

Arbovirusuhkat muuttuvassa ympäristössä

LAURA KAKKOLA

Virusopin dosentti, Turun yliopisto

EILI HUHTAMO

Dosentti, Helsingin yliopisto

OLLI VAPALAHTI

Zoonoosivirologian professori, Helsingin yliopisto

Globalisaatio ja ympäristönmuutokset, etenkin ilmastonmuutos, vaikuttavat niveljalkaisten ja niiden kantamien virusten esiintyvyyteen. Minkälaisia viruksiin liittyviä uhkia tämä muuttuva ympäristö mahdollisesti tuo Suomelle?

Arbovirukset

Arbovirukset (engl. arthropod-borne, niveljalkaisvälitteiset virukset) ovat laaja joukko taksonomisesti eri heimoihin kuuluvia viruksia. Merkittäviä arbovirusten levittäjiä ovat hyttyset, polttiaiset, hietakärpäset sekä punkit (puutiaiset). Yhteistä arboviruksille on elinkierto, jossa virus tarttuu selkärangaisesta isäntäeläimestä toiseen verta imevän niveljalkaisen vektorin välityksellä. Arbovirukset lisääntyvät sekä niveljalkaisvektorissa että isäntäeläimessä. Arbovirusten elinkierrat voivat olla monimutkaisia, koska niihin liittyvät sekä vektorilajien että isäntäeläinten ominaisuudet ja käytettävyys viruskiertoon. Ihmisen infektoiminen on arbovirukselle tavallisesti elinkierron kannalta hyödytön umpikuja. Tosin poikkeuksen tekevät eräät globaalisti tärkeitä tauteja aiheuttavat arbovirukset, etenkin dengue-, zika-, chikungunya- ja keltakuumevirukset, jotka kykenevät leviämään ja säilymään ihminen-hyttynen-ihminen tartuntaketjuissa ilman muita isäntäeläimiä. Arbovirusten ihmiselle aiheuttama tautikirjo on laaja ja siihen lukeutuu nivelkipuja, ihottumaa, keskushermostoinfektioita ja verenvuotokuumeita aina lievistä kuumetaudista tappavaan infekioon.

Suomessa esiintyy kotoperäisinä arboviruksina sekä puutiais- että hyttysvälitteisiä viruksia. Puutiaisaivokuumevirus (engl. tick-borne encephalitis virus, TBE-virus) leviää puutiaisten välityksellä ja voi aiheuttaa ihmisissä vakavan keskushermostoinfektion. Hyttyset puolestaan levittävät Sindbis-virusta, joka aiheuttaa pogostantautia. Se on loppukesällä ilmaantava ihottumainen kuume, johon liittyvät



KUVA: SHUTTERSTOCK

nivelvaivat voivat joskus pitkittyä. Suomessa esiintyy yleisesti myös huonommin tunnettuja hyttysvälitteisiä Inkoo- ja Chatanga-ortobunyaviruksia, jotka liittyvät satunnaisesti vakaviin neurologisiin oireisiin, erityisesti lapsipotilailla.

Ilmastonmuutoksen vaikutus arboviruksiin

Vektorivälitteiset taudit ovat infektiotaudeista herkimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Ilmastonmuutos vaikuttaa ympäristötekijöihin, kuten lämpötilaan ja sadeveden määrään. Ihmisen lämpötila on aina (paitsi kuumeessa) n. 37°C, mutta niveljalkaisen lämpötila on sama kuin sen ympäristön. Hyttysen muut elämänavaiheet aikuista lukuun ottamatta puolestaan tapahtuvat vedessä ja tarvitsevat seisoavaa vettä. Näin ympäristötekijöiden muutokset vaikuttavat suoraan arbovirusten niveljalkaisvektoreihin ja siten myös arbovirusten kiertoon ja esiintyvyyteen.

