

Mesipistiäisten älykkyys

OLLI J. LOUKOLA



Mesipistiäiset eli mehiläiset ovat tärkeitä pölyttäjiä, ja siten myös elintärkeitä ihmisen olemassaolon kannalta. Vaikka suomen mehiläisillä ei ole akuuttia hätää, maailmanlaajuisesti mehiläisillä ei mene hyvin; populaatiot ovat laskeneet huolestuttavasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Mehiläisten älykkyyden ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen on tärkeää oman älykkyytemme ja älykkyyden evoluution ymmärtämiseksi. Lisäksi mehiläisten älykkyyden osoittaminen lisää arvostustamme niitä kohtaan, mikä puolestaan kannustaa niiden suojeluun. Kirjoituksessani esittelen teille tutkimuksiani mehiläisten, varsinkin kimalaisten älykkyydestä.

Johdanto

U seissa uskonnollisissa ja filosofisissa maailmankatsomuksissa korostetaan ihmisten ja eläinten erilaisuutta. Ihminen nähdään, jos ei Jumalan kuvana, niin ainakin ylivoimaisesti kehittyneimpänä ja muita lajeja selvästi älykkäämpänä olentona. Ihmiskeskeisen näkemyksen mukaan eläin on sitä älykkäämpi, mitä lähempää sukua se on ihmisille. Tämän vuoksi ihmisistä kehityshistoriallisesti etäisiä luokkia, kuten hyönteisiä, on aikojen saatossa pidetty alemmina ja ajattelemattomina olentoina. Tietämättömyys ruokkii ihmiskeskeisyyttä, joka puolestaan vähentää arvostustamme muita eläimiä kohtaan ja laiminlyö niiden oikeuksia. Vielä tänäkin päivänä vain harvat tietävät, että hyönteisillä on aivot ja ne voivat oppia ja muistaa.

Hyönteisten pienet aivot eivät ole välttämättä yksinkertaiset, ja ne pystyvät ratkaisemaan monimutkaisiakin tehtäviä luonnossa. Esimerkiksi kimalaiset joutuvat suunnistamaan monimutkaisessa ympäristössä ja ne oppivat käyttämään maamerkkejä hyväkseen etsiessään reittiä pesältä ravintokohteille ja takaisin. Itse asiassa vielä ei tunneta sellaista kognitiivista kykyä, joka vaatisi suuria aivoja. Lisäksi neuro-

biologiset mallinnukset viittaavat siihen, että kognitiivisesti monimutkaisten tehtävien suorittamiseen riittää hyvin rajallinen määrä aivosoluja (Cope ym. 2018).

Mesipistiäisten ongelmanratkaisukyky

Narunvetokoe

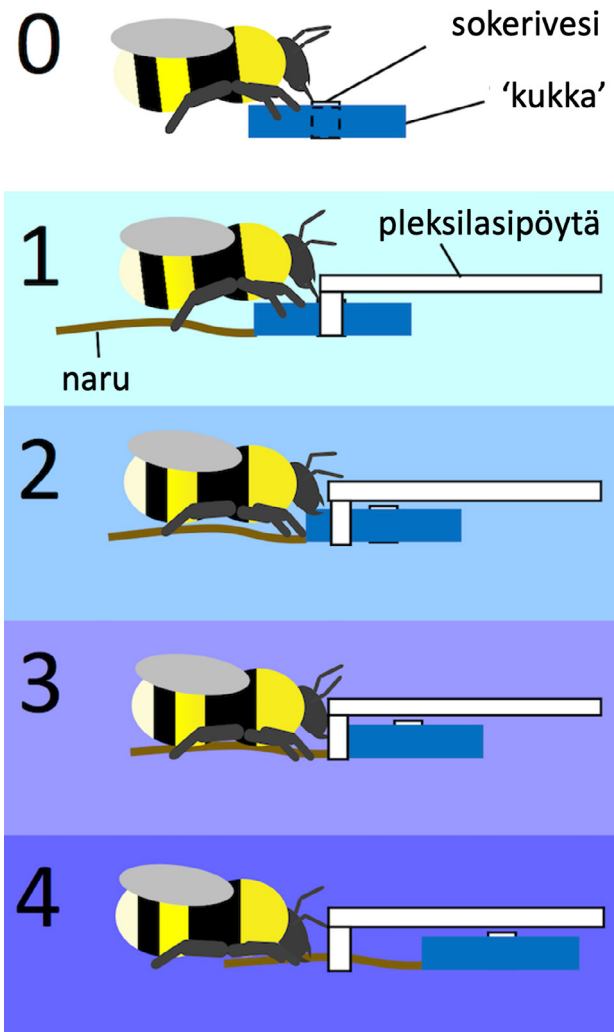
Työskennellessäni postdoc-tutkijana Queen Maryn yliopistossa Lontoossa vuosina 2015–2017, tutkin kollegoideni kanssa kokeellisesti, kykenisivätkö kontukimalaiset (*Bombus terrestris*) oppimaan uusia ravinnonhankintatekniikoita laboratoriossa, ja oppisivatko ne niitä sosiaalisesti katsomalla mallia toisiltaan. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui vertailevan psykologian puolella lintujen ja nisäkkäiden ongelmanratkaisukyvyn tutkimiseen vakiintunut narunvetotehtävä. Narunvetotehtävässä tutkimuseläin haastetaan vetämään narusta päästäkseen käsiksi palkintoon. Tämä tehtävä testaa eläimen kykyä hahmottaa ympäristöään, sekä kykyä suorittaa tiettyjä motorisia toimintoja saavuttaakseen tavoitteensa. Narunvetotehtävä on myös hyödyllinen tutkimustyökalu oppimisen mekanismien tutkimuksessa, esimerkik-

si jos halutaan selvittää mihin eläin kiinnittää huomiota tehtävän aikana, toistaako se tiettyjä liikkeitä rutiininomaisesti ja ottaako se mallia toisilta yksilöiltä.

Narunvetokokeen (Alem ym. 2016) alussa kimalaisten pesälaatikko yhdistettiin lento-areenaan, josta työläiset löysivät sokerivettä sisältäviä sinisiä tekokukkia. Tässä vaiheessa kimalaiset oppivat yhdistämään sinisen värin ravintokohteeseen. Tämän jälkeen tekokukkiin liimattiin naru ja niitä siirrettiin asteittain läpinäkyvän pleksilasipöydän alle. Kimalaiset päästettiin yksitellen areenalle, jossa ne pääsivät käsiksi sokeriveteen ainoastaan, mikäli onnistuivat vetämään kukan pöydän alta pois käyttämällä apunaan siihen kiinnitettyä narua. Valtaosa (60 %) 40:stä testatusta kimalaisesta oppi vetämään tekokukat esille asteittaisen koulutuksen avulla (Kuva 1).

