

MITEN AIVOT NÄKEVÄT RUOAN?  
-NÄLKÄ-KYLLÄISYYSTILAN VAIKUTUS AIVOALUEIDEN  
AKTIVAATIOIHIN

Nonna Alén  
Kandidaatintyö  
Ravitsemustiede  
Lääketieteenlaitos  
Itä-Suomen yliopisto  
Toukokuu 2018

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Terveystieteiden tiedekunta

Ravitsemustiede

ALÈN NONNA E: Miten aivot näkevät ruoan? Näлкä–kyläisyystilan vaikutus aivoalueiden aktivaatioihin

Kandidaatin työ, 21 sivua

Ohjaaja: Dosentti, FT, yliopistolehtori Leila Karhunen

Valmistunut toukokuu 2018

---

Avainsanat: aivoalueet, funktionaalinen magneettikuvaus, kyläisyys, näлкä, ruokavihjeet

## MITEN AIVOT NÄKEVÄT RUOAN?

### – NÄLKÄ-KYLLÄISYYSTILAN VAIKUTUS AIVOALUEIDEN AKTIVAATIOIHIN

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan funktionaalisella magneettikuvausella (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) tehtyjä tutkimuksia, joissa on etsitty vastausta siihen, miten kyläisyysaste vaikuttaa eri aivoalueiden aktivoitumiseen visuaalisten ruokavihjeiden näkemisen seurauksena. Visuaalisilla ruokavihjeillä tarkoitetaan kuvia erilaisista ruoista. Ruokakuvia on mahdollista esittää tutkittavien nähtäväksi samalla kun heidän aivojaan kuvannetaan ensin nälkäisessä tilassa paaston jälkeen ja toistamiseen kyläisessä tilassa. Jos kuvien ruoat ovat energiapitoisuukseltaan toisistaan poikkeavia, on tutkimusten pohjalta mahdollista arvioida myös sitä, onko kyläisyystilalla vaikutusta siihen miten kiinnitetään huomiota energiapitoisuudeltaan erilaisiin ruokiin. Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimukset on suoritettu terveillä ja normaalipainoisilla tutkittavilla.

Työn kannalta keskeiset aivoalueet on karkeasti jaoteltu kuuluvaksi kahteen ryhmään, ventraaliseen palkitsevuusreittiin ja dorsaaliseen kontrollireittiin. Palkitsevuusreittiin kuuluvien alueiden on havaittu olevan yhteydessä ruokavihjeen tunnepitoisempaan ja mielihyvähakuiseen arviointiin kun taas kontrollireitin alueilla ruokavihjettä arvioidaan järkipärisesti.

Tutkimuksissa on havaittu, että näлкä-kyläisyystilalla on vaikutusta siihen, millä aivoalueilla ja kuinka voimakkaita aktivaatioita tapahtuu. Näлкä lisää yleisesti ottaen huomion kiinnittymistä ruokavihjeisiin. Palkitsevuusreitin alueiden, erityisesti *amygdalan* ja *cortex orbifrontalisen*, aktivoituminen on korostunut nälkäisenä ja erityisesti sellaisille ruokakuville, jotka esittävät runsasenergisää ruokia. Kyläisessä tilassa ruokakuvien energiapitoisuus ei tutkimusten mukaan joko vaikuttanut aktivaatioihin laisinkaan tai aktivoituminen oli voimakkaampaa vähäenergisää ruokakuvia tarkasteltaessa. Havainnot luovat tieteellistä perustaa arkielämän kokemukselle siitä, miten nälkäisessä tilassa mieliteot kohdistuvat usein juuri runsasenergisääin vaihtoehtoihin.

Johtopäätösten tekemiseksi tarvitaan vielä lisätutkimusta. Tulosten luotettavuutta heikentävät erityisesti toisistaan poikkeavat tutkimusmenetelmät standardoitujen menetelmien puuttuessa sekä pienet tutkimusaineistot. Tulokset toimivat kuitenkin hyvänä pohjana uusien tutkimusten tekemiselle. Saatu tieto lisää ymmärrystä ihmisen syömiskäyttäytymisestä sekä nälän vaikutuksista mielitekoihin ja tätä kautta ruokavalintoihin. Tietoa voidaan hyödyntää etsittäessä uusia työkaluja maailmanlaajuisesti yleistyvän ylipaino-ongelman selvittämiseksi ja tehokkaampien hoitomenetelmien kehittämiseksi.

## SISÄLTÖ

1. JOHDANTO .....	4
2. MITEN AIVOT NÄKEVÄT RUOAN? .....	5
2.1. Ruokavihjeet .....	5
2.2. Näköaistin merkitys ruokavihjeiden havainnoimisessa.....	5
2.3. Ruokavihjeistä aktivoituvat aivoalueet .....	7
2.3.1. Dorsaalinen kontrollireitti .....	8
2.3.2. Ventraalinen palkitsevuusreitti .....	9
3. AIVOALUEIDEN AKTIVOITUMISEN TUTKIMINEN .....	9
3.1. Näлкä ja kylläisyys tutkimustilanteissa .....	9
3.2. Tutkimuksissa käytettävät kyselyt ja verikokeet .....	10
3.3. Fuktionaalinen magneettikuvaus .....	10
3.4. Visuaaliset ruokavihjeet .....	11
3.5. Kuvantamisen aikana suoritettavat tehtävät .....	12
4. NÄLKÄ- JA KYLLÄISYYSTILAN VAIKUTUS AIVOALUEIDEN AKTIVOITUMISEEN.....	12
5. POHDINTA.....	17
LÄHTEET .....	21

## 1. JOHDANTO

Ruoka on yksi ihmisen perustarpeista. Siitä saatavat ravintoaineet ovat elämän kannalta välttämättömiä (Aro ym. 2014). Elinvoimaisuuden turvaamiseksi eläimillä, myös ihmisillä, on kyky käyttää aistejaan ruoan etsimiseen ympäristöstään. Kun vihje ruoasta aistitaan, se aikaansaa monimutkaisia reaktioita ja aktivaatiota elimistössä. Näin vihje voidaan tunnistaa ja sen tarpeellisuutta sekä mielekkyyttä voidaan arvioida. Ihmisellä kehittynein ja myös ruokavihjeiden havainnoinnissa tärkein aisti on näkö (Kalat 2016).

Ruokavihjeistä seuraavien aivoaktivaatioiden on oletettu riippuvan monista tekijöistä kuten persoonallisuuspiirteistä ja ruokamieltymyksistä (Kahunen ja Ukkola 2012 ja Chen ym. 2016). Kylläisyystilalla on arveltu olevan vaikutusta siihen, missä ja millä aivoalueilla aktivaatioita tapahtuu. Tyypillinen arkielämän kokemus on, että nälkäisenä ruokahalu lisääntyy selvästi ja ruoan ääreen halutaan mahdollisimman nopeasti. Kokemukset voivat myös liittyä ruoan laatuun, sillä suuri osa ihmisistä kokee himoitsevansa nälkäisenä runsasenergiisiä ruokia. Aivoalueiden aktivaatioita tutkimalla näille kokemuksille voidaan etsiä fysiologisia syitä ja selityksiä.

Aivojen kuvantamismenetelmien kehittyminen on avannut uusia mahdollisuuksia ruokavihjeiden aikaansaamien aktivaatioiden tutkimiseen ja tätä kautta ruoankulutustottumusten ja –mieltymien ymmärtämiseen. Aivoista on voitu paikantaa alueita, joilla on merkitystä ruokavihjeiden kognitiivisessa analysoinnissa sekä alueita, joilla tehdään syömiseen liittyviä ratkaisuja mielihyvähö pohjaisesti (Kaye ym. 2009 ja Chen ym. 2016). Kylläisyystilalla ja ruokien energiapitoisuudella on havaittu olevan yhteyttä näiden alueiden aktivoitumiseen (Van der Laan ym. 2011).

