

Gradun ohjaaja

Tutkijatohtori Jarmo Hämäläinen

Tutkimusprojekti

Kuulotiedon käsittelyn kehittyminen
ja lukihäiriö lapsuusiässä

Tutkimus

Auditorisen prosessoinnin taitojen,
puheen havaitsemisen taitojen ja
fonologisen prosessoinnin taitojen
väliset yhteydet 4-6- vuotiailla
dysleksiariski- ja kontrollilapsilla

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Elli Huikari

Ohjaaja: Jarmo Hämäläinen

Psykologian pro gradu- tutkielma

Kevät 2011

Jyväskylän yliopisto

Tutkimuksessa tarkasteltiin auditorisen prosessoinnin, puheen havaitsemisen ja fonologisen prosessoinnin taitojen välisiä yhteyksiä 4- 6- vuotiailla dysleksiariski- ja kontrollilapsilla. Lisäksi haluttiin selvittää, ovatko dysleksiariskilasten auditorisen prosessoinnin taidot heikompia kuin kontrolliryhmän lasten vastaavat taidot. Tutkittavia lapsia oli yhteensä 86. Heistä poikia oli 46 ja tyttöjä 40. Lapsista 23 kuului dysleksiariskiryhmään, jossa sekä jommallakummalla vanhemmista että vähintään yhdellä lähisukulaisella oli dysleksia. Kontrolliryhmään kuului 63 lasta. Perheiden yhteystiedot saatiin väestökisterikeskuksesta. Kutsu tutkimuksen lähetettiin n. 3000:n lapsen kotiin. Mukaan ilmoittautuneista lapsista tutkimukseen otettiin lopulta 86. Auditorisen prosessoinnin taitoja mitattiin äänen taajuuden ja keston erottelulla, puheen havaitsemista vokaalin keston (mi vai mii) ja puheäänteen erottelun (y vai i) avulla ja fonologista prosessointia erilaisten behavioraalisten tehtävien avulla (tavun ja äänteen tunnistus, kirjaintuntemus, lauseiden toistaminen). Lisäksi mitattiin yleistä kognitiivista kyvykkyyttä, (kuutiot, sanavarasto), kuulokynnys sekä kätsisyys. Osoittautui, että äänen keston eron havaitseminen (auditorisen prosessoinnin taito) oli yhteydessä puheen havaitsemiseen äänteen keston (mi vai mii) havaitsemista mittaavien tehtävien osalta (puheen havaitseminen). Kumpikaan kesto- tehtävistä ei kuitenkaan ollut yhteydessä mihinkään fonologista prosessointia mittaavaan muuttajaan. Lapsiryhmät eivät myöskään eronneet toisistaan auditorisen prosessoinnin (taajuuden ja keston) erottelun suhteen. Sen sijaan fonologisen prosessoinnin taidoista tavun ja äänteen tunnistustehtävä sekä lauseiden toistotehtävä erottelivat lapsiryhmiä. Ryhmäero havaittiin myös yleistä kognitiivista kyvykkyyttä mittaavassa kuutiotehtävässä. Kuutiotehtävän pistemäärä ja lasten ikä kontrolloitiin kaikissa analyyseissä.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	4
1.1	Dysleksian biologinen tausta.....	5
1.2	Fonologinen prosessointi.....	7
1.2.1	Fonologisen tietoisuuden kehittymisestä.....	8
1.3	Auditorinen prosessointi.....	9
1.3.1	Auditorisen havainnon kehittymisestä.....	11
1.4	Puheen havaitseminen.....	12
1.4.1	Äänteen keston havaitsemisesta.....	14
1.5	Tutkimuskysymykset.....	15
2	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	16
2.1	Tutkittavat.....	16
2.2	Valintakriteerit.....	16
2.3	Tutkimuksessa käytetyt testit.....	17
2.4	Analyysimenetelmät.....	20
3	TULOKSET.....	21
3.1	Älykkyyssmitat.....	21
3.2	Muuttujaryhmien väliset yhteydet.....	21
3.2.1	Auditorinen prosessointi ja puheen havaitseminen.....	21
3.2.2	Puheen havaitseminen ja fonologinen prosessointi.....	22
3.2.3	Kielellinen muisti.....	22
3.3	Ryhmäerot.....	22
4	POHDINTA.....	25
5	LÄHTEET.....	34

1 JOHDANTO

Kehityksellistä vaikeutta oppia lukemaan ja kirjoittamaan kutsutaan dysleksiaksi (Lyon, Shaywitz & Shaywitz, 2003). Dysleksiaksi määriteltävä lukivaikeus ilmenee, vaikka henkilö olisi saanut opetusta, hänen kognitiiviset kykynsä eivät poikkeaisi tavallisesta eikä hänellä olisi havaittavissa mitään neurologista tai aistitoimintojen vammaa tai vajetta (Goswami, 2003; Korhonen, 1995; Ramus, 2003; Rosen, 2003). Toissijaisina seurauksina on usein ongelmia luetun ymmärtämisessä ja vähäinen lukeminen vapaa-ajalla, mikä voi olla epäedullista sanavaraston ja taustatietomäärän kasvun kannalta (Lyon, ym., 2003). Tekninen lukutaito määritellään kirjoitettujen merkkien eli grafeemien muuntamiseksi puheäänneiksi eli foneemeiksi (Ahvenainen & Holopainen, 2005; Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White & Writh, 2003; White, Milne, Rosen, Hansen, Swettenham, Frith & Ramus, 2006; Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004). Eri arvioiden mukaan noin 5-15%:lla lapsista ja aikuisista on havaittu ongelmia lukutaidon saavuttamisessa (Lyon, ym., 2003; Vellutino, ym., 2004).

Dysleksia diagnosoidaan yleensä vasta kouluikässä, jolloin lukutaidon oppimista voidaan arvioida sen ollessa ajankohtaista koko ikäluokalle (Lyytinen, Leppänen & Guttorm, 2005). Riittävien tukitoimien turvaamiseksi lapselle tulisi kuitenkin etenkin niiden lasten, joilla tiedetään olevan familiaalinen dysleksian riski, tilannetta pyrkiä kartoittamaan jo aiemmin (Ziegler & Goswami, 2005; Lyytinen, Aro, Eklund, Erskine, Guttorm, Laakso, Leppänen, Lyytinen, Poikkeus, Richardson & Torppa, 2004). Tutkimustiedon sekä luotettavien ja pätevien mittareiden avulla kielen kehityksen häiriöt on mahdollista tunnistaa jo varhain (Lyytinen, ym., 2004). Dysleksian riskiä pystytään melko tarkasti arvioimaan jo noin 3,5 vuoden iässä muun muassa lapsen kirjaintuntemuksen sekä fonologista tietoisuutta ja nopeaa nimeämistä mittaavien tehtävien perusteella, kun otetaan lisäksi huomioon mahdollinen familiaalinen kehityksellisen dysleksian riski (Puolankanaho, Ahonen, Aro, Eklund, Leppänen, Poikkeus, Tolvanen, Torppa & Lyytinen, 2007).

1.1 Dysleksian biologinen tausta

Dyslektikoilla on havaittu erilaisia aivotoiminnan poikkeavuuksia verrattuna tavallisesti lukeviin henkilöihin. Dyslektikkojen aivokuorella on havaittu todennäköisesti geenien toimintahäiriön aiheuttamia poikkeavuuksia, jotka eläinten aivoihin aiheutettuina ovat näyttäneet aiheuttavan ongelmia äänen käsittelyssä (Hämäläinen, Leppänen & Lyytinen, 2008). Dysleksian taustalla oletetaan yleisesti olevan synnynnäinen häiriö vasemman aivopuoliskon perisyylvaanisella alueella, mikä aiheuttaisi fonologisen prosessoinnin pulman (Ramus, ym., 2003).

Lisäksi esimerkiksi Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia- tutkimuksessa on havaittu, että verrattaessa dysleksiariski- ja kontrolliryhmän lasten aivojen sähköisiä herätevasteita (event-related-potentials, ERPs) reaktiona puhe- ja kielellisiin ärsykkeisiin niiden taajuudet ovat tavallisesti riskiryhmällä pienempiä vasemmassa tai suurempia oikeassa aivopuoliskossa verrattuna kontrolliryhmän lapsiin (Lyytinen, Ahonen, Eklund, Guttorm, Laakso, Leinonen, Leppänen, Lyytinen, Poikkeus, Puolakanaho, Richardson & Viholainen, 2001). Aivojen herätevasteet on aivosähkökäyrän (EEG) mittaamiseen perustuva tutkimusmenetelmä. Herätevasteet heijastavat aivojen reaktioita esitettyyn ärsykkeeseen, ilman että koehenkilön tarvitsee aktiivisesti tehdä mitään (Leppänen, 2009). Lyytisen, ym. (2001) mukaan heidän saamansa tulos viittaa siihen mahdollisuuteen, että dyslektikoilla olisi kehityksellinen pulma auditorisessa havainnoinnissa. Hoeft, Hernandez, McMillon, Taylor-Hill, Martindale, Meyler, Keller, Siok, Deutsch, Just, Whitfield- Gabrieli & Gabrieli (2006) havaitsivat puolestaan fMRI- tutkimuksessaan dyslektikoilla alentuneen aivojen aktivaatiotason fonologisen prosessoinnin yhteydessä. 8-12- vuotiailla dysleksialapsilla havaittiin vähentynyt vasemmanpuoleinen parietotemporaalinen aktivaatiotaso verrattuna nuorempiin, heitä lukutaidon tasoltaan vastaaviin lapsiin. Lisäksi dysleksialasten kanssa samanikäisellä kontrolliryhmällä aivojen aktivaatio oli merkittävästi dysleksialapsia suurempi kuudella eri aivojen alueella.

Dysleksian tiedetään periytyvän eli olevan perinnöllinen (esim. Lyytinen, ym., 2004). Tähän viittaavat vahvasti muun muassa kaksostutkimukset. On arvioitu, että keskimääräinen todennäköisyys sille, että myös dysleksialapsen vanhemmalla on dysleksia, on kahdeksankertainen väestötasolla normaalisti vallitsevaan n. 5%:n esiintymiseen (Pennington, 1995). Perhe- ja kaksostutkimusten pohjalta voidaan arvioida,

että noin 50–60 % lukutaidon tason ja muiden lukemiseen tarvittavien taitojen vaihtelusta voidaan selittää geneettisillä tekijöillä (Vellutino ym., 2004; Korhonen, 1995). Dysleksian taustalta on löydetty neljä kandidaattigeeniä: DYX1C1, ROBO1, DCDC2 ja KIAA0319 (ks. kooste esim. Schumacher, Hoffmann, Schmäl, Schulte- Körne & Nöthen, 2007).

Dysleksian periytyvyyden oletusta tukevat myös tutkimustulokset, joiden mukaan dysleksian ennusmerkkejä on havaittavissa jo paljon ennen lukutaidon saavuttamista. On havaittu, että 6 kuukauden ikäiset vauvat, joiden jommallakummalla vanhemmista oli lukemisen ja kirjoittamisen pulmia, prosessoivat äänen muutoksia eri tavalla kuin ne lapset, joilla ei kehityksellisen lukivaikeuden riskiä ollut (Leppänen, Richardson, Pihko, Eklund, Guttorm, Aro & Lyytinen, 2002). Dysleksiariski- lapset siis prosessoivat puheääniä eri tavalla verrattuna lapsiin joilla riskiä ei ole jo ennen kuin oppivat puhumaan.

Eroja riski- ja kontrolliryhmän lasten välillä on havaittu ERP:ssä reaktiona auditoriseen ärsykkeeseen myös jo välittömästi syntymän jälkeen (Lyytinen, ym., 2001). Guttorm, Leppänen, Poikkeus, Eklund, Lyytinen ja Lyytinen (2005) tarkastelivat pitkittäistutkimuksessaan vastasyntyneiden lasten aivojen ERP- vasteita sekä niiden yhteyksiä myöhempään kielellisiin taitoihin 2,5, 3,5 ja 5 vuoden iässä. Lapsista 26:lla oli kehityksellinen dysleksian riski, ja loput 23 muodostivat kontrolliryhmän. Dysleksiariskilapsilla havaittiin polarisaation hitaampi siirtymä positiivisuudesta negatiivisuuteen oikeassa aivopuoliskossa reaktiona /ga/- tavuun. Kyseinen ilmiö oli yhteydessä merkittävästi huonompaan ymmärtävään kielitaitoon molemmissa ryhmissä 2,5-vuotiaana. Samanlainen ERP- vaste vasemmassa aivopuoliskossa oli yhteydessä heikkoihin verbaalisen muistin taitoihin 5-vuotiaana. Lyytinen, ym. (2005) tarkastelivat puolestaan myöhäisen puhumaan oppimisen yhteyttä familiaaliseen dysleksian riskiin, ja saivat tulokseksi, että dysleksiariski- lapset oppivat puhumaan tavallisesti kehittyneitä ikätovereitaan myöhemmin. Lisäksi myöhään puhumaan oppineet lapset (yhden keskihajonnan keskiarvon alapuolella 2- 2,5- vuotiaana muun muassa sanavarastoa ja maksimaalista lauseen pituutta mittaavissa tehtävissä) suoriutuivat keskitasoa heikommin suullisen lukemisen ja luetun ymmärtämisen tehtävissä toisen luokan lopussa. Eniten

viivästyessä näissä taidoissa havaittiin lapsilla, joilla sekä ymmärtävä että tuottava kielitaito kehittyi myöhään.