Toisessa osakokeessa selvitimme, oppivatko kimalaiset narunvetotaidon katsomalla opetettua yksilöä etäisyyden päästä. Kimalaiset ovat sosiaalisia eläimiä ja ovat kiinnostuneita toisten yksilöiden toiminnasta, erityisesti tilanteissa, joissa ne eivät tiedä mitä tulisi tehdä. Asetimme 25 koekimalaista yksitellen läpinäkyvään kammiin, josta ne näkivät, kuinka aiemmin opetettu mallikimalainen veti tekokukkaa narusta. Katselun jälkeen päästimme koekimalaisen yksin areenalle, jossa oli kukka pleksilasipöydän alla. Tässäkin tapauksessa yli 60 % koekimalaisista onnistui narunvedossa. Hämmästykseksemme myös kaksi kontrollikimalaista 40:stä, jotka eivät saaneet opetusta tai nähneet mallikimalaisen narunvetoa, onnistui tehtävässä. Kutsuimme näitä kahta yksilöä innovaattoreiksi.

Kolmannessa osakokeessa testasimme, leviääkö opittu tekniikka pesän yksilöiden välillä ja säilyykö se siellä aikojen yli. Koulutimme kustakin kokeesta käytetystä kolmesta pesästä yhden kimalaisen vetämään tekokukkaa narusta. Tämän jälkeen päästimme areenalle kaksi saman pesän kimalaista kerrallaan. Asetelma toistettiin 150 kertaa per pesä. Areenalla oli neljä kukkaa pleksilasipöydän alla. Kimalaiset



Kuva 1. Kimalaisten vaiheittainen koulutus narunvetoon. Koulutuksen vaiheet: Vaihe 0, kimalaiset oppivat löytämään sokerivettä sinisiltä tekokukilta; Vaihe 1, 50 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 2, 75 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 3, 100 % kukasta on läpinäkyvän pöydän alla; Vaihe 4, 100 % kukasta on pöydän alla ja kukan reuna on 2 cm päässä pöydän reunasta.

saisivat mesimahansa täyteen, mikäli onnistuivat vetämään kaikki neljä kukkaa pöydän alta. Sama koe toistettiin kolmella kontrollipesällä ilman koulutettuja kimalaisia. Ajan mittaan kaikki työläiset, jokaisesta kolmesta koepesästä oppivat vetämään tekokukkia narusta. Kimalaiset oppivat narunvetotaidon toiselta, jo oppineelta yksilöltä sosiaalisesti. Taito levisi nopeasti, sillä valtaosa yksilöistä oppi taidon jo yhden vuorovaikutuskerran jälkeen oppineen yksilön seurassa. Yksikään työläinen kontrollipesistä ei oppinut vetämään tekokukkia narusta.

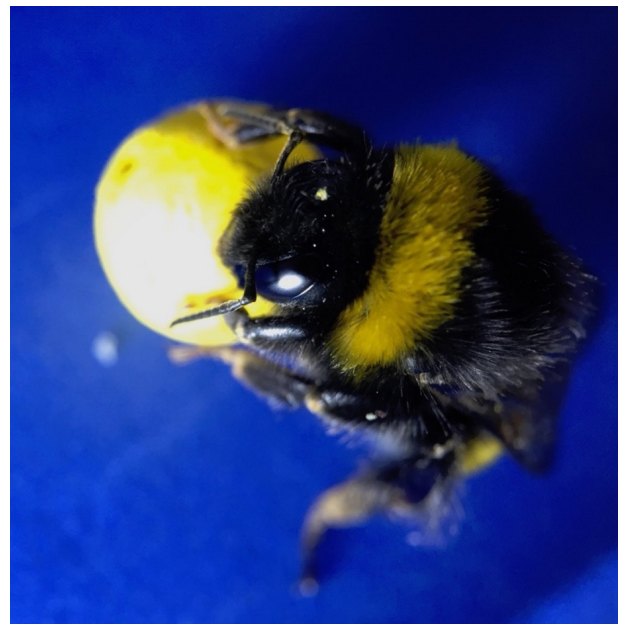
Tutkimuksemme osoittaa, että kimalaisten opitut ravinnonhankintatekniikat eivät pelkäänsi siirry yksilöltä toiselle sosiaalisen oppimisen kautta, vaan ne myös säilyvät pesässä aikojen yli, vaikka ensimmäisenä oppineet yksilöt poistettaisiin pesästä. Tämä täyttää kulttuurin määritelmän. Vaikka kimalaisilla ei luonnossa ole havaittu kulttuuria, niillä on siihen kuitenkin tarvittavat kognitiiviset kyvyt. Kulttuuriin ei välttämättä tarvita ylempiä kognitiivisia kykyjä, kuten syy- ja seuraussuhteiden ymmärtämistä, vaan yksinkertaista assosiativista oppimista sekä hyviä motorisia valmiuksia.

Pallonpyörityskokeet

Narunveto on jo itsessään hämmästyttävä taito kimalaisille, mutta se ei silti välttämättä osoita joustavaa päättelykykyä. Toisinaan kimalaiset vetävät kukkien terälehtiä itseään kohden päästäkseen sisälle kukkaan. Näin ollen, naruntai minkä tahansa objektin veto saattaa olla kimalaisille ominaista ja sisäsyntyistä käytöstä. Joustavan päättelykyvyn osoittamiseksi pulman tulisi olla jotain luonnotonta, jota kimalaiset eivät normaalisti luonnossa ratkoisi. Arkipäiväisen pulman ratkaiseminen ei välttämättä kerro joustavasta päättelykyvystä mitään, sillä kimalaisille on voinut evolutiivisen historian aikana kehittyä sisäsyntyinen kyky ratkaista ongelma. Kimalaiset eivät luonnossa liikuttele esineitä paikasta toiseen saadakseen mettä tai siitepölyä kukasta. Tästä syntyi ajatus; voisiko kimalaiset opettaa käyttämään työkalua?