Kehittyneissä maissa ruoanpuute ei ole enää vuosikymmeniin ollut valtaosalle väestöä ongelma ja monenlaista syötävää on tarjolla usein jopa lähes rajaton määrä. Elintarvikevalikoiman lisääntymisen lisäksi kohonnut elintaso ja siitä seurannut vaurastuminen mahdollistaa tuotteiden yhä runsaamman kuluttamisen. Yltäkylläisyydestä on seurannut monia ongelmia, joista ilmeisin on ylipainon raju lisääntyminen (THL 2018). Ongelmaa vaikeuttavat entisestään kiireinen elämäntyyli tai esimerkiksi liian tiukat laihdutusruokavaliot, jolloin nälän kasvaminen liian suureksi voi lisätä todennäköisyyttä runsasenergistien ruokien liialliselle kulutukselle (Siep ym. 2009).

Tässä katsauksessa tarkastellaan funktionaalisella magneettikuvauksella (functional magnetic resonance imaging, fMRI) tehtyjä tutkimuksia, joissa on etsitty vastausta siihen, miten kylläisyysaste vaikuttaa eri aivoalueiden aktivoitumiseen. Katsauksessa esitellään aivoalueet, joiden on havaittu aktivoituvan visuaalisista ruokavihjeistä ja kerrotaan, kuinka näiden alueiden aktivoitumista on tutkittu erilaisissa kylläisyystiloissa. Lopuksi tarkastellaan muutamia aihealuetta tutkineen tutkimuksen tuloksia. Tulosten pohjalta voidaan tehdä päätelmiä siitä, miten nälkä–kylläisyystila vaikuttaa ruokavihjeiden tulkintaan sekä lopulta itse syömiskäyttäytymiseen.

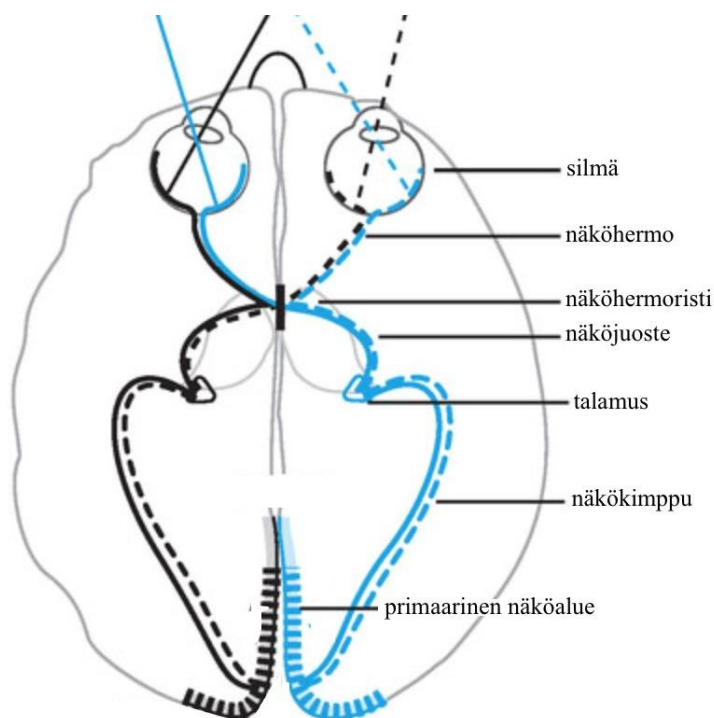
## 2. MITEN AIVOT NÄKEVÄT RUOAN?

### 2.1. Ruokavihjeet

Ruokavihjeillä tarkoitetaan kaikkia sellaisia aistittavia asioita, jotka aikaansaavat ajatuksen tai mielikuvan ruoasta (Chen ym. 2016). Aistittavat asiat voivat olla visuaalisia, haistettavia, maistettavia, kuultavia tai tuntoaistin välityksellä havaittavia. Näin ollen aistimus ja ruokaan liittyvä miellelyhtymä voi syntyä esimerkiksi nähdystä mainoksesta, leipomosta kantautuvasta tuoksusta tai ruokapakkauksen rapinasta.

### 2.2. Näköaistin merkitys ruokavihjeiden havainnoimisessa

Näköaisti on ihmisen tärkein ja kehittynein aisti, joten on luonnollista, että sillä on suurin merkitys ympäristöstä saatavien ruokavihjeiden havainnoinnissa (Kalat 2016). Näköaistimus alkaa silmän verkkokalvolla, missä silmään mustuaisen kautta saapuva valo ärsyttää aistinreseptoreita (Nienstedt ym. 2000) (Kuva 1). Ärsytys saa aikaan hermoimpulssin synnyn ja se kulkeutuu näköradan hermoja pitkin aivojen takaraivolohkon primaarisella näköalueelle. Primaarisella näköalueella aistimusta muokataan ja tulkitaan karkeasti. Tämän jälkeen alustavasti muokattu aistimus jatkaa matkaa aivoalueille, jotka ovat erikoistuneet näköaistimusten sisällön tunnistamiseen (Kaye ym. 2009). Eräs tällainen alue on ohimolohkon alueella sijaitseva *gyrus fusiformis* (Kalat 2016).



Kuva 1. Näköradan kulku silmistä takaraivolohkon primaarisille näköalueille (Muokattu Johnson 2003).

Visuaalisten ruokavihjeiden aistiminen saa elimistössä aikaan erilaisia fysiologisia, kognitiivisia ja tunteisiin liittyviä vasteita (van der Laan ym. 2010). Ruoan näkeminen aktivoi jo ennen varsinaista ruokailua ruoansulatuskanavaa ja aineenvaihduntaan osallistuvia elimiä. Ruokavihjeen kognitiivinen analysoiminen puolestaan tarkoittaa kyseiseen ruokaan liittyvien muisti- ja mielikuvien mieleen palauttamista. Ne voivat aikaisemmista kokemuksista riippuen joko stimuloida tai hillitä halua syödä. Ruokavihje voi myös aktivoida tunnetiloja. Houkuttelevaksi koettuihin ruokiin liittyvät ruokavihjeet aikaansaavat positiivisia tunteita. Positiiviset tunteet lisäävät ruoan houkuttelevuutta ja motivoivat syömään. Näiden ruokailua edeltävien vasteiden on havaittu olevan varsin samanlaisia kuin mitä varsinaisen syöminen saa elimistössä aikaan (Papies 2013).

