



Tapani Hovi

Koronavirus SARS-CoV-2

– yllätyksellinen vuoden tulokas

Vuosi 2020 jää historiaan ainakin siksi, että ihmiskunta sai kiusakseen uuden tartuntataudin, COVID-19:n, joka levisi pandemiaksi vuoden alkukuukausina. Pandemian ensimmäinen aalto veloo vielä monella mantereella, ja monessa maassa, Suomessakin, kipuillaan jo toisen aallon huuhtelussa. Kymmenet miljoonat ovat saaneet SARS-CoV-2-tartunnan, ja yli miljoona ihmistä on kuollut. Silti laumasuojasta ei näy häivääkään. Useampikin rokotehanke on antanut lupaavia tuloksia, mutta kirjoittaessani tätä marraskuun 2020 lopulla ei yhtään tehokkaaksi ja turvalliseksi osoitettua rokotetta ole vielä saatavilla. Sama pätee viruslääkkeisiin.

COVID-19 tai paremminkin sen pelko on lyhyessä ajassa muuttanut maailmaa ehkä enemmän kuin mikään muu ilmiö toisen maailmansodan jälkeen. Poikkeuksellisen tiukoilla liikkumis- ja kokoontumisrajoituksilla viruksen kierto ensi aallossa kyllä hidastui tai ja paikoin jopa lamaantui, mutta niinkävi osin myös muulle terveydenhoidolle ja etenkin monille talouselämän aloille.

Miten ihmeessä yksi virus sai maailman mahtavimmatkin valtiot rähmälleen? Kuinka paljon voimme normalisoida arkielämäämme ilman, että epidemia ryöstäytyy kokonaan hallinnasta? Milloin, jos koskaan, koittaa ”aika koronan jälkeen”? Minulla on ollut virologinen lukkarinrakkaus koronaviruksiin jo puolen vuosisataa, ja yritän sen pohjalta ymmärtää beetakoronavirusten alaryhmään kuuluvaa SARS-CoV-2-virusta ja joitakin sen aiheuttaman pandemian mukanaan tuomia ilmiöitä meillä ja muualla.

Koronavirukset ja koronavirustaudit

Jo vuosikymmenten ajan on tiedetty, että koronavirukset aiheuttavat yleisiä, lieviä ylähengitystieinfektioita, varsinkin lapsille (1). Joillekin

tuotanto- ja lemmikkieläimille ne aiheuttavat vakaviakin tauteja (2). Viruspartikkelin rakenne on aika tavanomainen lukuun ottamatta peruspallukasta ulospäin joka suuntaan sojottavia S-proteiineja. RNA-genomi on pakkautunut N-ydinproteiinin kanssa kierteiseen nukleokapsidiin. Se kääriytyy lipoproteiiniivaippaan, jossa on kolme virusproteiinia (M, E ja S).

Tähän loppuukin sitten tavanomaisuus.

Koronavirusgenomi on suurin tunnettu RNA-genomi, peräti noin 30 000 nukleotidia sisältävä nauha. Koronavirusten

RNA-polymeraasikompleksin hienouksiin kuuluu kyky korjata virheet: vääränlainen nukleotidi tulee napsaistuksi ketjusta pois ja oikea nidotuksi tilalle. Vastaavaa ei muilla RNA-viruksilla tavata, DNA-viruksilla ja isäntäsoluilla kylläkin.

Korjaustoiminto ei ole täydellinen, ja pistemutaatioita syntyy sopivaan tahtiin niin, että virusisolaattien sekvenssivertailua voidaan käyttää tartuntaketjujen selvittelyssä. Toinen koronavirusten erikoisuus on lähetti-RNA-kelpoisen genomien emäsjärjestykseen ladattu liukumiina: osa kolmen kirjaimen askelin harpovista ribosomeista hämmennyttää tällä kohtaa, lipsahtaa kirjaimen verran taaksepäin ja alkaa lukea perimätietoa ”rivien välistä”. Tapahtuu

Miten ihmeessä yksi virus sai maailman mahtavimmatkin valtiot rähmälleen?



niin sanottu frameshift eli lukukehyksen vaihto, jolla genomitiedon hyödyntäminen proteiinitasolla tuplautuu. Syntyvän proteiinin aminohapot ovat loppumatkalla aivan erilaisia kuin ilman tätä ”tidiloikkaa”.