Lämpötila vaikuttaa myös viruksen replikaationopeuteen ja arbovirusten kykyyn tarttua vektorista selkärangaisisäntään. Hyttysvektorin kohdalla suosiollinen mikroilmasto lyhentää munimisaikaa sekä hyttysvälitteisen viruksen lisääntymisaikaa johtaen suurempaan määrään hyttysiä jotka voivat nopeammin tulla virusta levittäviksi. Keski-Eurooppaan

levinnyt, invasiivinen Aasiaalaista alkuperää oleva *Aedes japonicus japonicus* -hyttyslaji pystytään koeoloissa infektoimaan zikaviruksella 21-27°C lämpötiloissa, mutta hyttynen pystyi levittämään, vaikkakin heikohkosti, zikavirusta ainoastaan 27°C lämpötilassa. Dengueviruksella infektoitunut *Aedes aegypti* tai *Aedes albopictus* -lajin hyttynen puolestaan tarvitsee 4-5 päivää 25°C:ssa että hyttysestä tulee infektiivinen ja se pystyy levittämään denguevirusta eteenpäin. Koeoloissa Länsi-Niilin virus leviää *Culex*-suvun hyttysissä parhaiten 30°C:ssa, mutta hyttysen kykenevät viruksen levittämiseen vielä 18°C:ssa vaikkakin heikommin ja hitaammin. Ympäristön ja ilmaston muutoksilla voi olla ennalta arvaamattomia vaikutuksia myös arbovirusten isäntäeläimiin ja niiden esiintyvyyteen, esimerkkinä muuttolinnut, jotka voivat levittää arboviruksia tai puutiaisia jopa mantereelta toiselle.

Ilmastonmuutoksen lisäksi ihmisen toiminta, kuten maa- ja metsätalous sekä kaupungistuminen, muokkaavat luonnonympäristöjä ja vaikuttavat luonnon monimuotoisuuteen. Trooppisilla ja subtrooppisilla vyöhykkeillä kaupungistumisen seurauksena mm. *Aedes aegypti*-hyttyslaji onkin jo erikoistunut ruokailemaan ihmisverellä ja lisääntymään kaupunkiympäristön keinotekoisissa sadevedellä keräävissä vesiympäristöissä, mikä on mahdollistanut valtavat dengue- ja zika-

virusepidemiat. Lisäksi ihmisten ja materiaalien maailmanlaajuinen lisääntynyt liikkuminen mahdollistaa sekä infektoituneiden ihmisten että infektoituneiden niveljalkaisten – ja ylipäänsä vektorilajien – siirtymisen mantedelta toiselle hyvinkin lyhyessä ajassa. Ympäristön muuttuessa olosuhteet voivat muuttua suotuisiksi uusille virusvektoreille ja siten mahdollistaa myös arbovirusten ilmaantumisen uusille alueille. Euroopassa leviävät invasiiviset hyttyslajit, kuten ”Aasian tiikerihyttynen” *Aedes albopictus*, joka kykenee myös leviämään useita arboviruksia (mm. dengue, chikungunya, zika), hyötyvät ilmastonmuutoksesta. Mallinnukset ennustavat, että ilmastonmuutos luo soveltuvat elinolosuhteet näille hyttysille laajoille alueille Euroopassa, pohjoisimpia osia lukuun ottamatta.

Voiko ilmastonmuutos vaikuttaa kotoperäisten arbovirusten esiintyvyyteen?

Kotoperäisten hyttyslevitteisten virusten esiintyvyyteen vaikuttavia seikkoja tunnetaan rajallisesti, mutta niiden tiedetään olevan riippuvaisia villoista selkärangkaisista isäntäeläimistä. Sindbis-viruksen elinkierto luonnossa tapahtuu lintujen ja hyttysten välillä. Tutkimusten mukaan metsäkanalinnut saattavat toimia Sindbis-viruksen amplifikaatioisäntinä Suomessa. Sindbis-virusinfektioita tavataan eniten Keski- ja Itä-Suomessa, taudin insidenssiä lisää runsas veden määrä (lumen syvyys huhtikuussa ja alkukesän sademäärä) ja lämpöhyttysten kehityksessä, tiheä uusi metsäkanalintusukupolvi sekä vesialueiden säännöstely. Tautiin sairastuneet ovat tyypillisesti ulkoilma-aktiiviteeteissaan altistuneet hyttysten pistoille. Inkoo- ja Chatanga-virusten elinkierto tai riskitekijät eivät ole tiedossa, mutta näiden virusten sukulaisviruksilla on moninaisia isäntäeläinlajeja peuroista jäniksiin. Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset kotoperäisten hyttyslevitteisten virusten vektorihyttyslajien runsauteen tai näiden virusten isäntäeläinlajien esiintyvyyteen voivat saada aikaan epidemioiden lisääntymistä – mutta myös vähentämistä - tulevaisuudessa.

