

Äidinmaidon rasvankorvikkeet: Koostumus ja vaikutukset lapsen terveyteen

LuK-tutkielma
Turun yliopisto
Bioteknologian laitos
Biokemia

Laatija:
Venla Rautanen

29.4.2026
Turku

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Biokemia

Tekijä(t): Venla Rautanen

Otsikko: Äidinmaidon rasvankorvikkeet: Koostumus ja vaikutukset lapsen terveyteen

Ohjaaja(t): Mikael Fabritius, Marika Kalpio

Sivumäärä: 29 sivua

Päivämäärä: 29.4.2026

Äidinmaidon rasva on yksi monimutkaisimmista luonnollisista rasvaseoksista ja se on evoluution ansiosta kehittynyt parhaaksi mahdolliseksi ravinnoksi imeväiselle. Rasvahapot jaetaan niiden saturaatioasteen perusteella tyydyttyneisiin, kertatyydyttymättömiin ja monityydyttymättömiin rasvahappoihin ja ne sijoittuvat rasvassa triasyyliglyserolien *sn*-1,2 ja -3-asemiin. Äidinmaidossa suurin osa tyydyttyneistä rasvahapoista on *sn*-2-asemassa ja tyydyttymättömistä rasvahapoista *sn*-1,3-asemissa.

Äidinmaidon korvikkeet ovat yleisimmin kasvi- ja eläinrasvojen seoksia. Ne koostuvat sadoista eri yhdisteistä ja eri valmistajien tuotteiden välillä on merkittäviä eroja. Suurin ongelma korvikkeiden rasvahappokoostumuksessa on rasvahappojen sijoittumisessa triasyyliglyseroleihin, mikä on lähes päinvastaista kuin äidinmaidossa.

Korvikkeiden rasvahappokoostumus vaikuttaa imeväisten terveyteen monella eri tapaa. Omega-3- ja 6-rasvahapot vaikuttavat infektioiden ja atooppisten sairauksien riskiin sekä aivojen ja hermoston kehitykseen. Rasvahappojen sijoittuminen triasyyliglyseroleihin puolestaan vaikuttaa rasvahappojen imeytymiseen suolistossa ja esimerkiksi suolistomikrobiston kehittymiseen. Vaikutukset imeväisten aivojen kehitykseen ensimmäisen ikävuoden aikana voivat vaikuttaa aivojen rakenteeseen ja toimintaan koko loppuelämän ajan. Tämän vuoksi korvikkeiden vaikutuksia imeväisten terveyteen tulee tutkia edelleen, jotta voidaan varmistaa, että korvikkeissa on kaikki imeväisten tarvitsemat ravintoaineet.

Avainsanat: äidinmaito, rasvankorvikkeet, rasvahappokoostumus, omega-3-rasvahapot, omega-6-rasvahapot, suolistomikrobisto

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Äidinmaidon rasvakoostumus	5
2.1	Rasvahappokoostumus.....	5
2.2	Triasyyliglyserolit.....	7
2.3	Maidon rasvapallo (MFG).....	7
3	Äidinmaidon korvikkeet	9
3.1	Korvikkeiden kehitys ja historia.....	9
3.2	Korvikkeiden eläinperäiset rasvalähteet	10
3.3	Korvikkeiden kasviperäiset rasvalähteet	12
3.4	Kaupallisten korvikkeiden rasvakoostumus	13
4	Korvikkeiden ravitsemukselliset- ja terveysvaikutukset	18
4.1	Omega-3- ja omega-6-rasvahappojen rooli	18
4.1.1	Aivojen ja hermoston kehitys.....	19
4.2	Suoliston kehitys	21
4.2.1	Rasvahappojen imeytyminen	21
4.2.2	Palmitiinihapon vaikutus suolistomikrobistoon	22
5	Yhteenveto	25
6	Lähteet	26

1 Johdanto

Äidinmaidon rasva on yksi monimutkaisimmista luonnollisista rasvaseoksista (Wei ja muut 2019). Äidinmaidossa on rasvaa vain noin 4 %, mutta se vastaa jopa 50 % vastasyntyneiden energiantarpeesta (Koletzko 2016). Äidinmaidon rasva sisältää yli 200 eri rasvahappoa ja sen vuoksi jopa tuhansia erilaisia triasyyliglyseroleja (TAG, engl. triacylglycerol) (Jensen 1996). TAGien järjestäytyminen rasvassa ei ole sattumanvaraista, ja äidinmaidon rasvahappojen sijoittuminen TAGeihin eroaa merkittävästi esimerkiksi lehmän maitorasvasta tai kasviöljyistä (Wei ja muut 2019).

Äidinmaito on evoluution ansiosta kehittynyt parhaaksi mahdolliseksi ravinnoksi imeväiselle (Mosca ja Gianni 2017). Rintaruokinta vaikuttaa positiivisesti imeväisen terveyteen esimerkiksi ehkäisemällä tartuntatauteja sekä tyypin 2 diabetesta, ylipainoa ja lihavuutta. Äidinmaidon koostumus muuttuu imetyksen aikana ja erityisesti sen rasvapitoisuus vaihtelee imetyksen eri vaiheissa (Koletzko 2016). Äidinmaito onkin ihanteellinen ravinnonlähde imeväiselle, koska sen ravintosisältö muuttuu ottaen huomioon lapsen kehitysvaiheen (Wei ja muut 2019). Lisäksi äidinmaito sisältää kaikki ravintoaineet, joita imeväinen tarvitsee kasvamiseen ja kehittymiseen.

Vastasyntyneen imetys ei ole aina mahdollista tai riittävää, jolloin imeväisen ravitseminen on turvattava äidinmaidon korvikkeilla. Erilaisia äidinmaidon korvikkeita on kehitetty jo 1860-luvulta alkaen ja ensimmäiset korvikkeet tulivat markkinoille vuonna 1867 (Fomon 2001). Ensimmäiset äidinmaidon korvikkeet vastasivat kuitenkin erittäin huonosti äidinmaitoa sekä imeväisten tarpeita, ja usein korvikkeruokitut lapset eivät eläneet ensimmäiseen ikävuoteen saakka (Wei ja muut 2019). Korvikkeet ovat kehittyneet runsaasti viimeisen sadan vuoden aikana, mutta ne eivät vielä täydellisesti äidinmaidon koostumusta.

Äidinmaidon rasva koostuu tyydyttyneistä, kertatyydyttymättömistä ja monityydyttymättömistä rasvahapoista (Wei ja muut 2019). Näistä tyydyttyneitä on eniten ja monityydyttymättömiä vähiten. Rasvahappojen tyydyttyneisyyden osalta korvikkeiden koostumus on hyvin äidinmaidon kaltainen. Korvikkeiden rasvakoostumuksessa suuremmat erot liittyvät rasvahappojen stereospesifiseen sijoittumiseen TAGeihin sekä erittäin pitkäketjuisten ja monityydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksiin. Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella merkittävimpiä eroja äidinmaidon ja korvikkeiden rasvakoostumuksessa sekä selvittää, millaisia terveysvaikutuksia korvikkeiden käytöllä on imeväisille. Tutkielmassa keskitytään erityisesti maidon rasvahappokoostumukseen ja rasvahappojen stereospesifiseen sijoittumiseen TAGeissa.

2 Äidinmaidon rasvakoostumus

Äidinmaito on vastasyntyneille ensisijainen ja paras ravinnonlähde (Wei ja muut 2019). Siinä on ainutlaatuinen koostumus rasvoja, proteiineja, hiilihydraatteja sekä vitamiineja ja hivenaineita. Äidinmaito on evoluution ansiosta kehittynyt parhaaksi mahdolliseksi ravinnoksi imeväiselle, ja rintaruokinnasta on lapsen kehitykselle monia hyödyllisiä vaikutuksia (Mosca ja Gianni 2017). Rintaruokinta ehkäisee imeväistä tartuntataudeilta ensimmäisten elinkuukausien aikana ja pienentää kuolleisuutta. Lisäksi pitkä imetyisaika ehkäisee tyypin 2 diabetesta, ylipainoa ja lihavuutta. Rintaruokinta on myös yhdistetty lapsen positiiviseen kognitiiviseen kehitykseen.

Äidinmaidon rasva on yksi monimutkaisimmista luonnollisista rasvaseoksista (Wei ja muut 2019) ja se sisältää jopa 200 eri rasvahappoa (Jensen 1996). Näistä kuitenkin vain noin seitsemää on äidinmaidon rasvassa yli prosentin verran. Rasvahappojen suuren määrän ansiosta mahdollisten triasyyliglyserolien (TAG, engl. triacylglycerol) lukumäärä on luultavasti tuhansia. Äidinmaidon rasvasta yli 98 % on TAGeja ja niiden jakautuminen ei ole sattumanvaraista. Lisäksi maitorasvan koostumuksesta tekee erityisen monimutkaisen rasvahappojen rakenteen, kuten ketjun pituuden, lukumäärän sekä sijainnin, monimuotoisuus (Wei ja muut 2019). TAGien lisäksi äidinmaidon rasvassa on pienempinä pitoisuuksina glyserofosfolipidejä, sfingolipidejä ja sterolilipidejä. Äidinmaidosta vain keskimäärin 4 % on maitorasvaa, mutta se vastaa noin 50 % vastasyntyneiden energiantarpeesta (Koletzko 2016).

Äidinmaidon rasvan rasvahappokoostumus ei ole täysin vakio, vaan siihen vaikuttavat esimerkiksi äidin ruokavalio, ikä, vuorokausivaihtelu sekä imetyksen vaihe (Wei ja muut 2019). Äidinmaito on ihanteellinen ravinnonlähde imeväisille, koska sen koostumus muuttuu imetyksen aikana ottaen huomioon lapsen kehitysvaiheen. Erityisesti äidinmaidon rasvapitoisuus vaihtelee imetyksen eri vaiheissa (Koletzko 2016). Koostumuksen vaihtelun perusteella äidinmaito jaetaan ternimaitoon, välimaitoon ja kypsään maitoon (Wei ja muut 2018). Ternimaidon rasvapitoisuus on yleensä pienin ja pitoisuus kasvaa imetyksen jatkuessa.

2.1 Rasvahappokoostumus

Rasvahapot jaetaan niiden saturaatioasteen perusteella tyydyttyneisiin (SFA, engl. saturated fatty acids), kertatyydyttymättömiin (MUFA, engl. monounsaturated fatty acids) ja monityydyttymättömiin (PUFA, engl. polyunsaturated fatty acids) rasvahappoihin (Wei ja muut 2019). SFA:t ovat äidinmaidon rasvan yleisin komponentti ja niitä on noin 37–56 % kaikista rasvahapoista. Ne ovat rasvahappoja, joiden hiiliketjussa on ainoastaan yksöissidoksia. SFA:ista yleisimpiä ovat palmitiinihappo (P, C16:0), myristiinihappo (M, C14:0), steariinihappo (S, C18:0) ja lauriinihappo

(La, C12:0). Palmitiinihappoa on noin 20 %, myristiinihappoa 5–9 %, steariinihappoa 4–6 % ja lauriinihappoa 8–10 % kaikista äidinmaidon rasvahapoista (Kallio ja muut 2017a). Palmitiinihappo kattaa yksin jopa 10–12 % imeväisten energiantarpeesta (Wei ja muut 2019).

