

“Aivoruokaa”

Sofia Bueno & Quynh Dang
Helsingin yliopisto
Farmasian tiedekunta
Farmaseuttisen biologian osasto
Maaliskuu 2026

Tiivistelmä

Tiedekunta: Farmasian tiedekunta

Koulutusohjelma: Farmaseutin koulutusohjelma

Opintosuunta: Farmaseuttinen biologia

Tekijät: Sofia Bueno & Quynh Dang

Työn nimi: ”Aivoruokaa”

Työn laji: Kandidaatintutkielma

Kuukausi ja vuosi: Maaliskuu 2026

Sivumäärä: 18

Avainsanat: aivoterveys, kognitio, ravitsemus, neuroprotektio

Ohjaaja: Yvonne Holm

Säilytyspaikka: Farmaseuttisen biologian osasto

Tiivistelmä: Tässä farmasian kandidaatintutkielmassa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen avulla keskeisten ravintoaineiden biologisia vaikutusmekanismeja aivojen terveyteen ja kognitiiviseen toimintakykyyn. Tutkimus keskittyy omega-3-rasvahappojen, fosfolipidien, koliinin, valikoitujen vitamiinien ja mineraalien sekä polyfenolien rooliin aivotointojen tukemisessa. Analyysissä painotetaan näiden yhdisteiden kykyä ylläpitää solukalvojen rakenteellista eheyttä, tehostaa neurotransmissiota sekä suojata hermosoluja oksidatiiviselta stressiltä ja krooniselta tulehdukselta. Erityistä huomiota kiinnitetään ravintoaineiden välisiin additiivisiin ja synergistisiin yhteisvaikutuksiin, jotka korostuvat kokonaisvaltaisessa ruokavaliossa.

Tulokset osoittavat, että yksittäisten ravintoaineiden sijaan kognitiivista suorituskykyä ja neuroprotektiota edistää parhaiten ravitsemuksellinen kokonaisuus. Johtopäätöksenä todetaan, että Välimeren ruokavalion mukainen monipuolinen ravitsemus, joka sisältää runsaasti kalaa, kasviksia, pähkinöitä ja laadukkaita rasvoja, on tehokas keino tukea aivojen pitkäaikaista terveyttä ja ehkäistä ikääntymiseen liittyvää kognitiivista heikentymistä.

Abstract

Faculty: Faculty of Pharmacy

Degree programme: Bachelor's programme in Pharmacy

Study track: Pharmaceutical biology

Authors: Sofia Bueno & Quynh Dang

Thesis title: "Brain food"

Level: Bachelor's thesis

Month and year: March 2026

Number of pages: 18

Keywords: brain health, cognition, nutrition, neuroprotection

Supervisor: Yvonne Holm

Where deposited: Department of pharmaceutical biology

Abstract: This Bachelor's thesis in Pharmacy examines the biological mechanisms of key nutrients on brain health and cognitive function through a literature review. The study focuses on the roles of omega-3 fatty acids, phospholipids, choline, selected vitamins and minerals, and polyphenols in supporting brain activity. The analysis emphasizes the ability of these compounds to maintain the structural integrity of cell membranes, enhance neurotransmission, and protect neurons from oxidative stress and chronic inflammation. Particular attention is paid to the additive and synergistic interactions between nutrients, which are emphasized in a holistic diet.

The results indicate that rather than individual nutrients, cognitive performance and neuroprotection are best promoted by a nutritional whole. In conclusion, a versatile diet following Mediterranean principles, rich in fish, vegetables, nuts, and high-quality fats, is an effective way to support long-term brain health and prevent age-related cognitive decline.

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	1
2. OMEGA-3-RASVAHAPOT.....	2
3. FOSFOLIPIDIT JA KOLIINI.....	4
4. VITAMIINIT JA MINERAALIT.....	7
5. POLYFENOLIT.....	10
6. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	13
7. LÄHDELUETTELO.....	14

1. JOHDANTO

Apteekkien hyllyiltä löytyy laaja valikoima ravintolisiä, jotka on suunnattu tukemaan aivojen terveyttä ja kognitiivista toimintaa. Erityisesti omega-3-rasvahappoja, erilaisia vitamiineja sekä koliinia sisältävien valmisteiden suosio on kasvanut, koska niitä markkinoidaan muun muassa muistin, keskittymiskyvyn ja yleisen aivoterveyden tueksi. Näitä valmisteita yhdistää se, että niiden sisältämät ravintoaineet luokitellaan usein niin sanotuksi ”aivoruoaksi”.

Aivoruoka-termillä tarkoitetaan ravintoaineita ja elintarvikkeita, joiden on esitetty tukevan aivojen rakenteellista ja toiminnallista hyvinvointia. Aivoruokaan laajempaan käsitykseen voidaan sisällyttää myös elämäntapatekijät, kuten liikunta ja sosiaalinen aktiivisuus, sillä niilläkin on todistettu olevan positiivinen vaikutus kognitiiviseen toimintaan (1). Aivojen terveyden ja toimintakyvyn pitkäikäisyyden kannalta keskeistä on kaikkien näiden tekijöiden yhdistelmä. Oleellisinta ravintoaineiden tarkastelu on kuitenkin farmaseuttisesta näkökulmasta, sillä niiden farmakologisia vaikutuksia pystytään analysoimaan samalla tavalla kuin lääkkeiden vaikutuksia.

Aivojen kognitiivisen terveyden priorisointi on yhä merkittävämpi kansanterveydellinen haaste. Väestön ikääntyessä kognitio heikkenee ja neurodegeneratiiviset taudit, kuten Alzheimerin tauti, yleistyvät. Tämän vuoksi ennaltaehkäisevät toimet, kuten ravitsemuksen optimointi, ovat kriittisiä. Useat tutkimukset osoittavat, että esimerkiksi ”Mediterranean diet” eli Välimeren ruokavalio sisältää runsaasti aivoruoaksi luokiteltavia ravintoaineita, jotka suojaavat kognitiiviselta heikkenemiseltä (2,3).

