

Julkaistavaksi hyväksytty käsikirjoitus.
Käsikirjoitusta ei ole oikoluettu eikä se ole käynyt tarkastettavana kirjoittajalla/kirjoittajilla. Lopullisessa muodossaan artikkeli julkaistaan painetussa Eläinlääkärilehdessä.

Vertaisarvioinnissa hyväksytty 16.3.2026
Saapunut Eläinlääkärilehden toimitukseen 30.4.2025

Outi Tulenheimo, Raimo Pohjanvirta, Stefan Björkman ja Thomas Spillmann

Ympäristön hormonaalisten haitta-aineiden eli hormonihäiriköiden yhteys kissan ja koiran energia-aineenvaihduntaan liittyviin häiriöihin

Organiska hormonstörande ämnenas samband till störningar som är relaterad till energimetabolismen hos katter och hundar

Association between environmental endocrine disrupting chemicals and disorders related to energy metabolism in cats and dogs

YHTEENVETO

Energia-aineenvaihduntaan liittyvät ylipaino ja sairaudet, kuten diabetes mellitus sekä kilpirauhasen vajaa- ja liikatoiminta (hypo- ja hypertyreoosi), ovat lisääntyneet viime vuosina sekä eläimillä että ihmisillä. Näillä sairauksilla voi olla useita taustasyitä, mutta yhtenä mahdollisena tekijänä pidetään ympäristökemikaaleja, jotka voivat häiritä hormonitoimintaa. Niihin luetaan suuri joukko yhdisteitä, joista osa säilyy luonnossa pitkään ja kertyy ravintoketjuun, kun taas osa hajoaa ympäristössä melko nopeasti, mutta esiintyy silti laajasti. Näiden hormonihäiriköiden vaikutuksista koiriin ja kissoihin on niukasti tutkimustietoa. Tämän pienimuotoisen katsausartikkelin tarkoituksena on esitellä tiivistetysti tieteellistä näyttöä hormonihäiriköiden vaikutuksista energia-aineenvaihduntaan ja kertoa tähän liittyvästä uudesta tutkimushankkeesta.

Hormonihäiriköille altistutaan pääasiassa ravinnon ja huonepölyn kautta, ja koska koirat ja kissat oleskelevat lähempänä lattiaa kuin ihmiset ja nuolevat turkkiaan, ne todennäköisesti altistuvat suuremmille pitoisuuksille kuin niiden omistajat. Tämän vuoksi koirilla ja kissoilla tehtävä epidemiologinen tutkimus, joka selvittäisi näille aineille altistumisen mahdollista yhteyttä edellä mainittuihin energia-aineenvaihduntaan liittyviin häiriöihin, palvelisi translationaalisesti myös ihmislääketiedettä. Näistä lähtökohdista on Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisessä tiedekunnassa käynnistetty uusi METCHEM-niminen projekti. Se on tapaus-kontrollityyppinen epidemiologinen tutkimus, jossa verrataan lukuisten tunnettujen tai epäiltyjen hormonihäiriköiden seerumi- ja virtsapitoisuuksia ylipainoisilla, diabeettisilla ja hypo- tai hypertyreoottisilla eläimillä ja niiden terveillä verrokeilla. Tutkimuksesta saatavien tulosten odotetaan paljastavan suomalaisten koirien ja kissojen altistumistasot keskeisille hormonihäiriköille, valottavan niiden mahdollista yhteyttä energiatasapainoon liittyviin sairauksiin sekä antavan uutta tietoa projektissa tutkittavien sairauksien etiologiasta, hyödyttäen täten myös ihmislääketiedettä.

SUMMARY

Energy metabolism-related disorders such as overweight, diabetes mellitus, hypothyroidism, and hyperthyroidism have become increasingly common during the last few decades in both animals and humans. All these disorders may have multiple etiological factors, one of which is potentially endocrine disrupting chemicals. The aim of

this overview is to briefly present scientific evidence of the impacts of endocrine disruptors on energy metabolism and introduce a new research project launched to scrutinize possible associations of endocrine disruptors with common disorders related to energy metabolism in dogs and cats.

Endocrine disruptors encompass a large group of chemical agents that persist in nature and accumulate in the food chain, but also substances that, while rapidly degradable, are ubiquitous. At present, there is a paucity of data on their effects in dogs and cats. The exposure to endocrine disruptors mainly occurs via food and household dust, and because dogs and cats breathe closer to the floor than humans and lick their coats, they are likely to be exposed to higher concentrations of these chemicals than humans. Therefore, epidemiological studies on dogs and cats would also benefit human medicine. Recognizing these facts, a new project called METCHEM has recently been launched at the Faculty of Veterinary Medicine, University of Helsinki. Its aim is to investigate whether exposure to the endocrine disruptors is associated with the following disorders related to energy metabolism: overweight and diabetes mellitus in dogs and cats, hypothyroidism in dogs, and hyperthyroidism in cats. It represents an epidemiological case-control study contrasting the concentrations of numerous known or suspected chemical disruptors of energy metabolism in blood and urine in diseased vs. healthy control animals. The results of the study are expected to reveal the current levels of exposure to these agents in Finnish dogs and cats, shed light on their possible connection to metabolism-related disorders in these pets, and provide new information about the etiology of these disorders also for human medicine.

YDINKOHDAT

- Yhtenä mahdollisena tekijänä ylipainon, diabetes mellituksen ja kilpirauhassairauksien taustalla pidetään ympäristön hormonihäiriköjä.
- Ihmisillä ja koe-eläimillä hormonihäiriköille altistumisen yhteydestä näihin häiriötiloihin on jo kohtalaisesti tutkimusnäyttöä, koirilla ja kissoilla paljon vähemmän.
- Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisessä tiedekunnassa on käynnistynyt tutkimus, jossa pyritään selvittämään hormonihäiriköiden yhteyttä ylipainoon ja diabetes mellitukseen koirilla ja kissoilla sekä koirien hypo- ja kissojen hypertyreoosiin.

