

TARKKAAVUUDEN SIIRTYMINEN KESKUSHERMOSTOLLISESSA
KUULOTIEDON KÄSITTELYSSÄ ÄNKYTTÄVILLÄ LAPSILLA

Hanna Fransila, 505331

Pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Eira Jansson-Verkasalo

Turun yliopisto

Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

Psykologian ja logopedian laitos,

Logopedia

Elokuu 2018

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos / Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

HANNA FRANSILA: Tarkkaavuuden siirtyminen keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä änkyttävillä lapsilla

Pro gradu -tutkielma, 49 s.

Logopedia

Heinäkuu 2018

Tutkimuksen tarkoitus: Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää eroaako änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten automaattinen tarkkaavuuden suuntaaminen keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä P3a-vasteella mitattuna. Tutkielma tuo uutta tietoa, sillä tämän kaltaista esitietoista tiedostamatonta tarkkaavuuden siirtymistä kuvaavaa tutkimusta ei ole aiemmin tehty änkyttävillä lapsilla.

Menetelmät: Tutkimukseen osallistui Hyvän kasvun avaimet -projektin Puhu pois -osatutkimuksesta 8 änkyttävää ja 12 sujuvasti puhuvaa lasta. Tutkimuksessa käytettiin tarkkaavuuden siirtymistä heijastavaa P3a-vastetta, joka kuuluu kuuloherätevasteisiin (event related potentials, ERP). Tutkimuksessa tarkasteltiin vasteen voimakkuutta eli amplitudia, aikaviivettä eli latenssia sekä vasteen jakautumista aivokuorelle.

Tulokset ja päätelmät: Tässä tutkimuksessa ei havaittu eroa tiedostamattomassa tarkkaavuuden siirtymisessä keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmien välillä. Silmämääräisesti tarkasteltuna eroa on havaittavissa esimerkiksi vasteen jakautumisessa aivokuorelle, mutta tämä ei osoittaudu tilastollisesti merkitseväksi. Tämän tutkimuksen tulokset viittaisivat siihen, että änkyttävien lasten automaattisessa tarkkaavuuden siirtymisessä ei ole poikkeavuutta keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä. Tutkimus on ensimmäinen laatuaan, joten lisätutkimuksia aiheesta tarvitaan tämän johtopäätöksen vahvistamiseksi.

avainsanat: änkytys, tarkkaavuuden siirtyminen, keskushermostollinen kuulotiedon käsittely, kuuloherätevasteet, P3a-vaste, monipiirreparadigma

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 1.1 | Änkytys..... | 2 |
| 1.1.1 | Änkytyksen määrittely | 2 |
| 1.1.2 | Änkytyksen etiologia | 3 |
| 1.2 | Tiedostamaton tarkkaavuuden siirtyminen | 6 |
| 1.2.1 | Kuuloherätevasteet tarkkaavuuden siirtymisen arvioinnissa | 7 |
| 1.2.2 | P3a-vaste | 10 |
| 1.3. | Aiempia tutkimustuloksia | 12 |
| 3 | TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT..... | 15 |
| 3.1 | Aineisto..... | 15 |
| 3.2 | Tutkimusmenetelmät..... | 16 |
| 3.3 | Tutkimuksen toteuttaminen..... | 18 |
| 3.4 | Aineiston analysointi | 19 |
| 3.4.1 | ERP-datan analysointi..... | 19 |
| 3.4.2 | Tilastollinen analysointi..... | 21 |
| 3.5 | Tutkimuksen eettisyys | 23 |
| 4 | TUTKIMUSTULOKSET | 24 |
| 4.1 | P3a-vasteen amplitudi ja sen jakautuminen aivokuorella | 24 |
| 4.2 | P3a-vasteen latenssi ja sen jakautuminen aivokuorella | 27 |
| 5 | POHDINTA | 30 |
| 5.1 | Tiedostamaton tarkkaavuuden siirtyminen änkyttävillä lapsilla..... | 30 |
| 5.2 | Reliabiliteetti ja validiteetti..... | 32 |
| 5.3 | Tutkimuksen kliininen merkitys ja jatkotutkimustarve..... | 34 |
| | LÄHTEET | 37 |

1 JOHDANTO

Tarkkaavuuden siirtyminen (orienting) ympäristön yllättäviin tapahtumiin on olennainen osa ihmisen käyttäytymistä ja se helpottaa mukautumista nopeasti muuttuvaan ympäristöön (Sokolov, 1963). Tarkkaavuuden siirtymistä kuvaava vaste on tahdosta riippumaton reaktio uuteen odottamattomaan tai ennalta arvaamattomaan ärsykkeeseen (Pavlov, 1927). Tämä valmistaa yksilön havaitsemaan mahdollisesti tärkeän ärsykkeen ja siirtämään tarkkaavuutensa tähän. Tällainen tarkkaavuuden siirtyminen kuvaa esitietoista tarkkaavuuden kognitiivista prosessointia ja sitä tutkitaan keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä kuulohäätävasteisiin kuuluvan P3a-vasteen avulla (Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000). Tämä tutkielma pyrkii selvittämään, onko tarkkaavuuden tiedostamaton siirtyminen yllättäviin ääniärsykkeisiin erilaista änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmissä.

Änkytys luokitellaan puheen sujuvuuden häiriöihin yhdessä sokelluksen kanssa. Änkytystä on määritelty useilla eri tavoilla. ICD-10-luokituksen (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 1999) mukaan änkytys määritellään puheeksi, jossa äänteet, tavut tai sanat toistuvat tiheään tai pitkittyvät. Lisäksi usein toistuvat taketelut ja tauot särkevät puheen rytmin. Puheen sujumattomuuksien lisäksi änkyttäjän puhenopeus, sävelkorkeus, äänensävy ja artikulaatio voivat olla poikkeavia (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008). Puheen sujuvuuden häiriöihin luokiteltavaa sokellusta ei tässä tutkielmassa käsitellä, vaan puheen sujuvuuden häiriöistä puhuttaessa tarkoitetaan änkytystä. Henkilöstä, jolla on puheen sujuvuuden häiriö, käytetään tässä tutkielmassa termiä ”änkyttävä henkilö” tai ”henkilö, joka änkyttää”. Tämä tutkielma keskittyy kehityksellisen änkytyksen kuvaamiseen ja käsittelyn ulkopuolelle jää neurogeeninen änkytys, joka voi olla seurausta aivohalvauksesta (Jokel, De Nil, & Sharpe, 2007), traumaattisesta aivovammasta (Yeoh, Lind & Law, 2006), etenevästä neurologisesta sairaudesta (Mowrer & Younts, 2001) tai muusta neurologisesta syystä (Movsessian, 2005).

Keskushermostollisella kuulotiedon käsittelyllä tarkoitetaan kuulotiedon käsittelyn tehokkuutta keskushermostossa. Tämä sisältää sekä kuuloinformaation käsittelyn että neurobiologisen aktivaation (ASHA, 2005). Kuulotiedon käsittelyn osa-alueita ovat äänen paikallistaminen ja suunnan tunnistaminen, kuuloerotelu, kuulotiedon ajallisten piirteiden tunnistaminen sekä melussa kuuleminen (ASHA, 2005; Bellis, 2011). Lisäksi

tehokas kuulotiedon käsittely edellyttää muun muassa muistia, tarkkaavuuden säätelyä, kielellisiä taitoja ja ongelmanratkaisukykyä. Änkyttävien lasten kuulotiedon käsittelyn on osoitettu olevan poikkeavaa (ks. esim. Hampton & Weber-Fox, 2008; Jansson-Verkasalo ym., 2014; Liotti ym., 2010). Behavioraalisilla mittareilla myös tarkkaavuuden säätelyssä on havaittu poikkeavuutta (ks. esim. Eggers & Jansson-Verkasalo, 2017; Kaganovich, Hampton Wray & Weber-Fox, 2010), mutta tutkimusta tiedostamattomasta automaattisesta tarkkaavuuden siirtymisestä kuuloherätevasteilla rekisteröitynä ei ole vielä lainkaan tehty. Tämä tutkielma pyrkii selvittämään, esiintyykö tiedostamattomassa tarkkaavuuden siirtymisessä samankaltaisia poikkeavuuksia kuin behavioraalisilla mittareilla saaduissa tutkimuksissa.

1.1 Änkytys

Änkytys on monimuotoinen ilmiö, jonka taustatekijöiden selvittäminen jatkuu edelleen. Änkyttävien populaatio on hyvin heterogeeninen (Yairi & Ambrose, 2005), mikä tekee änkytyksen määrittelystä haasteellista. Änkytyksen esiintyvyys alle kouluikäisillä vaihtelee eri lähteiden mukaan viidestä prosentista (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008; Jansson-Verkasalo & Eggers, 2010; Månsson, 2000) aina yli kahdeksaan prosenttiin (Yairi & Ambrose, 2013). Valtaosa lapsuudessa änkyttävistä lapsista puhuu ennen puberteettiä sujuvasti, ja änkytys jää pysyväksi vain noin yhdellä prosentilla lapsista (Yairi & Ambrose, 2013). Lapsuudessa alkanut kehityksellinen änkytys on hieman yleisempää pojilla kuin tytöillä (1:2), mutta vakiintuneena ero sukupuolien välillä kasvaa (4:1) (Ambrose, Cox & Yairi, 1997).

1.1.1 Änkytyksen määrittely

Änkytys määritellään ja diagnosoidaan puheessa esiintyvien poikkeavien piirteiden perusteella (ICD-10, 1999). Änkyttävän henkilön puherytmiä häiritsevät toistot, takeltelut ja tauot. Jos nämä poikkeavuudet ovat merkittäviä puheen sujuvuuden kannalta, luokitellaan häiriö änkytykseksi. Änkytyksen ilmenemismuotoja, eli ydinänkytyspiirteitä, ovat äänteiden, sanojen tai lauseiden osien toistot, äänteiden pitkittymiset sekä äänteiden pysähdykset eli blokit (ICD-10, 1999; Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008). Änkyttävän henkilön puherytmi on epätyypillistä puheessa esiintyvien blokkien sekä poikkeavan tauotuksen vuoksi (ICD-10, 1999). Näiden lisäksi änkytykseen voi liittyä myös sekundaarisia piirteitä, esimerkiksi kasvojen tai muiden

ruumiinosien liikkeitä. Sekundaaripiirteisiin kuuluvat myös negatiiviset tunnekokemukset sekä asenteet. Esimerkiksi ahdistuneisuus on liitetty änkyttävillä henkilöillä nimenomaan sosiaalisiin tilanteisiin (Iverach, Menzies, O’Brian, Packman & Onslow, 2011). On ehdotettu, että änkytykseen liittyvät ahdistuneisuuden kokemukset alkaisivat varhaislapsuuden jälkeen (ks. esim.: Blood, Blood, Maloney, Meyer, & Qualls, 2007; Davis, Shisca, & Howell, 2007). Tutkimustulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia ja pieneen otoskokoön perustuvia. Lisäksi tutkimuksia alle 10-vuotiaiden lasten tunnekokemuksista on tehty hyvin vähän (McAllister, 2016). Negatiiviset tunteet saavat aikaan välttämis- ja pakenemisreaktioita. Näiden avulla änkyttävä henkilö yrittää välttää vaikeaksi kokemiaan sanoja tai äänneitä sekä tilanteita, joissa änkytysilmentymät ovat todennäköisiä (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008). Änkyttävä henkilö voi esimerkiksi käyttää puheessaan pieniä täytesanoja (esimerkiksi ”hmm”, ”siis”, ”niin”) sujuvaan puheeseen nähden liikaa.

