



UNIVERSITY OF HELSINKI



<https://helda.helsinki.fi>

Helda

---

## Ravitsemus ja suolistomikrobit ruoansulatuskanavan ja metabolisen terveyden ylläpitäjinä

Pajari, Anne-Maria

Laaketieteellinen Aikakauskirja Duodecim

2023-09-19

---

Pajari, A-M, Kolehmainen, M, Laatikainen, R & Salonen, A 2023, 'Ravitsemus ja suolistomikrobit ruoansulatuskanavan ja metabolisen terveyden ylläpitäjinä', Duodecim, Vuosikerta. 139, Sivut 1465–1471. < <https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2023/18/duo17849> >

---

<http://hdl.handle.net/10138/586080>

---

publishedVersion

---

*Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.*

*This is an electronic reprint of the original article.*

*This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.*

*Please cite the original version.*

Anne-Maria Pajari, Marjukka Kolehmainen, Reijo Laatikainen ja Anne Salonen

# Ravitsemus ja suolistomikrobit ruoansulatuskanavan ja metabolisen terveyden ylläpitäjinä

Ravitsemus vaikuttaa suoliston ja metaboliseen terveyteen keskeisesti muun muassa säätelemällä suoliston ja koko elimistön tulehdusvastetta ja immunitaettia, limakalvon läpäisevyyttä sekä suolen liikettä. Monet ravinnon terveysvaikutuksista ovat suolistomikrobistovälitteisiä ja perustuvat ravinnon ja mikrobiston vuorovaikutuksena muodostuviin metaboliitteihin kuten lyhytketjuisiin rasvahappoihin, sappihappoihin, N-nitrosoyhdisteisiin ja trimetyyliamiini-N-oksidiin (TMAO). Kasvisvoittainen kuitupitoinen ruokavalio edistää suolistomikrobiston monimuotoisuutta ja terveyttä tukevaa toimintaa mutta aiheuttaa monelle ainakin alkuun vatsavaivoja.

Ravinnon merkitys suoliston ja sen mikrobiston hyvinvoinnille ja sitä kautta koko terveydelle on noussut tärkeäksi tutkimusalueeksi viime vuosina. Suoliston ensisijaisena tehtävänä on huolehtia siitä, että syöty ruoka hajoo ja ravintoaineet imeytyvät elimistön käyttöön. Ohutsuolesta sulamaton osuus ruoasta jatkaa paksusuoleen ja ruokkii siellä kanssamme symbioosissa elävää mikrobistoa. Ravinto ja erityisesti sen sisältämät kuidut muokkaavat mikrobistoa ja sen aktiivisuutta ja sitä(kin) kautta vaikuttavat kansantautien riskitekijöihin. Meneillään oleva siirtymä lihan käytöstä kohden kasviperäisiä proteiinin lähteitä kuten palkokasveja ja täysjyväviljoja lisää kuitujen saantia. Toisaalta siirtymän varjopuolena osalla väestöstä voi ilmetä vatsavaivoja, joiden hallintaan löytynee toimivia ratkaisuja.

## Suomalaisten ruoankäytöstä

Suomalaisten ruoankäytössä ja ravintoaineiden saannissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia viimeisen 20 vuoden aikana (1). Kasvisten, hedelmien ja marjojen kulutus ja niiden myötä kuidun saanti ovat lisääntyneet jonkin verran, mutta edelleen kaksi kolmasosaa väes-

töstä ei tavoita suositeltua 500 g:n päiväännosta kasvikunnan tuotteita, ja kuidun saanti jää alle suosituksen. Miehistä noin 80 % ja naisista neljännes kuluttavat punaista ja prosessoitua lihaa yli ravitsemussuosituksen määrittämän 500 g/viikko ylärajan (2). Tämä heijastuu myös esimerkiksi suosituksia suurempana tyydyttyneen rasvan saantina. Ravinnon proteiineista noin 70 % on peräisin eläinperäisistä lähteistä kuten lihasta, kalasta, maidosta ja kananmunista, kun taas kasviperäisistä lähteistä, lähinnä viljoista, tulee noin 30 %.

Siirtyminen nykyistä kasviproteiinipainotteisempaan ruokavalioon vähentämällä eläinperäisten, erityisesti punaisen ja prosessoidun lihan kulutusta ja lisäämällä täysjyväviljan, palkokasvien ja pähkinöiden ja siementen kulutusta edistäisi sekä väestön että ympäristön terveyttä. Tästä siirtymästä hyötyisi erityisesti suoliston ja metabolinen terveys.