Koronavirusten genomi koodaa yli 20:tä sellaista proteiinia, jotka eivät pakkaudu viriooniin; ne osallistuvat virusgenomin monistamiseen ja omalaatuisten lähetti-RNA-molekyylien synteesiin tai sitten muokkaavat monella tapaa isäntäsolun aineenvaihduntaa virukselle otolliseen muotoon. Viruksen proteiinit muun muassa häiritsevät interferonijärjestelmän toimintaa ja sitä kautta immuunivasteen hallittua käynnistymistä, millä on merkitystä COVID-19-taudin patogeneesissä.

Jotkin interferonijärjestelmän synnynnäiset puutteet ja tyypin I interferoniin kohdistuvat autovasta-aineet on osoitettu merkittäviksi vaikean COVID-19-taudin riskitekijöiksi (3,4). SARS-CoV-2 hämmentää myös ihmisen mikro-RNA-verkoston toimia puolustusmekanismien säätelyssä (5). Kaksijakoisen taudinkuvan alkuvaiheen oireet voivat olla viruksen suoraa vaikutusta tai välittömiä tulehdusreaktion ilmentymiä. Myöhempiin, vaikeampiin oireisiin osallistuu sitten ihmisen ylireagoiva ja muutenkin häiriintynyt immuunijärjestelmä.

Reseptori ohjaa viruksen elimiin ja eläimiin

Koronaviruksen sakarat muodostaa S-proteiini, jonka välityksellä virus tarttuu solun pinnan reseptoriin, jollaisena – ainakin yhtenä niistä – SARS-CoV-2:lle toimii entsyymi angiotensiini-konvertaasi 2 (ACE2). Se on eri entsyymi kuin ACE:n estäjä -verenpainelääkkeiden kohde ACE1. Pandemian alkuvaiheissa herännyt huoli tämän lääkityksen turvallisuudesta COVID-19-potilaille on osoittautunut perusteettomaksi (6).

ACE-2 ilmenee myös keuhkoissa ja verisuonten seinämissä, mutta nykytiedon valossa tämän molekyylin ilmentyminen ei yksinään selitä COVID-19-taudin oireiden kudosjakautumista. Yksi lisätekijä voi olla proteiini neuropiliini, joka vauhdittaa isäntäsolun furiini-proteasin muokkaaman SARS-CoV-2:n tunkeutumis-

ta soluun (7). Tässä SARS-CoV-2 eroaa serkutaan SARS-1-viruksesta, johon furiini ei pure.

ACE-2:ta löytyy muiltakin eläimiltä enemmän tai vähemmän samanlaisena kuin ihmiseltä, ja niinpä SARS-CoV-2 tarttuu herkästi muun muassa kissa- ja näätäeläimiin. Kotikissa voi saada hengitystieinfektion oireita ja erittää virusta myös ympäristöönsä (8). Monissa maissa ihmiset ovat onnistuneet levittämään viruksen minkkitarhoihin. Minkeistä virus on tarttunut takaisin ihmisiin; kotikissoista vastaavaa ei ole raportoitu. Minkkejä on jo kuollut pandemian vuoksi enemmän kuin ihmisiä. Sekä Hollannissa että Tanskassa on toteutettu mittavia joukkoteurastuksia.

Mistä ja miten virus tuli ihmisiin?