Kuitenkin myös ympäristön rooli dysleksian synnyssä tulee huomioida (Goswami, 2003). Kehitystä muovaama ympäristöstä tuleva syöte on Goswamin (2003) mukaan dynaamista, ei staattista, ja siten sillä on erilainen vaikutus kehityksen eri ajankohtina. Mm. Lyytisen ym. (2004) mukaan myös geenien ja ympäristön välinen vuorovaikutus on tärkeää dysleksialapsen lukutaidon kehittymisen kannalta. Lapsi, jolle lukemaan oppiminen ja lukeminen on vaikeaa, ei ehkä ole niin kiinnostunut kirjoista eikä vanhempiensa kanssa tule siten yhdessä luettua niin paljon kuin sellaisen lapsen kanssa, joka nauttii lukemisesta ja kirjoista, eikä lukutaidon kehittymistä näin ollen tueta tarpeeksi (Lyytinen, ym., 2004).

1.2 Fonologinen prosessointi

Dysleksian taustalla katsotaan yleisesti olevan pulman fonologisessa prosessoinnissa (esim. Lyon, ym., 2003; Ramus, ym., 2003; White, ym., 2006; Vellutino, ym., 2004; Aro, 2008; Ahvenainen & Holopainen, 2005; ym.). Fonologinen tietoisuus on ymmärtämystä siitä, että yksittäiset sanat voidaan hajottaa pienemmiksi äänneyksiköiksi, joista pienimpiä edustavat aakkosten kirjaimet (Goswami, 2002). Fonologista tietoisuutta tarvitaan tehtävissä, joissa vaaditaan täsmällistä tietoa sanojen rakenteesta, kuten esimerkiksi äänneiden erottelu- ja poistotehtävät (Marshall, Snowling & Bailey, 2001). Lukutaidon kehittymisen on esitetty riippuvan fonologisesta tietoisuudesta (Ziegler & Goswami, 2005). Suoriutumisen fonologista tietoisuutta mittaavissa tehtävissä on havaittu ennustavan lukemista ja lukemisen ongelmia (Vellutino, ym., 2004).

Fonologisen prosessoinnin pulma näkyy esimerkiksi vaikeutena puheäänten varastoinnissa ja mieleenpalauttamisessa sekä vaikeutena jakaa puhetta osiin, kuten äänneisiin tai tavuihin, ja käsitellä näitä osia analyyttisesti (Aro, 2008; Ramus, ym., 2003). Dyslektikkojen on havaittu suoriutuvan tavallisesti lukevia henkilöitä heikommin sellaisissa fonologista tietoisuutta ja prosessointia vaativissa tehtävissä, kuten nopea nimeäminen, lyhytkestoisesta muistista haku, sekä esimerkiksi tavujen, riimien ja äänneiden analyyttinen käsittely (Lyon, ym., 2003; Boets, Ghesquiere, van Wieringem & Wouters, 2006; Goswami, 2002; Smith, Roberts & Locke, 2008; Marshall, ym., 2001).

Useiden tutkimusten mukaan suoriutuminen fonologista tietoisuutta vaativissa tehtävissä ennustaa merkittävästi tulevaa lukutaidon tasoa (esim. Smith, ym., 2008; Ramus, ym., 2003). Torpan, Poikkeuksen, Laakson, Tolvasen, Leskisen, Leppäsen, Lyytisen ja Puolakanahon (2007) tutkimuksessa fonologinen tietoisuus korreloi sanavaraston laajuuden ja kirjaintuntemuksen kanssa merkittävästi sekä dyslektikoilla että kontrolliryhmällä. Varhaislapsuudessa havaitut fonologiset pulmat eivät kuitenkaan välttämättä kehity lukivaikeudeksi, vaan ongelmat saattavat joskus kokonaan kadota lapsen kehittyessä (Barry, Hardiman & Bishop, 2008).

Yksi fonologisen prosessoinnin osa-alue on työmuistin foneemisen koodauksen tehokkuus, jonka on esitetty olevan kausaalisesti yhteydessä lukutaidon saavuttamiseen (Wagner & Torgesen, 1987). Tähän liittyisi se tutkimustulos, että heikkojen lukijoiden on havaittu suoriutuvan tavallisesti lukevia henkilöitä huonommin työmuistia kuormittavista tehtävistä (Wagner & Torgesen, 1987). Tutkimuksissa heikot lukijat ovat muistaneet vähemmän sanoja satunnaisista sanaketjuista, eikä sanojen foneettisista piirteistä ole ollut apua heille heidän yrittäessään palauttaa sanoja mieleen, toisin kuin tavallisesti lukevilla henkilöillä (Wagner & Torgesen, 1987).

1.2.1 Fonologisen tietoisuuden kehittymisestä

Tavallisesti kehittyneellä esikouluikäisellä on useimmissa kielissä jo yleensä hyvä fonologisen tietoisuuden taso liittyen tavuihin, sanan alkuihin ja riimeihin (Ziegler & Goswami, 2005). Tavutietoisuus on tavallisesti kehittynyt jo 3-4- vuotiailla, ja tietoisuus sanan aluista ja riimeistä 4-5- vuotiailla. Tavutietoisuus ilmenee lähes kaikissa kielissä ennen äännetietoisuutta (Wagner & Torgesen, 1987). Tietoisuus foneemeista eli äänneistä kehittyä kuitenkin hyvin nopeasti sen jälkeen, kun lukemista aletaan opettaa (Adams, 1990). Kehitys fonologisella alueella seuraa lapsen muuta kielen kehitystä (Adams, 1990) ja etenee yleensä suuremmista yksiköistä pienempiin, eli esimerkiksi sanoista foneemeihin ja grafeemeihin (Ziegler & Goswami, 2005).

Jos lapsella on ongelmia fonologisen tiedon koodauksessa, vaikeutuu myös kirjain- äänne- vastaavuuden oppiminen ja siten lukemaan oppiminen (Torgesen & Burgess, 1998). Fonologisen koodauksen ongelmat viittaavat erityisesti siihen, että lapsen

on vaikea kääntää kirjaimet nopeasti äänneiksi ja yhdistää ne sanoiksi (Torgesen & Burgess, 1998).

1.3 Auditorinen prosessointi

Toisaalta dysleksiaan on yhdistetty myös vaikeus auditorisessa prosessoinnissa ja puheen havaitsemisessa (esim. Hämäläinen, ym., 2008; Tallal, 1980; McBride-Chang, 1995; Leppänen, Lyytinen, ym.). Auditorinen eli kuulotiedon prosessointi voidaan määritellä minkä tahansa äänen tehokkaaksi prosessoinniksi, esimerkiksi erilaisten taajuuksien erotteluksi toisistaan (Hämäläinen, ym., 2008). Auditorisen prosessoinnin pulmien on noin 1/3:lla tapauksista esitetty olevan dysleksiaa luonnehtivien fonologisten pulmien taustalla (Vellutino, ym., 2004, Goswami, 2003; Boets, Ghesquiere, van Wieringen & Wouters, 2007a & b). Auditoriset ja puheen prosessoinnin ongelmat johtaisivat siis heikkoihin äänneiden edustuksiin eli representaatioihin yksilön aivoissa, mikä puolestaan johtaisi fonologisen prosessoinnin ja äännetiedon käsittelyn ongelmiin.

Johnson, Pennington, Lee ja Boada (2009) tarkastelivat nopean auditorisen prosessoinnin ja fonologisen tietoisuuden välistä syy-seuraussuhdetta pitkittäistutkimuksessaan. Auditorista prosessointia mitattiin 8-vuotiailla ns. seuraavan peiton (backward masking) asetelmalla, jossa koehenkilöiden tuli havaita lyhyt ääni, jota seurasi maski- eli peiteääni. Maskiääni häiritsee tällöin varsinaisen ”koe”-äänien prosessointia. Fonologista prosessointia puolestaan mitattiin aiemmin 5- vuotiaana foneeminpoisto- ja sananmuodostustehtävillä. Tulokset osoittivat, että fonologinen tietoisuus 5- vuotiaana ennusti auditorisen prosessoinnin kykyä 8- vuotiaana.

Dyslektikkojen on havaittu suoriutuvan tavallisesti lukevia henkilöitä heikommin erityisesti äänten alkujen voimakkuusmuutosten eli nousuaikojen ja taajuuden havaitsemisessa (katsaus: Hämäläinen, Salminen & Leppänen, 2009). Lisäksi suoriutumisen nousuaikojen ja taajuuden muutosten erottelua mittaavissa tehtävissä on havaittu olevan yhteydessä luku- ja kirjoitustaitoon sekä fonologisiin taitoihin (Hämäläinen, Leppänen, Eklund, Thomson, Richardson, Guttorm, Witton, Poikkeus, Goswami & Lyytinen, 2009). Hämäläisen, ym. (2009a) tutkimuksessa niillä lapsilla, joilla oli vaikeuksia puheen havaitsemisessa, oli ongelmia myös nousuaikojen erottamisessa. Tutkijoiden mukaan tämä tulos tukee hypoteesia heikoista auditorisen

prosessoinnin kyvyistä ongelmallisen puheen prosessoinnin taustalla, joka puolestaan saattaisi johtaa heikkoihin fonologisiin representaatioihin ja dysleksiaan.

Auditorisen prosessoinnin olennaisen merkityksen puolesta dysleksian (erityisesti fonologisen prosessoinnin) taustalla puhuvat myös tutkimustulokset auditorisiin taitoihin kohdistuvan kuntoutuksen vaikuttavuudesta lukuvaikeuksisilla henkilöillä. Törmäsen ja Takalan (2009) tutkimuksessa tavoitteena oli harjoittaa 7-12- vuotiaiden dysleksialasten äänen rakenteen havaitsemisen kykyä sekä oppia kiinnittämään huomiota samanaikaisesti sekä nähtyyn että kuultuun ärsykkeeseen ja sovittaa niiden samankaltainen rakenne yhteen. Koeryhmä (N=21) harjoitteli Audilex- ohjelmalla 8 viikon ajan, kaksi kertaa viikossa 15 minuuttia kerrallaan. ”Pelissä” lapsen tuli valita tietokoneen ruudulla esitetystä kahdesta, eripituisista palkeista muodostuvasta vaakasuorasta kuviosta se, joka vastasi rakenteeltaan hänen kuulemaansa äänijaksoa. Toisessa ”pelissä” näytöllä näkyi vain yksi kuvio samalla, kun lapsi kuuli kuviota vastaavan äänijakson. Hänen tehtävänsä oli seurata ”soitettavaa” kuviota ja painaa tietokoneen välilyönti- näppäintä hänen mielestään viimeisen äänen kohdalla. Koeryhmän lukemisen taidot (mitattuna epäsanojen lukemisella, sanojen lukemisella, lukunopeudella ja tavaamistaidoilla) paranivat selvästi kontrolliryhmään verrattuna. Myös Kujalan, Karman, Ceponlenen, Belitzin, Turkkilan, Tervaniemen ja Näätäsen (2001) kuntoutustutkimuksessa tarkasteltiin ei- kielellistä materiaalia sisältävän harjoitusohjelman vaikuttavuutta ensimmäisellä luokalla olevien dysleksialasten lukutaitoon. Kahdesti viikossa seitsemän viikon ajan harjoitellut koeryhmä luki harjoitusjakson jälkeen kontrolliryhmää enemmän sanoja oikein, ja myös heidän lukunopeutensa oli parempi. Muutos havaittiin myös aivojen poikkeavuusnegatiivisuusvasteessa (MMN), joka oli koeryhmällä huomattavasti kasvanut tehtävässä, jossa koehenkilöille soitettiin satunnaisessa järjestyksessä standardeja ja taajuudeltaan poikkeavia äänipareja (Kujala, ym., 2001b).

Kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu yksilötasolla yhteneviä auditorisen prosessoinnin pulmia dyslektikoilla. Esimerkiksi White, ym. (2006) tarkastellessaan sensorimotoristen häiriöiden roolia dysleksian taustatekijöinä havaitsivat, että vain pienellä osalla niistä lapsista, joilla oli selviä ongelmia fonologisessa tietoisuudessa, nopeassa nimeämisessä ja lyhytkestoisessa muistissa, oli vaikeuksia myös auditorisessa prosessoinnissa. Boets, ym. (2007) havaitsivat puolestaan, että ryhmänä

niillä lapsilla, joilla oli kehityksellinen dysleksian riski, voitiin nähdä merkittäviä vaikeuksia dynaamisessa auditorisessa prosessoinnissa, puheen havaitsemisessa ja fonologisissa taidoissa, mutta yksilötasolla tilanne näyttäytyi erilaisena. Kaikilla dysleksiariski- lapsilla ei esiintynyt auditorista tai puheen havaitsemisen vaikeutta, ja toisaalta myös joillakin kontrolliryhmän lapsilla voitiin havaita ongelmia auditorisessa prosessoinnissa ja puheen havaitsemisessa. Ramus (2003) onkin katsauksensa pohjalta esittänyt, että noin 40%:lla dyslektikoista olisi auditorinen pulma. Myös Hämäläinen, ym (in press) toteavat yhteenvetona katsauksessaan, että ainakin osalla dyslektikoista voidaan havaita auditorisen prosessoinnin ongelmia yhden tai useamman ärsykepiirteen suhteen. Heidän mukaansa tällaiset ongelmat ilmenevät tavallisesti reaktionä dynaamisiin, puheen prosodiaan liittyviin äänen piirteisiin, kuten äänen taajuuden ja voimakkuuden muutoksiin sekä keston.

1.3.1 Auditorisen havainnon kehittymisestä

Viimeaikaisissa tutkimustuloksissa (esim. Wright & Zecker, 2004; McArthur & Bishop, 2004) on saatu tukea sille oletukselle, että kielellisistä häiriöistä kärsivien aivot kehittyisivät hitaammin kuin tavallisesti lukevien henkilöiden, ja tämä viivästynyt kehitys olisi puutteellisen auditorisen havaitsemisen taustalla. Wright & Zecker (2004) toteavat tutkimustulostensa pohjalta, että henkilöt, joilla on kielellisiä oppimisvaikeuksia, suoriutuvat heikosti auditorisen peiton tehtävissä, koska tutkijoiden mukaan tällaisten lasten kuulonvaraisen havaitsemisen kyvyn kehittyminen on viivästynyt lapsuudessa ja sitten pysähtynyt noin 10 vuoden iässä. Se murrosiän vaihe, joka vaikuttaa havaintokyvyn kehittymiseen, saavutettaisiin siis noin 10 vuoden iässä. Saattaa myös olla, että niille lapsille, joilla esiintyy kielellisen kehityksen viivästymää, kehittyisi enemmän tai vähemmän täydellisesti sellainen auditorisen havaitsemisen kyky, joka kontrolliryhmällä kehittyi ennen murrosikää, mutta hieman myöhemmin. Kielellisessä kehityksessään viivästyneet lapset eivät tutkijoiden mukaan kuitenkaan saavuta sellaista auditorisen havaitsemisen kykyä, joka tavallisesti kehittyneillä lapsilla kehittyi vielä murrosiän jälkeen.

Myös McArthur & Bishop (2004) esittävät tutkimustulostensa pohjalta, että erityisistä kielellisistä häiriöistä kärsivien lasten kuuloaivokuori ei olisi yhtä kypsänyt

kuin tavallisesti kehittyneillä lapsilla. Tutkijoiden mukaan tämä näkyy keskitasoa heikommassa taajuuden erottelukyvyyssä, jonka parhaan mahdollisen tason kielellisistä häiriöistä kärsivät saavuttaisivat vasta useita vuosia tavallisesti kehittyneitä lapsia myöhemmin. Behavioraalisia mittauksia selkeämmin tämä kehityksen viivästyminen havaittiin ERP- tutkimuksessa, jossa kielellisistä häiriöistä kärsivien lasten N1-, P2- ja N2- aivovasteiden reaktiona taajuuden erotteluun havaittiin olevan heidän ikätasoonsa nähden epänormaaleja (McArthur & Bishop, 2004). Myöhemmin myös puheäänien (vokaalien) prosessoinnissa havaittiin ongelmia erityisestä kielellisestä häiriöstä kärsivillä henkilöillä (aiemmin oli tarkasteltu vain ei-puheääniä) (McArthur & Bishop, 2005). Tutkijat olettivatkin, että kielihäiriöisten henkilöiden ikään nähden epänormaalit taajuudenerottelukynnykset ja N1-P2- ERP-vasteet ei-puheääniin olisivat yleistettävissä myös puheääniin ja vokaaleihin, koska vokaalien erottelu perustuu äänien taajuuksiin. Tämä tulos antoi puolestaan tukea sille oletukselle, että erityisen kielellisen häiriön taustalla olisi äänen taajuuden epänormaali prosessointi. McArthurin ja Bishopin (2004) mukaan kielellisistä häiriöistä kärsivät lapset eivät koskaan saavuta tavallisesti kehittyneiden ikätovereidensa tasoa auditorisessa prosessoinnissa, ja nimenomaan taajuuden erottelussa. Tämä voidaan selittää heidän mukaansa kielellisistä häiriöistä kärsivien lasten aivojen kehityksellisellä kypsymättömyydellä. Tällaisten lasten aivojen kehitys on tutkijoiden mukaan noin neljä vuotta jäljessä verrattuna tavallisesti kehittyneisiin lapsiin.

On myös havaittu, että ns. auditoriset peruskyyvyt – äänen voimakkuuden, taajuuden ja keston erottelu – kehittyvät eri aikataulussa (Jensen & Neff, 1993). Äänen voimakkuuden erottamisen (esim. kumpi tai mikä esitetyistä äänistä oli voimakkain) on havaittu jo 4- vuotiailla lapsilla olevan lähellä aikuisen tasoa. Toiseksi kehittynein taito 4- vuotiailla oli taajuuden erottelu ja kolmanneksi keston erottelutaito, joissa samaiset lapset eivät vielä 7- vuotiaana olleet saavuttaneet aikuisen tasoa (Jensen & Neff, 1993).

1.4 Puheen havaitseminen

Dysleksiassa esiintyvien fonologisen prosessoinnin ongelmien taustalla on esitetty olevan vaikeus puheen havaitsemisessa (joka taas olisi mahdollisesti seurausta auditorisen prosessoinnin ongelmasta) (Boets, ym., 2006). Fonologisen prosessoinnin

ohella puheen havaitsemisen on havaittu ennustavan lukutaitoa (McBride-Chang, 1995). Heikon fonologisen prosessoinnin taustalla dysleksiassa saattavat olla heikosti muodostuneet fonologiset representaatiot, jotka voidaan yhdistää ongelmiin puheen havaitsemisessa (Leppänen, 2009). Gerritsin ja Breen (2009) mukaan heikot fonologiset representaatiot dysleksian taustalla olisivat seurausta dyslektikoiden vähemmän johdonmukaisesta puheäänteiden kategorisoivasta eli luokittelevasta havainnoinnista. Kategorinen havaitseminen voidaan määritellä niin, että sen ollessa johdonmukaista samaan foneettiseen kategoriaan kuuluvia ”tarpeettomia” eroja ei havaita, kun taas foneemien rajat ylittävät, ”poikkeavat” akustiset erot johtavat erilaiseen foneemiseen havaintoon (esim. muutos ”pa”-sta ”ba”-han) (Gerrits & Bree, 2009; Boets, ym. 2006). Gerrits ja Bree (2009) havaitsivatkin tutkimuksessaan, että ne 3-vuotiaat lapset, joilla oli kehityksellinen dysleksian riski, eivät käsitelleet puheäänteitä kategorisella tavalla, vaan verrattuna kontrolliryhmään dysleksiariski- ja kielellisistä häiriöistä kärsivät lapset olivat herkempiä saman foneemisen kategorian sisällä sijaitsevien puheäänteiden merkityksettömille akustisille eroille, ja vähemmän herkkiä merkityksellisille akustisille eroille eri foneemisten kategorioiden välillä. Myös Mody Studdert- Kennedy ja Brady (1997) esittävät tutkimuksensa pohjalta, että puheen havaitsemisen ongelmat dysleksialapsilla ovat alun perin nimenomaan fonologisen prosessoinnin ongelmia. He toteavat, että dysleksialasten vaikeudet erotella esimerkiksi /ba/- ja /da/- tavut toisistaan johtuu vaikeudesta tunnistaa foneettisesti samankaltaisten puheäänten fonologisia kategorioita, eikä pulmista havaita puheäänten ajallista järjestystä tai prosessoida nopeita akustisia muutoksia puheäänteissä.

Boetsin, ym. (2006) tutkimuksessa puheen havaitseminen oli merkittävästi yhteydessä fonologiseen tietoisuuteen 5- vuotiailla lapsilla. Puheen havaitsemista mitattiin muun muassa tehtävällä, jossa lapselle esitettiin yksitavuisia sanoja, jotka hänen tuli toistaa samalla kun samaan korvaan esitettiin sanojen kuulemista ja toistamista häiritsevää puheääntä. Ne lapset, jotka menestyivät hyvin kyseisessä tehtävässä, olivat keskimäärin parempia myös fonologista prosessointia mittaavissa tehtävissä. Myös auditorisen prosessoinnin ja puheen havaitsemisen välillä havaittiin yhteys erityisesti, kun auditorista prosessointia mitattiin tehtävällä, jossa koehenkilön tuli erottaa kaksi

lyhyempää (440 millisekunnin mittaista) ääntä pidemmän (1620 millisekunnin mittaisen) äänen sisällä.

Kaikissa tutkimuksissa ei ole kuitenkaan löydetty puheen havaitsemisen pulmia dysleksian yhteydessä. Esimerkiksi Adlardin ja Hazanin (1998) tutkimuksen tarkoituksena oli juuri selvittää, suoriutuvatko sellaiset lapset, joilla esiintyy pulmia lukemisessa tavallisesti lukevia lapsia heikommin puheäänteiden erottelun tehtävässä, ja näin ei osoittautunut olevan. Tutkitut lapset olivat iältään 9-11- vuotiaita. Puheäänteiden erottelua mitattiin muun muassa kuuntelutehtävällä, jossa koehenkilön tuli erottaa eri konsonantit yksitavuisissa sanapareissa, kun sanoissa oli vain jokin pieni ero, esimerkiksi vain erilainen alkuääne. Toisessa tehtäväosiossa sanojen alussa oli aluksi kaksi peräkkäistä konsonanttia, joista toinen sitten poistettiin ja katsottiin, havaitseeko koehenkilö eron. Puheen havaitsemisen ongelmia havaittiin tutkimuksessa vain pienellä dysleksialasten alaryhmällä (30% koehenkilöistä) (Adlard & Hazan, 1998).

1.4.1 Äänten keston havaitsemisesta

Suomen kielessä puheäänten keston havaitseminen oikein on kielen oppimisen kannalta tärkeää (Leppänen, ym., 2002). Kyky erotella lyhyet ja pitkät konsonantit ja vokaalit on sanan merkityksen ymmärtämisen kannalta välttämätöntä: esimerkiksi sanan ”mato” kohdalla, jossa t-äänten kesto on lyhyt, tarkoittaa eri asiaa kuin sana ”matto” jossa esiintyy pitkä t-ääne. Suomalainen, jolla on lukivaikeus, tekee suhteellisen paljon kestovirheitä lukiessaan tai kirjoittaessaan tuntemattomia sanoja (Lyytinen, ym., 2004). On esitetty, että noin 47%:lla dyslektikoista olisi äänten keston erottelun vaikeutena ilmeneviä auditorisen prosessoinnin pulmia (Hämäläinen, ym., 2009).

Äänten keston havaitsemisen on havaittu olevan yhteydessä familiaalisen dysleksian riskin statukseen (Leppänen, ym., 2002). Leppänen, ym. (2002) tutkimuksessa niiden vauvojen, joilla oli familiaalinen dysleksian riski, aivojen ERP- vasteet esitettyihin standardeihin ja poikkeaviin (”ata”- tai ”atta”-) ärsykkeisiin erosivat vähemmän toisistaan vasemmassa aivopuoliskossa kuin kontrolliryhmän vauvoilla. Lisäksi riskilapsille äänten pitkäksi havaitseminen edellytti äänten pidempää kestoja. Vaihtelun reaktioissa äänten keston dysleksiariski- ja kontrollilapsilla on havaittu olevan yhteydessä myöhempään

eroihin lukemiseen liittyvissä kielellisissä taidoissa (Leppänen, ym., 2002; Guttorm, ym., 2005; Pihko, Leppänen, Eklund, Cheour, Guttorm & Lyytinen, 1999).