## Suolistomikrobisto ravinnon terveysvaikutusten välittäjänä

Ruoansulatuskanavan mikrobisto on runsaimmillaan paksusuoleessa, jonka lähes hapettomissa olosuhteissa elää erityisesti sulamattoman

kasvimateriaalin hajottamiseen erikoistunut bakteeristo sekä muita huonommin tunnettuja mikrobeja. Ulostenäytteistä analysoitavissa oleva paksusuolen bakteeristo osallistuu keskeisesti ruoansulatukseen. Yleisten ravitsemussuosittelujen mukainen ruokavalio on myös suolistobakteeristoystävällinen, ja kuidun määrä ja monipuolisuus nousevat yhdeksi tärkeimmistä tekijöistä (3). Suolistobakteeristossa on valtava repertoaari entsyymejä, jotka pilkkovat ja fermentoivat erityyppisiä ravintokuituja ja niin tehdessään tuottavat rasva- ja orgaanisia happoja, kaasuja sekä lukuisia muita yhdisteitä (4).

Länsimaisen ruokavalion runsas lihan ja tyydyttyneen rasvan ja toisaalta vähäinen kuidun määrä johtaa suolistomikrobiston epäedullisiin muutoksiin, jotka erityisesti luontaista immuuteettia aktivoivien pintarakennekomponenttien sekä aineenvaihduntatuotteiden kautta voivat edistää muun muassa paksusuolisöyvän kehittymistä (5). Yleisesti ottaen ruokavalion laatu vaikuttaa suolistomikrobiston koostumukseen ja sen tuottamiin yhdisteisiin, jotka puolestaan vaikuttavat muun muassa immuniteettiin, tulehdusvasteeseen, glukoosi- ja rasva-aineenvaihdunnan säätelyyn sekä toiminnallisiin vatsavaivoihin (6). Toisaalta suolistomikrobiston koostumuksen eroilla on merkitystä ravinnon yksilöllisissä terveysvaikutuksissa (7). Suolistomikrobiston välittämien ruoan terveysvaikutusten ja niiden toimintamekanismien tuntemusta onkin ehdotettu huomioitavaksi ravitsemussuosituksissa (8).

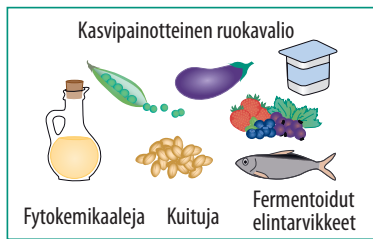
Prebiootteja eli hyödyllisiä suolistobakteereja ruokkivia kuitu- ja muita yhdisteitä tai probiootteja eli terveysvaikutteisia eläviä bakteereita sisältävät elintarvikkeet tai ravintolisät voivat olla osa terveellistä ruokavaliota mutta eivät sen korvikke (9). Paljon lisäaineita sisältävien elintarvikkeiden käyttöä sen sijaan lienee hyvä välttää, koska tiettyjen keinotekoisien makeutusaineiden ja emulgaattoreiden on havaittu joissakin tutkimuksissa vaikuttavan epäedullisesti suolistomikrobiston koostumukseen ja mahdollisesti huonontavan glykeemistä vastetta ja edistävän niin sanottua hiljaista tulehdusta (10, 11). Tosin mainituissa tutkimuksissa lisäaineiden annokset ovat olleet selvästi suurempia kuin niiden tavanomainen kulutus, joten

realistisempien lisäainemäärien vaikutuksista tarvitaan lisää tutkimusta.

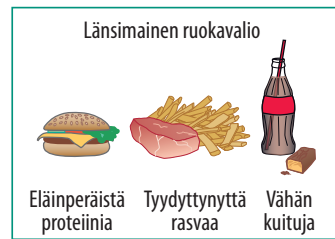
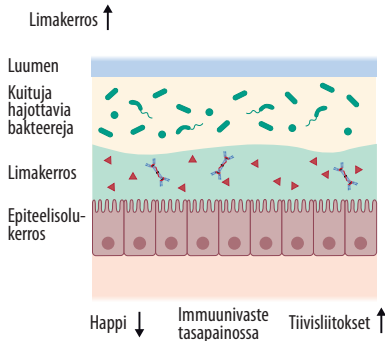
## Täysjyväviljat ja palkokasvit turvaamassa suoliston ja metabolista hyvinvointia

Täysjyväviljat ruis, kaura, vehnä ja ohra ovat keskeisiä ruoka-aineita, ravintokuidun ja ravintoaineiden lähteitä suomalaisessa ruokavaliossa. Viljat ovat kolmen tärkeimmän lähteen joukossa niin energian, hiilihydraattien kuin proteiininkin saannin osalta, mutta erityisesti ne ovat ylivoimaisia kuidun lähteitä (2). Kestävyys siirtymän myötä olisi tarpeen lisätä muidenkin kasviproteiinien ja kuidun lähteen kulutusta, ja tässä palkokasvit kuten herne, härkäpapu ja linssit ovat keskeisiä. Lisäksi sekä täysjyväviljat että palkokasvit sisältävät lähinnä kuitufraktioon liittyneinä runsaasti niin sanottuja bioaktiivisia yhdisteitä, kuten erilaisia polyfenoleja, joihin on yhdistetty terveyttä edistäviä vaikutuksia, joskin niiden vaikutusmekanismit tunnetaan vielä melko huonosti (12). Käyttämällä monipuolisesti täysjyväviljoja, palkokasveja ja myös hedelmiä ja marjoja saadaan erityyppisiä kuituja ja bioaktiivisia yhdisteitä, joiden yhteisvaikutus terveydelle ylittää pelkän yksittäisen lähteen vaikutuksen.