JOHDANTO

Energia-aineenvaihduntaan liittyvät sairaudet, kuten ylipaino/lihavuus, diabetes mellitus sekä hypo- ja hypertyreoosi ovat lisääntyneet viime vuosikymmeninä sekä eläimillä että ihmisillä.^{1,2} Jokainen näistä sairaustiloista voi heikentää elämänlaatua, altistaa muille sairauksille ja aiheuttaa lisääntyneitä kustannuksia sekä yksilöille että yhteiskunnalle.^{3,4,5,6} Jotta näiden sairauksien lisääntyminen saataisiin taittumaan, olisi tärkeää saada lisävalaistusta niiden etiologiaan. Nämä sairaudet ovat todennäköisesti monisyisiä, mutta yhtenä mahdollisena etiologisena tekijänä pidetään hormonitoimintaa häiritsemään kykeneviä ympäristökemikaaleja. Näihin hormonihäiriköihin (endocrine disrupting chemicals) luetaan useita niin sanottuja POP-yhdisteitä (persistent organic pollutants),

jotka säilyvät ympäristössä ainakin vuosia tai vuosikymmeniä ja rasvaliukoisine pyrkivät kertymään ravintoketjussa. Muista kemikaaleista tärkeimpiin hormonihäiriköihin kuuluvat erityisesti muovinkäsittelyaineina käytettävät ftalaatit ja bisfenoli A sekä lisääntyvästi käytettävät organofosfaattiset palontorjunta-aineet. Hormonihäiriköiden yhteydestä energia-aineenvaihduntaan liittyviin sairauksiin eli ylipainoon, diabetekseen ja kilpirauhassairauksiin on saatu jo jonkin verran tutkimusnäyttöä ihmisillä ja laboratorioeläimillä, mutta lemmikkieläimillä aihetta ei ole vielä juurikaan tutkittu.² Hormonihäiriköille altistutaan pääasiassa ravinnon ja huonepölyn kautta.^{7,8,9,10} Koska koirat ja kissat oleskelevat lähempänä lattiaa kuin ihmiset ja nuolevat turkkiaan, on todennäköistä, että ne altistuvat suuremmille näiden aineiden pitoisuuksille kuin omistajansa.

Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisessä tiedekunnassa on keväällä 2025 käynnistetty uusi tutkimus, METCHEM, jonka tarkoituksena on selvittää hormonihäiriköiden yhteyttä koirien ja kissojen ylipainoon ja diabetes mellitukseen sekä kissojen hyper- ja koirien hypotyreosiiin (kuva 1). METCHEM-projektissa tutkittavat hormonihäirikökemikaalit, niiden lyhenteet ja käyttötarkoitukset on lueteltu taulukossa 1. Tutkimuksessa mukana olevista kemikaaleista edelleen käytössä olevia ovat ftalaatit, bisfenoli A sekä organofosfaattisten palontorjunta-aineiden aineenvaihduntatuotteet (taulukko 1). Näiden pitoisuus määritetään virtsanäytteestä. Muiden taulukossa 1 lueteltujen hormonihäiriköiden käyttö on EU:n alueella nykyisin kielletty, ja tässä tutkimuksessa niiden pitoisuus määritetään verinäytteestä.

YMPÄRISTÖN HORMONIHÄIRIKÖT JA YLIPAINO

Ylipaino ja liikalihavuus ovat nykyisin merkittäviä ongelmia. Ihmisillä niin ylipainon kuin lihavuudenkin esiintyvyys on ollut viime vuosikymmeninä noususuunnassa miltei kaikkialla maailmassa. WHO:n (World Health Organization) mukaan vuonna 2022 maailmanlaajuisesti 43 % yli 18-vuotiaista ihmisistä oli ylipainoisia (painoindeksi 25–30 kg/m²) ja 16 % liikalihavia (painoindeksi >30 kg/m²).¹¹ Ylipainoisten lemmikkien määrissä on todennäköisesti vaihtelua eri maiden välillä, mutta tuoreen tutkimuksen mukaan esimerkiksi Yhdysvalloissa 52,9 % aikuisista koirista ja 61,1 % aikuisista kissoista on ylipainoisia.¹² Lisäksi keskipainon on havaittu nousseen sekä laboratorio- ja kotieläimillä että villirotilla viimeisten vuosikymmenten aikana.^{13, 14}

Tutkimuksissa on todettu ihmisillä positiivinen riippuvuus virtsan BPA-pitoisuuden ja vyötärönympärysmittan välillä.^{15,16,17} Sikiöaikainen altistuminen HCB-, DDE- ja PCB-yhdisteille on yhteydessä suurempaan painoindeksiin 4-vuotiailla ja suurempaan painoindeksiin kasvuun neljän ja kahdentoista ikävuoden välillä.¹⁸ HCH-yhdisteiden ja *trans*-nonakloorin yhteydestä metaboliseen oireyhtymään on toistettua epidemiologista näyttöä. Esimerkiksi hiljattain julkaistun systemaattisen kirjallisuuskatsauksen ja meta-analyysin mukaan HCH-yhdisteet lisäsivät metabolisen oireyhtymän riskiä 53 % ja *trans*-nonakloori 35 %.¹⁹ Sen sijaan veren PCB-pitoisuuden ja vyötärönympärysmittan välillä on havaittu negatiivinen riippuvuus.²⁰ Toisin sanoen PCB-pitoisuudet veressä ovat alhaisempia niillä, joilla on suurempi vyötärönympäryys. Syyksi on esitetty, että PCB-yhdisteiden vaikutus hormonitoimintaan saattaa toimia eri tavalla kuin useiden muiden

yhdisteiden, ja että PCB-yhdisteiden rasvakudokseen varastoituminen pienentää niiden pitoisuutta veressä.²⁰