Dyslektikoilla on havaittu olevan vaikeuksia erotella keston perusteella myös ei-puheääniä (esim. Corbera, Escera & Artigas, 2006). Corbera, ym (2006) tutkivat ERP-tutkimuksessaan 10-13- vuotiaiden dysleksialasten aivojen MMN- vasteita reaktiona äänten keston, taajuuden ja foneemien muutoksiin. Äänen kestoon reagointia mitattaessa koehenkilöt kuulivat 1000 ääntä, joista 800 oli standardeja ja 200 kestoiltaan poikkeavia. MMN- vaste syntyi reaktiona taajuuden, keston ja foneettisten kontrastien muuntelulle sekä dyslektikoilla että tavallisesti lukevilla lapsilla, mutta MMN:n voimakkuuserot ilmenivät vain äänen keston muutoksia tarkasteltaessa. Dyslektikoilla MMN:n voimakkuus oli tavallisesti lukevia lapsia suurempi oikeanpuoleisissa ja keskellä olevissa elektrodeissa. Lisäksi heillä MMN:n latenssi oli viivästynyt. Tutkijoiden mukaan tulos antaa tukea oletukselle, jonka mukaan dysleksian taustalla olisi erityinen pulma alemman tason kuulotiedon erottelussa.

Pennalan, Eklundin, Hämäläisen, Richardsonin, Martinin, Leiwon, Leppäsen ja Lyytisen (2010) behavioraalissa tutkimuksessa äänten keston muutoksen havaitsemista tutkittiin 1., 2. ja 3. luokan lopussa. Tutkitut lapset ovat mukana LKK-tutkimuksessa (Lyytinen, ym., 2001; Lyytinen, ym., 2004). Osalla lapsista oli lukivaikeus sekä familiaalinen lukivaikeuden riski (N=35), osalla ei ollut lukivaikeutta riskistä huolimatta (N=69) ja osa oli kontrollilapsia (N= 80). Tutkimuksessa tarkasteltiin lasten kykyä erotella toisistaan ärsykeitä, joissa oli tuskin havaittava kestoero. Lapsille esitettiin 22 näennäis- ja epäsanaparia, joista 12 erosi toisistaan foneettiselta kestoiltaan ja loput 10 olivat keskenään samanlaisia. Tulokset osoittivat, että lukivaikeusryhmässä foneemin keston erottelukyky 1. luokalla oli merkitsevästi yhteydessä lukemisen tarkkuuteen 3. luokalla. Lisäksi foneemin keston erottelukyky 2. luokalla selitti merkitsevästi lapsen kirjoitustaidon tarkkuutta 2. ja 3. luokilla lukivaikeusryhmässä.

1.5 Tutkimuskysymykset

Pro gradu- tutkielmassani pyrin selvittämään, ovatko auditorisen prosessoinnin kyvyt yhteydessä puheen havaitsemisen taitoihin ja nämä edelleen fonologisiin taitoihin.

Lisäksi tarkastelen, ovatko dysleksiariskilasten auditorisen prosessoinnin kyvyt heikompia kuin tavallisesti kehittyvien lasten.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkittavat

Tämä tutkimus on osa ”Kuulotiedon käsittelyn kehittyminen ja lukihäiriö lapsuusiässä”- tutkimusprojektia. Kyseessä on pitkittäistutkimus, jonka tarkoituksena on saada selville perusäänten piirteiden, puheäänten piirteiden ja puheen osien hahmottamisen välisiä kehityksellisiä yhteyksiä lapsilla, joilla on familiaalinen dysleksian riski sekä tyypillisesti kehittyvillä lapsilla.

Tähän pro gradu- tutkimukseeni rekrytoitiin 4,01 - 6,7 - vuotiaita lapsia yhteensä 86 (iän keskiarvo 5,21 vuotta ja keskihajonta 0,59 vuotta). Heistä poikia oli 46 ja tyttöjä 40. Dysleksiariskilapsia (joiden sekä toisella vanhemmalla että jollain muulla lähisukulaisella oli dysleksia) oli 23, ja kontrolliryhmän lapsia 63. Perheiden osoitetiedot saatiin väestörekisterikeskuksesta. Infopaketti tutkimuksesta sekä lapsen, äidin ja isän taustatietolomakkeet lähetettiin 3000:n lapsen kotiin. Mukaan ilmoittautuneista lapsista 86 otettiin lopulta mukaan tutkimukseen.

2.2 Valintakriteerit

Poissulkukriteerinä tutkimukseen osallistumiselle määriteltiin muu kuin suomi äidinkielenä, koska tutkimus koskee nimenomaan suomen kielen puheen havaintoa. Lapsella ei myöskään saanut esiintyä kuulon heikkoutta tai kuulovammaa, kielen kehityksen viivästymää, dysfasiaa tai kielellistä erityishäiriötä, tarkkaavaisuushäiriötä (ADHD), epilepsiaa, neurologista sairautta tai pysyviä pään vammojen aiheuttamia ongelmia.

Tutkittavien lasten kuulo mitattiin audiometrillä tutkimuksen alussa. Tarkasteltavat taajuudet olivat testausjärjestyksessä 2000Hz, 1000Hz, 500Hz ja 250Hz. Kullakin taajuudella esitetty ääni oli aina aluksi voimakkuudeltaan 20dB, ja äänet esitettiin kaikilla taajuuksilla peräkkäin ensin vasempaan ja sitten oikeaan korvaan. Lapsi sai päähänsä kuulokkeet ja käteensä vastausnappulan. Hänen tehtävänä oli painaa

nappulaa aina kuullessaan äänen. Ensin soitettiin harjoitusääni 1000Hz ja 40dB:n voimakkuudella. Jos lapsi ei varsinaisten testausäänten kohdalla reagoinut 20dB ääneen, kuulokynnys testattiin lisäämällä äänen voimakkuutta 5dB kerrallaan kunnes lapsi reagoi. Sitten ääntä hiljennettiin 10dB ja voimakkuutta lisättiin taas 5dB kerrallaan kunnes lapsi reagoi kaksi kertaa peräkkäin tietyllä voimakkuudella. Tämä voimakkuus merkittiin lomakkeeseen. Audiometri- tehtävän tulosten perusteella kunkin lapsen kuulosta laskettiin keskiarvo yli testattujen taajuuksien. Jos summamuuttuja (eli keskiarvo) oli heikompi kuin 25dB, lapsella määriteltiin olevan yleistä kuulon alenemaa. Yksittäinen heikosti kuultu taajuus ei siis vielä riittänyt heikon kuulon määritelmään. Yhdelläkään koehenkilöistä keskiarvo ei alittanut 25dB eikä kuulon alenemaa siis todettu.

2.3 Tutkimuksessa käytetyt testit

Auditorisen prosessoinnin, puheen havaitsemisen ja fonologisen prosessoinnin taitoja mitattiin erilaisten behavioraalisten testien avulla. Nämä koostuivat ensisijaisesti erilaisista kynä-paperi- tehtävistä sekä tietokoneella tehtävistä tehtävistä. Muuttujat muodostettiin tutkimuksessa käytettyjen testien ja tehtävien pistemääristä.

Yleinen kognitiivinen kyvykkyys

Kuutiot (Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence, WPPSI). Tehtävässä lapsi rakensi kuutioista testajan rakentaman mallin tai mallikuvan mukaisen rakennelman. Tehtävällä arvioitiin lapsen avaruudellista hahmottamista ja abstraktia päättelyä. Tehtäväosioissa 1-10 käytettiin yksivärisiä kuutioita (punaisia tai punaisia ja valkoisia) ja osioissa 11-20 kaksivärisiä (punavalkoisia) kuutioita. 4-7- vuotiaiden lasten kanssa aloitettiin osiosta 6. Aikaraja osioissa 1-7 oli 30 sekuntia, osioissa 8-13 60 sekuntia ja osioissa 14-20 90 sekuntia. Osioissa 1-12 tehtävät näytettiin testajan tekeminä malleina. Lapsen eteen rakennettiin kuutioista käsikirjan mukainen mallikuvio, ja lapsi teki oman rakennelmansa uusista kuutioista. Osiossa 13 kuvio näytettiin ensin testajan rakentamana mallina ja sitten kuvana kuvasarjasta. Osioissa 14-20 kuviot näytettiin kuvina kuvasarjasta. Aikarajan ylittyessä lapsen suoritus keskeytettiin. Muuttujana käytettiin lapsen raakapistemäärän perusteella laskettua standardipistemäärää.

Sanavarasto (WPPSI). Tehtävässä lapselta kysyttiin yleisessä käytössä olevien sanojen merkitystä. Tehtävällä arvioitiin lapsen sanatietoutta ja kielellistä käsitteenmuodostusta. Lapselta kysyttiin esimerkiksi, että ”Mikä on kenkä?” tai ”Mitä tarkoittaa hiipiä?”. Lapsen selitys kirjattiin ylös. Selitettäviä sanoja oli yhteensä 33. Tehtävä keskeytettiin, jos lapsi ei osannut selittää neljää peräkkäistä sanaa. Muuttujana käytettiin standardipistemäärää.

Fonologiset taidot

Tavun ja äänteen tunnistus (Ekapeli). Tämä tehtävä on Ekapeli- tietokonepelin osatehtävä. Tehtävässä lapsen tuli tunnistaa, missä hänelle esitetyistä esineistä kuului jokin sana, tavu tai äänne. Tietokoneen näytöllä näkyi aina kerrallaan kolme erilaista kuviota, joista jokaisen nimet lapsi kuuli ensin kuulokkeista. Sitten kysyttiin esimerkiksi, että ”Missä sanoista kuului `jalka`?” (oikea vastaus oli jalkapallo), ja lapsen tuli osoittaa oikeaa kuviota. Tehtävä vaikeutui asteittain niin, että seuraavaksi tuli tunnistaa kuvista tavuja ja lopulta yksittäisiä äänneitä. Tehtäviä oli yhteensä 20. Muuttujana käytettiin oikeiden vastausten lukumäärää.

Kirjaintuntemus. Lapsen kirjaintuntemusta mitattiin esittämällä hänelle kirjainkortteja ja pyydettiin kertomaan kirjaimen nimi. Kaikki aakkosten kirjaimet käytiin läpi yksitellen. Muuttujana käytetään tässä oikeiden vastausten lukumäärää (maksimi 29).

Kielellinen muisti

Lauseiden toistaminen (NEPSY). Tehtävässä lapsi kuuli lauseita, jotka lapsen piti toistaa. Tehtävällä arvioitiin lapsen muistia ja kykyä painaa mieleen ja toistaa pitkiä ja monimutkaisia lauseita. Lauseet pidentyivät loppua kohden niin, että ensimmäinen ”lause” oli yksisanainen, kun taas viimeinen oli kymmenen sanan mittainen. Lauseita oli yhteensä 17. Tehtävä keskeytettiin, jos lapsi teki virheen tai virheitä neljässä peräkkäisessä lauseessa. Muuttujana käytettiin standardipistemäärää.

Kuulotiedon käsittely

Taajuuserottelu (Dino). Taajuuserottelua mitattiin pelimäisellä ”Dino”- tietokoneohjelmalla (Richardson 2004). Tietokoneen näytöllä näkyi kolme piirrettyä eriväristä dinosaurusta, jotka vuorollaan päästivät jonkun äänen. Keskimmäisen dinosauruksen (X) ääni oli aina standardi eli vakio, ja joko ensimmäisen (A) tai viimeisen (B) dinosauruksen päästämä ääni erosi standardiäänestä. Lapsen tehtävänä oli kuunnella äänet tarkasti ja osoittaa sitten sormella sitä dinosaurusta, jolla oli erilainen ääni kuin kahdella muulla. Tehtäviä oli yhteensä 40. Äänten taajuus vaihteli 250-280 Hz välillä ja äänet esitettiin 70 dB voimakkuudella. Poikkeava ääni oli aina taajuudeltaan korkeampi kuin kaksi muuta ääntä. Ärsykkeiden välinen aika (Inter-Stimulus- Interval, ISI) eli se aika, joka kului ennen kuin seuraava dinosaurus päästi äänen, oli 500 ms. Äänen nousuaika alussa ja laskuaika lopussa oli 15 ms. Dino- tehtävissä muuttujana käytettiin ”threshold”- arvoa eli sitä havaintokynnysarvoa, jonka kohdalla koehenkilö on pystynyt 75% varmuudella kuullut eron äänten välillä. Esimerkiksi taajuudenerottelu- tehtävässä arvoksi voi tulla esimerkiksi 10Hz, joka tarkoittaa, että 75% varmuudella koehenkilö erotti kaksi ääntä toisistaan, kun äänten välillä oli 10Hz ero.