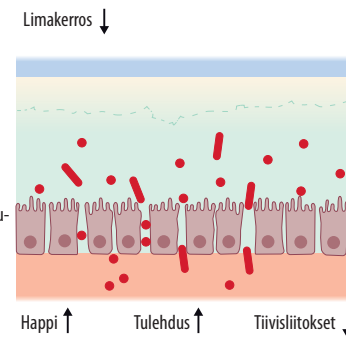
Kuitu on kemialliselta koostumukseltaan joukko heterogeenisiä poly- ja oligosakkarideja, joita ihmisen ohutsuolen entsyymit eivät kykene hajottamaan, vaan ne päätyvät sulamattomana paksusuoleen. Täysjyväviljoille tyypillisiä kuituja ovat selluloosa, hemiselluloosat kuten ksylaanit,  $\beta$ -glukaani, resistentti tärkkelys ja oligosakkaridit (13). Palkokasvit sisältävät runsaasti selluloosaa, resistenttiä tärkkelystä, pektiiniä ja lähinnä palkokasveille tyypillisiä galakto-oligosakkarideja eli stakyoosia, raffinoosia ja verbaskoosia (14). Kuidun fysiologiset vaikutukset riippuvat kuidun fysikokemiallisesta rakenteesta, joka määrittää, kuinka vesiliukoinen, viskoosi tai fermentoitava kuitu on (15). Tyypillisesti selluloosa on veteen liukenematon ja hyvin huonosti suoliston mikrobiston fermentoitavissa, kun taas lyhytketjuisemmat oligosakkaridit ovat vesiliukoisia ja hyvin helposti fermentoitavia.



### Lyhytketjuisia rasvahappoja



### Tyypittöisiä metaboliitteja, haaraketjuisia rasvahappoja, sappihappoja



**KUVA.** Kasvipainotteinen ruokavalio sisältää runsaasti kuituja ja fytokemikaaleja, jotka tukevat paksusuolen hyödyllisiä bakteereja ja tuottavat suolen epiteelin terveyttä edistäviä metaboliitteja kuten lyhytketjuisia rasvahappoja. Nämä vahvistavat suolen epiteelin tiivisliitoksia ja siten estävät haitallisten yhdisteiden siirtymistä verenkiertoon ja ehkäisevät sekä paikallista että systeemistä tulehdusta. Länsimäinen runsaasti punaista ja prosessoitua lihaa ja vähän kuituja sisältävä ruokavalio tuottaa paksusuolen bakteeristoon epätasapainon ja haitallisen metaboliiprofiilin, jotka voivat vahingoittaa suolen epiteelisoluja, lisäävät limakalvon läpäisevyyttä ja paikallista ja systeemistä tulehdusta ja siten kroonisten sairauksien riskiä.

Kuiduilla on vaikutuksia sekä ohut- että paksusuolella, ja ne voivat olla mikrobistosta riippumattomia tai mikrobivälitteisiä. Ohutsuolessa erityyppiset kuidut eri mekanismeilla hidastavat ravintoaineiden imeytymistä ja vähentävät postprandiaalista glykemiaa ja lipemiaa ja lisäävät kylläisyyttä (15). Kauran ja ohran sisältämä  $\beta$ -glukaani on hyvin tunnettu esimerkki funktionaalista kuidusta, joka pienentää veren kolesterolipitoisuuksia sitomalla ruoan kolesterolia osaksi viskoosia geeliä ohutsuolessa ja joka on saanut EFSA:n hyväksymän terveysväittämän pienentyneeseen sydäntautiriskiin liittyen (16). Selluloosatyyppisellä kuidulla on kyky lisätä suolen sisällön massaa, mikä erityisesti paksusuolella edistää suolen motiliteettia ja laimentaa haitallisten yhdisteiden pitoisuutta ja siten vähentää haitallisten yhdisteiden kosketusaikaa suolen epiteelisolujen kanssa (15).

Paksusuoleen päätyvistä kuiduista osa toimii ravintona paksusuolen mikrobistolle, jolla on

kapasiteetti tuottaa niistä lyhytketjuisia rasvahappoja (SCFA) kuten butyraattia, asetaattia ja propionaattia (**KUVA**) (17). SCFA:lla on sekä paikallisia vaikutuksia paksusuolella että systeemisiä vaikutuksia verenkierron kautta. Asetaatti ja propionaatti vaikuttavat lähinnä systeemisesti imeytymällä verenkiertoon ja muokkaamalla esimerkiksi maksan kolesterolisynteesiä ja lisäämällä glukoosin uudismuodostumista (glukoneogeneesi) (17). Butyraatti vaikuttaa lähinnä paikallisesti siirtymällä paksusuolen epiteelisoluihin. Toimimalla sekä solujen pääasiallisena energian lähteenä että geenien ilmentymisen säätelijänä ja edistää solujen erilaistumista ja sitä kautta ehkäisee paksusuolisyöpää (18). Butyraatin on osoitettu soluviljelmissä lisäävän suolen epiteelisolujen tiivisliitosproteiinien ilmentymistä.