Hormonihäiriköiden yksityiskohtaiset vaikutusmekanismit energia-aineenvaihdunnan ja ruumiinpainon säätelyjärjestelmiin tunnetaan vielä puutteellisesti. Ne näyttävät vaikuttavan tehokkaimmin pre- tai perinataalisesti, jolloin ne voivat mahdollisesti modifioida multipotenttien strooman kantasolujen epigenomia niin, että niiden kehityssuunta vinoutuu rasvasolujen suuntaan luun kustannuksella.²¹ Ne kykenevät myös häiritsemään energia-aineenvaihduntaan kytkeytyvien tumareseptorien signaalin välitystä.²²

YMPÄRISTÖN HORMONIHÄIRIKÖT JA DIABETES MELLITUS

Diabetes mellituksen ja hormonihäiriköiden välisestä yhteydestä ihmisillä on tehty jonkin verran tutkimuksia, mutta huomattavasti vähemmän kuin ylipainosta, ja lemmikkieläimistä tietoa on hyvin niukasti. Airaksinen ym.²³ havaitsivat, että ihmisillä, joilla oli veressä suurimmat pitoisuudet muun muassa oksiklordaania, *trans*-nonaklooria, DDE:tä ja PCB-153:a, oli noin kaksinkertainen tyypin 2 diabeteksen esiintyvyys verrattuna niihin, joilla oli pienimmät pitoisuudet näitä aineita. Myös Ren ym.²⁴ totesivat, että tiettyjen PCB-yhdisteiden ja tyypin 2 diabeteksen riskin välillä oli lineaarinen yhteys, kun tutkimusaineistona oli yli 300 000 eurooppalaisen näyte kymmenestä eri maasta. Son ym.²⁵ puolestaan havaitsivat pienessä eteläkorealaisessa aineistossa, että organoklooriyhdisteiden (muun muassa DDE, DDT, oksiklordaani ja *trans*-nonakloori) seerumipitoisuudet olivat voimakkaasti yhteydessä tyypin 2 diabeteksen esiintyvyyteen ihmisillä.

Hormonihäiriköiden vaikutuksia glukoositasapainoon on myös tutkittu kokeellisesti. Hiiri- ja rottakokeita käsitelleessä katsausartikkelissa mainittiin johtopäätöksenä, että muun muassa PCB-yhdisteet saattavat muuttaa elimistön glukoosinhallintaa, mikä näkyy heikentyneenä glukoositoleranssina paaston jälkeen.²⁶ Tutkimuksessa, jossa selvitettiin nuorilla ihmisillä tyypin 1 diabeteksen yhteyttä PCB- ja DDE-yhdisteisiin, havaittiin niiden heikentävän haiman β -solujen insuliinin tuotantoa ja eritystä.²⁷ Ruzzin ym.²⁸ puolestaan totesivat rotilla tehdyssä tutkimuksessaan, että hormonihäiriköt voivat aiheuttaa insuliiniresistenssiä ja haitata rasva- ja glukoosiaineenvaihduntaa. Vaikka diabetes mellituksen ja hormonihäiriköiden välinen yhteys ei toistaiseksi ole aukoton, tutkimuksissa havaitut solutason vaikutukset tukevat osaltaan ajatusta niiden kytkeytymisestä toisiinsa.

Myös ftalaatit voivat myötävaikuttaa kakkostyypin diabeteksen ja edelleen metabolisen oireyhtymän kehittymiseen. Hiljattain julkaistussa katsausartikkelissa todettiin laajalti esiintyvän ftalaattijohdoksen, DEHP:n, voivan rikkoa insuliinihomeostaasin ja aiheuttaa hyperglykemiaa eri koe-eläimillä.²⁹ Epidemiologisesti on DEHP:n aineenvaihduntatuotteiden puolestaan osoitettu ihmisillä korreloivan hyperglykemiaan, lihavuuteen ja kohonneeseen verenpaineeseen.²⁹

YMPÄRISTÖN HORMONIHÄIRIKÖT JA KILPIRAUHASSAIRAUDET

Korealaista aikuisväestöä käsittelevässä tutkimuksessa hormonihäiriköiden ja kilpirauhashormonipitoisuuksien välisestä yhteydestä löytyi näyttöä, mutta iällä,

sukupuolella ja sukupuolihormonitasoilla oli merkitystä siihen, miten hormonihäiriköt vaikuttivat seerumin kilpirauhashormonipitoisuuksiin.³⁰ Lisäksi on esitetty, että sikiöaikainen altistuminen ainakin PCB-, DDT- ja HCB-yhdisteille saattaisi ihmisellä vaikuttaa kilpirauhasen toimintaan sekä siihen suoraan tai epäsuorasti liittyvien haitallisten terveysvaikutusten kehittymiseen.³¹ Laboratoriojyrsijöillä on osoitettu, että sekä PCB- että PBDE-johdokset laskevat plasman vapaan ja kokonais-T4:n pitoisuuksia, kun taas TSH:n muutokset jäävät vähäisemmiksi.³²

