

Sanna Lensu ja Satu Pekkala

Suoliston mikrobit ja fyysinen suorituskyky

Suolistoamme asuttava miljardilukuinen mikrobiyhteisö osallistuu fysiologiaamme monin tavoin. Se kykenee esimerkiksi hajottamaan ravinnosta yhdisteitä, joihin omat entsyymimme eivät pure. Poikittaistutkimuksissa on löydetty ihmisen fyysisen suorituskyvyn ja suolistomikrobien välisiä yhteyksiä. Liikunta-aktiivisuus näyttäisi lisäävän tiettyjen terveysvaikutteisten suolistomikrobien määrää. Pitkittäistutkimuksista tekemämme systemoitu katsaus osoittaa, että liikunta vaikuttaa ihmisten suolistomikrobeihin, mutta tulokset ovat ristiriitaisia. Yleisimmin keskikuormittava kestävyysliikunta on aiheuttanut eniten muutoksia suolistossa, mutta tähänastinen tutkimus on painottunut iäkkäisiin, ylipainoisiin tai aktiivurheilijoihin, joten lisää tutkimuksia tarvitaan. Lisäksi tutkimus osoittaa, että tietyt suolistomikrobit voivat lisätä liikkumista ja suorituskykyä. On myös tutkimusnäyttöä siitä, että jotkin probioottiset bakteerit voivat ehkäistä urheilijoille yleisiä hengitystieinfektioita sekä siten tehostaa harjoittelua ja parantaa suorituskykyä.

Suolisto asuttavia mikrobeja on niin paljon, että ne painavat aikuisella noin puolitoista kilogrammaa. Arvioidaan, että suolistossa on kolme kertaa enemmän mikrobeja kuin ihmisessä on soluja. Tämän kertoimen avulla voidaan olettaa puolentoista kilogramman massan muodostuvan biljoonista suoliston asukeista (1).

Suolistomikrobien tutkimus on keskittynyt bakteereihin, koska niiden analysointi on ollut teknisesti helpompaa kuin muiden mikrobien. Suolistossa elää kuitenkin myös viruksia, hiivoja ja alkueläimiä (1). Suurin osa suolistobakteereista kuuluu firmikuuttien ja bakteroidien pääjaksoihin. Muita tyyppillisiä pääjaksoja ovat proteobakteerit, verrukomikrobit ja aktinobakteerit (1).

Suolistomikrobien vaikutus elimistön fysiologiaan ja immuunipuolustukseen sekä ravintoaineiden pilkkomiseen ja hyväksikäyttöön on tiedetty vuosikymmenien ajan (kuva) (2). Suolistomikrobien vaikutukset välittyvät paljolti niiden aineenvaihduntatuotteiden avulla. Esimerkiksi bakteerien ihmisen ravinnon kuidusta pilkkoma butyraatti lisää rasvojen hapettumista maksassa (3). Kuidun mikrobifermentaatio myös vähentää suolen seinämän läpäisevyyttä ja tulehduksellisia reaktioita (4).

Mikrobiston koostumus on sekä perittyä että ympäristöön ja elintapoihin sitoutunutta. Monipuolinen ja runsaskuituinen, paljon kasviksia sisältävä ruokavalio lisää mikrobiston monimuotoisuutta, kun taas yksipuolinen, teollinen ja vähäkuituinen ravinto köyhdyttää sitä. Kehon hyvinvointi edesauttaa myös mikrobiston hyvinvointia ja suoliston terveyttä: säännölliset elintavat, monipuolinen ravinto, sopivat mikrobikontaktit luonnosta, riittävä uni ja liikunta ovat mikrobeille hyväksi. Aiheesta on tuoretta kotimaista kirjallisuutta (5).

Mikrobistoa voi myös muovata pre- ja probiooteilla. WHO:n määritelmän mukaan prebiootit ovat sulamattomia ravintokuituja, joita suoliston mikrobit hajottavat. Prebiootit edistävät terveydelle suotuisten suolistobakteerien kasvua. Probiooteilla taas tarkoitetaan eläviä mikrobeja, joilla sopivassa määrin suun kautta nautittuna on todistettuja terveysvaikutuksia.