Työkaluksi valikoitui useiden kokeilujen jälkeen keltaiseksi värjätty puupallo (Kuva 2), jota kontukimalaisen tuli pyörittää areenalla olevan sinisen pelialustan keskellä olevaan maaliin (Loukola ym. 2017). Ensimmäisen osakokeen alussa koekimalaiset oppivat yhdistämään keltaisen pallon sinisen pelialustan keskellä sijainneeseen palkintoon. Tämän jälkeen pallo asetettiin pelialustan reunalle, josta kimalaisen tuli siirtää se takaisin maaliin. Mikäli kimalainen onnistui siirtämään pallon maaliin 10 minuutin

kuluessa tehtävän alusta, se pääsi käsiksi pelialustan keskialueen alapuolella sijaitsevaan sokerivesisäiliöön. Säiliön kansi oli yhdistetty servomoottoriin, jota tutkija pystyi kontrolloimaan areenan ulkopuolelta käsin. Mikäli kimalainen epäonnistui tehtävässä, läpinäkyvän tikun päähän kiinnitetty muovinen mallikimalainen liikutti pallon maaliin oikean kimalaisen seurassa vierestä. Yhdeksän koekimalaista suoritti kyseisen harjoituksen 20 kertaa. 10 kontrollikimalaista sai palloilla alustalla myös 10 minuuttia 20 kertaa, mutta eivät saaneet palkintoa pallon pyörittämisestä maaliin, eivätkä nähneet tekokimalaisen mallisuoritusta. Kontrollikimalaiset saivat palkinnon 10 minuutin jälkeen suoraan pallosta. Kunkin harjoituksen päätyttyä, pallo korvattiin muutoin samanlaisella pallolla, mutta uuden pallon sisällä oli sokerivettä, jonka kimalaiset nauttivat suoraan pallosta pienen reiän kautta. Kimalaiset on palkittava heti suorituksen jälkeen, muuten ne menettävät motivaationsa tulla areenalle. Kontrollikokeen tarkoitus oli testata, voisivatko koekimalaiset pyörittää pallon maaliin sattumalta. 20 harjoituksen jälkeen sekä koe- että kontrollikimalaiset haastettiin samassa tehtävässä 10 kertaa



Kuva 2. Kimalainen pyörittää keltaista palloa sinisellä pelialustalla. Kuva: Iida Loukola.

ilman mallidemonstraatiota. Kaikki yhdeksän koekimalaista liikuttivat pallon maaliin kaikissa 10:ssä testissä. Ainoastaan yksi kontrollikimalainen liikutti pallon maaliin yhdessä testissä. Ensimmäinen osakoe osoitti, että kimalaiset voidaan opettaa käyttämään palloa työkaluna päästäkseen käsiksi palkitsevaan sokeriliuokseen.

Toisessa osakokeessa testasimme, vaikuttaako havaintoesityksen laatu tehtävän oppimiseen ja parantavatko kimalaiset suoritustaan näkemänsä perusteella. Tässä kokeessa kimalaiset (yksi kerrallaan) löysivät pelialustalta kolme keltaista palloa; yhden pelialustan reunalta, yhden reunan ja maalin välistä ja yhden maalin vierestä. Kimalaiset jaettiin kolmeen ryhmään, 10 kimalaista per ryhmä. Ensimmäisessä ryhmässä (sosiaalinen demonstraatio) kimalaiset katsoivat yksitellen vierestä, kun opetettu mallikimalainen liikutti maalista katsottuna kauimmaista palloa maaliin, jonka jälkeen sekä mallikimalainen että sivustaseuraaja palkittiin sokerivedellä. Havaintoesityksessä kaikki pallot olivat aina samassa kohdassa alustaa ja kaksi maalista katsottuna lähinnä olevaa palloa oli kiinnitetty sinitarralla alustaan kiinni, eikä niitä voinut liikuttaa. Toisessa ryhmässä (ei-sosiaalinen demonstraatio) kimalaiset katsoivat yksitellen vierestä, kun maalista katsottuna kauimmainen pallo liikkui itsestään maaliin, jonka jälkeen kimalainen palkittiin sokerivedellä. Kauimmaisen pallon sisään piilotettiin magneetti, ja pallo ohjattiin maaliin areenan alapuolelta käsin toisella magneetilla, kun koekimalainen oli katseluetäisyyden päässä pallosta. Kolmannen ryhmän (ei demonstraatiota) kimalaiset löysivät yksitellen ainoastaan yhden pallon ja soke-riivesipalkinnon valmiiksi maalista. Kolmen havaintoesityksen jälkeen kimalaiset päästettiin yksitellen pelialustalle 10 kertaa. Kaikkien ryhmien kimalaiset löysivät pelialustalta kolme palloa; yhden alustan reunalta, yhden reunan ja maalin välistä ja yhden maalin vierestä. Tällä kertaa kaikki kolme palloa oli liikuteltavissa ja niiden sijainti alustalla satunnaistettu. Kymme-

nen testisuorituksen jälkeen kimalaiset haastettiin yleistettävyydestä, jossa maalin vieressä oleva pallo korvattiin mustalla pallolla. Tämän testin tarkoitus oli testata, kykenevätkö kimalaiset yleistämään säännön ”liikuta pallo maaliin” vai olivatko ne yhdistäneet ainoastaan pallon keltaisen värin palkintoon.

Sosiaalisen demonstraation ryhmässä kaikki yksilöt onnistuivat jokaisessa kymmenestä yrityksestään, myös yleistystestissä. Ei-sosiaalisen demonstraation ryhmässä 80 % yksilöistä onnistuivat kaikissa yrityksissään ja 70 % yksilöistä onnistui yleistystestissä. Ei-demonstraatiota ryhmässä ainoastaan 30 % yksilöistä suoriutui testihaasteesta ja puolet yleistystestissä. Sosiaalisen demonstraation ryhmässä yksilöt olivat myös nopeampia liikuttamaan pallon maaliin kuin muiden ryhmien yksilöt. Kaikissa ryhmissä onnistuneista yksilöistä valtaosa (>70 %) liikutti maaliin sitä lähimpänä olevan pallon.

