



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

# Mikromuovien vaikutus suolistomikrobistoon

Sara Mellin

Ravitsemustiede

Itä-Suomen yliopisto

Terveystieteiden tiedekunta

Kansanterveystieteen ja kliinisen  
ravitsemustieteen yksikkö

24.4.2023

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta

Lääketieteen laitos

Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö

Ravitsemustiede

Mellin, Sara L.: Mikromuovien vaikutus suolistomikrobistoon

Kandidaatintutkielma, 38 sivua, 1 liite (1 sivu)

Tutkielman ohjaaja: Tutkijatohtori Kaisa Raninen

Huhtikuu 2023

**Asiasanat:** Mikromuovi, suolistomikrobisto, elintarvikkeet

Mikromuovit ovat yleinen saaste luonnossa, minkä vuoksi ihmiset altistuvat niille jatkuvasti eri lähteiden kautta. Elintarvikkeiden on todettu olevan yksi mikromuovien lähde ihmisille. Mikromuovien terveysvaikutusten tutkimus on kuitenkin vasta aluillaan. Ruoansulatuskanava ja suolistomikrobisto altistuvat mikromuoveille elintarvikkeiden kautta päivittäin, joten on tärkeää tutkia, millaisia vaikutuksia mikromuoveilla on suoliston mikrobistolle ja sitä kautta myös terveydelle.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli koostaa tämänhetkinen tutkimustieto mikromuovien vaikutuksista suolistomikrobistoon, ja esitellä käytetyt tutkimusmenetelmät ja -asetelmat, sekä mikromuovit, joita tutkimuksissa on käytetty. Katsaukseen valikoitui yhteensä 19 tutkimusta, jotka oli tehty joko hiirillä tai suolistomalleilla.

Tutkimuksissa on saatu näyttöä siitä, että mikromuovialtistus vaikuttaa suolistomikrobiston koostumukseen. Suolistomikrobistoon kohdistuvat muutokset olivat kuitenkin taksonomisella tasolla tarkasteltaessa hyvin vaihtelevia. Mikromuovien todettiin aiheuttavan dysbioosia eli mikrobiston epätasapainotilaa, mikä on yhdistetty muun muassa suolistoesteen toimintahäiriöihin sekä immuuniprosessien häiriintymiseen. Mikromuovien polymeerikoostumuksella, partikkelikoolla ja altisteen annoskoolla on merkitystä. Tutkimukset on tähän asti tehty pääasiassa kaupallisilla, puhtailla ja muodoltaan pyöreillä mikromuoveilla käyttäen varsin suuria altistusmääriä. Jatkossa tulisi tutkia laajemmin erikokoisten ja -muotoisten mikromuovien vaikutuksia sekä myös muovien sisältämien lisäaineiden ja epäpuhtauksien vaikutuksia. Tutkimuksissa olisi syytä ottaa huomioon myös ihmisten erilaiset ikä- ja erikoisryhmät sekä tutkia sellaisilla mikromuovimäärillä, joille ihmiset todellisuudessa altistuvat.

## Lyhenteet

ASV	Amplicon-sekvenssivariantti (amplicon sequence variant)
OTU	Operatiivinen taksonominen yksikkö (operational Taxonomic Unit)
PCoA	Pääkoordinaattianalyysi (principal coordinates analysis)
PE	Polyeteeni
PET	Polyetyleenitereftalaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PVC	Polyvinylikloridi

## Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	8
3	Toteutus.....	9
4	Tulokset.....	13
4.1	Tutkimuksissa käytetyt mikromuovit .....	13
4.2	Tutkiminen hiirillä .....	14
4.3	Tutkiminen suolistomalleilla .....	15
4.4	Suolistomikrobiston tutkimusmenetelmät.....	16
4.5	Mikromuovien vaikutus suolistomikrobistoon.....	17
5	Pohdinta.....	25
5.1	Tulosten tarkastelu .....	25
5.2	Jatkotutkimusaiheet.....	30
6	Johtopäätökset.....	32

# 1 Johdanto

Maailmanlaajuisesti muovien käyttö on yleistynyt viime vuosikymmenien aikana, sillä muovi on kätevä materiaali muovautuvuutensa, keveytensä, vesitiiveytensä ja edullisuutensa vuoksi. Tämä näkyy mikromuovien lisääntyneenä määränä myös luonnossa. Mikromuovien vaikutuksia terveyteen tunnetaan vielä hyvin vähän eikä mikromuoveille ole olemassa yhtä kansainvälisesti tunnustettua määritelmää. WHO:n (2022) mukaan ne usein määritellään kuitenkin muovihiukkasiksi, jotka ovat kooltaan alle 5 mm. Muodoltaan mikromuovit ovat vaihtelevia. Ne voivat olla esimerkiksi pyöreitä, kuitumaisia tai epäsäännöllisen muotoisia hiukkasia. Ne vaihtelevat suuresti myös polymeerikoostumukseltaan ja sisältämiltään lisäaineilta. Mikromuovit voidaan erottaa primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin. Primääriset mikromuovit ovat muovia, jotka on alun perin tuotettu alle 5 mm:n kokoisiksi muovihiukkasiksi (WHO 2022). Niitä käytetään esimerkiksi synteettisissä vaatteissa ja hygieniatuotteissa (THL 2023). Sekundääriset mikromuovit taas ovat muodostuneet ympäristössä muovin hajotessa (WHO 2022).

Ihmiset altistuvat erimuotoisille, kokoisille ja polymeerikoostumukseltaan erilaisille mikromuoveille, jotka ovat peräisin sekä primääri- että sekundäärilähteistä (WHO 2022). Mikromuoveille altistutaan niin ilman, ihon, juomaveden kuin elintarvikkeidenkin välityksellä. Mikromuovialtistuksen on arvioitu olevan 0,1–5 g viikossa (Senathirajah ym. 2021). Mikromuovialtistumisen määrät vaihtelevat iän, ruokavalion, elintapojen sekä asuinympäristön mukaan. Tietoa ihmisten altistuksen määrästä on kuitenkin rajallisesti, ja sen arvioimiseksi tarvittaisiin yhtenäisiä määritelmiä mikromuoveille sekä standardoituja menetelmiä mikromuovianalytiikkaan.

Mikromuoveja on tutkittu vasta hyvin harvoista elintarvikkeista, lähinnä juomista, kaloista, merenelävistä, ruokasuolasta, sokerista ja hunajasta (WHO 2022, THL 2023). Suurin osa mikromuoveista arvioidaan päätyvän elintarvikkeisiin valmistusvaiheessa tai pakkausmateriaaleista (WHO 2022). Elintarvikekontaktimateriaaleille on oma lainsäädäntönsä ja pakkauksissa sallitut elintarvikemuovit sekä niiden valmistuksessa käytetyt lisäaineet on tarkkaan määritelty Muoviasetuksessa 10/2011 (Komission asetus (EU) N:o 10/2011).

Elintarvikkeiden sisältämät mikromuovit päätyvät ruoan mukana ruoansulatuskanavaan, josta suurimman osan on arveltu kulkeutuvan pois ulosteiden mukana (Senathirajah ym. 2021). Ihmisten ulosteesta onkin pystytty eristämään mikromuovihiukkasia (Schwabl ym. 2019). On kuitenkin arveltu, että varsinkin pienimmät mikromuovipartikkelit (alle 10 µm) voivat läpäistä ruoansulatuskanavan ja kulkeutua elimistöön, ja mahdollisesti aiheuttaa tulehdusta (Hirt ja Body-Malapel 2020, WHO 2022). Siksi elintarvikkeiden sisältämiä mikromuoveja ja niiden mahdollisia terveysvaikutuksia on syytä tutkia.

Suolistomikrobisto koostuu ihmisen suolistossa elävistä bakteereista, viruksista, hiivoista ja alkueläimistä. Rautavan ja Salosen (2021) mukaan suolistomikrobistolla on aineenvaihdunnallisia, suojaavia, rakenteellisia ja neurologisia tehtäviä elimistössä. Suolistomikrobisto hajottaa ja fermentoi sulamattomia ravintoaineita, etenkin hiilihydraatteja. Mikrobisto kykenee tuottamaan energiaa, joitakin välttämättömiä aminohappoja, vitamiineja ja muita aineenvaihduntatuotteita, kuten lyhytketjuisia rasvahappoja (Rautava ja Salonen 2021).

Reilun kilon painavasta suolistomikrobistosta suurin osa elää paksusuolella. Suoliston mikrobilajeja on yli 1000, joista osa vielä kokonaan tuntemattomia. Kaksi pääjaksoa ovat *Bacillota* (entinen *Firmicutes*) ja *Bacteroidota* (entinen *Bacteroidetes*), jotka kattavat yli 90 % kaikista suolistosta löytyvistä bakteerilajeista (Rinninella ym. 2019). Muita hallitsevia jaksoja ovat *Pseudomonadota* (entinen *Proteobacteria*), *Actinomycetota* (entinen *Actinobacteria*), *Fusobacteria* ja *Verrucomicrobia* (Rinninella ym. 2019). Mikrobiston koostumus on hyvin yksilöllinen ja muovautuu etenkin elämän ensivuotina. Suolistomikrobiston koostumukseen vaikuttavat geenit, syntymätapa sekä ravitsemus varhaislapsuudessa. Koostumus ei ole kuitenkaan pysyvä, vaan se vaihtelee läpi eliniän, elinympäristön ja elintapojen; muun muassa ruokavalion, sairauksien ja käytettyjen lääkkeiden vaikuttamana (Rinninella ym. 2019). Ihanteellista mikrobiston koostumusta ei ole pystytty määrittelemään, koska mikrobiston normaalivaihtelu on suurta (Rautava ja Salonen 2021). Suurempaa monimuotoisuutta pidetään yleisesti ottaen parempana: näin mikrobit rajoittavat toistensa kasvua ja estävät yksittäisiä mikrobeja lisääntymästä taudinaiheuttajiksi. Mikrobiston epätasapainotila eli dysbioosi voi aiheuttaa mikromuovialtistuksesta ja vaikuttaa monella tavalla isäntäorganismien terveyteen (Fackelmann

ja Sommer 2019). Suolistomikrobiston koostumuksen sekä toiminnan muutokset on yhdistetty moniin sairauksiin, kuten ärtyvän suolen oireyhtymään (IBS), tulehduksellisiin suolistosairauksiin (IBD), autoimmuunisairauksiin ja masennukseen (Rinninella ym. 2019).