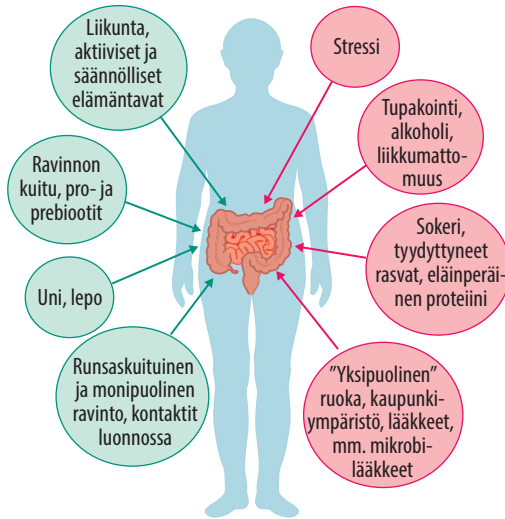
Suorituskyvyn ja suolistomikrobien väliset yhteydet

Poikittaistutkimuksia fyysisen suorituskyvyn, terveysmuuttujien ja suolistomikrobiston yhteydestä on tehty runsaasti (6), ja käsittelemme niistä tässä vain muutamia. Ensimmäi-

Tuottaa
B12- ja K-vitamiineja, lyhytketjuisia rasvahappoja (SCFA) ja hermovalittajaineita

Opettaa
immuunipuolustusta erottamaan viholliset ystäväistä

Ylläpitää
suoliston epiteeliä ja suolen sisällön pH:ta



Auttaa
suoliston peristaltiikkaa, ravintoaineiden hajotuksessa ja imeytymisessä sekä aineenvaihduntaa säätelevien hormonien tuottamisessa

Puolustaa
taudinaiheuttajia vastaan

Hajottaa
ravintoaineita ja elimistöille vieraita aineita

- Kuitujen pilkkominen → mikrobit tuottavat SCFA:ta ↑ → rasvojen beetaoksidointi ↑ ja suolistohormonien erityis → kylläisyys ↑
- SCFA ↑ → verengluukoosipitoisuus, suolen sisällön pH ja tulehdus ↓
- Immuunivasteet ↑
- Suolen läpimenoaika ↓
- Mikrobiston monimuotoisuus ↑
- Suolen seinämän tiiviyys ↑
- Suolen epiteelisolujen ja musiinikerroksen toiminta ↑

- Proteiinipitoisen ruuan pilkkominen → aminohappoja → mm. rikkiptoisia yhdisteitä ja amiineja
- Proteiiniaineenvaihdunnan tuotteet ↑ lievästi tulehdusta
- SCFA ↓ → rasvojen beetaoksidointi ja suolistohormonien erityis ↓
- Mikrobiston muovautuminen dysbiootiseksi
- Suolen läpimenoaika ↑
- Suolen seinämän rakenneliitokset ja musiinikerroksen toiminta ↓

KUVA. Suolistomikrobeilla on merkittäviä ihmisen fysiologisia toimintoja tukevia ja ylläpitäviä tehtäviä (36). Vihreissä ympyröissä on mikrobistolle suotuisia tekijöitä ja punaisissa mikrobistoa ja sen toimintaa heikentäviä tekijöitä. Suolistomikrobiston keskeisimmät fysiologiset ja terveyttä ylläpitävät tehtävät on kuvattu kuvan alaosan laatikoissa. Vasemmalla vihreäpohjaisessa laatikossa on esitetty muutamia tunnettuja mekanismeja mikrobien terveysvaikutuksista. Mikrobit muun muassa hajottavat pilkkoutumattomia polysakkarideja, mikä tuottaa lyhytketjuisia rasvahappoja (short chain fatty acids, SCFA). SCFA:t lisäävät

rasvahappojen hapettumista ja suolistohormonien vapautumista, jotka voivat lisätä kylläisyyttä ja edistävät glukoosiaineenvaihduntaa. Lisäksi SCFA:t happamoittavat paksusuolen sisältöä. Mikrobit aineenvaihduntatuotteineen edistävät suolen seinämän solujen välisen liitosten toimintaa, jolloin tulehdus vähenee. Lisäksi mikrobien aineenvaihduntatuotteet ehkäisevät tulehdusta ja myös stimuloivat muiden tulehdusta ehkäisevien molekyylien tuotantoa. Punaisessa laatikossa oikealla on kuvattu epätasapainoisen suolistomikrobiston toimintaa ja sen seurauksia.

↑ = lisääntyy tai suurenee, ↓ = vähenee tai pienenee

siä viitteitä liikunnan ja mikrobien keskinäisestä positiivisesta yhteydestä ihmisaineistossa saatiin tutkimuksesta, jossa verrattiin ammattilaisrugbyn pelaajia painoindeksiin ja iän osalta samankaltaiseen, fyysisesti inaktiiviseen ihmisjoukkoon (7). Urheilijoiden suolistomikrobisto oli monimuotoisempi kuin liikuntaa harrastamattomien. Monimuotoisuus oli edelleen yhteydessä erityisesti ravinnon proteiinin määrään.

