sensitivity to Parameter Variations. *Journal of Aerosol Science*, 21, 675–688. DOI: 10.1016/0021-8502(90)90122-E
- Hofmann, W. – Koblinger L. (1992): Monte Carlo Modeling of Aerosol Deposition in Human Lungs. Part III: Comparison with Experimental Data. *Journal of Aerosol Science*, 23, 51–63. DOI: 10.1016/0021-8502(92)90317-O
- ICRP Publication 66. (1994): *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection*, (Annals of the ICRP 24) Oxford, UK: Pergamon Press, <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2066>
- Koblinger L. – Hofmann, W. (1990): Monte Carlo Modeling of Aerosol Deposition in Human Lungs. Part I: Simulation of Particle Transport in a Stochastic Lung Structure. *Journal of Aerosol Science*, 21, 661–674. DOI: 10.1016/0021-8502(90)90121-D
- Netz, R. R. (2020): Mechanisms of Airborne Infection via Evaporating and Sedimenting Droplets Produced by Speaking. *Journal of Physical Chemistry*, 124, 7093–7101. DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c05229, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.0c05229>
- Pan, Y. – Zhang, D. – Yang, P. et al. (2020): Viral load of SARS-CoV-2 in clinical samples. *The Lancet Infectious Diseases*, 20, 411–412. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30113-4, <https://bit.ly/3Crd2gn>
- Paules, C. I. – Marston, H. D. – Fauci, A. S. (2020): Coronavirus Infections—More Than Just the Common Cold. *Journal of the American Medical Association*, 323, 707. DOI: 10.1001/jama.2020.0757, <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2759815>
- WHO – World Health Organization (2020): *WHO Announces COVID-19 Outbreak a Pandemic*. <https://bit.ly/3FgPtZo>

URL1: <https://aerosol.ds.mpg.de/en/>

URL2: <https://www.nnk.gov.hu/index.php/koronavirus-tajekoztato/911-uv-c-feny-germicid-lampa-vizsgalata-covid-kornyezetben>