

**AUDITIIVISEN PROSESSOINNIN TAIDOT JA NIIDEN
YKSILÖLLISYYS KÄYTTÄYTYMIS- JA
JÄNNITEVASTETASOLLA KIELELLISESSÄ
ERITYISVAIKEUDESSA**

Kalle Metsovuori
Pro gradu -tutkielma
Psykologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Marraskuu 2014

**Pro gradu -tutkielman
ohjaaja**

Paavo Leppänen, PsT
Psykologian professori,
Psykologian laitos,
Jyväskylän yliopisto

**Pro gradu -tutkielman
toinen ohjaaja**

Jarmo Hämäläinen, FT
Tutkijatohtori,
Psykologian laitos,
Jyväskylän yliopisto

Tutkimusprojekti

Oulu-Jyväskylä SLI-projekti

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

METSOVUORI, KALLE: Auditiivisen prosessoinnin taidot ja niiden yksilöllisyys käyttäytymis- ja jännitevastetasolla kielellisessä erityisvaikeudessa

Pro gradu -tutkielma, 50 s.

Ohjaaja: Paavo Leppänen

Aineiston keruu: Leena Ervast

Psykologia

Marraskuu 2014

Tässä Pro gradu –tutkielmassa tarkastellaan 4–7-vuotiaiden kielellisen erityisvaikeuden diagnoosin saaneiden lasten ja heidän tyyppillisesti kehittyneiden ikätovereidensa auditiivisen prosessoinnin taitoja. Tutkielman tavoitteena on yhdistää tietoa käyttäytymis- ja jännitevastetaso muuttujista. Lisäksi tarkastellaan koehenkilöiden yksilöllisiä profiileja auditiivisen prosessoinnin taidoissa.

Tutkielma on osa Oulun yliopiston, Oulun yliopistollisen sairaalan neurokognitiivisen yksikön ja Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen vuosina 2005-2010 toteutettua yhteistyöprojektia, jossa tutkittiin kielihäiriöisten lasten kuullun prosessointia ja sen kuntoutuvuutta. Tässä työssä analysoidaan ensimmäisessä mittausvaiheessa käyttäytymistesteillä ja elektroenkefalografialla (EEG) kerättyä dataa. Tutkimukseen osallistui 12 5–6-vuotiaista kontrollilasta ja 24 4–7-vuotiaista kielellisen erityisvaikeuden (SLI) diagnoosin saanutta lasta. Analyysissä selvitettiin SLI- ja kontrollilasten suoriutumista auditiivisen prosessoinnin taitoja mittaavissa testeissä sekä passiivisessa oddball-paradigmassa kuultujen epäsanojen synnyttämiä jännitevasteita. Lisäksi näiden kahden tason välille etsittiin yhteyksiä korrelaatioilla ja ryhmäkeskiarvovertailuilla. Lopuksi suoritettiin yksilöllisiä tarkasteluja muuttujilla, joissa havaittiin merkitseviä yhteyksiä.

SLI-lasten heikko epäsanojen toistaminen havaittiin aineistossa johdonmukaisesti kaikilla analyysin tasoilla ja sillä oli myös yhteys MMN-vasteeseen eli muutoksen prosessointiin. Samoin fonologisessa prosessoinnissa löydettiin SLI-lasten kontrolleja heikompi suoriutuminen osassa tehtäviä ja tällä heikkoudella oli yhteys P1-vasteeseen. Epäsanojen toistamisen tapaan kielellistä työmuistia mittaavassa numerosarjojen muistamisessa löydettiin SLI-lasten kontrolleja heikompi suoriutuminen, mutta ei yhteyttä jännitevastemuuttujiin. Auditiivisen erottelun taidoissa löydettiin SLI-lasten kontrolleja heikompi puheen keston erottelu ja sillä oli myös viitteellinen yhteys muutoksen prosessointiin jännitevastetasolla. Koehenkilöiden yksilöllinen tarkastelu kuitenkin osoitti, että ryhmäkeskiarvot kätkevät sisälleen paljon vaihtelua ja parhaiten SLI-lapset ja kontrollit erotteleva taito on epäsanojen toistaminen.

Tutkielma tuo uutta tietoa alle kouluikäisten, suomenkielisten lasten kielellisestä erityisvaikeudesta. Se vahvistaa näkemystä SLI-lasten heikosta epäsanojen toistamisesta ja liittää sen jännitevastetasolla muutoksen prosessointiin.

Avainsanat: kielellinen erityisvaikeus, auditiivinen prosessointi, elektroenkefalografia, tapahtumasidonnaiset jännitevasteet, epäsanojen toistaminen, mismatch negatiivisuus

SISÄLTÖ

1	Johdanto	3
1.1	Kielellinen erityisvaikeus	3
1.2	Kielihäiriöiden tutkiminen elektroenkefalografialla	4
1.3	Auditiivinen prosessointi kielellisessä erityisvaikeudessa ja tyypillisessä kehityksessä	5
1.4	Auditiiviseen prosessointiin liittyvät herätevasteet kielellisessä erityisvaikeudessa ja tyypillisessä kehityksessä	8
1.5	Kielellisen erityisvaikeuden yksilöllisyys	11
1.6	Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	12
2	Menetelmät	14
2.1	Tutkittavat	14
2.2	Jännitevastetason koeasetelma ja muuttujat	15
2.3	EEG-aineiston analysointi	17
2.4	Käyttäytymistason koeasetelma ja muuttujat	20
2.5	Tilastollinen analysointi	22
3	Tulokset	24
3.1	SLI- ja kontrollilasten jakautuminen käyttäytymis- ja jännitevastetason muuttujien mukaan muodostettuihin ryhmiin	24
3.2	Jännitevaste- ja käyttäytymistason muuttujien väliset korrelaatiot	26
3.3	Jännitevastetason ryhmien suoriutuminen käyttäytymistasolla	29
4	Pohdinta	36
5	Lähteet	42

1 JOHDANTO

1.1 Kielellinen erityisvaikeus

Kielellinen erityisvaikeus (engl. specific language impairment, lyh. SLI) on kielen ymmärtämisen ja tuottamisen häiriö, jossa lapsen kielelliset taidot eivät kehity muuten tyypillisen kehityksen mukana. Määritelmän mukaan vaikeudet eivät johdu neurologisista, ympäristöllisistä, tunne-elämän tai aistitoimintojen poikkeavuuksista, vaan kyseessä on kehityksellinen häiriö. Kielellisen erityisvaikeuden yksiselitteinen määrittäminen on hankalaa, koska häiriötä ei sellaisenaan ole nimetty ICD-10 tautiluokituksessa (THL, 2012) tai DSM-V luokituksessa (APA, 2013). Suomessa kliinisessä käytössä olevassa Maailman terveysjärjestön ICD-10 luokituksessa siihen voidaan katsoa kuuluvaksi luokassa F80 puheen ja kielen kehityshäiriöt olevat nimikkeet poislukien F80.3 epilepsiaan liittyvä hankinnainen puheen tuottamisen ja ymmärtämisen häiriö, koska kielellinen erityisvaikeus ei nimenomaan johdu neurologisista poikkeavuuksista kuten afasiat. Tutkimuskäytössä laajalle levinneessä Amerikan psykiatriyhdistyksen DSM-V luokituksessa kielelliseen erityisvaikeuteen liittyviä diagnooseja voidaan katsoa olevan kommunikaatiohäiriöt-luokan nimikkeet. Kielellistä erityisvaikeutta on aikaisemmin kutsuttu dysfasiaksi. Tässä tekstissä käytetään jatkossa nimitystä kielellinen erityisvaikeus tai SLI. Kielellisen erityisvaikeuden esiintyvyys on Tomblinin ym. (1997) mukaan amerikkalaisilla lapsilla 7,4 % ja Hannuksen, Kauppilan ja Launosen (2009) mukaan suomalaisilla lapsilla alle 1 %. Tuloksiin vaikuttavat luonnollisesti käytetyt diagnostiset kriteerit. Kielellisen erityisvaikeuden on todettu olevan yleisempää pojilla kuin tytöillä (Tallal ym., 2001; Tomblin ym., 1997).

Kielellisen erityisvaikeuden keskeisimmät oireet ovat viivästynyt tai poikkeava puheen ja kielen kehitys, joka ilmenee kielen tuottamisessa ja/tai ymmärtämisessä. Kielen tuottamisen vaikeuden osatekijöitä ovat muun muassa virheelliset ja muuntuneet sanahahmot, virheelliset ja puuttuvat taivutuspäätteet ja sananlöytämisen vaikeudet. Puheesta saattaa myös puuttua ymmärtämisen kannalta oleellisia sanoja tai niitä voi olla liikaa. Kielen ymmärtämisen vaikeudet ovat sen sijaan hankalampia havaita arjessa ja ne voivat ilmetä esimerkiksi levottomuutena, käytöshäiriöinä tai vetäytymisenä (Cohen, Barwick, Horodezky, Vallance, & Im, 1998; Cohen, Davine, Horodezky, Lipsett, & Isaacson, 1993; McGrath ym., 2008; Toppelberg & Shapiro, 2000).

Kielellisen erityisvaikeuden katsotaan johtuvan aivojen toiminnan ja rakenteen kehityksellisistä poikkeavuuksista (Bishop, 2001; Webster & Shevell, 2004). Nämä poikkeavuudet näyttäisivät syntyvän

perinnöllisten tekijöiden ja ympäristön yhteisvaikutuksesta (Barry, Yasin, & Bishop, 2007; Bartlett ym., 2002; Bishop, 2006). Kaksos- ja perhetaustatutkimukset viittaavat siihen, että syy olisi pääosin geneettinen (Bishop, 2006; Bishop, 2001; Lai, Fisher, Hurst, Vargha-Khadem, & Monaco, 2001; Tallal ym., 2001; Tallal, Ross, & Curtiss, 1989; Tallal, Townsend, Curtiss, & Wulfeck, 1991). Lapsella, jonka puheen kehitys viivästyy, kielellisten ongelmien, luki- tai oppimisvaikeuksien ja kielen kehityksen viivästyminen lähisukulaisilla lisäävät kielellisen erityisvaikeuden riskiä (Bishop & Snowling, 2004; Flax ym., 2003; Snowling, Bishop, & Stothard, 2000; Tallal ym., 1989). Tutkimuksen mukaan kyse onkin usean riskitekijän kasaantumisesta (Bishop, 2006; Bishop & Snowling, 2004).

1.2 Kielihäiriöiden tutkiminen elektroencefalografialla

Elektroencefalografia (engl. electroencephalography, lyh. EEG) eli aivosähkökäyrä on aivokuvantamismenetelmä, joka mittaa päänahan päälle asetettujen elektrodien avulla aivojen hermosolujen sähköistä aktivaatiota (Luck, 2005). EEG kuvaa kahden elektrodin välisen jännite-eron ajallista vaihtelua niin, että EEG-verkossa on aina referenssielektrodi, jonka mittaamaan jännitetasoon muiden elektrodien jännitetasoja verrataan. Koska aivoissa tapahtuvat sähköiset jännitevaihtelut ovat hyvin pieniä ja pään rakenteet (muun muassa pääkallo) eristävät hyvin näitä signaaleja kulkemasta pään ulkopuolelle, mittaavat elektrodit kokonaisten hermosolujoukkojen yhtenäistä aktivaatiota, eikä niillä siis mitata yksittäisten solujen toimintaa. EEG:llä on erittäin hyvä temporaalinen resoluutio, mutta vastaavasti sen spatiaalinen resoluutio on heikko. Menetelmällä pystytään siis seuraamaan aktivaation muutoksia ajallisesti hyvinkin tarkasti, jopa millisekuntien tarkkuudella, mutta aktivoituneen aivoalueen määrittäminen on suurpiirteistä (Luck, 2005). EEG:n yksi sovellusmuoto on tapahtumasidonnaiset jännite- ja herätevasteet (engl. event-related potentials, lyh. ERP), joita tässäkin tutkimuksessa tarkastellaan. Tapahtumasidonnaiset herätevasteet ovat tiettyyn ärsykkeeseen liittyvien EEG-jaksojen eli epokkien keskiarvoinen aaltomuoto (Degerman, Salmi, Alho, & Rinne, 2006). Tämän keskiarvoistetun aktivaation ajatellaan edustavan ärsykkeeseen liittyviä kognitiivisia prosesseja (Leppänen, Lyytinen, Choudhury, & Benasich, 2004).

EEG soveltuu hyvin kielihäiriöisten lasten tutkimusmenetelmäksi, koska auditiivisia prosesseja mittaavat koeasetelmat voidaan rakentaa sellaisiksi, että suoriutumiseen eivät vaikuta tehtävän vaikeus, motivaatio tai tarkkaavuus (Bishop, 2007). Näissä koeasetelmissa koehenkilö voi katsoa esimerkiksi äänettä videoita ja kuunnella passiivisesti esitettyjä auditiivisia ärsykeitä. Tällöin tehtävään motivoituminen on paljon helpompaa, kun se ei edellytä erityisiä ponnisteluja. Tämä helpottaa etenkin lasten

tutkimista. Lisäksi EEG-tutkimuksessa usein käytetyssä oddball-paradigmassa, jossa koehenkilölle esitetään sarja toistuvia vakioärsyksiä ja niiden seassa harvemmin esiintyviä poikkeavia ärsyksiä, koehenkilön ohjeistaminen on helppoa eivätkä ohjeet ole liian monimutkaisia (Bishop & McArthur, 2005). Oddball-paradigmassa koehenkilöillä syntyy poikkeavuusnegatiivisuus (engl. mismatch negativity, lyh. MMN) niminen vaste, joka on osoitus poikkeavan ärsyksen eli muutoksen prosessoinnista (Näätänen, Gaillard, & Mäntysalo, 1978). EEG:n etuna voidaan pitää myös sitä, että koehenkilöt eivät voi tietoisesti vaikuttaa EEG-dataan. Tällöin tutkittavasta ilmiöstä saadaan puhtaampaa ja pelkistetympää tietoa kuin käyttäytymistason mittareilla, joiden vastauksia koehenkilöt voivat muokata esimerkiksi sosiaalisen suotavuuden vuoksi. EEG:n heikkous on sen huono spatiaalinen resoluutio (Luck, 2005). Suurilla elektrodimäärillä mitattaessa jännite-erojen lähteitä voidaan paikantaa karkeasti mallintamalla aktivaation dipolit (Scherg & von Cramon, 1986). Dipoli on kahden sähkövarauksen muodostama pari, jolle voidaan määrittää suunta ja paikka (Degerman ym., 2006). Hyödyntämällä aiempaa tutkimustietoa dipolien määrästä ja aivoalueiden aktiivisuudesta erilaisissa tehtävissä, voidaan EEG:llä paikantaa aktivaation sijainti, mutta vain karkeasti.

1.3 Auditivinen prosessointi kielellisessä erityisvaikeudessa ja tyypillisessä kehityksessä

Ymmärtääkseen puhetta lapsen on kyettävä havaitsemaan puheesta erilaisia piirteitä, kuten taajuuseroja ja ajallisia muutoksia. Jos tämä havaitseminen on häiriintynyt, voi se hankaloittaa puheen prosessointia ja ymmärtämistä (Moore, 2008; Shannon, Zeng, Kamath, Wygonski, & Ekelid, 1995). Yhden laajalle levinneen hypoteesin mukaan kielellisestä erityisvaikeudesta kärsivien lasten on vaikea havaita, luokitella ja yhdistellä nopeasti esiintyviä ääniä. Tämä puolestaan voi johtaa epäselviin foneemirepresentaatioihin eli puheäänien edustuksiin aivoissa (Tallal, 2000; Tallal & Piercy, 1978). Foneemirepresentaatioiden katsotaan vaikuttavan puheen havaitsemiseen ja siten korkeammanasteiseen kielelliseen oppimiseen ja sen osa-alueisiin kuten fonologiaan (äännejärjestelmä), semantiikkaan (sanojen merkitys) ja syntaksiin (kielioppi) (Pennington & Bishop, 2009).

Toisaalta on esitetty myös vastakkaisia näkemyksiä kuten Rosen (2003) katsausartikkelissaan. Hänen mukaansa ainoastaan joidenkin auditivisten taitojen on ryhmäkeskiarvojen tasolla osoitettu SLI- ja dysleksia-lapsilla heikentyneen kontrolleihin verrattuna. Hänen mukaansa nämä heikentymät koskevat usein vain pientä alaryhmää kielihäiriöisistä lapsista, eikä näillä heikentymillä ole yhteyttä häiriön voimakkuuteen. Rosenin mukaan auditivisen prosessoinnin ongelmat ovat ainoastaan yhteydessä kielihäiriöihin, mutta eivät ole niiden kausaalinen tekijä.

Auditiivisen erottelun taidoissa SLI-lapsilla on havaittu kontrolleja heikompia tuloksia muun muassa äänen taajuuden (McArthur & Bishop, 2004a; Ors ym., 2002; Uwer, Albrecht, & von Suchodoletz, 2002), nousuajan ja keston erottelussa (Corriveau, Pasquini, & Goswami, 2007). Tutkimusta nousuajasta ja kehosta SLI-lapsilla on erittäin vähän, mutta näyttöä dyslektikkojen kontrolleja huonommasta suoriutumisesta niissä on enemmän (Goswami ym., 2002; Muneaux, Ziegler, Truc, Thomson, & Goswami, 2004; Richardson, Thomson, Scott, & Goswami, 2004; Surányi ym., 2009). Corriveau ym. (2007) tutkivat nousuajan ja keston erottelua 7–11-vuotiailla lapsilla (n = 63), jotka jakaantuivat kolmeen yhtä suuren ryhmään: SLI, ikävertaistettut kontrollit ja kielellisen iän mukaan vertaistettut kontrollit. Tutkimuksessa jopa 70-80 % SLI-lapsista sijoittui viiden persentiilin alapuolelle äänen nousuajan ja keston erottelussa, kun heitä verrattiin ikävertaistettuihin kontrolleihin. Lisäksi suoritustaso molemmissa tehtävissä ennusti lukutaidon saavuttamista silloinkin, kun ikä, nonverbaalinen älykkyysosamäärä ja tehtävään (tarkkaavuuteen) liittyvät tekijät kontrolloitiin.

Muissa auditiivisen prosessoinnin taidoissa SLI-lapsilla on löydetty kontrolleja heikompaa suoriutumista sanojen keston erottelussa (Leonard, McGregor, & Allen, 1992), numerosarjojen muistamisessa (engl. digit span) (Archibald & Gathercole, 2006; Conti-Ramsden, 2003; Gray, 2003), yleisesti fonologisessa prosessoinnissa (Claessen, Leitão, Kane, & Williams, 2013; Vandewalle, Boets, Ghesquière, & Zink, 2012) ja epäsanojen toistamisessa (Estes, Evans, & Else-Quest, 2007). Epäsanojen toistamista on tutkittu SLI-lapsilla paljon ja tutkimuksissa on johdonmukaisesti havaittu SLI-lasten kontrolleja heikompi epäsanojen toistaminen (Estes ym., 2007).