Sittemmin on havaittu, että fyysinen suorituskyky voi selittää yli 20 % suolistomikrobiston lajirikkaudesta (8). Metagenomianalyysien perusteella havaittiin suorituskyvyllä olevan myös merkittävä yhteys moniin mikrobien toimintoihin, kuten lisääntyneeseen butyraa-

tin ja muiden lyhytketjuisten rasvahappojen tuottoon (8). On siis mahdollista, että hyvä fyysinen suorituskyky voisi vaikuttaa suotuisasti terveyteen myös suolistomikrobien tehostuneen aineenvaihdunnan kautta. Tähänastinen poikittaistutkimus on ollut pääosin korrelatiivista, eikä tarkkaa mekanismitutkimusta suolistomikrobien merkityksestä suorituskyvylle ole juurikaan tehty.

Liikunta voi lisätä *Akkermansia-bakteria* suolistossa

Edellä mainitussa tutkimuksessa *Akkermansia muciniphila* -bakteerin määrä oli rugbyn pelaajien

jilla suurempi kuin fyysisesti inaktiivisilla verrokeilla (7). *Akkermansia* on liitetty tutkimuksissa hyvään kokonaisvaltaiseen terveyteen (9). Omassa tutkimuksessamme osoitimme, että kuuden viikon kestävyysliikunta lisäsi sen määrää entuudestaan inaktiivisten ja ylipainoisten naisten suolistossa (10). Espanjalaisessa poikitaistutkimuksessa *Akkermansia*-bakteerin määrä todettiin suuremmaksi fyysisesti aktiivisilla kuin inaktiivisilla naisilla (11).

Näiden tutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että terveysvaikutteinen *Akkermansia* voi lisääntyä suolistossa liikunnallisen elämäntyylin ansiosta. Koska *Akkermansian* on osoitettu vähentävän ylipainoa ja parantavan ylipainoisten insuliiniherkkyttä, on mahdollista, että se on mukana välittämässä liikunnan suotuisia vaikutuksia kehon painoon ja aineenvaihduntaan (12). Ei kuitenkaan ole selvää, miksi ja miten liikunta lisäisi juuri *Akkermansia*-bakteereiden määrää.

Liikunnan vaikutus suolistomikrobeihin – systemoitu katsaus pitkittäistutkimuksista

Systemoidussa etsinnässä löysimme Pubmedista 12 tutkimusta, joissa selvitettiin pitkäaikaisen liikunnan vaikutuksia ihmisen suolistomikrobistoon. Hakusanat ”gut microbiota, exercise training, human” tuottivat 415 tulosta, joista 11 oli alkuperäisartikkeleita. Hakusanat ”gut microbiota, exercise intervention, human” tuottivat 200 tulosta, joista kahdeksan oli alkuperäisartikkeleita ja samoja kuin edellä mainitussa haussa. Hakusanat ”gut microbiota, prolonged exercise, human” tuottivat 14 tulosta, joista kaksi oli alkuperäisartikkeleita ja toinen löytyi edellä kuvatuissa hauissa.

Tutkimukset ja niiden tulokset on tiivistetty **INTERNETTAULUKKON**. Tulokset ovat ristiriitaisia, mikä johtunee tutkimusasetelmien, tutkittavien ja liikuntainterventioiden eroista.

Kestävyysliikunta. Keskikuormittavan kestävyysliikunnan, jonka määrää ja intensiivisyyttä lisättiin etenevästi kuuden viikon ajan, osoitettiin vaikuttavan ihmisten suolistomikrobistoon eri tavoin sen mukaan, olivatko tutkittavat yli- vai normaalipainoisia (13). Kestävyys-

liikunta lisäsi normaalipainoisilla muun muassa terveysvaikutteisten fekalibakteerien (lähinnä *Faecalibacterium prausnitzii*) määrää, ja butyraatin tuotto lisääntyi. Liikuntajakson loputtua kaikki suolistossa tapahtuneet muutokset kuitenkin palautuivat alkutilanteeseensa (13).

Mikrobiston suotuisien muutosten ylläpitämiseksi näyttäisi siis olevan tärkeää muuttaa elintapa pysyvästi fyysisesti aktiiviseksi. Edellä mainitussa omassa ylipainoisten tutkimuksessamme kuuden viikon kestävyysliikunta ei vaikuttanut fekalibakteerimäärään mutta vähensi merkittävästi proteobakteereja, jotka saattavat aiheuttaa tulehdusta (10). Jatkossa olisi tärkeää selvittää, millaisilla mekanismeilla liikunta vaikuttaa niin normaali- kuin ylipainoistenkin suolistomikrobistoon sekä mikä on ravitsemuksen ja liikunnan tuottamien elintapamuutosten osuus muutoksissa.