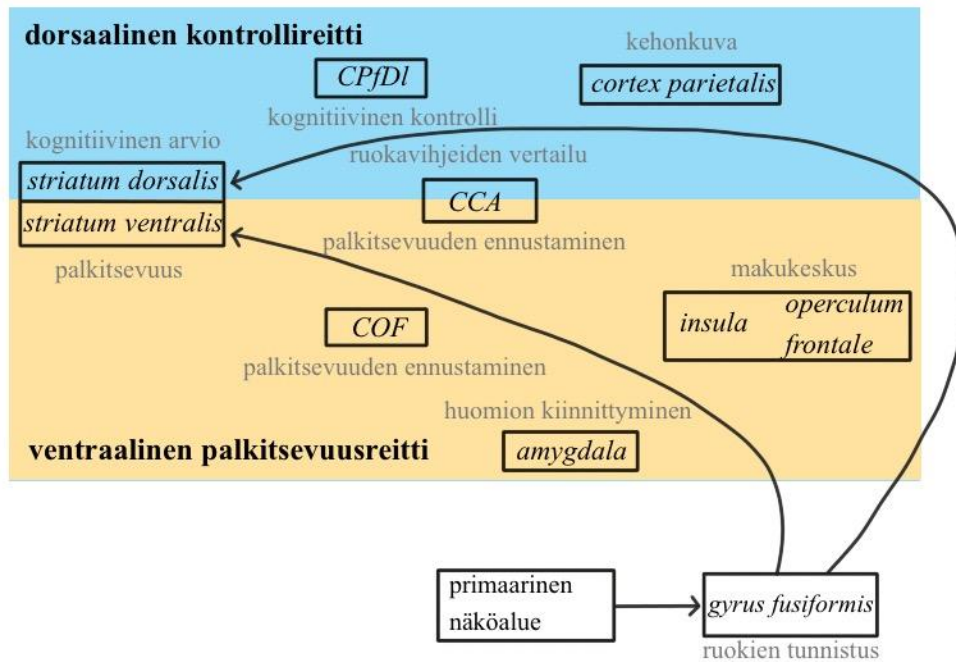
Näköaistimuksilla on vaikutusta syömiskäyttäytymiseen myös varsinaisissa ruokailutilanteissa. Tutkimuksissa on havaittu, että koehenkilöiden kuluttamat ruokamäärät ovat pienempiä ja ruokailuun käytetään silmät sidottuina vähemmän aikaa verrattuna tilanteeseen, jossa syömiseen liittyy myös ruoan näkeminen (Linne ym. 2002).

### 2.3. Ruokavihjeistä aktivoituvat aivoalueet

fMRI kuvantamistutkimuksissa on saatu tietoa aivoalueista, jotka aktivoituvat visuaalisista ruokavihjeistä (Van der Laan ym. 2010 ja Chen ym. 2016). Alueita on useita ja niiden kaikkien aktivaatiota ei ole havaittu kaikissa tutkimuksissa (van der Laan ym. 2010). Muutamien alueiden aktivaatiota on kuitenkin havaittu toistuvasti lähes kaikissa ruokavihjeiden aiheuttamia vasteita kartoittavissa tutkimuksissa ja niillä uskotaan olevan omat tehtävänsä ruokavihjeiden arvioinnissa. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin näitä aivoalueita.

Aivoalueet muodostavat monimutkaisia kokonaisuuksia, hermoverkkoja (Chen ym. 2016). Tämän työn kannalta keskeisten aivoalueiden voidaan ajatella kuuluvan jompaankumpaan seuraavista kokonaisuuksista, dorsaaliseen kontrollireittiin tai ventraaliseen palkitsevuusreittiin. Dorsaalisella kontrollireitillä tarkoitetaan niiden aivoalueiden muodostamaa kokonaisuutta, jotka muodostavat syömiskäyttäytymiseen liittyvät kognitiiviset päätökset. Kontrollireitillä tapahtunut signalointi ja ruokavihjeen arviointi voi hillitä syömistä, jos syömiselle ei tulkita olevan kognitiivisesti riittävää syytä. Ventraalinen palkitsevuusreitti sen sijaan koostuu aivoalueista, joiden katsotaan olevan tärkeitä ruokavihjeiden tuoman mielihyvän ennustamisessa.

Yksi aivojen osa, *cortex cingularis* eli pihtipoimu, on osa sekä dorsaalista- että ventraalistareittia (Chen ym. 2016). Pihtipoimu sijaitsee otsalohkon takaosassa osana limbistä järjestelmää. Sen etummainen osa, *cortex cingularis anterior*, on keskeisessä tehtävässä monissa elimistön kognitiivisissa ja automaattisissa toiminnoissa (Botvinick ym. 2004). Ruokavihjeiden yhteydessä sillä on keskeinen rooli ruoan palkitsevuuden ennustamisessa ja samanaikaisesti ilmenevien ruokavihjeiden keskinäisessä vertailussa (Chen ym. 2016).



Kuva 2. Ruokavihjeistä aktivoituvat aivoalueet jaettuna dorsaaliseen kontrollireittiin sekä ventraaliseen palkitsevuusreittiin (Muokattu Chen ym. 2016).  
 COF = cortex orbitofrontalis, CCA = cortex cingularis anterior, CPfDI = cortex prefrontalis dorsolateralis

### 2.3.1. Dorsaalinen kontrollireitti

*Cortex prefrontalis dorsolateralis* eli dorsolateraallinen etuaivokuori on vastuussa suoritettavien toimintojen tietoisesta suunnittelusta ja ohjauksesta (Miller 2000). Dorsolateraalilla etuaivokuorella ruokavihjeitä analysoidaan kognitiivisesti yksilön omat motivaatiotekijät huomioiden (Chen ym. 2016). Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jos yksilö on halukas syömään terveellisesti ja valittavana on sekä terveellisiä että epäterveellisiä vaihtoehtoja, ohjaa alueella tapahtuva kognitiivinen prosessi valitsemaan terveellisen vaihtoehdon.

*Cortex parietalis* eli päälaenlohkon aivokuori on kontrollireittiin kuuluva osa, jolla on aktiiviset yhteydet myös perifeeriseen elimistöön (Culham ja Kanwisher 2001). Ruokavihjeiden käsittelyssä alueen on arveltu osallistuvan erityisesti sopivien ruokamäärien sekä kylläisyyden asteen arviointiin. Päälaenlohkon aivokuoren somatosensorisilla alueilla on sen sijaan arveltu tapahtuvan kehonkuvaan liittyviä tulkintoja (Vocks ym. 2010). Näillä tulkinnoilla on arveltu olevan vaikutusta myös yksilöiden syömiskäyttäytymiseen.

*Striatum dorsalis* eli dorsaalinen aivojuovio kokoaa viestejä edellä esitellyiltä dorsolateraalilta etuaivokuorelta sekä päälaenlohkon aivokuorelta (Chen ym. 2016). Näiltä alueilta saatujen



viestien monimutkainen yhdistely johtaa kokonaisvaltaiseen kognitiiviseen arvioon siitä, miten ruokavihjeeseen tulisi reagoida.

### 2.3.2. Ventraalinen palkitsevuusreitti

*Operculum frontale* sekä *insula* ovat parillisia aivoalueita, joissa aivojen makukeskus sijaitsee (Kaye ym. 2009). Maulla on tärkeä rooli mielihyvääkokemuksen muodostumisessa. Makukeskus saa viestinsä aivorungon ja *thalamuksen* kautta kielen kemoreseptoreilta. *Insulalla* vaikuttaisi olevan myös huomion kiinnittämiseen, tässä asiayhteydessä siis myös ruokavihjeisiin, liittyviä tehtäviä (Chen ym. 2016).

*Amygdala* eli mantelitimake parillinen aivojen osa ja se sijaitsee syvällä aivojen ohimolohkossa (Di Marino ym. 2016). Tumakkeet ovat tiiviisti yhteydessä aivojen limbiseen järjestelmään ja vastaanottavat paljon aistien kautta saatavaa tietoa. Ruokavihjeitä tarkasteltaessa mantelitimakkeet auttavat huomion keskittämässä relevantteihin ruokavihjeisiin (Kaye ym. 2009).

*Cortex orbitofrontalis* eli orbitofrontaalinen aivokuori sijaitsee otsalohkon etuosassa (Gilroy ym. 2013). Se vastaa havaitun ruoan palkitsevuuden ennustamisesta (Rudebeck ja Murray 2014). Alue toimii yhteistyössä muistamiseen ja tunteiden muodostamiseen liittyvien aivoalueiden kanssa (Schienbaum ja Roesch 2005). Alueiden välinen yhteistyö on tärkeää, sillä palkitsevuuden ennustamiseksi yksilöllä tulee olla muistiin tallentuneita kokemuksia.