Tulokset osoittavat, että sosiaalinen informaatio on hyödyllistä, muttei välttämätöntä kimalaisille tehtävän onnistumisen kannalta. Pallojen sijaintien satunnaistaminen demonstraatiovaiheen jälkeen ja yleistystestin läpäisy viittaa siihen, että kimalaiset eivät käyttäneet ainoastaan yksinkertaisia assosiativisia oppimismekanismeja tehtävän ratkaisussa, kuten hakeutuneet tiettyyn paikkaan (*local enhancement*) tai ärsykkeen luo (*stimulus enhancement*). Kimalaiset eivät kopioineet mallikimalaista kriitikittömästi vaan kykenivät jopa parantamaan suoritustaan omien kokemustensa perusteella. Kimalaiset kykenevät siis joustavaan päätöksentekoon. Tämä on hämmästyttävä kyky eläimeltä, jonka aivot ovat seesaminsiemenen kokoiset.

Oulun yliopistossa tekemämme uuden pallonpyörityskokeen perusteella kontukimalaiset oppivat myös monimutkaisia sääntöjä ja valikoivat työkaluja (Chow ym. 2022). Jos kimalaiset oppivat aikaisemmassa vaiheessa liikuttamaan sinisen pallon siniseen maaliin ja oranssin pallon oranssiin maaliin, ne ymmärsivät yleistyskokeessa liikuttaa myös keltaisen

pallon keltaiseen maaliin. Mikäli kimalaiset oppivat aikaisemmassa vaiheessa liikuttamaan keltaisen pallon keltaiseen maaliin ja oranssin pallon oranssiin maaliin, ne eivät kuitenkaan ymmärtäneet yleistyskokeessa liikuttaa sinistä palloa siniseen maaliin. Emme edelleenkään tiedä varmasti miksi kimalaiset välttivät sinistä palloa yleistyskokeessa. Yksi selitys saattaa piillä uusien asioiden pelossa (neofobia). Sininen väri sijaitsee kimalaisen näkemässä värispektrissä eri paikassa kuin oranssi ja keltainen, joten on mahdollista, että oranssiin ja keltaiseen tottuneet kimalaiset pitivät sinistä aluksi uutena ja pelottavana asiana.

Kimalaiset siis oppivat monimutkaisia sääntöjä pallonpyörittämissä, mutta niiden harjoitushistoria vaikuttaa niiden suoriutumiseen. Tutkimuksen tulokset korostavat, kuinka paljon koeasetelman valinta voi vaikuttaa johtopäätöksiimme koeyksilöiden kognitiivisista kyvyistä. Syntyvä näkemys kimalaisten älykkyydestä voi siis vaihdella riippuen käytetystä koeasetelmasta.

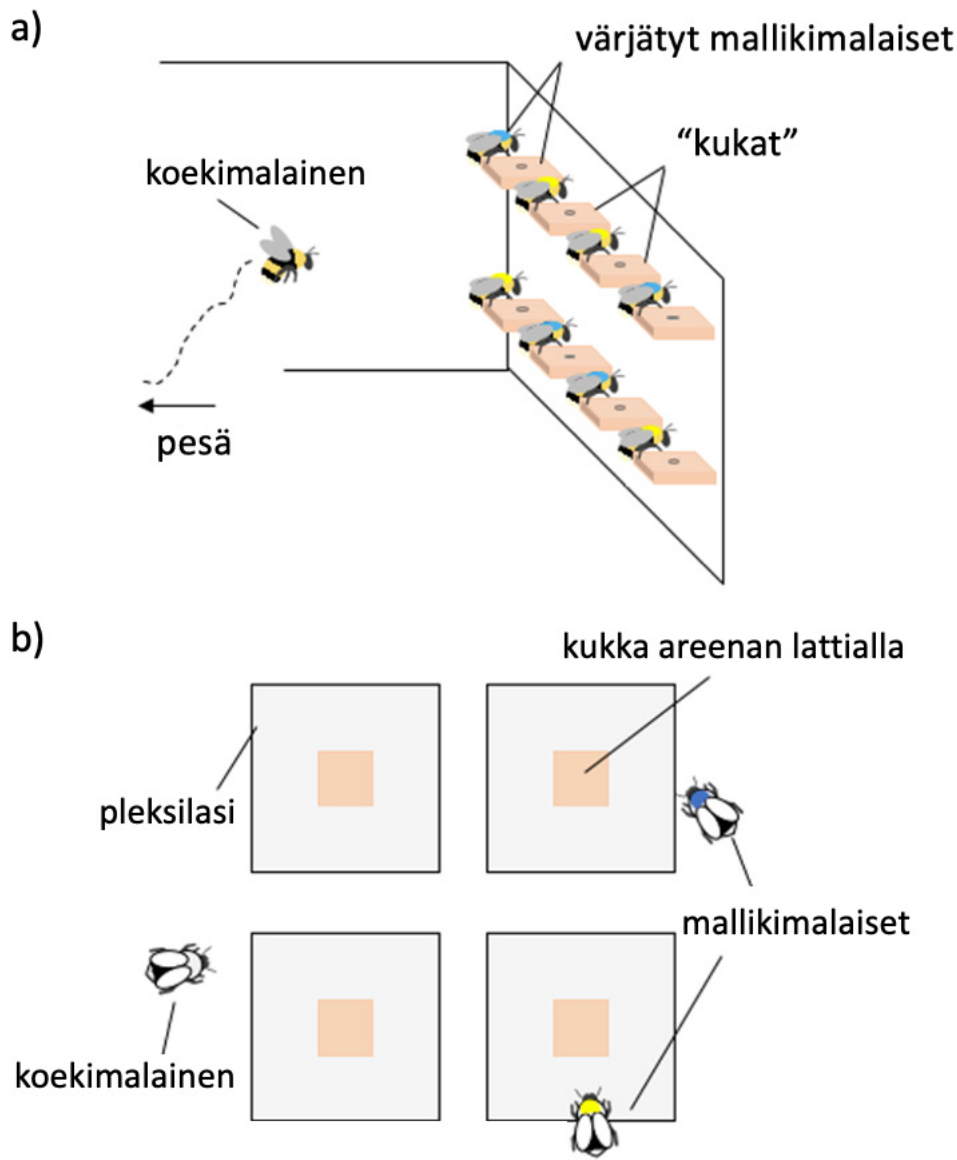
Kimalaiset hankkivat tietoa luotettavaksi oppimiltaan yksilöiltä