Mikromuovien vaikutusta ihmisen suolistomikrobistoon on tutkittu vasta vähän, mutta tutkimusala on merkittävässä kasvussa. Tutkimuksia ei ole tehty ihmisillä eettisistä, lainsäädännöllisistä ja kustannussyistä (Fournier ym. 2020). Tutkimuksia on tehty hiirillä, jotka jakavat osittain samanlaisen suoliston anatomian ja mikrobiston ihmisten kanssa. Eläimillä tehdyt tutkimukset eivät kuitenkaan täysin vastaa ihmisillä tehtyjä tutkimuksia, minkä vuoksi on kehitetty lisäksi suolistomalleja. Suolistomallit ovat *in vitro* -malleja, joiden avulla voidaan tutkia mikromuovien vaikutusta ihmisen ruoansulatuskanavaan ja suolistomikrobistoon kontrolloiduissa olosuhteissa. Tämä kirjallisuuskatsaus koostaa tämänhetkisen tutkimustiedon mikromuovien vaikutuksista suolistomikrobistoon, sekä esittelee käytetyt tutkimusmenetelmät ja -asetelmat. Katsauksessa keskitytään hiirillä ja suolistomalleilla tehtyihin tutkimuksiin, ja pyritään saamaan tietoa mahdollisista ihmisen terveyteen kohdistuvista haitoista.

## 2 Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on koostaa tämänhetkinen tutkimustieto mikromuovien vaikutuksista suolistomikrobistoon. Tarkoituksena on kerätä tietoa tutkimuksissa käytetyistä menetelmistä, tutkimusasetelmista, tutkituista mikromuoveista ja niiden annoksista. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan, millaisia muutoksia mikromuovit aiheuttavat suolistomikrobistoon sekä pohditaan mikrobiston muutosten mahdollisia vaikutuksia ihmisten terveyteen.

Kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymykset:

1. Miten mikromuovien vaikutusta suolistomikrobistoon on tutkittu?
2. Millaisia vaikutuksia mikromuoveilla on suolistomikrobistoon?
3. Mitä vielä pitäisi tutkia?



### 3 Toteutus

Kirjallisuuskatsauksen tiedonhaku suoritettiin PubMed ja Scopus -tietokannoissa tammikuussa 2023. PubMed ja Scopus ovat lääketieteellisillä aloilla yleisesti käytettyjä tieteellisiä tietokantoja. Tietokantahakujen tulokset olivat kahden eri tietokannan välillä pääosin samoja. Hakulausekkeet ja tiedonhaun prosessi on kuvattu tarkemmin liitteessä 1. Tiedonhaussa hyödynnettiin Itä-Suomen yliopiston kirjaston tietoasiantuntijaa. Lisäksi valittujen tutkimusartikkelien lähdeluettelot käytiin läpi sopivien tutkimusten varalta. Tietokantojen hakutulokset käytiin läpi ja tutkimus arvioitiin sopivaksi kirjallisuuskatsaukseen ensin otsikon, sitten tiivistelmän ja lopulta koko tekstin perusteella. Hakuvaiheessa ei rajattu vuotta, koska tutkimusalue on hyvin tuore. Linnut, merenelävät ja hyönteiset rajattiin pois, sillä tietoa haluttiin ihmisen suolistomikrobistoon kohdistuvista vaikutuksista. Taulukko 1 sisältää tutkimusartikkelien sisäänotto- ja poissulkukriteerit.

**Taulukko 1.** Tutkimusartikkelien sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tutkimus tutkii mikromuovien vaikutusta suolistomikrobistoon</li> <li>- Tieteellinen alkuperäisjulkaisu</li> <li>- Englanninkielinen</li> <li>- Tutkimukset vain terveillä</li> <li>- Kaiken kokoiset ja rakenteelliset mikromuovit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tutkimukset linnuilla, merenelävillä ja hyönteisillä</li> <li>- Pelkästään kirjallisuuskatsaus</li> </ul>

Kirjallisuuskatsaukseen valikoitui yhteensä 19 tutkimusta, joista 16 oli hiiritutkimuksia ja 3 oli tehty suolistomalleilla. Taulukkoon 2 on koottu kirjallisuuskatsauksen tutkimukset ja eritelty julkaisuvuosi, maa, tutkimustyyppi, otoskoko, altistusaika, altisteannos sekä tutkimuksessa tarkasteltavat suolistomikrobiston muuttujat.

**Taulukko 2.** Kirjallisuuskatsauksen artikkelit

<b>Viite</b>	<b>Tutkimustyyppi</b>	<b>Otos (altistus + kontrolli)</b>	<b>Altistusaika</b>	<b>Annos</b>	<b>Suolistomikrobistoa kuvaavat muuttujat</b>
Chen ym. 2022a (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 8 + 8	60 vrk	20–25 mg/kg* 0,5 mg/vrk	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, suku- ja lajitasolla
Chen ym. 2022b (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 4 + 4	60 vrk	100 mg/kg*	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, suku- ja lajitasolla Ulosteen aineenvaihduntatuotteet
Deng ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 48 + 12 <sup>1)</sup>	147 vrk	50 / 500 mg/kg** 5–8,3 / 50–83 mg/kg*	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, luokka-, laho-, suku- ja laji tasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Djouina ym. 2022 (Ranska)	eläinkoe	hiiri n= 21-24 + 7	42 vrk	100 µg/g* 16,66 mg/kg/vrk	ASV Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset laho-, heimo-, ja sukutasolla
Fournier ym. 2023a (Ranska)	suolistomalli	Ulosteenluovuttaja n= 4 + 4	14 vrk	21 mg/vrk	ASV Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja heimotasolla Mikrobien aktiivisuus: kaasut, lyhytketjuiset rasvahapot, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, ariylihiilivety-reseptori
Fournier ym. 2023b (Ranska)	suolistomalli	Ulosteenluovuttaja n=4 + 4	14 vrk	21 mg/vrk	ASV Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja heimotasolla

<b>Viite</b>	<b>Tutkimustyyppi</b>	<b>Otos (altistus + kontrolli)</b>	<b>Altistusaika</b>	<b>Annos</b>	<b>Suolistomikrobistoa kuvaavat muuttujat</b>
					Mikrobien aktiivisuus: kaasut, lyhytketjuiset rasvahapot, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, aryylihiilivety-reseptori
Huang ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 16 + 16	70 vrk	80 mg /kg/vrk*	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, heimotasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Jiang ym. 2021 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 6 + 6	33 vrk	0,1 mg / vrk	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla
Jin ym. 2019 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 16 + 8	42 vrk	100 / 1000 µg/l**	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Jing ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 21 + 7	42 vrk	60 µg / vrk	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla
Li ym. 2020 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 60 + 20	35 vrk	6/60/600 µg / vrk	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla
Lu ym.2018 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 32 + 8	35 vrk	100/1000 µg // vrk**	OTU Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla
Luo ym. 2019 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 6 + 6	42 vrk	1000 µg/l**	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla

<b>Viite</b>	<b>Tutkimustyyppi</b>	<b>Otos (altistus + kontrolli)</b>	<b>Altistusaika</b>	<b>Annos</b>	<b>Suolistomikrobistoa kuvaavat muuttajat</b>
Qiao ym. 2021 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 24 + 6	28 vrk	0,2/2 mg/kg/vrk*	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso- ja sukutasolla
Shi ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 6 + 3	7 / 14 vrk	55 µg / vrk 10000 µg /l**	ASV/OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso ja sukutasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Sun ym. 2021 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 11 + 11	15 vrk	0,2 µg/g/ vrk*	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jaksotasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Tamargo ym. 2022 (Espanja)	suolistomalli	Ulosteenluovuttaja n=2 + 2	72 h	166 mg kerta- annos	ASV Pesäkeluku Alfaversiteetti Muutokset jakso ja sukutasolla
Wen ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 4 + 4	90 vrk	180 µg/kg/ vrk* 1000 µg /l**	Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, heimo-, sukutasolla Ennustetut aineenvaihduntareitit
Xie ym. 2022 (Kiina)	eläinkoe	hiiri n= 15 + 3	7 vrk	4 mg / vrk 20 mg/ml **	OTU Alfaversiteetti Betaversiteetti Muutokset jakso-, heimo- ja sukutasolla

\* Mikromuovia hiiren painokiloa kohti, \*\* Mikromuovia ruuassa tai juomassa, 1) Jokaisesta ryhmästä (4 + kontrolli) tehtiin 4 erillistä ulostepoolia, joissa sekoitettu 3 hiiren ulostetta, ASV = Amplicon-sekvenssivariantti, OTU = operatiivinen taksonominen yksikkö

## 4 Tulokset

### 4.1 Tutkimuksissa käytetyt mikromuovit

Suolistomikrobiston vaikutuksia on tutkittu vasta muutamalla mikromuovilaadulla (Taulukko 3). Yleisin tutkimuksissa käytetty mikromuovi oli polystyreeni (PS, 11 tutkimusta). Muita mikromuoveja olivat polyvinyylidikloridi (PVC, 3 tutkimusta), polyeteeni (PE, 6 tutkimusta), polyetyleenitereftalaatti (PET, 2 tutkimusta) ja polypropeenaa (PP, 1 tutkimus). 18 tutkimuksessa oli tutkittu vain yhtä mikromuovilaatua, ja ainoastaan yhdessä tutkimuksessa oli vertailtu eri muovilaatuja. Mikromuovihiukkasten koko vaihteli tutkimuksittain 70 nm–300 µm välillä. Eniten oli tutkittu muodoltaan pyöreitä mikromuoveja (12 tutkimusta). Chen ym. (2022a) ja Xie ym. (2022) tutkimuksissa kerrottiin muovien olevan karkeapintaisia, Sun ym. (2021) sileäpintaisia ja Jing ym. (2022) kiiltäväpintaisia. Muissa tutkimuksissa ei ollut mainintaa mikromuovien pinnan tekstuurista. Kaikissa tutkimuksissa käytettiin kaupallisia mikromuoveja, jotka olivat puhtaita muista aineista. Osassa tutkimuksissa tutkittiin mikromuovien vaikutusta yhdessä muiden aineiden kanssa, mutta tähän kirjallisuuskatsaukseen kerätyt tulokset kuvaavat ainoastaan mikromuovien aiheuttamia muutoksia. Osassa tutkimuksista kuitenkin mikromuovit värjättiin, jotta kulkeutumista elimistöön ja ulosteeseen voidaan tutkia (Jin ym.2019, Djouina ym. 2022, Huang ym. 2022).