Entä puutiaisavokuumevirus (TBE-virus)? Ilmasto rajaa puutiaisten esiintymistä sekä etelässä että pohjoisessa. *Ixodes ricinus* -puutiaisen viihtyy 5–25 °C:n lämpötilassa ja mahdollisimman kosteassa – puutiaisnaaras kuolee vuorokaudessa täysin kuivassa ilmassa. Ankarat talvet voivat myös rajoittaa puutiaisen esiintymistä. Välimeren seudulla ja paikoin muuallakin Etelä-Euroopassa on *I. ricinukselle*

jo liian kuivaa ja kuumaa. Ruotsissa puutiaisia esiintyy alueilla, joissa kasvukausi vähintään 170 vrk. Kasvukausi on pidentynyt pohjoisempana ja samalla on puutiaisten elinkierto mahdollistunut Etelä-Lappia myöten. Puutiaisten populaatioihin vaikuttavat myös isäntäeläinten kannanvaihtelut. Puutiaisvälitteisten tautien ilmaantuvuus on selkeästi lisääntynyt viime vuosikymmeninä Pohjoisimaissa ja Venäjän pohjoisosissa. Tavallisen eurooppalaisen *Ixodes ricinus* -puutiaisen lisäksi Suomesta löytyy myös laajasti sen itäisempää sukulaista, *Ixodes persulcatus* eli siperianpuutiaista. Tätä esiintyy Suomessa keskimäärin pohjoisempana kuin *Ixodes ricinusta*. TBE-viruksen leviämiseen tarvitaan muitakin sopivia olosuhteita kuin puutiaisen läsnäolo. Virus leviää tehokkaasti silloin, kun eri kehitysasteiset puutiaiset, eli larva- ja nymfimuodot, ovat yhtä aikaa aktiivisina. Tällöin ne ruokailevat yhtä aikaa tyypillisesti jyräjaisännän iholla ja TBE-virus pääsee siirtymään vanhemmasta puutiaissukupolvesta nuorempaan. Olosuhteet ovat otolliset tälle, jos syksy viilenee nopeasti ja keväällä lämpötila nousee tarpeeksi nopeasti alle seitsemästä yli kymmeneen asteeseen.

Huonoimmassa tapauksessa Suomi seuraa TBE-viruksen esiintymisessä Baltian maiden kehitystä 1990-luvulla, kun tauti lisääntyi siellä monikymmenkertaisesti. Tätä avusti ilmastonmuutos, joskin muutkin tekijät, kuten isäntäeläinten määrä ja ihmisten puutiaiskontakteja lisänneet ympäristön ja yhteiskunnan muutokset, vaikuttivat myös esiintyvyyteen. Viime vuosina puutiaisavokuumetta on tavattu Suomessa yhä enemmän uusilla alueilla ja yhä pohjoisempana. Keski-Euroopassa TBE-viruksen esiintymisalueet ovat vastaavasti jatkuvasti siirtyneet ylemmäksi vuoristossa. TBE-viruksen esiintyvyyden *I. ricinus* -puutiaisessa on nähty noudattavan aiempia ennusteita; jo parikymmentä vuotta sitten Oxfordin yliopistossa tehdyt satelliittidatata perustuvat mallit ovat ennustaneet kohtuullisen hyvin taudin esiintymistä mm. Suomen etelärannikolla. TBE-viruksen molekyyli-epidemiologia sopii siihen, että useita viruskantoja on levinnyt Suomeen, todennäköisesti muuttolintujen mukana, ja nyt ilmaston muuttua TBE-viruksen kierrolle sopivaksi, nämä virukset ovat pystyneet jäämään lisääntyvästi kiertämään Suomen luontoon. Lisämausteena

Suomessa on havaittu esiintyvän eurooppalaisen alatyypin ohella myös TBE-viruksen siperialaista alatyyppejä mm. Kotkan ja Kokkolan seuduilla - viruksen alatyyppejä ei riipu välttämättä punkkilajista, mutta siperialainen virusmuoto vaikuttaisi olevan ärhäkempi taudinaiheuttaja.