Ihmismielen yleinen harhama on juuttuminen ensivaikutelmaan tai kerran opittuun näkemykseen. SARS-CoV-2:n osalta yksi tällainen on viruksen ja COVID-19-taudin lähtökohta ja alkuperä. Se on uutisten mukaan aina vaan viime vuodenvaihte ja Wuhanin kalatori, jokin torilla kaupattu villieläin. Kiinassa kiellettiin villieläinten myynti toreilla, vaikka SARS-CoV-2:ta ei löydetty Wuhanin torin eläimistä – torilta kyläläkin, mutta sekvenssianalyysin perusteella ihmisissä lisääntyntä. Varmaa väli-isäntää ei ole löydetty muualtakaan.

On myös ehdotettu, että lepakosta peräisin oleva virus on kiertänyt ihmisissä jo pitempään ja mutaatioiden ja rekombinaatioiden kautta lopulta hankkinut ominaisuudet, jotka tekivät mahdolliseksi Wuhanin epidemian ja edelleen pandemian (9). Sunday Timesin tutkiva jurnalismi esitti heinäkuussa jännittävän tarinan, jonka mukaan lepakoista löydetty SARS-CoV-2:ta geneettisesti lähinnä oleva koronavirus eristettiin vuonna 2012 Wuhanin viruslaboratoriossa vanhasta kaivoksesta, jossa aiemmin työskennelleestä siivousryhmästä kuusi henkilöä oli sairastunut keuhkokuumeeseen ja kolme heistä kuollut (10). Tautien aiheuttaja oli jäänyt selvittämättä. Tätä tarinaa hyödyntävät myös salaliittoteoreetikot, joiden mukaan ihmisten tarkoituksella muokkaama virus on päässyt karkuun Wuhanin laboratoriosta. Viruskantojen lajinkehityksen analyysit puhuvat

TAULUKKO. Mikä COVID-19-taudissa ja sen aiheuttajassa SARS-CoV-2:ssa yllätti?

Yllättäväksi tai erityiseksi mainittu ominaisuus	Totuus
Uusi pandemian aiheuttava zoonoosi	Ei yllätys, odotettu "tauti X"
Viruksen alkuperä lepakoissa	Ei yllätys, edelläkävijät SARS ja MERS
Virus tarttuu tehokkaasti ihmisestä toiseen	Pandemian edellytys. Ei yllättävä, mutta pelätty ominaisuus
Tarttuu myös oireettomista tartunnankantajista	Ei yllätys, tavallista virustaudeissa
Voi uhata vanhuksien ja muiden riskiryhmien henkeä	Tuttua influenssasta
Lapsilla selvästi vähäoireisempi kuin aikuisilla	Vastaa monia muitakin virustauteja, esimerkiksi vesi- ja tuhkarokkoa sekä hepatiitti A:ta. Lapsuuden "kausikoronainfektiot" saattavat suojata COVID-19-taudilta (12).
Hengitystieinfektio, mutta oireita myös muissa elimissä	Moni yleisinfektio tarttuu hengitysteitse
Toipuminen voi viedä viikkoja	Tuttua influenssasta
Voi aiheuttaa pysyviä kudolvaurioita	Ei tavatonta virustaudeissa, kotoisistakin muun muassa puutiais-aivokuume

tätä vastaan (11). Voi olla, ettemme saa koskaan tietää totuutta viruksen välietapeista matkalla lepakoista ihmisiin.

Mikä tässä pandemiassa sitten yllättää?

WHO:n suosituksesta eri maiden tartuntatautiviranomaisten olisi pitänyt jo jonkin aikaa sitten varautua uuden tuntemattoman taudin, "tauti X:n" ilmestymiseen. Nyt se sitten tuli. Sen ei siis olisi pitänyt olla yllätys, mutta päätäjille varmaankin oli, kun esimerkiksi THL:n resurssija oli vuodesta toiseen leikattu juuri tartuntatautiseurannan ja -tutkimuksen osalta.