Etenevän kestävyysharjoittelun vaikutuksia suolistomikrobeihin on tutkittu myös terveillä, yli 60-vuotiailla miehillä (14). Kestävyysharjoittelun aikana mikrobiston monimuotoisuus ja verenpaine olivat negatiivisesti yhteydessä toisiinsa, vaikkei harjoittelu muuttanutkaan mikrobiston monimuotoisuutta.

Liikuntajakson aikana *Oscillospira*-suvun bakteerien määrä lisääntyi, mutta merkitsevä muutos hävisi, kun kovariaatteina käytettiin ravinnon vihannesten, leivän ja riisin määrää. Tutkimuksessa havaittiin myös, että *Clostridium difficile* -bakteeri väheni riippumatta ravintotekijöistä. Ei ole kuitenkaan selvää, miten liikunta voisi vaikuttaa *Oscillospiraan* tai *C. difficileen*, vaikka nämä muutokset liittyivät kardiometabolisiin terveysmuutuksiin.

Mikrobiston ribosomaalisista sekvensseistä ennustetut funktiot osoittivat, että liikunta lisäsi bakteerien geneettisen tiedon käsittelyä ja nukleotidien aineenvaihduntaa, mikä voi kuvastaa mikrobiston sopeutumista liikunnan tuottamiin muutoksiin suolistossa. Liikunnan tiedetään edistävän suoliston peristaltiikkaa ja nopeuttavan läpimenoaikaa, mikä voi vaikuttaa mikrobiomiin (15). Vaikka tarkkaa liikunnan vaikutusmekanismia ei toistaiseksi tunneta, transkriptiotekijä aryylihiilivetyreseptorin (AhR) on osoitettu toimivan suolistossa keskeisenä fysiologisena säätelijänä enteerisissä

hermosoluissa, joissa se välittää mikrobiston vaikutuksia muun muassa peristaltiikkaan (16).

Voima- ja kestävyysharjoittelu. Irlantilaisryhmä selvitti yhdistetyn voima- ja aerobisen harjoittelun sekä heraproteiinilisän vaikutusta fyysisesti inaktiivisten, ylipainoisten ihmisten suolistomikrobistoon (17). Proteiinilisät kuuluvat usein liikuntaa harrastavien ruokavalioon, ja niillä on osoitettu olevan positiivinen yhteys terveydelle suotuisaan mikrobistoon (18).

Irlantilaistutkimuksessa kahdeksan viikon harjoittelu aiheutti suolistomikrobistossa vain pieniä muutoksia. Näistä mainittakoon virusten monimuotoisuuden väheneminen, joka näkyi kuitenkin vain ryhmässä, joka harjoitteli ja söi heraproteiinia (17). Toisessa tutkimuksessaan ryhmä selvitti saman harjoittelumuodon vaikutuksia mikrobeihin ja niiden toimintoihin metagenomisekvensoinnin avulla (19). Tutkittavat olivat ylipainoisia, tulehduksellista suolistosairautta potevia, mutta tässäkin tutkimuksessa ei havaittu liikunnan vaikutuksia mikrobimuutuksiin.

Myös tyypin 2 diabeetikoiden ja rasvamaksapotilaiden yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun mikrobistovaikutuksia on tutkittu (20,21). Harjoittelu vähensi *Candida albicans*-hiivan ja muiden sienten määrää diabeetikoiden suolistossa (analyysit tavanomaisilla viljelytekniikoilla) sekä suoliston seinämän läpäisevyyttä kuvastavan tsonuliinin määrää heidän ulosteessaan (20). Rasvamaksapotilaiden osalta liikunta lisäsi bakteroidien, arkeoneihin kuuluvan *Euryarchaeota*-pääjakson sekä delta- ja beetaproteobakteerien määrää, kun taas aktinobakteerit vähenivät (21).