Tässä tutkielmassa kiinnostuksen kohteena on kehityksellinen änkytys. Kehityksellinen änkytys alkaa yleensä 2–5 vuoden iässä, jolloin puhe kehittyy paljon lyhyessä ajassa (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008; Månsson, 2000; Yairi & Ambrose, 2013). Lievät, änkytyksen kaltaiset, puheen rytmihäiriöt ovat yleisiä ja ohimeneviä lapsuudessa. Nämä tuleekin erottaa pysyvästä kehityksellisestä änkytyksestä, joka diagnosoidaan, kun se on kestänyt vähintään kolme kuukautta (ICD-10-luokitus, 1999). Normaalialpuheen sujumattomuutta voi esiintyä lapsilla etenkin, kun he harjoittelevat monimutkaisia lauserakenteita ja niiden käyttöä (Zackheim & Conture, 2003).

1.1.2 Änkytyksen etiologia

Klassinen änkytystutkimus on tarkastellut änkytystä yksittäisenä puhehäiriönä sekä elämänlaadullisesta näkökulmasta (Doneva, Davis & Cavenagh, 2017). Tutkimusmenetelmien monipuolistuessa ja tutkimuksen lisääntyessä on yhä enemmän tutkittu änkytyksen komorbiditeettia ja änkytyksen yhteyttä muihin kehityksellisiin häiriöihin. Viimeaikaisen tutkimuksen yksi päälinjoista on ollut änkytyksen yhteys erilaisiin kognitiivisiin prosesseihin, kuten tarkkaavuuteen ja sen eri prosesseihin (ks. esim. Bajaj, 2007; Eggers, De Nil & Van den Bergh 2009, 2010, 2012, 2013; Felsenfeld, van Beijsterveldt & Boomsma, 2010; Maxfield, Morris, Frisch, Morphew & Constantine, 2015; Maxfield, Pizon-Moore, Frisch & Constantine, 2012; Vasic & Wijnen, 2005). Tutkimustiedon myötä käsitys änkytyksen selitysmalleista on muuttunut

ja nykyään ajatellaankin, että änkytyksen taustalla ei ole yhtä yksittäistä tekijää vaan se on monien tekijöiden yhteisvaikutuksen tulosta (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008). Se, ovatko änkyttävillä henkilöillä havaitut muut vaikeudet etiologisia vai ovatko ne seurausta änkytyksestä, vaatii vielä lisätutkimusta. Taulukossa 1 on esitelty tekijöitä, joiden tällä hetkellä ajatellaan olevan yhteydessä änkytykseen.

Taulukko 1: Änkytykseen tutkimustiedon perusteella liitettyjä tekijöitä. Huom. Osa tutkimuksista on tehty aikuisilla änkyttävillä henkilöillä.

| Änkytykseen yhteydessä olevat tekijät | Tutkijat ja julkaisuvuosi |
|---|---|
| Poikkeava kuulotiedon käsittely | Brown ym., 2005; Belyk ym., 2015; Jansson-Verkasalo ym., 2014; Prestes ym., 2017; Sasisekaran ym., 2013; Mohan ym., 2015; Wieland ym., 2016; Chang ym., 2016; Kaganovich ym., 2010 |
| Tarkkaavuuden ongelmat ja temperamentti <ul style="list-style-type: none"> - inhibitiokontrolli - toiminnan joustamattomuus - lisääntynyt impulsiivisuus | Eggers ym., 2012, 2013, 2017; Eggers & Jansson-Verkasalo, 2017; Packman & Attanasio, 2004; Piispala ym., 2017; Piispala, Jansson-Verkasalo, & Kallio, 2016; Blood, Blood, Maloney, Weaver & Shaffer, 2007 |
| Aivojen ja valkean aineen rakennemuutokset | Loucks, Kraft, Choo, Sharma & Ambrose, 2011; Chang ym., 2008; Beal, 2013 |
| Perimä | Kidd, Kidd & Records, 1978; Kidd, Heimbuch & Records, 1981; Cox, Kramer & Kidd, 1984; Kidd, 1984; Rautakoski, Hannus, Simberg, Sandnappa & Santtila, 2012; Månsson, 2000; Geffner, 2007 |
| Poikkeava tiedonsiirto aivoalueiden välillä | Bloodstein & Bernstein Ratner., 2008; Liotti ym., 2010; Packman & Attanasio, 2004 |
| Negatiiviset tunnekokemukset, ympäristö | Alm, 2004; Corcoran & Stewart, 1998; Craig, 2006; Iverach ym., 2009 |

Havaitsemisen, kielen ja kognitiivisten mekanismien neuraaliset yhteydet muodostavat laajan päällekkäisen neuraalisen kokonaisuuden (Musiek ym., 2005). Tämän vuoksi on luonnollista, että monissa kehityksellisissä neurologisissa häiriöissä ja hankituissa

keskushermostollisissa häiriöissä myös keskushermostollinen kuulotiedon käsittely on poikkeuksellista. Keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn ongelmia esiintyykin liitännäisoina eri häiriöryhmissä, kuten kielihäiriössä (Sharma ym, 2009), SLI:ssä (McArthur ym, 2009) sekä änkytyksessä (Corbera, Corral, Escera & Idiazábal, 2005; Hampton & Weber-Fox, 2008; Jansson-Verkasalo ym., 2014; Liotti ym., 2010).

Aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että änkyttävien henkilöiden kuulotiedon käsittely on poikkeavaa sujuvasti puhuviin henkilöihin verrattuna muun muassa kuuloerottelun osalta. Änkyttävillä henkilöillä onkin aiemmissa tutkimuksissa havaittu poikkeavuutta kuulotiedon käsittelyssä puheäänteissä sujuvasti puhuviin henkilöihin verrattuna (Corbera, Corral, Escera & Idiazábal, 2005; Hampton & Weber-Fox, 2008; Jansson-Verkasalo ym., 2014; Liotti ym., 2010). Muutoksia on havaittu esimerkiksi puheäänteiden foneettisten erojen, soinnittomuuden ja soinnillisuuden erojen sekä rytmien ja keston erojen havaitsemisessa (ks. taulukko 1). Änkyttävillä henkilöillä on todettu myös kuuloaivokuoren yli- tai aliaktivaatiota sekä poikkeavuutta kuulo- ja puhemotorisen aivokuoren tiedonvälityksessä (Friederici, Kronfeld-Duenias & Ruth, 2016). Poikkeavuus tulee ilmi esille erityisesti kuulotiedon yhdistämisessä puhemotoriseen tietoon (Bloodstein & Bernstein Ratner, 2008; Liotti ym., 2010).

Tutkimustiedon perusteella voisi olettaa änkytyksen olevan geneettisesti periytyvää (ks. taulukko 1). Riski, että lapsi alkaa änkyttää on kolminkertainen, jos lapsen lähisuvussa on änkyttäviä henkilöitä (Kidd, Kidd & Records, 1978; Kidd, Heimbuch & Records, 1981; Cox, Kramer & Kidd, 1984; Kidd, 1984). Uudempien tutkimustulosten mukaan änkyttävän henkilön suvussa on usein yksi tai useampi henkilö, joka änkyttää tai on esimerkiksi lapsuudessaan änkyttänyt (Rautakoski, Hannus, Simberg, Sandnappa & Santtila, 2012; Månsson, 2000).

Stressiä aiheuttavien tilanteiden aiheuttamat tunnekokemukset ja ahdistuneisuus vaikuttavat änkyttävien lasten änkytysilmentymien vaikeusasteeseen (ks. esim. Alm, 2004). Änkyttävät lapset reagoivatkin ympäristöönsä tunteellisesti voimakkaammin kuin tyypillisesti kehittyneet lapset (Eggers, De Nil & van den Bergh, 2010).

Aivojen tasolla änkyttävillä henkilöillä on todettu muutoksia aivoaktivaatiossa sekä havaittu jopa aivojen rakennemuutoksia (Loucks, Kraft, Choo, Sharma & Ambrose, 2011). Auditiivisen tarkkaavuuden kannalta keskeiset aivoalueet sijoittuvat aivojen

etuosiin (Salmi, Rinne, Koistinen, Salonen & Alho, 2009). Änkyttävillä henkilöillä onkin todettu yliaktiivaatiota oikean aivopuoliskon etuosissa (Brown, Ingham, Ingham, Laird, & Fox, 2005). Lisäksi änkyttävillä henkilöillä on todettu kuuloaivokuoren aliaktiivaatiota (De Nil, ym., 2008; Brown, ym., 2005), mikä voi viitata siihen, että änkyttävillä henkilöillä esiintyy auditiivisen prosessoinnin ja tarkkaavuuden ongelmia (Blood ym., 2003). Änkyttävien lasten tarkkaavuuden ongelmia on avattu tarkemmin luvussa 1.3.

1.2 Tiedostamaton tarkkaavuuden siirtyminen

Tiedostamattomalla tarkkaavuuden siirtymisellä tarkoitetaan tarkkaavuuden siirtymistä odottamattomiin ärsykkeisiin tahdosta riippumatta. Tässä tutkielmassa automaattista tarkkaavuuden siirtymistä tarkastellaan keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn tasolla. Esimerkiksi hälytysajoneuvon ääni keskustellessa ystävän kanssa voisi olla auditiivinen häiriötekijä, joka voi siirtää tarkkaavuuden pois meneillään olevasta tehtävästä, tässä tapauksessa keskustelusta. Kun häiritsevän tekijän merkityksellisyys on arvioitu, tapahtuu takaisinorientoituminen (reorientation) keskeytyneeseen tehtävään (keskustelu).

Tarkkaavuus on kognitiivinen toiminto, joka ohjaa ympäristön tapahtumien havaitsemista ja käsittelyä (Posner & Petersen, 1990). Tarkkaavuus jaetaan tarkkaavuuden ylläpitoon (sustained attention), valikoivaan tarkkaavuuteen (selective attention) sekä eksekutiivisiin toimintoihin. Tarkkaavuuden ylläpito vastaa tarkkaavuuden säilymisestä tietyssä tehtävässä. Valikoivalla tarkkaavuudella tarkoitetaan puolestaan informaation valintaa ympäröivistä ärsykkeistä. Eksekutiiviset toiminnot vastaavat ristiriitatilanteiden ratkaisemisesta. Eksekutiivisten taitojen avulla henkilö muokkaa ja säätelee toimintaansa, mikä mahdollistaa suoritukseen sopeutumisen tai tarpeen vaatiessa tehtävän vaihtamisen. Työmuisti, tarkkaavuuden joustavuus sekä inhibitiokontrolli ovat toimintoja, jotka joidenkin teorioiden mukaan ovat keskeisessä asemassa eksekutiivisissa toiminnoissa (Garon, Bryson, & Smith, 2008; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000).

Ihmisiä ympäröi informaation paljous, mutta henkilön käytössä olevat resurssit prosessoida tätä informaatiota ovat rajalliset (Lavie, Hirst, de Fockert, & Viding, 2004). Liiallinen taipumus suunnata tarkkaavuus epäolennaisiin ärsykkeisiin vaatiikin paljon

tarkkaavuuden resursseja ja vaikeuttaa tehtävään keskittymistä (Escera ym., 2000). Eksekutiivisten toimintojen teorian mukaan se, miten hyvin henkilö pystyy käsittelemään informaatiota, riippuu esitettyjen ärsykkeiden määrästä ja yksityiskohtaisuudesta (havaitseminen, perceptual load) sekä niiden resurssien määrästä, jotka henkilö voi kohdentaa ärsykkeiden prosessointiin (kognitiivinen kontrolli) (Lavie, ym., 2004). Hyvä kognitiivinen kontrolli tukee merkityksellisen informaation valintaa merkityksettömän joukosta (valikoiva tarkkaavuus, selective attention/inhibitiokontrolli) sekä suoriutumista monesta samanaikaisesta tehtävästä (jaettu tarkkaavuus, divided attention). Hyvä kognitiivinen kontrolli auttaa myös keskittämään tarkkaavuuden meneillä olevaan tehtävään (tarkkaavuuden ylläpito, sustained attention) sekä siirtämään tarvittaessa nopeasti ja tehokkaasti tarkkaavuuden toiseen ärsykkeeseen (tarkkaavuuden siirtyminen, attentional switching) (Chan, Shum, Toulopoulou & Chen, 2008).

