



Yalen yliopiston professorin Krystal Pollittin keräintä on ensi silmäyksellä vaikea erottaa tavallisesta rannekellosta. Helppokäyttöistä ranneketta kantavat myös lapset, vanhukset ja raskaana olevat naiset, jotka ovat erityisen alttiita ympäristömyrkköjen haitoille.

Ranneke mittaa kemikaalikuormaa

■ Ihmisten altistumista ympäristön kemikaaleille voidaan mitata helpolla keinolla, ranneessa pidettävällä pienellä, kevyellä keräimellä.

KATJA PULKKINEN

Yhdysvaltalainen Yalen yliopisto mittaa ihmisten arkista kemikaalikuormaa uudella tavoin. Tutkimusvälineenä toimii henkilökohtainen, ranteeseen kiinnitettävä näytekeräin.

FreshAir-niminen ranneke voi tarjota tärkeän lisätyökalan ympäristöterveyden tutkijoille, sillä ihmisten altistumista ympäristön yhdisteille tunnetaan vielä puutteellisesti.

Vaikka erilaisten ympäristöjen saastumista on tutkittu paljon, altistumistieto on usein sirpaleista ja epätarkkaa, eikä se yllä yksilötasolle. Monet yhteydet ympäristön ja sairauksien välillä jäävät siksi tunnistamatta.

”Halusimme kehittää helppokäyttöisen menetelmän, joka mahdollistaa suurten, yksilöllistä altistumista kuvaavien aineistojen keräämisen”, kertoo rannekkeen kehittäjä, tutkija **Krystal Pollitt**.

Pollitt työskentelee Yalen yliopistossa epidemiologian sekä kemian ja ympäristötekniikan apulaisprofessorina.

Isoilta ihmisjoukoilta kerättyä tietoa voidaan hänen mukaansa hyödyntää myös laajemmin sairauksien syiden ymmärtämiseen.

Rannekelloa muistuttavalla keräimellä on jo tehty yllättäviäkin löydöksiä. Esimerkiksi Kiinassa sen avulla saatiin kiinni torjunta-aineita, jotka on haitallisuutensa vuoksi jo kielletty. Selvisi, että aineita on yhä markkinoilla.

”Ihmiset käyttävät aineita makuuhuoneissaan sänkyjen alla hyönteisten torjuntaan”, Pollitt kertoo.

Hänen ryhmällään on menossa useita hankkeita, joissa mitataan tavallisten ihmisten jokapäiväistä kemikaalikuor-

maa Kiinan lisäksi muun muassa Saksassa, Espanjassa, Etelä-Afrikassa ja eri puolilla Yhdysvaltoja.

Tarkoituksena on selvittää, millaisia terveyshaittoja kumuloituva altistuminen ympäristön kemikaaleille aiheuttaa. Yksittäinen sattumanvarainen otos altistumisesta ei siihen riitä. Jinanin miljoonakaupungin – josta kiellettyjä torjunta-aineita löydettiin – ikäihmiset käyttivät siksi rannekeita useita kolmen päivän jaksoja vuosina 2018–2019.

Etelä-Afrikan projekti on puolestaan syntymäkohorttitutkimus, jossa on seurattu lapsia jo vuosia.

Tallensi myös koronan

Rannekkeisiin on jokaisessa tutkimuksessa maassa tallentunut kokonainen kirjo erilaisia aineita. Yhdisteet ja niiden määrät kuitenkin vaihtelevat ihmisten välillä merkittävästi samassakin yhteisössä. Myös vuodenaajat vaikuttavat.

”Olemme pystyneet vahvistamaan epäilyksiä siitä, mille ihmiset eri ympäristöissä altistuvat. Toisaalta vastaan on tullut yllätyksiä, ja tuloksissa näkyvät sekä maantieteelliset että kulttuurierot”, Pollitt kertoo.

Yliopiston laboratorioanalyysit esimerkiksi paljastivat, millaista ruokaa intialaisperheissä laitetaan. Sahrani, kardemumma ja muut mausteet olivat jättäneet keräimeen jäljen itsestään.

Huolestuttaviakin löydöksiä on tehty.