Mielenkiintoisesti valko- ja mustapavun syöttämisen hiirille havaittiin tukevan suolen barrierifunktiota, kun sitä arvioitiin lisää-

## Ydinasiat

- ▶ Ravinto vaikuttaa suoliston ja elimistön terveyteen keskeisesti mm. muokkaamalla paksusuolen mikrobistoa ja sen tuottamia metaboliitteja.
- ▶ Kasvipainotteinen kuitupitoinen ruokavalio edistää suolistomikrobiston monimuotoisuutta ja tuottaa suoliston ja systeemistä terveyttä edistäviä metaboliitteja.
- ▶ Länsimainen vähän kuitua, mutta runsaasti punaista ja prosessoitua lihaa ja tyydyttynyttä rasvaa sisältävä ruokavalio suosii terveyden kannalta epäedullisten metaboliittien syntyä.
- ▶ Runsaskuituinen ruokavalio voi aiheuttaa vatsavaivoja, joiden hallintaan löytyy toimivia ratkaisuja.

tyneenä SCFAn tuottona, limaa tuottavien goblet-solujen määränä, limakerroksen paksuutena ja veren endotoksiinipitoisuutena (19). Vähäkuituinen ruokavalio voi johtaa suolilimaa ravintonaan käyttävien bakteerien osuuden lisääntymiseen ja sen myötä suolen seinämän epiteelisolujen välisten liitosten heikentymiseen ja mikrobien hajoamistuotteiden ja aineenvaihdunnan tuotteiden pääsyyn epätarkoituksenmukaisesti elimistöön (20). Useista kasvipärisistä lähteistä saatava ravintokuitu pitää yllä mikrobiston monimuotoisuutta ja lisää hyvinvointia tukevien mikrobilajien osuutta mikrobistossa. Nämä tapahtumat estävät ja vähentävät tulehdustilaa suolessa ja tukevat siten elimistön terveyttä systeemisesti.

Täysjyväviljojen käyttö on liitetty useissa epidemiologisissa tutkimuksissa ja meta-analyseissa kroonisten sairauksien, kuten tyypin 2 diabeteksen, paksusuolisyövän sekä sydän- ja verisuonisairauksien riskin vähenemiseen (21,22). Interventiotutkimusten näyttö ei ole aivan yksiselitteinen, mutta niissäkin täysjyväviljan käyttö on liitetty painon, veren kolesterolipitoisuuden ja hiljaisen tulehduksen merkkiaineiden pienenemiseen sekä verenpaineen laskuun ja glukoosi- ja lipidiaineenvaihdunnan

paranemiseen (23). Näiden havaintojen ja vaikutusten voidaan sanoa vähintäänkin osittain johtuvan kuidun ja sen mukana kulkevien fyto-kemikaalien mikrobifermentaatiosta ja fermentaation tuottamista aineenvaihduntatuotteista.

## Punaisen ja prosessoidun lihan kulutuksen vähentäminen edistää suoliston ja metabolista terveyttä

Epidemiologiset tutkimukset ovat jo pitkään liittäneet runsaan punaisen ja prosessoidun lihan kulutuksen suurentuneeseen paksusuolisyövän riskiin (24). Näyttöä on viime vuosina kertynyt jonkin verran myös yhteydestä suurentuneeseen sydänsairauksien ja tyypin 2 diabeteksen riskiin (25,26). Yhteyden selittäviä fysiologisia mekanismeja ei ole vielä täysin todennettu, mutta punaisen ja prosessoidun lihan sisältämät proteiini, hemirauta, ja tyydyttynyt rasva voivat vuorovaikutuksessa suoliston mikrobiston kanssa tuottaa haitallisia yhdisteitä, jotka lisäävät sairastumisriskiä. Runsaasti punaista ja prosessoitua lihaa kuluttavat käyttävät myös vähemmän täysjyväviljaa, pähkinöitä ja hedelmiä (27), mikä tarkoittaa sairauksilta suojaavien tekijöiden puutetta ruokavaliossa ja siten mahdollisesti voimistaa punaisen ja prosessoidun lihan käyttöön assosioituvia haittoja.