Tiedostamaton tarkkaavuuden suuntaaminen (orienting) ympäristön tapahtumiin sekä tarkkaavuuden ylläpito ovat välttämättömiä puheen prosessoinnille ja kielen oppimiselle (Corbetta & Shulman, 2002). Lapsen tarkkaavuuden kehittyminen alkaa tarkkaavuuden orientaatiolla eli tarkkaavuuden suuntaamisella (Gomes, Molholm, Christodoulou, Ritter & Cowan, 2000). Tiedostamattomat tarkkaavuuden mekanismit ovat passiivisia, aistien ohjaamia, bottom-up-prosesseja, joiden avulla pystytään havaitsemaan ja arvioimaan merkityksellisiä, mutta tehtävän kannalta epäolennaisia ärsykejä (Corbetta & Shulman, 2002). Pieni lapsi häiriintyy herkästi odottamattomista ympäristön äänistä (Gomes ym., 2000; Wetzel, Widmann, Berti & Schröger, 2006), mutta normaalin kehityksen myötä top-down-mekanismien kehittyessä lapsi oppii paremmin jättämään huomiotta epäolennaiset häiriötekijät, eli erottelemaan merkitykselliset tekijät merkityksettömistä (Courchesne, 1990 Gomes ym., 2000; Wetzel ym., 2006).

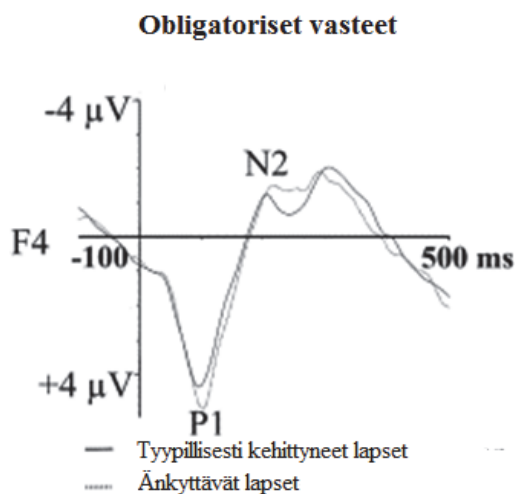
1.2.1 Kuuloherätevasteet tarkkaavuuden siirtymisen arvioinnissa

Tässä tutkielmassa tiedostamatonta tarkkaavuuden siirtymistä tarkastellaan keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn tasolla. Keskushermostollisella kuulotiedon käsittelyllä tarkoitetaan auditiivisen tiedon käsittelyä keskushermostossa (Richard, 2007). Käsittelystä vastaavat laajat alueet aivorungosta aivojen kuorikerrokseen asti. Akustinen signaali muuttuu korvan simpukassa neuraaliseksi signaaliksi, josta se siirtyy kuulorataa pitkin kuulotiedon käsittelystä vastaaville

aivoalueille. Keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn prosessit ovat olennaisia äänen paikantamiselle, tunnistamiselle, kuuloerottelulle sekä ajallisten piirteiden hyödyntämiselle (American Speech-Language-Hearing Association, ASHA, 2005). Keskushermostollinen kuulotiedon käsittely vastaa myös heikentyneiden tai keskenään kilpailevien akustisten signaalien käsittelystä.

Puheen ja kielen neuraalisia mekanismeja keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä voidaan tutkia aivosähkökäyrää rekisteröimällä (Kujala & Näätänen, 2010; Luck, 2005). Kuuloherätevasteet (event-related brain potentials, ERP) ovat pieniä, ääniärsykkeen aiheuttamia, sähköisiä muutoksia aivoaktivaatiossa (Näätänen, 1992). Niiden avulla pystytään tutkimaan tarkasti keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyyn osallistuvien synapsien välillä tapahtuvia muutoksia ja näiden ajoitusta (Coles & Rugg, 1995). Kuuloherätevasteet antavat ajallisesti tarkkaa tietoa, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin nopeiden muutosten, kuten kielen ja puheen eri piirteiden, tutkimiseen (Luck, 2005).

ERP-aaltomuoto on kuuloärsykkeen aikaansaama sarja positiivisia (P) ja negatiivisia (N) huippuja, jotka on nimetty vastakohtaisuuden, ajoituksen, sarjallisen järjestyksen tai kognitiivisen merkityksen mukaan (Luck, 2005; Näätänen, 1992). Vastakohtaisuudella tarkoitetaan sitä, esiintyykö vaste positiivisena vai negatiivisena. Ajoitus puolestaan merkitsee sitä, kuinka kauan aikaa kuluu ärsykkeen esittämisestä vasteen syntymiseen. Sarjallinen järjestys kuvastaa sitä, että vasteet esiintyvät sarjoittain: esimerkiksi P1-P2 (ks. kuvio 1)



Kuvio 1: Obligatoriset vasteet änkkyttävillä ja tyypillisesti kehittyvillä lapsilla. Kuviossa y-akseli niin, että negatiivinen on esitetty x-akselin yläpuolella. N2''-n jälkeen oleva pieni positiivisuuntainen vaste on P3a. μV : amplitudi, ms: millisekunti. Mukailten Jansson-Verkasalo ym., (2014).

Koeasetelmat

ERP:n koeasetelmaa kutsutaan paradigmaksi (Partanen, Lang, Valkonen-Korhonen & Cheour, 2006). Paradigma voi olla joko aktiivinen tai passiivinen. Aktiivisessa paradigmassa tutkittava reagoi tiettyihin ärsykkeisiin sovitulla tavalla (esim. painaa nappia äänen kuullessaan). Aktiivisessa paradigmassa tutkittava voi joutua kohdistamaan tarkkaavuutensa toiseen kahdesta rinnakkaisesta ärsykesarjasta (esim. ärsykesarja, jossa esiintyy korkeita ja matalia ääniä ja tehtävänä painaa nappia, kun kuulee korkean äänen). Nämä koeasetelmat ovat behavioraalisia, eli ne vaativat tutkittavan aktiivista osallistumista. Passiivisella paradigmalla tarkoitetaan puolestaan mittaustapaa, jossa tutkittava kohdistaa tarkkaavuutensa esimerkiksi elokuvan katseluun. Tällöin saadaan tietoa esitietoisesta kuulotiedon käsittelystä.

Aikaisemmin laajassa tutkimuskäytössä olleessa auditiivisessa ”oddball”-paradigmassa vakioärsykkeiden (standardiärsykkeet) joukossa on sarjasta poikkeavia ärsykeitä (devianttiärsykkeet), joihin tutkittava reagoi aktiivisessa paradigmassa etukäteen sovitulla tavalla ja passiivisessa paradigmassa tiedostamattomasti (Partanen, Lang, Valkonen-Korhonen & Cheour, 2006). Optimi- eli monipiirreparadigmassa saadaan puolestaan tietoa monen erilaisen äänenpiirteen (esim. äänentaajuus, intensiitti, vokaalinkesto) erottelukyvystä yhdellä mittauskerralla (Lovio ym., 2009; Näätänen ym., 2004). Monipiirreparadigman vahvuuksina on myös yhä enemmän oikeaa puhetta muistuttavien ärsykesarjojen käyttö (Kujala ym., 2007; Lovio ym., 2009; Pakarinen, ym., 2009). Tässä tutkielmassa käytettävässä paradigmassa toistuvien standardi- ja devianttiärsykkeiden joukkoon on siroteltu erilaisia yllättäviä ääniä, joiden avulla pystytään tutkimaan tarkkaavuuden orientaatiota.

Arvioitavat suureet

EEG-käyrästä saadaan ERP-vasteet laskemalla haluttujen ärsykkeiden jännitevaihteluiden keskiarvot (Luck, 2005). Tämä vähentää ärsykkeeseen liittymätöntä kohinaa, mutta jättää keskiarvokäyrään jäljelle ERP-vasteen. Saaduista kuuloherätevasteista arvioidaan amplitudia, latenssia ja paikantumista aivokuorella.

Amplitudi on suure, joka mittaa aallonkorkeutta tai -syvyyttä (Luck, 2005). Se kuvaa aktivoituneiden solujen määrää ja niiden toiminnan samanaikaisuutta (Partanen, Lang, Valkonen-Korhonen & Cheour, 2006). Amplitudin korkeus mitataan y-akselin nollassa aallon huippukohtaan tutkijan määrittämän aikaikkunan sisällä. Latenssilla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu ärsyksen esittämisestä poikkeamaan käyrässä (Luck, 2005). Latenssi mitataan aikaikkunassa, jossa vasteen oletetaan esiintyvän. Aikaikkunan määrittely pohjautuu joko aiempiin tutkimuksiin tai se valitaan tutkimusryhmässä keskiarvoistetusti. Amplitudia ja latenssia määritettäessä tulee ottaa huomioon tutkittavan ikä ja käytetyt ärsykkeet. Lasten ja aikuisten ERP-vasteita ei suositella verrattavaksi toisiinsa, sillä käyrämuodot ovat erilaisia. Lapsilla ensimmäinen ERP-vaste esiintyy ajallisesti myöhemmin kuin aikuisilla, mikä on syytä ottaa huomioon aikaikkunaa määritettäessä.

1.2.2 P3a-vaste

Tarkkaavuuden tiedostamaton siirtyminen yllättäviin ääniärsykkeisiin havaitaan ERP-käyrästä P3a-vasteena (Squires ym., 1975). Auditivinen P3a-vaste on laaja positiivissuuntainen aaltomuoto, jonka saa aikaan odottamaton, muista äänistä poikkeava ääni. Vaste havaitaan yleensä 200–300 millisekuntia yllättävän ääniärsyksen esittämisen jälkeen (Courchesne ym., 1975; Escera ym., 2000; Squires ym., 1975).

P3a-vaste sisältää kaksi eri osatekijää, (Escera ym., 2000; Friedman, Cycowicz & Gaeta, 2001) joiden kehittyminen on hieman erilaista. Vasteet kuvaavat tarkkaavuuden eri tasoilla tapahtuvaa toimintaa. Automaattista varhaisella orientaation tasolla tapahtuvaa uuden yllättävän ärsyksen havaitsemista mitataan eP3a-vasteella (early P3a). Varsinaisesta tarkkaavuuden siirtymisestä yllättäviin ärsykkeisiin vastaa IP3a (late P3a). Vasteista ensimmäinen eli eP3a havaitaan 200–250 millisekuntia ja jälkimmäinen IP3a 300–350 millisekuntia yllättävän ääniärsyksen jälkeen (Escera ym., 2000). Tutkimuksissa on havaittu, että myös lapsilla havaitaan nämä vasteen molemmat osatekijät (Gumenyuk ym., 2001, 2005; Määttä ym., 2005).