Kilpirauhasen toimintaan liittyvien häiriöiden yhteyttä hormonihäiriköihin on tutkittu myös koirilla ja kissoilla. Vaikka osassa hypo- ja hypertyreoosin sekä hormonihäiriköiden välistä yhteyttä käsittelevistä tutkimuksista on havaittu positiivinen yhteys, kaikissa tutkimuksissa sitä ei ole todettu. Jones ym.³³ totesivat katsausartikkelissaan, että kissojen hypertyreoosin lisääntynyt esiintyvyys voisi liittyä siihen, että lemmikkikissat viettävät ison osan päivästä sisätiloissa altistuen hormonihäiriköitä sisältävälle huonepölylle, mutta tutkimustietoa tarvittaisiin lisää. Toisaalta esimerkiksi Chow ym.³⁴ eivät omassa tutkimuksessaan havainneet selvää yhteyttä kissojen hypertyreoosin ja PBDE-yhdisteiden välillä. Kun selvitettiin kilpirauhashormonipitoisuuksia PCB-yhdisteille altistuneilla koirilla ja kissoilla, oli löydöksenä merkitsevästi matalammat T4- ja -T3-hormonipitoisuudet koirilla, joiden veressä oli suuremmat pitoisuudet PCB-yhdisteitä.³⁵ Kissoilla sen sijaan ei havaittu merkitsevää yhteyttä PCB-pitoisuuden ja kilpirauhashormonin välillä.³⁵ Kirjoittajat pohtivat, että tämä saattaisi johtua siitä, että kissoilla sytokromi-P450-entsyymit tuottavat koiria vähemmän T4:n kaltaisia hydroksi-PCB-johdoksia, jotka syrjäyttävät T4:ää transtyretiinistä.³⁵ Lisäksi kissoilla T4:n konjugaatio ja erittyminen elimistöstä ovat hitaampia kuin koirilla.³⁵

Lau ym.³⁶ tutkivat PBDE- ja PCB-yhdisteiden pitoisuutta verinäytteissä 36 terveellä ja 15 hypotyreoosia sairastavalla koiralla, ja vaikka hypotyreoosia sairastavilla oli veressä suurempia pitoisuuksia näitä yhdisteitä, tilastollisesti merkitseviä eroja ei löydetty.

HORMONIHÄIRIKÖIDEN VAIKUTUSMEKANISMIT

On esitetty useita eri tapoja, joilla hormonihäiriköt voisivat vaikuttaa aineenvaihduntasairauksien kehittymiseen. Niillä voi olla epigeneettistä vaikutusta, ja ne voivat rasvakudokseen kertyessään aiheuttaa rasvakudoksen tulehdusta, mikä voi edesauttaa ylipainon ja insuliiniresistenssin kehittymistä.³⁷ BPA kykenee antagonisoimaan kilpirauhashormonireseptoreita, kun taas PCB- ja PBDE-yhdisteiden sulfaattimetaboliitit toimivat näiden heikkoina agonisteina.^{38,39} Toisaalta ainakin PCB:t heikentävät kilpirauhashormonireseptoreiden DNA:han sitoutumista.⁴⁰ Elimistössä PCB- ja PBDE-yhdisteistä muodostuvat hydroksyloidut johdokset voivat sitoutua kilpirauhashormoneita kuljettavaan transtyretiiniin T4:ää tehokkaammin ja siten syrjäyttää T4:n kuljetusproteiinistaan.⁴¹ Hormonihäiriköt voivat myös vaikuttaa muiden tumareseptorien, muun muassa glukokortikoidi- ja estrogeenireseptorien, välityksellä adipogeneesiin, aiheuttaa muutoksia endokriinikudoksiin ja hypotalamukseen ja näiden kautta johtaa energiaepätasapainoon.³⁷ Hormonihäiriköt voivat edelleen vaikuttaa suoraan keskushermoston ruokahalun säätelyyn osallistuvaan dopaminergiseen järjestelmään ja muuttaa suolistomikrobistoa.⁴²

Tässä on lueteltu vain osa hormonihäiriköiden mahdollisista vaikutusmekanismeista, joita on löydetty. Mekanismeja saattaa paljastua lisää, kun tutkimustietoa tulee enemmän. Näillä aineilla näyttäisi kuitenkin olevan hyvin laaja-alainen ja monipuolinen vaikutus elimistöön.

POHDINTA

Hormonihäiriköiden mahdollisista energia-aineenvaihduntaa muokkaavista vaikutuksista ihmisillä on kertynyt melko runsaasti epidemiologista todistusaineistoa. Assosiaatio altistumisen ja havaitun vaikutuksen välillä ei kuitenkaan välttämättä osoita syy-seuraussuhdetta. Tulosten tulkinnassa on muitakin haasteita. Ihmiset altistuvat useimmiten samanaikaisesti lukuisille ympäristökemikaaleille, mikä vaikeuttaa yksittäisen aineen vaikutuksen todentamista. Toksikologisesti hormonihäiriköt poikkeavat valtaosasta muita haitta-aineita siinä, että niiden annosvasteisuus voi olla non-monotonista eli epälineaarista: maksimivaste voi ilmetä jo varsin alhaisella altistustasolla.^{43,44} Herkkyys hormonihäiriköiden haittoille voi vaihdella iän ja sukupuolen mukaan; tyypillisesti herkin vaihe ajoittuu sikiökaudelle tai pian syntymän jälkeen.⁴⁵ Joidenkin hormonihäiriköiden osalta eri tutkimuksista on myös saatu keskenään ristiriitaisia tuloksia terveysvaikutuksista. Epidemiologisia havaintoja onkin pyritty täydentämään kokeellisilla in vitro -tutkimuksilla sekä koe-eläintestein in vivo. Näiden avulla on usein saatu vahvistusta syy-seuraussuhteelle ja käsitys todennäköisestä vaikutusmekanismista. Epävarmuutta yhdellä aineella kerrallaan tehtyjen koe-eläintutkimusten tulosten ekstrapolointiin ihmiseen tuovat kuitenkin yhtäältä lajierot ja toisaalta mahdollisten seoskomponenttien yhteisvaikutusten puuttuminen.