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan neljää ravintoaineiden ryhmää, joita on tutkittu laajasti ja jotka perustuvat Välimeren ruokavalion periaatteisiin: omega-3-rasvahappoja, polyfenoleja, valikoituja vitamiineja ja hivenaineita sekä

fosfolipidejä ja koliinia. Käsittelyssä keskitytään erityisesti biologisiin vaikutusmekanismeihin, koska ravintoaineet eivät vaikuta yksinään, vaan voivat muodostaa additiivisia, antagonisia ja synergistisiä yhteisvaikutuksia (2). Tarkastelun ulkopuolelle jätetään suolisto-aivo-akseliin liittyvät mekanismit sekä B-vitamiinit, joista on jo olemassa erillisiä tutkielmia. Tämän tutkielman tavoitteena on analysoida, millä mekanismeilla nämä ravintoaineet vaikuttavat aivojen terveyteen ja kognitiivisiin toimintoihin.

2. OMEGA-3-RASVAHAPOT

Omega-3-rasvahapot ovat ihmiselle välttämättömän tärkeitä monitydyttymättömiä rasvahappoja, joita elimistö ei pysty tuottamaan riittävästi itse. Kemiallisesti rasvahapot luokitellaan niiden ensimmäisen kaksoissidoksen sijainnin perusteella. Tässä tapauksessa kaksoissidos on kolmannessa hiiliatomissa metyyliryhmästä eli omega-päästä laskettuna. Ihmisen fysiologiassa keskeisimpiä omega-3-rasvahappoja on kolme. Ne eroavat toisistaan hiiliketjun pituuden ja fysiologisten roolien osalta: alfa-linoleenihappo (ALA), eikosapentaeenihappo (EPA) ja dokosaheksaeenihappo (DHA). ALA on näistä lyhytketjuisin, joka sisältää 18 hiiliatomia, kun taas EPA ja DHA pitempiketjuisina sisältävät 20 ja 22 hiiliatomia. Näistä rasvahapoista ALA on ensisijaisesti välttämätön rasvahappo, sillä ihmiskeho ei kykene syntetisoimaan sitä (4).

Omega-3-rasvahappojen tutkiminen on aivojen kannalta tärkeää, sillä n. 50–60 % aivojen painosta koostuu rasvoista, joista 35 % muodostuu omega-3-rasvahapoista. Näistä omega-3-rasvahapoista DHA muodostaa yli 40 % hermokudoksen rasvahapoista, erityisesti aivojen harmaassa aineessa (5). Tämä viittaa siihen, että omega-3-rasvahapot ovat välttämättömiä aivojen rakenteen ja toiminnan kannalta läpi elämän.

Omega-3-rasvahapoilla on monenlaisia tehtäviä. Erityisesti DHA ja EPA toimivat osana solukalvoa, modulaattoreina hermosolujen välisessä viestinnässä sekä tehokkaina neuroprotektoreina. Niiden riittävä saanti on välttämätöntä optimaaliselle kognitiiviselle toiminnalle, neurologisten häiriöiden ehkäisylle ja mielenterveyden tukemiselle (5). Rakenteellisella tasolla ne ovat integroituneina solukalvon fosfolipideihin, vaikuttaen sen rakenteeseen ja juoksevuuuteen, edesauttaen kalvoproteiinien, entsyymien ja ionikanavien toimintaa. Näin omega-3-rasvahapot säätelevät hermosolujen sähköfysiologisia ominaisuuksia ja tehostavat neurotransmissiota muuttamalla välittäjäaineiden, kuten serotoniinin ja asetyylikoliinin synteesiä ja vapautumista (4).

Yksi omega-3-rasvahappojen merkittävimmistä tehtävistä on niiden kyky suojata hermovaurioilta. Ne toimivat ikään kuin antioksidanttina, vähentämällä oksidatiivista stressiä ja happiradikaalien aktiivisuutta ja lisäämällä antioksidanttisia entsyymejä, kuten glutationiperoksidaasia. Lisäksi ne säätelevät ohjelmoitua solukuolemaa eli apoptoosia. Omega-3-rasvahapot pystyvät hidastamaan solukuolemaa lisäämällä apoptoosia estävien proteiinien määrää ja vähentämällä sitä edistävien proteiinien ilmentymistä (5,6).

Kolmas merkittävä mekanismi on EPA ja DHA osallistuminen aktiivisesti aivojen tulehdustilojen hallintaan. Ne kilpailevat omega-6-rasvahappojen kanssa samoista aineenvaihduntareiteistä. Tämä kilpailu ohjaa tulehdusta säätelevien välittäjäaineiden, eli eikosanoidien, tuotantoa kohti vähemmän tulehdusta aiheuttavia yhdisteitä, mikä lievittää kroonista aivotulehdusta. Tällä tulehdusta ehkäisevällä mekanismilla on epäsuora vaikutus kognitiiviseen toimintaan, ja se voi hidastaa neurodegeneratiivisten sairauksien etenemistä (4).

Omega-3-rasvahapoilla on suora yhteys kognitiivisten toimintojen, kuten muistin, oppimisen ja ongelmanratkaisun parantumiseen. Ne tukevat neuroplastisuutta eli aivojen kykyä muuttaa rakennettaan ja toimintaansa, sekä edistävät uusien synapsien muodostumista eli synaptogeneesiä lisäämällä DHA:n avulla tarvittavia fosfolipidien esiasteita (7). Myös aivojen verenkierto

tehostuu DHA:n ja EPA:n vaikutuksesta, mikä tehostaa hapen ja ravinteiden kuljetusta aivoalueille kognitiivisten tehtävien aikana (5).