Intiassa aikuisilta ja Etelä-Afrikassa lapsilta havaittiin niin suuria määriä ftalaatteja, että tutkijat luulivat kyseessä olevan mittavirheen. Köyhissä kyläyhteisöissä kun käytetään vähemmän sellaisia kosmetiikka- ja hygieniatuotteita, jotka yleensä ovat syytä ftalaattikuormaan.

Prosessin kontrollirannekejärjestelmä ja varmistukset kuitenkin osoittivat, että tulokset olivat oikeita. Ftalaatit olivat peräisin kaatopaikoilta haetuista

» » »

Ranneke kerää, laboratorio analysoi

Yalen yliopiston FreshAir-rannekkeen ”kellotaulussa” on lasiputkia, joita ympäröi kerros huokoista polydimetyylisiloksaania, sekä trietanoliamiinilla päällystetty vaahtolevy. Niihin imeytyy ilmasta aineita, joita rannekkeen käyttäjän elinympäristössä on.

Taulun päällä on muovinen, rei’itetty kansi.

Passiivinen keräin ei piirrä reaaliaikaista kuvaa altistumisesta.

Toisin kuin aktiivikeräimet, se ei sisällä analyysitekniologiaa eikä pumpua, joka pumppaisi suodattimeen ilmaa keräämisen tehostamiseksi ja ilmapirran laskemiseksi pitoisuuksien määrittämistä varten.

Aktiivikeräimet ovat kalliita ja painavia, joten niillä tehtävä tutkimus on ollut melko vähäistä.

Pieniä, keveitä rannekekeräimiä on

helppo käyttää, joten niiden avulla voidaan tutkia myös ihmisiä, jotka eivät jaksa kantaa arjessaan raskaita mittalaitereppuja.

Perinteisten kannettavien aktiivikeräinten ongelmana on ollut myös mitattavien aineiden rajallinen määrä. Kun keräimeen yhdistetään analyysilaitte, koon vastineeksi joudutaan usein tinkimään suorituskyvystä.

Syynissä satoja aineita

Yalen rannekkeen nappaamat aineet tutkitaan siksi yliopiston laboratoriossa, jonne keräimet postitetaan kylmäpakattuina.

Analytiikassa hyödynnetään kaasukromatografian ja korkean resoluution massaspektrometrin yhdistelmää, mikä mahdollistaa suuren ainemäärän

seulonnan. Massaspektrometriassa käytetään orbitrap- eli kiertoloukkutekniikkaa, joka on kehitetty vastaamaan juuri tällaiseen tuntematonta kartoittavaan mittaustarpeeseen.

Näytteet tutkitaan kohdennettuina ja kohdentamattomin menetelmin.

Kohdennetulla analyysillä tutkitaan 120 ainetta, jotka ovat tavallisia arkiympäristöissä. Joukossa on esimerkiksi pah-yhdisteitä, ftalaatteja, pcb-yhdisteitä, palonestoaineita ja torjunta-aineita. Ainemäärä kasvaa sitä mukaa kuin altistumisesta saadaan tietoa eri puolilta maailmaa.