Ravinnon proteiinit eivät täysin sula ohutsuolessa, ja ylijäävä osa päätyy paksusuoleen, missä mikrobisto fermentoi punaisesta ja prosessoidusta lihasta N-nitrosoyhdisteitä kuten N-nitrosoamiineja ja N-nitrosoamideja (28,29). Punaisen lihan hemirauta katalysoi reaktiota ja näin kiihdyttää N-nitrosoyhdisteiden muodostumista. N-nitrosoamiinit ovat prokarsinogeenisiä ja N-nitrosoamidit puolestaan suoraan karsinogeenisiä, ja niiden on havaittu aiheuttavan mutaatiota muun muassa APC- ja KRAS-geeneihin (30). Endogeeniset N-nitrosoyhdisteet on yksi vahvimista mekanismeista, joka selittää punaisen ja prosessoidun lihan yhteyttä suurentuneeseen paksusuolisyövän riskiin. Toistaiseksi ei ole julkaistu tutkimusta, jossa olisi kontrolloidusti katsottu nimenomaan punaisen ja prosessoidun lihan vaikutusta ulosteen N-nitrosoyhdisteisiin. Sen sijaan Russel ym. havaitsivat lihavilla miehillä

tehdyssä laihdutusinterventiossa, että vähähiilihydraattinen, vähäkuituinen ja runsasproteiininen ruokavalio johti verrokkiruokavaliota suurempaan N-nitrosoyhdisteiden ja haaraketuisten rasvahappojen sekä pienempään butyraatin pitoisuuteen ulosteessa (31). Tällainen metaboliittiprofili on oletettavasti haitallinen suolen epiteelisoluille ja voi altistaa paksusuolisöväälle.

Prosessoiduiksi lihatuotteiksi luokitellaan liha, joka on säilötty savustamalla, suolaamalla tai muilla säilöntäaineilla kuten natriitilla. Tyypillisiä esimerkkejä ovat pekoni, kinkku, ja erilaiset makkarat. Prosessoidut lihatuotteet sisältävät usein reilusti tyydyttynyttä rasvaa, joka voi indusoida maksan tuottamien primaaristen sappihappojen erityistä ohutsuoleen (32). Vaikka sappihapoista 95 % imeytyy takaisin elimistöön enterohepaattisessa kierrossa, paksusuoleen voi päätyä sitä enemmän sappihappoja, mitä runsaammin niitä on ohutsuolessa. Siellä tietyt bakteerit muokkaavat niistä sekundaarisia sappihappoja, jotka voivat tehokkaina emulgaattoreina vahingoittaa suolen seinämän soluja ja siten auttaa syöpäprosessia. Punaisessa ja prosessoidussa lihassa on myös orgaanisia rikkiyhdisteitä, jotka päätyessään paksusuoleen voivat toimia rikkää käyttävien mikrobien substraatteina ja johtaa rikkivedyn eli divety-sulfidin muodostumiseen. Rikkivety on paitsi pahan hajuisen myös haitallinen soluille (33).

Paksusuolen mikrobit tuottavat lähinnä eläinperäisestä ruoasta peräsin olevista karnitiinista, betaiinista, koliinista ja fosfatidyylikoliinista yhdistettä nimeltä trimetyyliamiini (TMA), joka siirtyy verenkierron mukana maksaan (29). Siellä se hapettuu entsyymitoiminnan seurauksena TMAO:ksi, joka puolestaan vapautuu verenkiertoon. TMAO:n määrä verenkierrossa riippuu ruokavaliosta sekä suolistomikrobiston ja yksilön geeneistä, jotka säätelevät maksan entsyymien aktiivisuutta. TMAO:n pitoisuudet veressä on yhdistetty verisuonten ateroskleroottisiin muutoksiin ja systeemiseen tulehdukseen ja sen myötä koko joukkoon erilaisia sairauksia ja häiriötiloja. Vahvinta näyttö on yhteydestä sydän ja verisuonitauteihin ja diabetekseen, vaikka paksusuolisöypäkin nousee esiin joissain tutkimuksissa (34).

## Kuinka käy vatsan tasapainon?

Palkokasvien ja täysjyväviljan sekä pähkinöiden lisääntyvä käyttö ja toisaalta lihan sekä maitotaloustuotteiden vähenävä käyttö voivat vaikuttaa joko myönteisesti tai negatiivisesti useisiin toiminnallisiin vatsavaivoihin. Keskeisin ravitsemuksellinen muutos vatsavaivojen näkökulmasta tällöin lienee kuidun määrän lisääntyminen. Eat Lancet -kasvipainotteinen ruokavalio sisältää kuitua 43 grammaa päivässä 2 500 kilokalorin energiatasolla (35), kun nykyinen suosituksemme on 25 grammaa naisille ja 35 grammaa miehille – tämä ero EAT Lancet -ruokavaliota ja nykyisen ravitsemussuosituksen välillä antaa kuvan siitä, kuinka suuresta kuidun saannin lisäyksestä voisi olla kyse siirryttäessä nykyruokavaliosta kasviproteiinipohjaisia tuotteita painottaviin. Toiminnallinen ummetus on erittäin yleinen vaiva. Sen ehkäisyn kannalta kuidun saannin lisääntyminen väestötasolla olisi eduksi. On mahdollista, että myös divertikuloosin ehkäisyn kannalta runsas kuidun saanti olisi jossain määrin hyödyllistä, etenkin kun punaisen ja prosessoidun lihan määrä vähenisi samalla (36).