Pitkittäistutkimusta puheen havaitsemisesta SLI:ssä ovat tehneet muun muassa Bernstein ja Stark (1985). Neljä vuotta kestäneessä seurantatutkimuksessaan he havaitsivat lähtömittauksessa 4–8-vuotiailla SLI-lapsilla ja 5–7-vuotiailla kontrolleilla eroja /ba/ ja /da/ tavujen erottelussa, sekvensoinnissa, prosessointinopeudessa ja sarjallisessa muistamisessa. Samalla löydettiin ikäefekti molemmissa ryhmissä eli edellämainitut taidot paranivat iän funktiona ryhmien sisällä. Neljän vuoden päästä seurantamittauksessa tämä ikäefekti oli kadonnut lähes kokonaan molemmissa ryhmissä osoittaen, että kielellisen havaitsemisen taidot olivat kehittyneet niissä molemmissa. SLI-lasten kielelliset taidot siis kehittyvät, mutta eivät ikätasoisesti. Tutkijoiden päätelmä oli, että yksin havaitsemisen tai kielelliset ongelmat eivät ole kausaalisessa roolissa SLI:n synnyssä, vaan kyse on ennemminkin monimutkaisista vuorovaikutussuhteista havaintoprosessien ja kielellisten prosessien välillä. Täysin samoilla ärsykkeillä, /ba/ ja /da/ tavuilla, ovat 6–10-vuotiaiden SLI-lasten puheen havaitsemista tutkineet Stark ja Heinz (1996a). He jakoivat tutkimuksessaan kielihäiriöiset lapset kahteen alaryhmään: ekspressiivinen kielihäiriö (LI-E) ja ekspressiivis-reseptiivinen kielihäiriö (LI-ER). He saivat Bernsteinin ja Starkin (1985) kanssa

samansuuntaisen tuloksen, että LI-ER ryhmän lapset olivat kontrolleja heikompia tunnistamaan /ba/ ja /da/ tavuja LI-E ryhmän suoriutuessa tehtävästä yhtä hyvin kuin kontrollit. Bernsteinin ja Starkin tutkimuksessa SLI-lapsia ei tosin oltu jaoteltu alaryhmiin, joten niiden välisistä eroista ei heidän tutkimuksensa perusteella voi sanoa mitään. Starkin ja Heinzin (1996a) tutkimuksessa lapsista, jotka onnistuivat vokaalien tunnistamistehtävässä ja jatkoivat tämän jälkeen sarjallisen järjestämisen tehtävään (jossa käytettiin samoja ärsykeitä), LI-E ryhmäläiset menestyivät kaikista heikoimmin. Tutkijat ehdottavatkin, että kielellisen havainnon nopean prosessoinnin heikkous on keskeinen ongelma SLI:ssä.

Stark ja Heinz (1996b) ovat myös tutkineet vokaalien tunnistusta SLI-lapsilla. Heidän tulosten mukaan kielihäiriöiset lapset eivät ole niin tehokkaita kuin kontrollit tunnistamaan toisistaan merkittävästi eroavia vokaaleja sekä vähemmän tarkkoja erottelemaan samankaltaisia vokaaleja. Jälkimmäinen tulos on yhteneväinen Shaferin, Morrin, Dattan, Kurtzbergin ja Schwartzin (2005) jännitevastetason löydösten kanssa, joissa SLI-lapsilta puuttui kontrolleilla esiintynyt MMN-vaste samankaltaisiin, 50 ms kestoisiin vokaaleihin. Lisäksi Datta, Shafer, Morr, Kurtzberg ja Schwartz (2010) ja Shafer ym. (2005) havaitsivat, että SLI-lapset ovat kontrolleja heikompia tunnistamaan sekä lyhyitä ja pitkiä samankaltaisia vokaaleja ja Stark ja Heinz (1996b) tekivät saman löydöksen toisistaan eroavilla vokaaleilla. Näyttäisi siis siltä, että SLI-lapsilla on perustavanlaatuisia pulmia vokaalien tunnistuksessa. Starkin ja Heinzin (1996b) tutkimuksessa useampi kielihäiriöinen lapsi ei myöskään kyennyt vokaalien sarjalliseen järjestämiseen. Tutkijoiden johtopäätös olikin, että kielihäiriöisillä lapsilla on ongelmia auditorisen havainnon oppimisessa ja että heidän keskeiset vokaalirepresentaatiot ovat kontrolleja heikompia.

McArthur ja Bishop (2004b) havaitsivat 10–19-vuotiailla SLI- ja kontrollinuorilla tekemässä tutkimuksessaan, että osa SLI-lapsista oli muita koehenkilöitä huonompia erottelemaan taajuudeltaan erilaisia ääniä huolimatta niiden esitysnopeudesta. Nämä henkilöt olivat yleisesti ottaen nuorempia ja he olivat myös heikkoja epäsanonjen lukemisessa. Lisäksi tutkijat tarkastelivat koehenkilöiden auditorisia jännitevasteita ja havaitsivat, että SLI-lapsilla oli yleisesti ikävaiheeseen nähden epätyypillisiä aallonmuotoja N1-, P2- ja N2-komponenteissa, eikä tähän yhteyteen vaikuttanut suoriutuminen taajuuden erottelun tehtävässä. Tutkijoiden johtopäätöksenä olikin, että SLI:lle on tyypillistä kuuloaivokuoren kehittymättömyys, joten aikuisille tyypillinen taajuudenerottelukyky saavutetaan kontrolleihin nähden muutama vuosi myöhemmin. McArthur ja Bishop (2005) kehittivät asetelmaa hieman pidemmälle ja tutkivat 12–21-vuotiailla SLI- ja kontrollinuorilla taajuudenerottelukynnystä sekä N1- ja P2-komponentteja puhtailta äänillä, vokaaleilla ja epäharmonisilla, monimutkaisilla äänillä. Tulokset osoittivat, että SLI-nuoret, joilla oli huono taajuudenerottelukyky tai epätyypillisiä N1- ja P2-aallonmuotoja puhtaita ääniä käytettäessä, oli samat ongelmat vokaaleja käytettäessä. Vokaalien epätyypillinen prosessointi liittyi ärsykkeiden

spektraaliseen monimutkaisuuteen eikä niinkään yksittäisten vokaalien foneettiseen merkitykseen. Tutkijat ehdottavat, että ikä on merkittävä tekijä tutkittaessa SLI-nuorten auditorista prosessointia ja ilmenevät käyttäytymistason ongelmat riippuvat käytettävän psykoakustisen tehtävän ikäsensitiivisyydestä.

1.4 Audiitiiviseen prosessointiin liittyvät herätevasteet kielellisessä erityisvaikeudessa ja tyypillisessä kehityksessä

ERP-tutkimusta sanojen temporaalisten ominaisuuksien vaikutuksesta niiden prosessointiin on alle kouluikäisillä SLI-lapsilla tehty erittäin vähän. Lapsuus on kokonaisvaltaisesti nopean kehityksen aikaa ja tämä pätee myös auditoriseen prosessointiin ja sen aikaansaamiin jännitevasteisiin. Ponton, Eggermont, Kwong ja Don (2000) tutkivat audiitiivisten jännitevasteiden kehitystä 5–20-vuotiailla lapsilla ja nuorilla. Lapsilla jännitevasteiden amplitudi ja latenssi poikkeavat aikuisten vastaavista, ja aikuismainen aallonmuoto alkaa hahmottua vasta noin 12-vuotiaana. Esimerkiksi 5–6-vuotiailla lapsilla aivosähkökäyrää hallitsevat leveämpi aallonmuoto ja suuremmat amplitudit. Tulosten mukaan P1-jännitevasteen latenssi on 5–6-vuotiailla 80–110 ms ja amplitudi on joillakin kanavilla 2 mikrovolttia.

Stevens, Paulsen, Yasen, Mitsunaga ja Neville (2012) tutkivat ERP-menetelmällä 3–8-vuotiaiden SLI-lasten ja kontrollien auditorista prosessointia 100 ms kestoisilla puhe- ja ääniärsykkeillä vaihdellen ärsykkeiden esiintymisen välisen ajan pituutta (200, 500 tai 1000 ms). SLI-lasten 100-200 ms välillä esiintyneet vasteet olivat amplitudeiltaan heikompia verattuna kontroleihin ainoastaan lyhimmän aikavälin (200 ms) tilanteessa, ja heikentyneissä amplitudeissa oli nähtävissä aivopuoliskojen välinen lateralisaatio, siten, että kielellisille ärsykkeille ilmiö oli havaittavissa vasemmanpuoleisissa elektrodeissa ja vastaavasti ei-kielellisille ärsykkeille oikeanpuoleisissa elektrodeissa. Tutkijat päättelivät, että nopeaan tahtiin esitettyjen auditoristen ärsykkeiden prosessoinnin vaikeudet aivotasolla saattavat olla riskitekijä epätyypillisessä kielellisessä kehityksessä. Samaan tapaan Bishop, Hardiman, Uwer ja von Suchodoletz (2007) ovat ERP-mittauksissa löytäneet 5–10-vuotiailla reseptiivisestä SLI:stä kärsivillä lapsilla kontroleista poikkeavia aallonmuotoja puheääniin ja ei-puheääniin 100-288 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen esiintyvissä komponenteissa. Hieman poiketen Stevensin ym. (2012) tuloksista, Bishop ym. (2007) havaitsivat efektin ainoastaan oikeanpuoleisissa mutta eivät vasemman puoleisissa elektrodeissa. Uwer ym. (2002) ovat myös löytäneet 5–10-vuotiailla SLI-lapsilla kontroleja heikompia MMN-amplitudeja yksinkertaisiin konsonantti-vokaali-tavuihin. Vastaava ero ei-puheäänissä jäi löytymättä. SLI-lapset tekivät myös enemmän virheitä tavujen erottelussa, mutta nämä tulokset eivät korreloineet MMN-amplitudeihin. Uwer ym. (2002)

ehdottavat, että SLI-lasten suorituskky on heikentynyt nopeassa automaattisessa konsonantti-vokaali-tavujen erottelussa samalla, kun yksinkertaisten ei-puheääniien erottelussa ei ole ongelmia. Tutkimusryhmien tulokset ovat siis siltä osin yhteneväiset, että niiden kaikkien mukaan puheärsykkeiden nopea ajallinen prosessointi on keskeinen ongelma SLI:ssä. Ei-puheäänten osalta tulokset kuitenkin ovat ristiriitaiset. Hieman erilaisia tuloksia ovat saaneet Ors ym. (2002), jotka löysivät 10–14-vuotiailla SLI-lapsilla pitkittyneitä P3-komponentin latensseja puheäänissä ja ei-puheäänissä verrattuna kontrolleihin sekä pienemmän P3-komponentin amplitudin puheäänissä. Vastaavasti eroa N1- ja P2-komponenteissa ei löytynyt, toisin kuin Bishop ym. (2007) tutkimuksessa, joten heidän mukaansa latenssiltaan myöhäinen prosessointi on häiriintynyt SLI:ssä.

Neville, Coffey, Holocomb ja Tallal (1993) tutkivat auditorista prosessointia ERP-menetelmällä ja sarjalla käyttäytymistason testejä 8–10-vuotiailla lapsilla, joilla oli joko SLI tai dysleksia. He esittivät ääniärsykeitä vaihdellen ärsykkeiden esitysvälin pituutta (200, 1000 tai 2000 ms) aktiivisessa koeasetelmassa, jossa koehenkilön piti painaa nappia kuullessaan taajudeltaan poikkeavan kohdeäänien. Ensinnäkin kielihäiriöiset lapset olivat kontrolleja hitaampia ja epätarkempia päättämään, oliko esitetty ärsyke kohdeääni vai ei. Tähän yhteyteen ei vaikuttanut ärsykkeiden esitysvälin pituus. Vakioärsykkeisiin kielihäiriöisten lasten ja kontrollien jännitevasteet eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Tutkijat kuitenkin löysivät kielihäiriöisten alaryhmän, jolla havaittiin ärsykkeiden esitysjan pituudella selvä vaikutus; mitä lyhyempi oli esitysväli, sitä enemmän he tekivät virheitä kohdeäänien havaitsemisessa. Samoin heidän jännitevasteensa olivat epätyypillisiä lyhyemmällä esitysväleillä; 140 ms kohdalla esiintynyt negatiivisuus oli amplitudiltaan heikompaa ja latenssiltaan viivästynyttä kahteen muuhun ryhmään verrattuna. Myös N250-komponentin amplitudi oli pienempi, mutta tämä ilmiö koski kaikkia esitysvälejä ja esiintyi oikean aivopuoliskon etuosassa.

Datta ym. (2010) ovat tutkimuksissaan yhdistelleet ERP-tekniikkaa ja käyttäytymistason mittareita. He esittivät 8–11-vuotiaille SLI-lapsille ja kontrolleille 250 ms kestoisia, foneettisesti samankaltaisia vokaaleja. Tutkimukset suoritettiin aktiivisessa ja passiivisessa koeasetelmassa. Aktiivisessa asetelmassa lapset seurasivat puheärsykeitä koko ajan ja passiivisessa he eivät kiinnittäneet niihin huomiota, vaan katselivat kokeen aikana äänetöntä videota. Tutkijat olivat suorittaneet aiemmin samanlaisen tutkimuksen käyttäen lyhyempiä, 50 ms kestoisia vokaaleja ja olivat havainneet, että kontrolleilla MMN-vaste ja myöhäinen negatiivisuus heijastelivat erottelua molemmissa asetelmissa, kun taas SLI-lapsille syntyi näissä astelemissa vain myöhäinen negatiivisuus (Shafer ym., 2005). Tutkimuksessa oli yhtenä hypoteesina, että pidempi prosessointiaika parantaisi puheen havaitsemista. Tämä olikin juuri mitä löydettiin eli tällä kertaa myös SLI-lapsille syntyi MMN-vaste. Käyttäytymisen tasolla vokaalien tunnistaminen oli kuitenkin

molemissa kokeissa SLI-lapsilla kontrolleja heikompaa. Ensimmäisessä tutkimuksessa ei löydetty suoraa vastaavuutta SLI-lasten jännitevasteiden (MMN-vasteen puuttuminen) ja käyttäytymistason suoriutumisen välille. Ensimmäisen tutkimuksen johtopäätöksenä oli, että SLI-lapsilla on puutteita puheen havaitsemisessa, vaikka siihen johtavat syyt saattavatkin vaihdella yksilöllisesti. Toinen tutkimus antoi siinä mielessä toivoa, että SLI-lasten vokaalien erottelukykyä voidaan parantaa pidentämällä vokaalien kestoa, mutta vokaalien huono tunnistaminen kuitenkin kielii häiriöstä pitkäkestoisissa fonologisissa representaatioissa tai niiden käsittelyssä.

Shafer, Ponton, Datta, Morr ja Schwartz (2007) ovat myös tutkineet ERP-menetelmällä SLI-lasten tarkkaavaisuuden allokointia puheen havaitsemisessa. Tutkijat käyttivät aktiivista ja passiivista koeasetelmaa esittäen kestoltaan 50 ms ja 250 ms pituisia vokaaleja. Kontrolleilla syntyi suurempia negatiivisia vasteita passiivisessa koeasetelmassa kestoltaan pitkiin (250 ms) vokaaleihin, joka tutkijoiden mukaan on osoitus heidän suuremmasta tarkkaavaisuuden allokoinnista tehtävään SLI-lapsiin verrattuna. Ryhmät erosivat P1-komponentin suhteen, jonka amplitudi oli yleisesti voimakkaampi kontrolleilla. Komponentissa havaittiin myös ryhmien välillä aivopuoliskojen välinen lateralisaatio, koska voimakkaampi amplitudi esiintyi kontrolleilla vahvempana fronto-sentraalisesti oikealla aivopuoliskolla ja vastaavasti SLI-lapsilla vasemmalla aivopuoliskolla. Tutkijoiden mielestä tuloksilla on kolme mahdollista implikaatiota. Joko SLI-lapsilla on rajalliset tarkkaavaisuusresurssit, he ovat kontrolleja heikompia tarkkaavaisuuden jakamisessa tai he ovat kontrolleja heikompia automaattisesti allokoidaan resursseja puheen havaitsemiseen.

Korpilahti ja Lang (1994) tutkivat 7–13-vuotiailla SLI- ja kontrollilapsilla siniäänten kestoerojen aikaansaamia MMN-vasteita passiivisessa oddball-paradigmassa, jossa 50 ms:n kestoisten vakioärsykkeiden joukossa esiintyi 110 ms:n ja 500 ms:n kestoisia poikkeavia ärsykeitä. Merkitsevä ryhmäero havaittiin vain pidemmän, 450 millisekunnin kestoeron tilanteessa, jolloin MMN oli SLI-ryhmällä pienempi kuin kontrolleilla. N250:n osalta havaittiin merkitseviä eroja: komponentin latenssit olivat pidemmät SLI-ryhmässä pitkän kestoeron standardiin (231 vs. 254 ms). Sekä lyhyen kestoeron standardiin että molempien kestoerojen deviantteihin SLI-ryhmällä havaittiin amplitudiltaan pienempi N250-komponentti.

Eräs mahdollisesti kielihäiriöihin liittyvä jännitevaste on poikkeava T-kompleksi. Tonnquist-Uhlen, Ponton, Eggermont, Kwong ja Don (2003) ovat osoittaneet, että T-kompleksi on havaittavissa jo 5-vuotiailla lapsilla ainakin T4-kanavalla oikealla aivopuoliskolla. Puheärsykkeiden aikaansaamaa T-kompleksia SLI-lapsilla ovat tutkineet Shafer, Schwartz ja Martin (2011). Lapset tutkimuksessa olivat 7–10-vuotiaita ja ärsykeinä käytettiin epätavuja (75 ms), lyhyitä (50 ms) ja pitkiä (250 ms) vokaaleja sekä sanapareja. SLI-lapsista 73 %:lla esiintyi tyypillisen kehitykseen nähden poikkeavia T-kompleksiaaltomuotoja, kun kontrolleilla sama luku oli vain 13 %. SLI-lapsilla Ta-komponentin amplitudi oli heikompi kontrolleihin

verrattuna ja myös komponentin latenssit erosivat kontrolleista merkitsevästi pitkän vokaalin (250 ms) ja sanaerottelun tehtävissä. Tutkijoiden johtopäätöksenä oli, että heikko auditorinen prosessointi, josta poikkeavuudet T-kompleksissa ovat osoitus, on tunnusomaisia kielihäiriöille.

1.5 Kielellisen erityisvaikeuden yksilöllisyys

SLI-lasten kielellisiä taitoja tutkittaessa eräs suuri ongelma on SLI-populaation heterogeisuus. Se että häiriölle ei ole olemassa yksiselitteisiä diagnostisia kriteerejä ja että sillä voidaan tarkoittaa hieman eri asioita eri yhteyksissä, on todennäköisesti ainakin yksi syy siihen, että tutkimuslöydökset SLI-lasten kielellisistä taidoista ovat hyvin vaihtelevia. Eräs tutkimuksessa käytetty tapa on jaotella SLI-lapset kolmeen alatyyppiin; kielellisen tuottamisen vaikeus eli ekspressiivinen alatyyppi, kielellisen ymmärtämisen vaikeus eli reseptiivinen alatyyppi sekä näiden yhdistelmä. Tällaista jaottelua käytettäessä on löydetty eroja suoritustasossa ryhmien välille (Stark & Heinz, 1996a). Kielihäiriöiden yksilöllisyyttä ovat dysleksia-lapsilla tutkineet Pennington ym. (2012) ja Snowling (2008) ja heidän mukaansa dysleksiaa ei voida selittää pelkästään fonologisen tietoisuuden heikkoudella, jota ollaan yleisesti pidetty ratkaisevana dysleksiaa selittävänä tekijänä, eikä myöskään millään muulla yksittäisen kognitiivisen taidon heikkoudella, vaan häiriön takana voi olla monien eri taitojen puutteita ja tätä kautta erilaisia kognitiivisia profiileja. Tilanne saattaa olla siis samanlainen myös kielellisen erityisvaikeuden tapauksissa.