P3a-vasteen käyttäminen mahdollistaa tarkkaavuuden siirtymisen tutkimisen tiedostamattomasti, ilman tehtävätyöskentelyä (Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000), minkä vuoksi se soveltuu hyvin lasten tutkimiseen. P3a-vaste syntyy myös

visuaalisia ärsykeitä käyttäen (Partanen, Lang, Valkonen-Korhonen & Cheour, 2006). P3a-vastetta käytetään yleisesti kliinisessä neurologisessa tutkimuksessa yllättävien asioiden arvioinnin vaikeutta (novelty evaluation) sekä frontaalilohkon vajaatoimintaa tutkittaessa (Meares, Melkonian, Gordon & Williams, 2005). Lapsilla, joiden tarkkaavuus häiriintyy herkästi, on todettu olevan poikkeavuutta myös tarkkaavuuden siirtymistä heijastavissa P3a-vasteissa (Gumenyuk ym. 2005; Lepistö ym. 2004). Häiriöherkkyys voi olla riskitekijä lapsen kielen kehittymiselle, jos tarkkaavuus siirtyy jatkuvasti pois kielellisistä ärsykkeistä.

P3a-vasteen kehittyminen

P3a-vasteen kehitystä kuvastaa aivokuoren frontaalisten alueiden kehittyminen (Casey, Giedd & Thomas, 2000). Valikoivan tarkkaavuuden prosessit ovat aktiivisia top-down-prosesseja, jotka säätelevät tehtävässä suoriutumista häiritsevistä ärsykkeistä huolimatta (Corbetta & Shulman, 2002). Top-down-prosessien kehittyessä lapset oppivat paremmin erottamaan merkitykselliset ärsykkeet merkityksettömistä (Gomes ym., 2000). Näiden prosessien kehittyminen on liitetty aivojen frontaalisten alueiden kehittymiseen (Casey, Giedd & Thomas, 2000). Putkinen tuo tutkimuksessaan (2012) esille näkökulman, että 2–3-vuotiaiden lasten aivojen frontaalialueet ovat vielä osin epäkypsät, mutta P3a-vasteiden tuotosta vastaisi osin myös kuuloaivokuori (Alho ym., 1998). Tämän vuoksi yllättävät äänet saavat aikaan P3a-vasteen myös pienemmillä lapsilla. Näyttäisikin siltä, että aivojen etuosat kehittyvät kolmen ikävuoden jälkeen, niin että P3a-vaste jakautuu yhä voimakkaammin aivojen etuosiin. Cycowiczin ja Friedmanin (1997) havaitsivat nimittäin neljän eri ikäryhmän välillä (5–7v, 9–11v, 14–16v, 20–28v) yllättävän ääniärsykkeen prosessoinnin olevan melko samanlaista. Heidän tutkimustuloksensa osoittivat, että iän myötä P3a-vasteen latenssi pienenee ja vasteet sijoittuvat enemmän aivojen etuosaan. P3a-vasteen amplitudin havaittiin olevan kaikissa ikäryhmissä vahvempi aivojen frontaaliosissa kuin parietaaliosissa.

Tarkkaavuuden siirtymiseen liittyy erilaisia muutoksia autonomisen hermoston ja keskushermoston toiminnassa (Sokolov, 1975). P3a-vastehuiput ovat vahvimillaan fronto-sentraalisesti 200–300 millisekunnin kuluttua yllättävän ärsykkeen esiintymisestä (Courchesne ym., 1975; Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000; Squires ym., 1975). P3a-vasteiden vahvempi sijoittuminen aivojen frontaali- ja sentraaliosiin kuin parietaalisiin osiin on havaittu kouluikäisillä lapsilla (Čeponienė ym., 2004; Gumenyuk ym., 2001) sekä aikuisilla (Escera ym., 2008). Etu-keskiosien aktivaatiosta voidaan

päätellä, että uuden tiedon käsittelystä vastaavat aivoalueet toimisivat tarkoituksenmukaisesti jo esikouluikässä (Čeponienė ym., 2004).

1.3. Aiempia tutkimustuloksia

Tällä vuosisadalla tutkimus änkytyksen ja kognitiivisten toimintojen yhteydestä on lisääntynyt (ks. esim. Felsenfeld, van Beijsterveldt, Boomsma, 2010; Maxfield ym., 2010, 2012, 2015, 2016). Tutkimus on toistaiseksi painottunut aikuisten änkyttävien henkilöiden tutkimiseen, mutta joitakin tutkimuksia on tehty myös lapsilla. Viime aikoina eksekutiivisista toiminnoista on tullut yläkäsite monille kognitiivisille toiminnoille, (Baron, 2004) johon sisältyy esimerkiksi tarkkaavuuden joustavuus, työmuisti, inhibitiokontrolli sekä toiminnan suunnittelu (Jurado & Roselli, 2007).

Änkyttävillä lapsilla on todettu vaikeutta jättää huomiotta tehtävän kannalta merkityksettömät tekijät (Eggers, De Nil, Van den Bergh, 2013). Tätä kutsutaan heikoksi inhibitiokontrolliksi. Tutkijat havaitsivat myös, että änkyttävien lasten on vaikea mukauttaa heidän vastaustyyliään virheen tekemisen jälkeen. Myös oikean ärsykkeen poimiminen useammasta ärsykelähteestä on vaikeaa. Näiden havaintojen pohjalta voidaan olettaa, että änkyttävillä lapsilla olisi haasteita tarkkaavuuden suuntaamisessa (orienting network) (Eggers ym., 2013; 2012).

Eggers ja Jansson-Verkasalo (2017) tutkivat auditiivisen tarkkaavuuden joustavuutta (attentional flexibility, attentional set-shifting) änkyttävillä lapsilla. Tällä tarkoitetaan kykyä vaihtaa tarkkaavuuden kohdetta eri tehtävien välillä sekä kykyä irrottaa tarkkaavuus tehtävän kannalta epäolennaisesta ärsykkeestä ja siirtää merkitykselliseen tehtävään (De Sonneville, 2014). Tutkimuksessa havaittiin, että änkyttävät lapset tekivät sujuvasti puhuviin lapsein verrattuna 10 kertaa enemmän virheitä, kun heidän tuli siirtää tarkkaavuuttaan useamman samanaikaisen tehtävän välillä.

Samankaltaisia tuloksia on saatu aikuisilla änkyttävillä henkilöillä tehdyssä ERP-tutkimuksessa (Maxfield ym., 2016). Tutkimuksessa tutkittavat nimesivät kuvia samanaikaisesti häiritsevän ärsykkeen kanssa. Ärsykeitä oli kolmea eri tyyppiä: 1) fonologisesti kohdesanan kaltainen, 2) semanttisesti kohdesanan kaltainen tai 3) kohdesanaan liittymätön. Kaksoistehtävätyypissä (dual task) tutkittavan piti lisäksi valita kahden eri äänityypin väliltä oikea (standardi matala ääni tai poikkeava korkea

ääni). Ryhmien väliset erot tulivat esiin vasta tehtävätyypin vaikeutuessa (dual task). Tarkkaavuuden siirtymistä heijastava P3a-vaste havaittiin verrokeilla kaikissa tehtävätyypeissä, mutta änkyttävillä henkilöillä vaste havaittiin joko heikentyneenä tai kokonaan puuttuvana, kun kaksoistehtävä esitettiin lyhyellä viiveellä. Tutkimusryhmän mukaan nämä tulokset viittaavat siihen, että fonologisten ja semanttisten tekijöiden kilpailu vie niin suuren osan kognitiivisesta prosessointikapasiteetista, että kognitiiviset resurssit eivät enää riitä äänien kategorisointiin.

Tarkkaavuuden siirtymisen tutkiminen on vasta alkutekijöissään. On todettu, että tarkkaavuuden joustavuudessa (Eggers & Jansson-Verkasalo, 2017) ja inhibiokontrollissa (Eggers ym., 2013) esiintyisi poikkeavuutta änkyttävien ja tyypillisesti kehittyneiden henkilöiden välillä. Tämä tutkielma pyrkii nyt selvittämään, onko tarkkaavuuden siirtämisen ongelmat samankaltaisia myös kuulotiedon käsittelyssä, kun tarkastellaan tiedostamatonta automaattista tarkkaavuuden siirtymistä. Yllä esitetyt behavioraaliset tutkimustulokset antavat viitteitä siitä, että änkyttävien lapsien tarkkaavuuden mekanismit toimisivat tyypillisistä lapsista poiketen. Tämän perusteella voitaisiin olettaa, että samankaltaisia eroja esiintyisi myös tiedostamattomassa tarkkaavuuden siirtymisessä keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä.

2 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Behavioraalisilla menetelmillä on havaittu poikkeavuutta tarkkaavuuden joustavuudessa sekä inhibitiokontrollissa änkyttävillä lapsilla. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, esiintyykö poikkeavuutta myös tiedostamattomassa tarkkaavuuden siirtymisessä kuuloherätevasteiden avulla arvioituna. Tutkimuskysymyksenä on:

Tutkimuskysymyksenä on:

1. Voidaanko havaita eroa tarkkaavuuden siirtymisessä yllättävään ääniärsykkeeseen keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä P3a-vasteella mitattaessa änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten välillä seuraavissa:
 - a) amplitudissa ja sen jakaumassa aivokuorella?
 - b) latenssissa ja sen jakaumassa aivokuorella?

3 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimusaineisto on osa Hyvän kasvun avaimet -tutkimusprojektia. Tämän tutkielman aineisto on Turun yliopiston logopedian oppiaineen Puhu pois -osatutkimuksesta. Puhu pois -osatutkimukseen osallistui 226 lasta, joista 118 lapsella on kielihäiriöriski. Aineiston ovat keränneet logopedian oppiaineen opiskelijat Taru Penttilä sekä Tuire Löhönen. Tässä tutkielmassa vertaillaan sarjasta poikkeavan ääniärsykkeen aikaansaamia ryhmien välisiä eroja tiedostamattoman tarkkaavuuden siirtymisen aikaviiiveessä eli latenssissa sekä aallonkorkeudessa eli amplitudissa. Lisäksi tarkastellaan näiden vasteiden jakautumista aivokuorella. Luokittelumuuttujina tässä tutkielmassa ovat änkyttävät lapset ja kontrollit.

3.1 Aineisto

Puhu pois -osatutkimuksen aineistoon on rekrytoitu satunnaistetusti joka neljäs lapsi Hyvän kasvun avaimet aineistosta soittamalla tai kutsukirjeellä. Kyseiset lapset osallistuivat kolmivuotistutkimuksiin, joissa arvioitiin puheen ymmärtämistä (Reynell Developmental Language Scales □-testi (Edwards, Fletcher, Garman, Hughes, Letts & Varpela, 2011)) sekä sanavarastoa (Renfrew Word Finding Vocabulary Test (Renfrew, 1995)). Tutkittavat lapset jaettiin kolmevuotistutkimusten perusteella kolmeen eri ryhmään: 1) riski änkytykseen, 2) riski kielihäiriöön ja 3) ei riskiä. Kaikkien tutkittavien kuulon tuli olla normaali. Vanhempien raportoinnin mukaan kyseisillä lapsilla ei tiedetä olevan kehitysviivettä eikä neurologista poikkeavuutta. Vanhemmille annettussa taustatietolomakkeessa tiedosteltiin lisäksi vanhemmilta, esiintyykö lapsen puheessa sujumattomuutta. Kaikki tutkittavat olivat oikeakätisiä.