E erityisen kriittinen omega-3-rasvahappojen rooli on sikiövaiheessa ja varhaislapsuudessa. Raskauden viimeisen kolmanneksen ja vastasyntyneen kahden ensimmäisen elinvuoden aikana DHA on välttämätön hermosolujen ja verkkokalvon nopealle kehitykselle, koska se tukee lapsen kognitiota ja näkökykyä. Myös ikääntyvillä aikuisilla 100 mg korkeammat DHA-tasot päivittäin on liitetty suurempaan aivojen ja hippokampuksen kokoon, mikä on yhteydessä 14 % pienempään dementiaan ja 37 % pienempään Alzheimerin taudin riskiin (4).

Omega-3-rasvahapot ovat tärkeä osa ruokavaliota terveyden tukemisen kannalta. Näistä alfa-linoleenihappoa (ALA) on tärkeää saada ravinnosta, sillä sitä saadaan vain kasvipohjaisista lähteistä, kuten pellavansiemenistä ja pähkinöistä. Vaikka ALA toimii eikosapentaeenihapon (EPA) ja dokosaheksaeenihapon (DHA) esiasteena, sen metabolinen hyötysuhde DHA:ksi on yleensä alle 15 %. Koska aivot tarvitsevat suuria määriä DHA:ta optimaaliseen toimintaan, EPA:ta ja DHA:ta on saatava myös suoraan ravinnosta, joiden tärkeimpiä lähteitä ovat rasvaiset kalat, kuten lohi, makrilli ja sardiinit sekä muut merenelävät (4).

3. FOSFOLIPIDIT JA KOLIINI

Aivojen toiminta perustuu suurelta osin solukalvojen rakenteeseen ja dynamiikkaan. Nämä solukalvot koostuvat pääasiassa fosfolipideistä, erityisesti fosfatidyylikoliinista (PC), jota syntesoidaan koliinista ja rasvahapoista. Ravinnosta näitä saadaan erityisesti kananmunista, maksasta, soijasta ja krilliöljystä (8).

Fosfolipidit ovat amfipaattisia molekyylejä, eli niissä on sekä vesi- että rasvaliukoinen osa (9). Tämä ominaisuus mahdollistaa solukalvon kaksoiskalvorakenteen muodostumisen vesipitoisessa ympäristössä. Fosfolipidit ovat välttämättömiä hermosolujen signaloinnille, synaptiselle muovautuvuudelle eli plastisuudelle sekä solujen eheydelle.

Koliini on rakenteeltaan kvaternaarinen ammoniumyhdiste, joka ravintoaineena ei ole ainoastaan fosfatidyylikoliinin vaan myös asetyylikoliinin välttämätön esiaste (10). Neuronien tuottama asetyylikoliini toimii neurotransmitterinä eli kemiallisena viestijänä muiden neuronien ja myosiittien kanssa. Tämän vuoksi se on kriittinen sekä aivojen että hermoston signaloinnille. Keho pystyy itse tuottamaan pienen määrän koliinia fosfatidyylietanolamiini-N-metyyli transferaasi (PEMT) -reitin kautta fosfatidyylikoliiniksi, mutta puutteen välttämiseksi sitä on saatava myös ravinnosta (11).

Kriittisin aika koliinin saannille on lapsen ensimmäiset 1000 päivää, jolloin se tukee aivojen normaalia kehitystä ja parantaa hermostollista ja kognitiivista toimintaa (12). Tällöin koliini tukee neurogeneesiä, myelinaatiota ja synaptogeneesiä. Lisäksi koliini vaikuttaa epigeneettisesti geenien luentaan, mikä voi tukea parempaa muistisuoriutumista läpi elämän. Ravinnosta saatavan koliinin merkitys korostuu erityisesti ikääntyvillä. Koliinin puute tai sen aineenvaihdunnan häiriöt johtavat suoraan solukalvojen toimintahäiriöihin ja kognitiivisiin vajeisiin. Eläinkokeissa fosfatidyylikoliinilisän on havaittu nostavan hippokampuksen asetyylikoliinitasoa, parantavan muistia sekä vähentävän dementian riskiä (13). Tämä näyttö myötävaikutti koliinin sisällyttämiseen pohjoismaisiin ravitsemussuosituksiin vuonna 2023 (14).

Ravinnosta saadun koliinin pääsyä hermosoluihin rajoittaa kuitenkin tehokkaasti veri-aivoeste, mutta spesifiset kuljettajaproteiinit mahdollistavat sen tarkasti säädellyn sisäänoton. Neuronien sisällä koliinin käyttö riippuu kuljettajaproteiinin affiniteetistä (15). Korkean affiniteetin kuljettaja (CHT1) ohjaa koliinia primäärisesti asetyylikoliinin synteesiin, joka on muistin ja oppimisen keskeinen

välittäjäaine. Keskitason affiniteetin kuljettajaproteiini (CTL1) puolestaan osallistuu suoraan fosfatidyylikoliinin (PC) tuotantoon niin kutsutulla Kennedy-reitillä. Tällä reitillä ravinnosta, kuten kananmunista tai pavuista, saatu koliini fosforyloidaan koliinikinaasin avulla ja konjugoidaan sytidiinidifosfaattiin (CDP-koliini), mikä johtaa lopulta PC:n muodostumiseen (16).

Tämä kuljettajien ja reittien välinen työnjako mahdollistaa joustavan reagoinnin aivojen muuttuviin vaatimuksiin. Aivoissa PC:n biosynteesi nojaakin erityisen vahvasti juuri Kennedy-reittiin, sillä vaihtoehtoinen, endogeeninen synteesi fosfatidyylietanoliamiini-N-metyylitransferaasin (PEMT) välityksellä ei riitä kattamaan aivokudoksen suurta tarvetta (17). Vaikka S-adenosyyliimetoniniinia (SAM) metyyliuovuttajana käyttävän PEMT-reitin kapasiteetti on aikuisilla rajallinen, sen merkitys korostuu raskauden loppukolmanneksella, jolloin se edistää tehokkaasti DHA:n kertymistä sikiön aivoihin.