Bishop ja McArthur (2005) ovat tutkineet auditorisen prosessoinnin yksilöllisiä eroja SLI-lapsilla. Heidän alkuhavaintonaan tutkimuksessa oli, että auditorisen prosessoinnin ongelmien roolista SLI-lasten kieliongelmien aiheuttajana on tutkimuksessa ristiriitaista tietoa mahdollisesti sen takia, että se ei ole kyennyt huomioimaan SLI-populaation heterogeisyyttä. Heidän tutkimuksensa oli 18 kuukauden seuranta tutkimus, jossa oli mukana 12–20-vuotiaita SLI-lapsia ($n = 16$) ja 2–21-vuotiaita kontrolleja ($n = 15$). Koeasetelmassa selvitettiin ääniärsykkeiden taajuuden erottelukykyä käyttäen EEG-menetelmää. Ensimmäisessä mittauksessa kolmanneksella SLI-lapsista oli huono taajuuden erottelukyky ja tähän ryhmään kuuluvat olivat myös muita koehenkilöitä nuorempia. Suurimalla osalla SLI-lapsista oli kuitenkin ikävaiheeseen sopimattomia myöhäisiä jännitevasteita riippumatta heidän taajuudenerottelukyvystään. Toisessa mittauksessa osa alun perin huonon tuloksen taajuuden erottelussa saaneista koehenkilöistä paransi tulostaan mutta vain osa. Toisessa mittauksessa suurimman osan SLI-lapsista jännitevasteet olivat ikävaiheeseen sopimattomia. Joissakin tapauksissa SLI-lasten jännitevasteet muistuttivat nuorempien kontrollien profiileja, mutta osalla ne olivat erilaiset kuin minkään muun ikäisillä kontrolleilla. Tutkijoiden

johtopäätöksenä olikin, että tutkimus oli vahva osoitus SLI-populaation heterogeenisyydestä ja tutkimuksessa tulisikin keskittyä enemmän yksilöllisten tapausten kuin ryhmäkeskiarvojen tarkasteluun. Bishop ja McArthur (2004b) ovat käsitelleet samaa teemaa myös aiemmassa artikkelissaan. SLI-populaation heterogeenisyyttä ovat tutkineet myös van Weerdenburg, Verhoeven ja van Balkom (2006), jotka suorittivat sarjan kielellisiä ja kielellisiin kykyihin liittyviä kognitiivisia testejä 6- ja 8-vuotiaille SLI-lapsille (n = 183). Analyysimenetelmänä he käyttivät faktorianalyysia, joka tuotti neljä kielellisten ominaisuuksien faktoria: 1) leksikaalis-semanttiset kyvyt, 2) auditorinen käsitteellistäminen, 3) verbaalinen sekventiaalinen muisti ja 4) puheen tuottaminen. Lopuksi he muodostivat klusterianalyysillä neljä SLI-lasten ryhmää, joilla jokaisella oli yksilöllinen neljän faktorin muodostama profiilinsa. Tulokset olivat lähes samat molemmille ikäryhmille. Tutkijoiden johtopäätöksenä olikin, että SLI-populaatio on hyvin heterogeeninen ja ongelmien laatu ja määrä voivat vaihdella suuresti alatyypistä toiseen.

Todisteita alatyypien erilaisista suoritusprofiileista ovat saaneet muun muassa Stark ja Heinz (1996a). He tutkivat /ba/ ja /da/ -tavuja esittämällä 6–10-vuotiaiden SLI-lasten puheen havaitsemista. He jaottelivat tutkittavat ekspressiiviseen (LI-E) ja ekspressiivis-reseptiiviseen (LI-ER) alatyyppeihin. Tuloksena oli, että LI-ER ryhmän lapset olivat kontrolleja heikompia tunnistamaan /ba/ ja /da/ -tavuja LI-E-ryhmän suoriutuessa tehtävästä yhtä hyvin kuin kontrollit. Lapsista jotka onnistuivat vokaalien tunnistamistehtävässä ja jatkoivat sarjallisen järjestämisen tehtävään (jossa käytettiin samoja ärsykeitä), LI-E-ryhmäläiset menestyivät kaikista heikoimmin. Eroja SLI-ryhmien välille ovat löytäneet myös Neville ym. (1993), jotka havaitsivat, että jaoteltaessa SLI-lapset nopean sekvensoinnin testin tuloksen perusteella kahteen ryhmään, on matalan pistemäärän ryhmän kohdeäänien tunnistaminen huonompaa muihin SLI-lapsiin verrattuna. Samoin heidän 140 ms kohdalla esiintyvä jännitevasteensa ovat epätyypillisiä lyhyellä ärsykkeiden esitysvälillä ja N250-komponentissa pidemmälläkin esitysvälillä.

1.6 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tämän tutkimuksen taustalla on havainto auditiivisen prosessoinnin ongelmista kielellisessä erityisvaikeudessa (Archibald & Gathercole, 2006; Corriveau ym., 2007; Estes ym., 2007; McArthur & Bishop, 2004a). Tutkimuksen taustalla on myös havainto SLI-lasten tyypillisestä kehityksestä poikkeavista auditiivisista jännitevasteista (Bishop ym., 2007; Stevens ym., 2012). Lisäksi tutkimukseen liittyy havainto SLI-populaation heterogeenisyydestä (Bishop & McArthur, 2005; van Weerdenburg ym., 2006). Tutkimuksen tavoitteena on 4–7-vuotiaiden SLI- ja kontrollilasten auditiivisen prosessoinnin taitoja

tutkimalla selvittää, eroavatko ryhmät näissä taidoissa, näkyvätkö mahdolliset erot myös jännitevastotasolla ja millaisia yksilöllisiä profiileja on löydettävissä. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Onko SLI- ja kontrollilasten välillä eroja auditiivisen prosessoinnin taidoissa?
2. Onko SLI- ja kontrollilasten välillä eroja oddball-paradigmassa esitettyihin epäsanoihin syntyvissä jännitevasteissa?
3. Onko käyttäytymis- ja jännitevastetason muuttujien välillä yhteyttä?
4. Millaisia yksilöllisiä auditiivisen prosessoinnin profiileja aineistosta on löydettävissä?

Ensinnäkin on odotettavissa, että auditiivisen prosessoinnin taidoissa SLI-lapset suoriutuvat kontrolleja heikommin epäsanojen toistamisessa (Estes ym., 2007), äänen taajudeen erottelussa (McArthur & Bishop, 2004a; Ors ym., 2002; Uwer ym., 2002), numerosarjojen muistamisessa (Archibald & Gathercole, 2006; Conti-Ramsden, 2003; Gray, 2003) ja fonologisessa prosessoinnissa (Claessen ym., 2013; Vandewalle ym., 2012). Muiden taitojen osalta tutkimusnäyttö on niin vähäistä, että sen perusteella ei voi asettaa päteviä hypoteeseja. Myös jännitevasteissa SLI-lapsilla on odotettavissa kontrolleihin verrattuna poikkeavia aallonmuotoja (Korpilahti & Lang, 1994; Neville ym., 1993; Shafer ym., 2007). Lisäksi on odotettavissa auditiivisen prosessoinnin profiilien olevan hyvin vaihtelevia SLI-ryhmän sisällä (Bishop & McArthur, 2005; Neville ym., 1993; Stark & Heinz, 1996a; van Weerdenburg ym., 2006).

2 MENETELMÄT

Tutkimuksen aineisto on kerätty Oulussa vuosina 2005-2010 tutkimusprojektissa, joka on toteutettu Oulun yliopiston, Oulun yliopistollisen sairaalan neurokognitiivisen yksikön ja Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen yhteistyönä. Kyse oli kuntoutustutkimuksesta, jossa tutkittiin kielihäiriöisten lasten kuullun prosessointia ja siihen liittyvien ongelmien kuntoutuvuutta. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kuitenkin yhdistää tietoa auditiivisen prosessoinnin taitoja mittaavista käyttäytymis- ja jännitevastetason menetelmistä, joten siinä ei tarkastella kuntoutuksen vaikuttavuutta.

2.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 36 4–7-vuotiasta lasta (keskiarvo 5 vuotta 6 kuukautta). Heistä 12 oli tyypillisesti kehittyneitä kontrolleja ja 24 kielellisen erityisvaikeuden diagnoosin saaneita, jonka perusteella heidät jaettiin SLI-ryhmään ja kontrolliryhmään. Lapsilla ei ollut todettu kuulo-, näkö- tai liikuntavammaa, neurologista sairautta, poikkeavaa puhe-elimistön rakennetta tai vakavaa psyykkistä häiriötä. Lapset olivat oikeakätisiä ja kotoisin täysin suomenkielisistä kodeista. Heidän ei-kielellinen älykkyysosamääränsä oli vähintään 80 (Wechsler, 1995). He läpäisivät kuulokokeen (kuulokynnys 20 dB HL tai parempi taajuuksilla 250–4000 Hz). Lausunto tutkimuksen toteuttamiseen anottiin Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriltä ja tutkimus sai puoltavan lausunnon eettiseltä toimikunnalta.

SLI-ryhmään kuului 24 4–7-vuotiasta kielihäiriöiseksi diagnosoitua lasta. Heillä tuli olla ICD-10:n diagnoosikriteerien mukainen (THL, 2012) foniatriin toteama puheen ymmärtämisen häiriö, sekä kliinisesti todettuja kuullun havaitsemisen ja -erottelun ongelmia. Tarkempiin kielellisen erityisvaikeuden alatyyppeihin tutkimukseen osallistuneita lapsia ei tässä tutkimuksessa jaoteltu. Kielihäiriöiset lapset tulivat tutkimukseen Oulun yliopistollisen sairaalan poliklinikan tai osaston kautta. Kontrolliryhmään kuului 12 5–6-vuotiasta lasta. Kontrollilapset tulivat tutkimukseen vapaaehtoisina oululaisista päiväkodeista. Lupa koehenkilöiden rekrytoimiseen oli hankittu Oulun kaupungin sosiaali- ja terveystoimen päivähoitotoimistoista. Lasten taustatiedot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ryhmien taustatiedot tutkimuksen lähtötilanteessa

	SLI	Kontrolli	Ryhmien väliset erot
Ryhmän koko	24	12	-
Sukupuoli (tytöt, pojat)	7, 17	4, 8	-
Ikä (vuodet, kuukaudet)	5,7	5,4	e.m.
Ei-kielellinen-ÄO ^a	104	103	e.m.
Kielellinen-ÄO ^a	78	112	SLI < kontrolli***

^aWPPSI-R:n (Wechsler, 1995) standardipisteet (ka=100, kh=15)

*** p < 0.001

e.m. ei merkitsevä.

2.2 Jännitevastetason koeasetelma ja muuttujat

Koeastelemana käytettiin auditiivisilla epäsanoina toteutettua passiivista oddball-paradigmaa. Oddball-paradigmassa koehenkilöille esitetään sarja usein toistuvia vakio- eli standardiärsykeitä ja niiden seassa harvemmin esiintyviä poikkeavia eli deviantteja ärsykeitä. Tämän asetelman on havaittu auditorisilla ärsykeillä aikaansaavan MMN-vasteen (Näätänen & Alho, 1995). Koeasteleman passiivisuus puolestaan tarkoittaa, että koehenkilöiden ei tarvitse aktiivisesti seurata esitettyjä ärsykeitä, vaan he voivat keskittää tarkkaavaisuutensa johonkin muuhun. Tässä tapauksessa koehenkilöt katselivat itse valitsemiaan äänettömiä elokuvia. Koeasetelma perustui Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen dysleksia-työryhmän kehittämään paradigmaan (Leppänen ym., 2002; Pihko, Leppäsaari, Leppänen, Richardson, & Lyytinen, 1997).

Alkuperäisessä tutkimuksessa ärsykkeet olivat kolme kestoltaan eripituista suomen kielen sanoilta kuulostavaa epäsanaa; standardi /atta/ (atta8), deviantti /atta/ (atta6) ja deviantti /ata/ (ata1). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut tarkoituksena tarkastella näin tarkasti sanan temporaalisia ominaisuuksia, joten päädyttiin käyttämään ainoastaan atta8 ja ata1 ärsykeitä. Molemmissa ärsykeissä ensimmäisen [a]-äänteen kesto sisältäen glottaalipysähdyksen oli vakioitu 72 ms:n mittaiseksi ja taukoa edeltävä [t]-äänteen eksploosioaika 13 ms:n mittaiseksi. Jälkimmäinen /ta/-tavu ärsykkeestä kesti 120 ms. Lisäksi molemmissa ärsykeissä oli tauko sanan keskellä, joka standardiärsykkeessä (atta8) oli 255 ms kaksoiskonsonantin keskellä, jolloin ärsykeen kokonaiskesto oli 460 ms. Devianttiärsykkeessä (ata1) tauko oli ensimmäisen [a]-äänteen ja [t]-äänteen välissä sen pituuden ollessa 95 ms, jolloin ärsykeen kokonaiskesto oli 300 ms. Ärsykkeiden esittämisen välinen aika oli kaikissa tapauksissa 610 ms. Ärsykeistä on esitetty kaaviokuva taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Ärsykkeiden akustiset ominaisuudet.

72 ms	255 ms + (13 ms)	120 ms	= 460 ms	atta8
72 ms	95 ms + (13 ms)	120 ms	= 300 ms	ata1
/a/	/t/	/a/		

Esitetyistä ärsykkeistä oli standardeja (atta8) 80 %. Kumpikin deviantti (ata1 ja atta6) kattoi 10 % esitetyistä ärsykkeistä. Koehenkilölle esitettiin viisi pseudosatunnaistettua blokkia, joista jokaisen alussa esitettiin 11 standardia ja vähintään kolme standardia devianttien välissä. Blokit koostettiin satunnaisesti kahdeksasta jaksosta, joista jokainen sisälsi 50 devianttia (25 * ata1 ja 25 * atta6).

EEG-mittaus suoritettiin Oulun yliopistollisen sairaalan neurokognitiivisessa yksikössä. Tutkittavat istuivat mittauksessa sähköeristetyssä huoneessa tuolilla. Tutkittavan tarkkailua varten huoneeseen oli kamerayhteys. Ärsykkeet esitettiin Sony MDR-F1 kuulokkeilla. Ennen mittausta varmistettiin kalibroidulla desibelimittarilla äänenvoimakkuuden huoneessa olevan 75 db. Vanhempi saattoi olla tutkimustilassa lapsen seurana. Tutkimuksen kulku selitettiin lapselle sekä suullisesti että kuvallisesti, jotta voitiin varmistua lapsen ohjeiden ymmärtämisestä. Lasta ohjeistettiin tarkkailemaan äänetöntä piirroselokuvaa ääniärsykkeiden sijasta. Kullekin koehenkilölle esitettiin viisi blokkia. Mittauskerta kesti valmisteluineen puolestaosta tunnista kahteen tuntiin ja sisälsi sekä puheärsyke- että siniäänikoeasetelman. Jälkimmäisen tuloksia ei tässä tutkimuksessa raportoida. Mittauksen puolesta välissä pidettiin tauko, jolloin lapsi sai syötävää ja juotavaa.

EEG:tä rekisteröitiin Syn Amps –EEG-vahvistimella ja –keruulaitteella (Syn Amps, Scan, Neuroscan Software 4.3) käyttäen 21-kanavaista Ag/AgCl-elektrodimyssyä 10/20 –järjestelmän mukaan (ElectroCap, International Inc). Elektrodeista frontaalisia oli seitsemän (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F7, F8), sentraalisia kaksi (C3, C4), frontosentraalisia yksi (FCz), temporaalisia kaksi (T3, T4), parietaalisia viisi (P3, Pz, P4, P7, P8) ja okkipitaalisia kaksi (O1, O2). Lisäksi oli kaksi mastoidielektrodia (M1, M2). Silmänliikkeitä mitattiin oikeasta silmäkulmasta ja vasemman silmän alta. Maelektrodi oli yhteydessä Afz-kanavaan. Referenssinä käytettiin frontosentraalista FCz-elektrodia. Näytteenottotaajuus oli 1000 Hz. Ylipäästösuodatin asetettiin 0,5 Hz:iin ja alipäästösuodatin 70 Hz:iin. Impedanssit olivat korkeintaan 5 kΩ:ia. EEG-signaali vahvistettiin Neuroscanilla ja data tallennettiin kovalevyille. Datan laatua tarkkailtiin mittauksen aikana silmämääräisesti.