Epävarmuus ravinnonsaannista aiheuttaa ongelmia kimalaisten jokapäiväisessä elämässä. Kukkia kuihtuu ja uusia puhkeaa kukkaan. Osa kukista tarjoaa pölytyksestä palkkioksi mettä, siitepölyä, molempia tai ei mitään. Työläisten on jatkuvasti opittava uutta, jotta pesän mesi- ja siitepölytarpeet tulisi täytettyä. Kimalaiset voivat etsiä ravintoa ympäristöstä itse, yrityksen ja erehdyksen kautta. Tämä strategia on toimiva, mutta ei kovin tehokas. Etsimiseen kuluu aikaa ja lentely vie paljon energiaa. Vaihtoehtoisesti kimalaiset voivat tarkkailla, missä lajitoverit ja muut siitepölyä ja mettä ravintonaan käyttävät lajit käyvät ruokailemassa. Sosiaalinen oppiminen voi nopeuttaa sopivien kukkien löytymistä huomattavasti, varsinkin silloin, kun se ei rajoitu pelkästään pesä- tai lajitovereilta saatuun tietoon. Kaikkien lajien tekemiä kukkavalinto-

ja ei kuitenkaan kannata kopioida. Esimerkiksi lyhytkielisen kimalaisen ei kannata kopioida pitkäkielisen lajin kukkavalintoja, koska pitkäkieliset ovat sopeutuneet hakemaan mettä pitkäkannuksisista kukista, joiden mesivarastoihin ei lyhyellä kielellä yllä. Informaationlähteen ja -käyttäjän täytyy siis olla tarpeiltaan samankaltaisia, jotta informaatiosta olisi hyötyä käyttäjälle.

Selvitimme Queen Maryn yliopistossa koekielisesti valikoivatko kontukimalaiset informaationlähteitään aiemmin oppimansa perusteella (Romero-González ym. 2020). Aluksi opetimme koekimalaiset yhdistämään ulkoasultaan erilaisia kimalaisia joko palkintoon (sokerivesi) tai pahanmakaiseen kiniiniin. Värjäsimme kuolleita kontukimalaisia keltaisella ja sinisellä maalilla ja kiinnitimme ne areenan seinällä oleville tekokukille, yhden väriset palkitseville kukille ja toiset kiniinikukille (Kuva 3a). Koekimalaiset kävivät yksitellen vierailmassa tekokukilla, joiden aikana värjättyjen mallikimalaisten paikkaa vaihdettiin siten, ettei värit ja palkitsevuus mennyt sekaisin. Lopuksi koekimalaisten oppimista mitattiin testillä, jossa sokerivesi ja kiniini korvattiin puhtaalla vedellä. Koekimalaiset selviytyivät tästä kokeesta hyvin. Ne laskeutuivat enimmäkseen sen väristen mallikimalaisten viereen, jotka ennustivat palkintoa edellisten ravinnonhakuvierailujen aikana.

Tässä vaiheessa tiesimme, että kimalaiset kykenevät assosioimaan kimalaisen ulkoasun – tässä tapauksessa värityksen – palkitseviin tai ravinnoksi kelpaamattomiin kukkiin. Välittömästi edellisen vaiheen päätyttyä, testasimme soveltavatko kimalaiset oppimaansa tietoa uudessa ravinnonhankintatilanteessa. Koekimalaiset pääsivät jälleen yksitellen areenalle, mutta nyt kukat olivat seinän sijaan lattialla. Lattialla käveli kaksi elävää mallikimalaista (yksi keltainen ja yksi sininen), jotka yrittivät päästä käsiksi aiemmin oppimiinsa kukkiin. Kukat peitettiin pleksilasilevyllä, jotta mallikimalaiset pysyisivät lattialla yrittäen löytää pääsyä kukille (Kuva 3b). Koekimalaiset hakeutuivat jälleen sen väris-



Kuva 3. Koekimalainen oppii yhdistämään tietynväriset mallikimalaiset palkitseviin kukkiin (a), jonka jälkeen se haastetaan uudessa ravinnonhankintatilanteessa, jossa kukat ovat lattialla (b).

ten mallikimalaisten läheisyyteen, jotka olivat ennustaneet palkintoa edellisessä tehtävässä. Koekimalaiset kävivät tarkkailemassa myös toisenvärisiä mallikimalaisia, jotka istuivat pahanmakuisilla kiniinikukilla aiemmassa tehtävässä, mutta kääntyivät pois päin muistaessaan negatiivisen assosiaation edellisestä tehtävästä.

Mitä jos koekimalaisemme olivat oppineet yhdistämään ainoastaan tietyt värit palkitseviin ja pahanmakuisiin kukkiin, eivätkä käyttäisi sosiaalisia vihjeitä laisinkaan? Toistimme edellisen kokeen, mutta tällä kertaa malleina häärivät keltaiseksi ja siniseksi värjätyt magneettien

avulla liikkuvat puupallot tai elävät maasiirat. Pallot ja siirat eivät luonnossa ennusta ravintoa kimalaisten näkökulmasta, joten emme odottaneet kimalaisten myöskään seuraavan niitä testitilanteessa. Havaitsimme, että koekimalaiset eivät olleet kiinnostuneita palloista tai siiroista. Tämä tulos osoitti, että koekimalaiset tosiaankin käyttivät mallikimalaisia sosiaalisina vihjeinä. Koekimalaiset luultavasti näkivät värikkäät mallikimalaiset toisina kimalaisina liikkuvien väriläiskien sijaan.

Tutkimuksemme osoittaa, että kimalaiset käyttävät sosiaalista informaatiota valikoiden.

Ne hakeutuvat sellaisten yksilöiden läheisyyteen, joiden läsnäolon ne ovat oppineet yhdistämään palkintoon ja välttävät yksilöitä, joiden läsnäolon ne ovat oppineet yhdistämään pahan makusiin kukkiin. Näennäisen monimutkainen kyky arvioida ja käyttää toisia yksilöitä sosiaalisen tiedon hankkimiseen saattaa olla yleinen ja olennainen osa eläinten sosiaalista oppimista, eikä se rajoitu välttämättä lajitovereihin.