MUFAssa hiiliketjussa on yksi kaksoissidos. MUFAssa yleisin on oleiinihappo (O, C18:1, n-9), jota on 29–32 % kaikista äidinmaidon rasvahapoista (Kallio ja muut 2017a) ja jopa 90 % MUFAssa (Wei ja muut 2019). Muita äidinmaidossa yleisesti esiintyviä MUFAssa ovat palmitoleiinihappo sekä vakseenihappo, joka on oleiinihapon isomeeri. Palmitoleiinihappoa on noin 2–4 % kaikista äidinmaidon rasvahapoista.

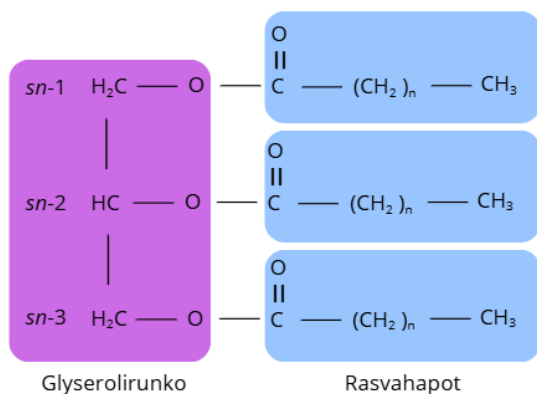
PUFAt jaetaan niiden rakenteen perusteella n-3- ja n-6- rasvahappoihin, joista n-6-tyypin rasvahapot ovat äidinmaidon rasvassa yleisempiä (Wei ja muut 2019). PUFAa on yhteensä noin 10–20 % maidon rasvahapoista. Linoliyhappo (L, C18:2, n-6) on hallitsevin n-6-PUFA ja sitä on yleensä 8–29 % PUFAsta. α -linoleenihappo (ALA, C18:3, n-3) on yleisin n-3-PUFA. L:n ja ALAn lisäksi äidinmaidossa on pienempinä pitoisuuksina arakidonihappoa (AA, C20:4, n-6), eikosapentaeenihappoa (EPA, C20:5, n-3) ja dokosaheksaeenihappoa (DHA, C22:6, n-3). Äidinmaidon PUFA-koostumus riippuu paljon myös äidin ravitsemuksesta (Mazzocchi ja muut 2018). Esimerkiksi vegaanien äidinmaidossa on todettu korkeampia pitoisuuksia L:ä ja ALAa. Runsaasti kalaa syövien äidinmaidossa on puolestaan korkeammat pitoisuudet EPAa ja DHA:ta.

Äidinmaidon rasvassa DHA:n keskimääräinen pitoisuus on $0,32 \pm 0,22$ % kaikista rasvahapoista (Brenna ja muut 2007). AA:n pitoisuus on puolestaan keskimäärin $0,47 \pm 0,13$ % kaikista rasvahapoista. Brennan ja muiden (2007) tutkimus oli kuvaileva meta-analyysi, jossa analysoitiin 84 eri tutkimuksen DHA- ja AA-pitoisuudet. Jokaisesta tutkimuksesta laskettiin keskiarvo ja -hajonta, joista muodostui yksi datapiste meta-analyysiin. Tutkimuksen mukaan DHA:n pitoisuus on keskimäärin matalampi kuin AA:n ja lisäksi sen pitoisuus vaihtelee enemmän. Lisäksi DHA:n ja AA:n pitoisuuksien välillä ei huomattu selkeää riippuvuutta, mikä tarkoittaa, että niiden keskimääräinen suhde vaihtelee merkittävästi.

Tyydyttyneisyyden lisäksi rasvahapot voidaan jakaa niiden hiiliketjun pituuden mukaan. Lyhytketjuisten rasvahappojen ketjun pituus on alle kuusi hiiltä (Wei ja muut 2019). Ihmisen äidinmaito sisältää yleensä vain hyvin pieniä määriä lyhytketjuisia rasvahappoja. Keskipitkäketjuiset rasvahapot koostuvat kuudesta kahteentoista hiilestä. Keskipitkiä rasvahappoja on 8–10 % äidinmaidon rasvahapoista. Pitkäketjuiset rasvahapot ovat 13–21 hiilen ketjusta muodostuvia rasvahappoja, joita ovat esimerkiksi P, L, ALA, AA ja EPA. Lisäksi hyvin pitkäketjuisia rasvahappoja ovat sellaiset, joiden ketjun pituus on yli 21 hiiltä, kuten DHA.

2.2 Triasyyliglyserolit

Äidinmaidon rasvassa esiintyvien eri rasvahappojen lisäksi merkittävää on niiden sijoittuminen TAG-molekyyleissä. TAGien järjestäytyminen ei ole sattumanvaraista, ja äidinmaidon rasvahappojen sijoittuminen eroaa merkittävästi esimerkiksi lehmänmaidon rasvasta tai kasviöljyistä (Wei ja muut 2019). TAG-molekyylit koostuvat glyserolirungosta sekä siihen sitoutuneista kolmesta rasvahaposta. Kuvassa 1 on esitetty TAGin perusrakenne. Rasvahapoilla on kolme mahdollista asemaa glyserolimolekyylissä. *sn*-1- ja *sn*-3-asetat ovat rasvahapoissa reunimmaisina. *sn*-2-asetassa oleva rasvahappo on puolestaan keskimmäinen kolmesta rasvahappomolekyylistä. Rasvahappojen sijoittuminen TAGiin vaikuttaa niiden imeytymiseen suolistosta (Jensen 1996). Sijoittuminen vaikuttaa siihen, miten ruoansulatuskanavan entsyymit hydrolysoivat TAGeissa olevat rasvahapot.



Kuva 1 Triasyyliglyserolin rakenne. Vasemmalla glyserolirunko, joka koostuu kolmen hiilen ketjusta. Glyseroliin on sitoutuneena kolme rasvahappoa, joiden asema voi olla glyserolirungon reunoilla eli *sn*-1,3-asetassa tai keskellä eli *sn*-2-asetassa.

Äidinmaidon rasvan palmitiinihaposta 71–76 % on *sn*-2-asetassa (Kallio ja muut 2017a). Oleiinihappo on puolestaan pääosin *sn*-1,3-asetassa (7–10 % *sn*-2-asetassa). Suurin osatydyttymättömistä rasvahapoista, kuten AA ja DHA, ovat *sn*-1,3-asetassa. Äidinmaidon rasvan yleisimpiä TAGeja ovat OPO (18:1 / 16:0 / 18:1), OPL (18:1 / 16:0 / 18:2) LaOP (12:0 / 16:0 / 18:1), OPS (18:1 / 16:0 / 18:0) ja PPO (16:0 / 16:0 / 18:1). OPO on äidinmaidon rasvan yleisin TAG ja yhdessä OPL:n kanssa ne kattavat 20–40 % kaikista TAGeista (Wei ja muut 2019). Rasvoja, joissa on pariton hiiliketju, ei esiinny monissa luonnollisissa rasvoissa, mutta äidinmaidon rasvasta niitä löydetään yleisesti. (Jiang ja muut 2022). Toisaalta AAA-tyyppiset eli kolme samaa rasvahappoa sisältävät TAGit ovat äidinmaidon rasvassa hyvin harvinaisia (Wei ja muut 2019).

2.3 Maidon rasvapallo (MFG)

Äidinmaidon rasva on luonnollinen öljyvesiemulsio, jossa sen ominaisuuksiin vaikuttaa maidon rasvapallon rakenne (MFG, engl. milk fat globule) (Wei ja muut 2019). Äidinmaidon rasvassa TAG-

ytimen ympärillä on kaksikerroksinen kalvo (MFGM, engl. milk fat globule membrane), joka koostuu pääosin glykoproteiineista, TAGeista, glyserofosfolipideistä, sfingolipideistä ja kolesterolista (Jiang ja muut 2022). 33 % MFGM:stä on glyserofosfolipidejä ja 20–60 % glykoproteiinien seosta. Lisäksi rakenteessa on muita glykolisoituja peptidejä, filamentteja, musiinia ja laktahedriiniä. MFG:n halkaisija on 0,2–15 μm , keskimäärin 4–5 μm (Wei ja muut 2019). Muiden nisäkkäiden MFG:ien halkaisijan koossa ei esiinny yhtä suurta vaihtelua kuin äidinmaidon rasvassa, vaan niiden koko on keskimäärin 3–5 μm . MFGM:n komponentit vaikuttavat muun muassa lipidien eritykseen, rasvahappojen kuljetukseen ja aineenvaihduntaan sekä signaalinsiirtoon (Spitsberg 2005). MFGM:n osilla on myös todettu olevan muita terveyteen vaikuttavia ominaisuuksia, kuten mahalaukun sairauksien sekä rinta- ja paksusuolen syövän ehkäiseminen.

Äidinmaidon korvikkeet

2.4 Korvikkeiden kehitys ja historia

Äidinmaito on imeväiselle optimaalisin ravinnonlähde. Imetys ei kuitenkaan aina ole mahdollista tai riittävää, jolloin imeväisen ravitsemus on turvattava äidinmaidon korvikkeilla. Äidinmaidon korvikkeiden kehittäminen kaupalliseksi tuotteeksi alkoi jo 1860-luvulla ja ensimmäinen kaupallinen korvike tuli markkinoille vuonna 1867 (Fomon 2001). Ensimmäiset korvikkeet koostuivat pääasiassa vehnä jauhoista, lehmänmaidosta, mallas jauhoista sekä kaliumbikarbonaatista. Varhaiset korvikkeet vastasivat erittäin huonosti imeväisten ravitsemuksellisia tarpeita ja usein lapset, jotka eivät saaneet rintaruokintaa, eivät eläneet ensimmäiseen ikävuoteen saakka (Wei ja muut 2019).

Wein ja muiden (2019) katsausartikkelin mukaan korvikkeiden toinen kehitysaalto alkoi 1900-luvun alussa. Tällöin oli parempi ymmärrys ihmisen äidinmaidon koostumuksesta sekä imeväisten tarpeista. Vuonna 1915 amerikkalainen lastenlääkäri Henry John Gerstenberger kehitti ensimmäisen synteettistä maitoa sisältävän korvikkeen, joka oli yhdistelmä eri kasviöljyjä (Obladen 2014). Tämän jälkeen Gerstenberger keksi myös kalanmaksaöljyn ja synteettisen D-vitamiinin lisäämisen korvikkeisiin. Korvikkeiden kehityksen toisen aallon aikana ymmärrettiin enemmän eri rasvahappojen tarpeesta ja vaikutuksesta imeväisten terveyteen ja kehitykseen (Wei ja muut 2019). Korvikkeiden rasva koostui pääasiassa voirasvasta sekä kasviöljyjen yhdistelmistä. Kehityksestä huolimatta korvikkeiden koostumus vastasi varsin huonosti äidinmaidon rasvan koostumusta (Obladen 2014). Vuonna 1925 tutkija Grover Powers totesi, että korvikkeet poikkeavat yhtä lailla äidinmaidosta kuin lehmänmaidosta.