Yllätys ei ollut sekään, että tauti X:n aiheutti lepakoista lähtenyt koronavirus. Niistä oli tällä vuosituhanella levinnyt ihmisiin jo kaksi ärhäkkää koronavirusta, SARS-CoV-1 ja MERS. Nämä eivät kuitenkaan pystyneet aiheuttamaan pandemiaa, minkä SARS-CoV-2 nyt teki. Se – toisin kuin edellä mainitut – pystyi leviämään tehokkaasti ihmisestä toiseen, ja ympäriinsä mantereelta toiselle lentelevät ihmiset hoitivat lopun (TAULUKKO).

Miksi maailma reagoi niin kuin reagoi?

Yllättävintä tässä loppujen lopuksi kai on ihmiskunnan reaktio: rajat pantiin kiinni, lentokoneet jäivät maahan, ravintolat ja teatterit suljettiin, massatapahtumat kiellettiin, koululai-

set komennettiin kotiin ja työikäiset etätöihin, hauraat vanhukset karanteeniin. Talous romahti, työttömyys ja konkurssit lisääntyivät rajusti. Pahinta ei tässä mielessä vielä liene nähty. Miksi maailma reagoi niin kuin reagoi? Mitään tällaista ei nähty aiempien pandemioiden aikana, vaikka esimerkiksi 1950-luvun aasialais-influenssassinakin tauti oli yhtä vakava – espanjantaudista nyt puhumattakaan.

Toivottavasti kaikille mahdollisille tieteenaloille pulpahtanut koronavirus tutkimus antaa aikanaan vastauksen. Yksi osaselitys lienee nykyinen online-tiedonvälitys, joka on kerta luokkia nopeampaa ja kattavampaa kuin vielä aasialaisinfluenssan aikoina. Mikä tietoa lisää, se tuskaa (ja pelkoa) lisää. Toinen osaselitys lienee Kiinan ja lähinaapurien esimerkki. Tiukat rajoitukset näyttivät toimivan. Ja ovathan ne toki toimineet monissa muissakin maissa, toisissa taas eivät. Virus oli livahtanut ihmisten mukana huomaamatta Kiinasta ulos ties kuinka moneen kertaan. Rajojen sulkeminen ei enää auttanut, kun tartuntaketjut kiersivät väestössä jo täyttä vauhtia. Virusta on löydetty jo vuonna 2019 kerätyistä näytteistä eri puolilla Eurooppaa ja Yhdysvalloista (13).

Vääriä odotuksia

Kun ensimmäiset tiedotteet uudesta hengitysteiden infektio taudista alkoivat tulla Kiinasta tammikuussa 2020, tauti kuulosti SARS-taudin lievemmältä versioltä. Niinpä ajateltiin yleisesti

– itsekin ajattelin – että kyllä Kiina naapurimaiden saa taudin pysähtymään samoilla hygieni- ja eristystoimenpiteillä, joilla SARS saatiin kuriin vuosituhannen alussa. Näin ei käynyt. Yksi selitys tälle oli oireettomien tartunnankantajien suuri osuus. Virus levisi väestössä salaa.

Tämänkään ei sinänsä olisi pitänyt olla yllätys kenellekään. Moni muukin virusinfektio on lieväoireinen tai usein jopa oireeton. Esimerkiksi poliovirusinfektio aiheuttaa halvausoireisen taudin vain noin 1 %:lle tartunnan saaneista. Myös muut 99 % kuitenkin levittävät virus-ta useiden viikkojen ajan. COVID-19 on toki hengenvaarallinen erityisesti ikääntyneille, muttei lopulta erityisen poikkeuksellinen virustauti (**TAULUKKO**).