Tarhamehiläiset huijaavat matematiikankokeessa

Viime aikoina useat tutkimukset ovat keskittyneet selvittämään tarhamehiläisten (*Apis mellifera*) mahdollista kykyä ratkaista matemaattisia ongelmia numeeristen vihjeiden perusteella. Huomasimme kollegoideni kanssa tutkimuksessa käytetyissä menetelmissä puutteita ja päätimme testata vaihtoehtoista selitystä tuloksille. Koulutimme Oulun yliopiston kasvitieteellisen puutarhan pihassa pidettäviä tarhamehiläisiä erottamaan toisistaan korttiparit, joihin oli kuvattu eri lukumäärä symboleja (MaBouDi ym. 2021). Koejärjestely perustui yleisesti käytettyyn tehtävänasetteluun eläinten numeerisen älykkyyden testaamiseksi. Mehiläiset suoriutuivat tehtävistä hyvin koulutuksen ja oppimiskokeen aikana. Lisäkoeket kuitenkin osoittivat mehiläisten käyttävän tehtävien ratkaisussa symbolien lukumäärän sijaan niiden visuaalisia piirteitä, kuten tummien ja vaaleiden sävyjen esiintymistiheyttä.

Varsinaisen kokeen lisäksi kehitimme myös mehiläisen aivojen fysiologiaan perustuvan matemaattisen mallin, joka perustuu hyönteisen aivojen sisältämien neuroneiden kapasiteettiin ratkaista erityyppisiä ongelmia. Mallin mukaan mehiläisten aivokapasiteetti mahdollistaa tutkittavan ongelmanratkaisun ilman numeerista prosessointia.

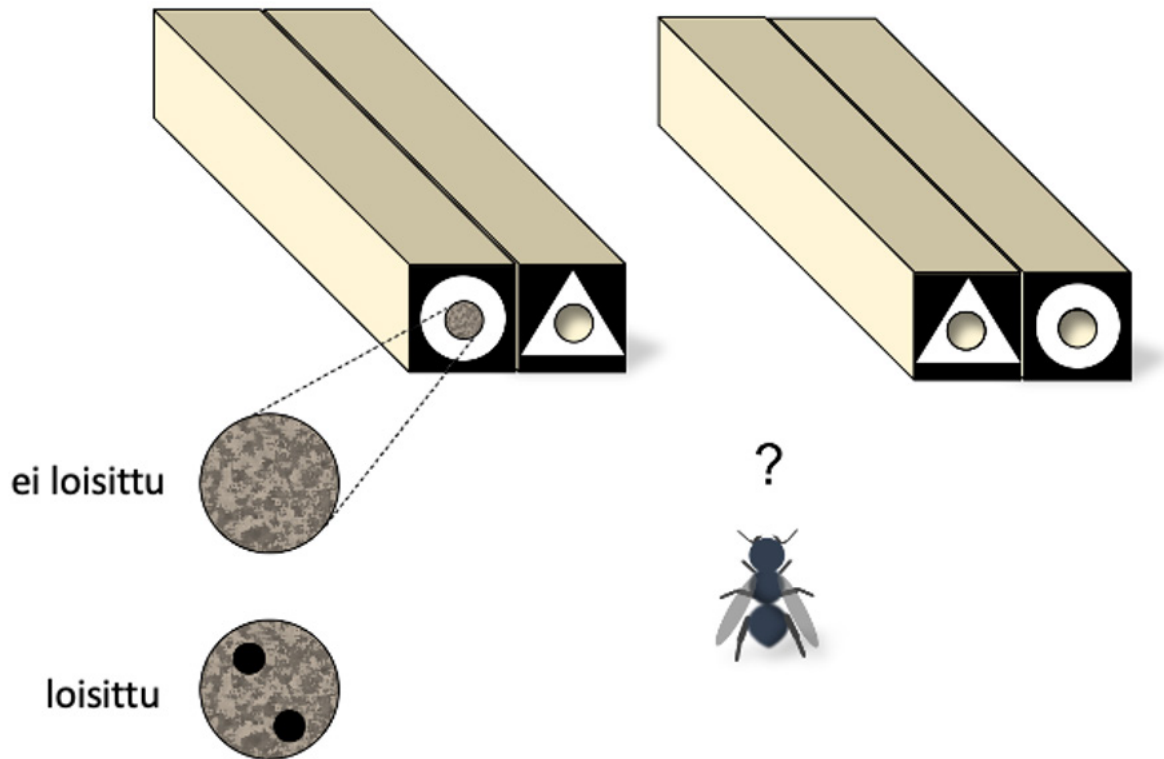
Tuloksemme eivät kuitenkaan tarkoita sitä, että mehiläiset tai muut sanaton viestintää käyttävät eläimet eivät pystyisi ymmärtämään numeerisia vihjeitä. Tuloksemme osoittavat,

että mehiläiset ovat tavattoman nokkelia ja pystyvät ratkaisemaan tehtäviä tehokkailla ja odottamattomilla tavoilla. Kyky erottaa kohteita toisistaan ei-numeeristen, jatkuvien muuttujien perusteella, on luultua yleisempää ja mahdollisesti evolutiivisesti vanhempaa perua kuin numeerinen ympäristöstä saadun informaation prosessointi.

Erakkomehiläisiin kuuluvat muurarimehiläiset käyttävät lajienvälistä sosiaalista informaatiota valitessaan pesäkoloa

Sosiaalisia mesipistiäisiä, kuten tarhamehiläisiä ja kimalaisia, on tutkittu pitkään ja niiden käyttäytymisestä ja oppimisesta tiedetään jo melko paljon. Maailman mesipistiäisistä (Apoidea) kuitenkin noin 85 prosenttia on erakkomehiläisiä. Toisin kuin sosiaaliset mehiläiset, erakkomehiläiset pesivät yksin ja lajien naaraat ovat aina "sinkkuäitejä". Erakkomehiläisten käyttäytymistutkimus on ollut verrattain vähäistä ja niiden oppimisesta tiedetään tuskin mitään. Se kuitenkin tiedetään, että ne ovat tehokkaita ravintokasvien pölyttäjiä ja pesivät mielellään hyönteishotelleissa.