Uhkaavatko meitä uudet arbovirukset?

Ilmastonmuutos vaikuttaa eläinlajien levinneisyyksialueisiin ja ilmaston lämpenemisen johdosta niveljalkaiset leviävät uusille alueille. Eteläisten lajien siirtyminen pohjoisemmaksi on havaittu Suomessa mm. perhoslajistossa.

Viime vuosina onkin uutisoitu että Suomessa tavataan yhä useampia Keski-Euroopalle tyypillisiä perhoslajeja ja Suomeen on rantautunut uusi sääskilaji, perhossääski. Niveljalkaisten levittämien virusten levittäjähyttyslajeihin Euroopassa lukeutuu useita lajeja ja näistä seuratuimpia ovat *Aedes albopictus* ja *Aedes aegypti*. Nämä hyttyslajit elävät ihmis-

ten lähellä, ruokailevat päiväsaikaan, sopeutuvat hyvin uusiin elinpaikkoihin ja toimivat vektoreina vakavia tauteja aiheuttaville viruksille, kuten trooppista alkuperää oleville dengue-, chikungunya- ja zika-viruksille. Molemmat hyttyslajit ovat leviittäytyneet yhä laajemmalle alueelle viimeisen 30 vuoden aikana ja ilmaston lämpenemisen seurauksena niiden ennustetaan jatkavan leviämistä. Tämänhetkissä ennusteissa ilmastonmuutoksen ei oleteta muuttavan Suomen ilmastoa suotuisaksi *Aedes albopictus* ja *Aedes aegypti* -hyttyslajeille.

Uhkaavimmat arbovirustaudit

Niveljalkaisten mukana tulevat niiden levittämät taudinaiheuttajat. Sen lisäksi, että uudelle alueelle leviävä virusta kantava vektorilajipopulaatio voi aiheuttaa virusepidemian paikallisessa väestössä, vektorilajien leviäminen uusille alueille saa myös aikaan vektorilajipopulaatioiden päällekkäisyyksiä ja mahdollistaa taudinaiheuttajien siirtymisen vektorilajista toiseen. Kuten useat virukset, myös arbovirukset muuntuvat ja tämä saattaa edesauttaa sopeutumista uusiin vektorilajeihin.

Ilmasto rajaa puutiaisten esiintymistä sekä etelässä että pohjoisessa.

Maailmalla on nähty dramaattisia esimerkkejä niveljalkaisvälieläisten virusten leviämisestä uusille alueille, jolloin seurauksena voi olla valtava virusepidemia. Näin kävi zikaviruksen rantauduttua USA:an. Vuosien 2014–2016 aikana zikavirus levisi räjähdysmäisesti Etelä- ja Väli-Amerikan *Aedes*-hyttyspopulaatioiden välityksellä ja tämän seurauksena miljoonat ihmiset sairastuivat zikavirusinfektioon. Zikavirus aiheuttaa useimmiten vähäoireisen kuumetaudin. Joskus tauti voi kuitenkin johtaa äkilliseen halvausoireyhtymään (Guillain-Barrén -syndrooma) tai jopa kuolemaan. Zikavirusinfektion suurin ongelma on raskaudenaikaisen infektion johtaminen sikiön vakavaan keskushermoston kehityshäiriöön ja pienipäisyyteen. Raskaudenaikainen zikavirusinfektio on liitetty epidemian aikana yli 10000 mikrokefaliatapaukseen Amerikoissa. Suomessa on tähän päivään mennessä todettu yhteensä kymmenen matkailijoiden tuomaa zikavirusinfektioita.