Merkittävä osa gluteenipitoisten viljojen ja palkokasvien kuiduista on paksusuoleessa fermentoituvia hiilihydraatteja eli niin sanottuja FODMAPeja (fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols) (37). FODMAPien runsas määrä ruokavaliossa voi olla ongelma ärtyvän suolen oireyhtymästä ja toiminnallisesta turvottelusta kärsivillä (38). Toisaalta lisääntyvä kuidun saanti sekä punaisen ja prosessoidun lihan käytön väheneminen voisi teoreettisesti olla väestötasolla eduksi tulehduksellisten suolistosairauksien ehkäisyn näkökulmasta (39). Palkokasvien välillä on todennäköisesti jonkin verran eroa siedettävyydessä vatsavaivojen suhteen; esimerkiksi linssit sisältävät painoyksikköä kohden selvästi vähemmän FODMAPeja kuin kidneypavut (40).

Täysjyväviljatuotteiden sekä palkokasvi-  
tuotteiden FODMAP-pitoisuutta voidaan onneksi vähentää teollisesti tai ruoanvalmistusmenetelmin ja silti säilyttää tuotteen runsas kuitupitoisuus. Ensimmäinen mahdollisuus on lisätä fermentointimenetelmän käyttämistä

ruoanvalmistuksessa ja elintarviketeollisuudessa. Hapanjuurella, tietynlaisella hiivalla ja erityisillä mikrobisysteemeillä voidaan vähentää FODMAP-pitoisuutta esimerkiksi täysjyvätuotteista jopa 70–90 %, kun käsittelyaika (esimerkiksi leivän kohotus) on riittävän pitkä ja hapanjuuren tai mikrobisysteemin koostumus oikeanlainen (41). Myös papu- ja viljatuotteiden säilyttäminen tai liottaminen vedessä hyvin pitkään vähentää varsinaisessa syötävässä tuotteessa olevien FODMAPien määrää, sillä FODMAPit ovat vesiliukoisia ja liukenevat vähitellen veteen tai etikka-vesiseokseen (42). Esimerkiksi tölkitetyistä kidney-pavuista on hävinnyt FODMAPeja jopa 80 % varastoinnin aikana, jos säilytysneste on vesipohjainen. Kidney-pavun FODMAP-pitoisuus ylittää vielä tällöinkin teoreettisen kynnyksarvon ärtyvän suolen oireen provosoitumiselle (42). FODMAPit eivät liukene rasvaan, kuten öljypohjaiseen säilytysnesteeseen. Kolmas tapa on käyttää erilaisia spesifisiä entsyymikäsittelyjä, joilla pyritään teollisesti vähentämään palkokasvi- tai viljatuotteiden FODMAPeja eli oligosakkarideja (41).

Suoliston mikrobistolla on kyky sopeutua vallitsevaan ruokavalioon. Tiedetään esimerkiksi, että itsensä siedättäminen muutamman viikon ajan palkokasvien sisältämällä FODMAP-hiilihydraatilla, galakto-oligosakkaridilla, vähentää vähitellen kaasun muodostusta ja siten vatsavaivoja (42). Suoli voi siis tottua sietämään vähin erin korkeampaa FODMAPien määrää ruokavaliossa ainakin, kun ei ole kyse ärtyvän suolen oireyhtymästä kärsivästä henkilöstä. Suomalaisella tutkimusryhmällä on parhaillaan tekeillä tutkimus, jossa testataan myös ärtyvän suolen oireyhtymästä

kärsivien mikrobiston mukautumista ja tutkittavien tottumista oireiden osalta vähin erin tapahtuvaan ja systemaattiseen FODMAPien lisäämiseen, yhdistettynä joko lume- tai aktiiviseen ulosteen siirtoon (43).

## Lopuksi

Tutkimusmenetelmien kehittymisen myötä ravinnon merkitys suoliston terveydelle, sen mikrobistolle ja koko elimistön terveydelle on noussut tärkeäksi tutkimusalueeksi parin viime vuosikymmenen aikana. Silti olemme vasta alkutaipaleella sen ymmärtämisessä, miten ravinnon ja mikrobiston vuorovaikutus heijastuu koko elimistön terveyteen.

Ymmärrämme jo aika paljon kuitujen tärkeydestä terveydelle edullisina, mutta proteiinien ja typen metabolia paksusuolella on edelleen vähän tutkittu alue. Paksusuoleen päättyy proteiineja, ja proteiinien fermentaatio on yhdistetty epäedullisiin terveysvaikutuksiin. Liittyykö tämä pelkästään eläinperäisiin proteiineihin ja kompensoiko kasvipöytäisten proteiinilähteiden kuitu ja fytokeemikaalit proteiinifermentaation mahdollisia haitallisia vaikutuksia? Lähes kaikki tähänastiset tutkimukset on tehty aikuisilla työikäisillä, joten on selkeä tarve tutkia myös muita ikäryhmiä kuten pieniä lapsia ja ikääntyneitä.