Lasten ollessa 4–5-vuotiaita tutkimusta laajennettiin kuuloherätevasterekisteröinnillä. Kolmevuotiaana tutkittujen lasten vanhemmille lähetettiin tutkimustiedote ERP-rekisteröinnistä, suostumusasiakirja sekä kyselylomake, jolla kartoitettiin änkytyksen esiintyvyyttä. Vanhempiin oltiin yhteydessä puhelimitse joko tutkimusta suorittavien opiskelijoiden tai heidän tutkielmansa ohjaajan toimesta. Vanhemmilta varmistettiin lapsen änkytyksen esiintyvyys. Mikäli keskustelun perusteella varmistui änkytyksen esiintyminen, lapsi kutsuttiin tutkimukseen. Lisäksi tutkimukseen kutsuttiin satunnaisesti valikoituja lapsia, joilla ei ollut kielihäiriöriskiä eikä puheen sujuvuuden ongelmia.

Näistä lapsista tähän tutkimukseen valikoitui kahdeksan änkyttävää (pojat=6, tytöt=2) ja kaksitoista sujuvasti puhuvaa lasta (pojat=4, tytöt=8). Kaikkien tutkimukseen valikoituneiden lasten puheen sujuvuus arvioitiin Stuttering Severity Instrument III -arviointimenetelmällä (SSI III) (Riley, 1994). Lasten änkytyksen vaikeusaste on luettavissa taulukosta 2.

Taulukko 2: Tutkittavien lasten perustiedot.

| Tutkittava | Ikä | Sukupuoli | Änkytyksen vaikeusaste |
|------------|------|-----------|-------------------------|
| 1 | 4;1 | poika | kohtalainen/keskivaikea |
| 2 | 4;11 | poika | lievä |
| 3 | 4;3 | poika | lievä |
| 4 | 4;7 | poika | kohtalainen |
| 5 | 5;0 | poika | lievä |
| 6 | 5;2 | tyttö | lievä |
| 7 | 5;0 | tyttö | kohtalainen |
| 8 | 4;7 | poika | keskivaikea |
| 9 | 4;10 | tyttö | kontrolli |
| 10 | 4;9 | tyttö | kontrolli |
| 11 | 4;5 | tyttö | kontrolli |
| 12 | 5;1 | poika | kontrolli |
| 13 | 5;0 | tyttö | kontrolli |
| 14 | 5;1 | poika | kontrolli |
| 15 | 5;0 | tyttö | kontrolli |
| 16 | 4;9 | poika | kontrolli |
| 17 | 4;8 | tyttö | kontrolli |
| 18 | 4;6 | tyttö | kontrolli |
| 19 | 4;6 | tyttö | kontrolli |
| 20 | 4;10 | poika | kontrolli |

3.2 Tutkimusmenetelmät

ERP-rekisteröinnissä käytettiin optimiparadigmaa, jossa standardiärsykkeet (usein toistuva ääniärsyke) ja devianttiärsykkeet (harvoin toistuva ääniärsyke) vaihtelivat (ks. taulukko 3). Samaa paradigmaa ovat aiemmin käyttäneet Haapala ynnä muut (2013) sekä Niemitalo-Haapola ynnä muut (2013) tutkimuksissaan. Monipiirreparadigma on todettu nopeaksi ja kelvolliseksi menetelmäksi mitattaessa kuulotiedon käsittelyn eri tasoja aikuisilla (Näätänen ym., 2004; Kujala ym., 2006; Pakarinen, ym., 2009) kouluikäisillä (Lovio ym., 2009, 2010; Kujala ym., 2010) sekä taaperoilla (Putkinen ym., 2012; Niemitalo-Haapola ym., 2013).

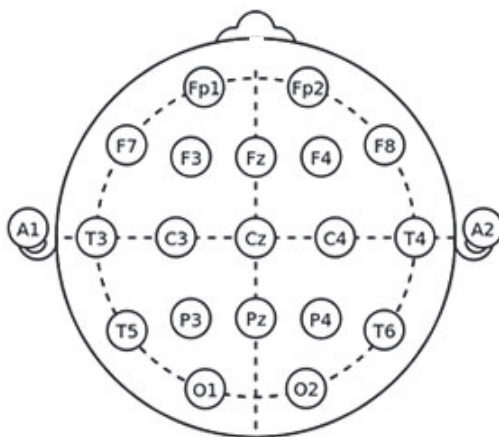
Standardi-ärsykkeinä paradigmassa olivat suomen kielen tavut /ke:/ ja /pi:/, joiden perustaajuus eli F0 oli 101 hertsiä ja kesto 170 millisekuntia. Standardiärsykkeet esiintyivät 50 %:n todennäköisyydellä. Devianttiärsykeitä oli yhteensä viisi ja ne olivat vokaalin, konsonantin, vokaalin keston, taajuuden ja voimakkuuden vaihtuminen (Alku ym., 1999). Lisäksi paradigmassa esiintyi yllättävä ääniärsyke, joka on tässä tutkielmassa tarkastelun kohteena. Yllättävän ääniärsykkeen avulla voidaan tutkia tarkkaavuuden mekanismeja (Sorokin ym., 2010; Putkinen ym., 2012; Niemitalo-Haapola ym., 2013). Yllättävät ääniärsykkeet olivat luonnollisia ihmisestä peräisin olevia ääniä (esim. yskiminen tai huudahdus) tai muita ympäristön ääniä (esim. oven pamahdus tai puhelimen pirinä) (Sorokin, Alku & Kujala, 2010). Kaikkien devianttiärsykkeiden ja poikkeavien ärsykkeiden yksittäinen esiintymistodennäköisyys oli 8,3 %. Ärsykkeet esitettiin 75 desibelin voimakkuudella binauraalisesti kuulokkeiden kautta (kuulokkeet: Sennheiser HD 25-1, 70 Ω). Aika ärsykkeiden esittämisen välillä (stimulus onset asynchrony, SOA) oli 670 ms. Ärsykkeet esitettiin noin kuuden minuutin jaksoissa. Jokainen jakso alkoi 10 standardiärsykkeellä, jonka jälkeen joka toinen ääniärsyke oli standardi ja joka toinen joko yksi deviantista tai yllättävä ääni. Jakso sisälsi yhteensä 540 ääniärsykettä ja jokaiselle tutkittavalle esitettiin kolme jaksoa.

Taulukko 3. Tutkielmassa käytetyn optimiparadigman standardi- ja devianttiärsykkeet.

| Ärsyke | Standardi | Deviantti |
|-------------------------|-----------|-----------------|
| Vokaalin vaihtuminen | /ke:/ | /ki:/ |
| Konsonantin vaihtuminen | /pi:/ | /pe:/ |
| Vokaalin kesto | 170 ms | 120 ms |
| Voimakkuus | 75dB | 68 dB 82 dB |
| Taajuus | 101 Hz | 93 Hz 109 Hz |

Hz=hertsi, dB=desibeli, ms=millisekunti

Tutkimuksessa käytetyt myssyt olivat 19 elektrodin Easycap-elektrodimyssyjä (Easycap GmbH, Saksa). Elektrodit oli sijoitettu kansainvälisen 10/20-järjestelmän mukaan (ks. kuvio 2). Rekisteröinnissä käytettiin NeurOne high-Res EEG-järjestelmää (Mega Electronics Ltd, Kuopio) sekä neurOne-ohjelmistoa. Silmänliikkeiden rekisteröintiin käytettiin elektrodeja, jotka sijoitettiin oikean silmän alapuolelle sekä oikean silmän ulkokulmaan. Mastoideihin (korvan takana oleva luu) laitettiin erilliset elektrodit. Mittauksenaikainen referenssi oli FCz. Mittauksenjälkeinen uusi referenssi muodostettiin mastoidien keskiarvosta, johon muita elektrodeja verrattiin. Impedanssi (pääkallon ja elektrodin välillä oleva sähköinen vastus) pyrittiin pitämään alle 10 k Ω :n.



Kuvio 2. Kansainvälinen 10/20-järjestelmän mukainen 19 elektrodin asettelu ERP-rekisteröinnissä. Kuvassa A1 ja A2 ovat mastoideihin kiinnitetyt elektrodit.

3.3 Tutkimuksen toteuttaminen

ERP-rekisteröinnit suoritettiin Turun yliopiston kognitiivisen neurotieteen tutkimusyksikössä vuosina 2013–2015. Tutkittavien lasten vanhemmille lähetettiin ennen ERP-mittauksia kirjallinen tiedote mittauksista. Lisäksi vanhemmat allekirjoittivat suostumusasiakirjan. Ennen ERP-rekisteröintejä tutkittavien lasten vanhemmat täyttivät kätsisyys- ja terveystarkastuksen. Kätsisyyskyselyllä pyrittiin varmistamaan, että kätsyyden yhteys vasteiden jakautumiseen aivopuoliskojen välillä on huomioitu. Kätsisyyskysely mukailtiin noudattamaan Edinburgh Handedness Inventory -kyselyä. Terveystarkastuksella varmistettiin, että tutkittavalla lapsella ei ole oppimisvaikeuksia, kuulonalenemaa eikä neurologisia sairauksia (pois lukien änkytys). Terveystarkastuksen lisäksi lasten kuulo tutkittiin ennen ERP-rekisteröintiä. ERP-rekisteröinnin aikana lasta kehoitettiin olemaan paikoillaan ja hiljaa. Rekisteröinnin

aikana lapsi katsoi valitsemaansa piirrettyä elokuvaa ilman ääntä. Lasta tarkkailtiin jatkuvasti videokameran välityksellä ja mikäli lapsi oli levoton, pidettiin pieni tauko. Tämän jälkeen lasta ohjeistettiin uudestaan ja jatkettiin ERP-rekisteröintiä.

Jokaisesta rekisteröinnistä täytettiin pöytäkirja, johon merkittiin koehenkilön taustatiedot, rekisteröinnin ajankohta, lapsen katsoma piirretty, näytteenottotaajuus (1000 Hz), blokkien esiintymisjärjestys sekä impedanssit. Alle 10 k Ω :n impedanssia ei merkitty tarkemmin mutta muista impedansseista merkittiin tarkka arvo, esimerkiksi F3 15 k Ω . Mahdolliset rekisteröinnin tutkimustilanteet aikana ilmenneet erityiset asiat kirjattiin pöytäkirjan ”huomiota”-sarakkeeseen. Rekisteröinnin jälkeen logopedian opiskelija Maija Vänninen arvioi lasten kerrontataitoja ja fonologisia taitoja käyttäen apuna Fonologiatestiä (Kunnari, Savinainen-Makkonen & Saaristo-Helin, 2012) sekä Mitä väärin? -kortteja (Learning Development Aids, 1979). Arvion jälkeen tutkittava lapsi ja tämän vanhempi leikkivät keskenään muoviluvahalla ja pikkueläimillä. Sekä fonologisten taitojen arviointi että leikkituokio videoitiin. Videolta analysoitiin SSI-3-arviointimenetelmällä (Riley, 1994) tutkittavan lapsen puheen sujuvuutta. Lapsi sai tutkimuksen lopuksi elokuvalipun palkkioksi tutkimukseen osallistumisesta.

3.4 Aineiston analysointi

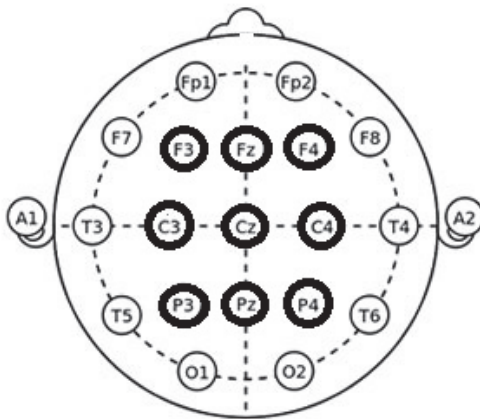
Aineisto analysoitiin kahdessa osassa. Ensin aineisto analysoitiin EEG-käyrän rekisteröintiin tarkoitettulla ohjelmistolla, jonka jälkeen aineisto analysoitiin tilastollisesti. Aineiston analysoinnissa on ollut mukana logopedian professori Eira Jansson-Verkasalo. Seuraavassa on esitetty yksityiskohtaisesti analyysin polku.