Kestoerottelu (Dino). Äänen keston erottelua mittaava dinosaurus- tehtävä oli muuten samanlainen kuin taajuuserottelua mittaava, mutta tässä tehtävässä äänten taajuus oli aina 250 Hz ja kesto oli 186ms ja 336 ms välillä.

Puheäänten käsittely

Puheäänten keston erottelu, ”mi”-”mii” (Dino). Tässä Dino- tehtävässä kaksi dinosaurusta päästivät joko lyhyen ”mi”- äänen tai pitkän ”mii”- äänen, ja yksi puolestaan päinvastoin jommankumman edellä mainituista. Äänten kestot vaihtelivat 186- 336 ms välillä. Lapsen tehtävänä oli edelleen tunnistaa erilainen ääni.

Vokaalin erottelu, ”y”-”i” (Dino). Tässä Dino- tehtävässä kaksi dinosaurusta päästivät joko ”y”- tai ”i”- äänten, ja yksi taas päinvastoin jommankumman edellä mainituista. Lapsen tuli tunnistaa erilainen ääni.

Puheäänten keston tunnistus, "mi" vai "mii" (E-prime). Tässä tehtävässä tietokoneen näytöllä näkyi kaksi matoa, lyhyt ja pitkä. Lapselle kerrottiin, että lyhyen madon nimi on "mi" ja pitkän "mii", ja hänen tuli osoittaa sormellaan jompaakumpaa madoista aina sen mukaan, kummanko nimen hän kuuli. "Mi- mii"- versioita oli kaikkiaan seitsemän (7) eri pituista. E-prime- tehtävien pistemäärien pohjalta kullekin lapselle laskettiin kategoriakäyrän estimaatti eli kulmakerroin (level estimate) ja kategoriaraja (intercept estimate). Mitä jyrkempi kulmakertoimen arvo on, sitä paremmin lapsi on osannut laittaa ärsykkeet kahteen eri kategoriaan. Kategoriaraja puolestaan kertoo, missä kohden lapsi on 50% todennäköisyydellä vastannut jommankumman vaihtoehdon (lyhyt tai pitkä mato, tai kyyhkynen tai siili; ks. jäljempänä).

Vokaalin tunnistus, "y" vai "i" (E-prime). Tässä tehtävässä tietokoneen näytöllä näkyi siilin kuva ja kyyhkynen kuva. Lapsen tuli osoittaa sormellaan joko "Y-Kyyhkynen" kuvaa tai "I-Siilin" kuvaa sen mukaan, kummanko nimen hän kuuli. Tehtävässä lapsi kuuli kaikkiaan seitsemän (7) eri versiota "y- i"- jatkumolta.

Kätisyystesti

Esinelaatikko. Lapsen oikea- tai vasenkätisyyttä tutkittiin antamalla lapselle erilaisia tavaroita (lusikka, hammasharja, kynä, jne.) ja pyytämällä lasta näyttämään, kuinka hän käyttäisi kyseisiä tavaroita (esim. kuinka söisit lusikalla) Tutkija kirjasi ylös kuinka monesti lapsi käytti oikeaa tai vasenta kättä.

2.4 Analyysimenetelmät

Kaikki muuttujat eivät olleet riittävän normaalisesti jakautuneita. Muuttujamuunnokset tehtiin muuttujille "taajuudenerottelu- Dino" (logaritmi ja käännös), puheäänten keston (mi-mii) tunnistuksen kategoriakäyrän estimaatti (logaritmi ja käännös) ja kategoriaraja (logaritmi ja käännös) sekä vokaalin tunnistuksen (y vai i) kategoriakäyrän estimaatti (logaritmi ja käännös) ja kategoriaraja (neliöjuuri). Ryhmien suoritumista eri taitoja mittaavissa tehtävissä tarkasteltiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla (Univariate Analysis of Variance). Eri tehtäväryhmien välisten yhteyksien tarkasteluun käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tilastollisesti

merkitsevien tulosten raportointiin käytettiin alfa-tasoa 0,05 (melkein merkitsevä), 0,01 (merkitsevä) ja 0,001 (erittäin merkitsevä). Kaikki analyysit toteutettiin SPSS for Windows 17.0 –ohjelmalla.

3 TULOKSET

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin, ovatko auditorisen prosessoinnin kyvyt yhteydessä puheen havaitsemisen taitoihin ja nämä edelleen fonologisiin taitoihin dysleksian riskissä olevilla ja tavallisesti kehittyvillä lapsilla. Lisäksi halusimme selvittää, ovatko kehityksellisen dysleksian riskissä olevien lasten auditorisen prosessoinnin taidot heikompia kuin tavallisesti kehittyneiden lasten. Tutkittavat (N= 86) olivat iältään 4- 6-vuotiaita. Heistä 23:lla oli kehityksellinen dysleksian riski ja 63 oli kontrollilapsia. Lasten ikä kontrolloitiin kaikissa tehtävissä.

3.1 Älykkyyssmitat

Yksisuuntainen varianssianalyysi (ANOVA) osoitti älykkyyssmittana käytetyn WPPSI:n kuutiotehtävän erottelevan lapsiryhmiä lähes merkitsevästi ($F(1, 83) = 3,6305$, $p < 0,061$), joten tämä muuttuja kontrolloitiin kaikissa tarkasteluissa. Myös sanavarasto-tehtävä erotteli lapsiryhmiä ($F(3, 81) = 5,530$, $p < 0,022$). Sitä ei kuitenkaan kontrolloitu, koska sanavaraston kehittyminen saattaa olla yhteydessä lukivaikeuden kehittymiseen tai yleinen kielellinen heikkous olla yksi dysleksian taustalla olevista riskitekijöistä, ja tämänkaltainen vaihtelu oli analyyseissä kiinnostuksen kohteena.

3.2 Muuttujaryhmien väliset yhteydet (yli ryhmien)

3.2.1 Auditorinen prosessointi ja puheen havaitseminen

Muuttujien välistä yhteyttä mitattiin korrelaatioiden avulla. Auditorista prosessointia mittaavista muuttujista taajuus- Dino – tehtävä oli yhteydessä puheen havaitsemista mittaavaan puheäänten erottelun (y vai i) kategoriakäyrän estimaattiin eli kulmakertoimeen ($r = .325$, $p < 0,029$). Mitä parempi taajuudenerottelukyky lapsella siis oli, sitä paremmin hän osasi puheäänten erottelutehtävässä laittaa ”y”- ja ”i”- ärsykkeet kahteen eri kategoriaan. Lisäksi auditorista prosessointia mittaavan äänen kestonerottelu-

Dino – tehtävän ja puheen havaitsemista mittaavan puheäänteen kestonerottelu (mi vai mii) –Dino- tehtävän välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys ($r = .532$, $p < 0,000$). Äänteen kestonerottelu- Dino- tehtävä oli lisäksi yhteydessä puheäänteen erottelu (y vai i) Dino- tehtävään ($r = .328$, $p < 0,030$). Muita merkittäviä korrelaatioita ei kyseisistä muuttujaryhmistä löydetty.

3.2.2 Puheen havaitseminen ja fonologinen prosessointi

Myös puheen havaitsemisen havaittiin olevan yhteydessä fonologiseen prosessointiin siten, että puheäänteen erottelun (y vai i) kategoriakäyrän kulmakertoimen jyrkkyyden ja kirjaintuntemus- tehtävän tulokset olivat yhteydessä toisiinsa ($r = .337$, $p < 0,027$). Tämä oli ainoa merkittävä korrelaatio.

3.2.3 Kielellinen muisti

Lisäksi kielellistä muistia mittaava lauseiden toisto- tehtävä oli yhteydessä fonologista prosessointia mittaavaan Ekapeli- tehtävään ($r = .335$, $p < 0,019$) ja auditorista prosessointia mittaavaan äänen taajuuserottelu- Dino- tehtävään ($r = .308$, $p < 0,032$). Lauseiden toisto – tehtävä oli merkittävästi yhteydessä myös sanavarasto- tehtävään ($r = .409$, $p < 0,001$).

3.3 Ryhmäerot

Toisena tutkimuskysymyksenä oli, ovatko dysleksiariskilasten auditorisen prosessoinnin kyvyt heikompia kuin tavallisesti kehittyvien lasten. Tätä tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa riippuvana muuttujana oli kerrallaan kukin lasten kanssa tehty tehtävä ja riippumattomana muuttujana ryhmästatus (1 = kehityksellinen dysleksian riski, 2 = ei kehityksellistä dysleksian riskiä). Kuutiotehtävän standardipistemäärä ja lasten ikä olivat edelleen kontrolloituina.

Osoittautui, että ryhmät erosivat toisistaan fonologista prosessointia mittaavassa Ekapeli- tehtävässä ($F(3, 82) = 4,719$, $p < 0,034$) niin, että riskilapset saivat tehtävässä alhaisempia pistemääriä kuin kontrolliryhmään kuuluvat lapset. Myös kielellistä muistia mittaava lauseiden toisto- tehtävä ($F(3, 80) = 8,761$, $p < 0,005$) erotteli ryhmiä edellä mainitun suuntaisesti. Samankaltainen ryhmäero havaittiin myös puheen havaitsemista

mittaavan puheäänien keston (mi vai mii) kategoriarajan kulmakertoimen jyrkkyydessä ($F(3, 61) = 4,017, p < 0,049$). Vastoin oletuksia, auditorista prosessointia mittaavat tehtävät eivät erotelleet ryhmiä.

Taulukko 1. *Kontrollilasten ja dysleksiariskilasten keskiarvot (sulussa keskihajonnat) älykkyyksmittoina käytetyissä tehtävissä sekä kielellisen muistin, fonologisen prosessoinnin, kuulotiedon prosessoinnin ja puheen havaitsemisen tehtävissä.*

	Kontrollilapset (N = 63)	Dysleksiariskilapset (N = 23)	F- arvot
Ikä vuosina	5,14 (0,51)	5,42 (0,77)	
Sukupuoli (poikia/tyttöjä)	35/28	11/12	
Yleinen kognitiivinen kyvykkyys			
Kuutiot	8,59 (3,58) (n= 63)	6,70 (3,14) (n= 23)	F (1, 83) = 3,630 p < 0,06
Sanavarasto	9,77 (2,49) (n= 62)	8,17 (2,61) (n= 23)	F (1, 81) = 5,530 p < 0,022
Fonologinen prosessointi			
Kirjaintuntemus	17,05 (9,86) (n= 63)	15,61 (10,41) (n= 23)	F (1, 82) = 1,230 p < 0,272
Ekapeli	11,43 (2,92) (n= 63)	13,08 (4,40) (n= 23)	F (1, 82) = 4,719 p < 0,034
Lauseiden toisto	10,95 (2,89) (n= 63)	8,43 (3,75) (n= 21)	F (1, 80) = 8,761 p < 0,05
Auditorinen prosessointi			
Taajuudenerottelu- Dino	1,918 (0,58) (n= 58)	1,800 (0,55) (n= 22)	F (1, 75) = 0,35 p < 0,556
Kestonerottelu- Dino	1,407 (0,75)	1,076 (0,767)	F (1, 54)=

	(n= 44)	(n= 14)	0,915 P< 0,344
Puheen havaitseminen			
Puheäänten kestonerottelu (mi- mii)- Dino	2,631 (1, 088) (n= 34)	2,543 (1,470) (n= 8)	F (1, 37) = 0,14 p < 0,907
Puheääntenerottelu (y-i)- Dino	2, 104 (0,911) (n= 45)	2, 081 (0,676) (n= 11)	F (1, 51) = 0,003 p < 0,958
Puheäänten keston tunnistus (mi vai mii); kategoriakäyrän estimaatti	-1, 035 (1,028) (n= 36)	-1, 250 (0,862) (n= 7)	F (1, 57) = 1,927 p < 0,170
Puheäänten keston tunnistus (mi vai mii); kategoriaraja	2, 243 (0,197) (n= 42)	2, 207 (0,113) (n= 8)	F (1, 60) = 2,970 p < 0,89
Vokaalin tunnistus (y vai i); kategoriakäyrän estimaatti	2, 105 (0,325 (n= 43)	2, 092 (0,228) (n= 7)	F (1, 58) = 1,986 p < 0,164
Vokaalin tunnistus (y vai i); kategoriaraja	0, 853 (0,580) (n= 40)	0,868 (0,576) (n= 5)	F (1, 49) = 2,422 p < 0,126

4 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, ovatko auditorisen prosessoinnin taidot yhteydessä puheen havaitsemisen taitoihin ja nämä edelleen fonologisiin taitoihin kehityksellisen dysleksian riskissä olevilla ja tavallisesti kehittyvillä 4-6- vuotiailla lapsilla. Haluttiin myös selvittää, ovatko dysleksiariskilasten auditorisen prosessoinnin, puheen havaitsemisen ja fonologisen prosessoinnin taidot heikompia kuin tavallisesti kehittyneiden lasten vastaavat taidot. Ensimmäinen oletuksemme kuulotiedon prosessoinnin taitojen, puheen havaitsemisen taitojen ja fonologisen prosessoinnin taitojen välisistä yhteyksistä sai tukea. Sitä vastoin hypoteesiamme siitä, että auditorisen prosessoinnin eli tässä äänen keston ja taajuuden erottelun taidot olisivat heikompia kehityksellisen dysleksian riskissä olevilla lapsilla, eivät saamamme tulokset tukeneet. Fonologista prosessointia (tavun ja äänteen tunnistus, lauseiden toisto) ja puheen havaitsemista (puheäänteen keston tunnistus) mittaavissa tehtävissä ryhmäero puolestaan havaittiin.