Tällä hetkellä on käynnissä korvikkeiden kolmas kehitysaalto, joka alkoi 1990-luvun lopulla (Wei ja muut 2019). Rasva-analytiikkamenetelmät ovat kehittyneet ja erityisesti massaspektrometrian avulla äidinmaidon rasvakoostumusta on tutkittu laajasti. Tämän seurauksena tutkijat ovat pyrkineet kehittämään korvikkeita, joiden ominaisuudet olisivat enemmän äidinmaidon rasvan kaltaisia. Tällä hetkellä ymmärretään enemmän eri rasvahappojen, TAGien ja monimutkaisten lipidien merkityksestä imeväisten ravinnossa. Yksi tärkeä askel korvikkeiden kehityksessä on ollut *sn-2*-asemassa olevat palmiitaatit, jotka jäljittelevät äidinmaidon rasvassa usein *sn-2*-asemassa olevaa palmitiinihappoa (Lucas ja muut 1997). Alankomaissa tuotettu Betapol on yksi kaupallisesti tuotetuista kasvirasvaseoksista, jossa jopa 74 % palmitiinihaposta on *sn-2*-asemassa.

Nykypäivänä äidinmaidon korvikkeet ovat satojen yhdisteiden seoksia ja eri valmistajien tuotteissa on suurta vaihtelua (Wei ja muut 2019). Suurimmassa osassa korvikkeista käytetään kasviöljyjä rasvakoostumuksen muokkaamiseen, minkä seurauksena rasvahappojen sijoittuminen TAG-

molekyyleihin ei vastaa äidinmaidon rasvaa (Fabritius ja muut 2020). Rasvahappojen vääränlainen asemoituminen voi johtaa ongelmiin rasvojen imeytymisessä sekä muihin terveysvaikutuksiin, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.

Vaikka korvikkeiden kehityksessä onkin otettu valtavia askeleita eteenpäin, ne eivät vielä vastaa täydellisesti äidinmaidon koostumusta. Fabritiuksen ja muiden (2020) tutkimuksen mukaan tutkittujen korvikkeiden regioisomeerinen koostumus poikkesi merkittävästi äidinmaidosta. Tutkituissa korvikkeissa TAGit, joissa palmitiinihappo on *sn*-1,3-asemissa, olivat runsaampia kuin äidinmaidossa. Lisäksi eri TAG-lajien koostumus on äidinmaidon rasvassa paljon monimutkaisempi kuin nykyisissä äidinmaidon korvikkeissa. Esimerkiksi näiden erojen vuoksi korvikkeet ja äidinmaidon koostumus ovat edelleen tärkeitä tutkimuskohteita.

2.5 Korvikkeiden eläinperäiset rasvalähteet

Lehmänmaidon rasva on yleisimmin korvikkeissa käytetty eläinperäinen rasva ja tällä hetkellä sen hyödyntäminen on kasvussa (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Muita korvikkeissa käytettäviä eläinperäisiä rasvoja ovat kalaöljyt sekä sian ihra (Wei ja muut 2019). Lehmänmaidon rasva voidaan lisätä korvikkeisiin joko vedettömänä maitorasvana tai täysrasvaisena maitona tai kermana (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Vedetön maitorasva sisältää TAGeja, kolesterolia ja rasvaliukoisia vitamiineja. Täysrasvainen maito tai kerma sisältää näiden lisäksi kaikki rasvaglobulikalvon komponentit. Lehmänmaitopohjaiset korvikkeet ovat yleensä rasvahappokoostumukseltaan varsin samankaltaisia kuin äidinmaito (Wei ja muut 2019). Erot rasvahappojen sijoittumisessa TAGeihin johtavat ongelmiin rasvojen imeytymisessä, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.1.

Sekä lehmänmaidossa että äidinmaidossa on noin 4 % rasvaa (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Lehmänmaidon rasvassa esiintyy yli 400 eri rasvahappoa, eli jopa tuplasti äidinmaidon rasvaan verrattuna (Lindmark Månsson 2008). Näistä rasvahapoista kuitenkin vain noin 15:ta on rasvassa yli prosentin verran ja muita esiintyy hyvin pieninä pitoisuuksina. Lehmänmaidon rasvassa on SFA:ita noin 70 % ja niistä yleisin on palmitiinihappo, jota on noin 30 % kaikista rasvahapoista. SFA:ita on siis 15–30 prosenttiyksikköä enemmän kuin äidinmaidon rasvassa (Kallio ja muut 2017a). Koska SFA:iden pitoisuus on lehmänmaidon rasvassa korkeampi, MUFA:n ja PUFA:n pitoisuudet ovat vastaavasti pienemmät kuin äidinmaidon rasvassa (Lindmark Månsson 2008). Lehmänmaidon rasvassa MUFAa on kaikista rasvahapoista noin 25 % ja PUFAa vain 2,3 %.

Äidinmaidon rasvassa lähes 98 % kaikista rasvahapoista on pitkäketjuisia rasvahappoja, joista noin 40 % on SFA:ita (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Lehmänmaidon rasvassa SFA:ista 10,9 % on

lyhytketjuisia rasvahappoja, joiden ketjun pituus on 4–10 hiiltä (Lindmark Månsson 2008). Tämä eroaa siis huomattavasti äidinmaidon rasvahappokoostumuksesta. Lisäksi lehmänmaidon rasvassa myristiinihapon ja steariinihapon osuudet ovat suuremmat kuin äidinmaidossa (Lindmark Månsson 2008). Äidinmaidon rasvassa DHA:n ja AA:n pitoisuudet ovat pienet, mutta lehmänmaidon rasvassa niiden pitoisuudet ovat vieläkin pienemmät (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Lehmänmaidon rasvassa yleisimmät PUFAt ovat L (1,6 %) ja ALA (0,7 %) (Lindmark Månsson 2008). Äidinmaidon rasvassa L:n pitoisuus on 9–23 % ja ALAn 1,4–1,8 % (Kallio ja muut 2017a). Lehmänmaidon rasvassa on siis merkittävästi vähemmän L:a ja ALAa kuin äidinmaidon rasvassa.

Edellä mainituista eroista huolimatta lehmänmaidon rasva on rasvahappokoostumukseltaan pääosin samankaltainen kuin äidinmaidon rasva. Suurin ero lehmänmaidon rasvan ja äidinmaidon rasvan välillä esiintyy kuitenkin TAG-rakenteissa ja siinä, mihin kohtiin glyserolirunkoa (*sn*-1, -2, -3) rasvahapot ovat kiinnittyneet. Kuten äidinmaidon rasvassa, myös lehmänmaidon rasvassa suurin osa SFA:ista on sitoutuneena *sn*-2-asemaan ja MUFAsta ja PUFAsta *sn*-1,3-asemaan (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Yksittäisten rasvahappojen sijoittumisessa on kuitenkin merkittäviä eroja. Esimerkiksi lehmänmaidon rasvassa vain 40–45 % palmitiinihaposta on sitoutuneena *sn*-2-asemaan. Palmitiinihapon osuus *sn*-2-asemassa on siis lehmänmaidon rasvassa huomattavasti pienempi kuin äidinmaidon rasvassa. Palmitiinihapon sijoittumisen eroista huolimatta lehmänmaidon rasva on enemmän äidinmaidon rasvan kaltainen kuin useat kasvirasvat (Hageman, Danielsen, ja muut 2019).

Lehmänmaidon rasvan lisäksi korvikkeissa käytetään eläinperäisenä rasvan lähteenä sian ihraa tai erilaisia kalaöljyjä. Sian ihra on harvoin korvikkeissa käytetty rasva siitä huolimatta, että sen TAG-rakenne vastaa hyvin äidinmaitoa (Wei ja muut 2019). Ihrassa suurin osa SFA:ista on sijoittuneena *sn*-2-asemaan (Kallio ja muut 2001). Myös palmitiinihappo sijaitsee pääasiassa *sn*-2-asemassa. Eettisistä, kulttuurisista ja ympäristöllisistä syistä ihran käyttö korvikkeissa on kuitenkin vähäistä (Kallio ja muut 2017b). Toinen haaste ihran käytössä on sen korkea steariinihapon pitoisuus (noin 20 %) verrattuna äidinmaidon rasvaan (5–10 %).

Kalaöljyt puolestaan ovat hyvin yleisesti korvikkeissa käytettyjä pitkäketjuisten monitydyttymättömien rasvahappojen (LCPUFA, engl. long-chain-polyunsaturated fatty acids) lähteitä (Wei ja muut 2019). Yleisesti LCPUFAn sisällyttäminen korvikkeisiin on haastavaa, sillä kasvit eivät usein tuota rasvahappoja, joiden ketjun pituus on yli 18 hiiltä. Tällöin erityisesti kasvipohjaisiin korvikkeisiin LCPUFAt täytyy lisätä erikseen. Vuodesta 1980 lähtien DHA:ta ja AA:ta on lisätty korvikkeisiin kalaöljyn, leväöljyn tai yksisoluisen öljyn muodossa (Xu ja muut 2024). Tällä hetkellä kalaöljy on käytetyin ja edullisin DHA:n ja EPA:n lähde korvikkeissa (Wei ja muut 2019). Lisäksi kalaöljyssä on pieniä määriä AA:ta ja dokosapentaeenihappoa. Kuten lehmänmaidon rasvassa,

myös kalaöljyissä rasvahappojen sijoittuminen TAG-molekyyleissä eroaa merkittävästi äidinmaidon rasvasta, mikä voi jälleen johtaa ongelmiin rasvahappojen imeytymisessä.

2.6 Korvikkeiden kasviperäiset rasvanlähteet

Tällä hetkellä suurin osa korvikkeista sisältää seoksen eri kasvirasvoja sekä eläinperäisiä rasvoja. Yleisimmin korvikkeissa käytettyjä kasvirasvoja ovat kookosöljy, maissiöljy, soijaöljy, palmuöljy, auringonkukkaöljy, safloriöljy sekä matala erukahappoinen rypsiöljy (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Kasviöljyissä on yleisesti pienempi monimuotoisuus eri rasvahappoja ja myös vähemmän erilaisia TAG-rakenteita kuin eläinperäisissä rasvoissa. Lisäksi kasvirasvoissa ei esiinny juuri LCPUFAA.

Kasvirasvoissa rasvahappojen sijoittuminen eroaa merkittävästi äidinmaidon rasvasta tai lehmänmaidon rasvasta. Kasvirasvoissa SFA:t ovat pääosin *sn*-1,3-asemissa ja PUFAt ovat *sn*-2-asemassa (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Sijoittuminen on siis päinvastainen verrattuna äidinmaidon rasvaan. Lopesin ja muiden (2018) tutkimuksessa määritettiin äidinmaidon rasvan, korvikkeiden sekä korvikkeissa käytettyjen rasvojen ja öljyjen stereospesifinen asemoituminen TAG-molekyyleissä. Tutkimuksessa mitattuja kasviöljyjä olivat kookosöljy, auringonkukkaöljy, maissiöljy, palmuöljy ja soijaöljy. Tutkimuksen perusteella yksikään kasvirasva ei sisältänyt SFA:ita *sn*-2-asemassa. Tutkituista rasvoista palmuöljyssä oli eniten SFA:ita (31,39 %) ja maissiöljyssä vähiten (8,71 %). SFA:ista 100 % oli sijoittuneena *sn*-1,3-asemiin. PUFAsta puolestaan 12–48 % sijaitsi *sn*-1,3-asemissa. Vähiten PUFAa *sn*-1,3-asemissa oli palmuöljyssä ja eniten auringonkukkaöljyssä.