Infodemia ja tutkimustiedon tulva

Pandemia ja sen jarrutustoimet aiheuttivat aikamoisen mediamyrskyn meillä ja muualla. Virologiasta tuli suosittu jokamiehen harrastus. Median mukaan wannabe-epidemiologeja ja korona-asiantuntijoita oli syntynyt joka nie-meen notkohon saaremaan. Mediassa näkyi ja kuului varmoja mielipiteitä rajoitustoimenpiteiden laadusta, määrästä ja ajoituksesta sekä tulevasta katastrofista, ellei tehdä juuri näin tai noin.

Pandemia muutti myös tieteellisten raporttien julkaisemista. Vapaasti luettavat (open access) artikkelit yleistyivät. Tutkimusmateriaalien avoimuus lisääntyi. Vertaisarviointiin ja käsikirjoitusten korjaukseen varattuja aikoja lyhennettiin. Tutkimustuloksia ruvettiin julkistamaan medialle ennen julkaisemista ja julkaisemaan ennen vertaisarviointia preprint-muodossa. Joitakin huippulehdissä julkaistuja pikaraportteja on jo jouduttu perumaan erilaisten epäselvyyksien vuoksi. PubMedistä löytyy COVID-19-hakusanalla jo 78 352 julkaisua (29.11.2020). ”Tietoa” on kertynyt nopeasti. Julkaisujen määrä on tukahduttavan suuri ja laatu kirjava.

Nopeutuneesta tiedonvälityksestä on toki hyötyäkin: aika taudin ensimmäisestä kuvauk-

sesta kolmannen vaiheen rokotetutkimuksiin oli hämmästyttävän lyhyt. Mielenkiintoista on se, että kärkiehdokkaina kliinisen tehon ja turvallisuuden tutkimuksissa ovat valmisteet, virusvektori ja lähetti-RNA, jotka eivät sisällä rokoteantigeenia vaan sen tuottamiseen tarvittavan geneettisen informaation: ”Tehkää solut



itse se antigeeni!” Tällä periaatteella toimivia rokotteita ei ennestään ole laajassa käytössä, mutta hyviä kokemuksia virusvektorirokotteesta on saatu ebolaepidemian sammuttamis-

sesta Afrikassa (14).

COVID-19 Suomessa

Taudin ensimmäinen aalto saatiin meillä hii-pumaan aika hallitusti ja melko yksimielisesti, vaikka tietysti oli niitäkin, joiden mielestä palo sammutettiin väärin. Kansa kuitenkin noudatti käsienspesu-, yskimiskäytäntö- ja turvaväliohjeita niin, että myös influenssa-, RS- ja norovirus-ten aiheuttamat epidemiat kuivuivat kokoon.

Monille julkiseen keskusteluun osallistuneelle tuntui olevan vaikea erottaa mahdollinen todennäköisestä ja kokeellisen tutkimuksen tulos tosielämän havainnoinnista esimerkiksi riittä-vän turvavälin tai aerosolitartunnan merkityk-sen arvioinnissa. Tartuttavuusluvun desimaaleista taitettiin keväällä peistä, vaikka oli selvää, ettei läheskään kaikkia tartunnan saaneita ollut voitu havaita. Syksyn maskikeskustelu taas kuulosti väliin siltä, että muista varotoimista ei tarvitse välittää, kunhan jonkinlainen maski on naamalla. Näin siitä huolimatta, että pande-mian toinen aalto myllertää monissa maissa, joissa on ollut pitkään maskipakko.

Syksyn kuluessa on nähty taas melkoisia koto-peräisiä toisen aallon pärskeitä eri puolilla maata (15). Tarkka mediaseuranta jatkuu. Positiiviset löydökset raportoidaan edelleen yksitel-len ja kuntakohtaisesti, yhtä tarkkaan kuin suomalaisten NHL-jääkiekkoilijoiden päivittäiset syöttöpisteet Ylen Radio Suomessa. Taudinku-va näyttää lievemmältä kuin keväällä, mutta vi-ruksen kesyyntymisestä ei ole todisteita. Erilaisia rajoituksia on jälleen jouduttu kiristämään.