Koliini ja fosfatidihappo muodostavat yhdessä eukaryoottisolujen yleisimmän fosfolipidin, fosfatidyylikoliinin, joka kattaa 35–40 % aivojen fosfolipideistä (18). PC on keskeinen tekijä solukalvojen eheyden ylläpidossa ja solujen signaloinnissa, sillä se vaikuttaa tärkeisiin kognitiivisiin toimintoihin, kuten muistiin ja oppimiseen (19).

PC on solukalvojen biologisten ominaisuuksien keskeinen säätelijä. Yhdessä fosfatidyylietanoliamiinin (PE) ja fosfatidyyliiseriinin (PS) kanssa se säätelee hermosolukalvojen juoksevuutta ja ioniläpäisevyyttä, mikä on välttämätöntä hermoimpulssien välittymiselle (18). Erityisesti PC:n sisältämät monityydyttymättömät rasvahapot, kuten DHA ja arakidonihappo, lisäävät kalvojen joustavuutta. Samalla PC toimii näiden rasvahappojen varastona. Tarvittaessa varastosta vapautuvat rasvahapot metaboloituvat tehokkaiksi tulehduksen hillitsijöiksi, kuten eikosanoideiksi ja resolvineiksi. Nämä aktivoituvat aivojen iskemia- tai tulehdustiloiissa suojaten hermosoluja oksidatiiviselta stressiltä ja edistäen niiden eloonjäämistä.

PC osallistuu hermoimpulssien johtumisen tehostamiseen toimimalla myeliinitupen keskeisen rakenneosan eli sfingomyeliinin regeneraatioissa. Lisäksi PC:ta esiintyy mitokondrioiden sisäkalvolla, missä se tukee elektroninsiirtoketjun toimintaa ja ATP-tuotantoa yhdessä muiden fosfolipidien, kuten kardiolipiinin ja fosfatidyylylglycerolin, kanssa. Nämä lipidit ovat välttämättömiä mitokondrioiden fuusiolle, fissiolle ja elektroninsiirtoketjun toiminnalle. Näin ollen PC on suoraan yhteydessä hermosolujen energiametaboliaan, mikä on kriittistä aivojen korkean energiankulutuksen kannalta.

Neurologisissa sairauksissa, kuten Alzheimerin ja Parkinsonin taudissa sekä iskeemisissä vaurioissa, muutokset fosfolipidikoostumuksessa ovat tyypillisiä. Sairauden edetessä solukalvojen PC hajoaa kiihtyvällä tahdilla, mikä johtaa kalvojen jäykistymiseen, mitokondrioiden toimintahäiriöihin ja lopulta neurodegeneraatioon (20). Koliinin, sitikoliinin tai fosfatidyylikoliinin saannin lisääminen voi tukea vaurioituneiden solukalvojen korjaamista, tehostaa kolinergistä hermovälitystä ja tarjota neuroprotektiota esimerkiksi aivohalvauksen jälkitiloissa (21).

4. VITAMIINIT JA MINERAALIT

Vitamiinit ja mineraalit ovat elintärkeitä ravinnosta saatavia mikroravinteita, joita elimistö ei pysty itse tuottamaan. Ihmiselle tunnetaan kymmeniä vitamiineja, jotka jaetaan vesiliukoisiin ja rasvaliukoisiin vitamiineihin. Myös mineraaleja on kymmeniä, ja ne luokitellaan vuorokausitarpeen mukaan makromineraaleihin eli kivennäisaineisiin ja mikromineraaleihin eli hivenaineisiin. Kivennäisaineita tarvitaan yli 100 mg vuorokaudessa ja hivenaineita tarvitaan alle 100 mg vuorokaudessa.

C-vitamiini on vesiliukoinen vitamiini, jolla on todettu olevan useita hyötyjä aivoterveydelle. Sitä saadaan hedelmistä ja kasviksista, mutta erityisesti sitrushedelmistä. Tätä vitamiinia tarvitaan syntetisoimaan karnitiinia, joka toimii

tärkeänä kofaktorina rasvahappojen kuljetuksessa mitokondrioihin ja täten energiantuotannossa (22). Matalien C-vitamiiniarvojen on huomattu olevan yhteydessä suurentuneeseen mielialahäiriöiden, kuten ahdistuksen ja masennuksen, riskiin. Lisäksi C-vitamiinin pitoisuudella on myös vaikutuksia hermosolujen rakenteeseen ja toimintaan. Sillä on tärkeä rooli esimerkiksi välittäjäainereseptorien säätelyssä sekä gliasolujen ja myeliinin synteessissä (22,23).

Eräässä intialaisessa kliinisessä tutkimuksessa todettiin kuuden viikon C-vitamiinikuurin vähentävän ahdistuneisuushäiriön oireita (22). Toisessa tutkimuksessa havaittiin uusiseelantilaisten miesopiskelijoiden korkeampien C-vitamiiniplasmapitoisuuksien olevan yhteydessä parempaan mielialaan. Tällä vitamiinilla on siis selkeitä vaikutuksia psykologiseen hyvinvointiin, mikä voi osaltaan tehostaa kognitiota. Meta-analyysi, joka kattoi 50 tutkimusta, ei kuitenkaan löytänyt selkeää korrelaatiota C-vitamiinipitoisuuksien ja paremman kognitiivisen toiminnan välillä (23). Tutkimuksissa käytettiin pääosin Mini-Mental State Examination -testiä kognition mittaamiseen, mutta se ei ollut tarpeeksi herkkä löytämään eroja kognitiivisesti terveiden testiryhmän henkilöiden välillä.

Vitamiinit voivat myös toimia yhteistyössä toistensa kanssa. Esimerkiksi rasvaliukoisella E-vitamiinilla on kyky estää lipidien hapettumisen ketjureaktion etenemistä suojellen erityisesti hermosolujen kalvorakenteiden monityydyttymättömiä rasvahappoja (22). Kun E-vitamiinimolekyyli neutralisoi vapaan radikaalin sen antioksidanttikyky kuitenkin häviää, mutta C-vitamiini pystyy elvyttämään sen kyvyn hapetus-pelkistysreaktioiden avulla. E-vitamiinin jatkuva antioksidanttinen hyöty on siis riippuvainen riittävästä C-vitamiinipitoisuuksista.