Yleisesti korvikkeissa käytettävissä kasvirasvoissa SFA-pitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät ja PUFA-pitoisuudet korkeammat kuin äidinmaidon rasvassa (Lopes ja muut 2018). Korvikkeissa käytetyissä kasvirasvoissa vain 10–20 % palmitiinihaposta on sitoutuneena *sn*-2-asemaan (Hageman, Danielsen, ja muut 2019). Lisäksi vain kasvirasvoja sisältäviin korvikkeisiin täytyy lisätä palmuöljyn lähde, jotta saavutetaan samankaltainen palmitiinihapon pitoisuus kuin äidinmaidon rasvassa. Korvikkeissa, joissa ei ole palmuöljyä, palmitiinihapon pitoisuus on vain noin 8 %. Palmuöljyä sisältävissä rasvaseoksissa palmitiinihapon osuus *sn*-2-asemassa on puolestaan vain noin 10–20 %, mikä on huomattavasti pienempi osuus kuin äidinmaidossa tai naudan maitorasvassa (Hageman, Keijer, ja muut 2019).

Perinteisten kasvirasvojen lisäksi korvikkeissa voidaan käyttää rasvan lähteenä mikroleväöljyä (Lopes ja muut 2018). Lopesin tutkimuksen perusteella mikroleväöljyn rasvahappokoostumus ja rasvahappojen sijoittuminen TAG-molekyyleihin muistuttavat eniten äidinmaidon rasvaa. Mikroleväöljyn SFA-pitoisuus oli tutkimuksen mukaan 40,84 % ja PUFA-pitoisuus 21,39 %. Lisäksi

SFA:sta 32 % oli *sn-2*-asemassa ja PUFAsta 89 % *sn-1,3*-asemissa. Mikroleväöljyn rasvahappokoostumus ja stereospesifinen asemoituminen ovat siis huomattavasti lähempänä äidinmaidon rasvan koostumusta kuin muiden kasvipäristen rasvojen. Lisäksi leväöljyt ovat hyviä AA:n ja DHA:n lähteitä.

2.7 Kaupallisten korvikkeiden rasvakoostumus

Äidinmaidon korvikkeiden rasvahappokoostumusta sekä eri rasvahappojen asemoitumista TAGeihin on tutkittu laajasti. Korviketutkimuksissa on selvitetty erilaisten kaupallisten korvikkeiden rasvakoostumus ja verrattu saatuja tuloksia äidinmaidonäytteisiin. Osassa tutkimuksista on analysoitu myös rasvahappojen stereospesifinen sijoittuminen TAG-molekyyleihin. Tällaisten tutkimusten tavoitteena on verrata tällä hetkellä markkinoilla olevien korvikkeiden koostumusta äidinmaitoon ja tarjota tutkimustuloksia korvikkeiden kehittämiseksi.

Taulukossa 1 on esitetty eri korvikkeiden rasvahappokoostumukset tyydyttömyysasteen mukaan jaoteltuna. Ensimmäisessä tutkimuksessa analysoitiin kymmenen kaupallisen korvikkeen rasvahappokoostumus. Tutkituista korvikkeista kahdeksan sisälsi vähintään 94 g / 100 g kasvirasvoja ja kaksi muuta korviketta 80 g / 100 g ja 50 g / 100 g kasvirasvoja. Toisessa tutkimuksessa analysoitiin 12:ta markkinoilla olevan korvikkeen rasvahappokoostumus. Korvikkeista 10 sisälsi vain kasvirasvoja ja kalaöljyä. Kaksi muuta korviketta sisälsi vähärasvaista lehmänmaitoa. Kolmannessa tutkimuksessa analysoitiin seitsemän lehmänmaitopohjaisen korvikkeen rasvahappokoostumus. Käytetyimpiä kasvirasvoja kaikissa tutkituissa korvikkeissa olivat palmuöljy, auringonkukkaöljy, kookosöljy ja rypsiöljy. Näiden lisäksi korvikkeissa käytettiin kalaöljyä, lehmänmaitorasvaa ja kananmunankeltuaista.

Tuloksista nähdään, että tutkittujen korvikkeiden rasvahappokoostumukset tyydyttömyysasteen mukaan ovat hyvin linjassa toistensa kanssa. Eniten korvikkeissa on SFA:ita, toiseksi eniten MUFAa ja vähiten PUFAa. Kolmannessa tutkimuksessa mitattiin myös n-3-PUFAn ja n-6-PUFAn osuudet kokonaispitoisuudesta, jotka olivat 2,72 % ja 15,9 %. Korvikkeiden n-6 / n-3 suhde oli siis noin 6:1. Tässä tutkimuksessa äidinmaidon n-6 / n-3 suhde oli noin 8:1. Kirjallisuuden perusteella äidinmaidon rasvan n-6 / n-3 suhde on yleensä 5:1–10:1, mikä ehkäisee ylimääräisen L:n saannin (Mendonça ja muut 2017). N-6- ja n-3-rasvahapoilla on monia vastakkaisia fysiologisia toimia ja nisäkässolut eivät pysty muuntamaan n-6-rasvahappoja n-3-rasvahapoiksi (Simopoulos 2002). Tämän vuoksi oikea n-6 / n-3 tasapaino on tärkeä terveyden ja normaalin kehityksen kannalta.

Taulukko 1 Kaupallisten korvikkeiden rasvakoostumus tyydyttömyysasteen mukaan jaoteltuna. Tutkimus 1 n=10, tutkimus 2 n=12 ja tutkimus 3 n=7. SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monitydyttymättömät rasvahapot.

Tutkimus	SFA-pitoisuus	MUFA-pitoisuus	PUFA-pitoisuus
Mendonca (2017)	41,74 ± 5,4 %	38,52 ± 5,1 %	19,74 ± 1,7 %
Lopes (2018)	43,84 ± 7,02 %	38,20 ± 7,80	17,96 ± 9,92 %
Purkiewicz & Pietrzak-Fiecko (2024)	42,55 %	37,44 %	18,62 %

Korvikkeiden koostumuksen lisäksi tutkimuksissa mitattiin äidinmaitonäytteiden rasvapitoisuudet (Taulukko 2). Ensimmäisessä ja toisessa tutkimuksessa analysoitiin 10 äidinmaitonäytettä, kolmannessa tutkimuksessa 30 näytettä. Ensimmäisessä ja kolmannessa tutkimuksessa kaikki analysoidut näytteet olivat kypsää maitoa. Toisessa tutkimuksessa kahdeksan näytettä oli kypsää maitoa ja kaksi näytettä välimaitoa.

Äidinmaitonäytteiden rasvahappokoostumukset ovat SFA:n ja MUFA:n osalta linjassa toistensa kanssa. PUFA-pitoisuuksissa esiintyy eri tutkimuksien välillä hajontaa. Kirjallisuuden perusteella äidinmaito sisältää keskimäärin 10–20 % PUFAa (Wei ja muut 2019). Kun verrataan korvikkeiden rasvakoostumusta äidinmaidon rasvaan, huomataan, että rasvahappokoostumukset ovat tyydyttömyysasteen osalta pääosin samanlaiset. Korvikkeiden SFA-pitoisuudet ovat hieman matalammat kuin äidinmaidossa ja MUFA-pitoisuudet puolestaan korkeammat. Nämä erot ovat kuitenkin vain muutaman prosenttiyksikön verran. Tästä voidaan päätellä, että hyvinkin erilaisista raaka-aineista tehdyt korvikkeet voivat sisältää samankaltaisen rasvakoostumuksen.

Taulukko 2 Äidinmaidonnäytteiden rasvakoostumus tyydyttömyysasteen mukaan jaoteltuna. SFA = tyydyttyneet rasvahapot, MUFA = kertatyydyttymättömät rasvahapot, PUFA = monitydyttymättömät rasvahapot. Tutkimus 1 n=10, tutkimus 2 n=10 ja tutkimus 3 n=30. Tutkimuksien 1 ja 3 näytteet olivat kypsää maitoa. Tutkimuksessa kaksi kahdeksan näytettä oli kypsää maitoa ja kaksi näytettä välimaitoa.

Tutkimus	SFA-pitoisuus	MUFA-pitoisuus	PUFA-pitoisuus
Mendonca (2017)	45,42 %	32,56 %	22,02 %
Lopes (2018)	43,84 ± 4,60 %	38,20 ± 4,98 %	18,50 ± 4,42 %.
Purkiewicz & Pietrzak-Fiecko (2024)	49,97 %	32,4 %	12,21 %

Vaikka korvikkeiden rasvahappokoostumus vastaisi tyydyttömyysasteen osalta äidinmaiton rasvaa, yksittäisten rasvahappojen esiintymisessä voi olla eroja. Purkiewicz'n ja Pietrzak-Fieckon tutkimuksessa analysoitiin eri rasvahappojen pitoisuuksia korvikkeissa sekä äidinmaidossa (Taulukko 3). Taulukosta nähdään, että korvikkeissa ja äidinmaidossa useiden rasvahappojen pitoisuuksissa on eroja. Esimerkiksi myristiinihapon ja steariinihapon pitoisuudet ovat tutkituissa korvikkeissa noin puolet äidinmaidon rasvan pitoisuuksista. Toisaalta korvikkeissa esiintyy enemmän ALAa ja DHA:ta

kuin äidinmaidossa. Palmitiinihapon ja oleiinihapon pitoisuuksissa ei ole merkittäviä eroja, sillä pitoisuuksien erot sisältyvät tuloksien keskihajontoihin.

Taulukko 3 Eri rasvahappojen pitoisuudet korvikkeissa ja äidinmaidossa. M= myristiinihappo, P=palmitiinihappo, S=steariinihappo, O=oleiinihappo, ALA = α -linoleenihihappo, EPA = eikosapentaenihihappo, DHA = dokosaheksaenihihappo, L = linolihihappo, AA = arakidonihappo.

Rasvahappo	Pitoisuus korvikkeissa (%)	Pitoisuus äidinmaidossa (%)
M	4,06 \pm 1,06	8,14 \pm 2,57
P	21,84 \pm 4,06	26,38 \pm 6,82
S	3,43 \pm 0,63	7,07 \pm 1,48
O	37,24 \pm 7,45	30,48 \pm 5,17
ALA	1,92 \pm 0,46	0,90 \pm 0,05
EPA	0,07 \pm 0,03	0,15 \pm 0,09
DHA	0,73 \pm 0,15	0,36 \pm 0,06
L	15,47 \pm 2,88	10,42 \pm 1,44
AA	0,43 \pm 0,09	0,38 \pm 0,11

Pelkän rasvahappokoostumuksen ja yksittäisten rasvahappojen esiintymisen lisäksi korvikkeiden ravitsemuksellisessa laadussa on merkittävää eri rasvahappojen sijoittuminen TAG-molekyyleihin (Wei ja muut 2019). Kahdessa tutkimuksessa määritettiin kaupallisten korvikkeiden ja äidinmaitonäytteiden rasvahappojen stereospesifinen sijoittuminen (Taulukko 4). Sun'n tutkimuksessa analysoitiin 180 korviketta ja 10 kypsää äidinmaitonäytettä. Korvikkeet oli jaettu kolmeen eri tyyppiin, joita olivat täysin kasvipohjaiset (POF, n=90), vuohenmaitopohjaiset (GMF, n=24) ja lehmänmaitopohjaiset (CMF, n=66). Tutkimuksessa korvikkeet oli jaoteltu äidinmaidonkorvikkeisiin, vieroitusvalmisteisiin ja pienten lasten kasvuvalmisteisiin. Tarkastellaan tässä kohtaa vain äidinmaidonkorvikkeista saatuja tuloksia.