Valtion varoja todella satsataan nyt korona-

viruksen torjuntaan ja seurausvaikutusten lieventämiseen. Tasavallan hallitus on varannut 1,4 miljardia euroa pelkästään koronatestaukseen ensi vuodelle ja rokotuksiin lisäksi kymmeniä miljoonia. Mitä muuta yhtä merkittävää terveysuhkaa on torjuttu tällaisilla panoksilla? Mihin muuhun meillä on jatkossa varaa? Kuinka paljon hoitovelkaa kertyy muiden tautien osalta?

Onkohan kukaan laskenut, kuinka kalliiksi yhden riskiryhmäläisen hengen pelastaminen COVID-19-taudin osalta tulee tällä tavalla (kysyy riskiryhmäläinen)? Onko herkkien testien määrällinen maksimoiminenärkevin tavoite? Olisiko mahdollista löytää valikoivampi kohdennus herkimmille testeille ja tyytyä muuten löytämään pahimmat erittäjät vähemmän herkkillä testeillä? Tulisiko riskiryhmien suojaus hoitolaitoksissa priorisoida tartuntojen tarkan levinneisyyden tietämisen sijasta? Nuo olivat kysymyksiä. Minulla ei ole vastauksia.

Lopuksi

COVID-19-tauti myllertää maailmaa ennen näkemättömistä pysäytysyrityksistä huolimatta. Meillä ja muualla valtakunnallinen päätöksenteko tasapainoilee tartuntojen aktiivisen rajoittamisen ja rajoitusten aiheuttamien haittojen minimoimisen välillä. Sitä, kuinka kauan tämä kurimus vielä jatkuu, ei tiedä kukaan.

Monet laskevat toiveensa rokotteen varaan niin, että ne toisivat heti helpotuksen. Rokotevalmistajien tiedotteiden mukaan alustavat tulokset kolmannen vaiheen tutkimuksista ovat erittäin lupaavia, ja rokotteen käyttö voi ehkä alkaa piankin. Mutta mikä on rokotusten vaikuttavuus? Jos rokotteilla voidaan estää vakavat taudit, on se toki erioimainen asia. Mutta

Vähättelemättä COVID-19-taudin vakavuutta vertauskausi-influenssaan on paikallaan



pandemian hillitsemiseksi rokotuksen pitäisi myös suojata tartunnalta tai ainakin pysäyttää viruksen leviäminen eteenpäin rokotetusta, ja rokotuskattavuuden pitäisi parantua riittäväksi. Millä aikataululla rokotteita saadaan tuotetuksi, hankituksi, jaetuksi ja annetuksi riittävästi? Haluavatko ihmiset ottaa pikaisella aikataululla tuotetun rokotteen? Vain aika näyttää.

Yhtään vähättelemättä COVID-19-taudin vakavuutta vertauskausi-influenssaan on vielä paikallaan. Sekin tappaa meitä riskiryhmäläisiä sadoittain joka vuosi. Silti puolet ryhmästä on tavanomaisesti jättänyt ilmaisen rokotteen ottamatta. Influenssan riskiin oli kai vain totuttu. Koronataudin pelko on lisännyt influenssarokotteen suosiota, ja rokotteet ovat loppumassa. Väsymmekö piankin arkielämän rajoituksiin ja totummeko aikaa myöten myös SARS-CoV-2:n aiheuttamaan lisäriskiin?

”Koronan jälkeinen aika” ei ole näköpiirissä. Sitä ennen elämme ehkä pitkäänkin taudin kanssa, eikä paluuta entiseen välttämättä ole. Selvää on, että ihmisiä pitää kannustaa noudattamaan hygieniää ja tartunnan välttelyä kauan senkin jälkeen, kun rokotukset saadaan käyntiin. Meidän on kuitenkin pidettävä yhteiskunnan pyörät pyörimässä ja opittava elämään mahdollisimman täyttä elämää yhdessä ja yhteisöissä uudella tavalla.