4.1 Auditorinen prosessointi

Tutkimuksessani ei saatu tukea sille oletukselle, että kehityksellisen dysleksian riskissä olevien lasten auditorisen prosessoinnin taidot olisivat heikommät kuin sellaisten samanikäisten lasten, joilla familiaalista dysleksian riskiä ei ole. Tämä tulos saattaisi selittyä osittain muun muassa sillä aiempien tutkimusten löydöksellä, että jonkinlainen auditorisen prosessoinnin pulma olisi mahdollisesti havaittavissa vain pienellä dyslektikkojen alaryhmällä, noin kolmaosalla, (esim. Bishop, 2007; Hämäläinen, ym. 2009) tai että auditoriset pulmat dysleksiassa olisivat vain osa dysleksiasta, mutta eivät vaikuttaisi sen taustalla (Ramus, 2003). Hämäläisen, ym. (2009) katsauksen mukaan ristiriitaiset tulokset voivat selittyä osittain myös lukivaikeuden vaikeusasteella ja dysleksian heterogeenisyydellä. On kuitenkin huomattava, että tutkimuksessani tutkituilla lapsilla ei heidän nuoren ikänsä vuoksi yhdelläkään oltu tuossa vaiheessa diagnosoitu lukivaikeutta, eikä varmuudella voida sanoa, kuinka monella heistä se tullaan tulevaisuudessa mahdollisesti diagnosoimaan vai tullaanko kenelläkään. Aikaisempien tutkimusten mukaan noin 30-50% riskilapsista kehittyi myöhemmin lukihäiriö (Lyytinen,

Ronimus, Alanko, Poikkeus & Taanila, 2007; Maurer, Bucher, Brem, Benz, Kranz, Schulz, van der Mark, Steinhausen & Brandeis, 2009).

Eri-ikäisiä lapsia tutkittaessa tulee huomioida myös dysleksiaan mahdollisesti liittyvät aivojen kehityksen piirteet eri ikäkausina (Goswami, 2002). Saimme tutkimuksessamme tulokseksi, että auditorisen prosessoinnin kyvyt eli äänen taajuuden ja keston erottelukyky ei dysleksiariskilapsilla ollut heikompi kuin kontrollilapsilla. Tämä tuloksemme on kuitenkin ristiriitainen muun muassa sen McArthurin ja Bishopin (2004) sekä Wrightin ja Zeckerin (2004) tutkimusten pohjalta esitetyn väittämän kanssa, että varhain lapsen kehityksessä esiintyvä auditorinen pulma vaikuttaa todennäköisesti puheäänteiden representaatioiden muodostumiseen leikki-iässä, mutta auditorisen prosessoinnin pulmat vähenisivät myöhemmin kehityksen edetessä, n. 10- vuotiaana. Tällöin eroja tulisi ilmetä juuri 4-6- vuotiailla lapsilla, jonka ikäisiä tutkimamme lapset olivat. Edelleen on kuitenkin muistettava, että tutkimillamme lapsilla oli ainoastaan geneettinen dysleksian riski, ei vielä diagnosoitua dysleksiaa.

Myös Banain ja Ahissarin (2006) tutkimuksessa 13-14- vuotiaat dyslektikot, joilla lisäksi oli muita oppimisvaikeuksia, suoriutuivat lähes kontrollilasten tasoisesti yksinkertaisemmista auditorista prosessointia mittaavista tehtävistä, kuten taajuuden muutosten erottelusta. Näin tapahtui siis silloin, kun tehtävät edellyttivät vain yksinkertaista erottelua samanlaisten tai erilaisten äänten välillä. Kuitenkin jos tehtävässä piti tunnistaa esimerkiksi taajuuden muutoksen suunta tai järjestys, dyslektikot suoriutuivat huomattavasti kontrolleja heikommin.

Rosenin (2003) mukaan dyslektikoilla joissain tutkimuksissa havaittu auditorinen pulma ei todennäköisesti ole puheäänteiden havaitsemisen kannalta erityinen. Omassa tutkimuksessani auditorista prosessointia mitattiin tietokoneella tehdyillä ei- puheäänillä, jotka vaihtelivat toisessa tehtävässä taajuudeltaan ja toisessa kestoltaan. Auditorisessa prosessoinnin taidoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa dysleksiariskilasten ja kontrollilasten välillä. Rosen (2003) esittää, että auditorisen prosessoinnin pulmat ovat todennäköisesti yleisempiä dyslektikoilla sekä henkilöillä, joilla on erityinen kielellinen häiriö (SLI, Specific Language Impairment), mutta niitä ei esiinny kaikilla näihin ryhmiin kuuluvilla. Rosenin (2003) mukaan on monia dyslektikkoja, joilla näyttäisi olevan täysin tavallisesti kehittyneet auditorisen prosessoinnin taidot, ja toisaalta auditorisia pulmia

esiintyy henkilöillä, joilla on tavallisesti kehittyneet kielelliset taidot ja lukutaito. Auditorisen pulman vaikeusaste ei myöskään näyttäisi ennustavan kielellisten taitojen ja lukutaidon pulmien vakavuutta (Rosen 2003). Rosen (2003) esittääkin tarkastelunsa yhteenvedona, että auditoriset pulmat eivät olisi kausaalisesti yhteydessä kielellisiin häiriöihin vaan ainoastaan esiintyvät niiden yhteydessä.

4.1.2 Tutkimustilanteeseen liittyvät seikat

Eräs tärkeä huomioon otettava seikka on myös tutkittavien lasten motivaatio testausilanteessa. Tutkimuksessani auditorinen prosessointi oli operationalisoitu äänen a.) taajuuden ja b.) keston havaitsemiseksi. Näitä molempia tutkittiin Dino- tehtävällä, jossa lapsen tuli valita kolmesta tietokoneen näytöllä näkyvästä dinosauruksesta se, joka päästi erilaisen äänen kuin muut kaksi. Tuo erilainen ääni oli siis taajuustehtävässä taajuudeltaan korkeampi kuin kaksi muuta, tai kestonerottelutehtävässä kestoltaan lyhyempi kuin kaksi muuta (kaksi muuta ääntä olivat täysin samanlaisia keskenään). Lasten välillä oli suuria eroja siinä, kuinka hyvin he jaksoivat keskittyä äänen kuuntelemiseen ja oikean vastauksen pohtimiseen. Toiset lapset tekivät tehtävää hyvin tunnollisesti, miettien vastausta joskus pitkäänkin ja pyytäen saada kuulla äänet uudelleen, kun taas toiset osoittivat kutakin dinosaurusta vuoronperään selvästi väsyneenä ja kyllästyneenä tehtävän tekemiseen. Osa lapsista halusi myös keskeyttää tehtävän tekemisen tai kieltäytyi tekemästä kaikkia dinosaurus- tehtäviä (myös puheen havaitsemista mitattiin dinosaurus- tehtävillä). Tämänkaltainen vaihtelu motivaatiossa ja tarkkaavaisuudessa voi vaikuttaa hyvin nuorten lasten testaukseen ja tuloksiin vääristävästi. Joissakin tehtävissä erityisesti riskilasten N- määrä on melko alhainen: esimerkiksi puheäänten kestonerottelu- Dino- tehtävän teki vain kahdeksan riskilasta. Pieni N- määrä saattaa heikentää tulosten luotettavuutta ja vaikeuttaa johtopäätösten tekemistä tulosten pohjalta.

4.2 Fonologiset taidot

Tutkimuksessamme lapsiryhmät erosivat toisistaan fonologisia taitoja mittaavassa tavun ja äänten tunnistus- (Ekapeli) tehtävässä. Myös sanavarasto- tehtävässä havaittiin ryhmäero. Tulos olisi sen hypoteesin mukainen, että dysleksian taustalla olisivat heikosti

eriytyneet fonologiset representaatiot (mm. Elbro & Jensen, 2005; Lyon, ym., 2003; Ramus, ym., 2003). On myös huomioitava, että tutkimukseemme osallistuneiden lasten ikä vaihteli 4,01 ja 6, 71 vuoden välillä. Varmistaaksemme, ettei dysleksiariskiryhmän lapset olleet merkittävästi nuorempia kuin kontrollilapset ja sen vuoksi menestyneet Ekapeli- tehtävässä heikommin, teimme yksisuuntaisen varianssianalyysin iän ollessa riippuva muuttuja. Lasten ikä ei kuitenkaan selittänyt ryhmäeroa ($F(75) = 1,098$, $p < 0,473$). Tuloksemme tukevat Goswamin (2002) ajatusta siitä, että dysleksialapsilla äidinkielestä riippumatta voidaan ennen lukutaidon saavuttamista havaita fonologinen pulma tavujen tai alku- ja loppusointujen tasolla. Lukipulmia ilmenee, kun fonologinen perusta, jonka päälle lukutaito rakentuu, on puutteellinen tavujen ja alku- ja loppusointujen tasolla, mistä taas seuraa ongelmia kirjain-äänne- vastaavuuden ymmärtämisessä (Goswami, 2002).

Ryhmäero sanavarasto- tehtävässä on puolestaan vastoin esimerkiksi Goswamin (2003) koontiartikkelissaan esittämää näkemystä, jonka mukaan dysleksialapsilla, toisin kuin sellaisilla heikoilla lukijoilla, joilla on keskimääräistä alhaisempi älykkyysosamäärä, olisi laaja sanavarasto mutta heikompi fonologinen tietämys. Heikoilla lukijoilla, joilla ÄO on alhainen, asia on Goswamin (2003) mukaan juuri päinvastoin. Tämä saattaa liittyä siihen, että alhainen älykkyysosamäärä on usein yhteydessä heikompaan sosioekonomiseen asemaan ja kulkee suvuittain. Lapsen sanavaraston kehittymiseen taas vaikuttavat muun muassa lapsen saamat virikkeet (esim. Poikkeus, 2004), joita ei ehkä alhaisen sosioekonomisen statuksen omaavissa perheissä ole tarjolla niin paljon kuin niissä perheissä, joissa ei esiinny keskimääräistä alhaisempaa ÄO:a. Laakson (1999) tutkimuksen mukaan esimerkiksi vuorovaikutuksessa kirjanlukutilanteissa ei äiti- lapsi- pareilla ollut eroa riippumatta siitä, oliko äidillä diagnosoitu dysleksia tai oliko perheessä olemassa familiaalinen dysleksian riski.

Kirjainten tunnistaminen ei tutkimuksessamme erotellut lapsiryhmiä ($F(3, 82) = 1, 230$, $p < 0,272$). Aiemmissä tutkimuksissa heikko kirjainten nimeämisen ja tunnistamisen taito on todettu keskeiseksi dysleksiaa ennustavaksi tekijäksi (Elbro, 1998; Callagher, Frith & Snowling, 2000). Tutkimuksessaan Callagher, ym. (2000) totesivat, että kontrollilapset tunnistivat jo 45 kuukauden iässä enemmän kirjaimia kuin

familiaalisen dysleksiariskin omaavat lapset. Callagherin, ym. (2000) mukaan heikot kirjaintunnistustaidot saattaisivat lisäksi olla yhteydessä sanaston oppimisen pulmiin.

Kaiken kaikkiaan fonologia- tehtävät näyttivät erottelevan lapsiryhmiä melko hyvin ja siten niiden voidaan olettaa liittyvän dysleksian riskiin. Tämänkaltaisilla mittareilla kannattaa siis tämänikäisiä lapsia testata, mikäli haluaa eroja löytyvän. Auditoriset tehtävät eivät puolestaan kliinisessä mielessä näyttäisi tutkimuksemme perusteella olevan hyviä indikaattoreita riskistä ainakaan näin nuorilla lapsilla.