**Taulukko 3.** Tutkimuksissa käytetyt mikromuovit

Viite	Muovilaatu	Muoto	Koko
Chen ym. 2022a	PVC	pyöreä	2 µm
Chen ym. 2022b	PVC	pyöreä	2 µm
Deng ym. 2022	PS	-	40–100 µm <sup>1)</sup>
Djouina ym. 2022	PE	pyöreä	36 / 116 µm
Fournier ym. 2023a	PE	pyöreä	1–10 µm
Fournier ym. 2023b	PE	pyöreä	1–10 µm
Huang ym. 2022	PS	pyöreä	5–200 µm <sup>2)</sup>
Jiang ym. 2021	PS	-	5 µm
Jin ym. 2019	PS	-	5 µm
Jing ym. 2022	PS	pyöreä	80 nm / 5 µm / 10 µm
Li ym. 2020	PE	-	10–150 µm
Lu ym. 2018	PS	pyöreä	0,5 / 50 µm

<b>Viite</b>	<b>Muovilaatu</b>	<b>Muoto</b>	<b>Koko</b>
Luo ym. 2019	PS	-	5 µm
Qiao ym. 2021	PS	pyöreä	70 nm / 5 µm
Shi ym. 2022	PS	pyöreä	1 µm
Sun ym. 2021	PE	pyöreä	1–10 µm
Tamargo ym. 2022	PET	epäsäännöllinen	160 ± 110 µm
Wen ym. 2022	PS	pyöreä	5 µm
Xie ym. 2022	PE, PP, PS, PVC, PET	epäsäännöllinen	150–300 µm

PE = polyeteeni, PET = polyetyleenitereftalaatti, PP = polypropeeni, PS = polystyreeni, PVC = polyvinyylikloridi, 1) annettiin kahdessa eri kokoluokassa: 40–60 µm ja 40–100 µm 2) annettiin neljässä eri kokoluokassa: 5, 50, 100, 200 µm

## 4.2 Tutkiminen hiirillä

Mikromuovien vaikutuksia suolistomikrobistoon on tutkittu tähän mennessä lähinnä hiirillä. Hiirien määrä tutkimuksissa vaihteli 8–80 välillä. Tutkimuksissa käytettiin täysikasvuisia uroshiiriä (12 tutkimuksessa) ja naarashiiriä (3 tutkimuksessa), jotka olivat iältään 4–12 viikkoa vanhoja. Kaikissa tutkimuksissa käytettiin altistusryhmää vastaavaa kontrolliryhmää. Muista poiketen Luo ym. (2019) tutkimuksessa hiirien altistus mikromuoveille tapahtui raskauden ja imetyksen aikana.

Tutkimukset käsittelivät sekä lyhytaikaista että pitkäaikaista altistumista. Deng ym. (2022) tutkimuksessa tutkittiin pitkäaikaista altistumista, joka kesti 147 päivää. Xie ym. (2022) ja Shi ym. (2022) tutkimuksissa tutkittiin lyhytaikaista altistumista, kestäen 7 tai 14 päivää. Muissa tutkimuksissa altistusaika vaihteli 30–90 päivän välillä. Myös annostuksissa oli paljon tutkimuskohtaisia eroja (taulukko 2). Mikromuovit sekoitettiin juomaveteen (5 tutkimuksessa) tai ruokaan (3 tutkimuksessa), annettiin kerta-annoksena päivittäin suun kautta (6 tutkimuksessa) tai suoraan mahaan injektoiden (2 tutkimuksessa).

### 4.3 Tutkiminen suolistomalleilla

Ruoansulatus- ja suolistomalleilla voidaan kontrolloiduissa olosuhteissa tutkia ihmisen ruoansulatusta ja suolistomikrobistoa. Suolistomalleilla simuloidaan ihmisen ruoansulatusta eri vaiheissa (suu, maha, ohutsuoli) mallintuen ruoan pilkkoutumisen olosuhteita (lämpötila, aika, pH, ruoansulatusentsyymit) sekä paksusuolella tapahtuvaa suolistofermentaatiota eli käymistä bioreaktorissa (Fournier ym. 2020). Tutkimuksia mikromuovien vaikutuksista suolistomikrobistoon suolistomalleilla on julkaistu kuitenkin vasta kolme. Tähänastisissa tutkimuksissa käytettyjä suolistomalleja ovat simgi® (SIMulator of the GastroIntestinal tract), M-ARCOL (mucosal Artificial Colon) sekä Tm-ARCOL (Toddler mucosal Artificial Colon).

Simgi®-järjestelmä on tietokoneohjattu dynaaminen *in vitro* -malli, joka on suunniteltu jäljittelemään ruoansulatusta ja paksusuolella tapahtuvaa käymistä (Barroso ym. 2015). Tamargon ja kumppanien (2022) tutkimuksessa simgi®-järjestelmää käytettiin simuloimaan ihmisen paksusuolen kolmea aluetta: nousevaa, poikittaista ja laskevaa paksusuolta. M-ARCOL on yksivaiheinen käymisjärjestelmä, joka simuloi ihmisen paksusuolen sekä fysikaalis-kemiallisia että mikrobiologisia olosuhteita (Deschamps ym. 2020). Fournier ym. (2023a, 2023b) tutkimuksissa malli koostui paksusuolta mallintavasta pääbioreaktorista (luminaalinen osasto), joka on yhdistetty ulkoiseen lasiseen osastoon (limakalvo-osasto). Tm-ARCOL toimii vastaavasti, mutta kuvaten taaperon paksusuolta.

Tutkimuksia on tehty kerta-annoksena tai kahden viikon altistusjaksona. Tutkimuksissa ennen altistusta pidettiin kontrollijakso. Tamargon ja kumppanien (2022) tutkimuksissa ulostenäytteiden antajina oli kaksi tervettä aikuista, mutta luovuttajien iä ei mainittu. Fournierin ja kumppanien (2023a) tutkimuksessa ulostenäytteiden antajat olivat 23–52-vuotiaita miehiä ja naisia. Fournierin ryhmän toisessa tutkimuksessa (2023b) tutkittiin mikromuovien vaikutusta taaperon suolistomikrobistoon ja näytteet oli kerätty 20–33 kuukauden ikäisiltä tyttö- ja poikalapsilta.

#### 4.4 Suolistomikrobiston tutkimusmenetelmät

Mikrobistoa voidaan analysoida monin eri menetelmin, kuten arvioimalla diversiteettiä, eli mikrobilajiston monimuotoisuutta näytteen sisällä, tunnistamalla valitut taksonit eri näytteistä sekä tutkimalla mikrobiston geenien toimintaa ja aineenvaihduntatuotteita (Sarangi ym. 2019). Suolistomikrobiston koostumuksen tutkiminen alkaa bakteerien eristämällä, monistamisella ja geenien sekvensoinnilla. Mikrobiston pääasiallinen koostumus tutkittiin osassa tutkimuksista reaaliaikaisella polymeerasiketjureaktiolla (qPCR, quantitative real-time polymerase chain reaction). Tutkimuksissa käytettyjä sekvensointimenetelmiä olivat 16S rRNA sekä 16S rDNA kohdista V3, V4, V3-4 tai koko geenistä. Sekvensoinnin jälkeen sekvenssit jaoteltiin operatiivisia taksonomisia yksiköjä (OTU) käyttäen. OTU:t ovat nukleotidisekvenssien ryppäitä, joiden samankaltaisuuden ylittäessä tietyn kynnsarvon (usein 97 %) sekvenssit ovat peräisin samasta lajista (Sarangi ym. 2019). Djouna ym. (2022), Tamargo ym. (2022) ja Fournier ym. (2023a, Fournier 2023b) tutkimuksissa geenien tunnistamiseen käytettiin Amplicon-sekvenssivarianssia (ASV), jossa ryppäiden sijasta sekvenssit jaotellaan tarkoiksi sekvenssivarianteiksi, joilla on 100 % samankaltaisuus (Porath-Krause ym. 2022). OTU:n ja ASV:n avulla sekvenssit voidaan taksonomisesti luokitella ja tunnistaa eri tietokantoja hyödyntämällä.

Alfaversiteetti kuvaa mikrobiston monimuotoisuutta suolistossa. Lajirikkauden tutkimiseen käytettyjä indeksejä olivat mikromuovitutkimuksissa Chao1 ja ACE. Lajien runsautta ja lajiston tasaisuutta oli tutkittu käyttämällä Shannon- ja Simpson-indeksejä. Alfaversiteettiä tutkittiin myös analysoimalla OTU:n ja ASV:n määriä. Betaversiteetti kuvaa yksilöiden tai ryhmien välisiä eroja mikrobiston monimuotoisuudessa. Katsauksen tutkimuksissa betaversiteetillä kuvattiin kontrolli- ja altistusryhmän välisiä eroja tai eroja ennen ja jälkeen altistuksen samalta tutkittavalta. Tutkimuksissa yleisimmin betaversiteettiä kuvattiin käyttäen pääkoordinaattianalyysiä (PCoA) ja painotettua (weighted) sekä painottamatonta (unweighted) UniFrac-metriikkaa.

Suolistomikrobiston aktiivisuutta ja aineenvaihduntaa tutkittiin yleisimmin sekvenssien avulla ennustamalla mahdollisia metaboliareittejä eri tietokantoja hyväksi käyttäen. Osassa tutkimuksia



metaboliitteja tutkittiin kohdennetulla (targeted) ja kohdentamattomalla (non-targeted) analyysillä käyttäen nestekromatografia-massaspektrometriaa.