Hyvää ensimmäistä koronajoulua! ■

* * *

Kiitän Marjut Ranki-Pesosta, Carita Savolainen-Kopraa ja Liisa Hovia käsikirjoituksen rakentavasta kommentoinnista sen eri vaiheissa.

TAPANI HOVI, LKT, emeritustutkimusprofessori
Espoo

KIRJALLISUUTTA

1. Hovi T, Kainulainen H, Ziola B, ym. OC43 strain-related coronavirus antibodies in different age groups. *J Med Virol* 1979;3:313–20.
2. Jalava K. Mitä opimme eläinten koronaviruksista? *Duodecim* 203:119:1609–10.
3. Zhang Q, Bastard P, Liu Z, ym. Inborn errors of type I IFN immunity in patients with life-threatening COVID-19. *Science* 2020;370:eabd4570.
4. Bastard P, Rosen LB, Zhang Q, ym. Auto-antibodies against type I IFNs in patients with life-threatening COVID-19. *Science* 2020;370:eabd4585.
5. Bartoszewski R, Dabrowski M, Jakiela B, ym. Perspective: SARS-CoV-2 may regulate cellular responses through depletion of specific host miRNAs. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2020;319:L444–55.
6. Lévy BI, Fauvel JP, Société Française d'Hypertension Artérielle. Renin-angiotensin system blockers and severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Arch Cardiovasc Dis* 2020;113:572–8.
7. Cantituti-Casteltri L, Ojha R, Petro LD, ym. Neuropilin-1 facilitates SARS-CoV-2 cell entry and infectivity. *Science*, julkaistu verkossa 20.10.2020. DOI: 10.1126/science.abd2985.
8. Halfmann PJ, Hatta M, Chiba S, ym. Transmission of sars-cov-2 in domestic cats. *N Engl J Med* 2020;383:592–4.
9. Zhang YZ, Holmes EC. A genomic perspective on the origin and emergence of SARS-CoV-2. *Cell* 2020;181:223–7.
10. Blanchard S. Coronavirus's closest ancestor 'was found seven years ago in a bat-infested mine in China' and a sample was brought back to a lab in Wuhan, investigation reveals. *Daily Mail* [päivitetty 5.7.2020]. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8491491/Coronaviruss-closest-ancestor-SEVEN-YEARS-ago-bat-infested-China.html>
11. Forster P, Forster L, Renfrew C, ym. Phylogenetic network analysis of SARS-CoV-2 genomes. *PNAS* 2020;117:9241–3.
12. Ng KW, Faulkner N, Cormish GH, ym. Persisting and de novo humoral immunity to SARS-CoV-2 in humans. *Science* 2020;10.1126/science.abe1107.
13. La Rosa G, Mancini P, Bonanno Ferraro G, ym. SARS-CoV-2 has been circulating in northern Italy since December 2019: Evidence from environmental monitoring. *Sci Total Environ* 2021;750:141711.
14. Pinski AN, Messaoudi I. To B or not to B: mechanisms of protection conferred by rVSV-EBOV-GP and the roles of innate and adaptive immunity. *Microorganisms* 2020;8:1473.
15. Varmistetut koronatapaukset Suomessa (COVID-19). THL 2020. <https://thl.fi/koronakartta>.

Tapani Hovi on eläkkeellä Kansanterveyslaitoksen tutkimusprofessorin virasta, jossa hän tutki erityisesti polio- ynnä muita entero- ja rinovirusia eri näkökulmista. Hän on yhä viehätynyt virusten kyvystä ratkaista elämänsä suuret kysymykset kukin omalla tavallaan. Hänen vanhoja harrastuksiaan ovat piirtely, näpertely ja kuljeskelu, uudempana myös puutarhanhoito. Hovi toivoo vielä saavansa fenkolit pullistumaan!