Samanlaisen Amerikan valloituksen teki jo ennen zikavirusta pari vuotta aiemmin saman tyyppisesti leviävä chikungunyavirus, sekä Länsi-Niilin virus, joka rantautui vuonna 1999 Pohjois-Amerikan itärannikolle. Länsi-Niilin virus levisi pääasiassa linnuissa ruokailevien *Culex*-suvun hyttysten välityksellä kolmessa vuodessa Pohjois-Amerikan yli länsirannikolle asti ja siitä tuli kotoperäinen virus Pohjois-Amerikassa. Suurin osa infektoituneista ihmisistä ei saa oireita, osalla ilmenee flunssan kaltaisia oireita ja ihottumaa sekä pahoinvointia, ja noin prosentti saa aivotulehduksen joka osalla voi johtaa kuolemaan. Afrikakalaista alkuperää oleva Länsi-Niilin virus on ollut Euroopassa kotoperäinen jo pitkään, ja sitä esiintyy eteläisellä ja itäisellä painotuksella. Viime vuonna Euroopassa esiintyi tähän asti laajin Länsi-Niilin viruksen aiheuttama epidemia: yhteensä noin 2000 tautitapausta joista noin 180 kuolemaan johtaneita. Vakavia tautitapauksia tavataan etenkin iäkkäissä ihmisissä, sekä alentuneen immunitetin potilailla. Euroopassa Länsi-Niilin virusta levittävät pääasiassa *Culex*-suvun hyttysset. Toinen, Länsi-Niilin virukselle läheistä sukua oleva virus on niin ikään afrikkalaista alkuperää oleva Usutu-virus. Tämä virus havaittiin ensi kertaa Afrikan ulkopuolella Itävallassa vuonna 2001, jonne se oletettavasti saapui muuttolintujen mukana. Usutu-virus tappaa joitain villilintulajeja, varsinkin mustarastaita, mutta voi infektoida myös ihmisen. Vakavat tautitapaukset ovat harvinaisia, mutta Usutu-viruksen nopea leviäminen ja yleistyminen Euroopassa ovat aiheuttaneet huolta tämän viruksen

potentiaalista ihmisen taudinaiheuttajana, varsinkin kun virusta on löytynyt myös verenluovuttajilta.

Denguevirus aiheuttaa WHO:n arvion mukaan maailmalla vuosittain 96 miljoonaa tautitapausta. Denguevirusta levittävät *Aedes aegypti* ja *Aedes albopictus* hyttyslajit. Dengueviruksen ensimmäinen infektio aiheuttaa ikävän ihottuma-kuumetaudin, mutta uusi infektio toisella denguevirustyyppillä voi johtaa verenvuotokuumeseen tai hengenvaaralliseen shokkitilaan. Suomessa denguevirusinfektio on matkailijoiden kotiin tuoma tauti, vuonna 2018 diagnosoitiin 56 tapausta. Viime vuosiin asti Euroopassa tavatut denguevirusinfektioit olivat myös matkailijoiden mukanaan tuomia, mutta tilanne on alkanut muuttua. Vuosina 2012–2013 Madeiralla oli kotoperäinen denguevirusepidemia ja vuodesta 2010 kotoperäisiä denguevirusinfektioita on havaittu Välimeren alueella, mm. Kroatiassa, Ranskassa, (viime vuonna erityisesti) Espanjassa. Myös toinen kuumetautia aiheuttava hyttysten levittämä virus, alfaviruksiin lukeutuva chikungunyavirus, on aiheuttanut vuodesta 2007 kotoperäisiä tautitapauksia Euroopassa, pääasiassa Italiassa, Ranskassa ja Espanjassa.

Voivatko uudet uhkaavat arbovirustaudit levitä myös Suomeen?

Muualla esiintyviä arbovirusinfektioita tulee Suomeen vuosittain matkailijoiden mukana. Euroopassa on ollut paikallisia tautiryppäitä, jotka ovat saaneet alkunsa viruksella infektoituneesta matkailijasta alueille, joilla näille viruksille sopivia vektorihyttyslajeja on esiintynyt, mutta laajamittaisiksi epidemioiksi asti ne eivät ole yltyneet. Ilmaston lämpeneminen todennäköisimmin edesauttaa Euroopassa jo esiintyvien, arboviruksia kantavien ja niitä tehokkaasti levittävien, niveljalkaislajien rantautumista Suomeen. Suuremman epidemian aikaan saamiseksi näitä tulokasvektoreilajeja tulisi esiintyä runsaasti, tai uusien arbovirusten tulisi infektoida paikallisia vektorilajeja ja pystyä leviämään niiden avulla. Avain-

kysymys onkin, pystyvätkö Suomessa tavatavat hyttyslajit levittämään maailmalta mahdollisesti tulevia, Suomessa uusia, hyttysvälitteisiä viruksia?