Tuloksista huomataan, että korvikkeiden stereospesifinen asemoituminen eroaa merkittävästi äidinmaidosta. Korvikkeissa huomattavasti pienempi osuus SFA:ista on *sn*-2-asemassa ja toisaalta suurempi osuus PUFAsta on *sn*-2-asemassa. Lopesin (2018) tutkimuksen tuloksissa esiintyy kuitenkin suurta vaihtelua erityisesti korvikkeiden PUFA-pitoisuuksien osalta. Sun'n tutkimuksesta nähdään lisäksi, että kasvipohjaisten, vuohenmaitopohjaisten ja lehmänmaitopohjaisten korvikkeiden välillä ei ole merkittävää eroa rasvahappojen sijoittumisessa TAG-molekyyleihin.

Taulukko 4 Äidinmaidon ja korvikkeiden stereoespesifinen asemoituminen sn-1,3- ja sn-2-asemiin. Tutkimus 1 äidinmaidonäytteet n=10, korvikkeenäytteet n=180. Tutkimuksessa 1 POF = kasvipohjaiset, GMF = vuohenmaitopohjaiset ja CMF = lehmänmaitopohjaiset korvikkeet. Tutkimus 2 äidinmaidonäytteet n=10 ja korvikkeenäytteet n=12.

Äidinmaito	SFA sn-2-asemassa	PUFA sn-2-asemassa
Sun (2018)	67,08 ± 4,45 %	16,16 ± 2,42 %
Lopes (2018)	48,9 % ± 6,0 %	17,0 % ± 9,1 %
Korvikkeet		
Sun (2018) POF	35,38 ± 8,34 %	26,70 ± 3,74 %
Sun (2018) GMF	38,30 ± 7,50 %	30,21 ± 6,57 %
Sun (2018) CMF	39,27 ± 8,34 %	29,13 ± 4,00 %
Lopes (2018)	24,6 ± 8,7 %	46,8 ± 31,7 %

Kokonaisrasvapitoisuuksien lisäksi myös yksittäisten rasvahappojen sijoittumisessa oli eroja (Taulukko 5). Sun'n tutkimuksen perusteella äidinmaidon rasvassa palmitiinihapon osuus sn-2-asemassa olevista rasvahapoista oli merkittävästi suurempi kuin tutkituissa korvikkeissa. Lisäksi myristiinihapon pitoisuus oli hieman suurempi äidinmaidon rasvassa kuin korvikkeissa. Toisaalta steariinihapon osuus sn-2-asemassa olevista rasvahapoista oli korvikkeissa suurempi kuin äidinmaidossa. PUFasta Sun'n tutkimuksen mukaan tutkituissa korvikkeissa oli kaksinkertainen määrä L:aa ja ALAa verrattuna äidinmaidon rasvaan. Toisaalta AA:ta ja DHA:ta oli huomattavasti vähemmän tutkituissa korvikkeissa kuin äidinmaidossa. Lisäksi EPA:ta ei havaittu ollenkaan tutkituissa korvikkeissa.

Taulukko 5 Yksittäisten rasvahappojen osuudet sn-2-asemassa olevista SFA:ista ja PUFasta korvikkeissa sekä äidinmaidossa. POF = kasvipohjaiset, GMF = vuohenmaitopohjaiset ja CMF = lehmänmaitopohjaiset korvikkeet. Äidinmaidonäytteet n=10 ja korvikkeenäytteet n=180. EH = ei havaittu.

Rasvahappo	Pitoisuus korvikkeissa %			Pitoisuus äidinmaidon rasvassa %
	POF	GMF	CMF	
P	11,48 ± 9,06	15,65 ± 5,57	20,19 ± 7,35	44,46 ± 6,32
M	4,07 ± 1,22	7,06 ± 2,37	6,12 ± 0,40	10,83 ± 2,88
L	16,59 ± 7,44	6,48 ± 3,25	8,45 ± 4,19	7,58 ± 1,72
S	2,20 ± 0,92	3,55 ± 1,04	4,74 ± 3,20	1,82 ± 0,31
L	23,35 ± 3,15	26,31 ± 6,08	25,45 ± 4,05	11,38 ± 2,40
ALA	2,45 ± 0,88	2,81 ± 0,87	2,63 ± 0,63	1,06 ± 0,41
AA	0,15 ± 0,07	0,14 ± 0,08	0,16 ± 0,06	0,72 ± 0,28
EPA	EH	EH	EH	0,08 ± 0,06
DHA	0,20 ± 0,10	0,09 ± 0,03	0,18 ± 0,10	1,13 ± 0,46

SFA:iden vääränlainen sijoittuminen TAG-molekyyleihin onkin tällä hetkellä merkittävin ongelma kaupallisten korvikkeiden ravitsemuksellisessa laadussa. Korvikkeissa käytetään yleisesti kasvirasvoja, joiden SFA:t sijaitsevat *sn*-1,3-asemissa. Tämän seurauksena myös suurin osa korvikkeiden SFA:ista on *sn*-1,3-asemissa *sn*-2-aseman sijaan. Tämä vaikuttaa erityisesti TAGien hajoamiseen ja rasvahappojen imeytymiseen imeväisten ruuansulatuksesta.

3 Korvikkeiden ravitsemukselliset- ja terveysvaikutukset

3.1 Omega-3- ja omega-6-rasvahappojen rooli

Omega-3- ja omega-6-rasvahapot kuuluvat LCPUFA-rasvahappoihin, ja niitä kutsutaan myös nimellä n-3- ja n-6-rasvahapot (Hadders-Algra 2005). Näistä ihmiselle merkittävimpiä ovat DHA ja AA. DHA on omega-3-rasvahappo ja AA puolestaan omega-6-rasvahappo. Ihmiskeho voi muodostaa tietyissä määrin DHA:ta ja AA:ta niiden esiasteista eli ALAsta ja L:sta, jotka ovat ihmiselle välttämättömiä rasvahappoja (Ross ja muut 2007). DHA:n ja AA:n biokonversio on kuitenkin aika alhaista ja esimerkiksi vain 2–10 % ALAsta muutetaan DHA:ksi ja EPAksi. Tämän vuoksi DHA:n ja AA:n saanti on pääosin riippuvainen ravinnosta saatavien rasvahappojen määrästä.

Ihmisen äidinmaito sisältää aina LCPUFAs (Hadders-Algra 2005). Kaikki saatavilla olevat kaupalliset korvikkeet eivät sisällä LCPUFAs joko ollenkaan tai riittäviä määriä. Vuodesta 1980 alkaen DHA:ta ja AA:ta on lisätty korvikkeisiin kalaöljynä, leväöljynä tai yksisoluisena öljynä (Xu ja muut 2024). Kalaöljy on tällä hetkellä käytetyin ja myös edullisin DHA:n ja EPA:n lähde korvikkeissa (Wei ja muut 2019). Tästä huolimatta esimerkiksi Pohjois-Amerikassa the American Life Sciences Research Office ei suositellut AA:n tai DHA:n lisäämistä korvikkeisiin vielä vuonna 1998 ennen kuin lisää tutkimustuloksia niiden hyödyistä tai haitoista tulisi saataville (Richard ja muut 2016). Tämän vuoksi Pohjois-Amerikassa on edelleen markkinoilla korvikkeita, joihin ei ole lisätty DHA:ta ja AA:ta. Hiljattain myös Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA, engl. European Food Safety Authority) linjasi asetuksessa (EU) 2016/127, että AA:ta ei enää ole välttämätöntä lisätä täysiaikaisena syntyneiden imeväisten korvikkeisiin, mutta DHA:n lisääminen pysyy pakollisena. EFSA:n päätöksen mukaan tällä hetkellä ei ole riittävästi tarjolla tutkimustietoa, joka tukisi AA:n välttämättömyyttä imeväisen ensimmäisen ikävuoden aikana.

LCPUFAs vaikuttavat imeväisten kasvuun ja kehitykseen sekä positiivisesti aivojen ja niiden toiminnan kehitykseen (Hadders-Algra 2005). Vaikka DHA:n ja AA:n kokonaispitoisuus äidinmaidon rasvasta on alle 1 %, niillä on todettu olevan merkittäviä hyötyjä imeväisten ensimmäisen elinvuoden aikana (Brenna ja Carlson 2014). Varmojen tutkimustulosten saaminen on kuitenkin osoittautunut haastavaksi, sillä DHA:n ja AA:n osalta kyse on yksittäisistä yhdisteistä, jolloin vaikutukset ovat vaatimattomia ja siten vaikeita huomata tai mitata (Gould ja muut 2013). Tämän vuoksi kyseisten rasvahappojen positiivisia terveysvaikutuksia on ollut vaikea todentaa.

Edellä mainituista haasteista huolimatta on runsaasti tutkimuksia, jotka todistavat omega-3- ja omega-6-rasvahappojen hyödyt imeväisten terveydelle. Yksi yleisimmistä omega-3- ja omega-6-rasvahappojen hyödyistä liittyy infektioihin, astmaan sekä atooppisiin sairauksiin. Adjibaden (2022) tutkimuksessa

verrattiin DHA/AA/EPA -täydennettyä korviketta sekä perinteistä korviketta, jota ei ollut täydennetty kyseisillä rasvahapoilla. Täydentämättömän korvikkeen DHA-pitoisuus oli alle 10 mg/100 kcal ja EPA-pitoisuus alle 3,2 mg/100 kcal. Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että täydennetty korvike vähensi alahengitysteiden infektioita sekä astmalääkkeiden käyttöä. Erityisesti korkea DHA-pitoisuus (≥ 10 mg/100 kcal) ja korkea EPA-pitoisuus ($\geq 3,2$ mg/100 kcal) yhdistettiin infektioiden ja astmalääkkeiden käytön vähenemiseen. Lisäksi DHA/AA/EPA -täydennetty korvike oli yhteydessä ruoka-allergioiden riskin pienentymiseen.

Myös Lapillonne (2014) sai samankaltaisia tuloksia tutkimuksestaan, jossa verrattiin LCPUFA -täydennettyä korviketta sekä täydentämättömää korviketta. Täydennetyt korvikkeet olivat Enfamil Premium 1 ja 2, joiden DHA:n ja AA:n määrät olivat 17 mg/100 kcal ja 34 mg/100 kcal. Täydentämättömät korvikkeet olivat Enfalac ja Enfamil 2, joihin ei ollut lisätty erikseen DHA:ta ja AA:ta. Tulokseksi saatiin, että perusterveillä imeväisillä DHA/AA -korvike vähensi yleisten hengitystieoireiden- ja sairauksien sekä ripulin riskiä. Tutkimuksen perusteella DHA/AA -korviketta käyttäneillä imeväisillä esiintyi vähemmän keuhkoputkentulehduksia, nenän tukkoisuutta, yskää ja ripulia verrattuna perinteistä korviketta käyttäneisiin imeväisiin. Yleisesti omega-3- ja omega-6-rasvahappojen vaikutukset atooppisiin sairauksiin, kuten astmaan ja allergioihin, on liitetty ravinnon korkeaan L-pitoisuuteen yhdessä matalan EPA- ja DHA-pitoisuuden kanssa (Richard ja muut 2016). Tämä on yhdistetty esimerkiksi niin sanottuun länsimaalaiseen ravitsemukseen, jossa ravinnon EPA:n ja DHA:n pitoisuudet ovat matalat.