Rauta on erittäin tärkeä hivenaine aivojen perustoiminnan kannalta, sillä se on välttämätön osa hapenkuljetusta (22). Happi sitoutuu proteiiniin nimeltä hemoglobiini, jonka tuotanto on riippuvainen raudasta. Rauta on myös kriittinen hermosolujen erilaistumiselle ja lisääntymiselle, minkä lisäksi se vaikuttaa

myelinisaatioon, dendriittien haarautumiseen ja aivoplastisiteettiin. Lisäksi monissa tutkimuksissa on huomattu raudanpuutoksen aiheuttavan elektrofysiologisia muutoksia synapsitoiminnassa. Tärkein syy riittävälle raudansaannille läpi eliniän on se, että sen puutos erityisesti lapsuudessa voi aiheuttaa peruuttamattomia hermostollisia muutoksia.

Useat havainnointitutkimukset osoittavat korrelaatiota raudanpuuteanemian ja heikon kognitiivisen kehityksen välillä heikentyneen koulumenestyksen ja käyttäytymisvaikeuksien muodossa (22). Erään systemaattiseen katsauksen ja meta-analyysin mukaan rautalisän ottaminen on yhteydessä korkeampiin tuloksiin älykkyystesteissä (24). Tässä katsauksessa ei kuitenkaan havaittu, että rautalisä vaikuttaisi lyhyt- tai pitkäkestoiseen muistiin eikä myöskään koulumenestykseen, joten rautalisän todellinen hyöty kognitiiviselle toiminnalle jää vielä epäselväksi.

Kuten raudalla, myös magnesiumilla on tärkeä rooli energiantuotannossa. ATP-molekyylit sitoutuvat magnesiumioniin, jotta siitä tulisi biologisesti aktiivinen Mg-ATP-kompleksi (22). On olemassa runsaasti todisteita siitä, että tämän kivennäisaineen puutos johtaa oksidatiiviseen stressiin ja näin ollen neurodegeneratiivisiin sairauksiin. Magnesiumin epätasapaino on yhteydessä MS-tautiin, Alzheimerin tautiin ja Parkinsonin tautiin (25). Magnesium vaikuttaa aivoissa useiden mekanismien kautta. Se säätelee synapsitoimintaa, stabiloi veri-aivoesteen rakenteita estäen toksiinien pääsyn aivoihin, vähentää reaktiivisten happilajien muodostumista ja vaikuttaa aivoperäisen neurotrofisen tekijän (BDNF) säätelyyn edistäen hermosolujen plastisiteettia, oppimista ja muistia.

Sinkki on hivenaine, jonka antioksidatiivisista vaikutuksista löytyy paljon todisteita. Se estää makromolekyylien, kuten nukleiinihappojen ja proteiinien hapettumista, ja toimii kofaktorina useissa antioksidatiiviseen puolustusjärjestelmään kuuluvissa entsyymireaktioissa (22). Antioksidatiivisten vaikutusmekanismien lisäksi sinkki on välttämätön hermosolujen

muodostumiselle ja migraatiolle sekä synapsien muodostumiselle. Sinkin homeostaasin häiriöt on yhdistetty useisiin neurologisiin sairauksiin (26). Sinkin liiallinen kertyminen aivoihin aiheuttaa vaurioita postsynaptisiin hermosoluihin. Toisaalta sinkin puutos aiheuttaa neurodegeneratiivisia ja kognitiivisia häiriöitä, kuten oppimisen ja muistin heikentymistä. Sinkkiravintolisien käyttö voi olla hyödyksi vaikean aivovamman saaneilla, mutta optimaalisen annostuksen löytäminen on kriittistä, sillä sinkki saattaa häiritä kuparin imeytymistä ja aiheuttaa anemiaa.

5. POLYFENOLIT

Polyfenolit muodostavat erittäin laajan ja kemiallisesti monimuotoisen kasvipärisien yhdisteiden ryhmän, johon kuuluu yli 8000 löydettyä variaatiota (27). Kuten nimestä voidaan päätellä, niiden rakenne koostuu fenoliyksiköistä eli aromaattisista renkaista, joihin on liittynyt hydroksyyli-ryhmä. Polyfenolit voidaan jakaa eriävien rakenteiden perusteella neljään alaluokkaan: flavonoideihin, fenolisiin happoihin, stilbeeneihin ja lignaaneihin. Näistä kolme jälkimmäistä voidaan myös kutsua ei-flavonoideiksi.

Flavonoidit ovat polyfenolien suurin ja tutkituin ryhmä koostuen yli 4000 eri molekyylistä (27). Kversetiini ja naringeniini ovat vaikutuksiltaan voimakkaimpia ja tutkituimpia yhdisteitä. Kversetiiniä löytyy omenasta, sipulista ja marjoista, ja naringeniiniä esiintyy erityisesti sitrushedelmissä, kuten greipissä, appelsiinissa ja sitruunassa. Yksi mekanismeista, joilla flavonoidit vaikuttavat, on neuroinflammaation estäminen. Naringeniinin on havaittu olevan erityisen tehokas vähentämään gliasolujen aktivaatiosta johtuvaa hermosoluvauriota estämällä p38-entsyymin ja STAT-1-tekijän sekä vähentämällä iNOS-entsyymin ilmentymistä (28). Nämä kolme tekijää aktivoituvat inflammaation seurauksena.

Toinen flavonoidien biologinen mekanismi on neurodegeneraation estäminen suojaamalla hermosoluja neutotoksiinien aiheuttamilta vaurioilta ja apoptoosilta

(28). Tutkimukset viittaavat siihen, että flavonoidit voivat hidastaa neurodegeneratiivisten sairauksien, kuten Parkinsonin ja Alzheimerin tautien etenemistä. Parkinsonin taudissa aivoihin muodostuu tiettyjä myrkyllisiä dopamiini sivutuotteita, kuten 5-S-cysteinyli-dopamiini, jotka lisäävät oksidatiivista stressiä ja voivat johtaa apoptoosiin. Kversetiini, hesperetiini ja katekiinit kykenevät jopa nanomolaarisina pitoisuuksina tehokkaasti vastustamaan näiden myrkkyjen aiheuttamaa hermosoluvauriota. Näin ollen neuroprotektiivinen vaikutus perustuu pääasiassa solujen signalointireittien keskeyttämiseen.