#### 4.5 Mikromuovien vaikutus suolistomikrobistoon

Mikromuovien vaikutus suolistomikrobistoon vaihteli suuresti eri tutkimuksien välillä (Taulukko 4). Alfadiversiteetti kasvoi Luo ym. (2019), Li ym. (2020) ja Jing ym. (2022) hiiritutkimuksissa ja Fournierin ym. (2023b) suolistomallitutkimuksessa. Puolestaan Jin ym. (2019), Qiao ym. (2021), Jiang ym. (2021), Huang ym. (2022), Shi ym. (2022), Wen ym. (2022) ja Tamargo ym. (2022) tutkimuksissa alfadiversiteetissä nähtiin laskua. Sun ym. (2021), Chen ym. (2022a, 2022b), Deng ym. (2022), Djouina ym. (2022) ja Fournier ym. (2023a) tutkimuksissa ei havaittu mikromuovialtistuksen vaikuttavan suolistomikrobiston alfadiversiteettiin. Verratessa ryhmien välisiä eroja, eli betadiversiteettiä, havaittiin kuitenkin, että altistusryhmän ja kontrolliryhmän suolistomikrobiston koostumus poikkesi merkittävästi toisistaan (Jin ym. 2019, Li ym. 2020, Jiang ym. 2021, Qiao ym. 2021, Chen ym. 2022a, Chen ym. 2022b, Deng ym. 2022, Djouina ym. 2022, Huang ym. 2022, Jing ym. 2022, Shi ym. 2022, Wen ym. 2022). Ainoastaan Sun ym. (2021) tutkimuksessa ei ilmennyt eroja kontrolli- ja altistust ryhmän välillä. Eroja huomattiin myös samojen tutkittavien suoliston mikrobiston koostumuksessa ennen ja jälkeen altistuksen (Tamargo ym. 2022, Fournier ym. 2023a, Fournier ym. 2023b).

Yksittäisten bakteerijaksojen, -heimojen ja -sukujen määrien muutoksissa oli eroavaisuuksia tutkimusten välillä. Esimerkiksi osassa tutkimuksissa jaksotasolla *Bacteroidota*-lajien määrä nousi (Sun ym. 2021, Chen ym. 2022b, Huang ym. 2022, Jing ym. 2022, Xie ym. 2022) ja *Bacillota*-lajien laski (Lu ym. 2018, Jin ym. 2019, Jiang ym. 2021, Sun ym. 2021, Deng ym. 2022, Huang ym. 2022, Wen ym. 2022, Xie ym. 2022). Päinvastaisia tuloksia saatiin kuitenkin Luo ym. (2019), Li ym. (2020), Chen ym. (2022a) ja Shi ym. (2022) tutkimuksissa. *Verrucomicrobia*-lajeilla havaittiin laskua (Lu ym. 2018, Chen ym. 2022b, Shi ym. 2022) ja *Actinomycetota*-lajeilla nousua (Lu ym. 2018, Jin ym. 2019, Luo ym. 2019, Li ym. 2020, Jiang ym. 2021, Deng ym. 2022, Shi ym. 2022). *Pseudomonadota*-jakson lajeissa todettiin sekä nousua (Lu ym. 2018, Jiang ym. 2021, Chen ym. 2022a, Tamargo ym. 2022, Wen ym. 2022, Fournier ym. 2023a) että laskua (Jin ym. 2019, Luo ym.

2019, Deng ym. 2022). *Synergitetes*-jakson lajeissa todettiin nousua suolistomallitutkimuksissa (Tamargo ym. 2022, Fournier ym. 2023a, Fournier ym. 2023b). Alempien taksonomisten tasojen muutoksia on esitetty taulukossa 5. Suolistomalleilla tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että taksonomiset muutokset suolistomikrobistossa vaihtelevat paljon yksilöiden välillä.

Mikrobiston aktiivisuudessa ja aineenvaihdunnassa nähtiin myös muutoksia. Tutkimuksissa todettiin mikromuovialtistuksen vaikuttavan mikrobien aineenvaihduntaan, kuten aminohappometaboliaan (Sun ym. 2021, Deng ym. 2022, Jing ym. 2022, Shi ym. 2022, Wen ym. 2022). Fournier ja kumppanien (2023b) taaperoiden suolistomikrobistotutkimuksissa butyraattituotanto laski huomattavasti. Butyraatti on suolistomikrobiston muodostama hyödyllinen lyhytketjuinen rasvahappo (Rautava ja Salonen 2021). Vastaavaa laskua ei kuitenkaan havaittu aikuisilla tehdyssä suolistomallitutkimuksessa. Kuitenkin useissa hiiritutkimuksissa lyhytketjuisten rasvahappojen tuotantoon yhdistettyjen bakteerien, kuten *Blautia*-, *Butyricoccaceae*-, *Muribaculacaceae*- ja *Faecalibacterium*-lajien määrissä huomattiin laskua (Jin ym. 2019, Chen ym. 2022a, Chen ym. 2022b, Huang ym. 2022, Wen ym. 2022).

Tutkimuksissa havaittiin mikromuovien koolla ja annoksella olevan merkitystä suolistomikrobiston muutoksiin. Jing ja kumppanien (2022) sekä Qiao ja kumppanien (2022) tutkimuksessa hyvin pienillä mikromuoveilla (80 nm ja 70 nm) huomattiin olevan vain vähän vaikutusta suolistomikrobistoon, kun taas suuremmilla mikromuoveilla (5 µm ja 10 µm) vaikutus oli huomattava. Myös suurempien mikromuovipartikkelien (> 50 µm) todettiin muokkaavaan suolistomikrobiston koostumusta (Lu ym. 2018, Li ym. 2020, Deng ym. 2022, Djouina ym. 2022, Huang ym. 2022, Xie ym. 2022). Li ja kumppanien (2020) tutkimuksessa huomattiin suurimman päivittäisen annoksen (600 µg) kasvattavan mikrobilajien määrää ja alfadiversiteettiä enemmän, verrattuna tutkimuksen pienempiin annoksiin (6 µg ja 60 µg). Deng ja kumppanit (2022) raportoivat mikrobiston muutoksien taksonomisella tasolla olevan erilainen erikokoisilla mikromuovipartikkeleilla ja annoksilla.

Mikromuovin polymeerikoostumus näyttää vaikuttavan tuloksiin. Xie ja kumppanien (2022) tutkimuksessa tutkittiin eri mikromuoveja ja huomattiin, että eri mikromuoveilla on erilaisia vaikutuksia suolistomikrobistoon. PVC:llä ei näyttäisi olevan suurta vaikutusta mikrobiston

alfadiversiteettiin (Chen ym. 2022a, Chen ym. 2022b, Xie ym. 2022). PE:llä ei myöskään näytä olevan vaikutusta alfadiversiteettiin tai sillä on nostava vaikutus (Li ym. 2020, Sun ym. 2021, Djouina ym. 2022, Fournier ym. 2023a, Fournier ym. 2023b). PET-mikromuoveilla taas näyttäisi olevan laskeva vaikutus alfadiversiteettiin eli suolistomikrobiston monimuotoisuus näyttäisi vähentyvän (Tamargo ym. 2022, Xie ym. 2022).

**Taulukko 4.** Mikromuovialtistuksen vaikutukset suolistomikrobistoon

<b>Viite</b>	<b>Alfadiersiteetti</b>	<b>Betadiersiteetti</b>	<b>Metabolia</b>
Chen ym. 2022a	ei vaikutusta	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	-
Chen ym. 2022b	ei vaikutusta	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	muutoksia sappihappo- ja pyrimidiinimetaboliassa
Deng ym. 2022	ei vaikutusta	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	muutoksia aminohappo- ja lipidimetaboliassa
Djouina ym. 2022	ei vaikutusta	laski altistuksen myötä	-
Fournier ym. 2023a	ei vaikutusta	eroavaisuudet ennen ja jälkeen altistuksen tutkittavilla 3 ja 4	muutoksia VOC-profiileissa
Fournier ym. 2023b	↑ (tutkittavilla 1,2,3)	eroavaisuudet altistusta ennen ja jälkeen etenkin tutkittavilla 1,2 ja 3	Muutoksia VOC-profiileissa Butyraatti ↓
Huang ym. 2022	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	Muutoksia lipidimetaboliassa
Jiang ym. 2021	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	Muutoksia sappihappometaboliassa
Jin ym. 2019	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	muutoksia pyruvaatti- ja tyrosiinimetaboliassa, rasvahappobiosynteesissä
Jing ym. 2022	↑	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	Muutoksia rasvahappo-, aminohappo-, sappihappo- ja lyhyketjuisten rasvahappojen metaboliassa
Li ym. 2020	↑	nousi altistuksen myötä	-
Lu ym. 2018	-	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	-
Luo ym. 2019	-	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	-
Qiao ym. 2021	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	-
Shi ym. 2022	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	muutoksia hiilihydraatti-, aminohappo-, vitamiini- ja lipidimetaboliassa
Sun ym. 2021	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	muutoksia aminohappometaboliassa
Tamargo ym. 2022	↓	-	-
Wen ym. 2022	↓	erot kontrolli- ja altistusryhmien välillä	muutoksia aminohappometaboliassa
Xie ym. 2022	PE: ↑, PP: ↑, PET: ↓	PS ja kontrolli erot olivat suurimmat PVC ja kontrolli erot olivat pienimmät	-

ASV = Amplicon-sekvenssivariantti, OTU = operatiivinen taksonominen yksikkö, k= kontrolli, VOC= orgaaniset haihtuvat yhdisteet (volatile organic compound), PE = polyeteeni, PET = polyetyleenitereftalaatti, PP = polypropeeni, PS = polystyreeni, PVC = polyvinyylilori