Vaikka hormonihäiriköiden terveysvaikutuksista ihmisillä on jo kertynyt kohtalaisesti tutkimustietoa, niiden perusteella ei voida suoraan päätellä vaikutusten olevan samanlaisia kissoilla ja koirilla. Koska kissat ja koirat hengittävät lähempänä lattiaa ja nuolevat usein turkkiaan, ne todennäköisesti altistuvat suuremmille huonepölyn - ja siten myös useiden hormonihäiriköiden - pitoisuuksille kuin omistajansa. Kissojen ja koirien välillä on esitetty olevan eroja muun muassa PBDE- ja PCB-yhdisteiden metaboliareiteissa ja -nopeudessa.^{46,47} On myös ajateltu, että kissa saattaisi ainakin joidenkin yhdisteiden kohdalla toimia koiraa paremmin mallina, kun arvioidaan yhdisteiden vaikutusta ihmisiin.⁴⁷ Koska koiran ja kissan ruoat eroavat toisistaan, niiden altistumisen määrä yksittäisille yhdisteille voi myös vaihdella.⁴⁶ Lisäksi monet kissat elävät pelkästään sisätiloissa, ja myös monet koirat viettävät runsaasti aikaa sisällä, jolloin niiden altistuminen huonepölyn sisältämille hormonihäiriköille voi olla pitkäkestoisempaa. Yksilötasolla näiden aineiden vaikutukset riippuvat siis useista tekijöistä. Siitä huolimatta tähän asti kertyneen tutkimustiedon valossa näyttää todennäköiseltä, että hormonihäiriköt voivat todella myötävaikuttaa erilaisten aineenvaihdunnallisten sairauksien kehittymiseen, ja kissoilla ja koirilla tehtävä tutkimus voi tuoda tähän merkittävää lisävalaistusta.

Kun saadaan yhä enemmän näyttöä hormonihäiriköiden vaikutuksista tiettyjen sairauksien synnyssä ja taustamekanismit tunnetaan paremmin, näitä sairauksia voidaan vastustaa aikaisempaa tehokkaammin. Vaikka monien yhdisteiden käyttö on EU:ssa kielletty, niitä saatetaan käyttää edelleen muualla maailmassa. Osa yhdisteistä on lisäksi hyvin pysyviä ympäristössä, minkä vuoksi altistumista ei voida täysin välttää. On kuitenkin asioita, joihin

voidaan vaikuttaa, kuten ravitsemussuosituksiin, teollisuuden käyttämien pakkausmateriaalien ja raaka-aineiden valintaan sekä siihen, miten lemmikkejä ruokitaan ja mitä ihmiset itse syövät. Sairauksien etiologian syvällisempi ymmärrys auttaa myös suuntaamaan niiden ennaltaehkäisyyn tähtäävät toimenpiteet entistä rationaalisemmin.

METCHEM-PROJEKTI

Edellä kuvatuista lähtökohdista on Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisessä tiedekunnassa keväällä 2025 käynnistetty uusi METCHEM-niminen projekti (kuva 1). Se on tapaus-kontrollityyppinen epidemiologinen tutkimus, jossa verrataan lukuisten tunnettujen tai epäiltyjen hormonihäiriköiden seerumi- ja virtsapitoisuuksia ylipainoisilla, diabeettisilla ja hypo- tai hypertyreoottisilla koirilla ja kissoilla sekä niiden terveillä verrokeilla. Tilastollisen voima-analyysin perusteella näytteet pyritään keräämään 30 potilaalta per sairaus sekä yhtä monelta terveeltä kontrollilta kummastakin lajista. Näytteet ovat tervetulleita kaikkialta Suomesta. Tarvittavat näytemäärät ovat 0,3 ml seerumia ja 2 ml virtsaa, joka voi olla vapaasti laskettua. Lisäksi omistajia pyydetään täyttämään kyselylomake. Tutkimukseen ei kuulu kontrollikäyntejä. Tästä tutkimuksesta saatavien tulosten odotetaan paljastavan suomalaisten koirien ja kissojen altistumistasot hormonihäiriköille, valottavan niiden mahdollista yhteyttä energiatasapainoon liittyviin sairauksiin ja antavan uutta tietoa projektissa tutkittavien sairauksien etiologiasta, hyödyttäen täten myös ihmislääketiedettä.

Lisäinformaatiota asiasta: väitöskirjatutkija Outi Tulenheimo (outi.tulenheimo@helsinki.fi).

LÄHDEKIRJALLISUUS

1. Wallis N, Raffan E. The genetic basis of obesity and related metabolic diseases in humans and companion animals. *Genes* 2020;1:1378.
2. Pocar P, Grieco V, Aidos L, Borromeo V. Endocrine-disrupting chemicals and their effects in pet dogs and cats: An overview. *Animals* 2023;13:378.
3. Biondi B, Robertson RP, Kahaly GJ. Thyroid dysfunction and diabetes mellitus: Two closely associated disorders. *Endocr Rev* 2019;40:789–824.
4. Le Moli R, Piticchio T, Vella V, Tumino D, Frasca F, Naselli A, Belfiore A. Inflammasome activation as a link between obesity and thyroid disorders: Implications for an integrated clinical management. *Front Endocrinol* 2022;13(10026).
5. Seidell JC. Societal and personal costs of obesity. *Diabetes* 2009; Suppl 106 2(S02):7–10.
6. Bahia LR, Da Rosa MQM, Araujo DV, Correia MG, Dos Rosa RDS, Duncan BB ym. Economic burden of diabetes in Brazil in 2014. *Diabetol Metab Syndr* 2019;11:54.
7. Rantakokko P, Kumar E, Braber J, Huang T, Kiviranta H, Cequier E ym. Concentrations of brominated and phosphorous flame retardants in Finnish house dust and insights into children's exposure. *Chemosphere* 2019;223:99–107.