Kolmanneksi flavonoidien on osoitettu edistävän muistia ja oppimista vaikuttamalla suoraan aivojen solutason rakenteisiin (28). Ne vaikuttavat aivojen solunsisäisiin signalointireitteihin, erityisesti ERK- ja PKB/Akt-reitteihin, jotka aktivoivat CREB-transkriptiotekijän ja käynnistävät proteiinisynteesin sekä synapsien plastisuuden lisääntymisen. Näiden vaikutusten kautta dendriittien eli hermosolujen tuojahaarakkeiden okasten määrä voi lisääntyä ja täten vahvistaa hermoyhteyksiä. Lisäksi flavonoidit voivat parantaa aivoverisuonten toimintaa ja lisätä aivoverenkiertoa. Tämä on tärkeää hippokampuksen neurogeneesille eli uusien hermosolujen muodostumiselle ja kognitiiviselle suorituskäytölle, sillä tehokas verenkierto tukee hermosolujen energiansaantia.

Kaakaoflavanolit ovat kaakaosta peräisin olevia flavonoidiyhdisteitä. Kuten edellisessä kappaleessa esiteltiin, kognitiiviset hyödyt selittyvät näiden vaikutuksilla verisuoniterveyteen (29). CoCoA-tutkimuksessa 90 ikääntynyttä aikuista sai 8 viikon ajan joko korkean, keskisuuren tai matalan määrän kaakaoflavanoleja sisältävää juomaa. Korkean ja keskisuuren flavanolimäärän saaneiden ryhmien kognitiivinen suoriutuminen parani verrattuna matalan annoksen saaneisiin erityisesti tehtävissä, jotka mittaavat tiedonkäsittelyn nopeutta ja sanallista sujuvuutta. Lisäksi heillä havaittiin positiivisia muutoksia insuliiniherkkyydessä, mikä saattaa osaltaan selittää kognitiiviset hyödyt.

Fenoliset hapot ovat toinen tärkeä polyfenolien alaluokka, jolla on havaittu neuroprotektiivisiä vaikutuksia. Näiden yhdisteiden yleisimpiä lähteitä ovat kahvi, tee, punaviini ja oliiviöljy (30). Kuten valtaosa fenolisista hapoista, ferulahappo vaikuttaa aivoihin antioksidanttisesti ja anti-inflammatorisesti. Näiden mekanismien lisäksi sillä on kyky nostaa serotoniinin ja noradrenaliinin konsentraatiota sekä estää monoamiinioksideasi A -entsyymin toimintaa, mikä vaikuttaa mielialaa kohentavasti. Mielialahäiriöt voivat osaltaan vaikuttaa kognitiiviseen tehokkuuteen, koska ne syövät motivaatiota ja heikentävät stressinsietokykyä, näin ollen myös antidepressiiviset mekanismit ovat merkittäviä kognition kannalta.

Resveratrol on paljon tutkittu stilbeeneihin kuuluva yhdiste, jota esiintyy erityisesti viinirypäleissä ja punaviinissä (31). Eläinmalleissa resveratrol on osoittautunut neuroprotektiiviseksi, sillä se lievittää kognitiivisia häiriöitä vähentämällä tulehdusta, oksidatiivista stressiä ja apoptoosia. Sen keskeinen vaikutusmekanismi liittyy sirtuiini 1:n (SIRT1) aktivaatioon, joka säätelee stressivasteita, mitokondrioiden toimintaa, apoptoosia ja aivoplastisuutta. Se mahdollistaa hermosolujen suojan DNA-vaurioilta ja edistää neuriittien kasvua. Lisäksi resveratrol edistää neurogeneesiä ja mitokondriaalista biogeneesiä AMP-aktivoituneen proteiinkininaasin (AMPK) välityksellä sekä normalisoi geenien ilmentymistä. Näiden mekanismien avulla resveratrol parantaa oppimista, muistia ja mielialaa useissa neurodegeneraation, stressin, univajeen ja ikääntymisen eläinmalleissa.

Polyfenolien edullisista vaikutuksista aivoterveysteen on lupaavia tuloksia erityisesti eläin- ja solumalleissa, mutta esimerkiksi fenolisista hapoista tarvitaan lisää tutkimusta. Polyfenolit tukevat kognitiota monin mekanismein, kuten vähentämällä tulehdusta ja oksidatiivista stressiä, suojaamalla hermosoluja, lisäämällä synaptista plastisuutta sekä parantamalla aivoverenkiertoa ja neurogeneesiä. Vaikka kliininen näyttö ihmisillä on vielä rajallista, polyfenolipitoinen ruokavalio vaikuttaa turvalliselta keinolta tukea aivojen toimintaa ja hidastaa ikääntymiseen liittyvää kognitiivista heikentymistä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman perusteella aivojen terveyteen vaikuttavat ensisijaisesti ravitsemukselliset kokonaisuudet ja ruoka-aineiden luonnollinen synergia, eivät niinkään yksittäiset ravintoyhdisteet. Tulokset korostavat rasvaisten kalojen, kuten lohen, makrillin ja sardiinin, merkitystä keskeisinä DHA- ja EPA-rasvahappojen lähteinä (4). Nämä rasvahapot ovat välttämättömiä aivojen rakenteelliselle eheydelle, tulehduksen hillitsemiselle ja kognitiivisille toiminnoille. Lisäksi kananmunat ja muut koliinipitoiset ruoat tukevat fosfolipidien ja asetyylikoliinin synteesiä, mikä on tärkeää muistille, oppimiselle ja hermosolujen energia-aineenvaihdunnalle.