**Taulukko 5.** Mikromuovialtistuksen vaikutukset suolistomikrobistoon jakso-, heimo- ja sukutasolla

<b>Viite</b>	<b>Jakso</b>	<b>Heimo</b>	<b>Suku</b>
Chen ym. 2022a	<i>Bacillota</i> ↑, <i>Patescibacteria</i> ↑, <i>Pseudomonadota</i> ↑, <i>Verrucomicrobia</i> ↑ <i>Bacteroidota</i> ↓	<i>Muribaculaceae</i> ↓, <i>Prevotellaceae</i> ↓	<i>Parasutterella</i> ↑, <i>Roseburia</i> ↑, <i>Dubosiella</i> ↑, <i>Akkermansia</i> ↑ <i>Aerosphaera</i> ↓, <i>Aquamicrobium</i> ↓, <i>Brevibacterium</i> ↓, <i>Staphylococcus</i> ↑, <i>Parabacteroides</i> ↓
Chen ym. 2022b	<i>Bacillota</i> ↑*, <i>Bacteroidota</i> ↑*, <i>Patescibacteria</i> ↑*, <i>Tenericutes</i> ↑*, <i>Verrucomicrobia</i> ↓*, <i>Actinomycetota</i> ↓	<i>Lactobacillaceae</i> ↑, <i>Epsilonbacteraeot</i> ↓*	<i>Staphylococcus</i> ↑ <i>Prevotella</i> ↑, <i>Anaerostipes</i> ↑, <i>Alloprevotella</i> ↑, <i>Lachnoclostridium</i> ↑, <i>Prevotellaceae_UCG-001</i> ↑, <i>Lactobacillus</i> ↑, <i>Ruminiclostridium_9</i> ↑, <i>Bacilli</i> ↑, <i>Akkermansia</i> ↓, <i>Faecalibaculum</i> ↓, <i>Ileibacterium</i> ↓, <i>Muribaculum</i> ↓,
Deng ym. 2022	<i>Actinomycetota</i> ↑ (suuri koko & annos), <i>Bacillota</i> ↓ (pieni koko & pieni + suuri annos), <i>Pseudomonadota</i> ↓ (pieni koko & pieni + suuri annos)	<i>Enterobacteriaceae</i> ↓, <i>Escherichia</i> ↓, <i>Escherichia coli</i> ↓, <i>Bifidobacteriaceae</i> ↓	<i>Bifidobacterium</i> ↑
Djouina ym. 2022 (lahkotasolla)		<i>Gastranaerophilales</i> ↑, <i>Rhodospirillales</i> ↑, <i>Erysipelotrichaceae</i> ↑, <i>Lactobacillales</i> ↓, <i>Verrucomicrobiales</i> ↓	
Fournier ym. 2023a	<i>Pseudomonadota</i> ↑, <i>Synergistetes</i> ↑	<i>Desulfovibrionaceae</i> ↑, <i>Enterobacteriaceae</i> ↑, <i>Dethiosulfovibrionaceae</i> ↑, <i>Christensenellaceae</i> ↓, <i>Akkermansiaceae</i> ↓	
Fournier ym. 2023b		<i>Dethiosulfovibrionaceae</i> ↑, <i>Enterobacteriaceae</i> ↑, <i>Oscillospiraceae</i> ↑, <i>Monoglobaceae</i> ↓, <i>Lachnospiraceae</i> ↓	
Huang ym. 2022	<i>Bacteroidota</i> ↑, <i>Bacillota</i> ↓	<i>Muribaculaceae</i> ↓, <i>Helicobacteraceae</i> ↓, <i>Desulfovibrionaceae</i> ↑, <i>Rikenellaceae</i> ↑, <i>Prevotellaceae</i> ↑, <i>Enterobacteriaceae</i> ↑	
Jiang ym. 2021	<i>Actinomycetota</i> ↑, <i>Epsilonbacteria</i> ↑, <i>Pseudomonadota</i> ↑, <i>Bacillota</i> ↓, <i>Bacteroidota</i> ↓,		<i>Bifidobacterium</i> ↑ <i>Escherichia_Shigella</i> ↑, <i>Lactobacillus</i> ↓, <i>Bacteroides</i> ↓, <i>Butyrivibrio</i> ↓, <i>GCA-900066575</i> ↓,

Viite	Jakso	Heimo	Suku
			<i>Lachnospiraceae_UCG001</i> , <i>Eubacterium]_nodatum_group</i> ↓, <i>Marvinbryantia</i> ↓
Jin ym. 2019	<i>Actinomycetota</i> ↓, <i>Bacillota</i> ↓ (100 µl), <i>β-Pseudomonadota</i> ↓ (100 µl), <i>γ-Pseudomonadota</i> ↓ (1000 µl), <i>α-Pseudomonadota</i> ↓ (1000 µl)		<i>Coprococcus</i> ↑, <i>Anaeroplasma</i> ↑, <i>Bifidobacterium</i> ↓, <i>Parabacteroides</i> ↓, <i>Dehalobacterium</i> ↓, <i>Turicibacter</i> ↓, <i>Phascolarctobacterium</i> ↓, <i>Lachnospira</i> ↓, <i>Haemophilus</i> ↓, <i>Adlercreutzia</i> ↓, <i>Megamonas</i> ↓, <i>Blautia</i> ↓, <i>Dialister</i> ↓, <i>Veillonella</i> ↓, <i>Prevotella</i> ↓
Jing ym. 2022	<i>Bacteroidota</i> ↑		<i>Akkermansia</i> ↓, <i>Bacteroides</i> ↓, <i>Mucispirillum</i> ↓, <i>Helicobacter</i> ↓, <i>Lachnospiraceae_NK4A136</i> ↑
Li ym. 2020	<i>Bacillota</i> ↑, <i>Bacteroidota</i> ↓		<i>Staphylococcus</i> ↑, <i>Melainabacteria</i> ↑, <i>Lactobacillus</i> ↑ (60 µg), <i>Duboisella</i> ↑ (60 µg), <i>Blautia</i> ↑, <i>Desulfovibrio</i> ↑ (600 µg), <i>Unidentified_Melainabacteria</i> (06 µg), <i>Bacteroides</i> ↓ (60, 600 µg), <i>Muribaculum</i> ↓ (60, 600 µg), <i>Akkermansia</i> ↓ (60, 600 µg) <i>Unidentified_Clostridiales</i> ↓ (60, 600 µg), <i>Parabacteroides</i> ↓,
Lu ym. 2018	<i>Epsilonbacteraeota</i> ↑ <i>Pseudomonadota</i> ↑, <i>Actinomycetota</i> ↑(qPCR) ↓ (16S), <i>Bacillota</i> ↓, <i>Bacteroidota</i> ↓, <i>α-Pseudomonadota</i> ↓ <i>Verrucomicrobia</i> ↓		<i>Parabacteroides</i> ↑ (0,5 µm), <i>Prevotella</i> , ↑ (0,5 µm), <i>Dehalobacterium</i> ↑ (50 µm), <i>Ruminococcus</i> ↑ (0,5 µm), <i>Bilophila</i> ↑ (50 µm), <i>Bifidobacterium</i> ↑, <i>Adlercreutzia</i> ↑ (50 µm), <i>Plesiomonas</i> ↑ (50 µm), <i>Halomonas</i> ↑ (50 µm), <i>Acinetobacter</i> ↑ (50 µm), <i>Oscillospira</i> ↓, <i>Anaerostipes</i> ↓ (0,5 µm),
Luo ym. 2019	<i>Actinomycetota</i> ↑, <i>Bacillota</i> ↑*, <i>Epsilonbacteraeota</i> ↑, <i>Bacteroidota</i> ↓*, <i>Pseudomonadota</i> ↓*		<i>Oscillibacteria</i> ↑, <i>Helicobacter</i> ↑, <i>Ruminococcaceae_UGG-003</i> ↑, <i>Anaerotruncus</i> ↑, <i>Helicobacter</i> ↑, <i>Ruminiclostridium_9</i> ↑, <i>Lachnospiraceae_UCG-010</i> ↑, <i>Corynebacterium_1</i> ↑, <i>Bacteroides</i> ↑, <i>Ruminococcaceae_009</i> ↑, <i>Uncultures_bacterium_f_Muribaculaceae</i> ↓, <i>Uncultured_Bacterium_f_Peptostreptococcaeae</i> ↓, <i>Turicibacter</i> ↓, <i>Bifidobacterium</i> ↓
Qiao ym. 2021			<i>Lactobacillus</i> ↑, <i>[Eubacterium]_xylanophilum</i> ↓, <i>Lachnospiraceae_NK4A136</i> ↓,
Shi ym. 2022	<i>Actinomycetota</i> ↑, <i>Bacillota</i> ↑, <i>Deferribacteres</i> ↑, <i>Bacteroidota</i> ↓, <i>Verrucomicrobia</i> ↓,		<i>Lactobacillus</i> ↑, <i>Bifidobacterium</i> ↑, <i>Mucillispirillum</i> ↓, <i>Oscillospira</i> ↓, <i>Akkermansia</i> ↓, <i>Desulfovibrio</i> ↓,
Sun ym. 2021	<i>Bacteroidota</i> ↑, <i>Bacillota</i> ↓		

<b>Viite</b>	<b>Jakso</b>	<b>Heimo</b>	<b>Suku</b>
Tamargo ym. 2022	<i>Bacillota</i> ↑ (nk), <i>Desulfobacterota</i> ↑, <i>Synergistetes</i> ↑ (lk), <i>Bacteroidota</i> ↓		<i>Escherichia/Shigella</i> ↑ (pk, lk), <i>Bilophila</i> ↑ (nk, lk), <i>Cloacibacillus</i> ↑ (pk, lk), <i>Eisenbergiella</i> ↑ (nk), <i>Megasphaera</i> ↑ <i>Oscillisbacter</i> ↑ <i>Bifidobacterium</i> ↓, <i>Staphylococcus</i> ↓ (nk), <i>Clostridium</i> ↓, <i>Enterobacteria</i> ↓ (pk, lk), <i>Bacteroides</i> ↓, <i>Parabacteroides</i> ↓, <i>Alistipes</i> ↓ (nk, pk),
Wen ym. 2022	<i>Pseudomonadota</i> ↑	<i>Enterobacteriaceae</i> ↑, <i>Oscillospiraceae</i> ↑ <i>Butyricoccaceae</i> ↓	<i>Alistipes</i> ↑, <i>Allobaculum</i> ↑, <i>Dubosiella</i> ↓, <i>Desulfovibrio</i> ↑, <i>Blautia</i> ↓,
Xie ym. 2022	<i>Bacteroidota</i> ↓ / <i>Bacillota</i> ↑ (PE, PET, PP), <i>Bacteroidota</i> ↑ / <i>Bacillota</i> ↓ (PS, PVC)	<i>Ruminococcaceae</i> ↑ (PE, PS), <i>Lachnospiraceae</i> ↑ (PE, PS, PP)	<i>Alistipes</i> ↓ (PS, PE, PVC)

\* ei tilastollista merkitsevyyttä, PE = polyeteeni, PET = polyetylenitereftalaatti, PP = polypropeeni, PS = polystyreeni, PVC = polyvinyylikloridi, nk = nouseva koolon, pk = poikittainen koolon, lk = laskeva koolon

## 5 Pohdinta

### 5.1 Tulosten tarkastelu

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia vaikutuksia mikromuoveilla on suolistomikrobistoon ja kerätä tietoa tutkimuksissa käytetyistä mikromuoveista, niiden annoksista sekä käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Tarkasteltujen 19 tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mikromuoveilla on vaikutusta suoliston mikrobistokoostumukseen, vaikkakin muutokset ovat hyvin vaihtelevia.