3.4.1 ERP-datan analysointi

Lapsilta rekisteröity EEG-data analysoitiin BrainVision analyzer 2.0-ohjelmalla (BrainProducts, GmpH). Logopedian professori Eira Jansson-Verkasalo kokosi aineistosta kansiot, joissa kussakin oli yhden lapsen kaikki vasteet yhdelle ärsykkeelle. Kun tämä oli tehty, lähdettiin rakentamaan analyysipuuta. Analyysin nopeuttamiseksi näytteenottotaajuudeksi säädettiin 250 Hz. Data referoitiin mastoidielektrodien matemaattiseen keskiarvoon (left mastoid ja right mastoid) aivopuoliskoien erojen tarkastelemiseksi (Luck, 2005). Koska tutkittavat olivat lapsia, taajuuskaistan ulkopuolinen toiminta suodatettiin pois käyttämällä taajuuskaistaa 0.5–45 Hz, 24

dB/oktaavi. Tämän on todettu poistavan signaalit, joiden alkuperä ei ole aivoissa (Luck, 2005).

Kun tämä oli tehty, valittiin analyysin ulkopuolelle jäävät kanavat. T3 ja T4 jätettiin analyysin ulkopuolelle suuren häiriöisyyden vuoksi. Tämän lisäksi tehtiin perinteinen silmänliikekorjaus vertikaalisille ja horisontaalisille silmänliikkeille, jolla pyrittiin välttämään samassa kohdassa olevien aaltomuotojen häiriintyminen. Seuraavaksi valittiin tutkittavat kanavat, joita tässä tutkimuksessa oli yhdeksän (ks. kuvio 3). Nämä kanavat ovat yleisessä käytössä ERP-rekisteröinneissä (Gumenyuk ym., 2001, 2005; Haapala, 2016; Määttä ym., 2005).



Kuvio 3: Tummennetulla analyysiin valitut yhdeksän elektrodikanavaa.

Kanavien valinnan jälkeen data segmentoitiin eli leikattiin halutuiksi pätkiksi ärsyketriggereiden avulla. Segmentin alku oli -100 ms ennen ärsykettä ja 500 ms ärsykkeen jälkeen.

ERP-vasteet klusteroitiin standardi- ja devinantiärsykkeiden perusteella. Standardiärsykkeet ja yllättävät ärsykkeet keskiarvoistettiin omissa segmenteissään. Kun tämä oli tehty, muodostettiin erilliset änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmät. P3a-vaste määritettiin vähentämällä standardiärsyke yllättävän äniärsykkeen käyrästä. Aikaikkunan valinta pohjautui aiempiin lapsilla tehtyihin kuulohäätävastemittauksiin (Čeponienė ym., 2002; Määttä ym., 2005; Haapala ym., 2016) sekä silmämääräiseen tarkasteluun lasten keskiarvokäyrän mukaan. Aikaikkunaksi valittiin 250–450 ms.

Tämän jälkeen varmistettiin silmämääräisesti, että huippukohdat asettuivat varmasti huipun kohdalle, eivätkä esimerkiksi aikaikkunan päässä olevaan rinteeseen. Tarkistus tehtiin jokaisen tutkittavan kohdalla erikseen. Logopedian professori Eira Jansson-Verkasalo kävi lopuksi huippujen paikat läpi yhdessä opiskelijan kanssa. Lopuksi lasten arvot (amplitudi ja latenssi) siirrettiin Microsoft Excel -ohjelmistoon, josta aineisto siirrettiin edelleen SPSS-analysointiohjelmaan (IBM SPSS Statistics 25) tilastollista analyysia varten.

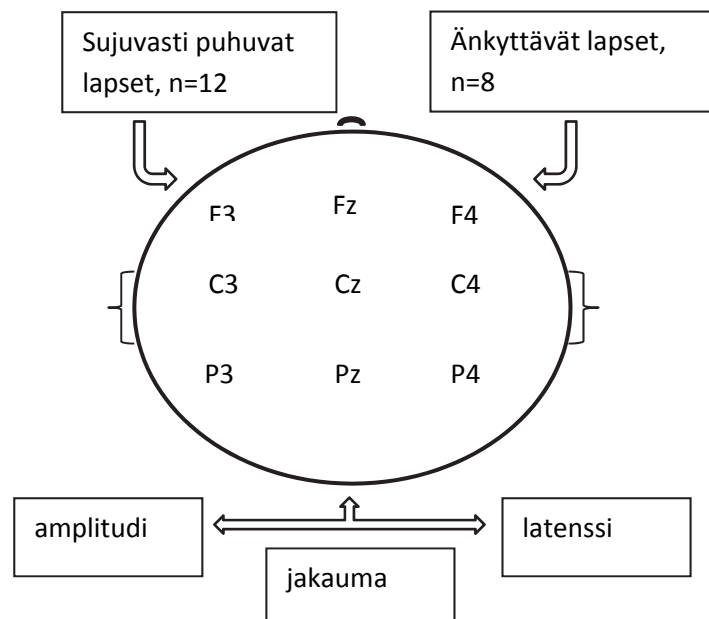
3.4.2 Tilastollinen analysointi

Tutkimuksen tilastollinen analysointi suoritettiin SPSS (IBM SPSS Statistics 25) -ohjelmalla. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä pystytään tarkastelemaan, miten yhden tekijän vaihtelu vaikuttaa riippuvaan muuttujaan (Nummenmaa, 2009). Tässä tutkielmassa riippuvia muuttujia oli kuitenkin useita, joten oli tarkoituksenmukaista tutkia, miten useampi tekijä yhdessä vaikuttaa riippumattomiin muuttujiin. Nummenmaan (2009) mukaan on nimittäin mahdollista, että kaksi muuttujaa eivät erillään vaikuta mitattuun ominaisuuteen ollenkaan, mutta yhdessä niiden vaikutus korostuu.

Ryhmien eroja vasteen voimakkuudessa (amplitudi) ja ajoituksessa (latenssi) tarkasteltiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä (Repeated measures, ANOVA). Tätä menetelmää käytetään yleisesti kuuloherätevastetutkimuksissa (Luck, 2005). Toistomittaukset voivat olla ajallisesti toistuvia saman ominaisuuden mittauksia, kuten esimerkiksi pitkittäistutkimuksissa tehdyt mittaukset, tai saman ominaisuuden mittauksia erilaisissa koetilanteissa (Nummenmaa, 2009). Tässä tutkielmassa toistuvana muuttujana oli äänisarjassa toistuva poikkeava ääniärsyke.

P3a-vasteen amplitudi ja latenssi analysoitiin yhdeksästä (ks. kuvio X) yleisimmin näiden vasteiden tarkasteluun käytetyistä elektrodeista (Gumenyuk ym., 2001, 2005; Määttä ym., 2005). Ryhmä [kontrollit, änkkyttävät] valittiin between-subject tekijäksi. Jakautumista aivokuorella tarkasteltiin valitsemalla P3a-vasteelle within-subject faktoreiksi elektrodien sijainnit seuraavasti: hemisfääreihin sijoittuminen (right-left (RL) [F3-C3-P3, Fz-Cz-Pz, F4-C4-P4]) sekä etu-takasuuntaan sijoittuminen (anterior-posterior (AP) [F3-Fz-F4, C3-Cz-C4, P3, Pz, P4], ks. kuvio 4). Näin pyrittiin

selvittämään, onko ryhmien välillä eroja vasteiden voimakkuudessa tai aikaviiveessä aivojen eri osissa.



Kuvio 4. Havainnekuva tarkasteltavista elektrodeista ja muuttujista.

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että tyypillisesti kehittyneillä lapsilla P3a-vasteen voimakkuus (amplitudi) posteriorisilla aivoalueilla vaimenee (Cycowicz ja Friedman, 1997) (elektrodit P3, Pz ja P4), joka voi vääristää tutkimustuloksia. Tämän välttämiseksi verrattiin toistettujen mittausten varianssianalyysin jälkeen (kaikki 9 kanavaa tarkastelussa mukana) ryhmien keskiarvoja etu-takasuunnan elektrodeissa riippumattomien otosten t-testillä. Nummenmaan (2009) mukaan riippumattomien otosten t-testi selvittää, poikkeavatko kaksi ryhmää toisistaan tietyn ominaisuuden suhteen. Riippumattomien otosten t-testi vertaa ryhmien keskiarvoja ottaen huomioon hajonnat ja keskiarvon keskivirheet, joten se antaa luotettavamman kuvan ryhmien eroista kuin pelkkä keskiarvon laskeminen. Tämän jälkeen suoritettiin edellä kuvattu toistettujen mittausten varianssianalyysi kuudella kanavalla (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4) jättäen pois aivojen taka-alueen elektrodit. Tällä pyrittiin varmistamaan, että saatu tulos on mahdollisimman luotettava eikä johdu taka-aivoalueiden kehityksen aiheuttamasta vääristymästä tutkimustuloksissa.

3.5 Tutkimuksen eettisyys

Hyvän kasvun avaimet -tutkimusprojektille on myönnetty eettisen toimikunnan ja sosiaali- ja terveysministeriön lupa 27.2.2007. ERP-rekisteröintejä varten haettu eettinen lupa on myönnetty 28.2.2013. Vanhemmille lähetetyssä tutkimustiedotteessa kerrottiin tutkimuksen kulusta. Vanhemmille tiedotettiin, että he voivat halutessaan keskeyttää tutkimuksen milloin tahansa. Tutkittavien tunnistetietoja ei ole mahdollista saada aineistosta, vaan aineisto on koodattu kirjain- ja numerosarjoin. Aineistoa on säilytetty sen keräämisen jälkeen lukitussa huoneessa, johon on pääsy vain asianosaisilla. Aineiston käsittelyssä on noudatettu vaitiolovelvollisuutta, eikä tutkittavia pystytä tunnistamaan tästä tutkimuksesta. Tässä tutkielmassa tutkittavien tiedot on koodattu juoksevana numerointina, joten lapsia ei ole mahdollista tunnistaa aineistosta.

4 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin tiedostamattoman tarkkaavuuden siirtymistä keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä heijastavaa P3a-vastetta. Vasteesta tarkasteltiin amplitudia eli aallonkorkeutta tai -syvyyttä, latenssia eli esiintymisviivettä sekä vasteen jakautumista aivokuorella. Näitä muuttujia analysoitiin yhdeksästä yleisemmin tarkastellusta elektrodista. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, vaikkakin tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien sisällä esiintyi. Seuraavassa on esitelty tärkeimmät tutkimustulokset tutkimuskysymyksiä vastaavassa järjestyksessä.

4.1 P3a-vasteen amplitudi ja sen jakautuminen aivokuorella

Änkyttävien ja kontrolliryhmän välillä ei voitu havaita ryhmän päävaikutusta. Sen sijaan toistettujen mittausten varianssianalyysin mukaan tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin molemmissa ryhmissä (ks. taulukko 4) yhdeksällä yleisemmin tarkastellulla elektrodilla P3a-vasteen amplitudissa sekä hemisfääreihin sijoittumisen välillä (right-left [F3-C3-P3, Fz-Cz-Pz, F4-C4-P4] RL $F(2,36) = 12.17$, $p < 0.001$, $n_{p^2} = 0.40$) että etu-takasuunnassa (anterior-posterior [F3-Fz-F4, C3-Cz-C4, P3, Pz, P4] AP $F(2,34) = 42.6$, $p < 0.001$, $n_{p^2} = 0.70$).