*Striatum ventralis* eli ventraalinen aivojuovio kerää signaaleja edellä mainituilta palkitsevuusreittiin kuuluvilta aivoalueilta ja yhdistelee keräämiään tietoja (Chen ym. 2016). Alueella on täten tärkeä rooli kokonaiskuvan luomisessa ja lopullisen mielihyvääarvion muodostumisessa.

## 3. AIVOALUEIDEN AKTIVOITUMISEN TUTKIMINEN

### 3.1. Nälkä ja kylläisyys tutkimustilanteissa

Tutkimustilanteissa nälkäinen tila on usein saavutettu riittävän pitkällä paastoamisella. Joissain tapauksissa paaston kesto on yön yli, joissakin erikseen määritelty aika esimerkiksi 12 tuntia (Taulukko 1). Paastoa seuraa tyypillisesti ensimmäinen, nälkäisessä tilassa suoritettava fMRI-kuvantaminen. Kun ensimmäiset kuvantamiset on suoritettu, kylläinen tila saavutetaan

nauttimalla tutkimuksessa määritelty riittävän energiapitoinen ja täyttävä ateria. Joissakin tutkimuksissa (Kroemer ym. 2012) ruokailu on toteutettu energiatiheällä juomalla, joka voidaan nauttia nousematta tutkimusvuoteelta. Tämän jälkeen suoritetaan vastaavanlainen fMRI-kuvantaminen, nyt kylläisessä tilassa. Tuloksia vertailemalla voidaan arvioida ja vetää johtopäätöksiä siitä, miten kylläisyystilan muutokset vaikuttavat aivoissa tapahtuviin aktivaatioihin.

### 3.2. Tutkimuksissa käytettävät kyselyt ja verikokeet

Nälän ja kylläisyyden arviointiin voidaan käyttää erilaisia kyselyitä ja asteikoita (Taulukko 1). Kyselyt voidaan suorittaa joko ennen kuvantamista, sen jälkeen tai jossain tapauksissa sekä ennen että jälkeen kuvantamisen. Kyselyiden avulla voidaan kartoittaa tutkittavien omaa kokemusta heidän nälkä-kylläisyystilastaan ja ruokahalustaan. Lisäksi niissä voidaan esittää kysymyksiä tutkittavien muista tutkimustuloksiin mahdollisesti vaikuttavista tuntemuksista. Esimerkiksi Siepin ym. (2009) tutkimuksessa tutkittaville esitettiin ruokahalua ja nälkää kartoittavien kysymysten lisäksi kysymyksiä koskien yleistä olotilaa. Näin ollen tutkijat saivat määriteltäviä tutkittavien mahdolliset säryt ja esimerkiksi heikotuksen sekä ahdistuneisuuden tuntemukset. Kyselyt on tyypillisesti laadittu joko visuaaliselle analogia-asteikolle (VAS) tai Likert-asteikolle vastattaviksi. Kyselyiden tuloksia voidaan tutkimustuloksia analysoitaessa vertailla fMRI-kuvantamisella saatuihin tuloksiin.

Kyselyiden lisäksi kylläisyystilan arviointiin voidaan käyttää veriarvoja (Jakobsdottir ym. 2012 ja Kroemer ym. 2013). Nälkä-kylläisyystilan arviointiin on käytetty muun muassa plasman/seerumin greliini-, insuliini-, leptiini- sekä glukoosipitoisuuksia ja joissakin tapauksissa myös veren rasva-arvoja (Jakobsdottirin ym. 2012). Greliini on mahalaukusta erittyvä, ruokahalua voimakkaasti stimuloiva hormoni (Karhunen ja Ukkola 2012). Sen pitoisuus kohoaa paastotilassa ja laskee ruokailun jälkeen. Greliinillä on suuri merkitys lyhytaikaisessa syömisen säätelyssä. Erityisesti pitkäaikaisessa syömisen säätelyssä pääasialliset hormonit ovat haiman erittämä insuliini ja rasvakudoksen tuottama leptiini. Insuliini hillitsee syömistä myös kun veren glukoosipitoisuus on korkea, mutta toimii päinvastoin kun glukoosipitoisuus laskee. Myös kohonnut leptiinipitoisuus hillitsee syömistä. Leptiinipitoisuus laskee paastotilanteessa vaikka elimistön rasvapitoisuudessa ei tapahtuisikaan muutosta. Glukoosipitoisuus kertoo kehon yleisestä energiatasapainosta. Se nousee ruokailun jälkeen ja laskee paaston pidentyessä.

### 3.3. Fuktionaalinen magneettikuvaus

Magneettikuvaus eli MRI (*magnetic resonance imaging*) on kuvantamismenetelmä, joka perustuu tietoon vetyatomien magneettisista ominaisuuksista (Jurvelin ja Nieminen 2005). Kuvien muodostus tapahtuu magneettikuvauslaitteella, joka tuottaa ulkoisia erisuuntaisia ja taajuudeltaan erilaisia magneettikenttiä. Nämä ulkoiset magneettikentät virittävät kuvattavan kudoksen atomeja. Viritystilojen purkautuessa syntyy signaaleja (RF-signaali), jotka kuvauslaite havaitsee. Varsinaiset magneettikuvat rakennetaan näiden signaalien sisältämän tiedon perusteella.

Pelkkien rakenteellisten kuvien sijaan funktionaalisella kuvantamisella saadaan tietoa kudosten toiminnasta (De Silva ym. 2012). Esimerkiksi aivoja kuvannettaessa tämä tarkoittaa sitä, että eri alueilla tapahtuvat aktivaatiot on mahdollista havaita ja paikallistaa. Käytettävä laite on sama kuin perinteisessä magnettikuvauksessa, mutta kuvanmuodostus perustuu hemoglobiinimolykyylien konsentraatiomuutoksiin sekä magneettisiin ominaisuuksiin (Dagher 2012). Hapen oksihemoglobiini ja vähähappinen deoksihemoglobiini toimivat magneettikuvauslaitteen aiheuttamassa magneettikentässä eri tavoin. Menetelmän toiminta perustuu signaaliin, joka voidaan havaita magneettikuvauslaitteella. Signaali on riippuvainen veren happipitoisuudesta ja tunnetaan englanninkielisessä kirjallisuudessa nimellä *blood oxygen level dependent signal* eli BOLD-signaali. Signaalin voimakkuus riippuu hapettoman deoksihemoglobiini-molekyylin konsentraatiosta veressä. Kun molekyylin konsentraation laskee, myös signaalin voimakkuus heikkenee.

Kun jokin alue aktivoituu, sen energian ja hapen tarve lisääntyy. Lisääntyneen tarpeen täyttämiseksi verenkierto kyseisellä alueella tehostuu aluksi liiallisesti (Dagher 2012). Tämä johtaa alueelliseen oksihemoglobiinin konsentraation suhteelliseen kasvuun deoksihemoglobiiniin verrattuna, kun kudokset eivät ehdi käyttää kaikkea alueelle verenkierron mukana kulkeutunutta happea (De Silva ym. 2012). Tällöin deoksihemoglobiinin konsentraation aleneminen heikentää BOLD-signaalia, mikä vastaavasti johtaa pidentyneeseen  $T_2^*$ -aikaan, mikä on yksi fMRI menetelmässä käytetty viritystilan purkautumisaikaa kuvaava suure. Pidentynyt  $T_2^*$ -aika aikaansaa kuvaan intensiteetiltään kirkkaamman alueen ja näin ollen aktivoitunut alue voidaan erottaa ympäristöstään.