Suurin osa tutkimuksista on tehty PS-partikkeleilla. PS onkin yksi luonnossa yleisimmin esiintyvistä mikromuoveista (Deng ym. 2022). Schwabl ja kumppanien (2019) mukaan PS ei kuitenkaan ole yleisin ihmisten ulosteessa havaittu polymeeri, vaan PP, jota havaittiin kaikissa tutkimuksen näytteissä. PP:n vaikutuksia on toistaiseksi tarkasteltu kuitenkin vain yhdessä tutkimuksessa. Suolistomallitutkimuksissa käytettyjä mikromuoveja olivat PET ja PE. PET:iä käytetään muun muassa muovisissa juomapulloissa ja korkeissa (Tamargo ym. 2022). PE:tä käytetään etenkin elintarvikkeiden pakkauksissa, ja sitä on havaittu olevan juomavedessä ja elintarvikkeissa. PVC ei ole elintarvikekäytössä sallittu muovi (Komission asetus (EU) N:o 10/2011), mutta Schwabl kumppaneineen (2019) havaitsivat ihmisten ulosteissa kaikkia katsauksessa käytettyjä mikromuovipolymeerejä, mukaan lukien pieniä määriä PVC:tä.

Mikromuovipartikkelin koolla on merkitystä sen aiheuttamiin terveysvaikutuksiin. Schwabl ja kumppanit (2019) raportoivat, että ihmisten ulosteessa havaitut mikromuovit olivat alle 500 µm kokoisia eli tämän kirjallisuuskatsauksen tutkimusten mikromuovit vastaavat kooltaan mikromuovipartikkeleja, joille ihmiset todellisuudessa altistuvat. Pienten mikromuovihiukkasten on arveltu olevan terveydelle haitallisempia kuin suurten, koska ne pystyvät imeytymään elimistöön. Katsauksen tutkimuksissa kuitenkin havaittiin, että suolistomikrobistoon hyvin pienillä mikromuovihiukkasilla ei ole juurikaan vaikutusta (Qiao ym. 2021, Jing ym. 2022). Sen sijaan suurilla mikromuoveilla todettiin olevan vaikutusta suolistomikrobistoon (Lu ym. 2018, Li



ym. 2020, Deng ym. 2022, Djouina ym. 2022, Huang ym. 2022, Xie ym. 2022). Vaikka suuremmat mikromuovipartikkelit eivät välttämättä pääse imeytymään elimistöön, vaikuttaa siltä, että ne pystyvät vaikuttamaan terveyteen paikallisesti suolistossa sekä suolistomikrobiston kautta. Sekä pienemmät että suuremmat mikromuovit voivat olla siis haitallisia terveydelle, mutta vaikutukset tapahtuvat eri tavoin.

Tutkimuksissa on käytetty eniten pyöreitä mikromuovipartikkeleita. Elintarvikkeissa havaitut mikromuovit ovat olleet muodoltaan lähinnä sirpaleisia tai kuitumaisia (WHO 2022) ja ulosteessa havaitut sirpaleisia ja kalvomaisia (Schwabl ym. 2019). Mikromuovien muotoja ei mainittu kaikissa tutkimuksissa ja pinnan tekstuuria vielä harvemmin. Nämä ovat kuitenkin tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa tutkimustuloksiin. WHO (2022) mukaan mikromuovien analysointiin ei ole vakioituja menetelmiä johtaen siihen, että raportoidut tiedot esimerkiksi partikkelikoon, muodon ja polymeerikoostumuksen osalta eroavat toisistaan. Kaikilla analyysimenetelmillä ei ole mahdollista saada tietoa polymeerikoostumuksesta tai partikkelin koosta tai muodosta, ja erityisen haastavaa se on pienimmille mikromuovipartikkeleille. On kuitenkin arveltu, että myös mikromuovipartikkelin muodolla on merkitystä muun muassa siihen, miten ne läpäisevät soluja tai aiheuttavat tulehdusta suoliston epiteelisoluissa (WHO 2022).

Hiiritutkimuksissa on käytetty melko suuria annosmääriä mikromuoveja. Ihmisten tarkkaa altistumismäärää mikromuoveille ei tiedetä, mutta sen on arvioitu aikuisella olevan 0,1–5 g viikossa (Senathirajah ym. 2021). Arvion laajuuden takia on hankala arvioida, millaisilla annoksilla mikromuoveja olisi syytä tutkia. Todennäköistä on, että suuret mikromuovimäärät vahvistavat muutoksia suolistomikrobistossa todellisuutta enemmän. Mikromuovimäärät luonnossa kasvavat kuitenkin jatkuvasti, joten myös suurempia mikromuovimääriä on oleellista tutkia. Tutkimuksissa, joissa mikromuovit sekoitetaan ruokaan tai juomaan, tulisi pitää kirjaa hiiren ruoka- ja juomamääristä, jotta saataisiin tarkka tieto hiirten altistumismäärästä mikromuoveille. Sekä pitkällä 147 vuorokauden altistuksella (Deng ym. 2022) että lyhyellä 7 vuorokauden altistuksella (Shi ym. 2022, Xie ym. 2022) nähtiin vaikutuksia suolistomikrobiston koostumukseen, etenkin betadiversiteettiin. Näyttäisi siis, että vaikutukset suolistomikrobistoon tapahtuvat pian altistuksen jälkeen. Eri pituisten altistusten vaikutusta mikrobiston muutoksiin

on kuitenkin hankala vertailla, koska muuttuvia tekijöitä on paljon, kuten yllä mainitut polymeerikoostumus, mikromuovihiukkasen koko ja muoto sekä annoskoko.

Mikromuovien terveysvaikutuksia on tutkittu pääasiassa kaupallisilla puhtailla mikromuoveilla. Nämä mikromuovit eivät kuitenkaan vastaa luonnossa ja elintarvikkeissa olevia mikromuoveja. Muoveihin lisätään usein kemiallisia lisäaineita tai muita materiaaleja parantamaan niiden ominaisuuksia, kuten kestävyyttä ja mikromuovit saattavat olla myös erilaisten raskasmetallien, antibioottien tai taudinaiheuttajien kantajia (WHO 2022). Katsauksen tutkimuksissa tarkasteltiin lähinnä vain mikromuovien mekaanista vaikutusta mikrobistoon. Lisäaineilla on myös vaikutusta tähän, koska ne muokkaavat partikkelien koostumusta ja ominaisuuksia. Tutkimusten mikromuovit eivät siis täysin vastaa mikromuoveja, joille ihmiset altistuvat päivittäin elintarvikkeiden ja muiden eri lähteiden kautta.

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli myös selvittää, millaisia vaikutuksia mikromuoveilla on suolistomikrobistoon. Tulokset vaihtelivat paljon tutkimuksittain, mutta jokaisella mikromuovialtistuksella nähtiin olevan vaikutusta suolistomikrobistoon. Mikromuovialtistus vaikutti etenkin suolistomikrobiston monimuotoisuuteen. Alfadeiversiteetin muutoksissa ei nähty yhtenevää vaikutusta vaan tutkimuksissa raportoitiin tasaisesti sekä alfadeiversiteetin nousua että laskua ja osassa tutkimuksista vaikutusta alfadeiversiteettiin ei havaittu lainkaan. Betadiversiteetin suhteen tulokset olivat yhtenevät eli betadiversiteetissä nähtiin suuria eroja altistus- ja kontrolliryhmän tai -ajan välillä. Muutokset mikrobiston koostumuksessa johtivat dysbioosiin eli mikrobiston epätasapainoon. Dysbioosi on näissä tutkimuksissa yhdistetty etenkin metabolisiin häiriöihin, suolistoesteen toimintahäiriöihin sekä normaalin aineenvaihdunnan ja immuuniprosessien häiriintymisiin (Lu ym. 2018, Jin ym. 2019, Li ym. 2020, Chen ym. 2022b, Deng ym. 2022). Tätä tukee suolistomikrobiston koostumuksen muutoksien lisäksi havaitut muutokset suolistomikrobiston aineenvaihdunnassa ja metaboliatuotteissa.

Suolistomikrobistossa nähtiin muutoksia kaikilla taksonomisilla tasoilla. *Bacillota*- ja *Bacteroidota*-pääjaksojen suhteiden muutoksia todettiin useissa tutkimuksissa ja näiden epätasapainon on arveltu olevan yhteydessä erilaisiin aineenvaihdunnan häiriöihin, kuten liikalihavuuteen ja

diabetekseen (Tamargo ym. 2022). *Actinomycetota*-jakson suhteellinen määrä muuttui useissa tutkimuksissa altistuksen jälkeen ja yhtenä suolistomikrobiston tärkeimmistä jaksoista sillä on keskeinen rooli suoliston homeostaasin ylläpitämisessä (Deng ym. 2022). *Pseudomonadota*- ja *Synergistota*-jaksoja voitaisiin pitää myös mahdollisina biomarkkereina tutkittaessa mikromuovin vaikutuksia suolistomikrobistoon ihmisillä, koska etenkin suolistomallitutkimuksissa nähtiin muutoksia erityisesti näissä jaksoissa (Tamargo ym. 2022, Fournier ym. 2023a, 2023b). *Synergistetes*- ja *Pseudomonadota*-jaksoissa nähtiin muutoksia etenkin *Dethiosulfovibrionaceae*- ja *Enterobacteriaceae*-heimojen suhteellisissa määrissä. Nämä heimot ovat tunnettuja opportunistisia mikrobeja, jotka tavallisesti eivät ole haitallisia, mutta jos ne pääsevät lisääntymään hallitsemattomasti, saattavat ne muuttua ne taudinaiheuttajiksi (Fournier ym. 2023a).