2.3 EEG-aineiston analysointi

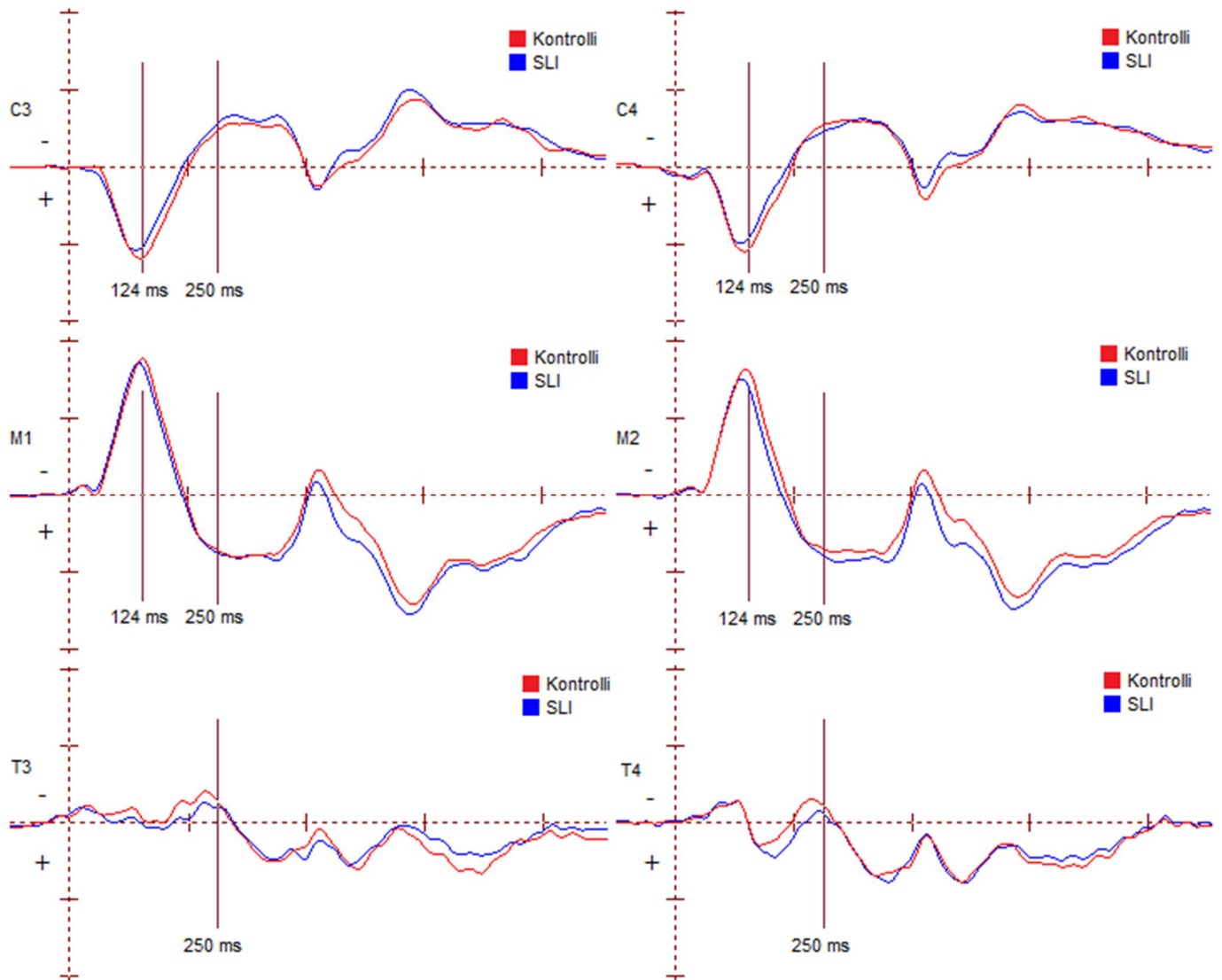
EEG-datan käsittelyn ja analysoinnin suoritti Kären (2012) ensimmäisen mittausajankohdan datalla käyttäen Brain Vision Analyzer -ohjelmaa (versio 2.0). Raakadata referoitiin keskiarvoistettuun referenssielektrodiin. Näytteenottotaajuus (engl. sampling rate) muutettiin 1000 hertsistä 500 hertsiin. Ylipäästösuodatin (engl. high-pass filter) asetettiin 0,5 hertsiin (12 db) ja alipäästösuodatin (engl. low-pass filter) 30 hertsiin (24 db). Lisäksi elektroniikan aiheuttama sähköhäiriö suodatettiin imusuodattimella (engl. notch filter), joka asetettiin 50 hertsiin. Silmänräpäysartefaktit korjattiin ohjelman itsenäisellä komponenttianalyysillä (engl. independent component analysis) (BrainProducts, 2009). Muut artefaktit korjattiin käyttäen ohjelman osittain automaattista korjaustoimintoa. Tällöin ± 175 mikrovoltin (μV) jännitearvon ylityksen sisältävät EEG-jaksot poistettiin 500 ms:n aikaikkunalla. EEG:tä hylättiin poikkeaman huippukohdan molemmin puolin 300 ms. Häiriöiden poiston jälkeen aineisto segmentoitiin ärsyketyypeittäin. Keskiarvo laskettiin jokaiselle ärsyketyypille erikseen käyttäen aikaväliä 100 ms ennen ärsykkeen esittämistä ja 910 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen (-100 ms – 910 ms). Baseline-ajankohdaksi asetettiin -100 ms. Referenssinä käytettiin kaikkien kanavien keskiarvoa. Yksilöiden keskiarvoista laskettiin ryhmätason keskiarvot ärsyketyypeittäin (engl. grand averages), paitsi standardiärsykkeen kohdalla käytettiin keskiarvoa, joka laskettiin molempia poikkeavia ärsykeitä edeltäneiden standardiärsykkeiden vasteista. Koehenkilöiden analyysihin sisällyttämisen kriteerinä pidettiin hyväksytyjen epokkien määrää; kumpiakin devianttiärsyke-epokkeja tulisi olla hyväksyttynä vähintään 100 ja standardiärsykkeen sisältäviä epokkeja niin ikään vähintään 100 kappaletta. Neljä koehenkilöä jäivät alle vaaditun epokkimäärän, mutta silmämääräisissä grand average -tarkasteluissa poikkeama osoittautui pieneksi, ja näiden koehenkilöiden data päätettiin hyväksyä mukaan analyysihin. Hyväksytyjen EEG-jaksojen määrä vaihteli standardiärsykkeen osalta välillä 58–125 ($x = 111$) ja devianttiärsykkeiden osalta välillä 55–124 ($x = 112$) ja ata1 osalta välillä 53–124 ($x = 112$).

Mittauksessa käytetyn elektrodimäärän vähäisyydestä (21 kpl) johtuen tarkkoja lähteenpaikannusanalyysijä ei voitu suorittaa. Aikarakenteen analysoinnin Kären (2012) sen sijaan suoritti temporaalisella pääkomponenttianalyysillä. Temporaalinen pääkomponenttianalyysi (engl. temporal principal component analysis, lyh. tPCA) on todettu toimivaksi keinoksi ryhmäerojen analysoimiseen ERP-datasta (Dien, Beal, & Berg, 2005). Temporaalinen pääkomponenttianalyysi perustuu matriisiin, josta rotatoimalla saadaan maksimaalisen varianssin selittävät pääkomponentit, joita voidaan kutsua myös faktoreiksi. Analyysi tiivistää datan sisältämän riippuvien muuttujien, kuten amplitudin tai polariteetin eri aikapisteissä, ajallisen vaihtelun komponentteihin ja laskee niille faktoripistemäärät, joita käytetään jatkoanalyysissä. Temporaalinen pääkomponenttianalyysi tehtiin IBM SPSS Statistics -tilasto-ohjelman 19.

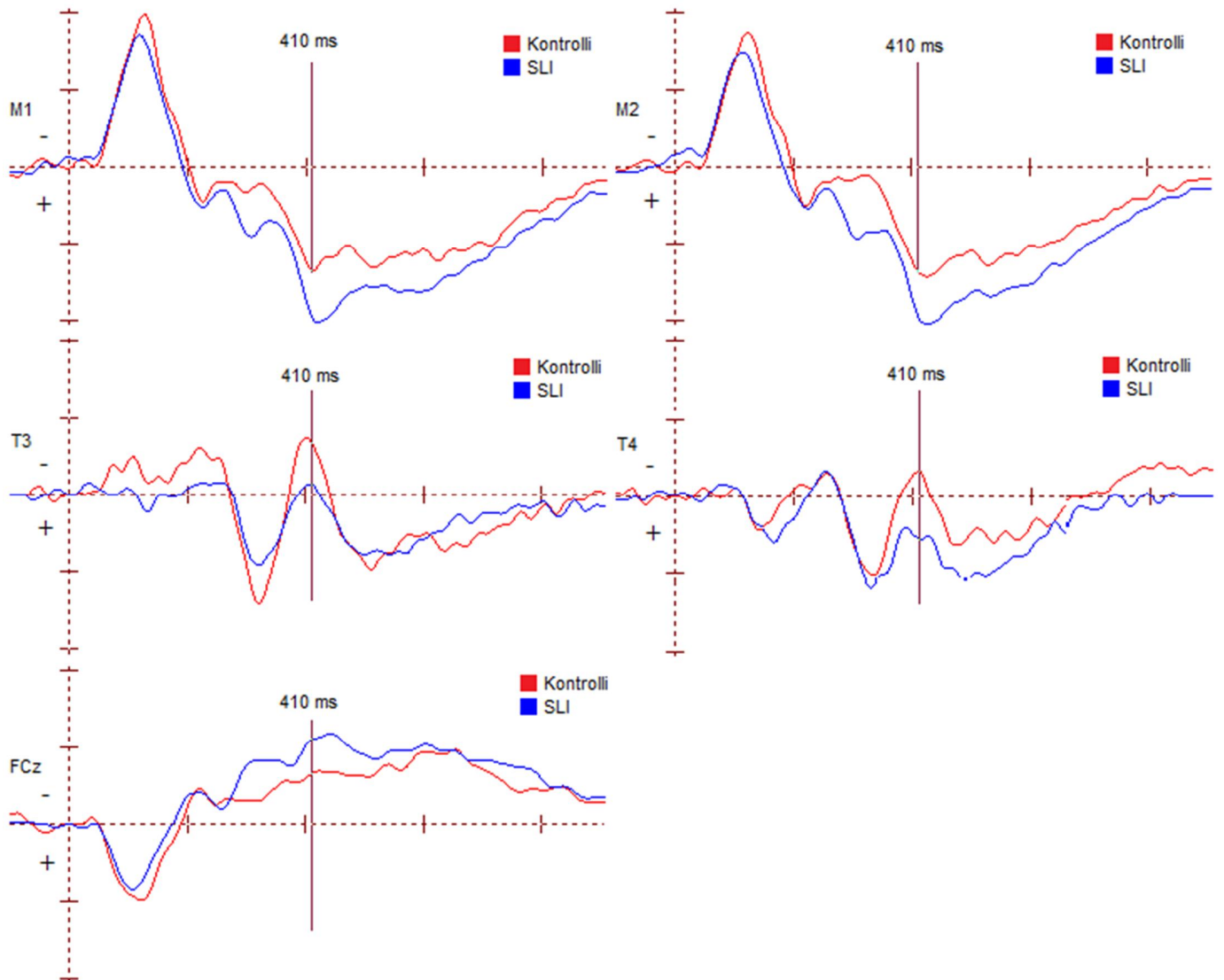
versiolla käyttäen suorakulmaista varimax-rotatointia. Temporaaლისen pääkomponenttianalyysin mukaan 46 pääkomponenttia selittivät 99 % aineiston varianssista. Prosessit, joista oltiin kiinnostuneita, olivat perus kuullun prosessointi ja muutoksen prosessointi. Perus kuullun prosessointia päätettiin tarkastella standardiin eli pitkään attaan (atta8) syntyvillä vasteilla ja tätä prosessointia edustamaan valittiin kaksi komponenttia. Ensimmäiseksi valittiin toinen temporaalinen pääkomponentti, joka ilmensi varianssia noin 124 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen täten edustaen P1-komponenttia. Tämän komponentin tarkasteluun valittiin frontosentraalikanavat C3, C4 sekä mastoidikanavat M1 ja M2. Toinen komponentti, joka valittiin edustamaan kuullun perusprosessointia oli neljäs temporaalinen pääkomponentti, joka ilmensi varianssia noin 250 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen täten edustaen N250-komponenttia. Tämän komponentin tarkasteluun valittiin frontosentraalikanavat C3 ja C4, mastoidikanavat M1 ja M2 sekä temporaalikanavat T3 ja T4. Muutoksen prosessointia päätettiin tarkastella lyhyeen deviantti ataan (ata1) syntyvillä vasteilla. Tätä prosessointia edustamaan valittiin viides temporaalinen pääkomponentti, joka ilmensi varianssia noin 410 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen täten edustaen MMN-vastetta, joka mahdollisesti päällekkäistyi N250-komponentin kanssa. Tämän komponentin tarkasteluun valittiin keskilinjakanava FCz, mastoidikanavat M1 ja M2 sekä temporaalikanavat T3 ja T4. Aikaisemman tutkimukseen mukaan kielelliseen erityisvaikeuteen liittyvät poikkeavuudet tapahtumasidonnaisissa herätevasteissa on havaittu fronto-sentraalisella alueella (Datta ym., 2010; Stevens ym., 2012) sekä temporaalialueella (Shafer ym., 2011; Tonnquist-Uhlen ym., 2003). Nämä kanavat siis nähtiin oleellisiksi tutkimuskysymyksen kannalta. Analyysihin valitut komponentit ja kanavat on esitetty taulukossa 3. Kuvioissa 1 ja 2 on havainnollistettu SLI- ja kontrollilasten standardiin ja devianttiin syntyvät jännitevasteet.

TAULUKKO 3. Tutkimuksessa käytetyt EEG-komponentit, niitä vastaavat temporaaliset pääkomponentit ja kanavat, joilta komponentteja tarkasteltiin.

Prosessi (ärsyke)		EEG-komponentti	tPCA-komponentti
Perus kuullun prosessointi (standardi atta)	Latenssi Komponentti Kanavat	124 ms P1 C3; C4; M1; M2	TF2
Perus kuullun prosessointi (standardi atta)	Latenssi Komponentti Kanavat	250 ms N250 C3; C4; M1; M2; T3; T4	TF4
Muutoksen prosessointi (deviantti ata)	Latenssi Komponentti Kanavat	410 ms MMN (N250) FCz; M1; M2; T3; T4	TF5



KUVIO 1. SLI- ja kontrollilasten standardiinatta-ärsykkeeseen syntyvät jännitevasteet.



KUVIO 2. SLI- ja kontrollilasten devianttiin ata-ärsykkeeseen syntyvät jännitevasteet.

2.4 Käyttäytymistason koeasetelma ja muuttujat

Alkuperäisessä kuntoutustutkimuksessa lapsia tutkittiin myös laajalla patteristolla erilaisia käyttäytymistason testejä. Tutkittuja kategorioita olivat audittiivinen erottelu, fonologinen prosessointi, puheen ymmärtäminen, puheen tuottaminen, muisti, tarkkaavaisuus ja kognitiivinen taso. Mittauksia suoritettiin ennen kuntoutusjaksoa (alkumittaukset), sen aikana, välittömästi sen jälkeen (loppumittaus) ja kuusi kuukautta sen päättymisestä (seurantamittaus). Tässä tutkimuksessa käytetään alkumittauksessa saatuja tuloksia, koska EEG-mittaukset suoritettiin niiden kanssa samanaikaisesti ja työn tavoitteena oli yhdistää tietoa

käyttäytymis- ja jännitevastetason mittareista koskien auditiivista prosessointia. Käyttäytymistason mittareista mukaan valikoitiin auditiivisen erottelun taidot, fonologinen prosessointi ja muistitesteistä epäsanojen toistaminen ja numerosarjojen muistaminen. Mittaukset toteutettiin lasten päiväkodeissa rauhallisessa ja hiljaisessa tilassa. Yhden tutkittavan osalta mittaukset tehtiin kuitenkin puheterapeutin vastaanotolla. Mittaukset suoritti joko psykologi tai puheterapeutti. Lasten huoltajat antoivat tietoisesti suostumuksensa lasten osallistumiselle ja testitulosten käyttämiselle tutkimustarkoituksiin.

Auditiivinen erottelu. Lasten auditiivisen erottelun taitoja mitattiin Bishopin kehittämällä tietokonepohjaisilla Dinosaurius-diskriminaatiotesteillä, joita on käytetty myös Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen Lapsen Kielen Kehitys -projektin tutkimuksissa (esim. Hämäläinen ym., 2009). Auditiivisia diskriminaatiotestejä oli yhteensä neljä. Ei-puheäänillä toteutetuissa testeissä mitattiin äänen keston, nousuajan ja taajuuden havaitsemista. Puheäänillä toteutetussa testissä mitattiin foneettisen keston (eke-ekke) havaitsemista. Kyseisissä testeissä tietokoneen ruudulla näkyi kolme eriväristä dinosaurusta. AXB-paradigman mukaisesti keskimääräinen dinosaurus (X) sanoi aina standardisanan tai -äänen ja satunnaisesti joko ensimmäisen (A) tai viimeisen (B) dinosauruksen sanoma sana tai ääni poikkesi standardista. Sanat tai äänet esitettiin 400 ms välein. Lapsen tehtävänä oli tunnistaa erilaisen sanan tai äänen sanonut dinosaurus. Tehtävät olivat adaptiivisia eli tietokone vaikeutti tai helpotti tehtävää sen mukaan, tunnistiko lapsi erilaisen äänen tai sanan sanoneen dinosauruksen vai ei. Jokaisessa tehtävässä lapsen suoriutuminen ilmoitettiin kynnyksisarvona, joka laskettiin neljän viimeisen käännöspisteen keskiarvona. Kynnyksiarvo merkitsi pienintä tasoa, jolla lapsi vielä kykeni erottamaan auditiivisten ärsykkeiden välisen eron. Se saattoi vaihdella välillä 0-20 siten, että pieni kynnyksiarvo kuvasi tarkkaa erottelukykä.

Fonologinen prosessointi. Lasten kykyä fonologiseen prosessointiin mitattiin standardoidulla Nepsy-testistön Fonologinen prosessointi -osatehtävällä (Korkman, Kirk, & Kemp, 1998), joka jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa lapselle näytettiin kolmen objektin kuvat ja sanottiin ne ääneen (esimerkiksi pankki, karkki, kortti). Sen jälkeen toistettiin jonkin sanan osa (esimerkiksi kar-) ja kysyttiin, mihin sanaan osa kuului. Lapsen tuli näyttää oikeaa sanaa vastaava kuva (karkki). Toisessa osassa lasta pyydettiin toistamaan perässä jokin sana (esimerkiksi limsapullo) ja sen jälkeen häntä pyydettiin toistamaan uudestaan kyseinen sana, mutta ilman sanan tiettyä osaa (esimerkiksi ”älä sano pullo”; lapsen pitäisi siis sanoa limsa). Tehtävän molemmat osat keskeytettiin, jos lapsi vastasi viiteen peräkkäiseen osioon väärin. Jokaisesta oikeasta vastauksesta lapsi sai yhden pisteen. Ensimmäisen osan maksimipistemäärä oli 14 ja toisen 22 eli koko tehtävän maksimi oli 36.

Epäsanojen toistaminen. Lasten fonologista lyhytkestoista muistia mitattiin Nepsy-testistön (Korkman ym., 1998) kuuluvalla Merkityksettömien sanojen toistaminen -osatestillä. Osatesti koostui 16

merkityksettömästä sanasta, joiden pituus oli 1-6 tavua (esim. nas, ustrupiini). Lapsi kuuli yhden merkityksettömän sanan kerrallaan nauhalta, ja hänen tehtävänä oli toistaa kuulemansa sana mahdollisimman tarkasti. Tehtävän tekeminen keskeytettiin, mikäli lapsi toisti väärin neljä peräkkäistä sanaa. Jokaisesta täysin oikein toistetusta sanasta lapsi sai yhden pisteen, jolloin maksimipistemäärä oli 16.

Numerosarjojen muistaminen. Lyhytkestoista kielellistä muistia ja työmuistia mitattiin standardoidulla WISC-III-testistön (Wechsler, 1995) Numerosarjat -osatestillä. Kyseinen osatesti jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa lapselle lueteltiin asteittain pidentyviä numerosarjoja, jotka lapsen tuli toistaa täsmälleen samassa järjestyksessä. Toisessa osassa lapselle lueteltiin taas asteittain pidentyviä numerosarjoja, mutta nyt lapsen täytyikin toistaa numerot päinvastaisessa järjestyksessä. Numerosarjat alkoivat kahden numeron sarjoista. Samanpituisia numerosarjoja lueteltiin aina kaksi kappaletta ennen kuin siirryttiin yhtä numeroa pidempään sarjaan. Tehtävä keskeytettiin, kun lapsi ei pystynyt toistamaan kumpaakaan sarjaa kahdesta samanpituisesta numerosarjasta. Lapsi sai yhden pisteen jokaisesta täsmälleen oikein toistetusta numerosarjasta. Ensimmäisen osan maksimipistemäärä oli 16 ja toisen osan 14 (koko tehtävän maksimi 30).