Ihmisen toiminnan lisäksi viruksen siirtymän paikasta toiseen voi mahdollistaa myös villieläinten muuttoliike. Suomen kesäiseen

linnustoon kuuluu runsaasti muuttolintuja jotka talvehtivat ja pysähtyvät muuttonsa aikana Euroopassa ja Afrikassa alueille joilla esiintyy mm. Länsi-Niilin virusta. Länsi-Niilin viruksen elinkierto on saman tyyppinen kuin Sindbis-viruksen, ja se tapahtuu hyttysten ja lintujen välillä. Suomessa esiintyy noin 40 hyttyslajia, mukaan lukien *Aedes* ja *Culex*-sukujen hyttysiä joista muualla maailmassa Länsi-Niilin virusta on löytynyt. Siihen, pystyykö hyttynen toimimaan viruksen tehokkaana välittäjänä vaikuttaa moni asia. Tärkein näistä vaikuttavista tekijöistä on viruk-

sen kyky infektoida hyttysisäntä niin tehokkaasti, että virusta erittyy hyttysten sylkeeseen, jolloin hyttysten ruokailun aikana uusi isäntäeläin tai ihminen voi saada virustartunnan. Lisäksi tehokkaaseen viruksen välitykseen vaikuttaa vektorin tiheys ihmiseen nähden (vektorin lisääntymissyklin nopeus ja tehokkuus), ruokailun tiheys ihmisessä (vaihtelee hyttyslajeilla ja riippuu ympäristötekijöistä), viruksen kyky monistua vektorissa (vektorin puolustusjärjestelmien vaikutus virukseen) ja vektorin elinkaari vs. viruksen transmissioon tarvittava aika (ehtiikö virusta erittyä hyttysten sylkeen ennen kuin hyttynen kuolee).

Suomessa tunnetusti esiintyvien hyttyslajien joukossa ei ole dengue-, zika- tai chikungunyaviruksen pääasiallisia vektorilajeja. Mutta toisin kuin näiden virusten osalta joiden pääasiallinen vektorikirjo on suppea, Länsi-Niilin virus on liitetty hyvin moninainen vektorilajeihin. Näistä merkittävimpana Euroopassa on pidetty *Culex pipiens*-lajia, jota tavataan Suomessakin. Kokeellisesti on osoitettu, että eri puolilta Eurooppaa kerätyt *Culex pipiens*-hyttysset eivät tartuttaneet Länsi-Niilin virusta samalla tehokkuudella, ja etenkin pohjoisten hyttyspopulaatioiden tehokkuus oli huomompi kuin eteläisten. Suomalais-

On hyvin todennäköistä, että viime vuosina etenkin kesäkuun sateet ja heinäkuun poikkeavat lämpötilat ovat edesauttaneet mm. Länsi-Niilin-viruksen leviämistä ja esiintymistä Euroopassa.

ten *Culex pipiens* -hyttysten, tai muiden meillä esiintyvien hyttyslajien, vektoriominaisuuksia ei tällä hetkellä tunneta. Elokuussa 2016 Ruotsin Eläinlääketieteellinen laitos raportoi, että Etelä-Ruotsista on löydetty hyttyskanta (*Anopheles algeriensis*), joka pystyy levittämään Länsi-Niilin virusta. Jää nähtäväksi mahdollistaako tämä hyttyskanta Länsi-Niilin viruksen leviämisen yhä pohjoisemmaksi.

Mahdollistaako lämpenevä ilmasto uusien taudinaiheuttajien lisääntymisen suomalaisissa hyttysissä?

On hyvin todennäköistä, että viime vuosina etenkin kesäkuun sateet ja heinäkuun poikkeavat lämpötilat ovat edesauttaneet mm. Länsi-Niilin-viruksen leviämistä ja esiintymistä Euroopassa. Viime vuonna myös Suomessa oli poikkeuksellisen pitkiä yhtenäisiä lämpimiä jaksoja, joiden aikana esimerkiksi Länsi-Niilin viruksen lisääntyminen saattaisi olla mikroilmastollisesti mahdollista. Suomen hyttyslajistoa sekä sen arboviruskirjoa tutkitaan Helsingin yliopistolla Viruszoonoosien tutkimusyksikössä. Toistaiseksi Suomesta ei ole löytynyt eksoottisia invasiivisia hyttyslajeja eikä muualla Euroopassa esiintyviä, Suomelle uusia arbovirsuksia ole havaittu kotoperäisissä hyttyslajeissamme.