Mikromuovialtistus näyttäisi vaikuttavan suolistomikrobiston koostumukseen, mutta tekijät sen taustalla ovat vielä epäselviä. Mikromuovialtistuksen todettiin vähentävän suoliston limakalvoa ja limaneritystä muuttaen mikrobien elinympäristöä (Lu ym. 2018, Jin ym. 2019, Sun ym. 2021, Chen ym. 2022b, Deng ym. 2022). Nämä limakalvon muutokset heikentävät mikrobiston elinympäristöä ja vähentävät mahdollisesti mikrobiston määrää. Toisaalta muuttunut kasvuympäristö voi olla joillekin bakteereille suotuisa, jolloin näillä bakteereilla on tilaa lisääntyä tavallista enemmän. Tämä epätasapaino aiheuttaa dysbioosia ja antaa mahdollisille taudinaiheuttajille mahdollisuuden lisääntyä hallitsemattomasti.

Mikromuovien mahdollista kertymistä suolistoon on sivuttu muutamissa tutkimuksissa. Jin ym. (2019) tutkimuksessa todettiin, että polystyreenipartikkelit voivat kertyä suolistoon. On arveltu, että mikromuovien kertyminen suolistoon voi viedä elintilaa ja ravinteita suoliston mikrobeilta. Toisaalta ne voivat luoda myös lisäpintaa, johon mikrobit kykenevät tarttumaan (Tamargo ym. 2022, Fournier ym. 2023a). Tämä voisi osaltaan selittää mikrobimäärän ja monimuotoisuuden kasvua joissakin tutkimuksissa. Huang ym. (2022), Deng ym. (2022) ja Djouina ym. (2022) tutkimuksessa todettiin, että suurin osa mikromuoveista poistui hiiren ulosteen mukana ulos elimistöstä, mikä on yhtenevä havainto aiemman kirjallisuuden kanssa. Kuitenkin 5 µm:n kokoista polystyreeniä on löydetty myös verisuonista, maksasta ja munuaisista, tarkoittaen, että

pienet mikromuovipartikkelit pystyvät imeytymään verenkiertoon aiheuttaen mahdollisia muita terveysongelmia ihmisille (Huang ym. 2022). Näin mikromuovit voivat vaikuttaa terveyteen suolistomikrobiston välittämien reittien lisäksi.

Suolistomikrobiston koostumus on jokaisella ainutlaatuinen ja tämä näkyy myös hyvin vaihtelevissa tuloksissa. Etenkin suolistomallitutkimuksissa nähtiin mikrobiston muutoksien olevan hyvin riippuvaisia yksilöstä. Mikrobit voivat myös vaikuttaa eri tavoin ympäristöstä ja lähellä olevista mikrobeista riippuen (Rautava ja Salonen 2021). Tämän vuoksi yksilötasolla muutokset mikrobistossa voivat vaihdella suuresti. Tamargo ym. (2022) ja Fournier ym. (2023a, 2023b) tutkimuksissa nähtiin yksilöiden välisiä eroja, jotka olivat huomattavia jo lähtötilanteessa. Kuitenkin tutkittavilla esiintyi samanlaisia muutoksia tietyissä ryhmissä, kuten *Synergistetes*-jaksossa. Näyttää kuitenkin siltä, että mikromuovialtistuksen jälkeiset muutokset suolistomikrobistossa riippuvat aina mikrobiston lähtökoostumuksesta ja vallitsevien mikrobien välisistä suhteista. Tutkimuksissa, joissa verrataan ainoastaan kontrolli- ja altistusryhmiä toisiinsa, tulee tämä ottaa huomioon. Ryhmien ja yksilöiden väliset erot saattavat olla huomattavat jo ennen mikromuovialtistusta, kuten Tamargo ym. (2022) ja Fournier ym. (2023a, 2023b) tutkimuksissa huomattiin.

Mikromuovien koostumuksen, koon, muodon sekä annoskoon lisäksi tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat suolistomikrobiston tutkimiseen ja analysointiin käytettävät menetelmät. Hiirillä näytteitä otettiin umpisuolesta tai ulosteesta, mikä vaikuttaa näytteissä oleviin mikrobilajeihin. Ulosteessa on vähemmän mikrobeja, koska suurin osa suolistomikrobeista ei selviä suoliston ulkopuolisissa olosuhteissa (Sarangi ym. 2019). Mikrobiston koostumus myös vaihtelee suoliston eri kohdissa, joka todettiin myös Tamargon ja kumppanien (2022) sekä Fournierin ja kumppanien (2023a, 2023b) tutkimuksissa. Eri sekvensointimenetelmiä ja geenialueita käyttämällä saadaan hyvin erilaisia tuloksia mikrobiston koostumuksesta taksonomisilla tasoilla. Eroavaisuudet katsauksen tutkimusten välillä voivat siis ainakin osittain selittyä käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Vakiintuneet menetelmät mikromuovien analysoinnin lisäksi myös suolistomikrobiston tutkimisessa olisivat hyödylliset, jotta tutkimusten tulokset olisivat verrattavia keskenään.

Suurin osa tutkimuksista on tehty hiirillä. Hiirillä on osittain samanlainen anatomia, fysiologia ja genetiikka ihmisten kanssa, mikä mahdollistaa päätelmien tekemisen ihmisen biologiasta koe-eläimillä tehdyistä kokeista (Nguyen ym. 2015). Hiirikokeiden tulokset eivät kuitenkaan suoraan ole verrattavissa ihmisiin ja johtopäätöksiä tulee tehdä varoen. Vaikka hiirien ja ihmisen ruoansulatuskanavassa ja suolistomikrobistossa on paljon yhtäläisyyksiä, hiirien suolisto eroaa kuitenkin osittain ihmisten suolistosta sekä anatomisesti että suolistomikrobistoltaan. Kontrolloiduilla hiirimalleilla tehdyissä kokeissa oli havaittavissa merkittäviä tutkimusten välisiä eroja. Erot voivat johtua koejärjestelyjen sekoittavista tekijöistä, kuten hiiren alkuperästä, emän vaikutuksesta, ympäristöolosuhteista sekä hiirien geneettisestä perimästä (Nguyen ym. 2015). Vaikka hiirikokeiden tuloksia ei voi suoraan verrata ihmisiin, voi niitä käyttää apuna mikromuovialtistuksen vaikutusten arvioinnissa sekä kehittäessä hypoteeseja tutkimuksiin suolistomalleilla.

## 5.2 Jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksia tulee jatkaa suolistomalleilla, jotta saadaan lisätietoa mahdollisista ihmisiin kohdistuvista vaikutuksista. Tutkimuksia tulisi laajentaa koskemaan eri kokoisia annoksia ja erilaisia mikromuoveja polymeerikoostumukseltaan, kooltaan ja muodoltaan. Tällä hetkellä tutkimuksia on tehty lähinnä lyhyellä altistuksella ja verrattain suurilla annostuksilla. Mikromuoveille altistuminen on jatkuvaa ja mikromuovimäärät matalia, joten olisi tärkeää tutkia enemmän myös pitkäaikaista altistumista alhaisemmilla mikromuovimäärillä. Fournier ym. (2022b) tutki mikromuovien vaikutusta taaperoiden suolistomikrobistoon suolistomallilla. Tällainen tutkimus on tärkeää, koska varhaislapsuudessa mikrobisto on erityisen altis muutoksille. Tutkimuksia tulisi laajentaa myös muille ikäryhmille ja erityisryhmille, jotka ovat suuremmissa riskissä mikromuovialtistuksille tai altistuksen vaikutuksille esimerkiksi suoliston puutteellisten suojausmekanismien takia tai jo valmiiksi dysbioottisen mikrobiston takia.

Näyttää siltä, että mikromuovit vaikuttavat suolistomikrobiston koostumukseen. On kuitenkin epäselvää, ovatko mikromuovien vaikutukset suolistomikrobistoon peruuttamattomia.

Tulevaisuudessa tutkimuksissa tulisi keskittyä siihen, miksi mikromuoveilla on vaikutusta suolistomikrobistoon. Tamargo (2022) ja Fournier (2023a) kumppaneineen osoittivat tutkimuksissaan, että mikrobit ovat vuorovaikutuksessa mikromuovien kanssa suolistossa. Vaikka Fournier kumppaneineen (2023a) totesivat, että mikromuovien polymeerisen pinnan koostumukseen kontakti suolistomikrobiston kanssa ei aiheuta merkittäviä muutoksia, tulisi kuitenkin tarkemmin tutkia pystyvätkö suolistomikrobit hajottamaan muovia ja käyttämään sen osia ravinteena. Djounan ym. (2020) tutkimuksessa ulosteessa olevat muovit olivat pirstoutuneet. Myös Tamargon ym. (2022) tutkimuksessa havaittiin myös PE:n hajoamista, joka voi olla merkki mikrobien aiheuttamasta hajottamisesta. Muovin hajoaminen on kuitenkin voinut tapahtua myös ruoansulatuksessa tai tutkimusvaiheessa mekaanisesta käsittelystä tai yksinkertaisesti muovien heikkouden takia.

Tällä hetkellä tutkimusta tehdään kaupallisilla mikromuoveilla, jotka ovat uusia, puhtaita, lisääineettomia ja tehty tutkimuksia varten. Elintarvikkeissa ja luonnossa mikromuovit eivät kuitenkaan ole puhtaita, joten tulisi tutkia myös käytettyjä ja kulutettuja mikromuoveja. Mikromuovien lisääaineiden ja niiden mukana tulevien epäpuhtauksien selviytymistä ruoansulatuskanavassa, sekä näiden ja mikromuovien mahdollisia yhteisvaikutuksia suolistomikrobistoon tulisi tutkia lisää tulevaisuudessa.