Japanilaisryhmä tutki erikseen aerobisen ja keskikehon voimaharjoittelun vaikutuksia yli 65-vuotiaiden naisten suolistoon (22). Aerobinen harjoittelu lisäsi *Bacteroides*-suvun bakteerien määrää ja vähensi *Clostridium*-subklusteri XIVa:n määrää, kun voimaharjoittelu lisäsi *Clostridium*-klusteri IX:n määrää. Tutkijat ajattelivat, että *Bacteroides*-suvun bakteerien lisääntyminen johtuisi siitä, että aerobisen liikunnan seurauksena suolen läpikulku aika lyhenee ja lyhytkestoisten rasvahappojen tuotto lisääntyy, jolloin seurauksena on paksusuolen pH:n aleneminen sopivan happamaksi *Bacteroides*-su-

vun bakteereille. Tämä päätelmä on kuitenkin ristiriidassa sen kanssa, että butyraattia tuottavan *Clostridium*-subklusteri XIVa:n määrä väheni.

Kovatehoinen liikunta. Suomalaistutkimuksessa selvitettiin kaksi viikkoa kestävä, kuntopyörällä tehdyn nousujohteisen intervalliharjoittelun (4–6 puolen minuutin työjaksoa neljän minuutin tauoilla) ja yhtäjaksoisen harjoittelun (40–60 minuuttia teholla, joka oli 60 % maksimaalisesta hapenottokyvystä) vaikutuksia insuliiniresistenttien ihmisten suoliston tulehdustekijöihin ja mikrobeihin (23).

Molemmat harjoittelumuodot vähensivät suoliston tulehdusta sekä firmikuuttien ja bakteroidien keskinäistä suhdetta. Edellämainitun suhdeluvun suureneminen on liitetty lihavuuteen ja tyypin 2 diabetekseen (24). Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että tiedetysti tulehdusta aiheuttavat klostridit (25) vähenivät ja fekalibakteerit lisääntyivät liikunnan seurauksena (23).

Tanskalaiset tutkivat erilaisten liikuntamuotojen vaikutuksia lihaviin ja ylipainoisiin henkilöihin. Kuuden kuukauden kovatehoinen kestävyysliikunta viidesti viikossa lisäsi suolistomikrobiston monimuotoisuutta, vaikka suora yhteyttä sen ja hapenottokyvyn välillä ei todettu (26). Kovatehoisessa liikuntaryhmässä tutkittavien mikrobisto samankaltaistui eniten muihin ryhmiin verrattuna.

Kun mikrobien toimintaa tutkittiin sekvensseistä ennustettujen funktioiden avulla, havaittiin, että keskikuormittavasti liikkuvien ryhmässä mikrobien hajottivat enemmän hiilihydraatteja ja aminohappoja (26). Edellä mainitut muutokset liittyivät ravinnon hiilihydraattimäärään, joten on mahdollista, etteivät mikrobivaikutukset olleet yksinomaan liikunnan aikaansaamia, vaan myös ravitsemus vaikutti niihin.

Vastoin ylipainoisia tai lihavia tutkittaessa havaittuja kovatehoinen liikunnan suotuisia vaikutuksia, normaali- ja ylipainoisten miesten tutkimuksessa kovatehoinen intervalliharjoittelu ei havaittu vaikuttavan suolistomikrobiston monimuotoisuuteen tai koostumukseen (27). Bakteerisukujen määrätkään eivät liittyneet suorituskykyyn.

Edellä kuvattujen tutkimusasetelmien erot

voivat vaikuttaa eriäviin mikrobistotuloksiin. Suomalaistutkimuksessa tutkittavat olivat pre-diabeetikkoja tai diabeetikkoja, eikä siinä kuvattu tutkittavien suoriutumista harjoittelusta, vaikka liikuntakerrat olivatkin valvottuja (23). Kovatehoinen harjoittelu oli kaikissa tutkimuksissa erilaista ([INTERNETTAULUKKO](#)). Vaikka ravitsemusta oli seurattu muissa kuin suomalais-tutkimuksessa, yhdessäkin tutkimuksista sitä ei oltu vakioitu kokeen aikana.

Kahdessa lyhytkestoisessa tutkimuksessa on selvitetty erittäin raskaan kestävyysliikunnan vaikutuksia suolistoon. Neljä päivää kestävä, kuormittava 51 kilometrin murtomaahiihtomarssi lisäsi mikrobiston monimuotoisuutta mutta vähensi terveyttä edistävien ja lisäsi tulehdusta aiheuttavien mikrobien määrää (28). Toisessa tutkimuksessa 33 päivää kestävä 5 000 kilometrin valtamerisoutu lisäsi urheilijoiden mikrobiston monimuotoisuutta ja butyraattia tuottavien bakteerilajien määrää (29). Lisäksi S-adenosyyylimetioniinin, aminohappojen ja rasvahappojen aineenvaihduntaan liittyvät geenit lisääntyivät mikrobistossa.