2.5 Tilastollinen analysointi

Tutkittavien jakaminen ryhmiin jännitevastetason muuttujien perusteella. Analyysin pohjana oli jaottelu, jossa kaikki koehenkilöt jaettiin temporaalisessa pääkomponenttianalyysissä saatujen fakotripistemäärien perusteella kolmeen suoritustasoryhmään. Koska jokaisen komponentin jokaisella kanavalla oli omat faktoripistemääränsä, tuli ryhmittely suorittaa jokaisen komponentin jokaisella kanavalla. Ryhmittely tehtiin huomioimatta sitä, kuuluiko koehenkilö SLI- vai kontrolliryhmään eli jokaisen koehenkilön ryhmä määräytyi puhtaasti hänen faktoripistemääränsä perusteella. Tässä jaottelussa ryhmä 1 tarkoitti epätyypillistä prosessointia ja ryhmä 3 tyypillistä prosessointia, ryhmä 2:en ollessa näiden kahden ryhmän välissä. Tyypillinen prosessointi tarkoitti kontrollien kaltaista prosessointia ja täten epätyypillinen tästä eniten poikkeavaa prosessointia. SLI- ja kontrollilasten jakautuminen näihin suoritustasoryhmiin selvitettiin ristiintaulukoinnilla ja χ^2 -testillä.

Tutkittavien jakaminen ryhmiin käyttäytymistason muuttujien perusteella. Tutkittavat jaettiin kolmeen suoritustasoryhmään myös käyttäytymistason muuttujien perusteella. Tällöin kaikista ryhmistä ei saatu täysin samansuuruisia, koska muuttujien varianssi oli niin pientä ja havainnot kasautuivat jakauman keskivaiheille. Luokittelu suoritettiin kuitenkin niin, että jokaisen kolmen ryhmän koko olisi

mahdollisimman lähellä 12:en tavoitelukua. Kohenkilöt siis jaettiin ryhmiin yksinkertaisesti testipistemäärän perusteella niin, että ryhmä 1:een tulivat pienimmän pistemäärän saaneet koehenkilöt ja vastaavasti ryhmä 3:een suurimmat pisteet saaneet koehenkilöt. Auditivisen erottelun taitojen kohdalla tulee huomioida, että ryhmät ja pistemäärät ovat käänteisessä järjestyksessä. Toisin kuin muissa mittareissa Dinosaurus diskriminaatiotestissä mahdollisimman pieni lukuarvo (kynnysarvo) oli osoitus hyvästä suoriutumisesta. Täten kaikissa jaotteluissa ryhmä 1 tarkoittaa epätyypillistä prosessointia ja ryhmä 3 tyypillistä prosessointia. Myös käyttäytymistason muuttujissa SLI- ja kontrollilasten jakautuminen ryhmiin selvitettiin ristiintaulukoinnilla ja χ^2 -testillä.

Korrelaatiot. Temporaalisten faktorien ja auditivisen prosessoinnin taitojen yhteyksiä selvitettiin myös Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimilla ryhmittelemättä koehenkilöitä. Tällä analyysillä haettiin siis yksinkertaisesti vastausta kysymykseen, korreloivatko temporaalisten faktorien faktoripistemäärät, joiden voidaan ajatella edustavan aivosähkökäyrän amplitudeja, auditivisen prosessoinnin taitoja mittaavien testien pistemääriin. Onko esimerkiksi niin, että tietyssä faktorissa (komponentissa) positiiviset faktoripistemäärät (amplitudit) tarkoittaisivat parempaa suoriutumista auditivisen prosessoinnin testeissä.

Varianssianalyysit ja t-testit. Analyysin viimeisessä vaiheessa kartoitettiin varianssianalyysillä löytyisikö temporaalisten faktorien mukaan muodostettujen ryhmien välillä suorituseroja auditivisen prosessoinnin taidoissa. Mikäli eroja löytyi, suoritettiin jatkotestaukset riippumattomien otosten t-testillä. Lopuksi suoritettiin vielä yksilöllisiä tarkasteluja niissä temporaalisisissa faktoreissa ja auditivisen prosessoinnin taidoissa, jotka olivat nousseet esille aineistosta.

3 TULOKSET

3.1 SLI- ja kontrollilasten jakautuminen käyttäytymis- ja jännitevastetason muuttujien mukaan muodostettuihin ryhmiin

Ensimmäisessä analyysissä tarkasteltiin ristiintaulukoinnilla ja χ^2 -testauksella, miten SLI- ja kontrollilapset jakautuvat käyttäytymis- ja jännitevastetason muuttujien mukaan muodostettuihin kolmeen suoritustasoryhmään. χ^2 -testaussuoritettiin niin, että ryhmiä 1 ja 3 verrattiin suoraan keskenään nelikenttäperiaatteella jättäen keskiryhmä eli ryhmä 2 vertailusta pois. Taulukossa 4 on raportoitu vertailut, joissa saavutettiin 0,05 merkitsevyytaso.

TAULUKKO 4. χ^2 -testit SLI- ja kontrollilasten jakautumisesta käyttäytymistason muuttujien mukaan muodostettuihin ryhmiin.

Käyttäytymistason muuttuja	χ^{2*}	p	Suoritumisero
Puheen keston erottelu	6,750	0,009	S < K
Äänen keston erottelu			
Äänen korkeuden erottelu			
Äänen nousuajan erottelu			
Fonologinen prosessointi A-osa			
Fonologinen prosessointi B-osa	13,307	0,000	S < K
Fonologinen prosessointi rp			
Fonologinen prosessointi sp	5,042	0,025	S < K
Epäsanojen toistaminen rp	13,333	0,000	S < K
Epäsanojen toistaminen sp	14,215	0,000	S < K
Numerosarjojen muistaminen etuperin	6,250	0,012	S < K
Numerosarjojen muistaminen takaperin	6,750	0,009	S < K
Numerosarjojen muistaminen rp	9,758	0,002	S < K
Numerosarjojen muistaminen sp	13,609	0,000	S < K

*df = 1

rp = raakapisteet

sp = standardipisteet

K = kontrolli

S = SLI

Auditiivisen erottelun taidoissa löytyi merkitsevä riippuvuus ainoastaan puheen keston erottelussa. Tulos oli odotetun suuntainen, koska kontrollien jakauma painottui matalan puheen keston erottelun kynnysarvon suuntaan, mikä tarkoittaa, että kontrollit olivat SLI-lapsia tarkempia puheen keston erottelussa.

Fonologisessa prosessoinnissa kaksi muuttujaa, B-osan pisteet ja osien yhdistetyt standardipisteet, saavuttivat tilastollisen merkitsevyyden. Riippuvuus oli odotetun suuntainen, koska SLI-lasten jakauma oli painottunut matalan pistemäärän suuntaan eli heidän fonologinen prosessointinsa oli kontrolleja heikompaa. A-osan pisteet ($\chi^2(1) = 2,904$, $p = 0,088$) ja yhdistetyt raakapisteet ($\chi^2(1) = 3,652$, $p = 0,056$) eivät aivan saavuttaneet analyysissa tilastollista merkitsevyyttä, mutta niiden osalta tuloksia voidaan pitää viitteellisinä.

Epäsanojen toistamisessa tulokset olivat hyvinkin odotetunlaiset, sillä sekä raaka- että standardipisteissä jakaumat erosivat merkittävästi toisistaan niin päin, että SLI-lasten jakauma oli painottunut matalan pistemäärän suuntaan. Tämän vertailun perusteella SLI-lapset olivat siis selkeästi kontrolleja heikompia epäsanojen toistamisessa.

Myös numerosarjojen muistamisessa tulokset olivat johdonmukaisesti sen suuntaisia, että SLI-lapset suoriutuivat kontrolleja heikommin. Kaikissa neljässä numerosarjojen muistamisen mittarissa SLI-lasten jakauma painoittui tilastollisesti merkittävästi matalan pistemäärän eli heikon numerosarjojen muistamisen suuntaan.

TAULUKKO 5. χ^2 -testit SLI- ja kontrollilasten jakautumisesta jännitevastetason muuttujien mukaan muodostettuihin ryhmiin.

Jännitevastetason muuttuja	χ^2^*	p	Suoritusero
TF2C3	5,042	0,025	S < K
TF2C4			
TF2M1			
TF2M2			
TF4C3	5,042	0,025	K < S
TF4C4			
TF4M1			
TF4M2			
TF4T3	5,042	0,025	K < S
TF4T4			
TF5FCz	6,171	0,013	S < K
TF5M1	4,444	0,035	K < S
TF5M2	4,444	0,035	K < S
TF5T3			
TF5T4			

*df = 1

K = kontrolli

S = SLI

TF = temporaalinen faktori

C3, C4, M1, M2, T3, T4 ja FCz = EEG-kanavat

Jännitevastetason muuttujia tarkasteltaessa yhteys löytyi kaikissa kolmessa faktorissa vähintään yhdellä kanavalla. Tässä yhteydessä tulee huomioida, että analyysissä on vertailtu puhtaasti temporaalisten pääkomponenttien faktoripistemääriä. Riippuvuuden suunta kertoo siis ainoastaan siitä, kumpi ryhmä on saanut amplitudiltaan pienempiä tai suurempia arvoja faktorissa kyseisellä kanavalla. Jännitevasteiden amplitudit vaihtelevat mittauskohdan ja latenssin mukaan positiivisen ja negatiivisen välillä, joten latenssin tyypillinen amplitudi on tulkittava komponentti- ja kanavakohtaisesti. Lisäksi on huomioitava, että amplitudiltaan liian suuri tai pieni jännitevaste voi myös olla merkki epätehokkaasta prosessoinnista. Toisin sanoen kohenkilöt voivat yli- tai alireagoida esitettyihin ärsykkeisiin. Esimerkiksi Leppänen ym. (2013) ovat löytäneet SLI-lapsilla kontroleihin verrattuna poikkeuksellisen voimakkaita amplitudeja N220-komponentissa auditiivisella oddball-paradigmalla suoritetuissa tutkimuksissa. Täten tässä tutkimuksessa käytetäänkin kontrollien jännitevasteita vertailukohtana, johon SLI-lasten jännitevasteita verrataan.

Standardiärsykkeeseen 124 ms latenssilla syntyvässä P1-komponentissa SLI- ja kontrollilasten välinen ero löytyi C3- ja M2-kanavilla. Vastaavasti standardiärsykkeeseen 250 ms latenssilla syntyvässä N250-komponentissa ero löytyi ainoastaan T3-kanavalla. Ottaen huomioon, että standardiärsykkeeseen syntyviä jännitevasteita tarkasteltiin kahdella eri komponentilla yhteensä kymmenellä eri kanavalla ja vain kolmella niistä löydettiin ryhmien välisiä eroja, ei tämän analyysin perusteella SLI- ja kontrollilasten perusprosessoinnissa näyttänyt olevan suuria eroja.

Sen sijaan devianttiärsykkeeseen 400 ms latenssilla syntyvässä MMN-vasteessa 0,05 merkitsevyytaso saavutettiin kolmella viidestä kanavasta: FCz, M1 ja M2. Huomionarvoista on, että myös kahdella muulla kanavalla eli temporaalikanavilla merkitsevyydet olivat viitteellisiä T3 ($\chi^2(1) = 3,556, p = 0,059$) ja T4 ($\chi^2(1) = 3,000, p = 0,083$). SLI- ja kontrollilasten devianttiärsykkeeseen syntyvät jännitevasteet erosivat siis vähintään viitteellisesti kaikilla tarkastelluilla viidellä kanavalla. Tämä analyysi antoi vahvaa näyttöä siitä, että SLI- ja kontrollilasten erot jännitevasteissa näkyvät etenkin poikkeavan ärsykkeen eli muutoksen prosessoinnissa ja jossain määrin myös standardiärsykkeeseen syntyvissä vasteissa eli perusprosessoinnissa.

3.2 Jännitevaste- ja käyttäytymistason muuttujien väliset korrelaatiot

Jännitevaste- ja käyttäytymistason muuttujien välistä yhteyttä selvitettiin myös Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimilla. Tällöin käytettiin luonnollisesti alkuperäisiä jatkuvia muuttujia ilman minkäänlaista ryhmittelyä eli korreloitiin faktoripistemääriä ja käyttäytymismittarien pistemääriä keskenään.

Korrelaatioita laskettiin kartoitusperiaatteella suuri määrä, jolloin kaikki jännitevastetason (15 kpl) ja käyttäytymistason muuttajat (14 kpl) korreloitiin keskenään eli yhteensä korrelaatioita laskettiin 210.

Ennen korrelaatioiden laskemista muuttujien jakaumille suoritettiin laatikko-jana-kuvio-tarkastelut mahdollisten poikkeavien havaintojen varalta. Korrelaatiokertoimiin vaikuttavia poikkeavia havaintoja oli kahdessa muuttujassa: äänenkorkeuden erottelussa ja fonologisen prosessoinnin raakapisteissä. Nämä poikkeavat havainnot siirrettiin lähemmäs jakauman päitä (riippuen siitä oliko poikkeava havainto jakauman ylä- vai alapäässä) säilyttäen havaintojen keskinäinen järjestys ja näiden muuttujien osalta korrelaatiot laskettiin korjatuilla muuttujilla. Taulukossa 6 on esitetty muuttujaparit, joissa korrelaatio saavutti 0,05 merkitsevyystason.

TAULUKKO 6. Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimet ja niiden merkitsevyydet käyttäytymis- ja jännitevastetason muuttujien välillä.

	Äänen keston erottelu	Fonologinen prosessointi B-osa	Fonologinen prosessointi sp	Epäsanojen toistaminen rp	Epäsanojen toistaminen sp
TF2C3		0,366*			
TF2C4		0,393*			
TF2M1		-0,392*			
TF2M2		-0,462*	-0,373*		
TF5M1				-0,332*	-0,376*
TF5M2				-0,347*	-0,373*
TF5T3	0,363*			-0,407*	-0,394*
TF5T4				-0,401*	-0,377*

* $p < 0,05$

rp = raakapisteet

sp = standardipisteet

TF = temporaalinen faktori

C3, C4, M1, M2, T3 ja T4 = EEG-kanavat

Auditiivisen erottelun taidoissa löytyi positiivinen korrelaatio äänen keston erottelun ja deviantin ärsykkeen MMN-vasteen T3-kanavan välille. Tässä kohtaa tulee huomioida, että Dinosaurus-diskriminaatiotestissä matala kynnysarvo on osoitus hyvästä suoriutumisesta tehtävässä. Täten amplitudin muuttuessa negatiivisemmaksi testin pistemäärä laskee, mikä tarkoitti parempaa äänen keston erottelun

kynnysarvoa koehenkilön jännitevasteen muuttuessa negatiiviseen suuntaan. Täten yhteyden suunta on odotetunlainen, koska deviantin ärsykkeen MMN-vaste T3-kanavalla on kontrolleilla negatiivisempi kuin SLI-lapsilla. Tyypillinen jännitevastetason prosessointi oli siis yhteydessä parempaan äänen keston erottelukykyyn. Huomionarvoista on, että samassa komponentissa samalla kanavalla mitattuna puheen keston erottelussa löytyi viitteellisesti merkitsevä korrelaatio ($r = 0,316$, $p = 0,061$), joka on tärkeää siksi, että ristiintaulukoinneissa (taulukko 4) löydettiin kontrollien SLI-lapsia matalampi puheen keston erottelun kynnys. Korrelaation suunta on myös odotetunlainen, koska sen tulkinta on sama kuin äänen keston erottelussa.

Myös fonologisessa prosessoinnissa löytyi yhteys jännitevaste- ja käyttäytymistason välille. Näin kävi etenkin tehtävän B-osassa, jonka pistemäärä korreloi positiivisesti standardiärsykkeen P1-komponentin kanavien C3 ja C4 kanssa sekä negatiivisesti kanavien M1 ja M2 kanssa. Tämä siis tarkoittaa, että sentraalikanavilla amplitudin kasvaessa myös tehtävän pistemäärä kasvaa, mikä on odotetunlaista, koska 124 ms latenssilla sentraalikanavilla kontrollien amplitudit ovat SLI-lapsia positiivisempia. Tyypillinen jännitevaste tarkoitti siis parempaa pistemäärää fonologisen prosessoinnin tehtävässä. Vastaavasti 124 ms latenssilla mastoidikanavilla kontrollien amplitudit ovat SLI-lapsia negatiivisempia ja näillä kanavilla löytyikin negatiivinen korrelaatio eli amplitudin pienentyessä tehtävän pistemäärä kasvoi. Tyypillinen prosessointi tarkoitti siis parempaa pistemäärää fonologisen prosessoinnin tehtävässä. M2-kanavalla löytyi myös negatiivinen korrelaatio standardipisteisiin, joka on odotetunlainen. Mielenkiintoista on, että ristiintaulukointi antoi viitteellistä näyttöä SLI-lasten huonommasta suoriutumisesta myös tehtävän A-osassa, mutta korrelaatioissa A-osan tulokset eivät olleet edes viitteellisesti yhteydessä jännitevasteisiin. Täten voi myös olla, että standardiärsykkeen M2-kanavalta mitatun P1-komponentin ja fonologisen prosessoinnin standardipisteiden yhteys ilmeni ainoastaan B-osan vahvan korrelaation ansiosta.

Epäsanojen toistamisessa tulokset olivat odotetunlaiset tässäkin analyysissa. Epäsanojen toistamisen raaka- ja standardipisteiden ja deviantin ärsykkeen MMN-vasteen kaikkien mastoidi- ja temporaalikanavien välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio. Tämä tarkoittaa, että faktoripistemäärän eli amplitudin muuttuessa negatiivisemmaksi näillä kanavilla epäsanojen toistamisen pisteet nousivat ja vastaavasti faktoripistemäärän muuttuessa positiivisemmaksi pisteet laskivat. Mastoidi- ja temporaalikanavilla kontrollien MMN-vaste on amplitudiltaan negatiivisempi SLI-lapsiin verrattuna eli pienempi faktoripistemäärä on osoitus tyypillisestä prosessoinnista. Myös tämä analyysi antoi siis näyttöä SLI-lasten kontrolleja heikommasta epäsanojen toistamisesta ja siitä, että ongelmat näkyvät myös jännitevastetasolla muutoksen prosessoinnissa.