Ravinnon LCPUFA-pitoisuuksilla on todistettu olevan myös yhteys tyypin 1 diabeteksen puhkeamiseen. Eräässä tutkimuksessa osoitettiin, että kalanmaksaöljyn lisääminen imeväisten ravintoon alensi tyypin 1 diabeteksen riskiä (Stene ja Joner 2003). Kalanmaksaöljy sisältää runsaasti omega-3-rasvahappoja, kuten DHA:ta ja EPAa, minkä lisäksi se on hyvä D-vitamiinin lähde. Tutkimuksen mukaan D-vitamiinin lisäys ei kuitenkaan ollut yhteydessä vähentyneeseen tyypin 1 diabeteksen riskiin. Myös toisessa tutkimuksessa todettiin, että omega-3-rasvahapot vähensivät tyypin 1 diabeteksen riskiä niillä lapsilla, joilla oli geneettisesti suurempi riski sairauden puhkeamiseen (Norris ja muut 2007). Ensimmäisen tutkimuksen mukaan kalanmaksaöljyn vaikutus diabeteksen puhkeamiseen saattaa liittyä omega-3-rasvahappojen tulehdusta ehkäiseviin vaikutuksiin (Stene ja Joner 2003).

3.1.1 Aivojen ja hermoston kehitys

Infektioiden ja atooppisten sairauksien lisäksi omega-3- ja omega-6-rasvahapot vaikuttavat imeväisen aivojen ja hermoston kehitykseen. Aivo- ja hermokudokset sisältävät poikkeuksellisen runsaasti DHA:ta sekä muita LCPUFAa (Brenna ja Carlson 2014). Ihmisen aivot kehittyvät aina 18-vuotiaaksi

asti, mutta kehitys on merkittävintä raskauden puolivälistä kahden vuoden ikään. Useiden tutkimusten perusteella ihmisen aivot tarvitsevat jatkuvan DHA:n lähteen kehittyäkseen normaalisti. LCPUFAt vaikuttavat aivojen kehitykseen esimerkiksi hermosolujen kalvojen rakenteeseen, synaptogeneesiin ja myelinaatioon (Liao ja muut 2017). Muilla kädellisillä kuin ihmisillä tehdyt tutkimukset osoittavat, että DHA:n vähentäminen ravinnossa vaarantaa näköaistin normaalin kehittymisen (Brenna ja Carlson 2014). Lisäksi aivojen DHA-pitoisuuden on todettu olevan pienempi sellaisilla imeväisillä, joita on ruokittu korvikkeella, joka sisältää vain DHA:n esiasteita eikä esimuodostettua DHA:ta.

Liao ja muut (2017) tarkastelivat ravinnon LCPUFA-täydennyksen vaikutuksia imeväisen aivojen toimintaan ensimmäisten 12 elinkuukauden aikana. Tutkimuksessa mitattiin muutoksia imeväisten aivoissa tapahtuvissa sähköpotentiaaleissa kahden tyyppisellä ärsykkeellä. Tutkimuksessa käytettiin niin sanottua Go/No-Go -tehtävää, jossa Go-ärsyke esitetään usein ja No-Go huomattavasti harvemmin. Tällöin Go-ärsykeen vaste muuttuu hallitsevaksi, mikä tarkoittaa, että No-Go:n vaste estää Go-vasteen. Go/No-Go-kokeiden avulla voidaan arvioida aivojen neurofunktionaalisia vasteita. Tutkimuksessa havaittiin, että kontrolliryhmän ja LCPUFA-täydennetyt ryhmän tuloksien välillä oli merkittäviä eroja. LCPUFA-täydennetyllä ryhmällä oli hieman nopeampi reaktioaika, ja aivojen aktivaatio viittasi tehokkaampaan kognitiiviseen prosessointiin. Tutkimuksen tulokset viittaavat vahvasti siihen, että ravinnon LCPUFA-pitoisuus vaikuttaa aivojen kehitykseen ja toimintaan.

Toisessa tutkimuksessa selvitettiin DHA/AA-lisäyksen vaikutusta imeväisten näöntarkkuuteen (Birch ja muut 2010). Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella DHA:n vaikutusta, mutta koska korvikkeet sisälsivät myös 0,64 % AA:ta, voidaan tulosten katsoa olevan näiden kahden rasvahapon yhteisvaikutusta. Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri DHA-pitoisuutta, jotka olivat 0,32 %, 0,64 % ja 0,96 %. Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että DHA/AA-lisäys paransi korvikeruokittujen imeväisten näöntarkkuutta. Kontrolliryhmän imeväisillä oli huomattavasti heikompi visuaalinen potentiaali ja näöntarkkuus. Korvikkeiden DHA:n pitoisuuden vaihtelulla ei kuitenkaan ollut vaikutusta näkökyvyn kehittymiseen, vaan havaitut hyödyt toteutuivat kaikilla DHA-pitoisuuksilla.

Colombo ja muut (2011) tarkastelivat tutkimuksessaan DHA/AA-korvikkeen vaikutusta imeväisten sydän- ja verenkiertoelimistön toimintaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin samoja DHA-pitoisuuksia ja AA:n pitoisuutta kuin Birch ja muiden tutkimuksessa. Tulokseksi saatiin, että kaikilla DHA/AA-korvikeruokituilla imeväisillä oli matalammat sydämensykkeet kuin kontrolliryhmän imeväisillä. DHA/AA-täydennetyillä ryhmillä sykkeet laskivat 4, 6 ja 9 kuukauden iässä 4–9 lyöntiä minuutissa verrattuna kontrolliryhmiin. Tämän ja aikaisemmin mainittujen tutkimuksien tulokset vahvistavat käsityksen siitä, että ravinnon DHA:lla ja AA:lla on monenlaisia vaikutuksia imeväisten kehitykseen.

Edellä mainittujen vaikutuksien lisäksi omega-3- ja 6-rasvahappojen seuraukset imeväisen kognitiiviseen kehitykseen voivat olla hyvinkin pitkäaikaisia. Eräissä tutkimuksissa tarkasteltiin LCPUFA-lisäyksen vaikutuksia yhdeksänvuotiailla lapsilla (Lepping ja muut 2019). Tutkimuksen perusteella DHA- ja AA-lisäys vaikutti lasten aivojen rakenteeseen ja toimintaan vielä kahdeksan vuotta lisäyksen päättymisen jälkeen. LCPUFA-lisäraavinne vaikutti aivojen rakenteeseen alueilla, jotka liittyvät esimerkiksi tarkkaavaisuuteen ja aivosolujen signaalointiin. Tutkimuksen mukaan kyseisen vaikutusalueen matala LCPUFA-pitoisuus on yhdistetty lapsuuden aktiivisuuden ja tarkkaavaisuuden häiriöön. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että LCPUFA-lisäyksen seuraukset ovat pitkäikäisiä ja vaikuttavat pitkälle lapsuuteen ja mahdollisesti myös aikuisuuteen. Aivot kehittyvät radikaalisti ensimmäisten elinvuosien aikana, joten puutteet välttämättömissä rakennusaineissa voivat aiheuttaa pysyviä muutoksia aivojen rakenteessa ja toiminnassa.

3.2 Suoliston kehitys

3.2.1 Rasvahappojen imeytyminen

Imeväiset eivät ole ainoastaan pienikokoisia ihmisiä, vaan niillä on erilainen fysiologia kuin aikuisilla ihmisillä (He ja muut 2020). Imeväisten ruuansulatuselimistö ei ole syntymän hetkellä vielä täysin kehittynyt ja esimerkiksi vatsalaukun pepsiinientsyymien määrä on matala ja vatsan pH neutraali. Lisäksi vatsalaukun supistumiskyky on kypsytön pienillä lapsilla. Äidinmaidon rasva täyttää noin 50 % imeväisten energiantarpeesta (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Rasvan imeytyminen on imeväisillä kuitenkin vähemmän tehokasta, ja noin 10 % ravinnosta saatavista rasvoista ei imeydy. Imeytymättömien rasvojen osuuden on todettu olevan suurempi korvikeruokituilla kuin rintaruokituilla imeväisillä.

Vatsalaukun lipaasientsyymi aloittaa rasvojen pilkkomisen ruuansulatuselimistössä (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Lipaasientsyymi pystyy hydrolysoimaan kaikkia TAG-molekyylin sidoksia, mutta sillä on stereospesifisyyttä *sn*-3-asetalle (He ja muut 2020). Lisäksi hydrolysaatio on tehokkaampaa keskipitkäketjuisille rasvahapoille kuin pitkäketjuisille. Lipaasientsyymi saa aikaan TAG-molekyylin hajoamisen *sn*-1,2-diasyyliglyseroliksi sekä vapaaksi rasvahapoksi. Kun vatsahappo on hajottanut TAGit diasyyliglyseroleiksi, haiman lipaasi jatkaa rasvojen pilkkomista (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Haiman entsyymi hydrolysoi erityisesti *sn*-1- ja *sn*-3-asetissa olevia rasvahappoja. Hydrolysoinnin seurauksena jäljelle jää monoasyyliglyseroli sekä kaksi vapaata rasvahappoa. Glyserolimolekyylissä kiinni oleva rasvahappo on *sn*-2-asetassa ja äidinmaidossa kyseinen rasvahappo on useimmiten SFA. Vapaat rasvahapot imeytyvät suoraan ruuansulatuskanavasta, mutta monoasyyliglyserolin pilkkoutuminen tarvitsee sappisuolujen sekoittumista rasvamiselleihin.

Äidinmaidossa suurin osa palmitiinihaposta on sitoutuneena *sn-2*-asemaan, minkä seurauksena ne jäävät ruuansulatuksessa osaksi monoasyyliglyserolia (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Vapaa palmitiinihappo pystyy muodostamaan imeytymättömiä kalsiumsaippuonia, jotka erittyvät ulosteeseen. Liiallinen kalsiumsaippuoiden muodostuminen voi aiheuttaa imeväisille ulosteen kovuutta ja ummetusta. Kun palmitiinihappo on *sn-2*-asemassa, se imeytyy monoasyyliglyserolista ja samalla myös kalsium imeytyy normaalisti. Palmitiinihapon ja myös muiden pitkäketjuisten SFA:iden sijoittuminen *sn-2*-asemaan parantaa rasvahappojen ja kalsiumin biologista saatavuutta sekä ehkäisee ulosteen kovuudelta.