## 6 Johtopäätökset

Mikromuovien vaikutusta suolistomikrobistoon on tutkittu vasta vähän, mutta tutkimusten määrä on nousussa. Mikromuovien vaikutusta on tutkittu enimmäkseen eläimillä ja vähitellen myös suolistomalleilla. Hiiri- ja suolistomallitutkimuksissa todettiin mikromuovien muokkaavan suolistomikrobiston koostumusta huomattavasti, aiheuttaen mikrobiston dysbioosia. Tämä yhdistettiin tutkimuksissa muun muassa tulehdukseen ja suolistoesteen toimintahäiriöihin sekä isännän normaalin aineenvaihdunnan ja immuuniprosessien häiriintymiseen. Vaikka pienempien mikromuovipartikkelien on uskottu olevan haitallisempia terveydelle, suolistomikrobistoon vaikutusta oli erityisesti suuremmilla mikromuovipartikkeleilla. Muutokset suolistomikrobistossa kuitenkin vaihtelivat paljon tutkimusten välillä johtuen mikromuovien polymeerikoostumuksen eroavaisuuksista, partikkelien muodoista, annoksista sekä suolistomikrobiston yksilöllisyydestä ja käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Tulevaisuudessa tutkimusten tulisi keskittyä yhä enemmän suolistomallitutkimuksiin, huomioiden eri ikä- ja muut erikoisryhmät. Tutkimukset tulisi tehdä sellaisilla mikromuoveilla ja mikromuovimäärillä, joille ihmiset todellisuudessa altistuvat.

## Lähteet

Barroso E, Cueva C, Peláez C, Martínez-Cuesta MC, Requena T. Development of human colonic microbiota in the computer-controlled dynamic SIMulator of the GastroIntestinal tract SIMGI.

LWT – Food Science and Technology 2015;61:283–289. doi:[10.1016/j.lwt.2014.12.014](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.014)

Chen X, Zhuang J, Chen Q, Xu L, Yue X, Qiao D. Chronic exposure to polyvinyl chloride microplastics induces liver injury and gut microbiota dysbiosis based on the integration of liver transcriptome profiles and full-length 16S rRNA sequencing data. Science of The Total Environment 2022a;839:155984. doi:[10.1016/j.scitotenv.2022.155984](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155984)

Environment 2022a;839:155984. doi:[10.1016/j.scitotenv.2022.155984](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155984)

Chen X, Zhuang J, Chen Q, Xu L, Yue X, Qiao D. Polyvinyl chloride microplastics induced gut barrier dysfunction, microbiota dysbiosis and metabolism disorder in adult mice. Ecotoxicology and Environmental Safety 2022b;241:113809. doi:[10.1016/j.ecoenv.2022.113809](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113809)

Deng Y, Chen H, Huang Y, ym. Long-Term Exposure to Environmentally Relevant Doses of Large Polystyrene Microplastics Disturbs Lipid Homeostasis via Bowel Function Interference. Environ Sci Technol 2022;56:15805–15817. doi:[10.1021/acs.est.1c07933](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07933)

Deschamps C, Fournier E, Uriot O, ym. Comparative methods for fecal sample storage to preserve gut microbial structure and function in an in vitro model of the human colon. Appl Microbiol Biotechnol 2020;104:10233–10247. doi:[10.1007/s00253-020-10959-4](https://doi.org/10.1007/s00253-020-10959-4)



Djouina M, Vignal C, Dehaut A, ym. Oral exposure to polyethylene microplastics alters gut morphology, immune response, and microbiota composition in mice. *Environmental Research* 2022;212:113230. doi:[10.1016/j.envres.2022.113230](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113230)

Fackelmann G, Sommer S. Microplastics and the gut microbiome: How chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Marine Pollution Bulletin* 2019; 143:193-203. doi:  
[10.1016/j.marpolbul.2019.04.030](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.030).

Fournier E, Etienne-Mesmin L, Grootaert C, ym. Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development. *Journal of Hazardous Materials* 2021;415:125632. doi:[10.1016/j.jhazmat.2021.125632](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125632)

Fournier E, Leveque M, Ruiz P, ym. Microplastics: What happens in the human digestive tract? First evidences in adults using in vitro gut models. *Journal of Hazardous Materials* 2023a;442:130010. doi:[10.1016/j.jhazmat.2022.130010](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130010)

Fournier E, Ratel J, Denis S, ym. Exposure to polyethylene microplastics alters immature gut microbiome in an infant in vitro gut model. *Journal of Hazardous Materials* 2023b;443:130383. doi:[10.1016/j.jhazmat.2022.130383](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130383)

Hirt N, Body-Malapel M. Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Part Fibre Toxicol* 2020;17:57. doi:[10.1186/s12989-020-00387-7](https://doi.org/10.1186/s12989-020-00387-7)

Huang D, Zhang Y, Long J, ym. Polystyrene microplastic exposure induces insulin resistance in mice via dysbacteriosis and pro-inflammation. *Science of The Total Environment* 2022;838:155937. doi:[10.1016/j.scitotenv.2022.155937](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155937)

Jiang P, Yuan G, Jiang B, ym. Effects of microplastics (MPs) and tributyltin (TBT) alone and in combination on bile acids and gut microbiota crosstalk in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2021;220:112345. doi:[10.1016/j.ecoenv.2021.112345](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112345)

Jin Y, Lu L, Tu W, Luo T, Fu Z. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Science of The Total Environment* 2019;649:308–317.  
doi:[10.1016/j.scitotenv.2018.08.353](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353)

Jing J, Zhang L, Han L, ym. Polystyrene micro-/nanoplastics induced hematopoietic damages via the crosstalk of gut microbiota, metabolites, and cytokines. *Environment International* 2022;161:107131. doi:[10.1016/j.envint.2022.107131](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107131)

Li B, Ding Y, Cheng X, ym. Polyethylene microplastics affect the distribution of gut microbiota and inflammation development in mice. *Chemosphere* 2020;244:125492.  
doi:[10.1016/j.chemosphere.2019.125492](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125492)

Lu L, Wan Z, Luo T, Fu Z, Jin Y. Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice. *Science of The Total Environment* 2018;631–632:449–458. doi:[10.1016/j.scitotenv.2018.03.051](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.051)

Luo T, Wang C, Pan Z, Jin C, Fu Z, Jin Y. Maternal Polystyrene Microplastic Exposure during Gestation and Lactation Altered Metabolic Homeostasis in the Dams and Their F1 and F2 Offspring. *Environ Sci Technol* 2019;53:10978–10992. doi:[10.1021/acs.est.9b03191](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03191)

Komission asetus (EU) N:o 10/2011, annettu 14 päivänä tammikuuta 2011, elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista

Nguyen TLA, Vieira-Silva S, Liston A, Raes J. How informative is the mouse for human gut microbiota research? *Disease Models & Mechanisms* 2015;8:1–16. doi:[10.1242/dmm.017400](https://doi.org/10.1242/dmm.017400)

Porath-Krause A, Strauss AT, Henning JA, Seabloom EW, Borer ET. Pitfalls and pointers: An accessible guide to marker gene amplicon sequencing in ecological applications. *Methods in Ecology and Evolution* 2022;13:266–277. doi:[10.1111/2041-210X.13764](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13764)

Qiao J, Chen R, Wang M, ym. Perturbation of gut microbiota plays an important role in micro/nanoplastics-induced gut barrier dysfunction. *Nanoscale* 2021;13:8806–8816. doi:[10.1039/D1NR00038A](https://doi.org/10.1039/D1NR00038A)

Rautava S, Salonen A. Ravinto ja suolistomikrobisto. Teoksessa: Mutanen M, Niinikoski H, Schwab U, Uusitupa M (toim.) Ravitsemustiede. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2021, s. 255–259

Rinninella E, Raoul P, Cintoni M, ym. What is the Healthy Gut Microbiota Composition? A Changing Ecosystem across Age, Environment, Diet, and Diseases. *Microorganisms* 2019;7:14. doi:[10.3390/microorganisms7010014](https://doi.org/10.3390/microorganisms7010014)

Sarang AN, Goel A, Aggarwal R. Methods for Studying Gut Microbiota: A Primer for Physicians. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology* 2019;9:62–73. doi:[10.1016/j.jceh.2018.04.016](https://doi.org/10.1016/j.jceh.2018.04.016)

Shi C, Han X, Guo W, ym. Disturbed Gut-Liver axis indicating oral exposure to polystyrene microplastic potentially increases the risk of insulin resistance. *Environment International* 2022;164:107273. doi:[10.1016/j.envint.2022.107273](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107273)

Sun H, Chen N, Yang X, Xia Y, Wu D. Effects induced by polyethylene microplastics oral exposure on colon mucin release, inflammation, gut microflora composition and metabolism in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2021;220:112340. doi:[10.1016/j.ecoenv.2021.112340](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112340)

Tamargo A, Molinero N, Reinosa JJ, ym. PET microplastics affect human gut microbiota communities during simulated gastrointestinal digestion, first evidence of plausible polymer biodegradation during human digestion. *Sci Rep* 2022;12:528. doi:[10.1038/s41598-021-04489-w](https://doi.org/10.1038/s41598-021-04489-w)

THL- Terveiden edistämisen laitos. Mikromuovit. 2023.

<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/mikromuovit>. Luettu 28.3.2023

Wen S, Zhao Y, Liu S, Chen Y, Yuan H, Xu H. Polystyrene microplastics exacerbated liver injury from cyclophosphamide in mice: Insight into gut microbiota. *Science of The Total Environment* 2022;840:156668. doi:[10.1016/j.scitotenv.2022.156668](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156668)

WHO. World Health Organization. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. Geneva 2022. ISBN 978-92-4-005460-8

Xie L, Chen T, Liu J, ym. Intestinal flora variation reflects the short-term damage of microplastic to the intestinal tract in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2022;246:114194. doi:[10.1016/j.ecoenv.2022.114194](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114194)

**Liite 1.** Tiedonhaku ja hakulausekkeet

<b>Tietokanta</b>	<b>Hakulauseke</b>	<b>Rajaukset</b>	<b>Hakutulokset</b>	<b>Otsikko, valitut</b>	<b>Tiivistelmä, valitut</b>	<b>Koko teksti, valitut</b>
PubMed (6.1.2023)	(Gastrointestinal Microbiom[MeSH Terms]) AND (Microplastics[MeSH Terms])	-	63	18	11	9
Scopus (8.1.2023)	((gastr* OR gut OR intestine*) W/1 (flora OR micro*)) AND microplastic*	Artikkeli	218	31	10	10
<b>Yhteensä</b>						<b>19</b>