Kasvikunnan tuotteista erityisesti marjat, hedelmät, vihannekset, oliiviöljy, kahvi, tee ja kaakao erottuvat niiden korkean polyfenolipitoisuutensa ansiosta (30). Ne suojaavat aivoja oksidatiiviselta stressiltä ja tulehduksilta, edistävät synaptista plastisuutta ja parantavat aivoverenkiertoa. Lisäksi C- ja E-vitamiinia sisältävät hedelmät ja vihannekset, magnesiumin ja sinkin lähteet, kuten täysjyväviljat, pähkinät ja siemenet sekä rautapitoiset elintarvikkeet, tukevat hermoston energiantuotantoa, välittäjäaineiden toimintaa ja aivojen kehitystä erityisesti varhaislapsuudessa (22).

Yhteenvetona voidaan todeta, että aivojen kannalta edullisin ruokavalio muistuttaa Välimeren ruokavaliota, joka sisältää runsaasti kalaa, kasviksia, hedelmiä, marjoja, täysjyvää, pähkinöitä ja oliiviöljyä sekä kohtuullisesti eläinperäisiä, ravintorikkaita tuotteita, kuten kananmunia. Tällainen ruokavalio tukee aivojen rakennetta, suojaa neurodegeneraatiolta ja edistää kognitiivista suorituskykyä läpi elämän.

7. LÄHDELUETTELO

1. Puri S, Shaheen M, Grover B. Nutrition and cognitive health: A life course approach. *Front Public Health*. 2023 Mar 27;11:1023907. doi: 10.3389/fpubh.2023.1023907. PMID: 37050953; PMCID: PMC10083484.
2. Young HA, Geurts L, Scarmeas N, Benton D, Brennan L, Farrimond J, Kiliaan AJ, Pooler A, Trovò L, Sijben J, Vauzour D. Multi-nutrient interventions and cognitive ageing: are we barking up the right tree? *Nutr Res Rev*. 2023 Dec;36(2):471-483. doi: 10.1017/S095442242200018X. Epub 2022 Sep 26. PMID: 36156184.
3. Fekete M, Varga P, Ungvari Z, Fekete JT, Buda A, Szappanos Á, Lehoczki A, Mózes N, Grosso G, Godos J, Menyhart O, Munkácsy G, Tarantini S, Yabluchanskiy A, Ungvari A, Györfly B. The role of the Mediterranean diet in reducing the risk of cognitive impairment, dementia, and Alzheimer's disease: a meta-analysis. *Geroscience*. 2025 Jun;47(3):3111-3130. doi: 10.1007/s11357-024-01488-3. Epub 2025 Jan 11. PMID: 39797935; PMCID: PMC12181514.
4. Office of Dietary Supplements, National Institutes of Health. Omega-3 Fatty Acids. Fact sheet for health professionals. Updated July 18, 2022.
5. Dighriri IM, Alsubaie AM, Hakami FM, Hamithi DM, Alshekh MM, Khobrani FA, Dalak FE, Hakami AA, Alsueaadi EH, Alsaawi LS, Alshammari SF, Alqahtani AS, Alawi IA, Aljuaid AA, Tawhari MQ. Effects of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Brain Functions: A Systematic Review. *Cureus*. 2022 Oct 9;14(10):e30091. doi: 10.7759/cureus.30091. PMID: 36381743; PMCID: PMC9641984.
6. Heshmati J, Morvaridzadeh M, Maroufizadeh S, Akbari A, Yavari M, Amirinejad A, Maleki-Hajiagha A, Sepidarkish M. Omega-3 fatty acids supplementation and oxidative stress parameters: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Pharmacol Res*. 2019 Nov;149:104462. doi: 10.1016/j.phrs.2019.104462. Epub 2019 Sep 26. PMID: 31563611.

7. Cao D, Kevala K, Kim J, Moon HS, Jun SB, Lovinger D, Kim HY. Docosahexaenoic acid promotes hippocampal neuronal development and synaptic function. *J Neurochem*. 2009 Oct;111(2):510-21. doi: 10.1111/j.1471-4159.2009.06335.x. Epub 2009 Aug 13. PMID: 19682204; PMCID: PMC2773444.
8. Ennahar S, Bindler F. Investigation of natural phosphatidylcholine sources: separation and identification by liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS2) of molecular species. *J Agric Food Chem*. 2009 Jul 22;57(14):6014-20. doi: 10.1021/jf900903e. PMID: 19545117.
9. Dowhan W. Understanding phospholipid function: Why are there so many lipids? *J Biol Chem*. 2017 Jun 30;292(26):10755-10766. doi: 10.1074/jbc.X117.794891. Epub 2017 May 10. PMID: 28490630; PMCID: PMC5491763.
10. PubChem [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChem Compound Summary for CID 305, Choline; [cited 2026 Mar. 1]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Choline>
11. Wallace TC, Blusztajn JK, Caudill MA, Klatt KC, Zeisel SH. Choline: The Neurocognitive Essential Nutrient of Interest to Obstetricians and Gynecologists. *J Diet Suppl*. 2020;17(6):733-752. doi: 10.1080/19390211.2019.1639875. Epub 2019 Aug 6. PMID: 31385730.
12. Derbyshire E, Obeid R. Choline, Neurological Development and Brain Function: A Systematic Review Focusing on the First 1000 Days. *Nutrients*. 2020 Jun 10;12(6):1731. doi: 10.3390/nu12061731. PMID: 32531929; PMCID: PMC7352907.
13. Hasselmo ME. The role of acetylcholine in learning and memory. *Curr Opin Neurobiol*. 2006 Dec;16(6):710-5. doi: 10.1016/j.conb.2006.09.002. Epub 2006 Sep 29. PMID: 17011181; PMCID: PMC2659740.
14. Nordic Council of Ministers. Nordic nutrition recommendations 2023: integrating environmental aspects (Internet). Kööpenhamina (Tanska): Nordic Council of Ministers; 2023 (viitattu 27.1.2026). 388 s. Raportti nro:

Nord 2023:003. Saatavilla:
<https://pub.norden.org/nord2023-003/nord2023-003.pdf>
 doi:10.6027/nord2023-003

15. Michel V, Yuan Z, Ramsbir S, Bakovic M. Choline transport for phospholipid synthesis. *Exp Biol Med* (Maywood). 2006 May;231(5):490-504. doi: 10.1177/153537020623100503. PMID: 16636297.
16. Office of dietary supplements - choline (Internet). U.S. Department of Health and Human Services; (viitattu 30.1.2026). Saatavilla: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Choline-HealthProfessional/>
17. Derbyshire E, Obeid R. Choline, Neurological Development and Brain Function: A Systematic Review Focusing on the First 1000 Days. *Nutrients*. 2020 Jun 10;12(6):1731. doi: 10.3390/nu12061731. PMID: 32531929; PMCID: PMC7352907.
18. Choudhary RC, Kuschner CE, Kazmi J, Mcdevitt L, Espin BB, Essaihi M, Nishikimi M, Becker LB, Kim J. The Role of Phospholipid Alterations in Mitochondrial and Brain Dysfunction after Cardiac Arrest. *Int J Mol Sci*. 2024 Apr 24;25(9):4645. doi: 10.3390/ijms25094645. PMID: 38731864; PMCID: PMC11083216.
19. Chung SY, Moriyama T, Uezu E, Uezu K, Hirata R, Yohena N, Masuda Y, Kokubu T, Yamamoto S. Administration of phosphatidylcholine increases brain acetylcholine concentration and improves memory in mice with dementia. *J Nutr*. 1995 Jun;125(6):1484-9. doi: 10.1093/jn/125.6.1484. PMID: 7782901.
20. Frisardi V, Panza F, Seripa D, Farooqui T, Farooqui AA. Glycerophospholipids and glycerophospholipid-derived lipid mediators: a complex meshwork in Alzheimer's disease pathology. *Prog Lipid Res*. 2011 Oct;50(4):313-30. doi: 10.1016/j.plipres.2011.06.001. Epub 2011 Jun 15. PMID: 21703303.
21. Secades JJ, Frontera G. CDP-choline: pharmacological and clinical review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*. 1995 Oct;17 Suppl B:1-54. PMID: 8709678.

22. Tardy AL, Pouteau E, Marquez D, Yilmaz C, Scholey A. Vitamins and Minerals for Energy, Fatigue and Cognition: A Narrative Review of the Biochemical and Clinical Evidence. *Nutrients*. 2020 Jan 16;12(1):228. doi: 10.3390/nu12010228. PMID: 31963141; PMCID: PMC7019700.
23. Travica N, Ried K, Sali A, Scholey A, Hudson I, Pipingas A. Vitamin C Status and Cognitive Function: A Systematic Review. *Nutrients*. 2017 Aug 30;9(9):960. doi: 10.3390/nu9090960. PMID: 28867798; PMCID: PMC5622720.
24. Chen Z, Yang H, Wang D, Sudfeld CR, Zhao A, Xin Y, Chen JC, Fawzi WW, Xing Y, Li Z. Effect of Oral Iron Supplementation on Cognitive Function among Children and Adolescents in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2022 Dec 15;14(24):5332. doi: 10.3390/nu14245332. PMID: 36558491; PMCID: PMC9783508.
25. Maier JAM, Locatelli L, Fedele G, Cazzaniga A, Mazur A. Magnesium and the Brain: A Focus on Neuroinflammation and Neurodegeneration. *Int J Mol Sci*. 2022 Dec 23;24(1):223. doi: 10.3390/ijms24010223. PMID: 36613667; PMCID: PMC9820677.
26. Choi S, Hong DK, Choi BY, Suh SW. Zinc in the Brain: Friend or Foe? *Int J Mol Sci*. 2020 Nov 25;21(23):8941. doi: 10.3390/ijms21238941. PMID: 33255662; PMCID: PMC7728061.
27. Ciupei D, Colișar A, Leopold L, Stănilă A, Diaconeasa ZM. Polyphenols: From Classification to Therapeutic Potential and Bioavailability. *Foods*. 2024 Dec 20;13(24):4131. doi: 10.3390/foods13244131. PMID: 39767073; PMCID: PMC11675957.
28. Spencer JP. Flavonoids and brain health: multiple effects underpinned by common mechanisms. *Genes Nutr*. 2009 Dec;4(4):243-50. doi: 10.1007/s12263-009-0136-3. Epub 2009 Aug 15. PMID: 19685255; PMCID: PMC2775888.
29. Mastroiacovo D, Kwik-Urbe C, Grassi D, Necozone S, Raffaele A, Pistacchio L, Righetti R, Bocale R, Lechiara MC, Marini C, Ferri C, Desideri G. Cocoa flavanol consumption improves cognitive function,

blood pressure control, and metabolic profile in elderly subjects: the Cocoa, Cognition, and Aging (CoCoA) Study--a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr.* 2015 Mar;101(3):538-48. doi: 10.3945/ajcn.114.092189. Epub 2014 Dec 17. PMID: 25733639; PMCID: PMC4340060.

30. Caruso G, Godos J, Privitera A, Lanza G, Castellano S, Chillemi A, Bruni O, Ferri R, Caraci F, Grosso G. Phenolic Acids and Prevention of Cognitive Decline: Polyphenols with a Neuroprotective Role in Cognitive Disorders and Alzheimer's Disease. *Nutrients.* 2022 Feb 15;14(4):819. doi: 10.3390/nu14040819. PMID: 35215469; PMCID: PMC8875888.
31. Cicero AFG, Ruscica M, Banach M. Resveratrol and cognitive decline: a clinician perspective. *Arch Med Sci.* 2019 Jul;15(4):936-943. doi: 10.5114/aoms.2019.85463. Epub 2019 Jun 19. PMID: 31360188; PMCID: PMC6657254.