### 3.4. Visuaaliset ruokavihjeet

Ruokavihjeiden aikaansaamia aktivaatioita tutkittaessa konkreettisten ruokien näyttäminen on fMRI kuvantamisolosuhteista johtuen haastavaa. Kuvantamiseen käytettävä laite on ahdas ja

kuvantamishetkellä tutkittavan tulee olla mahdollisimman liikkumatta tarkkojen kuvien aikaansaamiseksi (Chen ym. 2016). Näistä syistä johtuen ruokia esittävien kuvien näyttäminen on suosituin tutkimuksissa käytetty metodi. Kuvat saadaan tutkittavan näkyville tyypillisesti peilien avulla (Goldstone ym. 2009 ja Jakobsdottir ym. 2012).

Tutkimuksen tavoite vaikuttaa siihen, millaisia kuvia ja verrokkikuvia kuhunkin tutkimukseen valitaan. Puhtaasti nälän ja kylläisyyden vaikutuksia tutkittaessa tutkimuksiin on tyypillisesti valittu erilaisia ruokaa esittäviä kuvia ja niiden verrokeiksi muita aiheita esittäviä kuvia (Dagher 2012, Chen ym. 2016). Jos halutaan tutkia sitä, miten nälkäisyysaste vaikuttaa aivoalueiden aktivaatioihin erilaisille ruoille, voidaan kuvina näyttää esimerkiksi terveellisiä vähä- tai normaalienergisiä ruokia ja vertailukuvina paljon energiaa sisältäviä epäterveellisempiä vaihtoehtoja. Tutkimuksessa käytettävien kuvien valinta voidaan suorittaa erillisessä pilotti tutkimuksessa (Siep ym. 2009). Tällöin ruokakuvat voidaan valita vastaamaan paremmin tutkimusryhmän mieltymyksiä, mikä voi vähentää mieltymyzeroista johtuvien tulkintavirheiden syntymistä tutkimustilanteessa.

### 3.5. Kuvantamisen aikana suoritettavat tehtävät

Tutkittaville voidaan esittää tutkimuksen aikana tehtäviä. Tyypillisesti kyseessä on esimerkiksi arvio omasta ruokahalusta tai arvio kuvassa esitettävän ruoan houkuttelevuudesta. Tehtävillä voidaan saada tietoa myös tutkittavien reaktioajasta ja siitä, mihin he kiinnittävät huomionsa ja mitä he painavat muistiinsa. Tehtävien käytännön toteutus voi vaihdella. Esimerkiksi Jakobsdottirin ym. (2012) tutkimuksessa saatiin vastauksia näihin kysymyksiin pyytämällä tutkittavia lajittelemaan kuvat ensin mahdollisimman nopeasti kahteen eri kategoriaan ja toisella kuvantamiskierroksella muistelemaan ovatko he nähneet kuvat aikaisemmin (Taulukko 1). Tutkittavilla oli käytössään yksinkertainen näppäimistö tai painike, joilla oli helppoa tehdä valinta kahden tai muutaman vaihtoehdon välillä (Goldstone ym. 2009 ja Jakobsdottir ym. 2012).

## 4. NÄLKÄ- JA KYLLÄISYYSTILAN VAIKUTUS AIVOALUEIDEN AKTIVOITUMISEEN

Taulukossa 1 on esitelty tutkimuksia, joissa on tutkittu sitä, miten nälkä- ja kylläisyystila vaikuttavat aivoissa ruoan näkemisen seurauksena havaittuihin aktivaatioihin. Goldstone ym. 2009

ja Siep ym. 2009 käyttivät tutkimuksissaan runsas- ja vähäenergisää ruokakuvia, mutta Jakobsdottir ym. 2012 ja Kroemer ym. 2013 eivät tehneet tällaista energiapitoisuuksiin perustuvaa jakoa ruokakuviensa välille. Näin ollen Jakobsdottir ym. 2012 ja Kroemer ym. 2013 pystyivät tekemään johtopäätöksiä siitä, miten kylläisyystilan muutokset vaikuttavat ylipäätään siihen millaisia aivoalueiden aktivaatioita ruokavihjeet aiheuttavat. Goldstonen ym. 2009 ja Siepin ym. 2009 tutkimuksissa pystyttiin lisäksi tekemään päätelmiä siitä, miten kylläisyystilan muutokset vaikuttavat siihen, millainen vaikutus ruokakuvien energiapitoisuudella on alueiden aktivoitumiseen.

Kaikissa esitellyissä tutkimuksissa kuvantamismenetelmänä on toiminut funktionaalinen magneettikuvaus, mutta näytetyt kuvat ja kuvantamisen aikana esitetyt kysymykset sekä tehtävät ovat eronneet hieman toisistaan. Lisäksi toinen kuvantaminen ruokailujen tai energiatankkauksen jälkeen on tehty hieman erilaisilla viiveillä. Kaikki tutkimukset noudattelevat kuitenkin karkeasti samoja linjoja ja niissä kaikissa on pyritty löytämään vastauksia samoihin kysymyksiin. Kaikissa tutkimuksissa tutkimustulosten pohjalta on voitu määrittää aivoalueita, joiden aktivoitumisaste vaihtelee nälkä-kylläisyystilasta riippuen. Tutkimukset on valikoitu sillä perusteella, että ne ovat enintään 10 vuotta vanhoja ja ovat saatavilla kokotekstiartikkeleina.

Taulukko 1. fMRI tutkimuksia, joissa on vertailtu nälkäisen ja kylläisen tilan vaikutuksia ruokakuvien havainnoimisesta seuranneisiin aivoaktivaatioihin.