Taulukko 4. P3a-vasteen amplitudin tilastolliset merkitsevyydet.

| Lähde | p* amplitudi |
|-----------------|--------------|
| AP | <0.001 |
| AP x ryhmä | ns. |
| RL | <0.001 |
| RL x ryhmä | ns. |
| AP x RL | 0.001 |
| AP x RL x ryhmä | ns. |

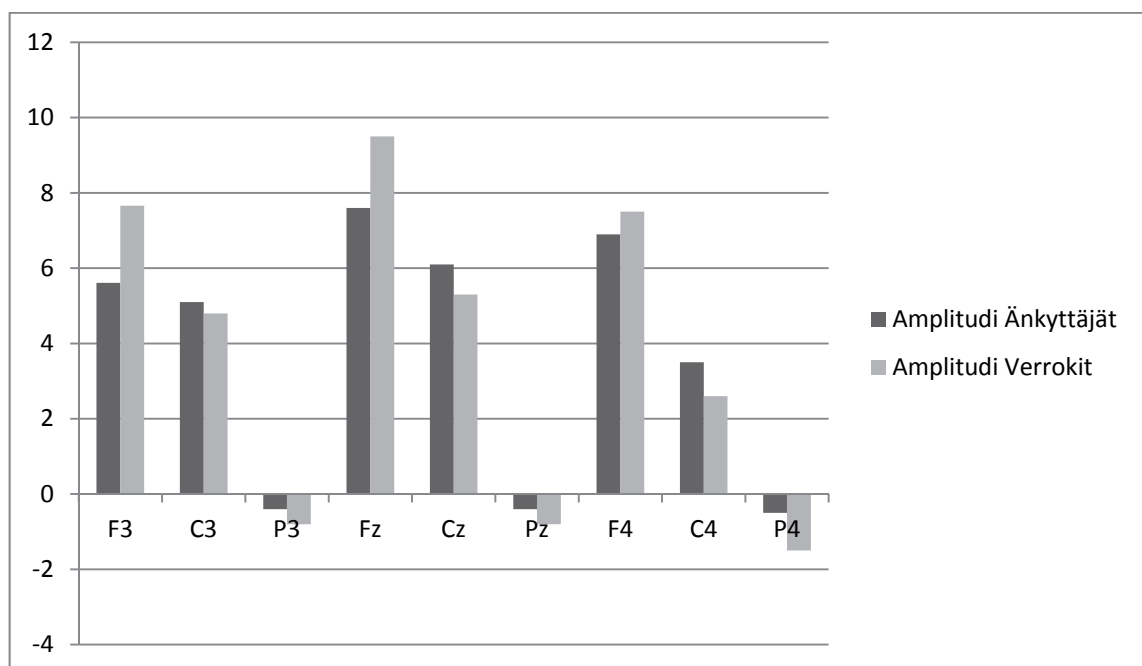
AP: anterior-posterior; RL: right-left; ns.: non significant

Taulukko 5. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten numeeriset amplitudiarvot mikrovoltteina sekä keskihajonnat P3a-vasteelle. Amplitudin tulisi olla positiivinen ja arvoltaan suuri.

| Poikkeava ääniärsyke | Amplitudi μV Keskiarvo (SD) | |
|----------------------|---|-------------------|
| Elektrodi | Änkyttäjät (n=8) | Kontrollit (n=12) |
| F3 | 5.6 (3.4) | 7.7 (3.1) |
| C3 | 5.1 (4.2) | 4.8 (3.4) |
| P3 | -0.4 (3.1) | -0.8 (2.6) |
| Fz | 7.6 (4.4) | 9.5 (2.8) |
| Cz | 6.1 (4.0) | 5.3 (3.4) |
| Pz | 0.4 (4.6) | 0.8 (2.3) |
| F4 | 7.0 (3.1) | 7.5 (3.3) |
| C4 | 3.5 (4.2) | 2.6 (3.9) |
| P4 | 0.5 (3.0) | -1.5 (2.6) |

SD: standard deviation, keskihajonta; μV : mikrovoltti

Myös tekijöiden yhteisvaikutus AP x RL oli tilastollisesti merkitsevä amplitudin suhteen: $F(4,72) = 4.942$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.22$. Ero on kuitenkin molemmissa ryhmissä samanlainen (ks. vertailun avuksi kuviot 5 ja 6 sekä taulukko 5). Vasteen voimakkuus näyttäisi olevan silmämääräisesti tarkasteltuna heikoin aivojen takaosissa (elektrodit P3, Pz, P4) (ks. kuvio 6). Riippumattomien otosten t-testillä tarkasteltuna frontaali- ja sentraalialueiden keskiarvoja tarkastellen ei havaita tilastollisesti merkitsevää eroa (ks. taulukko 6).



Kuvio 5. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten amplitudin arvot graafisesti esitettynä. Amplitudia kuvaavan pylvään tulisi olla positiivinen ja korkea

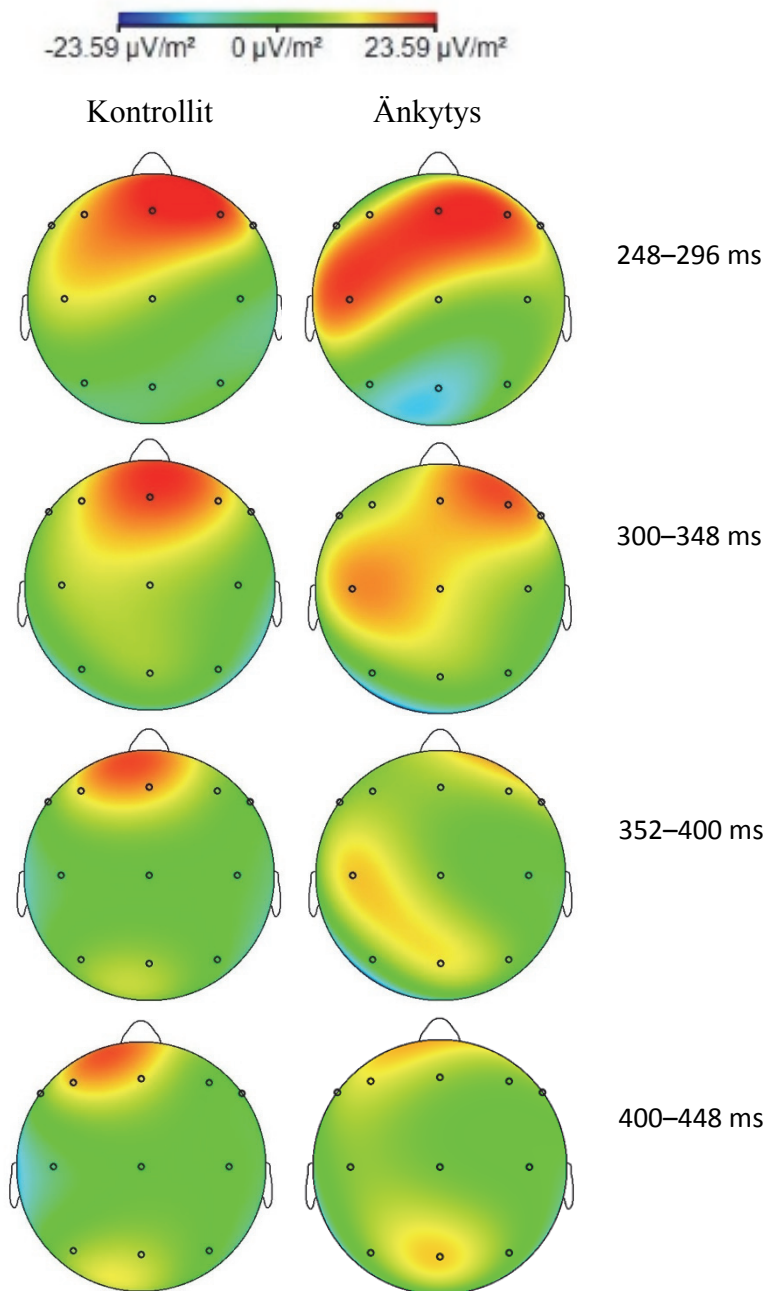
Taulukko 6. Keskiarvoamplitudit aivojen etu- ja keskialueen elektrodien P3a-vasteelle.

| | Änkyttäjät | Kontrollit |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Amplitudi μV | 6.71 (3.50) | 8.23 (2.84) |
| Keskiarvo (SD) | | |
| p* | 0.299 | |

*Riippumattomien otosten t-testi; SD: standard deviation, keskihajonta; μV : mikrovolti

Toistettujen mittausten varianssianalyysi tehtiin myös kuudella elektrodikanavalla (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4) tarkasteltuna, jotta varmistuttiin siitä, että tulosta ei vääristä aivojen taka-alueiden vasteiden heikko voimakkuus. Myöskään kuudella elektrodikanavalla tarkasteltuna ei kuitenkaan havaittu ryhmien välistä eroa amplitudin voimakkuudessa tai sijoittumisessa aivokuorella.

Kuviosta 6 nähdään P3a-vasteen jakautuminen aivokuorella. Kuviosta nähdään, että molemmilla lapsiryhmillä vaste sijoittuu vahvasti aivojen frontaalialueille. Änkyttävillä lapsilla vaste näyttäneen vaimentuvan nopeammin aivojen etuosissa, mutta säilyvän vahvempana aivojen takaosissa. Vasteen jakautumisessa on siis silmämääräisesti nähtävissä eroa, mikä ei kuitenkaan tule esille tilastollisesti merkitsevänä. Syitä tähän on esitetty tarkemmin tutkielman pohdinta-osuudessa.



Kuvio 6. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten P3a-vasteen jakautuminen aivokuorella.

4.2 P3a-vasteen latenssi ja sen jakautuminen aivokuorella

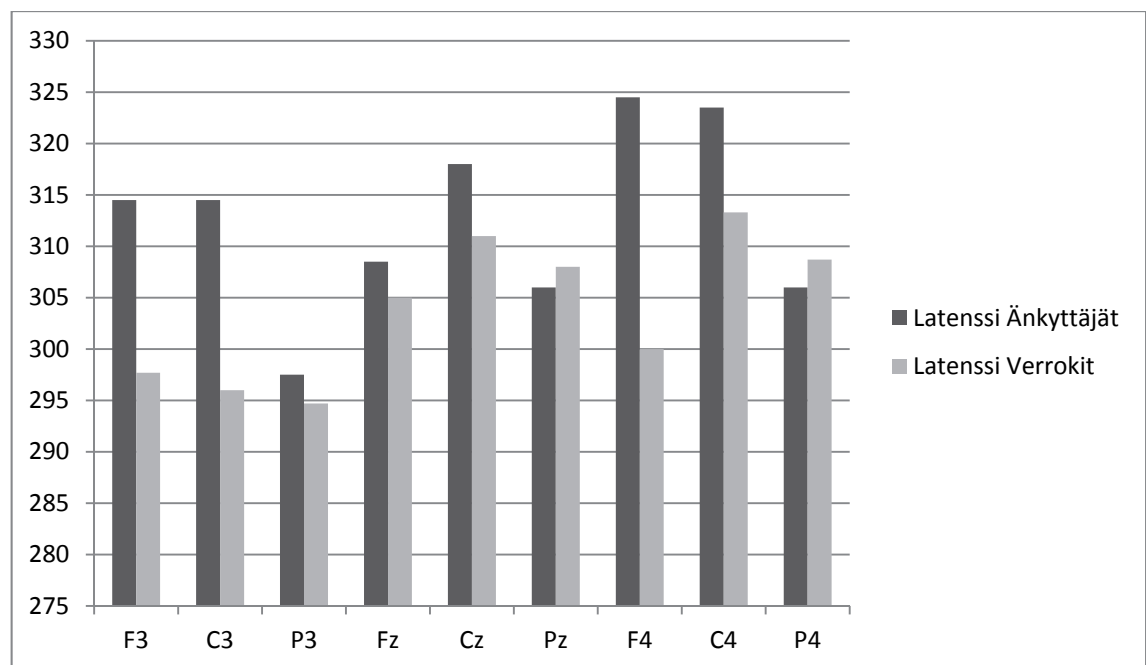
Ryhmien välillä ei voitu havaita eroa arvioituna latenssia yhdeksän elektrodin osalta. Sen sijaan molemmissa ryhmissä oli samankaltainen ero (ks. taulukko 7) hemisfääreihin jakautumisen suhteen right-left [F3-C3-P3, Fz-Cz-Pz, F4-C4-P4] RL päävaikutus $F(2,36) = 4.15$, $p = 0.024$, $\eta_p^2 = 0.19$. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu päävaikutuksena etu-takasuunnassa eikä ryhmien välillä etu-takasuunnassa eikä

hemisfäärien välillä (ks. taulukko 7). Latenssin suhteen vasteet jakautuvat siis tasaisesti molemmissa ryhmissä etu-takasuunnassa (ks. vertailun avuksi taulukko 8 sekä kuvio 7), kun taas amplitudissa eroja ryhmän sisällä esiintyi.