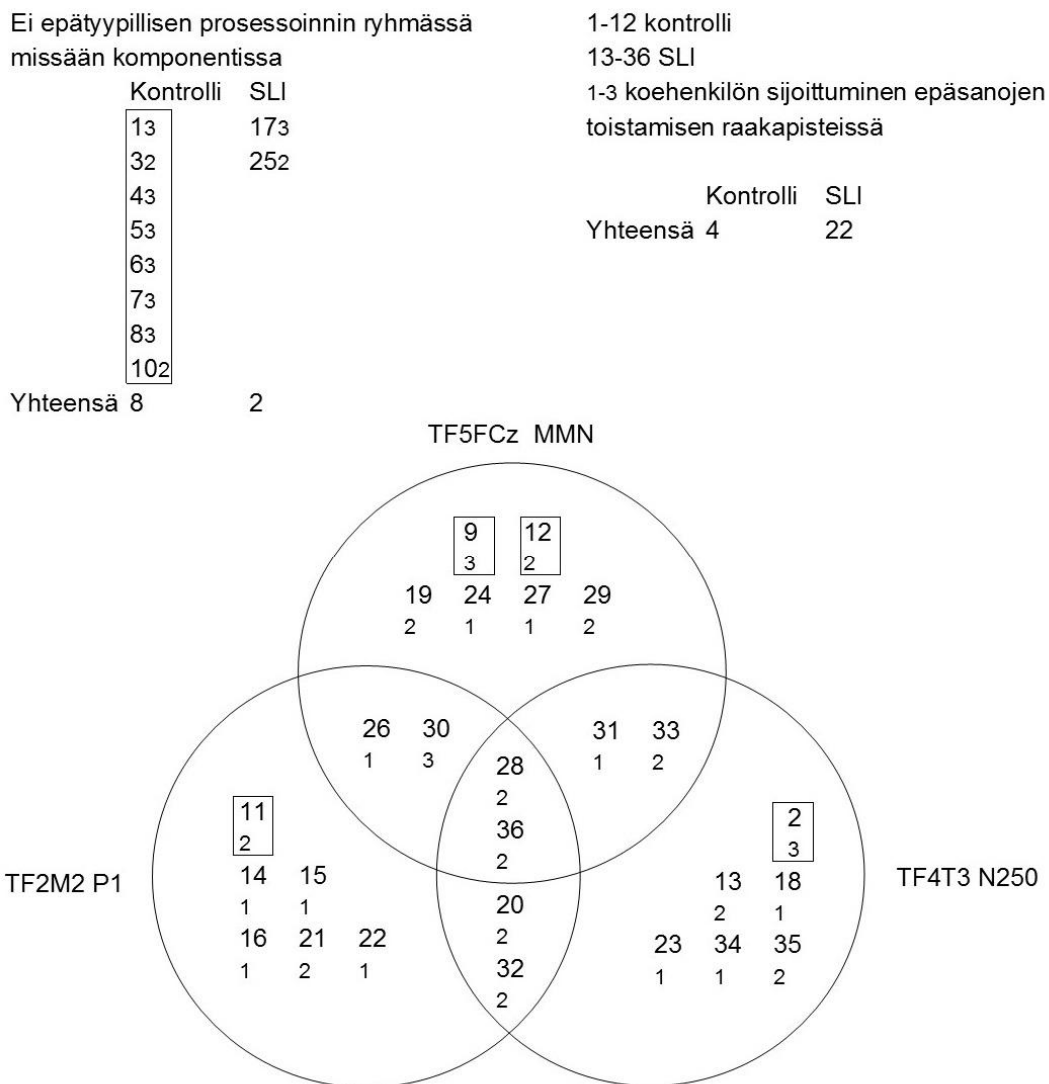
3.3 Jännitevastetason ryhmien suoriutuminen käyttäytymistasolla

Varianssianalyysejä suoritettiin aluksi suuri määrä kartoitusperiaatteella, koska suoriutumista kaikissa käyttäytymistason muuttujissa tarkasteltiin jokaisen temporaalisen faktorin jokaisen kanavan mukaan tehdyssä ryhmityksessä. Käyttäytymistason muuttujia oli 14 ja kanavia kolmessa temporaalisessa faktorissa yhteensä 15 (taulukko 3), joten suoritettiin 210 varianssianalyysia. Ryhmän vaikutus 0,05:n merkitsevyystasolla saavutettiin seitsemässä analyysissa, joiden analysointia jatkettiin riippumattomien otosten t-testillä, joissa ryhmiä 1 ja 3 verrattiin keskenään jättäen ryhmä 2 pois vertailuista. Tilastollinen merkitsevyys löytyi epäsanon toistamisen raakapisteissä MMN-vasteen kanavilla FCz ($t(22) = -2,146$, $p = 0,043$), M2 ($t(22) = -2,989$, $p = 0,007$) ja T3 ($t(22) = -2,291$, $p = 0,032$) sekä epäsanon toistamisen standardipisteissä kanavalla M2 ($t(22) = -3,136$, $p = 0,005$). Huomionarvoista on, että yhteydet löytyivät deviantin ärsykkeen MMN-vasteessa, mutta standardiärsykkeen P1- ja N250-komponenteissa yhteyksiä ei löytynyt. Toisin sanoen yhteyksiä löytyi vain muutoksen prosessoinnissa mutta ei perusprosessoinnissa.

Menetelmällisen monipuolisuuden vuoksi samat analyysit suoritettiin myös toisinpäin eli millaiset jännitevasteamplitudit oli käyttäytymistason mittareiden mukaan muodostetuissa ryhmissä. Analyysi eteni aivan samalla tavalla kuin ensimmäisessäkin vertailussa eli varianssianalyyseja suoritettiin aluksi 210 kappaletta, kun kaikkien temporaalisten faktorien kaikkia kanavia verrattiin kaikissa käyttäytymistason muuttujissa. Näissä varianssianalyyseissa löydettiin 16 yhteyttä, joiden tarkastelua jatkettiin t-testeillä, jossa ryhmiä 1 ja 3 verrattiin suoraan keskenään jättäen ryhmä 2 pois tarkasteluista. Analyysissa ei missään vertailussa saavutettu 0,05 merkitsevyystasoa, mutta äänen keston erottelun kynnyksarvossa MMN-vasteen T3-kanavan ryhmät erosivat toisistaan juuri 0,05 merkitsevyystasolla ($t(22) = -2,071$, $p = 0,05$). Ryhmän 3 faktoripistemäärät olivat pienempiä kuin ryhmän 1, eli äänenkeston erottelun pienen kynnyksarvon omaavien kohenkilöiden (ryhmä 3) jännitevasteet olivat negatiivisempia, mikä on odotetunlaista, koska tässä komponentissa tältä kanavalta mitattuna negatiivinen amplitudi on osoitus tyypillisestä prosessoinnista.

Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää auditiivisen prosessoinnin taitojen yksilöllisyyttä käyttäytymis- ja jännitevastetasolla. Tätä selvitettiin tarkastelemalla, että jos tutkittavan epätyypillinen prosessointi jossakin jännitevasteekomponentissa oli yhteydessä heikkoon epäsanon toistamiseen, niin näkyisikö tämä prosessoinnin epätyypillisuus myös muissa jännitevasteekomponenteissa. Käyttäytymistason mittareista tarkasteluun valittiin nimenomaan epäsanon toistaminen, koska sen heikkous ja yhteys epätyypilliseen poikkeavan ärsykkeen prosessointiin nousi aineistossa järjestelmällisesti esille. Tässä analyysissa haluttiin siis puhtaasti vertailla keskenään kaikkien kohenkilöiden yksilöllisiä jännitevaste- ja käyttäytymisprofiiileja ja täten katsoa ryhmäkeskiarvoja pidemmälle. Ensimmäiseksi muuttujaksi

tarkasteluun valittiin varianssianalyysissä ilmennyt MMN-vasteen FCz-kanava, koska siinä löytyi merkittäviä eroja jännitevastemuuttujien mukaan muodostettujen ryhmien 1 ja 3 välille epäsanojen toistamisessa. MMN-vaste liittyy muutoksen prosessointiin ja jotta vertailussa saataisiin myös tietoa perusprosessoinnista, otettiin tarkasteluun kahdeksi muuksi muuttujaksi P1-komponentin M2-kanava ja N250-komponentin T3-kanava, koska ristiintaulukoinnissa oltiin havaittu kontrollien ja SLI-lasten jakaumien eroavan näissä komponenteissa (taulukko 5). Kuviossa 3 on kuvattu tutkittavien sijoittuminen epätyypillisen prosessoinnin ryhmään (ryhmä 1) näissä kolmessa komponentissa, sekä heidän ryhmänsä epäsanojen toistamisen raakapisteissä.



KUVIO 3. Tutkittavien jakautuminen epätyypillisiin ryhmiin TF2M2, TF4T3 ja TF5FCz komponenteissa sekä sijoittuminen ryhmiin epäsanojen toistamisen raakapisteissä.

TAULUKKO 7. Koehenkilöiden jakautuminen epätyypillisiin ryhmiin TF2M2, TF4T3 ja TF5FCz komponenteissa.

	Kontrolli		SLI	
	n	%	n	%
Ei epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä missään komponentissa	8	66,7	2	8,3
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 1/3 komponentissa	4	33,3	14	58,3
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 2/3 komponentissa	0	0	6	25
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 3/3 komponentissa	0	0	2	8,3
Yhteensä	12	100	24	100

Kuviosta 3 ja taulukosta 7 nähdään, että komponenteissa joissa havaittiin SLI-lasten jakauman painotus epätyypillisen jännitevastetason prosessoinnin suuntaan, on jossain määrin samoilla koehenkilöillä taipumus kuulua epätyypillisen prosessoinnin ryhmiin eri komponenteissa. SLI-lapsista neljännes kuului epätyypillisen prosessoinnin ryhmään kahdessa komponentissa ja kaksi kaikissa kolmessa komponentissa. Vastaavat luvut kontrolleilla olivat molemmat nolliä eli kontrollit kuuluivat epätyypillisen prosessoinnin ryhmään korkeintaan yhdessä komponentissa. Merkityksellistä on myös, että tutkittavista jotka eivät kuuluneet missään komponentissa epätyypillisen prosessoinnin ryhmään, kukaan ei myöskään kuulunut heikoimpaan ryhmään epäsanojen toistamisessa. Kaikki epäsanojen toistamisessa heikoimpaan ryhmään kuuluneet kuuluivat siis myös epätyypillisen prosessoinnin ryhmään vähintään yhdessä komponentissa. Toisaalta niistä kahdeksasta tutkittavasta, jotka kuuluivat epätyypillisen prosessoinnin ryhmään kahdessa tai kolmessa komponentissa, ainoastaan kaksi, eli neljännes, kuului heikoimpaan ryhmään epäsanojen toistamisessa. Toisaalta vain yksi heidän kuului parhaaseen ryhmään.

Menetelmällisen monipuolisuuden vuoksi vastaanvanlaisia analyyseja suoritettiin myös muilla komponenteilla, joissa oli löytynyt jännitevasteryhmien välinen ero epäsanojen toistamisessa tai SLI- ja kontrollilapsien jakaumien erilaisuus ristiintaulukoinnissa. Varianssianssianalyyseissa näitä komponentteja olivat MMN-vasteen kanavat M2 ja T3 sekä ristiintaulukoinneissa P1-komponentin C3-kanava ja MMN-vasteen kanavat M1 ja M2. Allaolevissa taulukoissa on raportoitu komponenttien erilaisten yhdistelmien jakaumia.

TAULUKKO 8. Koehenkilöiden jakautuminen epätyypillisiin ryhmiin TF2M2, TF4T3 ja TF5M2 komponenteissa.

	Kontrolli		SLI	
	n	%	n	%
Ei epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä missään komponentissa	9	75	3	12,5
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 1/3 komponentissa	2	16,7	12	50
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 2/3 komponentissa	1	8,3	7	29,2
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 3/3 komponentissa	0	0	2	8,3
Yhteensä	12	100	24	100

TAULUKKO 9. Koehenkilöiden jakautuminen epätyypillisiin ryhmiin TF2M2, TF4T3 ja TF5T3 komponenteissa.

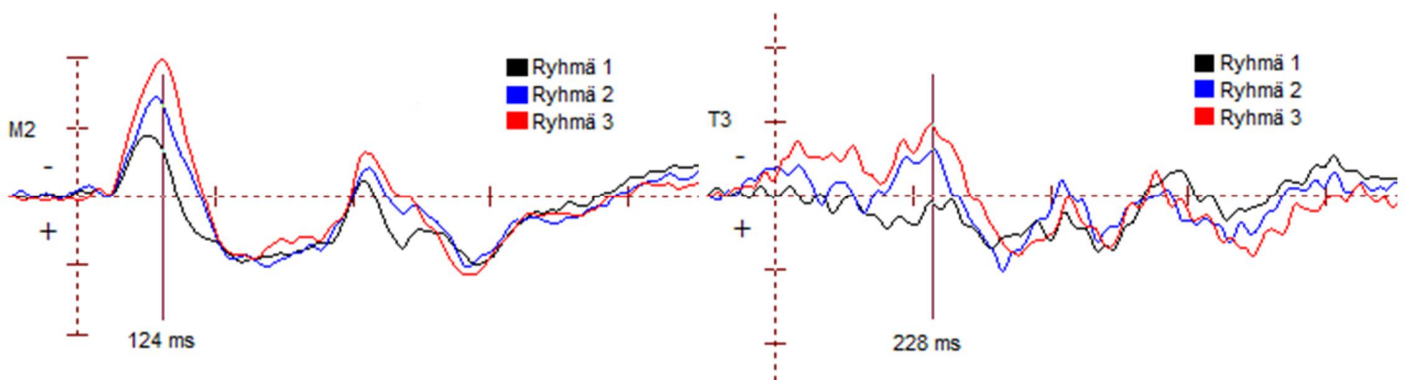
	Kontrolli		SLI	
	n	%	n	%
Ei epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä missään komponentissa	9	75	5	20,8
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 1/3 komponentissa	3	25	7	29,2
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 2/3 komponentissa	0	0	10	41,7
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 3/3 komponentissa	0	0	2	8,3
Yhteensä	12	100	24	100

TAULUKKO 10. Koehenkilöiden jakautuminen epätyypillisiin ryhmiin TF2C3, TF4T3 ja TF5FCz komponenteissa.

	Kontrolli		SLI	
	n	%	n	%
Ei epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä missään komponentissa	8	66,7	2	8,3
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 1/3 komponentissa	4	33,3	13	54,2
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 2/3 komponentissa	0	0	8	33,3
Epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä 3/3 komponentissa	0	0	1	4,2
Yhteensä	12	100	24	100

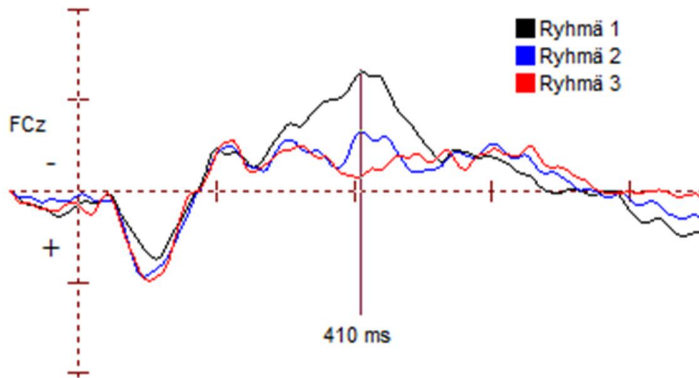
Taulukot 7, 8, 9 ja 10 osoittavat, että SLI-lasten osalta monet yhdessä komponentissa epätyypillisen prosessoinnin ryhmässä olevat tutkittavat ovat sitä myös muissa komponenteissa, vaikka jakaumissa on luonnollisesti vaihteluakin ja monet tutkittavat kuuluvat epätyypillisen prosessoinnin ryhmään korkeintaan yhdessä komponentissa. Tarkastelut osoittavat myös sen, että profiileissa on yksilöllistä vaihtelua, eikä jännitevasteiden ja epäsanojen toistamisen avulla kyetä aukottomasti erottelemaan SLI- ja kontrollilapsia.

Tulosten havainnollistamiseksi piirrettiin ensimmäisen komponenttiyhdistelmän (TF2M2, TF4T3 ja TF5FCz) grand average -kuvaajat ja jännitevastetopografiat niin, että jokaisen komponentin kolme ryhmää on esitetty yhdessä kuviossa. Huomionarvoista on, että N250-vasteen huippu saavutettiin tässä aineistossa noin 228 ms latenssilla.

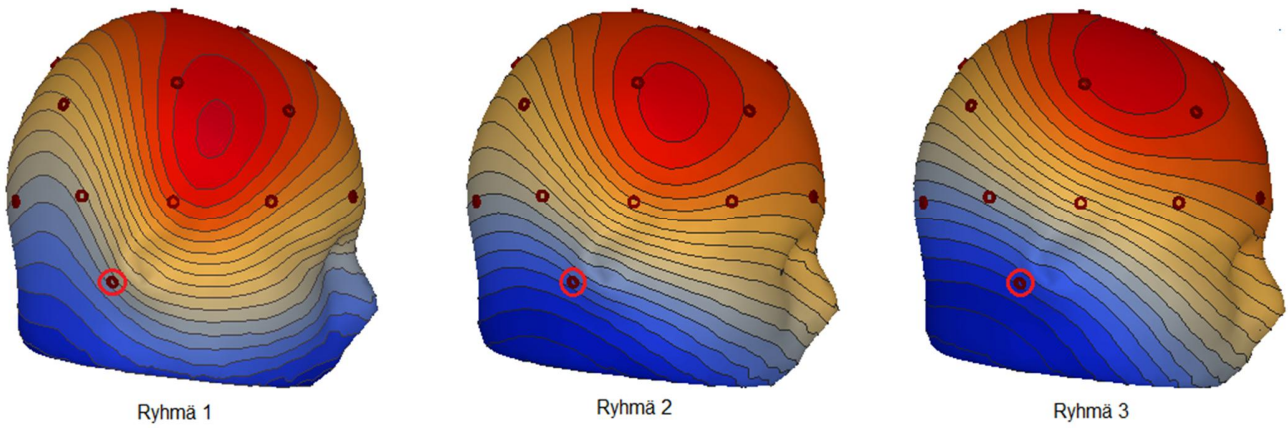


KUVIO 4. TF2M2 mukaan muodostettujen ryhmien (n = 12) grand average -kuvaajat.

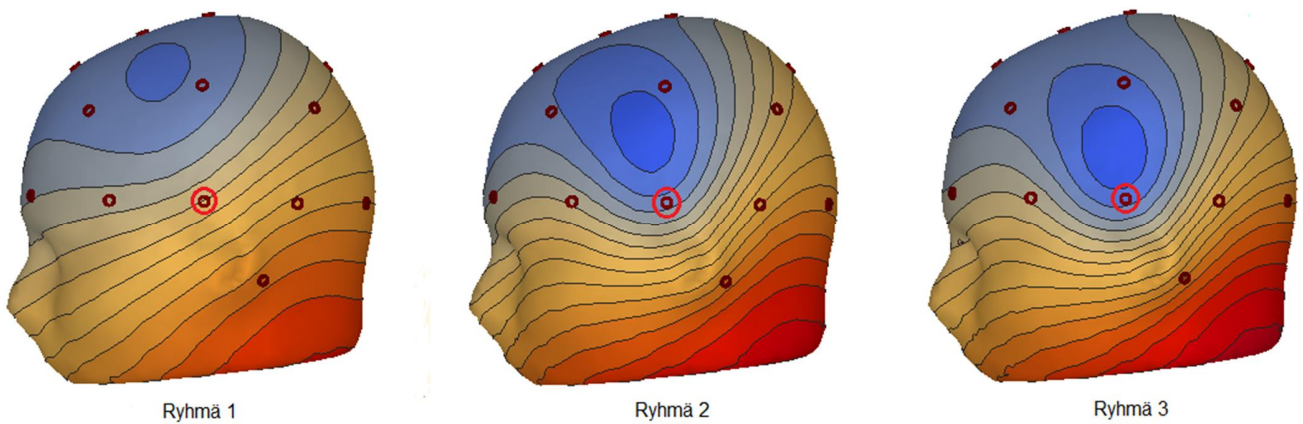
KUVIO 5. TF4T3 mukaan muodostettujen ryhmien (n = 12) grand average -kuvaajat.