4.3 Puheen havaitseminen

Tutkimuksessamme ryhmäero havaittiin myös puheen havaitsemista mittaavassa puheäänteen keston erottelutehtävässä (mi vai mii). Myös mm. Gerrits ja Bree (2009) löysivät tutkimuksessaan puheen havaitsemisen taitojen olevan heikommat 3-4- vuotiaille dysleksiariskilapsilla kuin kontrollilapsilla. Riskilapset kategorisoivat erityisesti klusiileja (joita ovat p, t, k, b, d, g) vähemmän johdonmukaisesti kuin kontrollilapset. Myös Mody, ym. (1997) esittävät, että heikkojen lukijoiden pulma äänteiden erottelussa on erityinen puheen kannalta eikä sitä voida yhdistää yleiseen auditoriseen pulmaan. He halusivat selvittää, olivatko heikkojen 7- 9- vuotiaiden lukijoiden vaikeudet ”ba”- ja ”da”- tavujen erottelemisessa auditorisia alkuperältään. Kokeessa käytettiin ei- puheääniä (taajuusmuunneltuja siniääniä). Tutkijat esittivät, että jos heikkojen lukijoiden pulma olisi auditorinen eikä foneettinen, heidän suoriutumisessaan voitaisiin odottaa ärsykkeiden välisen ajan (ISI) vaikuttavan samalla tavalla ei-puheääni- tilanteessa kuin eroteltaessa ”ba”- ja ”da”- ärsykeitä ja siten suoriutuvan tässäkin heikommin kuin tavalliset lukijat. (Ensimmäisessä kokeessa heikkojen lukijoiden kyky arvioida ba- ja da- tavujen ajallista järjestystä oli selvästi tavallisesti lukevia samanikäisiä lapsia huonompi). Jos taas pulma olisi ominainen puheäänteille, ISI:llä ei tulisi olla vaikutusta eikä ryhmäeroja löytyä (Mody, ym., 1997). ISI:llä ei havaittu olevan vaikutusta testattaessa ärsykkeiden erottelua siniäänillä.

Myös Schulte-Körne, Deimel, Bartling ja Remschmidt (1998) esittävät tutkimuksensa pohjalta, että dysleksian taustalla lapsilla olisi nimenomaan puheen prosessoinnin vaikeus sensorisella tasolla. Heidän mukaansa puheen havaitseminen edeltäisi fonologisten representaatioiden muodostumista, ja dyslektikoilla nuo

representaatiot muodostuisivat ”vääränlaisiksi”. Studdert- Kennedy ja Mody (1995) puolestaan esittävät, että dyslektikoilla virheet tavu- ja ääniärsykkeiden ajallisen järjestyksen arvioinnissa heijastavat vaikeutta tunnistaa samanlaisia ja siten helposti keskenään sekoittuvia ärsykeitä nopeasti, eikä vaikeutta arvioida niiden ajallista järjestystä, kuten Tallal (1980) esitti. Heidän mukaansa pulma nopeassa tavujen tai äänteiden tunnistamisessa johtuisi ongelmista erottaa puhe- ja ei- puheäänteitä, eikä pulmallisesta auditorisesta havaitsemisesta. Studdert- Kennedy ja Mody siis väittävät, ettei lukihäiriöisten henkilöiden fonologinen pulma ole jäljitettävissä mihinkään sen kanssa yhdessä esiintyvään ei- puheääniin liittyviin ongelmiin ja on siten alkuperältään foneettinen. Ongelman luonne, alkuperä ja laajuus ovat kuitenkin vielä selvittämättä (Studdert- Kennedy & Mody, 1995). Studdert- Kennedy ja Mody (1995) kritisoiivat Tallalin ajatusta siitä, että dysleksialapsilla ärsykkeiden ajallisen havaitsemisen vaikeus juontaisi juurensa jostakin alemman tason pulmasta havaitsemisessa. Heidän mukaansa hidastunut havaitsemisen nopeus, joka ilmenee tehtyinä virheinä ”Temporal Order Judgement”- tehtävässä (eli ärsykkeiden ajallisen järjestyksen arvioinnin tehtävässä) kun ärsykkeiden välinen aika (Inter-stimulus-intervals, ISIs) on lyhyt, ei ole lapsen vaikeuksien syy, vaan seurausta heikosta foneemien erottelukyvystä tuolla tietyllä äänneulottuvuudella. Studdert- Kennedyn ja Modyn (1995) mukaan ei ole olemassa minkäänlaista kokeellista todistusaineistoa sille, että dyslektikoilla olisi puutteita nimenomaan auditorisessa havaitsemisessa.

Myös Mody, Studdert-Kennedy ja Brady (1997) päättelivät tutkimustulostensa pohjalta, etteivät heikkojen lukijoiden vaikeudet arvioida ”ba”- ja ”da”- ärsykkeiden ajallista järjestystä TOJ- tehtävässä heijasta mitään yleistä ongelmaa ajallisen järjestyksen arvioinnissa. He havaitsivat tutkimuksessaan, että heikot lukijat arvioivat ajallisen järjestyksen tarkasti myös silloin, kun ärsykkeet esitettiin nopeasti, jos he pystyivät tunnistamaan järjestykseen asetettavat tavut. Tämän perusteella tutkijat päättelivät pulman ”ba”- ja ”da”- tavujen erottelussa olevan fonologinen (Mody, ym. 1997). Tutkitut koehenkilöt olivat iältään 7-9- vuotiaita. Näin myös Modyn, ym. (1997) tutkimustulos oli vastoin Tallalin (1980) hypoteesia siitä, että dyslektikoilla olisi vaikeuksia prosessoida sellaisia auditorisia vihjeitä, jotka ovat luonteeltaan ajallisia eli esimerkiksi nopeasti muuttuvia. Tämä puolestaan johtaisi pulmiin puheen nopeiden

akustisten muutosten tarkassa havaitsemisessa, mistä seuraisi heikkojen lukijoiden pulmat foneemien segmentoinnissa ja rekoodauksessa (Tallal, 1980).

Vandermostenin, ym. (2010) tutkimuksessa verrattiin aikuisten dyslektikkojen ja tavallisesti lukevien henkilöiden suoriutumista sekä ajallista erottelua että puheäänteiden erottelua vaativissa tehtävissä (Vandermosten, Boets, Luts, Poelmans, Golestani, Wouters, & Ghesquiere, 2010). Tutkimuksessaan he käyttivät neljänlaisia ärsykeitä: 1.) ba- da- kontrastia, jossa b:n ja d:n välinen ero johtuu hyvin lyhyestä ajassa muuttuvasta taajuuserosta eli ns. formantin transitiosta, 2.) u- y- kontrastia, jossa vokaalien ero perustuu tavalliseen taajuuseroon eli ei tarvitse havaita muutosta ajassa, 3. ja 4. kohdissa käytettiin samoja ärsykeitä kuin 1. ja 2. kohdissa mutta niiden taajuussisältö oli käännetty ympäri. Tämä tarkoittaa sitä, että alimpien taajuuksien voimakkuudet ja aikakäyttäytyminen tapahtuikin nyt ylemmillä taajuuksilla ja päinvastoin. Lisäksi tämä johtaa siihen, että taajuuskaistojen väliset suhteet muuttuvat, jolloin ärsykkeet eivät kuulosta enää puheelta, mutta niissä on täsmälleen yhtä paljon erilaisia taajuuksia ja niissä tapahtuu samat muutokset ajassa. Dysleksiaryhmällä havaittiin epätarkkaa äänten kategorisointia sekä puhe- että ei- puheäänitilanteissa niissä äänissä, jotka erotellaan ajallisten vihjeiden perusteella. Puheäänten erottelua vaativissa tehtävissä ei havaittu eroa dysleksia- ja kontrolliryhmien välillä. Tutkijoiden mukaan tulokset tukevat oletusta, jonka mukaan dyslektikoilla olisi ajallisten vihjeiden prosessoinnin pulma auditorisessa havaitsemisessa, joka ei ole puheäänteiden kannalta erityinen.

Vandermostenin tutkimuksessa käytettiin samaa ärsykettä puheena ja ei- puheena, tai tarkemmin puheen taajuuksien suhteen käännettyä ärsykettä ei- puheena. Tämän vuoksi ne muistuttavat hyvin paljon toisiaan. Meidän tutkimuksessamme puolestaan puhetta verrattiin siniääniin, joissa on vain yksi taajuus. Ehkä tämän vuoksi emme havainneet auditorisessa prosessoinnissa eli taajuuden tai keston eron havaitsemisessa eroa.

4.4 Auditorisen prosessoinnin taitojen, puheen havaitsemisen taitojen ja fonologisten taitojen väliset yhteydet

Tutkimuksessamme äänen keston eron havaitseminen (auditorisen prosessoinnin taito) oli yhteydessä puheen havaitsemiseen äänten keston (mi vai mii) havaitsemista

mittaavien tehtävien osalta (puheen havaitseminen). Kumpikaan kesto- tehtävistä ei kuitenkaan ollut yhteydessä mihinkään fonologista prosessointia mittaavaan muuttujaan. Myös Boets ym. (2007) osoittivat tutkimuksessaan auditorisen prosessoinnin olevan yhteydessä puheen havaitsemiseen, joka taas oli yhteydessä fonologiseen prosessointiin. Heidän tutkimuksessaan auditorisen prosessoinnin mittareista tehtävä, jossa tutkittavien tuli tunnistaa jatkuvasta äänisignaalista kaksi poikkeavaa ääntä (tone-in-noise perception task) oli yhteydessä puheen havaitsemista mittaavaan tehtävään, jossa tutkittavalle esitettiin yksitavuisia sanoja samalla, kun hän samaan korvaan kuuli jatkuvaa puheääntä (speech-in-noise perception task). Tutkittavan tehtävänä oli toistaa kuullut sanat niin tarkkaan kuin mahdollista. Tämä ”speech-in-noise”- tehtävä oli lisäksi merkittävästi yhteydessä fonologista tietoisuutta mittaavaan tehtävään, jolloin siis parempi sanojen havaitseminen ”melussa” oli yhteydessä parempaan fonologiseen prosessointiin. Fonologista prosessointia mitattiin alku- ja loppuäänteen tunnistamistehtävillä sekä riittävytehtävällä. Tulos osoittaa Boetsin ym. (2007; 2008) mukaan, että dyslektikoilla pulma sensorisella tasolla edeltää lukemisen pulmaa ja on siihen merkittävästi yhteydessä.

Muitakin tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä löysimme, mutta ne eivät olleet varsinaisesti kiinnostuksen kohteena, sillä näissä tehtävissä ei mitattu varsinaisesti samaa äänen tai äänteen piirrettä (esimerkiksi auditorisen prosessoinnin taidoista taajuus ja puheen havaitsemisen taidoista äänteen [y-i] erottelu olisivat mitanneet samaa äänen piirrettä).

4.5 Lukutaidon oppiminen eri kielissä

Kielet eroavat toisistaan grafeemi-foneemi- säännönmukaisuuden suhteen, ja lukemaan oppimisen on havaittu olevan nopeampaa niissä kielissä, joissa grafeemien ja foneemien välinen säännönmukaisuus on suuri, eli kutakin grafeemia vastaa aina tietty sama äänne ja kutakin foneemia tietty grafeemi (Ziegler & Goswami, 2005; Aro, 2008). Vastaavasti lukemisen ja kirjoittamisen pulmat ovat yleisempiä niillä lapsilla, joiden äidinkieli on kirjain-äänne- vastaavuudeltaan epäsäännönmukainen (kuten esim. englanti) (Goswami, 2002), kun taas esimerkiksi kirjain-äänne- vastaavuudeltaan hyvin säännönmukaisessa suomen kielessä luki-vaikeudet ovat laadullisesti erilaisia verrattuna

englannin kieleen, ja suurin osa suomalaislapsista oppii lukemaan hyvin nopeasti koulun alettua (Lyytinen, ym., 2004).

Tutkimuslähteitä- ja artikkeleita luettaessa onkin huomioitava, että suuressa osassa tutkimuksia tutkittujen lasten tai aikuisten äidinkieli on ollut englanti, ja tulokset eivät siten ole suoraan yleistettävissä esimerkiksi tämän tutkimuksen suomenkielisiin tutkittaviin. Tietoisuus foneemeista ja foneemi- grafeemi- koodaus eivät Goswamin (2002) mukaan kehity yhtä tehokkaasti lapsilla, jotka opettelevat äidinkielenään lukemaan kieltä, jonka ortografia on epäjohdonmukainen (kuten englanti) kuin lapsilla, joilla se on johdonmukainen (kuten suomi). Kirjain-äänne- vastaavuudeltaan epäjohdonmukaista kieltä lukemaan opettelevilla lapsilla näyttäisi olevan pulmia sekä lukemisen nopeudessa että tarkkuudessa fonologista tietoisuutta ja lukutaitoa mittaavissa tehtävissä verrattuna samanikäisiin lapsiin, jotka opettelevat lukemaan kirjain-äänne- vastaavuudeltaan johdonmukaista kieltä (Goswami, 2002).