Eräissä tutkimuksissa mitattiin erilaisten korvikkeiden ja äidinmaidon imeytymistä ruuansulatuksessa kaksivaiheisella *in vitro* -pilkkoutumisella, joka koostui mahalaukun ja pohjukaissuolen vaiheista. (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Tutkimuksessa käytettiin täysin kasvirasvoista valmistettua korviketta (IF1) sekä naudan maitorasvasta (67 %) ja kasvirasvoista (33 %) valmistettua korviketta (IF2). Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että vapautuneiden rasvahappojen kokonaismäärissä ei ollut eroja äidinmaidon ja korvikkeiden välillä, mutta vapautumisen nopeudessa ja vaiheessa oli. Mahalaukun vaiheen aikana äidinmaidosta vapautuneiden rasvahappojen osuus oli 4 %, IF1:n 10 % ja IF2:n 11 %. Lisäksi aikaisen pohjukaissuolen vaiheen aikana IF1:n hydrolysaatio oli nopeampaa kuin IF2:n.

Tutkimuksen perusteella mahalaukun vaiheen aikana lyhytketjuisia rasvahappoja vapautui eniten (Hageman, Keijer, ja muut 2019). Näiden lisäksi palmitiinihappoa ja oleiinihappoa vapautui runsaasti. IF1:ssä vapautuneen palmitiinihapon määrä oli kaikista suurin, ja molemmista korvikkeista vapautui palmitiinihappoa enemmän kuin äidinmaidosta. Toisaalta LCPUFAs vapautui äidinmaidosta huomattavasti enemmän kuin korvikkeista. Lisäksi IF2:ssa näkyi naudan maitorasvassa yleisesti esiintyvän voihiapon (C4:0) pilkkoutuminen, jota ei äidinmaidossa tai IF1:ssä esiintynyt juuri ollenkaan. Kokonaisuudessa äidinmaidon pilkkoutuminen vapautti enemmän tyydyttymättömiä rasvahappoja kuin korvikkeiden pilkkoutuminen. Tämän tutkimuksen tuloksista nähdään, että eri rasvalähteistä valmistettujen korvikkeiden ja äidinmaidon rasvojen pilkkoutumisessa on selkeitä eroja. Eroavaisuudet perustuvat ennen kaikkea rasvojen sijoittumiseen TAG-molekyylien eri *sn*-asemiin. Erityisesti lauriinihapon, oleiinihapon ja palmitiinihapon vapautumisessa on merkittäviä eroja äidinmaidon ja korvikkeiden välillä.

3.2.2 Palmitiinihapon vaikutus suolistomikrobistoon

Ihmisen suoliston mikrobiston kehittyminen alkaa kohdussa ja jatkuu vielä ensimmäisten 23n elinvuoden ajan (Davis ja muut 2017). Mikrobiston kehittyminen on hyvin monimutkainen prosessi,

johon vaikuttavat esimerkiksi synnytystapa, ruokavalio, pre- ja probiootit, antibiootit sekä äidin ikä, paino ja stressi. Häiriöt suoliston mikrobiston kehittämisessä tai monimuotoisuudessa on yhdistetty moniin myöhemmällä iällä ilmeneviin ongelmiin, kuten ekseemaan, astmaan, tulehdukselliseen suolistosairauteen, ärtyvän suolen oireyhtymään, lihavuuteen ja diabetekseen.

Syntymän jälkeen imeväisen suolistomikrobisto koostuu pääasiassa fakultatiivisista anaerobeista, kuten *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* ja *Enterobacteriaceae* (Davis ja muut 2017). Nämä bakteerit valmistelevat ruuansulatuskanavan aerobisille bakteereille, kuten *Bifidobacterium*, *Bacteroides* ja *Colostridium*. Syntymän jälkeen rintaruokinta edistää *Bifidobakteerien* kasvua suolistossa, mikä johtaa happamampaan suolistoympäristöön (Ito ja muut 2025). Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että rintaruokittujen ja korvikeruokittujen lasten suolistomikrobiston muodostumisessa on eroja (Davis ja muut 2017). Lisäksi rintaruokittujen suolistomikrobiston on todettu olevan vakaampi kuin korvikeruokituilla lapsilla.

Palmitiinihapon vaikutuksia imeväisten suolistomikrobiston kehittymiseen on myös tutkittu laajasti. Eräässä tutkimuksessa mitattiin *sn-2*-asemassa sijaitsevan palmitiinihapon vaikutusta imeväisten suolistomikrobistoon 16 viikon aikana (Guo ja muut 2022). Tutkimuksessa imeväisille annettiin korviketta, jonka *sn-2*-asemassa olevan palmitiinihapon pitoisuus oli korkea verrattuna perinteisiin kaupallisiin korvikkeisiin. Kontrolliryhmiä oli kaksi, joista toinen sai perinteistä korviketta ja toinen äidinmaitoa. Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että *sn-2*-asemassa oleva palmitiinihapo edisti *Bifidobakteerien* kasvua ja vähensi *Escherichia-Shigellan* määrää 8 viikon kohdalla. *Bifidobakteerit* vaikuttavat positiivisesti imeväisten immuunijärjestelmän kehitykseen ja ne vähentävät suolistotulehdusten riskiä. Lisäksi *Escherichia-Shigella* voi aiheuttaa suoliston ulkopuolisia infektiota ja ripulia, joten niiden vähentyminen vaikuttaa positiivisesti imeväisten terveyteen.

Toisessa tutkimuksessa mitattiin *sn-2*-asemassa olevan palmitiinihapon vaikutuksia kalsiumsaippuoiden muodostumiseen ja suolistomikrobistoon (Ito ja muut 2025). Tutkimuksessa verrattiin matalapitoista korviketta, jossa *sn-2*-asemassa olevan palmitiinihapon pitoisuus oli alle 50 % ja korkeapitoista korviketta, jossa pitoisuus oli yli 50 %. Yleisesti palmitiinihapon matala *sn-2*-pitoisuus on yhdistetty korkeampaan kalsiumsaippuoiden määrään ja ulosteen kovuuteen. Tämän tutkimuksen perusteella kalsiumsaippuoiden runsas muodostuminen vähensi *Bifidobakteerien* määrää suolistomikrobistossa sekä nosti ulosteen pH:ta. Guon ja muiden (2022) tutkimuksen perusteella korkea *sn-2*-palmitiinihapon pitoisuus lisää ulosteen asetaattipitoisuutta, mikä johtuu pääasiassa *Bifidobakteerien* ja *Lactobacilluksen* esiintymisestä. Asetaatti säätelee suoliston pH-arvoa ja vaikuttaa esimerkiksi taudinaiheuttajien lisääntymiseen. Runsa kalsiumsaippuoiden määrä siis vähentää asetaatin pitoisuutta ja siten nostaa suoliston pH:ta.

Suolistomikrobiston kehittymisen lisäksi eräässä tutkimuksessa osoitettiin, että korkea palmitiinihapon *sn*-2-pitoisuus edisti imeväisten luuston kehitystä (Litmanovitz ja muut 2013). Tutkimuksessa vertailtiin kahta korviketta, joiden palmitiinihapon *sn*-2-pitoisuudet olivat 43 % ja 14 %. Tulokseksi saatiin, että 12 viikon iässä korkeamman palmitiinihapon *sn*-2-pitoisuuden ryhmällä oli merkittävästi parempi luiden vahvuus kuin kontrolliryhmällä. Tämä voi olla yhteydessä matalan *sn*-2-pitoisuuden aiheuttamaan kalsiumsaippuoiden muodostumiseen, mikä vaikuttaa kalsiumin imeytymiseen suolistosta.

Kaikkien edellä mainittujen tutkimuksien perusteella voidaan todeta, että palmitiinihapon asemoitumisella on monia vaikutuksia imeväisten terveyteen. Palmitiinihappo vastaa yksin jopa 10 % imeväisten energiantarpeesta, minkä vuoksi sen oikeanlainen imeytyminen on hyvin tärkeää imeväisten terveydelle ja ravitsemukselle (Wei ja muut 2019). Korvikkeissa palmitiinihapon asemoituminen on lähes päinvastaista kuin äidinmaidossa, mikä tutkimuksien perusteella johtaa palmitiinihapon hydrolysointiin ja kalsiumsaippuoiden muodostumiseen. Korvikkeiden korkeampi *sn*-2-palmitiinihapon pitoisuus parantaisi rasvojen imeytymistä ja imeväisten suolistomikrobiston kehittymistä.

4 Yhteenveto

Äidinmaito on imeväiselle ensisijainen ja paras ravinnonlähde, joka tarjoaa kaikki lapsen kasvuun ja kehittymiseen tarvittavat ravintoaineet. Silloin kun vastasyntyneen imetys ei ole mahdollista tai riittävää, imeväisen ravitsemus turvataan äidinmaidon korvikkeilla. Erityisesti äidinmaidon rasvakoostumus on tärkeä imeväisten ravitsemuksen kannalta, minkä vuoksi korvikkeiden rasvakoostumuksesta pyritään tekemään mahdollisimman hyvin äidinmaidon rasvan kaltaista. Nykypäivänä korvikkeiden rasvahappokoostumus vastaa yleisesti hyvin äidinmaidon koostumusta. Yksittäisten rasvahappojen pitoisuuksissa ja erityisesti rasvahappojen sijoittumisessa TAG-molekyyliden *sn*-1,-2- ja -3 -asemiin on kuitenkin eroja korvikkeiden ja äidinmaidon välillä.

Merkittävin ero korvikkeiden rasvakoostumuksessa verrattuna äidinmaitoon on SFA:iden ja PUFAn sijoittumisessa *sn*-asemiin. Näiden lisäksi omega-3- ja 6-rasvahappojen pitoisuuksilla on huomattavia terveysvaikutuksia imeväisiin. Koska äidinmaito on imeväisille ensisijainen ravinnonlähde, sitä tulisi käyttää standardina korvikkeiden kehityksessä. Tästä huolimatta esimerkiksi Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen linjauksen mukaan ARAn lisäys korvikkeisiin ei ole enää pakollista, vaikka sitä esiintyy aina äidinmaidossa. Tällaisten päätöksiensä vuoksi äidinmaito sekä äidinmaidon korvikkeet ovat edelleen tärkeitä tutkimuskohteita, jotta voidaan varmistaa imeväisten ravitsemuksen laatu.

Erilaisten korvikkeiden ravitsemuksellisia ja terveydellisiä vaikutuksia on tutkittu laajasti. Vaikutuksia ilmenee ruuansulatuselimistön toiminnasta aina aivojen ja hermoston kehitykseen. Rasvahappojen sijoittuminen TAG-molekyyleihin vaikuttaa erityisesti suoliston toimintaan, kalsiumsaippuoiden muodostumiseen ja suolistomikrobistoon. Omega-3- ja 6-rasvahappojen pitoisuudet puolestaan vaikuttavat infektioiden esiintymiseen, erilaisten atooppisten sairauksien ja tyypin 1 diabeteksen riskiin sekä aivojen kehitykseen ja toimintaan. Korvikkeiden ravitsemuksellisen laadun varmistamisen pitäisi olla ensisijainen tavoite, sillä vääränlaisten korvikkeiden vaikutukset ovat laaja-alaisia ja myös pitkäaikaisia. Erityisesti vaikutukset imeväisten aivojen kehitykseen ensimmäisen ikävuoden aikana voivat vaikuttaa aivojen rakenteeseen ja toimintaan koko loppuelämän ajan.