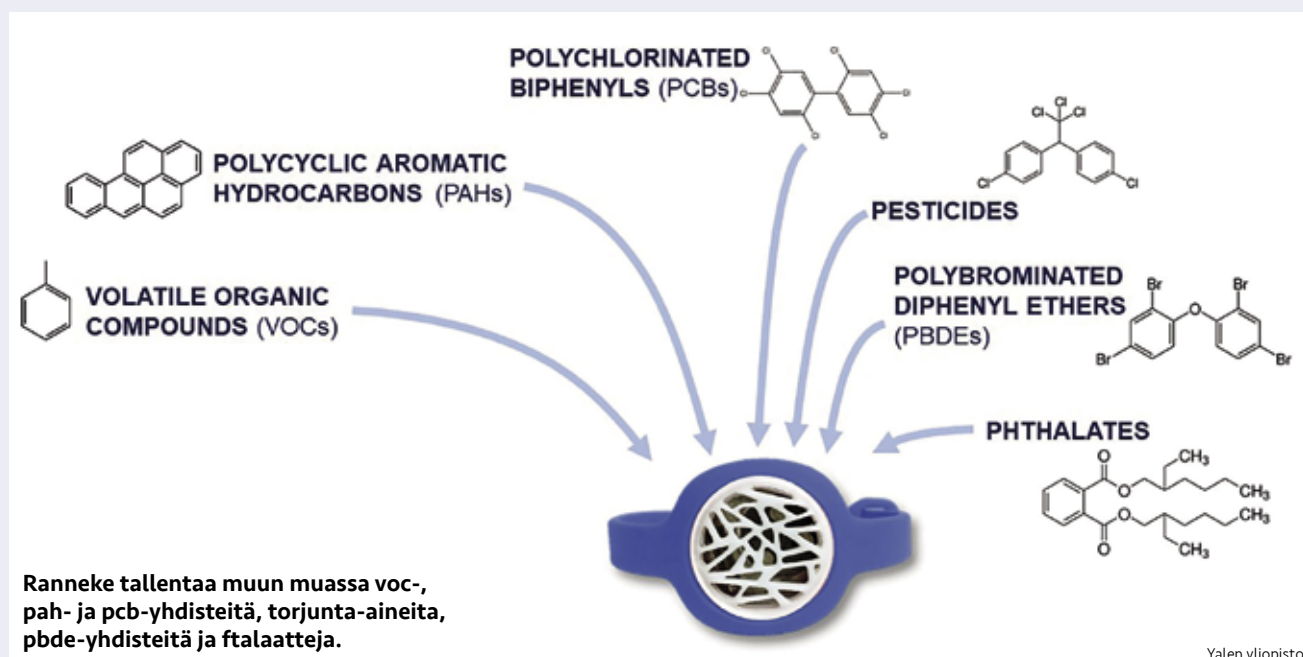
Lisäksi näytteistä kartoitetaan niin sanotulla *suspected screening* -menetelmällä noin 600 ainetta, joiden tunnistamiseen käytetään erilaisia ainekirjastoja.

Tuntemattomia aineita näytteistä

Yalen keräimellä voidaan mitata haihtuvia ja puoli-haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Pdms-adsorbentti nappaa poolittomia yhdisteitä ja trietanoliamiinipäällysteinen vaahto typpidioksidia.



Yalen yliopisto



Yalen yliopisto

haetaan kohdentamattomalla seulonalla (*non-target screening*). Massaspektrometrin havaitsemista ainepiikeistä on tunnistettu noin 10 000 ainetta.

FreshAir-rannekkeen kehittäjät ovat kiinnittäneet erityistä huomiota taustakontaminaation eliminointiin ja väärin positiivisten hallintaan kohdentamattomassa analyysissä. Mittaus- ja analysointiprosessi on tarkkaan standardoitu ja validoitu.

Kalibrointi aktiivikeräimellä

Viime vuosina on selvitetty erityyppisten aineiden kertymistä erilaisiin keräinmateriaaleihin ja myös kertymänopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Tavoitteena on pystyä arvioimaan paremmin altistumismääriä passiivisilla keräimillä kerätystä datasta.

Kaasumaiset aineet imeytyvät rannekeeseen lineaarisesti, kunnes keräin alkaa saturoitua. Kun rannekkeen käyttöaika rajataan lineaarisen kertymän alueelle, ranneketietojen perusteella voidaan määrittää altistumista erilaisissa ympäristöissä.

Ranneke kalibroidaan seuraamalla siihen kumuloituvaa kertymää suhteessa samassa tilassa olevaan aktiiviseen keräimeen erilaisissa olosuhteissa.

Aineiden kertymiseen rannekeeseen vaikuttavat monet asiat, ilmavirran lisäksi esimerkiksi lämpötila.

Jos niitä ei jatkuvasti mitata, passiivisilla keräimillä ei ole mahdollista saada tarkkaa tietoa todellisista altistumismääristä. Lisämittareiden kantaminen kuitenkin pilaisi idean halvasta, helppokäyttöisestä mittarista.

Pollitt kertoo, että nyt rannekeilla saadaan määrällistä tietoa altistumisesta niistä aineista, joita voidaan tutkia kohdennetulla analyysillä.

”Sen sijaan suspect screening-analyysillä, jossa ei voida hyödyntää vakiintuneita standardeja, saadaan vain semikvantitatiivista dataa.”