4.6 Yhteenvetoa

Tutkimuksessani lapsiryhmät eivät siis eronneet auditorista prosessointia mittaavissa taajuuden ja keston havaitsemisessa. Tähän saattaa olla syynä esimerkiksi mahdollisesti joillekin riskiryhmän lapsille myöhemmin kehittyvän dysleksian heterogeenisuus. Fonologisen prosessoinnin tehtävissä ryhmäero puolestaan löytyi. Tutkimukseni tukee näin ollen hypoteesia, jonka mukaan dysleksiaa edeltäisi ja sen kanssa yhdessä esiintyisivät heikot fonologiset, esimerkiksi tavujen, äänteiden ja loppusointujen tunnistamisen taidot. Auditorisen prosessoinnin taitoja tulisi 4-7-vuotiailla lapsilla tutkia enemmän, jotta saataisiin lisäinformaatiota siitä, liittyvätkö heikommat taajuuden ja keston erottelun taidot yleensä dysleksiaan tuon ikäisillä lapsilla, sekä missä ikävaiheessa mahdollisesti ilmenevät heikommat taajuuden ja keston erottelun taidot voidaan joidenkin yksilöiden kohdalla yhdistää myöhemmin alkavaan dysleksiaan.

LÄHTEET

- Adlard, A. & Hazan, V. (1998). Speech perception in children with specific reading difficulties (dyslexia). *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 51, 153- 177.
- Ahvenainen, O. & Holopainen, E. (2005). Lukemis- ja kirjoittamisvaikeudet. Teoreettista taustaa ja opetuksen perusteita. Jyväskylä: Kirjapaino Oma Oy.
- Aro, M. (2008). Lukemis- ja kirjoittamisvaikeudet kouluikässä. Teoksessa Routarinne, S. & Uusi-Hallila, T. (toim). Nuoret kielikuvassa: Kouluikäisten kieli 2000-luvulla, 242- 260. WS Bookwell Oy. Juva.
- Banai, K. & Ahissar, M. (2006). Auditory processing deficits in dyslexia: Task or stimulus related? *Cerebral Cortex*, 16, 1718 -1728.
- Barry, J. G., Yasin, I. & Bishop, D. V. M. (2007). Heritable risk factors associated with language impairments. *Genes, Brain and Behavior*, 6, 66 – 76.
- Bishop, D. V. M. (2007). Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: Where are we, and where should we be going? *Psychological Bulletin*, Vol. 133, No. 4, 651 – 672.
- Boets, B., Chesquiere, P., van Wieringen, A. & Wouters, J. (2007). Speech perception in preschoolers at family risk for dyslexia: Relations with low-level auditory processing and phonological ability. *Brain and Language*, 101, 19- 30.
- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A. & Ghesquiere, P. (2007). Auditory processing, speech perception and phonological ability in pre- school children at high-risk for dyslexia: A longitudinal study of the auditory temporal processing theory. *Neuropsychologia*, 45, 1608- 1620.
- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., De Smedt, B. & Chesquiere, P. (2008). Modelling relations between sensory processing, speech perception, orthographic and phonological ability, and literacy achievement. *Brain and Language*, 2008 (in press).
- Corbera, S., Escera, C. & Artigas, J. (2006). Impaired duration mismatch negativity in developmental dyslexia. *Neuroreport*, 17, 1051- 1055.
- Elbro, C. & Jensen, M. N. (2005). Quality of phonological representations, verbal learning and phoneme awareness in dyslexic and normal readers. *Scandinavian Journal of Psychology*, 46, 375- 384.

- Gerrits, E., & de Bree, E. (2009). Early language development of children at familial risk of dyslexia: Speech perception and production. *Journal of Communication Disorders*, 42, 180- 194.
- Goswami, U. (2002). Phonology, reading development and dyslexia: A cross-linguistic perspective. Keynote address.
- Goswami, U., Thomson, J., Richardson, U., Stainthorp, R., Hughes, D., Rosen, S., & Scott, S. K. (2002). Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 10911- 10916.
- Goswami, U. (2003). Why theories about developmental dyslexia require developmental designs. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 534-540.
- Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Richardson, U., & Lyytinen, H. (2001). Event-related potentials and consonant differentiation in newborns with familial risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 534- 544.
- Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A-M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen, H. (2005). Brain event- related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 41, 291- 303.
- Hoefl, F., Hernandez, A., McMillon, G., Taylor-Hill, H., Martindale, J., Meyler, A., Keller, T. A., Siok, W. T., Deutsch, G. K., Just, M. A., Withfield- Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. E. (2006). Neural basis of dyslexia: A comparison between dyslexic and nondyslexic children equated for reading ability. *The Journal of Neuroscience*, 26 (42), 10700- 10708.
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T. & Lyytinen, H. (2008). Kuulotiedon käsittelyn pulmat lukihäiriön yhteydessä – katsaus teorioihin. *NMI- Bulletin*, 18, 2.
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Guttorm, T. K., & Lyytinen, H. (2008). Event-related potentials to pitch and rise time change in children with reading disabilities and typically reading children. *Clinical Neuropsychology*, 119, 100- 115.
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K. & Leppänen, P. H. T. (2009). Basic auditory processing deficits in dyslexia – Review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities*.
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Eklund, K., Thomson, J., Richardson, U., Guttorm, T., Witton, C., Poikkeus, A-M., Goswami, U. & Lyytinen, H. (2009). Common variance in amplitude envelope perception tasks and their impact on

phoneme duration perception and reading and spelling in Finnish children with reading disabilities. *Applied Psycholinguistics*, 30, 511- 530.

- Jensen, J. K. & Neff, D. L. (1993). Development of basic auditory discrimination in pre-school children. *Psychological Science*, 4 (2), 104 – 107.
- Johnson, E. P., Pennington, B. F., Lee, N. R., & Boada, R. (2009). Directional effects between rapid auditory processing and phonological awareness in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50:8, 902- 910.
- Korhonen, T. (2005). Lukemis- ja kirjoittamisvaikeudet. Teoksessa Lyytinen, H., Ahonen, T., Korhonen, T., Korkman, M., & Riita, T. Oppimisvaikeudet: Neuropsykologinen näkökulma, 127- 190. Werner Söderström Osakeyhtiö. Helsinki.
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Beliz, S., Turkkila, P. Tervaniemi, M., Näätänen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading- impaired children. *PNAS*, vol. 98, No. 18, 10509- 10524.
- Laakso, M- L., Poikkeus, A-M. & Lyytinen, P. (1999). Shared reading interactions in families with and without genetic risk for dyslexia: Implications for toddler's language development. *Infant and Child Development*, 8, 179 – 195.
- Leppänen, P. (2009). Lukihäiriön varhaisimpia ennusmerkkejä etsimässä. *NMI Bulletin*, 9, 4- 14.
- Leppänen, P., Pihko, E., Eklund, K. & Lyytinen, H. (1999). Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group Effects. *Neuroreport*, 10 (5).
- Leppänen, P. H. T., Richardson, U., Pihko, E., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., & Aro, M. (2002). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 22, 407- 422.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1- 24.
- Lyytinen, H., Ahonen, T., Eklund, K., Guttorm, T., Laakso, M-L., Leinonen, S., Leppänen, P. H. T., Lyytinen, P., Poikkeus, A-m., Puolakanaho, A., Richardson, U. & Viholainen, H. (2001). Developmental pathways of children with and without familial risk for dyslexia during the first years of life. *Developmental Neuropsychology*, 20 (2), 535 – 554.

- Lyytinen, H., Aro, M., Eklund, K., Erskine, J., Guttorm, T., Laakso, M-L., Leppänen, P. H. T., Lyytinen, P., Poikkeus, A-M., Richardson, U. & Torppa, M. (2004). The development of children at familial risk for dyslexia: birth to early school age. *Annals of Dyslexia*, Vol. 54, No. 2.
- Lyytinen, P., Eklund, K. & Lyytinen, H. (2005). Language development and literacy skills in late- talking toddlers with and without familial risk for dyslexia. *Annals of Dyslexia*, Vol. 55, Nro. 2.
- Lyytinen, H., Ronimus, M., Alanko A. & Taanila, M. (2007). Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition. *Nordic Psychology*, 59 (2), 109- 126.
- Marshall, C., Snowling, M. & Bailey, P. (2001). Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with dyslexia. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44, 925 – 940.
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., Benz, R., Kranz, F., Schulz, E., van der Mark, S., Steinhausen, H-C. & Brandeis, D. (2009). Neurophysiology in preschool improves behavioral prediction of reading ability throughout primary school. *Biological Psychiatry*, 66, 341 – 348.
- McArthur, G. M. & Bishop, D. V. M. (2004). Which people with specific language impairment have auditory processing deficits? *Cognitive Neuropsychology*, 21, 79- 94.
- McArthur, G. M. & Bishop, D. V. M. (2005). Speech and non-speech processing in people with specific language impairment: A Behavioural And Electrophysiological Study. *Brain and Language*, 94, 260 – 273.
- McBride-Chang, C. (1995). Phonological processing, speech perception and reading disability: Integrative review. *Educational Psychologist*, 30, 109-121.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *Journal of experimental child psychology* 64, 199-231.
- Pennala, R., Eklund, K., Hämäläinen, J., Richardson, U., Martin, M., Leiwo, M., Leppänen, P. H. T. & Lyytinen, H. (2010). Perception of phonemic length and its relation to reading and spelling skills in children with family risk for dyslexia in the first three grades of school. (in press)
- Pennington, B. F. (1995). Genetics of learning disabilities. *Journal of Child Neurology*, Vol. 10 (suppl. 1), 69 – 77.

- Pihko, E., Leppänen, P. H. T., Eklund, K., Cheour, M., Guttorm, T. K. & Lyytinen, H. (1999). Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: Age effects. *Neuroreport*, 10, 901- 905.
- Puolakanaho, A., Ahonen, T., Poikkeus, A-M., Tolvanen, A. & Lyytinen, H. (2004). Emerging phonological awareness differentiates children with and without familial risk for dyslexia after controlling for general language skills. *Annals of Dyslexia*, Vol. 54, 2, 221 – 243.
- Puolakanaho, A., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A-M., Tolvanen, A., Torppa, M. & Lyytinen, H. (2007). Very early phonological skills: estimating individual risk for reading disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48 (9), 923- 931.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212- 218.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights of a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841- 865.
- Richardson, U., Thomson, J. M., Scott, S. K. & Goswami, U. (2004). Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia*, 10, 215 – 233.
- Rosen, S. (2003). Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics*, 31, 509 – 527.
- Schulte- Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., & Remschmidt, H. (1998a). Auditory processing and dyslexia: Evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport*, 9, 337- 340.
- Smith, S., Scott, K. A., Roberts, J. & Locke, J. L. (2008). Disabled readers' performance on tasks of phonological processing, rapid naming, and letter knowledge before and after kindergarten. *Learning Disabilities Research and Practice*, 23 (3), 113 – 124.
- Studdert- Kennedy, M. & Mody, M. (1995). Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired: A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2 (4), 508 – 514.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182- 198.

- Torgesen, J. K. & Burgess, S. R. (1998). Consistency of reading-related phonological processes throughout early childhood: Evidence of longitudinal- correlational and instructional studies. Teoksessa Metsälä, J.L. & Ehri, L.C. (toim.) Word recognition in beginning literacy, s. 161 – 188. Mahwah Nj: Lawrence Erlbaum Associates.
- Torppa, M., Poikkeus, A-M., Laakso, M-L., Tolvanen, A., Leskinen, E., Leppänen, P. H. T., Puolakanaho, A. & Lyytinen, H. (2007). Modeling the early paths of phonological awareness and factors supporting its development in children with and without familial risk of dyslexia. *Scientific Studies of Reading*, 11 (2), 73 – 103.
- Törmänen, M. R. K. & Takala, M. (2009). Auditory processing in developmental dyslexia: An exploratory study of an auditory and visual matching training program with swedish children with developmental dyslexia. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50, 277 – 285.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia) : What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2- 40.
- Wagner, R. K. & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192- 212.
- White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U., & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: A multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science*, 9, 237- 255.
- Wright, B. A. & Zecker, S. G. (2004). Learning problems, delayed development and puberty. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 9942- 9946.
- Ziegler, J. C. & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, Vol. 131, No. 1, 3 – 29.