Suolistomikrobit voivat parantaa suorituskyyä

Jos liikunta vaikuttaa suolistomikrobistoon, myös mikrobit voivat lisätä liikkumista ja vaikuttaa suorituskyyyn. Yhdysvaltalaiset tutkijat selvittivät maratonin vaikutusta 15 juoksijan suolistomikrobistoon (30). He havaitsivat, että *Veillonella*-bakteerien määrä lisääntyi maratonin jälkeen.

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, olisiko kyseisellä bakteerilla jonkinlainen vaikutus suorituskyyyn. Maratonjuoksijoiden ulosteesta eristettiin *V. atypica* -bakteerikanta, jota syötettiin laboratoriohiirille. Bakteeria suolistoonsa saaneet hiiret juoksivat 13 % kauemmin kuin laktobasilleja saanut verrokkiryhmä. Parantunut suorituskyy liittyi tutkijoiden mukaan ainakin osaksi siihen, että urheilusuorituksen seurauksena syntyvää ja elimistöä kuormittavaa laktaattia kuljetettiin suolistoon, missä *V. atypica* -bakteerit tuottivat laktaattista lyhytketjuisia rasvahappoja (30).

Kahdessa muussakin kokeellisessa tutki-

Ydinasiat

- ▶ Suoliston hyvinvointi tai huonovointisuus vaikuttavat ihmiseen monin tavoin.
- ▶ Merkittävin välikäsi muun kehon ja suoliston välisessä kommunikaatiossa on ravitsemus.
- ▶ Suolistomikrobit pilkkovat ravinnosta yhdisteitä, jotka toimivat kudosten välisinä viestiaineina ja siten vaikuttavat muun muassa aineenvaihduntaan.
- ▶ Liikunta muokkaa suolistomikrobiston koostumusta ja monimuotoisuutta.
- ▶ Tietyt mikrobit saattavat jopa lisätä liikunta-aktiivisuutta ja suorituskyyä.
- ▶ Terveysvaikutteisista maitohappobakteereista voi olla hyötyä aktiiviliikkuville.

muksessa on kyetty osoittamaan, että urheilijan ulosteesta eristetyt suolistomikrobikannat paransivat hiirten suorituskyyä, kun hiiret saivat bakteerit suolistoonsa suun kautta. Taiwanilaiset tutkijat eristivät olympialaisissa kultamitalin voittaneen painonnostajan ulosteesta *Bifidobacterium longum* -OLP-01 -bakteerikannan (31). Neljä viikkoa OLP-01:tä suun kautta saaneiden hiirten kestävyysuorituskyy parani merkittävästi ja veren laktaattipitoisuudet pienenevät verrattuna lumelääkityihin hiiriin. Lisäksi OLP-01-bakteeria saaneiden hiirten lihaksen ja maksan glykogeenin määrä oli neljän viikon jälkeen suurempi kuin verrokkihierden (30).

Toisessa tutkimuksessa sama tutkimusryhmä eristi edellä mainitun urheilijan ulosteesta *Lactobacillus salivarius* subspecies *salicinius* -SA-03 -bakteerikannan, joka myös aiheutti samanlaisen vasteen kuin bifidobakteeri (32).

Näiden eläinkokeiden jälkeen OLP-01-bakteeria on tutkittu jo ihmisillä. Yhteensä 21:lle kestävyysjuoksijalle jaettiin lumetta tai OLP-01-bakteeria viiden viikon ajan (33). Ensimmäiset kolme viikkoa tutkittavat harjoittelivat normaalisti, ja kaksi viimeistä viikkoa olivat harjoittelutaukoa. Ennen interventiota ja sen jälkeen heille tehtiin 12 minuutin Cooperin testi, jossa ryhmien tulokset eivät eronneet. Alkutilantee-

seen verrattuna OLP-01-bakteeria saaneen ryhmän juoksutulos kuitenkin parantui huomattavasti enemmän kuin lumeryhmän. Bakterilisiä ei vaikuttanut tutkittavien veren laktaattipitoisuuksiin, mutta suolistossa se sai aikaan proteobakteerien vähenemisen sekä laktobasillien ja bifidobakteerien lisääntymisen (33).

Muutamien tutkimusten mukaan probioottiset ravintolisät saattavat auttaa parantamaan tai estämään urheilijoiden ja vapaa-ajan liikkujien ylempiä hengitystieinfektioita sekä siten lisätä harjoittelun tehokkuutta ja johtaa parempaan suorituskykyyn (34,35). Probioottien uskotaan vähentävän luonnollisten tappajasuolujen ja neutrofiilien määrää ja aktiivisuutta sekä vähentävän syljen immunoglobuliini A:ta, joilla on tärkeä merkitys virusten ja bakteerien aiheuttamissa infektioissa (36).