Suolistomikrobisto on kullakin yksilöllä omanlaisensa ja tuottaa siksi yksilöllisiä vasteita ruokaan vaihtelevasta metaboliittiprofiilista vatsavaivoihin. Tämä tarjoaa sekä haasteita että mahdollisuuksia sekä ruokavalion kestävyys siirtymän että tehokkaamman yksilöllisen ruokavalio-ohjauksen suhteen. ■

### ANNE-MARIA PAJARI, apulaisprofessori

Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ravitsemustieteiden osasto

### MARJUKKA KOLEHMAINEN, professori

Itä-Suomen yliopisto, Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö

### REIJO LAATIKAINEN, FT, ravitsemusterapeutti

Booston Oy

### ANNE SALONEN, dosentti

Helsingin yliopisto, Ihmisen mikrobiomit -tutkimusohjelma

### TEEMAN TOIMITTAJAT

Mikael Fogelholm, Anne-Maria Pajari, Maijalisa Erkkola, Niina Matikainen ja Merja Laine

### SIDONNAISUUDET

**Anne-Maria Pajari:** Ei sidonnaisuuksia

**Marjukka Kolehmainen:** Ei sidonnaisuuksia

**Reijo Laatikainen:** Koulutus, konsultointi ja asiantuntijatoiminta (Biocodex Oy, Pfizer Oy, Fazer Oyj, Valio Oyj)

**Anne Salonen:** Terveystieteiden alalla toimivat yritykset, joilta olet saanut taloudellista tukea tutkimukseen ja kehitystyöhön (Valio Ltd, Janssen, R&D), koulutus, konsultointi ja asiantuntijatoiminta (BioCodex)