8. Guo W, Pan B, Sakkiah S, Yavas G, Ge W, Zou W ym. Persistent organic pollutants in food: contamination sources, health effects and detection methods. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:4361.
9. Weiss JM, Jones B, Koekkoek J, Bignert A, Lamoree MH. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in Swedish household dust and exposure of pet cats. *Environ Sci Pollut R* 2021;28:39001–13.
10. Yao C, Yang H, Li Y. A review on organophosphate flame retardants in the environment: Occurrence, accumulation, metabolism and toxicity. *Sci Total Environ* 2021;795:148837.
11. World Health Organization [kotisivu internetissä]. Geneva, Sveitsi, [päivitetty maaliskuu 2024]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
12. Montoya M, Péron F, Hookey T, Morrison J, German A, Gaillard V ym. Overweight and obese body condition in ~4.9 million dogs and ~1.3 million cats seen at primary practices across the USA: prevalences by life stage from early growth to senior. *Prev Vet Med* 2025;235:106398.
13. Afshin A, Forouzanfar MH, Reitsma MB, Sur P, Estep K, Lee A ym. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *N Engl J Med* 2017;377:1.
14. Klimentidis YC, Beasley TM, Lin HY, Murati G, Glass GE, Guyton M ym. Canaries in the coal mine: a cross-species analysis of the plurality of obesity epidemics. *Proc R Soc B* 2011;278:1626–32.
15. Ko A, Hwang MS, Park JH, Kang HS, Lee HS, Hong JH. Association between urinary bisphenol A and waist circumference in Korean adults. *Toxicol Res* 2014;30:39–44.
16. Shankar A, Teppala S, Sabanayagam C. Urinary bisphenol A levels and measures of obesity: results from the national health and nutrition examination survey 2003–2008. *ISRN Endocrinol* 2012;2012:965243.
17. Do MT, Chang VC, Mendez MA, de Groh M. Urinary bisphenol A and obesity in adults: results from the Canadian Health Measures Survey. *Health Promot Chron* 2017;37:12.
18. Colicino E, Margetaki K, Valvi D, Pedretti NF, Stratakis N, Vafeiadi M ym. Prenatal exposure to multiple organochlorine compounds and childhood body mass index. *Environ Epidemiol* 2022;6:e201.
19. Lamat H, Sauviant-Rochat MP, Tauveron I, Bagheri R, Ugbolue UC, Maqdasi S ym. Metabolic syndrome and pesticides: a systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut* 2022;305:119288.

20. Dirinck E, Jorens PG, Covaci A, Geens T, Roosens L, Neels H ym. Obesity and persistent organic pollutants: possible obesogenic effect of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls. *Obesity* 2011;19:709–14.
21. Janesick A, Blumberg B. Endocrine disrupting chemicals and the developmental programming of adipogenesis and obesity. *Birth Def Res C* 2011;93:34–50.
22. Grün F, Blumberg B. Perturbed nuclear receptor signaling by environmental obesogens as emerging factors in the obesity crisis. *Rev Endocr Metab Dis* 2007;8:161–171.
23. Airaksinen R, Rantakokko P, Eriksson JG, Blomstedt P, Kajantie E, Kiviranta H. Association between type 2 diabetes and exposure to persistent organic pollutants. *Diabetes Care* 2011;34:1972–79.
24. Ren X, Nicolas G, Frenoy P, Papier K, Moreno-Iribas C, Masala G ym. Non-dioxin-like polychlorinated biphenyls (NDL-PCBs) dietary exposure is associated with an increased risk of type 2 diabetes in the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC) cohort. *Diabetes Metab* 2024;50:101587.
25. Son HK, Kim SA, Kang JH, Chang YS, Park SK, Lee SK ym. Strong associations between low-dose organochlorine pesticides and type 2 diabetes in Korea. *Environ Int* 2010;36:410–14.
26. Bennett KA, Sutherland C, Savage AL. A systematic review and meta-analysis of environmental contaminant exposure impacts on weight loss and glucose regulation during calorie-restricted diets in preclinical studies: persistent organic pollutants may impede glycemic control. *Biochem Pharmacol* 2024;225:116300.
27. Bresson SE, Isom S, Jensen ET, Huber S, Oulhote Y, Rigdon J ym. Associations between persistent organic pollutants and type 1 diabetes in youth. *Environ Int* 2022;163:107175.
28. Ruzzin J, Petersen R, Meugnier E, Madsen L, Lock EJ, Lillefosse H ym. Persistent organic pollutant exposure leads to insulin resistance syndrome. *Environ Health Pers* 2010;118:465–71.
29. Ashaari S, Jamialahmadi T, Davies NM, Almahmeed W, Sahebkar A. Di (2-ethyl hexyl) phthalate and its metabolite-induced metabolic syndrome: a review of molecular mechanisms. *Drug Chem Toxicol* 2025;48:325–43.
30. Kim MJ, Choi S, Kim S, Lee I, Moon MK, Choi K ym. Sex, menopause, and age differences in the associations of persistent organic pollutants with thyroid hormones, thyroxine-binding globulin, and peripheral deiodinase activity: A cross-sectional study of the general Korean adult population. *Environ Res* 2022;212:113143.