Arbovirusten torjuntakeinot

Yllä mainituille hyttysten levittämille virus- taudeille ei ole tehokasta rokotetta eikä lääkettä. Puutiaisten levittämälle TBE-virukselle on olemassa tehokas rokote. Rokotteiden ja lääkkeiden puuttumisen sekä oireettoman-kin viruskantajuuden vuoksi uhkaavien virusepidemioiden torjunta vektorilajien tasolla on tärkeä globaali tavoite.

Torjunta-aineet. Tehokas tapa torjua hyttysiä varsinkin sisätiloissa on ollut torjunta-aineilla käsitellyt hyttysverkot ja suihkutettavat torjunta-aineet. Nämä vähentävät ihmisasumuksissa ruokailevien hyttysten määrää ja estävät mahdollisuutta ruokailla ihmisessä, varsinkin yöaikaan. Lisäksi ulkona käytettävät torjunta-aineet (ruiskutettavat sekä seisovaan veteen lisättävät) ja torjunta-aineita sisältävät hyönteisansat auttavat kontrolloimaan paikallisesti hyttysmäärää. Torjunta-aineiden laajat levitykset kuitenkin vaikuttavat myös muihin hyönteislajeihin ja monet patogeneja levittävät hyttysset ovat tulleet resistentiksi torjunta-aineille. Perinteisten, hyönteisiä tappa- vien torjunta-aineiden rinnalle on kehitteillä

torjunta-aineita jotka vaikuttavat hyttysten tai patogeenin lisääntymiseen.

Hyönteisten immunitaatio ja hyönteisten geneettinen muokkaus. Lisääntyäkseen hyönteisissä viruksen täytyy pystyä infektoimaan hyönteisen suoliston solut veriatarian yhteydessä, lisääntyä ja erittyä suurina määrinä sylkeen. Hyttysillä on elimistössään kaksi tärkeää estettä virusinfektion leviämislle: hyttysten suoliston solut ja sylkirauhasten solut sekä näiden solujen puolustusmekanismit. Lisäksi, kuten ihmisellä, myös hyttysellä on elintärkeä mikrobisto, joka mm. säätelee hyttysten immunitaatiota. Hyttysillä on omat, vain hyttysiä infektoivat viruksensa. Näistä hyttysten flavivirukset näyttävätkin estävän saman hyttysten infektoitumisen ihmisiä infektoivalla flaviviruksella (zikavirus tai denguevirus), avaten mielenkiintoisia mahdollisuuksia tehdä hyttysset immuuneiksi ihmisviruksille.

Wolbachia-bakteeri on infektoinut 66 % maailman hyönteislajeista ja tämä bakteeri siirtyy naarasta munien kautta jälkeläisiin. Vielä tuntemattomasta, mutta todennäköisesti hyttysten immuunijärjestelmään liittyvästä syystä, Wolbachia-bakteerilla infektoitunut hyttynen ei infektoitu dengue-, zika-, Länsi-Niilin- tai chikungunyaviruksella. Tätä luonnossakin hyttysissä esiintyvää bakteeria onkin pyritty hyödyntämään hyttystason virustorjunnassa ja kenttäkokeet Wolbachia-bakteerilla infektoitujen *Aedes*-suvun hyttysten levittämisessä ovat menossa. Ongelmana tällaisessa biokontrollissa on se, että ilmiön kaikkia mekanismeja ei tunneta tarkkaan.

Nykypäivänä erilaiset geneettiset muokkaukset ovat helposti tehtävissä. Myös hyttysiä on geneettisesti muokattu patogeenien leviämisen torjuntatarkoituksiin. Geneettiset muokkaukset tähtäävät joko hyttyspopulaation vähentämiseen tai patogeenin leviämisen estämiseen. Geneettinen muokkaus voi vaikuttaa hyönteisen käyttäytymiseen ja johtaa luonnossa odottamattomiin seurauksiin. Muokattu hyönteinen, joka leviää laajemmalle aiheuttaa eettisiä, ekologisia ja turvallisuuteen liittyviä moninaisia ongelmia ja siksi geneettisesti muokattujen lajien päästämistä luontoon tulisi arvioida erittäin kriittisesti.