Tutkittavat	Tutkimus asetelma	Tehtävät ja näytetyt kuvat	Aivoalueet, joilla ruokakuvien aikaansaamat aktivaatiot nälkäisenä > kylläisenä sekä kylläisenä > nälkäisenä	Ruokakuvien energiapitoisuuden vaikutukset aivoaktivaatioihin	
<b>Goldstone ym 2009</b>	20 tervettä 19–35 vuotiasta. 10 naista, 10 miestä. PI keskimäärin 22 kg/m <sup>2</sup> , kaikki normaalipainoisia.	Kuvantaminen kahtena aamupäivänä, välissä 6 pv. Ensimmäinen kuvaus yön yli kestäneen paaston jälkeen, toinen 1,6 tuntia aamiaisen jälkeen.	Kysely ruokahalusta (VAS) ennen ja jälkeen kuvantamisen.  Ruoan houkuttelevuuden arviointi kuvantamisen aikana.  Runsasenergiset ruoat, vähäenergiset ruoat, kodin esineet, sumennetut kuvat.	Ei tutkittu	Paastotilassa ruoan koettu houkuttelevuus sekä seuraavien alueiden aktivaatiot suurempia runsasenergisille kuin vähäenergisille ruokakuville: <i>amygdala, cortex orbifrontalis, insula, striatum ventralis</i> ,  Kylläisessä tilassa ruoan energiapitoisuus ei vaikuttanut aktivaatioihin.
<b>Jakobsdottir ym 2012</b>	15 tervettä 20–40 vuotiasta miestä. PI 20-25 kg/m <sup>2</sup> .	Kuvantaminen kahdesti, välissä viikko. Ensin 12 tunnin paaston jälkeen, sitten tunti aterian jälkeen.	Kysely ruokahalusta (Likert) ja verikokeet.  Vastata onko näytetyt kuvat otettu sisällä vai ulkona, muistella onko nähnyt kuvia aikaisemmin.  Ruoat, esineet (ei-ruoat).	Nälkäisenä > kylläisenä: <i>Amygdala, cortex frontalis, cortex occipitalis, gyrus fusiformis</i>  Kylläisenä > nälkäisenä: Hippocampus	Ei tutkittu
<b>Kroemer ym 2013</b>	26 tervettä 21–27,8 vuotiasta henkilöä, puolet miehiä, puolet naisia. PI keskimäärin 21,1 kg/m <sup>2</sup> , kaikki normaalipainoisia.	Ennen ensimmäistä kuvantamista paasto yön yli. Heti tämän jälkeen 75 g glukoosia sisältänyt liuos oraalisesti ja viisi minuuttia tämän jälkeen toinen kuvantaminen.	Verikokeet.  Ruokahalun arviointi. (VAS)  Miellyttävät ruokakuvat, epäselvät kuvat.	Nälkäisenä > kylläisenä: <i>Amygdala, cortex cingularis anterior, gyrus fusiformis, operculum, thalamus</i>  Kylläisenä > nälkäisenä: ei raportoituja tuloksia	Ei tutkittu
<b>Siep ym 2009</b>	12 tervettä, 18,4–20,2 vuotiasta naista. PI keskimäärin 21,5 kg/m <sup>2</sup> , kaikki normaalipainoisia.	Kuvantaminen kahdesti, välissä vähintään viikko. Ensimmäinen kuvaus 18 tunnin paaston jälkeen, toinen puoli tuntia lounaan jälkeen.	Kysely ruokahalusta ja yleisestä oloilasta (VAS).  Ruoan houkuttelevuuden arviointi.  Runsasenergiset ruoat, vähäenergiset ruoat, neutraalit esineet.	Ei tutkittu	Paastotilassa seuraavien alueiden aktivaatiot suurempia runsasenergisille kuin vähäenergisille ruokakuville: <i>cortex cingularis posterior, cortex orbifrontalis, gyrus fusiformis, insula, putamen</i> .  Kylläisessä tilassa vähäenergistien ruokien aiheuttamat aktivaatiot suurempia kuin runsasenergistien alueille: <i>cortex cingularis posterior, cortex orbifrontalis, gyrus fusiformis, insula, putamen</i> .

fMRI=funktionaalinen magneettikuvaus, PI = painoindeksi, VAS = visuaalinen analogia-asteikko

Nälkäinen tila lisää huomion kiinnittymistä ruokavihjeisiin (Chen ym. 2016). Nälkä toimii voimakkaana motivaattorina ja suuntaa keskittymistä kohti ruoanhankintaa mahdollistavia toimintoja. Ruoka myös koetaan tuolloin houkuttelevampana ja syömistä pidetään miellyttävämpänä kylläiseen tilaan verrattuna. Tämä havaittiin Goldstonen ym. (2009) tutkimuksen kuvantamista edeltävissä ruokahaluarvioissa.

Ventraaliseen palkitsevuusreittiin kuuluvien aivoalueiden on havaittu aktivoituvan nälkäisessä tilassa useammin ja voimakkaammin kuin koehenkilöiden ollessa kylläisessä tilassa (Taulukko 1 ja Chen ym 2016). Palkitsevuusreittiin kuuluvien *amygdalan* ja *cortex cingularis anteriorin* havaittiin aktivoituvan nälkäisessä tilassa kylläistä tilaa voimakkaammin Jakobsdottirin ym. (2012) ja Kroemerin ym. (2013) tutkimuksissa. Niissä havaittiin myös, että ruokien tunnistamisesta vastaava alue *gyrus fusiformis*, aktivoitui nälkäisenä kylläistä tilaa voimakkaammin. Tämän lisäksi Kroemerin ym. (2012) tutkimuksessa havaittiin palkitsevuusreittiin kuuluvan *operculumin* ja *cortex frontaliksen* aktivaatiota. Alueita, jotka aktivoituivat kylläisessä tilassa nälkäistä tilaa voimakkaammin raportoitiin vain yksi. Tämä alue oli Jakobdottirin ym. (2012) tutkimuksessa havaittu *hippocampus*.

Nälkäisenä tutkittavat kokivat runsasenergiset ruoat vähäenergisiksi houkuttelevimmiksi niin kuvantamistutkimuksen tulosten, kuin heidän omien kuvantamisen aikana tekemien miellyttävyysarvioiden perusteella (Goldstone ym 2009). Tutkimuksessa käytettiin kuvia sekä suolaisista että makeista runsasenergisistä herkuista. Ne koettiin tutkimuksessa yhtä houkutteleviksi. Samaisessa tutkimuksessa ei havaittu kylläisessä tilassa alueellisia aktivaatioeroja, vaikka ruokakuvien energiapitoisuus vaihteli. Samanlaisia havaintoja energiapitoisuuden vaikutuksesta houkuttelevuuteen tehtiin myös Siepin ym. (2009) tutkimuksessa, jossa vertailtiin niin ikään ruokakuvien energiapitoisuuden vaikutuksia aivoissa tapahtuviin aktivaatioihin kylläisyystilan vaihdella. Siepin ym. (2009) tutkimuksessa ei yllättäen havaittu tilastollisesti merkitsevää aktivaatiotason muutosta tutkittavien *amygdalassa* eikä *cortex orbifrontaliksessa* paastotilan ja kylläisen tilan sekä kuvien välillä energiapitoisuuden vaihdella kun tulokset tulkittiin RFX ANOVA–menetelmällä. Muilla aineiston analysointimenetelmillä havaittiin kuitenkin monen muun alueen, ja nyt myös *cortex orbifrontaliksen*, aktivoituvan nälkäisessä tilassa erityisesti runsasenergisistä ruokakuvista. Kaikki alueet (Taulukko 1) olivat osa ventraalista palkitsevuusreittiä. Siepin ym. (2009) havaintojen mukaan kylläisessä tilassa vähäenergiset ruoat aiheuttivat runsasenergisiksi ruokia suurempaa aivoaluiden aktivaatiota.

Erityinen huomio Siepin ym (2009) tutkimuksessa muihin tutkimuksiin nähden on se, että aktivaatiot painoutuivat erityisesti aivojen vasemmalle puolelle. Muissa Taulukon 1 tutkimuksissa



ei tuotu esille huomioita siitä, että aktivaatiot olisivat painottuneet erityisesti vain toiselle aivopuoliskolle. Puolierot eivät myöskään olleet tulkittavissa taulukoituja tuloksia tarkasteltaessa, sillä aktivaatiot jakaantuivat melko tasaisesti vasemman ja oikean aivopuoliskon välille.