Yalen yliopisto

Intiassa rannekeräimiin on tarttunut myös paikallisen keittiön aromeja. Yalen laboratorio on löytänyt niistä muun muassa sahramia ja kardemummaa. Kuvan naisella on kalibroinnin takia useita rannekeita.

» » »

jätemuoveista, vanhoista huonekaluista ja muista tavaroista, joita kodeissa poltetaan energianlähteenä.

”Tekee paha nähdä tällaisia määriä kemikaaleja eritoten lapsissa”, sanoo professori, jonka mukaan afrikkalaislasten rannekkeiden luvut olivat jopa korkeampia kuin Yhdysvalloissa, Kiinassa ja Intiassa.

Kun halutaan selvittää, mistä ihmisten henkilökohtaisiin keräimiin kertyneet kemikaalit ovat peräisin, rannekeita voidaan käyttää myös kiinteinä mittauspisteinä. Niitä on kiinnitetty muun muassa lyhtypylväisiin eri puo-

lille kaupunkia.

Kanadan Montrealista tutkijat löysivät tällä tavoin kemikaalikeskittymiä esimerkiksi golfkenttien läheisyydestä.

Yhdysvalloissa tutkijoita on huolestanut koko maan kattavan kaasuputkiverkoston kompressoriasemien ja vuotokohtien lähistöllä asuvien ihmisten altistuminen pah- ja voc-yhdisteille.

”Rannekkeemme löysi asemien läheltä ulkoilmasta voc-yhdisteitä, joita viranomaishyväksytyllä menetelmällä ei saatu näkyviin. Se oli meillekin positiivinen signaali keräimemme herkkyydestä.”

» » »

Seuraaja silikonille

Yksinkertaisia silikonisia rannekkeita on hyödynnetty ympäristöterveysriskien tutkimuksessa jo joitakin vuosia.

Ne ovat samantapaisia kumirinkuloita kuin uimahallissa jalkaan pujolettava avaimenperä. Tutkijat ajattelevat niiden toimivan aineiden imeytymiskanavana elimistöön samalla tavoin kuin ihmisen iho.

Silikonirannekkeillakin on tehty kiinnostavia löydöksiä. Yhdysvalloissa havaittiin, että jo käytöstä poistettuja pbde-palonestoaineita esiintyy rakennuksissa edelleen.

Rannekkeista löydettiin samoja aineita kuin sisätilojen pölyä tutkimala, ja myös käyttäjien virtsanäytteistä todettiin samojen palonestoaineiden aineenvaihduntatuotteita.

Kansi toimii suojana

Silikonirannekkeisiin liittyy kuitenkin haasteita, jotka Yalen yliopiston ranneke pyrkii ratkaisemaan.

Silikonirannekkeessa keräimenä toi-

mii itse silikonin, joka on ranteessa ihoa vasten. Yalen keräin on suojaissa laitteen sisällä.

”Tällöin siihen ei muodostu biofilmiä esimerkiksi erilaisista ihovoiteista tai parfyymeistä, mikä voi vaikuttaa kertymään”, Krystal Pollitt kuvailee.

Lisäksi kellotaulun kansi suojaaa keräintä ilmapirran vaihteluilta. Kova ilmavirta lisää aineiden kertymistä rannekkeeseen mutta ei kuvaa todellista altistumista.

Ero moniin silikonirannekkeisiin on myös se, että yhdisteet saadaan Yalen rannekkeen pdms-adsorbentista analyysilaitteeseen kuumentamalla. Liuotimien avulla tehtyyn injektioon verrattuna termodesorptio nopeuttaa laboratoriotyötä.

Lisäksi Yalen ranneke kuvaa ensisijaisesti hengitysteitse tapahtuvaa altistumista, ei niinkään ihon kautta tapahtuvaa.

Altistumme elinympäristömme aineille sekä hengittämällä että ihon kautta, ja tietenkin myös juomaveden ja ravinnon välityksellä. Tulosten tul-

kinnassa täytyy siis huomioida kokonaisuus.

Jos yhdellä laitteella yritetään havainnoida useita altistumisreittejä, aineistoon voi tulla epävarmuutta. Keskittymällä yhteen altistumisreittiin saadaan parempilaatuista dataa, Pollitt uskoo.

Silikonirannekkeista ja Yalen rannekkeesta on tekeillä vertaileva tutkimus, jota koronapandemia on kuitenkin viivästyttänyt.