31. Langer P. The impacts of organochlorines and other persistent pollutants on thyroid and metabolic health. *Front Neuroendocrinol* 2010;31:497–518.
32. Hallgren S, Sinjari T, Håkansson H, Darnerud PO. Effects of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) on thyroid hormone and vitamin A levels in rats and mice. *Arch Toxicol* 2001;75:200-8.
33. Jones B, Norrgran Engdahl J, Weiss J. Are persistent organic pollutants important in the etiology of feline hyperthyroidism? A review. *Acta Vet Scand* 2019;61:45.
34. Chow K, Hearn LK, Zuber M, Beatty JA, Mueller JF, Barrs VR. Evaluation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in matched cat sera and house dust samples: Investigation of a potential link between PBDEs and spontaneous feline hyperthyroidism. *Environ Res* 2015;136:173–9.
35. Takaguchi K, Nishikawa H, Mizukawa H, Tanoue R, Yokoyama N, Ichii O ym. Effects of PCB exposure on serum thyroid hormone levels in dogs and cats. *Sci Total Environ* 2019;688:1172–83.
36. Lau G, Walter K, Kass P, Puschner P. Comparison of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in the serum of hypothyroxinemic and euthyroid dogs. *PeerJ* 2017;5:e3780; DOI 10.7717/peerj.3780.
37. Aaseth J, Javorac D, Djordevic AB, Bulat Z, Skalny AV, Zaitseva IP ym. The role of persistent organic pollutants in obesity: a review of laboratory and epidemiological studies. *Toxics* 2022;10:65.
38. Moriyama K, Tagami T, Akamizu T, Usui T, Saijo M, Kanamoto N ym. Thyroid hormone action is disrupted by bisphenol A as an antagonist. *J Clin Endocrinol Metab* 2002;87:5185–90.
39. Qin WP, Li CH, Zhang JQ, Ren XM, Guo LH. Binding and activity of polybrominated diphenyl ether sulfates to thyroid hormone transport proteins and nuclear receptors. *Environ Sci Proc Imp* 2019;21:950–6.
40. Miyazaki W, Iwasaki T, Takeshita A, Kuroda Y, Koibuchi N. Polychlorinated biphenyls suppress thyroid hormone receptor-mediated transcription through a novel mechanism. *J Biol Chem* 2004;279:18195–202.
41. Montaña M, Murk AJ, Cocco E, Marsh G, Bergman Å, Guignard C ym. New Approaches to Assess the Transthyretin Binding Capacity of Bioactivated Thyroid Hormone Disruptors. *Toxicol Sci* 2012;130:94–105.
42. Heindel JJ, Howard S, Agay-Shay K, Arrebola JP, Audouze K, Babin PJ ym. Obesity II: Establishing causal links between chemical exposures and obesity. *Biochem Pharmacol* 2022;199:115015.

Julkaistavaksi hyväksytty käsikirjoitus.
Käsikirjoitusta ei ole oikoluettu eikä se ole käynyt tarkastettavana kirjoittajalla/kirjoittajilla. Lopullisessa muodossaan artikkeli julkaistaan painetussa Eläinlääkärilehdessä.

Vertaisarvioinnissa hyväksytty 16.3.2026
Saapunut Eläinlääkärilehden toimitukseen 30.4.2025

43. Lagarde F, Beausoleil C, Belcher SM, Belzunces LP, Emond C, Guerbet M, Rousselle C. Non-monotonic dose-response relationships and endocrine disruptors: a qualitative method of assessment. *Environ Health* 2015;14:13.
44. Hill CE, Myers JP, Vandenberg LN. Nonmonotonic dose-response curves occur in dose ranges that are relevant to regulatory decision-making. *Dose Response* 2018; 16(3):1559325818798282.
45. Tilson HA. Developmental neurotoxicology of endocrine disruptors and pesticides: identification of information gaps and research needs. *Environ Health Perspect* 1998;106 Suppl 3(Suppl 3):807–11.
46. Mizukawa H, Nomiyama K, Nakatsu S, Iwata H, Yoo J, Kubota A ym. Organohalogen compounds in pet dog and cat: Do pets biotransform natural brominated products in food to harmful hydroxylated substances? *Environ Sci Technol* 2016;50:444–52.
47. Ruiz-Suárez N, Camacho M, Boada LD, Henríquez-Hernández LA, Rial C, Valerón PF ym. The assessment of daily dietary intake reveals the existence of a different pattern of bioaccumulation of chlorinated pollutants between domestic dogs and cats. *Sci Total Environ* 2015;530–531:45–52.

KIRJOITTAJIEN OSOITTEET

Outi Tulenheimo, ELL
Espoon Eläinsairaala, Kurjenkellontie 14, 02270 Espoo
outi.tulenheimo@helsinki.fi
Artikkeli on osa kirjoittajan erikoistumistutkintoa.