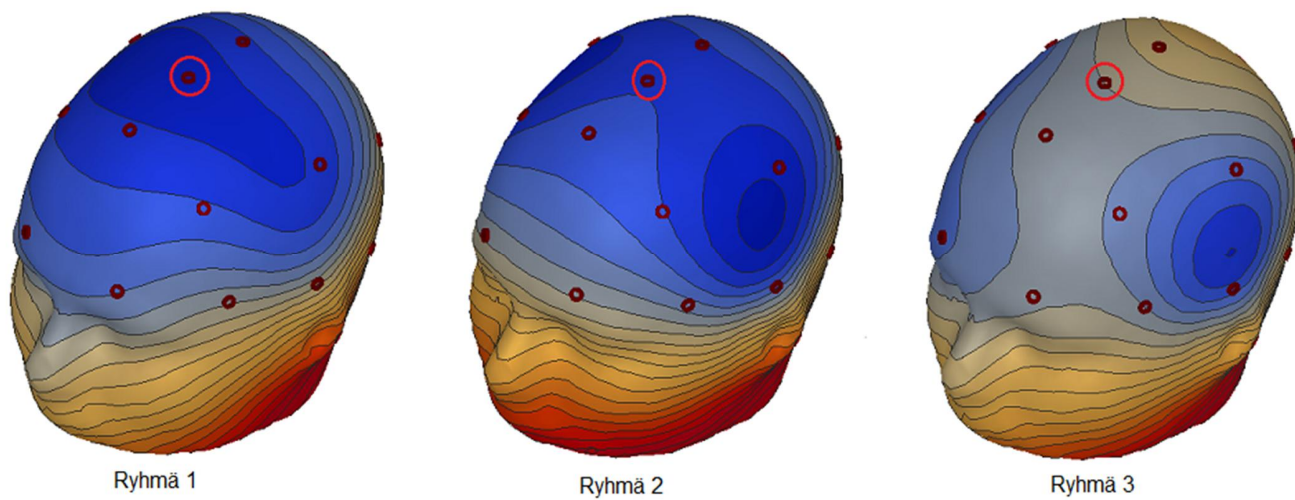
KUVIO 6. TF5FCz mukaan muodostettujen ryhmien (n = 12) grand average -kuvaajat.



KUVIO 7. TF2M2 mukaan muodostettujen ryhmien (n = 12) jännitevastetopografiat 124 ms latenssilla. Kanava merkattu punaisella ympyrällä.



KUVIO 8. TF4T3 mukaan muodostettujen ryhmien (n = 12) jännitevastetopografiat 228 ms latenssilla. Kanava merkattu punaisella ympyrällä.



KUVIO 9. TF5FCz mukaan muodostettujen ryhmien ($n = 12$) jännitevastetopografiat 410 ms latenssilla. Kanava merkattu punaisella ympyrällä.

4 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää 4–7-vuotiaiden SLI- ja kontrollilasten auditiivisen prosessoinnin taitoja käyttäytymis- ja jännitevastetasolla. Lisäksi haluttiin selvittää näiden kahden tason välisiä yhteyksiä sekä niiden koehenkilökohtaista yksilöllisyyttä.

Auditiivisen prosessoinnin taitojen kartoituksessa SLI- ja kontrollilasten välillä osa tuloksista oli odotetunmukaisia ja osa ei. SLI-lasten kontrolleja heikompi epäsanojen toistaminen on tutkimuksessa johdonmukaisesti raportoitu ilmiö (Estes ym., 2007) ja se sai vahvistusta myös tässä tutkimuksessa. Epäsanojen toistaminen oli parhaiten SLI- ja kontrollilapset erotteleva auditiivisen prosessoinnin taito, koska sen raaka- ja standardipisteet saavuttivat järjestelmällisesti tilastollisen merkitsevyyden kaikissa analyysin vaiheissa: ristiintaulukoinneissa, korrelaatioissa ja varianssianalyyseissa. Lisäksi tämä tutkimus antoi näyttöä, että epäsanojen toistamisen heikkous oli yhteydessä MMN-vasteeseen eli muutoksen prosessointiin. Yhteydet perustason prosessointiin eli P1- ja N250-komponentteihin ovat heikot, vaikka koehenkilöiden yksilöllisessä tarkastelussa monet P1- ja N250-komponenteissa epätyypillisen prosessoinnin ryhmissä olleet koehenkilöt kuuluivat myös huonoimman suoriutumisen ryhmään epäsanojen toistamisessa. Näistä kummankaan komponentin kanssa epäsanojen toistamisella ei ollut korrelaatiota. Vahvimmat yhteydet löytyivät huonon epäsanojen toistamisen ja epätyypillisen MMN-vasteen välille.

Tämä tutkimus antoi myös jotain näyttöä fonologisen prosessoinnin heikkoudesta SLI-lapsilla (Claessen ym., 2013; Vandewalle ym., 2012). Ristiintaulukoinneissa tulokset eivät oleet aivan yhtä johdonmukaiset kuin epäsanojen toistamisessa ja numerosarjojen muistamisessa, mutta ristiintaulukoinneissa puolet muuttujista saavuttivat merkitsevyydestä kontrollien eduksi. Huomionarvoista tosin on, että toinen puoli pääsi hyvin lähelle 0,05:n merkitsevyydestä, joten niidenkin osalta tulosta voidaan pitää viitteellisenä. Korrelaatioissa fonologisen prosessoinnin tehtävän B-osalla löytyi merkitsevä korrelaatio P1-komponenttiin kaikilla neljällä kanavalla (C3, C4, M1 ja M2). Ristiintaulukoinnissa SLI- ja kontrollilapset erosivat toisistaan P1-komponentin suhteen C3- ja M2-kanavilta mitattuna, mutta eivät C4- ja M1-kanavilla. Tämä tulos ei sikäli ole optimaalinen, että C3- ja M2-kanavat sijaitsevat eri hemisfääreillä ja jos jännitevasteeltaan poikkeavat elektrodit olisivat olleet samalla hemisfäärillä, olisi ilmiön voitu päätellä olevan lateralisoitunut. Nyt voidaan varauksellisesti sanoa, että SLI-lasten fonologisen prosessoinnin ongelmat ovat yhteydessä auditiivisen ärsyksen perusprosessointiin. Huomionarvoista on, että tehtävän A-osalla ei ollut lainkaan yhteyksiä jännitevasteisiin. Mielenkiintoiseksi asian tekee se, että tehtävän A-osassa lapsen tulee näyttää kuvaa, johon ääneen lausuttu sanan osa kuuluu ja B-osassa heidän tulee toistaa itse ääneen sanan osa jättäen

siitä joku toinen osa pois. Epäsanojen toistaminenhan on SLI-lapsilla tutkimuksessa järjestelmällisesti raportoitu heikkous (Estes ym., 2007), joten voi olla, että sanojen toistaminen ylipäätään on heille ongelmallista. Tässä tutkimuksessa ei valitettavasti eritelty kielellisen erityisvaikeuden ekspressiivistä ja reseptiivistä alatyyppejä, koska kuvatonlainen ongelma voisi liittyä nimenomaan häiriön ekspressiiviseen alatyyppiin. Varianssianalyseissa jännitevasteiden mukaan muodostettujen ryhmien välillä ei löydetty suorituseroja fonologisessa prosessoinnissa, mikä toisaalta kertoo vain siitä, että fonologisen prosessoinnin tehtävän pistemäärä ei ollut yhteydessä jännitevasteisiin. Löydös on mielenkiintoinen myös SLI-populaation heterogeenisyyden ja kognitiivisten profiilien yksilöllisyyden kannalta. Se antaa viitettä siitä, että SLI-lapsilla on ongelmia tietyllä fonologisen prosessoinnin alueella, mutta ei kaikilla. Jos fonologisen prosessoinnin testien tuloksia käsitellään yhtenä nippuna, saa tämä yksi osa-alue mahdollisesti näyttämään kaiken fonologisen prosessoinnin heikentyneen.

Myös SLI-lasten kontrolleja heikommalle numerosarjojen muistamiselle (Archibald & Gathercole, 2006; Conti-Ramsden, 2003; Gray, 2003) saatiin näyttöä tästä tutkimuksesta, joka kertoo SLI-lasten heikentyneestä kielellisestä työmuistista. Ristiintaulukoinneissa SLI-lasten jakauma oli painottunut matalamman pistemäärän suuntaan kaikissa neljässä numerosarjojen muistamisen muuttujassa. Korrelaatioissa ja varianssianalyseissa numerosarjojen muistaminen ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä eli huono numerosarjojen muistaminen ei näkynyt epätyypillisenä prosessointina jännitevastetasolla, vaan se oli ainoastaan yhteydessä SLI-diagnosiin. Tutkimuksen perusteella voidaan siis sanoa, että kielellinen työmuisti on SLI-lapsilla heikentynyt.

Auditiivisen erottelun taitojen osalta tulokset eivät juurikaan olleet linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Ristiintaulukoinnissa tilastollinen merkitsevyys saavutettiin ainoastaan puheen keston erottelun kynnyksarvossa. Muissa erottelutaidoissa ei päästy edes lähelle 0,05:n merkitsevyystasoa. Ainakin äänentaajuuden erottelussa on SLI-lapsilla raportoitu kontrolleja huonompaa suoriutumista (McArthur & Bishop, 2004a; Ors ym., 2002; Uwer ym., 2002) ja Corriveau ym. (2007) myös nousuajan erottelussa. Toisaalta tutkimustietoa SLI-lapsilla on vielä melko vähän. Dyslektikoilla äänen nousuajan ja keston erottelun vaikeudet on raportoitu järjestelmällisesti (Goswami ym., 2002; Muneaux ym., 2004; Richardson ym., 2004; Surányi ym., 2009), joten tämän tutkimuksen tulokset tukevat SLI- ja dyslektikko-lasten samankaltaisia auditiivisen erottelun profiileja ainoastaan äänen keston erottelun osalta. Mielenkiintoista on, että äänen keston erottelun ja MMN-vasteen välille löytyi tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ja puheen keston erottelussakin korrelaatiota voidaan pitää viitteellisesti merkittävänä. Tietyin varauksin voitaisiin siis sanoa, että puheen keston erottelu on SLI-lapsilla kontrolleja heikompaa ja tämä näkyy myös jännitevasteissa muutoksen prosessoinnissa. Varianssianalyseissa ei kuitenkaan löydetty eroja

jännitevasteiden mukaan muodostettujen ryhmien välille puheen tai äänen keston erottelussa. Ei-kielellisissä auditiivisen erottelun taidoissa ei siis löydetty eroja SLI-lasten ja kontrollien välille, mutta tutkimusta aiheesta on vielä todella vähän ja sitä tarvitaan lisää.

Tutkittaessa ryhmien eroamista jännitevasteissa vahvimmat erot kontrollien ja SLI-lasten välille löydettiin muutoksen prosessoinnissa. MMN-vastetta edustavassa faktorissa merkitsevyys löytyi kolmella viidestä kanavasta ja kahden muunkin kanavan osalta merkitsevyystasot olivat viitteellisiä. Näyttäisi siis siltä, että tässä aineistossa SLI- ja kontrollilasten erot tulivat selkeimmin näkyviin nimenomaan muutoksen prosessoinnissa ja sillä oli myös vahvimmat yhteydet käyttäytymistason muuttujissa suoriutumiseen, etenkin epäsanojen toistamiseen. Tutkimuksen mukaan siis epäsanojen toistamisen heikkous yhdistettynä epätyypilliseen MMN-vasteeseen on SLI- ja kontrollilapset varmimmin erotteleva merkki.

Perustason prosessoinnissa tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi P1-komponentissa kahdella kanavalla neljästä ja N250-komponentissa yhdellä kuudesta. Tämä tulos on yhteneväinen Stevensin ym. (2002), kanssa, jotka löysivät SLI-lasten ja kontrollien eron 100-200 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen esiintyvissä komponenteissa ainoastaan ärsykkeiden esittämisen välisen ajan ollessa hyvin lyhyt (200 ms), kun se tässä tutkimuksessa oli kaikissa tapauksissa 610 ms. Stevens ym. (2002) eivät löytäneet eroja 500 ms ja 1000 ms esitysväleillä. Toisaalta P1- ja N250-komponenteissa on saatu myös näyttöä SLI- ja kontrollilasten erisuuruuksista amplitudeista (Bishop ym., 2007; McArthur & Bishop, 2005; Neville ym., 1993; Shafer ym., 2007). Tutkimukset ovat tosin hyvin vaihtelevia otoskoon, diagnostisen kriteerien, ikäryhmän ja käytettyjen ärsykkeiden suhteen. Lisäksi ongelmat ovat saattaneet esiintyä vain tietyllä alaryhmällä. Nämä variaatiot tekevätkin usein tulosten vertailusta melko hankalaa.

Yksilöllisissä tarkasteluissa selvisi, että vaikka ongelmat ovat jossain määrin johdonmukaisia ja samoilla koehenkilöillä on taipumus epätyypilliseen prosessointiin eri jännitevastekomponenteissa ja heikkouksia epäsanojen toistamisessa, kätkevät ryhmäkeskiarvot myös suurta vaihtelua taakseen, eikä millään yksittäisellä mittarilla voida varmasti erotella SLI- ja kontrollilapsia. Selvää kuitenkin on, että SLI-lapsilla esiintyy epätyypillisiä jännitevasteita eri vaiheissa auditiivisen ärsykkeen prosessointia. Tulosten tulkinnasta tosin tekee vaikeaa se, että ei ole mitään absoluuttisia arvoja, jotka kertoisivat, mikä on hyvää ja mikä huonoa prosessointia, vaan tyypillisenä tasona pidetään tutkimuksen kontrollikoehenkilöitä. Amplitudiltaan liian suuri tai pieni jännitevaste voi olla osoitus huonosta prosessoinnista. Koehenkilöt voivat siis joko yli- tai alireagoida esitettyihin ärsykkeisiin, kuten SLI:n tapauksessa on osoitettu tapahtuvan (Leppänen ym., 2013). Tämä tutkimus tosin tarkasteli vain muutamia vaiheita muutamilla kanavilla. Jatkotutkimuksissa nämä tarkastelut voitaisiin laajentaa koskemaan useampia komponentteja ja kanavia. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että SLI- ja kontrollilapset erottelee parhaiten heikko

epäsanojen toistaminen ja epätyypillinen prosessointi vähintään kahdessa eri jännitevastekomponentissa, vaikka tälläkään tavoin ei saada täydellistä erottelua aikaiseksi. Epäsanojen toistamisen tapaan kielellistä työmuistia mittaava numerosarjojen toistaminen oli SLI-lapsilla kontrolleihin verrattuna tilastollisesti merkitsevästi heikompaa. Valitettavasti sillä ei ollut yhteyttä jännitevastetasolle. Voidaan kuitenkin todeta, että SLI-lasten keskeinen ongelma on kielellinen työmuisti. Muissa tarkastelluissa taidoissa, auditiivisessa erottelussa ja fonologisessa prosessoinnissa, tulokset eivät olleet yhtä järjestelmällisiä, vaikka niissäkin löydettiin eroja.

Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää sen yksilöllistä lähestymisnäkökulmaa aiheeseen, jossa kuvataan ilmiötä muillakin tavoin kuin ryhmäkeskiarvoilla. Kielellinen erityisvaikeus on jo määritelmänkin mukaan kokoelma erilaisia kielihäiriöitä ja aikaisemmat tutkimukset ovat korostaneet SLI-populaation heterogeenisyyttä (Bishop & McArthur, 2005; Stark & Heinz, 1996a; van Weerdenburg ym., 2006). Auditiivisen prosessoinnin taitojen heikentymästä SLI-lapsilla on tutkimuksessa ristiriitaista tietoa (Rosen, 2003) ja monesti heikentynyt suoritus on löydetty ainoastaan jollakin alaryhmällä (Stark & Heinz, 1996a). Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää myös sen pyrkimystä yhdistää kaksi tarkastelutasoa, käyttäytymis- ja jännitevastetaso, sekä selvittämään tasojen välistä yhteyttä. Tällä tavoin päästään tarkastelemaan neurokognitiivisen taidon taustalla aivoissa tapahtuvia prosesseja. Tutkimus antaa arvokasta tietoa siitä, että jo entuudestaan tiedetty SLI-lasten heikko epäsanonjen toistaminen näkyy myös jännitevastetasolla epätyypillisenä MMN-vasteena. Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää myös sitä, että alle kouluikäisillä SLI-lapsilla on tehty ERP-tutkimusta todella vähän ja suomenkielisillä lapsilla vieläkin vähemmän, pääosan tutkimuksista ollessa englantia äidinkielenään puhuvilla lapsilla tehtyjä (Hannus ym., 2009). SLI on luonnollisesti hyvin kielispesifi häiriö ja jo pelkästään sen prevalenssi USA:n ja Suomen välillä vaihtelee suuresti (Hannus ym., 2009; Tomblin ym., 1997). Tutkimusta kaikenlaisilla kielillä siis tarvitaan.

Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää tiedon yhdistämistä kahdesta erillisestä tutkimustilanteesta. Ideaalitulanteessa lapsilta olisi mitattu aivosähkökäyrä heidän suorittaessaan käyttäytymistason tehtäviä, jolloin olisi puhtaasti päästy vertaamaan tehtävän ja sen tuottaman jännitevasteen välisiä yhteyksiä. Aivosähkökäyrä tosin kerättiin passiivisella oddball-paradigmalla ääniärsykeitä käyttäen, joten asetelma tuottaa tietoa aivojen toiminnasta auditiivisen prosessoinnin tehtävässä. Myös tutkimuksen otoskoko ($n = 36$) oli melko pieni ja SLI- ja kontrolliryhmät vieläpä erisuuruiset (kontrolli = 12, SLI = 24). Kontrolliryhmä on melko pieni normatiivinen aineisto, mikä korottaa kehäpäätelmän mahdollisuutta tutkimuksessa, kun SLI-ryhmän suoriutumista verrataan kontrolliryhmän suoriutumiseen. Lisäksi otoksen voi myös ajatella olevan SLI-ryhmäläisten osalta melko valikoitunut, koska he tulivat tutkimukseen puheterapeutin vastaanoton kautta. Pieni otoskoko on tosin melko yleistä ERP-tutkimuksessa, koska aineiston kerääminen menetelmällä

on hyvin työlästä ja aikaavievää. Lisäksi tutkittavat eivät voi tietoisesti vaikuttaa jännitevasteisiin, joten menetelmällä saatavan tiedon voidaan olettaa olevan melko puhdasta.

Tutkimus tuo uutta arvokasta tietoa käyttäytymis- ja jännitevastetaso välisestä yhteydestä SLI-lapsilla auditiivisen prosessoinnin tehtävissä. Se vahvistaa edelleen näkemystä SLI-lasten heikentyneestä epäsanojen toistamisesta ja että tämä heikkous näkyy aivotasolla epätyypillisenä MMN-vasteena eli aivojen toiminnallisena poikkeavuutena muutoksen prosessoinnissa. Tutkimus myös vahvisti näkemystä SLI-lasten heikentyneestä kielellisestä työmuistista ja fonologisesta prosessoinnista, joista jälkimmäinen näkyy jossain määrin epätyypillisenä P1-vasteena hermoston tasolla.