## 5. POHDINTA

Taulukossa 1 esitetyt nälkä-kylläisyystilan vaikutuksia ruokakuvien havainnoimisesta seuranneisiin aivoaktivaatioihin selvittäneet tutkimukset olivat tuloksiltaan jokseenkin yhteneviä. Aktivoituvien alueiden välillä oli hieman eroa, mutta muutamat alueet, kuten *amygdala* ja *cortex orbitofrontalis*, tulivat toistuvasti esiin tuloksia tutkittaessa. Saman suuntaisia tuloksia on kirjattu myös suuremmissa koontiartikkeleissa, kuten Van der Laanin (2011) sekä Chenin (2016) laajoissa katsauksissa. Yhtenevät tulokset ovat tutkimusten vahvuus ja voivat toimia ainakin varovaisena pohjana tuleville teorioille ja tutkimuksille

Tutkimusten yksi suurimmista ongelmakohtista on niiden tyypillisesti pieni otoskoko. Magneettikuvantaminen on ymmärrettävästi kallis menetelmä, mutta silti esimerkiksi Siepin ym. (2009) tutkimuksessa käytetty 12 tutkittavaa on liian pieni tutkimuspopulaatio vahvojen johtopäätösten tekemiseksi. Johtopäätöksien tekemistä vaikeuttaa myös se, että uudehkosta kuvantamismenetelmästä johtuen tutkimuksia on ylipäättään tehty melko vähän. Myös vaihtelevat tutkimusasetelmat vaikeuttavat johtopäätösten tekoa. Kuvantamisen aikana näytettävät kuvat ovat teemoiltaan vaihtelevia, paastojen kestoissa on eroa ja kuvantamiset suoritetaan erilaisilla viiveillä. Myös kylläisyystilan saavuttamiseksi nautittavat ateriat eroavat toisistaan. Tässä suhteessa eniten muista, ja myös normaalista ruokailutilanteesta erosi Kroemerin ym. (2013) tutkimus, jossa ateria oli korvattu oraalisesti nautitulla glukoosiliuoksella. Vertailukelpoisempien tulosten takaamiseksi olisi hyödyllistä pyrkiä yhdenmukaisempiin tutkimusjärjestelyihin ja ehkä jopa standardoitujen menetelmien käyttämiseen. Aivoalueiden luotettavaksi kartoittamiseksi ja niiden tehtävänkuvien tarkemmaksi määrittämiseksi tarvittaisiinkin lisää yhtenevillä asetelmilla tehtyjä tutkimuksia, joissa käytettäisiin selvästi suurempia tutkimusryhmiä.

Ongelmia liittyy myös kuvantamismenetelmään. Kuvantamisolosuhteissa ei pystytä jäljittelemään todellisia elämäntilanteita ja ympäristöjä. Funktionaalisessa magneettikuvauksessa käytetty kuvantamislaitte on ahdas putki, jossa tutkittava makaa selällään tutkimussängyllä (Jurvelin ja Nieminen 2005). Kuvantamisen aikana ei voi liikkua (Chen ym. 2016). Ahdas putki voi jo sinällään olla tuloksia sekoittava tekijä, sillä siellä keskittyminen voi mahdollisen tilan ah-

taudesta johtuvan ahdistuksen vuoksi olla hyvinkin vaikeaa. Positiivista kuvantamismenettel-mässä on se, että magneettikuvaus on käytössä olevista menetelmistä avaruudellisesti tarkim-masta päästä ja tutkittaville täysin vaaraton, sillä se ei altista tutkittavia säteilylle (Jurvelin 2005). Tämä mahdollistaa pitkätkin kuvantamiset ilman, että niihin liittyy eettisiä ongelmia. Esimerkiksi isotooppikuvantamismenetelmät, kuten positroniemissiotomografia (PET) sekä röntgensäteilyyn pohjautuvat menetelmät, voivat altistaa tutkittavat huomattavallekin säteily-määrälle (Jurvelin 2005), mikä tulisi huomioida niin eettisissä pohdinnoissa kuin tutkittavia valittaessa.

Tarkastelluissa tutkimuksissa käytetyt koejärjestelyt olivat perustellusti mietittyjä ja tutkimuk-sissa oli pyritty minimoimaan tekijöitä, joista voisi aiheutua häiriöitä tuloksiin. Ensinnäkin kaikki tutkittavat olivat normaalipainoisia, perusterveitä ja iältään alle keski-ikäisiä aikuisia. Fyysisen terveyden lisäksi Siep ym. (2009), Goldstone ym. (2009) sekä Jakobsdottir ym. (2012) olivat huomioineet myös henkisen huonovointisuuden, kuten masentuneisuuden ja ahdistunei-suuden mahdolliset vaikutukset tuloksiin poissulkemalla kyselyiden avulla tutkimuksista kaikki, joilla oli minkäänlaista mielenterveysongelmahistoriaa. Tämän lisäksi Siep. ym (2009) olivat huomioineet myös tutkittavien suhteen ruokaan ja poissulkeneet tutkimuksestaan kaikki, jotka olivat kärsineet syömishäiriöön viittaavista oireista.

Paastojen pitkähdöt kestot pyrkivät takaamaan sen, että tutkittavat olivat nälkäisiä ennen en-simmäistä kuvantamistaan (Taulukko 1). Riittävän pitkä paasto vähentää tutkittavien henkilö-kohtaisen ruokarytmin vaikutusta tuloksiin, sillä siinä kuinka nopeasti nälän tunteet heräävät ruokailun jälkeen voi olla paljonkin vaihtelua tutkittavasta riippuen. Jotkin voivat tuntea nälkää esimerkiksi jo 3 tuntia ruokailun jälkeen, mutta toisella aikaa voi mennä huomattavasti kauem-minkin. Toisaalta tulee ottaa huomioon myös se, että yön yli paastoaminen ei välttämättä pit-kästä kestostaan huolimatta saa kaikkia tutkittavia nälkäiseksi.

Kuvantamiset suoritettiin suurinpiirtein samaan aikaan molempina tutkimuspäivinä, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Täten kuvantamiset sijoittuvat tutkittavien päivittäisessä henkilökohtai-nessa ruokarytmissä aina suurin piirtein samaan kohtaan. Tätä seikkaa ei oltu otettu huomioon Kroemerin ym. (2013) tutkimuksessa, jossa molemmat kuvantamiset suoritettiin peräkkäin sa-man päivän aikana. Muissa Taulukon 1 tutkimuksissa, joissa kuvantamispäivät oli sijoitettu eri päiville, oli myös tuotu esille ajatus riittävästä, noin viikon mittaisesta, kuvausten välisestä tau-osta. Syynä tähän järjestelyyn oli tutkijoiden halu erottaa tutkittavien nälkäinen ja kylläinen tila

selvästi toisistaan. Elimistön kylläisyystilan vaihtelu ääripäästä toiseen lyhyellä aikavälillä voi heidän mukaansa aikaansaada vääristymää tuloksiin.

Hormonaalisten tekijöiden vaikutuksia oli pyritty minimoimaan Siepin ym. (2009) tutkimuksessa siten, että kaikki tutkimukseen valitut naiset käyttivät suun kautta otettavia ehkäisyvalmisteita. Kyseisessä tutkimuksessa todettiin, että niiden käyttö vähentää kuukautiskierron aikana tapahtuvista hormonivaihteluista aiheutuvia muutoksia ruokahalussa ja mieliteoissa. Samanlaista vaatimusta ei esitetty Goldstonen ym. (2009) eikä Kroemerin ym. (2013) tutkimuksissa, joten on mahdollista, että kyseessä olevissa tutkimuksissa naispuolisten tutkittavien tulokset eivät ole yhtä vertailukelpoisia keskenään. Sukupuolten välisiä eroja havaittiin Kroemerin ym. (2013) tutkimuksessa mitatuissa paastogreliiniarvoissa. Greliinipitoisuudet olivat naispuolisilla tutkittavilla huomattavasti miespuolisia tutkittavia korkeammat (naisilla: 771,7 pg/ml, miehillä: 412,2 pg/ml). Naisten greliinin pitoisuuksissa oli paljon enemmän hajontaa miespuolisiin tutkittaviin verrattuna, mikä tukee pohdintaa siitä, että naispuolisten tutkittavien tulokset eivät ole yhtä vertailukelpoisia keskenään kuin miespuolisten tutkittavien.