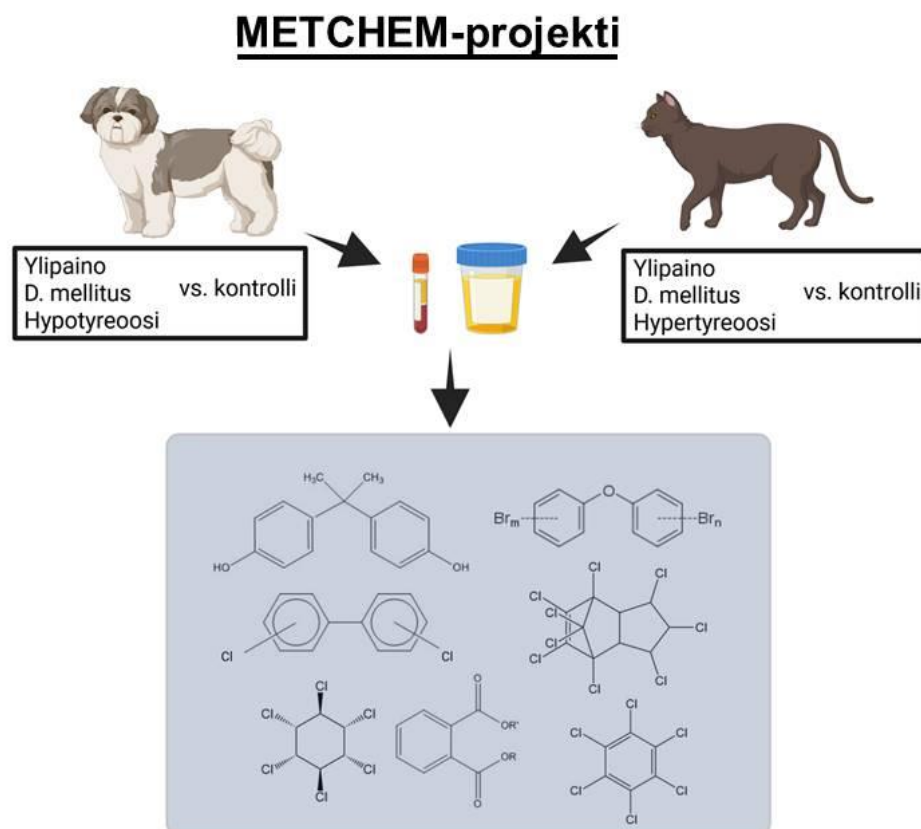
Thomas Spillmann, Professori, Dipl.med.vet, Dr.med.vet, Diplomate ECVIM-CA
Kliinisen hevos- ja pieneläinlääketieteen osasto, eläinlääketieteellinen tiedekunta,
Helsingin Yliopisto

Stefan Björkman, Dosentti, ELT, Diplomate ECAR, kliinisen tuotantoeläinlääketieteen
osasto, eläinlääketieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Raimo Pohjanvirta, professori emeritus, eläinlääketieteellinen tiedekunta, Helsingin
yliopisto

Julkaistavaksi hyväksytty käsikirjoitus.
Käsikirjoitusta ei ole oikoluettu eikä se ole käynyt tarkastettavana kirjoittajalla/kirjoittajilla. Lopullisessa muodossaan artikkeli julkaistaan painetussa Eläinlääkärilehdessä.

Vertaisarvioinnissa hyväksytty 16.3.2026
Saapunut Eläinlääkärilehden toimitukseen 30.4.2025



KUVA 1 FIGURE
METCHEM-projektin perusidea (kuva laadittu BioRender-ohjelmalla).

Scheme of the METCHEM project. Created in BioRender.

Julkaistavaksi hyväksytty käsikirjoitus.
Käsikirjoitusta ei ole oikoluettu eikä se ole käynyt tarkastettavana kirjoittajalla/kirjoittajilla. Lopullisessa muodossaan artikkeli julkaistaan painetussa Eläinlääkärilehdessä.

Vertaisarvioinnissa hyväksytty 16.3.2026
Saapunut Eläinlääkärilehden toimitukseen 30.4.2025

TAULUKKO 1 TABLE

METCHEM-projektissa tutkittavat yhdisteet ja niiden lyhenteet.

Endocrine disrupting chemicals with abbreviations included in the METCHEM project.

Lyhenne <i>Abbreviation</i>	Yhdiste <i>Chemical</i>	Käyttö <i>Use</i>
HCB <i>HCB</i>	Heksaklooribentseeni <i>Hexachlorobenzene</i>	Kasvitautilien torjunta-aine <i>Fungicide</i>
HCH (johdokset α, β, γ) <i>HCH (derivatives α, β, γ)</i>	Heksakloorisykloheksaani <i>Hexachlorocyclohexane</i>	Liuotin <i>Solvent</i>
Oksiklordaani <i>Oxychlordan</i>	Klordanin päämetaboliitti <i>Main metabolite of chlordan</i>	Hyönteismyrkky <i>Insecticide</i>
<i>trans</i> -Nonakloori <i>trans-Nonachlor</i>	Klordanin epäpuhtaus <i>Impurity of chlordan</i>	Hyönteismyrkky <i>Insecticide</i>
DDT <i>DDT</i>	Dikloorifenyylitrikloorietaani <i>Dichlorodiphenyltrichloroethane</i>	Hyönteismyrkky <i>Insecticide</i>
DDE <i>DDE</i>	Dikloorifenyylidikloorietyleni, DDT:n päämetaboliitti <i>Dichlorophenyldichloroethylene</i>	Hyönteismyrkky <i>Insecticide</i>
PBDE (johdokset 47, 99, 153) <i>PBDE (derivatives 47,99,153)</i>	Polybromatut difenyylietterit <i>Polybrominated diphenyl ethers</i>	Palonestoaineet <i>Flame retardant</i>
PCB (johdokset 28, 52, 74, 99, 101, 118, 138, 153, 156, 170, 180, 183, 187) <i>PCB (derivatives 28, 52, 74, 99, 101, 118, 138, 153, 156, 170, 180, 183, 187)</i>	Polyklooratut bifeenyylit <i>Polychlorinated biphenyls</i>	Eristeet, voiteluaineet, liimat ja maalit <i>Insulating fluids, hydraulic fluids, adhesives, and paints</i>
BPA <i>BPA</i>	Bisfenoli A <i>Bisphenol A</i>	Polykarbonaattimuovien ja epoksihartsin valmistus <i>Manufacturing of polycarbonate plastics and epoxy resin</i>
	Ftalaatit <i>Phthalates</i>	Muovien pehmittimet ja lisäaineet <i>Plasticizers and additives</i>
	Organofosfaattisten palontorjunta-aineiden aineenvaihduntatuotteet <i>Metabolites of organophosphate fire retardants</i>	Palontorjunta-aineet <i>Flame retardants</i>