Lopuksi

Suolistomikrobeilla on tärkeitä ihmisen terveyteen vaikuttavia tehtäviä. Mikrobiston tuottamat yhdisteet voivat myös edistää tai toisaalta

ehkäistä kroonisten sairauksien kehittymistä. Fyysisellä aktiivisuudella ja suorituskyvyllä on suotuisia vaikutuksia myös suoliston miljardilukuisen mikrobiyhteisöön, joka voi tulevaisuudessa osaltaan auttaa selittämään liikunnan terveysvaikutuksia.

Liikunnan tiedetään edistävän terveyttä, mutta monien terveysvaikutusten mekanismeja ei edelleenkään tunneta. Liikunta näyttää lisäävän mikrobiston monimuotoisuutta ja edistävän terveyden kannalta hyödyllisten mikrobisukujen kasvua, mutta tähänastinen tutkimustieto on hyvin hajanaista ja peräisin sangen erilaisista koeasetelmista. Solutason vaikutusmekanismeja ei ole vielä juurikaan tutkittu.

Tieto tiettyjen suolistomikrobien kyvystä lisätä suorituskykyä ja vähentää tulehdusta luo toiveita siitä, että tulevaisuudessa mikrobihoitojen avulla voitaisiin muovata urheilijoiden fyysisiä ominaisuuksia. On kuitenkin muistettava, että mikrobisto on aina monimuotoinen, yksilöllinen ja monen vaikuttavan osatekijän summa, mikä asettaa haasteensa niin tutkimukselle kuin uusien hoitojen kehittämisellekin. ■

SANNA LENSU, tutkijatohtori

Jyväskylän yliopisto, liikuntatieteellinen tiedekunta sekä kasvatustieteiden ja psykologian tiedekunta

SATU PEKKALA, akatemiatutkija, bakteriologian dosentti

Jyväskylän yliopisto, liikuntatieteellinen tiedekunta
Turun yliopisto, biolääketieteen laitos, lääketieteellinen tiedekunta

SIDONNAISUUDET

Kirjoittajilla ei ole sidonnaisuuksia.