Passiiviset keräimet ovat tulossa laajempaan käyttöön myös Euroopassa, jossa kätevien, kustannustehokkaiden ja yhteismitallisten mitausmenetelmien tarve on tiedostettu hyvin.

Passiivisten keräinten validointia ja teknisiä ominaisuuksia on kehitetty erityisesti altistumismäärien arvioinnin parantamiseksi. Esimerkiksi yhteiseurooppalaisessa Ephor-hankkeessa aiotaan lähivuosina tutkia eurooppalaisten altistumista monin tavoin, myös pienten passiivikeräinten avulla.

»»»

Juuri nyt Yalessa kehitetään menetelmää rannekkeiden keräämien pfas-yhdisteiden analytiikkaan.

Osa käytetyistä rannekkeista säilötään pakastimeen odottamaan tulevaisuutta, jolloin niistä voidaan tutkia myös aineita, joiden havaitsemiseen ei vielä ole menetelmiä.

Koronapandemia nosti esiin kysymyksen, voitaisiinko henkilökohtaisilla keräimillä mitata myös bioaerosoleja eli mikrobiperäisiä epäpuhtauksia.

”Esimerkiksi tarjoilijoiden rannekkeista löytyi sars-cov2-virusta säännöllisesti”, Pollitt kertoo.

Tulos sai tutkijat tekemään päätöksen laajentaa jatkossa pcr-menetelmänsä kattamaan myös muita viruksia.

Tärkeänä kehitystarpeena professori mainitsee myös nopeiden reaktiivä-lituotteiden mittaamisen sisätiloissa. Muun muassa hapettumisreaktioiden aiheuttamat tuotteet ovat rakennuksissa yleisiä. Ne näkyvät lyhyinä piikkeinä, joilla voi olla merkitystä terveyden kannalta mutta jotka ovat hankalia mitata.

Kurkistuksia kehoon

Tutkimuksiin osallistuneista keräimenkantajista rannekkeet ovat kiinnostaneet etenkin lapsia. He eivät ole aina edes malttaneet luopua kiinnostavasta laitteesta, joita on sen takia jäänyt palautumattakin.

Yksi utelias alakoululainen esimerkiksi purki rannekkeensa osiin tutustuakseen sen mekanismiin. Toinen oivalsi omansa olevan kuumaa kauppatavaraa ja vaihtoi sen kasaan Pokemon-kortteja.

Tapaukset hymyilyttävät Pollittia, joka on erityisen kiinnostunut lasten terveydestä.

Yalen tutkijat ovat siksi kurkistaneet myös rannekkeiden käyttäjien kehoihin. Verinäytteistä on tutkittu erilaisia metaboliitteja, lipidejä ja epigeneettisiä tapahtumia kuvaavia merkkiaineita. Näin saadaan tietoa elimistössä, kudoksissa ja soluissa käynnissä olevista muutoksista.

Kyse on puhtaasta omiikka-tutkimuksesta, jossa yhdistellään valtavia kliinisiä aineistoja. Kun kehittyneillä

multiomiikka-analyseilla ajetaan kehoon tilaa kuvaavaa dataa yhteen rannekkeista saadun altistumistiedon kanssa, yhteyksiä voidaan ymmärtää uudella tavalla.

Isoista aineistoista voidaan jäljittää pitkälläkin viipeellä kehittyviä sairauksia. Pollittin mukaan huolestuttavia asioita on havaittu jo lyhyellä aikajänteellä.

”Olemme tunnistaneet merkkiaineista monenlaisia prekliinisiä vaikutuksia ihmisissä, jotka altistuvat vaikkapa hormonaalisille haitta-aineille”, hän kertoo.

”Esimerkiksi eteläafrikkalaislasten metabolisilla muutoksilla oli yhteyksiä rannekkeista löydettyihin kemikaaleihin. Tällaiset muutokset voivat johtaa sairauksien puhkeamiseen myöhemmällä iällä.”

Tutkija toivoo, että tulevaisuudessa henkilökohtaisten rannekkeiden avulla kertyvä tieto auttaa osaltaan ympäristöriskien vähentämisessä ja yksilöllisen terveydenhuollon kehittämisessä.

Kirjoittaja on vapaa toimittaja.