Tässä tutkimuksessa ei löydetty aikaisemmissa tutkimuksissa raportoituja tuloksia, joiden mukaan SLI-lapsien auditiivisen erottelun taidot ovat heikentyneet ainakin äänen taajuuden, keston ja nousajan erottelussa. Varsinkin keston ja nousajan osalta tutkimustieto on hyvin vähäistä ja sitä tarvitaankin ehdottomasti lisää. Kielellisen työmuistin ja fonologisen prosessoinnin heikkouksia ei pystytty kytkemään jännitevastetasolle ja tulevan tutkimuksen tulisikin selvittää, mitkä SLI-lasten kognitiiviset käyttäytymistason heikkoudet ovat nähtävissä myös aivojen toiminnassa. Tutkimustietoa käyttäytymis- ja jännitevastetaso välisestä yhteydestä on myös melko niukasti, etenkin suomenkielisessä kontekstissa, ja sitä tulisi tehdä ehdottomasti lisää. Tämä tutkimus antoi suuntaa siitä millaisiin tuloksiin tutkimusalueella voitaisiin päästä, mutta nämä tulokset vaativat toistoa ja edelleen laajennusta koskemaan muita kognitiivisia taitoja ja jännitevaste-komponentteja.

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää auditiivisen prosessoinnin taitoja käyttäytymis- ja jännitevastetasolla, näiden tasojen välistä yhteyttä ja koehenkilökohtaista yksilöllisyyttä 4–7-vuotiailla lapsilla, joilla on kielellinen erityisvaikeus ja heidän tyyppillisesti kehittyneillä ikätovereillaan. Käyttäytymistasolla mielenkiinnon kohteina olivat auditiivisen erottelun taidot, fonologinen prosessointi, numerosarjojen muistaminen ja epäsanojen toistaminen sekä jännitevastetasolla herätevaste-komponentit P1, N250 ja MMN. Vahvimmat tulokset saatiin epäsanojen toistamisessa, jonka järjestelmällisesti havaittiin olevan SLI-lapsilla kontrolleja heikompaa ja se oli myös yhteydessä epätyypilliseen MMN-vasteeseen. SLI-lapset suoriutuivat myös merkitsevästi kontrolleja heikommin fonologisen prosessoinnin tehtävän B-osassa ja tämä heikkous oli myös yhteydessä P1-komponentin epätyypillisyyteen. A-osan suhteen tulokset olivat samansuuntaisia mutta ainoastaan viitteellisiä, eikä yhteyksiä jännitevastetasolle löytynyt. Myös kielellistä työmuistia mittaavan numerosarjojen muistamisen havaittiin olevan SLI-lapsilla kontrolleja heikompaa, mutta siinäkään ei havaittu yhteyksiä jännitevastetasolle. Auditiivisen erottelun taidoissa vahvimmat todisteet löydettiin puheen keston erottelussa, joka jossain määrin oli SLI-lapsilla kontrolleja heikompaa ja sillä oli viitteellinen korrelaatio MMN-vasteen kanssa. Äänen keston erottelussa ei löydetty eroa SLI- ja kontrolliryhmän välillä, mutta se korreloi tilastollisesti merkitsevästi MMN-vasteen kanssa. Tietyin varauksin voidaankin todeta, että kielelliseen erityisvaikeuteen näyttäisi liittyvän ongelmia epäsanojen

toistamisessa, fonologisessa prosessoinnissa ja puheen keston erottelussa ja nämä heikkoudet ovat yhteydessä muutoksen prosessointiin. Eroja kontrolleihin verrattuna on myös kielellistä työmuistia mittaavassa numerosarjojen muistamisessa, mutta tämä heikkous ei näy jännitevastetasolla. Yksilöllistä lähestymisnäkökulmaa hyödyntävää ERP-tutkimusta alle kouluikäisillä suomalaisilla lapsilla on toistaiseksi erittäin vähän ja aiheesta tarvitaan lisätutkimusta, jotta saadaan selville, mitä kognitiivisia ongelmia kielelliseen erityisvaikeuteen todella liittyy.

5 LÄHTEET

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition*. Arlington, VA: APA.
- Archibald, L. M. D., & Gathercole, S. E. (2006). Short-term and working memory in specific language impairment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 41, 675-693. <http://dx.doi.org/10.1080/13682820500442602>
- Barry, J. G., Yasin, I., & Bishop, D. V. M. (2007). Heritable risk factors associated with language impairments. *Genes, Brain and Behavior*, 6, 66-76. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1601-183X.2006.00232.x>
- Bartlett, C. W., Flax, J. F., Logue, M. W., Vieland, V. J., Bassett, A. S., Tallal, P., & Brzustowicz, L. M. (2002). A major susceptibility locus for specific language impairment is located on 13q21. *American Journal of Human Genetics*, 71, 45-55. <http://dx.doi.org/10.1086/341095>
- Bernstein, L. E., & Stark, R. E. (1985). Speech perception development in language-impaired children: a 4-year follow-up study. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 50, 21-30. <http://dx.doi.org/10.1044/jshd.5001.21>
- 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*, 133, 651-672. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.651>
- Bishop, D. V. M. (2006). What causes specific language impairment in children? *Current Directions in Psychological Science*, 15, 217-221. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00439.x>
- Bishop, D. V. M. (2001). Genetic and environmental risks for specific language impairment in children. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Science*, 356, 369-380. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2000.0770>
- Bishop, D. V. M., Hardiman, M., Uwer, R., & von Suchodoletz, W. (2007). Atypical long-latency auditory event-related potentials in a subset of children with specific language impairment. *Developmental Science*, 10, 576-587. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00620.x>

- Bishop, D. V. M., & McArthur, G. M. (2005). Individual differences in auditory processing in specific language impairment: a follow-up study using event-related potentials and behavioral thresholds. *Cortex*, 41, 327-341. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70270-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70270-3)
- Bishop, D. V. M., & Snowling, M. J. (2004). Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychological Bulletin*, 130, 858-886. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.130.6.858>
- BrainProducts. (2009). 12.2.6. Ocular correction ICA. *BrainVision Analyzer 2.0.1 user manual*. Version 003.
- Claessen, M., Leitão, S., Kane, R., & Williams, C. (2013). Phonological processing skills in specific language impairment. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 15, 471-483. <http://dx.doi.org/10.3109/17549507.2012.753110>
- Cohen, N. J., Barwick, M. A., Horodezky, N. B., Vallance, D. D., & Im, N. (1998). Language, achievement, and cognitive processing in psychiatrically disturbed children with previously identified and unsuspected language impairments. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 865-877. <http://dx.doi.org/10.1111/1469-7610.00387>
- Cohen, N. J., Davine, M., Horodezky, N. B., Lipsett, L., & Isaacson, L. (1993). Undiscovered language impairment in psychiatrically disturbed children: prevalence and language and behavioral characteristics. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 32, 595-603. <http://dx.doi.org/10.1097/00004583-199305000-00016>
- Conti-Ramsden, G. (2003). Processing and linguistic markers in young children with specific language impairment (SLI). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 1029-1037. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2003\)082](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2003)082)
- Corriveau, K., Pasquini, E., & Goswami, U. (2007). Basic auditory processing skills and specific language impairment: a new look at an old hypothesis. *Journal of Speech, Language, and Hearing research*, 50, 647-666. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2007\)046](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2007)046)

- Datta, H., Shafer, V. L., Morr, M. L., Kurtzberg, D., & Schwartz, R. G. (2010). Electrophysiological indices of discrimination of long-duration, phonetically similar vowels in children with typical and atypical language development. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53, 757-777. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/08-0123\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0123))
- Degerman, A., Salmi, J., Alho, K., & Rinne, T. (2006). Elektroenkefalografia (EEG). Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen, & A. Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot. Kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s. 105-110). Jyväskylä: Kognitiivisen neurotieteen oppimiskeskus, Turun yliopisto.
- Dien, J., Beal, D. J., & Berg, P. (2005). Optimizing principal components analysis of event-related potentials: Matrix type, factor loading weighting, extraction, and rotations. *Clinical Neurophysiology*, 116, 1808-1825. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2004.11.025>
- Estes, K. G., Evans, J. L., & Else-Quest, N. M. (2007). Differences in the nonword repetition performance of children with and without specific language impairment: A meta-analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 177-195. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/015\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2007/015))
- Flax, J. F., Realpe-Bonilla, T., Hirsch, L. S., Brzustowicz, L. M., Bartlett, C. W., & Tallal, P. (2003). Specific language impairment in families: Evidence for co-occurrence with reading impairments. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 530-543. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2003/043\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2003/043))
- 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. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.122368599>
- Gray, S. (2003). Diagnostic accuracy and test-retest reliability of nonword repetition and digit span tasks administered to preschool children with specific language impairment. *Journal of Communication Disorders*, 36, 129-151. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00003-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00003-0)

- Hannus, S., Kauppila, T., & Launonen, K. (2009). Increasing prevalence of specific language impairment (SLI) in primary healthcare of a Finnish town, 1989-1999. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 44, 79-97. <http://dx.doi.org/10.1080/13682820801903310>
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Eklund, K., Thomson, J., Richardson, U., Guttorm, T. K., 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. <http://dx.doi.org/10.1017/S0142716409090250>
- Kären, A. (2012). Puheärsykkeen foneemin keston muutokseen liittyvät herätevasteet kielellisessä erityisvaikeudessa – ERP-tutkimus 4-7-vuotiailla lapsilla, joilla on kielellinen erityisvaikeus ja heidän tyypillisesti kehittyneillä ikätovereillaan. Pro Gradu –tutkielma, Psykologian laitos, Jyväskylän yliopisto.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (1998). *NEPSY: Lasten neuropsykologinen tutkimus*. Helsinki: Psykologien kustannus.
- Korpilahti, P., & Lang, H. A. (1994). Auditory ERP components and mismatch negativity in dysphasic children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91, 256-264. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694\(94\)90189-9](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694(94)90189-9)
- Lai, C. S. L., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413, 519-523. <http://dx.doi.org/10.1038/35097076>
- Leonard, L. B., McGregor, K. K., & Allen, G. D. (1992). Grammatical morphology and speech perception in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 35, 1076-1085. <http://dx.doi.org/10.1044/jshr.3505.1076>
- Leppänen, P. H. T., Kären, A., Ervast, L., Lohvansuu, K., Hämäläinen, J. A., & Lyytinen, H. (2013). Processing of temporal speech cues in children with specific language impairment (SLI) and dyslexic children with familial risk at pre-school age. Konferenssiesitys, IALP 2013 – konferenssi, Torino, Italia, 26.8.2013.

- Leppänen, P. H. T., Lyytinen, H., Choudhury, N., & Benasich, A. (2004). Neuroimaging measures in the study of specific language impairment. Teoksessa L. Verhoeven & H. van Balkom (toim.), *Classification of Developmental Language Disorders: Theoretical Issues and Clinical Implications*, (s. 99-136). USA: Erlbaum.
- Leppänen, P. H. T., Richardson, U., Pihko, E., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Aro, M., & Lyytinen, H. (2002). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 22, 407-422. http://dx.doi.org/10.1207/S15326942dn2201_4
- Luck, S. J. (2005). An introduction to the event-related potential technique. Cambridge, MA: MIT press.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2005.01.002>
- McArthur, G. M., & Bishop, D. V. M. (2004a). Frequency discrimination deficits in people with specific language Impairment - Reliability, validity, and linguistic correlates. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 527-541. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/041\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2004/041))
- McArthur, G. M., & Bishop, D. V. M. (2004b). Which people with specific language impairment have auditory processing deficits? *Cognitive Neuropsychology*, 21, 79-94. <http://dx.doi.org/10.1080/02643290342000087>
- McGrath, L. M., Hutaff-Lee, C., Scott, A., Boada, R., Shriberg, L. D., & Pennington, B. F. (2008). Children with comorbid speech sound disorder and specific language impairment are at increased risk for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36, 151-163. <http://dx.doi.org/10.1007/s10802-007-9166-8>
- Moore, B. C. J. (2008). Basic auditory processes involved in the analysis of speech sounds. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Science*, 363, 947-963. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2152>

- Muneaux, M., Ziegler, J. C., Truc, C., Thomson, J., & Goswami, U. (2004). Deficits in beat perception and dyslexia: Evidence from French. *Neuroreport*, 15, 1255–1259.
- Neville, H. J., Coffey, S. A., Holcomb, P. J., & Tallal, P. (1993). The neurobiology of sensory and language processing in language-impaired children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 235-253. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.1993.5.2.235>
- Näätänen, R., & Alho, K. (1995). Mismatch negativity – a unique measure of sensory processing in audition. *The International Journal of Neuroscience*, 80, 317-337.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329. [http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918\(78\)90006-9](http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918(78)90006-9)
- Ors, M., Lindgren, M., Blennow, G., Nettebladt, U., Sahlén, B., & Rosén, I. (2002). Auditory event-related potentials in children with specific language impairment. *European Journal of Paediatric Neurology*, 6, 47-62. <http://dx.doi.org/10.1053/ejpn.2001.0541>
- Pennington, B. F., & Bishop, D. V. M. (2009). Relations among speech, language, and reading disorders. *Annual Review of Psychology* 60, 283-306. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163548>
- Pennington, B. F., Santerre-Lemmon, L., Rosenberg, J., MacDonald, B., Boada, R., Friend, A., Leopold, D. R., Samuelsson, S., Byrne, B., Willcutt, E. G., & Olson, R. K. (2012). Individual prediction of dyslexia by single versus multiple deficit models. *Journal of Abnormal Psychology*, 121, 212-224. <http://dx.doi.org/10.1037/a0025823>
- Pihko, E., Leppäsaari, T., Leppänen, P. H. T., Richardson, U., & Lyytinen, H. (1997). Auditory event-related potentials (ERP) reflect temporal changes in speech stimuli. *Neuroreport*, 8, 911-914. <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-199703030-00019>
- Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: Evidence from multi-channel evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*, 111, 220-236. [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00236-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00236-9)

- Richardson, U., Thomson, J. M., Scott, S. K., & Goswami, U. (2004). Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia: An International Journal of Research & Practice*, 10, 215–233. <http://dx.doi.org/10.1002/dys.276>
- Rosen, S. (2003). Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is it's nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics*, 31, 509-527. [http://dx.doi.org/10.1016/S0095-4470\(03\)00046-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0095-4470(03)00046-9)
- Scherg, M., & von Cramon, D. (1986). Evoked dipole source potentials of the human auditory cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 65, 344-360. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-5597\(86\)90014-6](http://dx.doi.org/10.1016/0168-5597(86)90014-6)
- Shafer, V. L., Morr, M. L., Datta, H., Kurtzberg, D., & Schwartz, R. G. (2005). Neurophysiological indexes of speech processing deficits in children with specific language impairment. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(7), 1168-1180. <http://dx.doi.org/10.1162/0898929054475217>
- Shafer, V. L., Ponton, C., Datta, H., Morr, M. L., & Schwartz, R. G. (2007). Neurophysiological indices of attention to speech in children with specific language impairment. *Clinical Neurophysiology*, 118, 1230-1243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2007.02.023>
- Shafer, V. L., Schwartz, R. G., & Martin, B. (2011). Evidence of deficient central speech processing in children with specific language impairment: the T-complex. *Clinical Neurophysiology*, 122, 1137-1155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2010.10.046>
- Shannon, R. V., Zeng, F.-G., Kamath, V., Wygonski, J., & Ekelid, M. (1995). Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, 270, 303–304. <http://dx.doi.org/10.1126/science.270.5234.303>
- Snowling, M. J. (2008). Specific disorders and broader phenotypes: The case of dyslexia. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 142-156. <http://dx.doi.org/10.1080/17470210701508830>
- Snowling, M. J., Bishop, D. V. M., & Stothard, S. E. (2000). Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41, 587-600. <http://dx.doi.org/10.1111/1469-7610.00651>

- Stark, R. E., & Heinz, J. M. (1996a). Perception of stop consonants in children with expressive and receptive-expressive language impairments. *Journal of Speech and Hearing research*, 39, 676-686. <http://dx.doi.org/10.1044/jshr.3904.676>
- Stark, R. E., & Heinz, J. M. (1996b). Vowel perception in children with and without language impairment. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 860-869. <http://dx.doi.org/10.1044/jshr.3904.860>
- Stevens, C., Paulsen, D., Yasen, A., Mitsunaga, L., & Neville, H. (2012). Electrophysiological evidence for attenuated auditory recovery cycles in children with specific language impairment. *Brain Research*, 1438, 35-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2011.12.039>
- Surányi, Z., Csepe, V., Richardson, U., Thomson, J. M., Honbolygo, F., & Goswami, U. (2009). Sensitivity to rhythmic parameters in dyslexic children: A comparison of Hungarian and English. *Reading and Writing*, 22, 41-56. <http://dx.doi.org/10.1007/s11145-007-9102-x>
- Tallal, P. (2000). Experimental studies of language learning impairments: From research to remediation. Teoksessa D. M. Bishop & L. B. Leonard (toim.), *Speech and language impairments in children: Causes, characteristics, intervention and outcome* (s. 131–155). Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Tallal, P., Hirsch, L. S., Realpe-Bonilla, T., Miller, S., Brzustowicz, L. M., Bartlett, C., & Flax, J. F. (2001). Familial aggregation in specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44, 1172-1182. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/091\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2001/091))
- Tallal, P., & Piercy, M. (1978). Defects of auditory perception in children with developmental dysphasia. Teoksessa M. A. Wyke (toim.), *Developmental Dysphasia* (s. 63–84). Lontoo: Academic Press.
- Tallal, P., Ross, R., & Curtiss, S. (1989). Familial aggregation in specific language impairment. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54, 167-173. <http://dx.doi.org/10.1044/jshd.5402.167>
- Tallal, P., Townsend, J., Curtiss, S., & Wulfeck, B. (1991). Phenotypic profiles of language-impaired children based on genetic/family history. *Brain and Language*, 41, 81-95. [http://dx.doi.org/10.1016/0093-934X\(91\)90112-E](http://dx.doi.org/10.1016/0093-934X(91)90112-E)

- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. (2012). *Psykiatrian luokituskäsikirja – Suomalaisen tautiluokitus ICD-10:n psykiatriaan liittyvät diagnoosit*, (2. painos). Tampere: THL.
- Tomblin, J. B., Records, N. L., Buckwalter, P., Zhang, X., Smith, E., & O'Brien, M. (1997). Prevalence of specific language impairment in kindergarten children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 1245-1260. <http://dx.doi.org/10.1044/jslhr.4006.1245>
- Tonnquist-Uhlen, I., Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Kwong, B., & Don, M. (2003). Maturation of human central auditory system activity: the T-complex. *Clinical Neurophysiology*, 114, 685-701. [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00005-1)
- Toppelberg, C. O., & Shapiro, T. (2000). Language disorders: a 10-year research update review. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 39, 143-152. <http://dx.doi.org/10.1097/00004583-200002000-00011>
- Uwer, R., Albrecht, R., & von Suchodoletz, W. (2002). Automatic processing of tones and speech stimuli in children with specific language impairment. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44, 527-532. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2002.tb00324.x>
- van Weerdenburg, M., Verhoeven, L., & van Balkom, H. (2006). Towards a typology of specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 176-189. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01454.x>
- Vandewalle, E., Boets, B., Ghesquière, P., & Zink, I. (2012). Development of phonological processing skills in children with specific language impairment with and without literacy delay: a 3-year longitudinal study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55, 1053-1067. [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/10-0308\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2011/10-0308))
- Webster, R. I., & Shevell, M. I. (2004). Neurobiology of specific language impairment. *Journal of Child Neurology*, 19, 471-481. <http://dx.doi.org/10.1177/08830738040190070101>
- Wechsler, D. (1995). *WPPSI-R. Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence–Revised* [suomenkielinen painos]. Helsinki: Psykologien kustannus.