Erakkomehiläisten ryhmään luetaan myös muurarimehiläiset eli *Osmia*-suvun lajit, joita Suomesta on tavattu kymmenkunta. Työskennellessäni Queen Maryn yliopistossa tutkin, miten muurarimehiläiset käyttävät hyväkseen sosiaalista informaatiota valitessaan pesäpaikkaa luonnossa (Loukola ym. 2020). Lajienvälinen informaationkäyttö -hypoteesi ennustaa, että ekologiaaltaan samankaltaisten lajien tulisi käyttää toisiaan informaationlähteenä ja hakeutua toistensa läheisyyteen. Koevoluutioteoria puolestaan ennustaa, että ekologisesti samankaltaiset lajit kilpailevat keskenään resursseista, johtaen niiden ekolokeroiden erkaantumiseen ja toistensa välttelyyn. Hyödyntävätkö myöhemmin pesivät lajit omissa valinnoissaan aikaisemmin pesivän lajin valintoja vai välttävätkö ne pesimästä toisen lajin pesän läheisyyteen? Keräsin tutkimusaineiston Itä-Lontoon puis-



Kuva 4. Aiemmin pesineiden rusomuurarimehiläisten pesäpaikanvalintaa ja menestystä havainnollistettiin keinopesillä, jotka jaettiin kahteen ryhmään: (1) pesän sisäänkäynnin savitulppa oli ehjä (onnistunut pesintä = ei loisittu) ja (2) tulppaan oli tehty kaksi pientä reikää (halkaisija 0,8 mm) (epäonnistunut pesintä = loisittu). Valkoinen symboli (ympyrä tai kolmio) kiinnitettiin rusomuurarimehiläisen pesän sisäänkäynnin ympärille, kun taas toinen symboli kiinnitettiin viereisen tyhjän pesän sisäänkäynnin ympärille. Kaksi samankaltaista tyhjää pesää tarjottiin 20 cm etäisyyden päähän rusomuurarimehiläisen pesästä myöhemmin pesivälle mehiläiselle. Asetelma loi vaikutelman, että rusomuurarimehiläinen olisi valinnut toisen symboleista ja on joko onnistunut tai epäonnistunut pesinnässään. Myöhemmin pesivän mehiläisen oli valittava kahden tyhjän pesäkolon välillä 20 cm päässä rusomuurarimehiläisen pesäkoloista. Koeyskiköt olivat vähintään 20 metrin etäisyydellä toisistaan.

toista ja hautausmailta sekä Kentistä ja Harpendenista Lontoon välittömästä läheisyydestä.

Kokeessa luotiin mehiläisille vaikutelma, että aikaisemmin pesivä laji olisi valinnut kahdesta pesäkoloista toisen. Aikaisemmin pesivä laji rusomuurarimehiläinen (*Osmia bicornis*) sinetöi valmiin pesänsä savella, joten vaikutelma rusomuurarimehiläisen pesäkolovalinnasta luotiin tekemällä savesta tulppa yhteen pesäkoloon. Pesäkolot erosivat savitulpan lisäksi toisistaan ainoastaan niiden ympärille kiinnitettyjen symbolien (ympyrä ja kolmio) suhteen (Kuva 4). Myöhemmin pesivälle mehiläislajille tarjottiin 20 cm:n päähän kaksi tyhjää pesäkoloa, nekin ympyrällä ja kolmiolla merkityt. Lisäksi aikaisemminpesivän lajin pesimämenestystä mani-

puloitiin poraamalla pieniä reikiä tulppaan, jolla muurarimehiläiset viimeistelyvaiheessa sulkevat pesäkolonsa.

Reiät ilmaisee loiskärpästen ja pistiäisten ulostuloreikiä, mikä puolestaan viittaa pesinnän epäonnistumiseen. Osa tulpista jätettiin ehjiksi ilmentämään onnistunutta pesintää. Kiinnostuksen kohteena oli selvittää naaraan ensimmäinen pesäpaikan valintapäätös. Koe-pesät varustettiin automaattisella tiedonkeruujärjestelmällä. Pesintäkauden loputtua pesät kerättiin talteen ja aineisto analysoitiin.

Kokeemme osoitti, että muurarimehiläiset käyttävät lajienvälistä sosiaalista informaatiota valitessaan pesäkoloa. Ne tarkkailevat ja painavat mieleensä aikaisemmin pesivän lajin

pesäpaikkamieltymyksen (symboli pesässä) ja pesimämenestyksen. Ne kopioivat aikaisemmin pesiviä lajeja, mikäli näiden pesät ilmentävät onnistunutta pesintää. Mikäli aikaisemmin pesivän lajin pesä indikoi epäonnistunutta pesintää, muurarimehiläisnaaraat valitsivat pesäkolon, jossa oli vastakkainen symboli. Kyseinen *kopioi menestyviä/vältä epäonnistuneita*-strategia ('ota mallia menestyneeltä, älä tee niin kuin häviäjää') on aiemmin löydetty muun muassa kirjosiapoilta (Loukola ym. 2013).

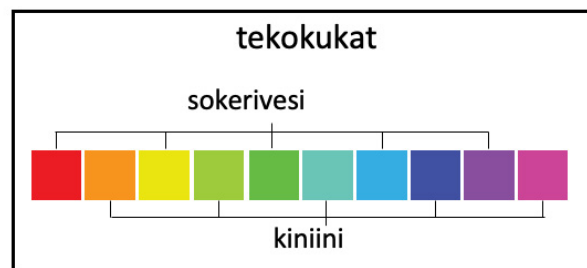
Kokeemme osoitti ensimmäistä kertaa, että myös erakkona elävät mehiläiset kykenevät joustavaan päätöksentekoon valitessaan pesäpaikkoja. Vaikka erakkomehiläiset pesivät yksin, ne kuitenkin tarkkailevat jatkuvasti ympäristöään ja hyödyntävät muiden tekemiä valintoja ja näiden seurauksia. Siten ne säästävät aikaa ja välttävät riskejä. Sosiaalinen informaatio on kaikkien (myös ei-sosiaalisten lajien) saatavilla. Sen käyttö mahdollistaa uusien traditioiden leviämisen sekä lajin sisällä että lajien välillä. Lajienvälinen valikoiva sosiaalinen informaationkäyttö -hypoteesi haastaa nykyisin vallalla olevan koevoluutioteorian. Se ennustaa, että informaatiota hyödyntävän lajin ja informaationlähteen ominaisuudet voivat joko samankaltaistua tai erilaistua sen mukaan, miten informaationlähteen havaitaan menestyvän.