Kaiken kaikkiaan tuloksiltaan monipuolisimpia olivat Goldstone ym. (2009) sekä Siep ym. (2009) tutkimukset, sillä niissä vähäenergisten ja runsasenergisten ruokakuvien erotteleminen antoi tietoa kylläisyystilan vaikutuksista myös mielitekoihin. Kroemer (2013) ja Jakobsdottir (2012) toivat pohdinnoissa itsekkin esille ruokakuvien erittelemättä jättämiseen liittyvät ongelmat. Tulokset olisivat olleet monipuolisempia ja tarkoitustaan paremmin palvelevia kun ruokakuvat olisi jaettu runsas- ja vähäenergiisiin vaihtoehtoihin myös heidän tutkimuksissaan.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Nälkäinen tila lisää huomion kiinnittymistä ruokavihjeisiin ja ruokahalua. Ventraalisessa pal-kitsevuusreitissä havaittujen lisääntyneiden aktivaatioiden vuoksi on mahdollista, että nälkä lisää myös todennäköisyyttä valita runsasenergisiä ja epäterveellisiä ruokia terveellisten vaihtoehtojen sijaan. Tutkimalla saadaan tärkeää arkielämään sovellettavaa tietoa, joka selittää ihmisten syömiskäyttäytymistä ja ruokavalintoja. Tieto on tärkeää muun muassa ylipainoisuuden ja sen syiden ymmärtämiseksi. Tietoa voidaan hyödyntää tehokkaampien painonhallinohjausmenetelmien kehittämisessä. Saatu tietämys nälän vaikutuksista mielitekoihin tarjoaa myös mahdollisuuksia motivoida ihmisiä säännöllisen ruokarytmin ylläpitoon.

Tutkimus on hyödyllistä myös siksi, että terveillä ja normaalipainoisilla tutkittavilla tehdyt tutkimukset toimivat tärkeänä vertailupohjana vastaavanlaisille tutkimuksille, joissa tutkimusryhmäksi on valittu esimerkiksi pitkäaikaisesti ylipainoisia tai syömishäiriötä sairastavia henkilöitä. Tulevaisuudessa aivojen toiminnan yhä laaja-alaisempi ymmärtäminen ja nälkä–kylläisyyteen sekä yleisesti ruokailuun liittyvien aivoalueiden aktivoitumisen kartoitus voi auttaa myös lääketieteellisten hoitokeinojen, kuten lääkeaineiden ja kirurgisten hoitokeinojen, kehittämisessä. Ainakin teoreettisesti ajateltuna voisi olla mahdollista, että ongelmallisesta ruokasuhteesta kärsiviä henkilöitä voitaisiin auttaa myös tällaisin keinoin.

Kaiken kaikkiaan varmempien teorioiden muodostaminen ja tiedon soveltaminen edellyttää monialaista lääketieteen, psykologian ja ravitsemustieteen asiantuntijoiden tietämystä yhdistävää tutkimusta. Tutkimusaineistojen kokoa tulisi kasvattaa ja tutkimuksissa olisi niiden keskinäisen verrattavuuden vuoksi hyvä käyttää ainakin joitakin vakiintuneita koejärjestelyihin liittyviä käytäntöjä. Lisäksi tutkimusjärjestelyissä pitäisi pyrkiä mahdollisimman paljon todellista elämää muistuttaviin olosuhteisiin. Olosuhteisiin vaikuttaminen onnistuu toivottavasti helpommin tulevaisuudessa kuvaustekniikoiden ja –laitteiden kehittymisen myötä.

## LÄHTEET

- Botvinik MM, Cohen JD, Carter CS. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences* 2004;8:12:539-546.
- Chen J, Papies E, Barsalou L. A core eating network and its modulations underlie diverse eating phenomena. *Brain and Cognition* 2016;110:20-42.
- Culham JC, Kanwisher NG. Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology* 2001;11:2:157-163.
- De Silva A, Salem V, Matthews P, Dhillo W. The use of functional MRI to study appetite control in the CNS. *Experimental Diabetes Research* 2012;2012:764017.
- Di Marino V, Etienne Y, Niddam M. The amygdaloid nuclear complex: anatomic study of the human amygdala. Springer international publishing 2016.
- Dagher A. Functional brain imaging of appetite. *Trends in endocrinology and metabolism* 2012;23:5:250-260.
- Goldstone A, de Hernandez C, Beaver J, Muhammed K, Croese C, Bell G, Durighel G, Hughes E, Waldman A, Frost G, Bell J. Fasting biases brain reward systems towards high-calorie foods. *European Journal of Neuroscience* 2009;30:1625-1635.
- Jakobsdottir S, de Ruiter M, Deijen J, Veltman D, Drent M. Brain activation by visual food-related stimuli and correlations with metabolic and hormonal parameters: A fMRI study. *The Open Neuroendocrinology Journal* 2012;5:5-12.
- Johnsson D. The visual system. Kirjassa: Johnson L, toim. *Essential medical physiology*. Amsterdam ja Boston. Elsevier Academic Press 2003.
- Jurvelin J. Radiologist kuvantamismenetelmät. Kirjassa: Soimakallio S, Kivisaari L, Manninen H, Svedström E, Tervonen O, toim. *Radiologia*. Porvoo: WSOY 2005.
- Jurvelin J, Nieminen M. Magneettikuvaus. Kirjassa: Soimakallio S, Kivisaari L, Manninen H, Svedström E, Tervonen O, toim. *Radiologia*. Porvoo: WSOY 2005.
- Kalat J. *Biological psychology*. Cengage Learning. Boston: 2016.
- Karhunen L, Ukkola O. Syömisen säätely. Kirjassa: Aro A, Mutanen M, Uusitupa M, toim. *Ravitsemustiede*. Kustannus Oy Duodecim. Helsinki 2012.
- Kaye WH, Fudge JL, Paulus M. New insights into symptoms and neurocircuit function of anorexia nervosa. *Nature Review Neuroscience* 2009;10:573-584.
- Kroemer N, Krebs L, Kobiella A, Grimm O, Pilhatsch M, Bidlingmaier M, Zimmermann U, Smolka M. Fasting levels of ghrelin covary with the brain response to food pictures. *Addiction Biology* 2012;18:855-862.
- Linne V, Barkeling B, Rossner S, Rooth P. Vision and eating behavior. *Obesity Research* 2002;10:92-95.

Miller EK. The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience* 2000;1:59-65.

Nienstedt W, Hänninen O, Arstila A, Björkqvist S-E. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY. Porvoo: 2000, s. 498–514.

Rudebeck PH, Murray EA. The orbitofrontal oracle: cortical mechanisms for the prediction and evaluation of specific behavioral outcomes. *Neuron* 2014;84:1143-1156.

Schoenbaum G ja Roesch M. Orbitofrontal Cortex, Associative Learning, and Expectancies. *Neuron* 2005;47:633-636.

Siep N, Roefs A, Roebroek A, Havermans R, Bonte M, Jansen A. Hunger is the best spice: An fMRI study of the effects of attention, hunger and calorie content on food reward processing in the amygdala and orbitofrontal cortex. *Behavioural Brain Research* 2009; 198:149-158.

Terveysten ja hyvinvoinninlaitos THL. Lihavuuden yleisyys lukuina. <https://www.thl.fi/fi/tutkimus-ja-asiantuntijatyo/hankkeet-ja-ohjelmat/kansallinen-lihavuusohjelma-20122015/lihavuus-lukuina/lihavuuden-yleisyys-suomessa> (luettu 6.1.2018)

Van der Laan, de Ridder, Viergever, Smeets. The first taste is always with the eyes: meta-analysis on the neural correlates on processing visual food cues. *Neuroimage* 2011;55:296-303.

Vocks S, Busch M, Grönemeyer D, Schulte D, Herpertz s, Suchan B. Neural correlates of viewing photographs of one's own body and another woman's body in anorexia and bulimia nervosa: an fMRI study. *Journal of Psychiatry and Neuroscience* 2010;35:163-176