Tämän tutkielman tavoitteena oli määrittää merkittävimmät erot korvikkeiden ja äidinmaidon välillä sekä tarkastella erojen aiheuttamia terveysvaikutuksia. Tutkielman johtopäätös on, että vielä nykypäivänäkin korvikkeet vastaavat osin erittäin huonosti äidinmaidon koostumusta ja niiden koostumusta tulee kehittää edelleen. Lisäksi on huomattavaa, että yksittäisten rasvahappojen vaikutuksia imeväisten kehitykseen tulee tutkia enemmän, jotta voidaan varmistaa, että myös korvikkeissa on kaikki imeväisten tarvitsemat ravintoaineet.

5 Lähteet

- Adjibade, M., Davaisse-Paturet, C., Bernard, J. Y., Adel-Patient, K., Divaret-Chauveau, A., Lioret, S., ... De Lauzon-Guillain, B. (2022) Enrichment of infant formula with long-chain polyunsaturated fatty acids and risk of infection and allergy in the nationwide ELFE birth cohort. *Allergy* **77**:1522–1533.
- Birch, E. E., Carlson, S. E., Hoffman, D. R., Fitzgerald-Gustafson, K. M., Fu, V. L., Drover, J. R., ... Diersen-Schade, D. A. (2010) The DIAMOND (DHA Intake And Measurement Of Neural Development) Study: A double-masked, randomized controlled clinical trial of the maturation of infant visual acuity as a function of the dietary level of docosahexaenoic acid. *Am J Clin Nutr* **91**:848–859.
- Brenna, J. T. & Carlson, S. E. (2014) Docosahexaenoic acid and human brain development: Evidence that a dietary supply is needed for optimal development. *J Hum Evol* **77**:99–106.
- Brenna, J. T., Varamini, B., Jensen, R. G., Diersen-Schade, D. A., Boettcher, J. A. & Arterburn, L. M. (2007) Docosahexaenoic and arachidonic acid concentrations in human breast milk worldwide. *Am J Clin Nutr* **85**:1457–1464.
- Colombo, J., Carlson, S. E., Cheatham, C. L., Fitzgerald-Gustafson, K. M., Kepler, A. & Doty, T. (2011) Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Supplementation in Infancy Reduces Heart Rate and Positively Affects Distribution of Attention. *Pediatr Res* **70**:406–410.
- COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2016/ 127—Of 25 September 2015—Supplementing Regulation (EU) No 609/ 2013 of the European Parliament and of the Council as regards the specific compositional and information requirements for infant formula and follow-on formula and as regards requirements on information relating to infant and young child feeding.
- Davis, E. C., Wang, M. & Donovan, S. M. (2017) The role of early life nutrition in the establishment of gastrointestinal microbial composition and function. *Gut Microbes* **8**:143–171.
- Fabritius, M., Linderborg, K. M., Tarvainen, M., Kalpio, M., Zhang, Y. & Yang, B. (2020) Direct inlet negative ion chemical ionization tandem mass spectrometric analysis of triacylglycerol regioisomers in human milk and infant formulas. *Food Chem* **328**:126991.

- Fomon, S. J. (2001) Infant Feeding in the 20th Century: Formula and Beikost. *J Nutr* **131**:409S-420S.
- Gould, J. F., Smithers, L. G. & Makrides, M. (2013) The effect of maternal omega-3 (n-3) LCPUFA supplementation during pregnancy on early childhood cognitive and visual development: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* **97**:531–544.
- Guo, D., Li, F., Zhao, J., Zhang, H., Liu, B., Pan, J., ... Zhai, Q. (2022) Effect of an infant formula containing sn-2 palmitate on fecal microbiota and metabolome profiles of healthy term infants: A randomized, double-blind, parallel, controlled study. *Food Funct* **13**:2003–2018.
- Hadders-Algra, M. (2005) The Role of Long-Chain Poly-Unsaturated Fatty Acids (LCPUFA) in Growth and Development. Teoksessa B. Koletzko, P. Dodds, H. Akerblom, & M. Ashwell (Toim.), *Early Nutrition and its Later Consequences: New Opportunities* (Vol. 569, s. 80–94). Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hageman, J. H. J., Danielsen, M., Nieuwenhuizen, A. G., Feitsma, A. L. & Dalsgaard, T. K. (2019) Comparison of bovine milk fat and vegetable fat for infant formula: Implications for infant health. *Int Dairy J* **92**:37–49.
- Hageman, J. H. J., Keijer, J., Dalsgaard, T. K., Zeper, L. W., Carrière, F., Feitsma, A. L. & Nieuwenhuizen, A. G. (2019) Free fatty acid release from vegetable and bovine milk fat-based infant formulas and human milk during two-phase *in vitro* digestion. *Food Funct* **10**:2102–2113.
- He, X., McClorry, S., Hernell, O., Lönnerdal, B. & Slupsky, C. M. (2020) Digestion of human milk fat in healthy infants. *Nutr Res* **83**:15–29.
- Ito, A., Shoji, H., Arai, H., Kakiuchi, S., Sato, K., Jinno, S., ... Shimizu, T. (2025) Feeding infant formula with low sn-2 palmitate causes changes in newborn's intestinal environments through an increase in fecal soaped palmitic acid. *PLOS One* **20**:e0324256.
- Jensen, R. G. (1996) The lipids in human milk. *Prog Lipid Res* **35**:53–92.
- Jiang, X., Zou, X., Chao, Z. & Xu, X. (2022) Preparation of Human Milk Fat Substitutes: A Review. *Life* **12**:187.
- Kallio, H., Nylund, M., Boström, P. & Yang, B. (2017a) Triacylglycerol regioisomers in human milk resolved with an algorithmic novel electrospray ionization tandem mass spectrometry method. *Food Chem* **233**:351–360.

- Kallio, H., Nylund, M., Boström, P. & Yang, B. (2017b) Triacylglycerol regioisomers in human milk resolved with an algorithmic novel electrospray ionization tandem mass spectrometry method. *Food Chem* **233**:351–360.
- Kallio, H., Yli-Jokipii, K., Kurvinen, J.-P., Sjövall, O. & Tahvonen, R. (2001) Regioisomerism of Triacylglycerols in Lard, Tallow, Yolk, Chicken Skin, Palm Oil, Palm Olein, Palm Stearin, and a Transesterified Blend of Palm Stearin and Coconut Oil Analyzed by Tandem Mass Spectrometry. *J Agric Food Chem* **49**:3363–3369.
- Koletzko, B. (2016) Human Milk Lipids. *Ann Nutr Metab* **69**:27–40.
- Lapillonne, A., Pastor, N., Zhuang, W. & Scalabrin, D. M. (2014) Infants fed formula with added long chain polyunsaturated fatty acids have reduced incidence of respiratory illnesses and diarrhea during the first year of life. *BMC Pediatr* **14**:168.
- Lepping, R. J., Honea, R. A., Martin, L. E., Liao, K., Choi, I., Lee, P., ... Gustafson, K. M. (2019) Long-chain polyunsaturated fatty acid supplementation in the first year of life affects brain function, structure, and metabolism at age nine years. *Dev Psychobiol* **61**:5–16.
- Liao, K., McCandliss, B. D., Carlson, S. E., Colombo, J., Shaddy, D. J., Kerling, E. H., ... Gustafson, K. M. (2017) Event-related potential differences in children supplemented with long-chain polyunsaturated fatty acids during infancy. *Dev Sci* **20**:e12455.
- Lindmark Månsson, H. (2008) Fatty acids in bovine milk fat. *Food Nutr Res* **52**:1821.
- Litmanovitz, I., Davidson, K., Eliakim, A., Regev, R. H., Dolfin, T., Arnon, S., ... Nemet, D. (2013) High Beta-Palmitate Formula and Bone Strength in Term Infants: A Randomized, Double-Blind, Controlled Trial. *Calcif Tissue Int* **92**:35–41.
- Lopes, T. I. B., Cañedo, M. C., Oliveira, F. M. P. & Alcantara, G. B. (2018) Toward Precision Nutrition: Commercial Infant Formulas and Human Milk Compared for Stereospecific Distribution of Fatty Acids Using Metabolomics. *OMICS J Integr Biol* **22**:484–492.
- Lucas, A., Quinlan, P., Abrams, S., Ryan, S., Meah, S. & Lucas, P. J. (1997) Randomised controlled trial of a synthetic triglyceride milk formula for preterm infants. *Arch Dis Child - Fetal Neonatal Ed* **77**:F178–F184.
- Mazzocchi, A., D’Oria, V., Cosmi, V. D., Bettocchi, S., Milani, G. P., Silano, M. & Agostoni, C. (2018) The Role of Lipids in Human Milk and Infant Formulae. *Nutrients* **10**:567.
- Mendonça, M. A., Araújo, W. M. C., Borgo, L. A. & Alencar, E. D. R. (2017) Lipid profile of different infant formulas for infants. *PLOS ONE* **12**:e0177812.
- Mosca, F. & Gianni, M. L. (2017) Human milk: Composition and health benefits. *Pediatr Med Chir* **39**.

- Norris, J. M., Yin, X., Lamb, M. M., Barriga, K., Seifert, J., Hoffman, M., ... Rewers, M. (2007) Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Intake and Islet Autoimmunity in Children at Increased Risk for Type 1 Diabetes. *JAMA* **298**:1420.
- Obladen, M. (2014) Historic Records on the Commercial Production of Infant Formula. *Neonatology* **106**:173–180.
- Purkiewicz, A. & Pietrzak-Fiećko, R. (2024) Determination of the Fatty Acid Profile and Lipid Quality Indices in Selected Infant Formulas. *Molecules* **29**:2044.
- Richard, C., Lewis, E. D. & Field, C. J. (2016) Evidence for the essentiality of arachidonic and docosahexaenoic acid in the postnatal maternal and infant diet for the development of the infant's immune system early in life. *Appl Physiol Nutr Metab* **41**:461–475.
- Ross, B. M., Seguin, J. & Sieswerda, L. E. (2007) Omega-3 fatty acids as treatments for mental illness: Which disorder and which fatty acid? *Lipids Health Dis* **6**:21.
- Simopoulos, A. P. (2002) The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother* **56**:365–379.
- Spitsberg, V. L. (2005) Invited Review: Bovine Milk Fat Globule Membrane as a Potential Nutraceutical. *J Dairy Sci* **88**:2289–2294.
- Stene, L. C. & Joner, G. (2003) Use of cod liver oil during the first year of life is associated with lower risk of childhood-onset type 1 diabetes: A large, population-based, case-control study. *Am J Clin Nutr* **78**:1128–1134.
- Sun, C., Wei, W., Su, H., Zou, X. & Wang, X. (2018) Evaluation of sn-2 fatty acid composition in commercial infant formulas on the Chinese market: A comparative study based on fat source and stage. *Food Chem* **242**:29–36.
- Wei, W., Jin, Q. & Wang, X. (2019) Human milk fat substitutes: Past achievements and current trends. *Prog Lipid Res* **74**:69–86.
- Wei, W., Yang, J., Xia, Y., Chang, C., Sun, C., Yu, R., ... Wang, X. (2018) Tocopherols in human milk: Change during lactation, stability during frozen storage, and impact of maternal diet. *Int Dairy J* **84**:1–5.
- Xu, Q., Zhang, F., Zou, Q., Wang, W. & Wang, Y. (2024) How far are we from tailor-made human milk fat substitutes? *Trends Food Sci Technol* **150**:104601.