Rikkakasvimyrkky vaikuttaa kimalaisen kognitioon

Aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että mesipistiäiset ovat älykkäitä eläimiä. Niiden hämmästyttävä oppimiskyky ja hyvä (joskin lyhyt) muisti tekevät niistä tehokkaita pölyttäjiä. Luonnossa pölyttäjähyönteisten täytyy löytää uusille kukka-apajille saadakseen kerättyä pesälle ravintoa. Kukkien löytämiseen ja meden ja siitepölyn onnistuneeseen keruuseen tarvitaan hyvä hajuaisti, värinäkö, motoriset valmiudet kukan käsittelyyn, suunnistustaito löytää ravintolaikuilta takaisin pesään sekä kyky oppia ja muistaa palkitsevat hajut, värit, tekniikat ja

reitit. Jo pienetkin kognitiiviset häiriöt yksilötasolla voivat johtaa siihen, ettei ravintoa tule kerättyä tarpeeksi pesän tarpeisiin. Useat, varsinkin maataloudessa käytetyt hyönteismyrkyt, kuten neonikotinoidit, vaikuttavat negatiivisesti pölyttäjien suorituskykyyn jo pieninä, ei-tappavina pitoisuuksina. Tehomaatalous ja torjunta-aineiden käyttö ovatkin kiistatta suurimpia syyllisiä maailmanlaajuiseen pölyttäjäkatoon. Glyfosaattipohjaiset rikkakasvimyrkyt ovat maailman eniten käytettyjä kasvinsuojeluaineita, mutta niiden vaikutuksia pölyttäjien kognitioon ei olla aiemmin tutkittu. Tuoreessa Oulun ja Turun yliopiston tutkijoiden yhteistyöprojektissa tutkin kollegoideni kanssa, miten glyfosaattia sisältävä rikkakasvimyrkky Roundup Gold vaikuttaa kimalaisten oppimiseen ja muistiin (Helander ym. 2023).

Tutkimuksessa kimalaiset altistettiin kerta-luontoisesti rikkakasvimyrkkyannokselle, jolle pölyttävät kimalaiset saattavat altistua pellolla päivän aikana. Altistuksen jälkeen kimalaisten oppimista ja muistia testattiin 10 värin värioppimiskokeessa, jossa kimalaiset oppivat yhdistämään viisi tiettyä väriä palkitsevaan sokeri-liuokseen ja toiset viisi väriä pahanmakaiseen kiniiniliuokseen (Kuva 5).



Kuva 5. Kimalaiset oppivat yhdistämään viisi tiettyä väriä palkitsevaan sokeri-liuokseen ja toiset viisi väriä pahanmakaiseen kiniiniliuokseen. 20 tekokukkaa (kaksi kukkaa kutakin väriä) aseteltiin lentoareenalle satunnaiseen järjestykseen ja kimalaiset päästettiin areenalle yksitellen.

Kontrollikimalaiset oppivat erottamaan pal-kitsevat värit pahaan makuun yhdistetyistä vä-reistä ja muistivat oppimansa kolmen päivän jälkeen. Rikkamyrkylle altistetut kimalaiset op-pivat huomattavasti heikommin ja unohtivat oppimansa muutamassa päivässä.

Selvitimme myös, että rikkakasvimyrkkykä-sittely ei vaikuttanut kimalaisten suoriutumiseen helpommassa kahden värin värioppimis-kokeessa tai 10 hajun hajuoppimiskokeessa. Tulokset viittaavat siihen, että vaikka altistumi-nen Roundup -rikkakasvimyrkylle ei tee kima-laisista täysin väri- tai hajusokeita, se heikentää kuitenkin niiden tarkkaa värinäköä. Tulokset ovat huolestuttavia, kun otetaan huomioon värinäön tärkeys kimalaisille, ja kuinka pal-jon glyfosaattia sisältäviä rikkakasvimyrkkyjä käytetään maailmalla ja Suomessa. Jo pienet häiriöt värinäössä saattavat olla katastrofaalisia pesän menestymisen kannalta.

Loppusanat

Mesipistiäisten kognitiivinen joustavuus ei luul-tavasti auta niitä toipumaan maailmanlaajuisesta pölyttäjädostasta, sillä on epätodennäköistä, että ne oppisivat jollain tavoin selvittämään ta-paa lobata kaupungintalon kokouksissa parem-man tulevaisuutensa puolesta.

Ongelmanratkaisukykyä vaativat kukat eivät ole kimalaisten ja muiden pölyttäjien suurin pulma luonnossa. Enemmän hankaluuksia niille aiheuttavat luonnonympäristöjen häviäminen sekä luonnonvaraisten kukkien ja pesäpaikko-jen väheneminen muun muassa kaupunkike-hityksen ja tehomaatalouden laajenemisen, lisääntyneen torjunta-aineiden käytön ja ilmas-tonmuutoksen vuoksi. Koska nämä maailman-laajuiset ongelmat ovat ihmisten aiheuttamia, on myös meidän vastuullamme ratkaista ne.

Hyönteisten älykkyyden ymmärtäminen voi ravistaa maailmankuvaamme. Lisääntynyt tieto ei pelkästään pudota ihmistä "luomakunnan kruunun" korokkeelta, vaan lisää eläinten ar-vostusta ja kannustaa meitä tarmokkaampiin

suojelupyrkimyksiin.

Kirjallisuus

- Alem S ym. 2016 Associative mechanisms allow for social learning and cultural transmission of string pulling in an insect. PLoS Biol 14: e1002564.
- Chow PKY ym. 2022 Prior associations affect bumblebees' generalization performance in a tool-selection task. Science 25: 105466.
- Cope AJ ym. 2018 Abstract concept learning in a simple neural network inspired by the insect brain. PLoS Comp Biol 14: e1006435.
- Helander M ym. 2023 Field-realistic acute exposure to glyphosate-based herbicide impairs fine-color discrimination in bumblebees. Sci Tot Env 857: 159298.
- Loukola OJ ym. 2013 Observed fitness may affect niche overlap in competing species via selective social information use. Am Nat 182: 474–483.
- Loukola OJ ym. 2020 Selective interspecific information use in the nest choice of solitary bees. Anim Biol 70: 215–225.
- Loukola OJ ym. 2017. Bumblebees show cognitive flexibility by improving on an observed complex behavior. Science 355: 833–836.
- MaBouDi H ym. 2021 Non-numerical strategies used by bees to solve numerical cognition tasks. Proc R Soc B 288: 20202711.
- Romero-González JE ym. 2020 Foraging bumblebees selectively attend to other types of bees based on their reward-predictive value. Insects 11: 800.

Kiitän Suomen akatemiaa ja Koneen Säätiötä tässä kirjoituksessa esiteltyjen tutkimusten rahoituksesta sekä tutkimuksiin osallistuneita yhteistyökumppaneita.

Dosentti Olli Loukola on tutkija Oulun yliopistos-sa. Hänen tutkimuksensa pääpainoala on käyt-täytymisekologia. Hänet tunnetaan myös kima-laisjalkapallovalmentajana.