## KIRJALLISUUTTA

1. Kaartinen N, Tapanainen H, Männistö S, ym. Aikuisväestön ruoankäyttö ja ravintoaineiden saannin muutokset vuosina 1997-2017: kansallinen FinRavinto-tutkimus. *Lääkärilehti* 2021;76:273-8.
2. Valsta L, Kaartinen N, Tapanainen H, ym. toim. Ravitsemus Suomessa – FinRavinto 2017 -tutkimus. Helsinki: Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen raportti 12/2018.
3. Makki K, Deehan EC, Walter J, ym. The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell Host Microbe* 2018;23:705-15.
4. Zmora N, Suez J, Elinav E. You are what you eat: diet, health and the gut microbiota. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2019;16:35-56.
5. O’Keefe SJ, Li JV, Lahti L, ym. Fat, fibre and cancer risk in African Americans and rural Africans. *Nat Commun* 2015;6:6342.
6. de Vos WM, Tilg H, Van Hul M, ym. Gut microbiome and health: mechanistic insights. *Gut* 2022;71:1020-32.
7. Derrien M, Veiga P. Rethinking diet to aid human-microbe symbiosis. *Trends Microbiol* 2017;25:100-12.
8. Armet AM, Deehan EC, O’Sullivan AF, ym. Rethinking healthy eating in light of the gut microbiome. *Cell Host Microbe* 2022;30:764-85.
9. Gibson G, Hutkins R, Sanders M, ym. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2017;14:491-502.
10. Suez J, Cohen Y, Valdés-Mas R, ym. Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell* 2022;185:3307-28.
11. Chassaing B, Compher C, Bonhomme B, ym. Randomized controlled-feeding study of dietary emulsifier carboxymethylcellulose reveals detrimental impacts on the gut microbiota and metabolome. *Gastroenterology* 2021;162:743-56.
12. Barabasi A-L, Menichetti G, Loscalzo J. The unmapped chemical complexity of our diet. *Nat Food* 2020;1:33-7.
13. Zhang G, Hamaker BR. Cereal carbohydrates and colon health. *Cereal Chem* 2010;87:331-41.
14. Brummer Y, Kaviani M, Tosh SM. Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. *Food Research International* 2015;67:117-25.
15. Gill SK, Rossi M, Bajka B, ym. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2021;18:101-16.
16. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to barley beta- glucans and lowering of blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to article 14 of regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA J* 2011;9:2470.
17. Blaak EE, Canfora EE, Theis S, ym. Short chain fatty acids in human gut and metabolic health. *Benef Microbes* 2020;11:411-55.
18. Song M, Chan AT, Sun J. Influence of the gut microbiome, diet, and environment on risk of colorectal cancer. *Gastroenterology* 2020;158:322-40.
19. Monk JM, Lepp D, Wu W, ym. Navy and black bean supplementation primes the colonic mucosal microenvironment to improve gut health. *J Nutr Biochem* 2017;49:89-100.
20. Desai MS, Seekatz AM, Koropatkin NM, ym. A dietary fiber-deprived gut microbiota degrades the colonic mucus barrier and enhances pathogen susceptibility. *Cell* 2016;167:1339-53.
21. Kwok CS, Gulati M, Michos ED, ym. Dietary components and risk of cardiovascular disease and all-cause mortality: a review of evidence from meta-analyses. *Eur J Prev Cardiol* 2019;26:1415-29.
22. Reynolds A, Mann J, Cummings J, ym. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *Lancet* 2019;393:434-45.
23. Poutanen K, Kärlund A, Gómez-Gallego C, ym. Grains – a major source of sustainable protein for health. *Nutr Rev* 2021;80:1648-63.
24. Diet, nutrition, physical activity and colorectal cancer. Lontoo: World Cancer Research Fund International. [www.dietandcancerreport.org](http://www.dietandcancerreport.org).
25. Key TJ, Appleby PN, Bradbury KE, ym. Consumption of meat, fish, dairy products, and eggs and risk of ischemic heart disease. *Circulation* 2019;139:2835-45.
26. Neuenschwander M, Ballon A, Weber KS, ym. Role of diet in type 2 diabetes incidence: umbrella review of meta-analyses of prospective observational studies. *Br Med J* 2019;366:19.
27. Fogelholm M, Kanerva N, Männistö S. Association between red and processed meat consumption and chronic diseases: the confounding role of other dietary factors. *Eur J Clin Nutr* 2015;69:1060-5.
28. Gaudichon C, Bos C, Morens C, ym. Ileal losses of nitrogen and amino acids in humans and their importance to the assessment of amino acid requirements. *Gastroenterology* 2002;123:50-9.
29. Zhang W, An Y, Qin X, ym. Gut microbiota-derived metabolites in colorectal cancer: the bad and the challenges. *Front Oncol* 2021;11:739648.
30. Gilsing AM, Fransen F, de Kok TM, ym. Dietary heme iron and the risk of colorectal cancer with specific mutations in KRAS and APC. *Carcinogenesis* 2013;34:2757-66.
31. Russell WR, Gratz SW, Duncan SH, ym. High-protein, reduced-carbohydrate weight-loss diets promote metabolite profiles likely to be detrimental to colonic health. *Am J Clin Nutr* 2011;93:1062-72.
32. Song M, Chan AT, Sun J. Influence of the gut microbiome, diet, and environment on risk of colorectal cancer. *Gastroenterology* 2020;158:322-40.
33. Hellmich MR, Szabo C. Hydrogen sulfide and cancer. Kirjassa: Moore P, Whiteman M, toim. Chemistry, biochemistry and pharmacology of hydrogen sulfide. Handbook of experimental pharmacology. Lontoo: Springer 2015, s. 233-41.
34. Li D, Lu Y, Yuan S, ym. Gut microbiota-derived metabolite trimethylamine-N-oxide and multiple health outcomes: an umbrella review and updated meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2022;116:230-43.
35. Willett W, Rockström J, Loken B, ym. Food in the anthropocene: the EAT-Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 2019;393:447-92.
36. Carabotti M, Falangone F, Cuomo R, ym. Role of dietary habits in the prevention of diverticular disease complications: a systematic review. *Nutrients* 2021;13:1288.
37. Laatikainen R, Hillilä M. Onko ärtyvän suolen oireyhtymän ruokavaliohoito selkiytymässä?: fermentoituvien hiilihydraattien rajoituksella lupaavia tuloksia. *Suom Lääkäril* 2012;67:2377-82.
38. Altobelli E, Del Negro V, Angeletti PM, ym. Low-FODMAP diet improves irritable bowel syndrome symptoms: a meta-analysis. *Nutrients* 2017;9:940.
39. Piovani D, Danese S, Peyrin-Biroulet L, ym. Environmental risk factors for inflammatory bowel diseases: an umbrella review of meta-analyses. *Gastroenterology* 2019;157:647-59.
40. Tuck C, Ly E, Bogatyrev A, ym. Fermentable short chain carbohydrate (FODMAP) content of common plant-based foods and processed foods suitable for vegetarian- and vegan-based eating patterns. *J Hum Nutr Diet* 2018;31:422-35.
41. Galgano F, Mele MC, Tolve R, ym. Strategies for Producing Low FODMAPs foodstuffs: challenges and perspectives. *Foods* 2023;12:856.
42. Mego M, Manichanh C, Accarino A, ym. Metabolic adaptation of colonic microbiota to galactooligosaccharides: a proof-of-concept-study. *Aliment Pharmacol Ther* 2017;45:670-80.
43. Arkkilä P, Lahtinen P. Fecal microbiota transplantation for irritable bowel syndrome associated food intolerance. *ClinicalTrials.gov*. <https://clinicaltrials.gov/study/NCT05361785>.