Suojautuminen ja lisääntymispaikkojen vähentäminen. Edelleen yksi tehokkain tapa suojautua hyönteisten välittämiltä viruksilta on suojautua niiltä välittäviltä hyönteisiltä. Hyttysverkot yöaikaan, peittävät vaatteet päiväsaikaan sekä iholle levitettävät hyönteiskarkotteet suojaavat hyönteisiltä. Kehitteillä on myös vaatteita, jotka on käsitelty hyönteiskar-

otteilla. Hyttysten lisääntymispaikkoja asu- musten lähistöllä tulee vähentää, etenkin usein ihmisten aikaansaamia lisääntymispaikkoja joissa on seisovaa vettä.

Avainasemassa tartunnan ehkäisyssä on paikallisen väestön sekä matkailijoiden tiedotus ja laboratoriodiagnostiikka. Suomessa tilanne on hyvä, meillä on erinomaisesti toimiva laboratoriodiagnostiikka ja uusia sekä tarkempia diagnostisia testejä kehitetään aktiivisesti kansainvälisessä yhteistyössä. Laboratorioiden toiminta ja Suomen kattava epidemiologinen seuranta auttavat tehokkaasti hyönteisvälitteisten virustautien ehkäisyssä. ●

VIITTEET

- <https://www.helsinki.fi/en/researchgroups/viral-zoonoses-research-unit/people#section-50622>
- Barzon L. Ongoing and emerging arbovirus threats in Europe. *J Clin Virol* 107:38-47, 2018.
- Caminade C, McIntyre KM, Jones AE. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Ann N Y Acad Sci* 1436(1):157-173, 2019.
- Jalava K, Sane J, Ollgren J, Ruuhela R, Rätti O, Kurkela S, Helle P, Hartonen S, Pirinen P, Vapalahti O, Kuusi M. Climatic, ecological and socioeconomic factors as predictors of Sindbis virus infections in Finland. *Epidemiol Infect* 141(9):1857-66, 2013.
- Jansen S, Heitmann A, Lühken R, Jöst H, Helms M, Vapalahti O, Schmidt-Chanasit J, Tannich E. Experimental transmission of Zika virus by *Aedes japonicus japonicus* from southwestern Germany. *Emerg Microbes Infect* 7(1):192, 2018.
- Marklewitz M, Junglen S. Evolutionary and ecological insights into the emergence of arthropod-borne viruses. *Acta Trop* 190:52-58, 2019.
- Putkuri N, Kantele A, Levanov L, Kivistö I, Brummer-Korvenkontio M, Vaheri A, Vapalahti O. Acute Human Infection and Chatanga Virus Infections, Finland. *Emerg Infect Dis* 22(5):810-7, 2016.
- Reinhold JM, Lazzari CR, Lahondère C. Effects of the Environmental Temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* Mosquitoes: A Review. *Insects* 9(4), 2018.
- Ruuhela R (toim.) Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja, 6/2011.
- Shaw WR, Catteruccia F. Vector biology meets disease control: using basic research to fight vector-borne diseases. *Nat Microbiol* 4(1):20-34, 2019.
- Tran A, Sudre B, Paz S, Rossi M, Desbrosse A, Chevalier V, ym. Environmental predictors of West Nile fever risk in Europe. *Int J Health Geogr* 13:26, 2014.
- Vapalahti O, Ruuhela R, Henttonen H. Uudet infektiotaudit Suomessa – ilmastomuutosko syynä? *Duodecim*, 128(13):1381-7, 2012.
- Vogels CB, Göertz GP, Pijlman GP, Koenraad C. Vector competence of European mosquitoes for West Nile virus. *Emerg Microbes Infect* 6(11):e96, 2017.
- Watts N, Amann M, Arnell N, Ayele-Karlsson S, Belesova K, ym. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *Lancet* 392:2479-2514, 2018.