VASTUUTOIMITTAJA

Tuomas Mirtti

KIRJALLISUUTTA

- Lloyd-Price J, Abu-Ali G, Huttenhower C. The healthy human microbiome. *Genome Med* 2016;8:51.
- Sekirov I, Russell S, Antunes C, ym. Gut microbiota in health and disease. *Physiol Rev* 2010;90:859–904.
- Koh A, Bäckhed F. From association to causality: the role of the gut microbiota and its functional products on host metabolism. *Mol Cell* 2020;78:584–96.
- Khoshbin K, Camilleri M. Effects of dietary components on intestinal permeability in health and disease. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2020;319:589–608.
- Pekkala S. Suolistomikrobit ja terveysterveystietoa koko kehölle. Helsinki: Kirjapaja 2020.
- Mohr AE, Jäger R, Carpenter K, ym. The athletic gut microbiota. *J Int Soc Sports Nutr* 2020;17:24.
- Clarke SF, Murphy EF, O’Sullivan O, ym. Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut* 2014;63:1913–20.
- Estaki M, Pither J, Baumeister P, ym. Cardiorespiratory fitness as a predictor of intestinal microbial diversity and distinct metagenomic functions. *Microbiome* 2014;4:42.
- Cani PD, de Vos WM. Next-generation beneficial microbes: the case of *Akkermansia muciniphila*. *Front Microbiol* 2017;8:1765.
- Munukka E, Ahtiainen JP, Puigbo P, ym. Six-week endurance exercise alters gut metagenome that is not reflected in systemic metabolism in over-weight women. *Front Microbiol* 2018;9:2323.
- Bressa C, Bailen-Andrino M, Perez-Santiago J, ym. Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women. *PLoS One* 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0171352.
- Depommier C, Everard A, Druart C, ym. Supplementation with *Akkermansia muciniphila* in overweight and obese human volunteers: a proof-of-concept exploratory study. *Nat Med* 2019;25:1096–103.
- Allen JM, Mailing LJ, Niemi GM, ym. Exercise alters gut microbiota composition and function in lean and obese humans. *Med Sci Sports Exerc* 2018;50:747–57.
- Taniguchi H, Tanisawa K, Sun X, ym. Effects of short-term endurance exercise on gut microbiota in elderly men. *Physiol Rep* 2018. DOI:10.14814/phy2.13935.
- De Schryver AM, Keulemans YC, Peters HP, ym. Effects of regular physical activity on defecation pattern in middle-aged patients complaining of chronic constipation. *Scand J Gastroenterol* 2005;40:422–9.
- Obata Y, Castano A, Boeing S, ym. Neuronal programming by microbiota regulates intestinal physiology. *Nature* 2020;578:284–9.
- Cronin O, Barton W, Skuse P, ym. A prospective metagenomic and metabolomic analysis of the impact of exercise and/or whey protein supplementation on the gut microbiome of sedentary adults. *mSystems* 2018. DOI:10.1128/mSystems.00044-18.
- Kärlund A, Gomez-Callego C, Turpeinen AM, ym. Protein supplements and their relation with nutrition, microbiota composition and health: is more protein always better for sportspeople? *Nutrients* 2019;11:829.
- Cronin O, Barton W, Moran C, ym. Moderate-intensity aerobic and resistance exercise is safe and favorably influences body composition in patients with quiescent inflammatory bowel disease: a randomized controlled cross-over trial. *BMC Gastroenterol* 2019;19:29.
- Pasini E, Corsetti G, Assanelli D, ym. Effects of chronic exercise on gut microbiota and intestinal barrier in human with type 2 diabetes. *Minerva Med* 2019;110:3–11.
- Huber Y, Pfirrmann D, Gebhardt I, ym. Improvement of non-invasive markers of NAFLD from an individualised, web-based exercise program. *Aliment Pharmacol Ther* 2019;50:930–9.
- Morita E, Yokoyama H, Imai D, ym. Aerobic exercise training with brisk walking increases intestinal bacteroides in healthy elderly women. *Nutrients* 2019;11:868.
- Motiani KK, Collado MC, Eskelinen J-J, ym. Exercise training modulates gut microbiota profile and improves endotoxemia. *Med Sci Sports Exerc* 2020;52:94–104.
- Castaner O, Goday A, Park Y-M, ym. The gut microbiome profile in obesity: a systematic review. *Int J Endocrinol* 2018;2018:4095789.
- Tuovinen E, Keto J, Nikkilä J, ym. Cytokine response of human mononuclear cells induced by intestinal *Clostridium* species. *Anaerobe* 2013;19:70–6.
- Kern T, Blond MB, Hansen HD, ym. Structured exercise alters the gut microbiota in humans with overweight and obesity – a randomized controlled trial. *Int J Obes* 2020;44:125–35.
- Rettedal EA, Cree J, Adams SE. Short-term high-intensity interval training exercise does not affect gut bacterial community diversity or composition of lean and overweight men. *Exp Physiol* 2020;105:1268–79.
- Karl JP, Margolis LM, Madslie EH, ym. Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2017;312:559–71.
- Keohane DM, Woods T, O’Connor P, ym. Four men in a boat: ultra-endurance exercise alters the gut microbiome. *J Sci Med Sport* 2019;22:1059–64.
- Scheiman J, Lubner JM, Chavkin TA, ym. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med* 2019;25:1104–9.
- Lee MC, Hsu YJ, Chuang HL, ym. In vivo ergogenic properties of the *Bifidobacterium longum* OLP-01 isolated from a weightlifting gold medalist. *Nutrients* 2019;11:2003.
- Lee MC, Hsu YJ, Ho HH, ym. *Lactobacillus salivarius* subspecies *salicinius* SA-03 is a new probiotic capable of enhancing exercise performance and decreasing fatigue. *Microorganisms* 2020;8:545.
- Lin CL, Hsu YJ, Ho HH, ym. *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* OLP-01 supplementation during endurance running training improves exercise performance in middle- and long-distance runners: a double-blind controlled trial. *Nutrients* 2020;12:1972.
- Clancy RL, Gleeson M, Cox A, ym. Reversal in fatigued athletes of a defect in interferon gamma secretion after administration of *Lactobacillus acidophilus*. *Br J Sports Med* 2006;40:351–4.
- Huang WC, Wei CC, Huang CC, ym. The beneficial effects of *Lactobacillus plantarum* PS128 on high-intensity, exercise-induced oxidative stress, inflammation, and performance in triathletes. *Nutrients* 2019;11:353.
- Blutt SE, Conner ME. The gastrointestinal frontier: IgA and viruses. *Front Immunol* 2013;4:402.
- Fan Y, Pedersen O. Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nat Rev Microbiol* 2021;19:55–71.