Taulukko 7. P3a-vasteen latenssin tilastolliset merkitsevyydet.

| Lähde | p* latenssi |
|-----------------|-------------|
| AP | ns. |
| AP x ryhmä | ns. |
| RL | 0.024 |
| RL x ryhmä | ns. |
| AP x RL | ns. |
| AP x RL x ryhmä | ns. |

ns: non significant



Kuvio 7. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten latenssiarvot graafisesti esitettyinä. Mitä matalampi pylväs sitä parempi johtumisnopeus vasteella.

Taulukko 8. Änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten numeeriset latenssiarvot millisekunteina sekä keskihajonnat P3a-vasteelle. Mitä pienempi numeerinen arvo sitä parempi johtumisnopeus vasteella.

| Poikkeava ääniärsyke | Latenssi ms Keskiarvo (SD) | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------|
| Elektrodi | Änkyttäjät (n=8) | Kontrollit (n=12) |
| F3 | 314.5 (18.4) | 297.7 (31.6) |
| C3 | 314.5 (26.2) | 296.0 (24.4) |
| P3 | 297.5 (38.1) | 294.7 (39.1) |
| Fz | 308.5 (19.4) | 305.0 (19.0) |
| Cz | 318.0 (30.7) | 311.0 (18.6) |
| Pz | 306.0 (40.7) | 308.0 (36.9) |
| F4 | 324.5 (34.8) | 300.0 (26.4) |
| C4 | 323.5 (32.6) | 313.3 (20.4) |
| P4 | 306.0 (46.0) | 308.7 (38.1) |

SD: standard deviation, keskihajonta; ms: millisekunti

Riippumattomien otosten t-testillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa aivojen etu- ja keskialueiden latenssien suuruudessa (ks. taulukko 9). Kuudella elektrodilla (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4) tarkastellessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä ryhmien välisiä eroja P3a-vasteen latenssissa tai sen jakaumassa aivokuorella etu-takasuunnassa eikä hemisfäärien välillä.

Taulukko 9. Keskiarvolatenssit ja keskihajonnat aivojen etu- ja keskialueen elektrodien P3a-vasteelle.

| | Änkyttäjät | Kontrollit |
|----------------|----------------|----------------|
| Latenssi ms | 315.83 (22.59) | 300.89 (22.12) |
| Keskiarvo (SD) | | |
| p* | 0.159 | |

*Riippumattomien otosten t-testi; SD: standard deviation, keskihajonta; ms: millisekunti

Tiivistettynä voidaan todeta, että änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa P3a-vasteen amplitudissa, latenssissa eikä näiden vasteiden jakautumisessa aivokuorella. Täten tutkimustulokset eivät tue asetettua tutkimushypoteesia. Silmämääräisesti tarkasteltuna eroja on kuitenkin havaittavissa esimerkiksi vasteen ajallisessa jakautumisessa aivokuorella. Seuraavaksi pohditaan eri tekijöitä, joilla voi olla vaikutusta saatuihin tutkimustuloksiin.

5 POHDINTA

Tämän tutkielman tulokset osoittavat, että 4–5-vuotiaiden änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmissä oli ryhmien sisäistä tilastollisesti merkitsevää vaihtelua P3a-vasteen sijoittumisessa hemisfääreihin sekä vasteen voimakkuuden (amplitudi) että aikaviiveen suhteen (latenssi). Molemmilla ryhmillä amplitudi oli suurempi frontaalisesti ja sentraalisesti kun taas latenssi jakautui tasaisesti molemmissa ryhmissä aivokuorella. Kuitenkaan ryhmien välisiä eroja ei tässä tutkielmassa havaittu amplitudin tai latenssin määrällisessä tarkastelussa eikä näiden suureiden jakaumassa aivokuorella. Näin ollen tämä tutkielma antaa viitteitä siitä, että esitietoinen kuulotietoon pohjautuva tarkkaavuuden suuntaaminen olisi samankaltaista kyseisten lapsiryhmien välillä (Yamaguchi & Knight, 1992). Seuraavassa tarkastellaan mahdollisia tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä sekä verrataan saatuja tuloksia aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Lisäksi tarkastellaan tutkielman validiteettiä ja reliabiliteettiä.

5.1 Tiedostamaton tarkkaavuuden siirtyminen änkyttävillä lapsilla

Esitietoista tarkkaavuuden siirtymistä poikkeavaan ääniärsykkeeseen ei ole vielä aiemmin tutkittu änkyttävillä lapsilla keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn tasolla. Behavioraalisilla mittareilla on havaittu poikkeavuutta tarkkaavuuden eri osaluilla änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten välillä (ks. esim. Eggers & Jansson-Verkasalo, 2017, Eggers ym., 2013). Maxfield ynnä muut (2016) havaitsivat tutkimuksessaan kontrolliryhmästä poikkeavia P3a-vasteita änkyttävillä aikuisilla tehtävässä, jossa he nimesivät kuvia ja tämän lisäksi arvioivat heille esitetyn siniäänien korkeuden. Poikkeavia vasteita ei havaittu, kun tutkittavan tehtävänä oli pelkästään nimetä kuva. Tutkimuksen tulokset viittaisivat siihen, että kognitiivisen kapasiteetin ylittyessä änkyttävien aikuisten tiedon havaitseminen ja luokittelu tulee haastavammaksi kuin sujuvasti puhuvien aikuisten. Tässä tutkielmassa saadut tulokset antavat osaltaan tukea tälle myös lasten osalta, sillä esitietoisessa tarkkaavuuden siirtymisessä ei havaittu poikkeavuutta änkyttävien ja tyypillisesti kehittyneiden lasten välillä. Voi siis olla, että änkyttävien lasten tiedostamaton esitietoinen tarkkaavuuden siirtäminen ei ole poikkeavaa, mutta ongelmat tulevat esille monimutkaista kognitiivista prosessointia vaativissa tehtävissä.

P3a-vaste tarkkaavuuden arvioinnissa

Auditiivinen P3a-vaste kuvastaa niin kutsuttuja korkeamman tason havaitsemisen mekanismeja (Horváth ym., 2008), tarkkaavuuden tallentamista (attentional capture) (Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000) sekä poikkeavan ääniärsyksen merkityksellisyyden arviointia (Horváth ym., 2008). P3a-vastetta on yleisesti käytetty arvioitaessa henkilön kykyä mukautua uuteen informaatioon sekä tutkittaessa etuaivolohkojen toiminnan poikkeavuuksia (Mearns, Melkonian Gordon, Williams, 2005).

P3a-vastetutkimuksia ei ole keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn osalta äänkyttävillä lapsilla tehty, mutta tutkimusta muilla lapsiryhmillä on jo hieman tehty. Haapala ynnä muut (2016) tutkivat automaattisen tarkkaavuuden siirtymistä yllättävään ääniärsykkeeseen lapsilla, jotka olivat sairastaneet toistuvia välikorvatulehduksia. Aiemmassa tutkimuksessaan (2014) sama tutkimusryhmä oli havainnut kyseisellä lapsiryhmällä poikkeavuutta esitietoisessa puheäänteiden kuuloerottelussa, vaikka heidän äänitiedon peruskäsittely oli samankaltaista kuin tyypillisesti kehittyneillä lapsilla. Samankaltaista tutkimustietoa on saatu äänkyttävien lasten kuulotiedon käsittelyyn kohdistuneista tutkimuksista (ks. esim. Jansson-Verkasalo ym., 2014; Kaganovich ym., 2010). Automaattisen tarkkaavuuden suuntaamisen suhteen äänkyttävät lapset näyttävät kuitenkin poikkeavan lapsista, joilla on ollut toistuvia välikorvatulehduksia. Haapalan ynnä muiden (2016) tutkimus viittaa siihen, että tarkkaavuuden suuntaaminen oli välikorvatulehduksia sairastaneilla lapsilla kontrolleihin verrattuna poikkeavaa, mikä viittaisi siihen, että nämä lapset häiriintyvät kontrolleja enemmän yllättävistä mutta merkityksettömistä äänistä. Tällaista eroa äänkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten välillä ei tässä tutkielmassa havaittu. Vaikka Haapalan ym. (2016) tutkimuksessa käytettiin samaa optimiparadigmaa kuin tässä tutkielmassa, on tulosten vertaamiseen kuitenkin suhtauduttava kriittisesti, sillä tutkimusolosuhteet näiden kahden tutkimuksen välillä ovat voineet olla erilaiset. Haapalan ym. (2016) tutkimuksessa esimerkiksi otoskoko on suurempi, mikä voi vaikuttaa saatuihin tuloksiin.

Tässä tutkielmassa P3a-vaste analysoitiin yhtenä vasteena eikä sitä jaettu kahdeksi eri osatekijäksi (early ja late P3a). Vasteen jakaminen näihin kahteen osatekijään olisi voinut tuoda lisätietoa näiden osatekijöiden kehitymisestä sekä niiden paikallistumisesta. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että seitsemän vuoden ikäisillä lapsilla voidaan havaita samanlaista aivoaktiivatiota kuin aikuisilla eP3a:n osalta (Partanen, Lang, Valkonen-Korhonen & Cheour, 2006). Varsinaisesta tarkkaavuuden siirtymisestä yllättäviin ärsykkeisiin vastaa IP3a (late P3a), joka poikkeaa vielä kouluikäisillä lapsilla aikuisten vasteista. Vaste nopeutuu lapsilla murrosikäen asti ja on nopeimmillaan nuorilla aikuisilla. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että ajallisesti ensimmäinen vasteista paikantuu vahvemmin etu-keskilinjaan kuin päälakilohkon alueelle tyypillisesti kehittyneillä lapsilla (Čeponienė ym., 2004; Gumenyuk ym., 2001), aikuisilla (Escera ym., 1998) ja lapsilla, joilla on ollut toistuvia välikorvatulehduksia (Haapala, 2016). Samankaltainen paikantuminen havaittiin myös tässä tutkielmassa sekä tyypillisesti kehittyneillä että änkyttävillä lapsilla.

5.2 Reliabiliteetti ja validiteetti

Vaikka tutkittavana oleva suure pystyttäisiin määrittämään hyvinkin tarkasti, mittaustulokseen jää aina esimerkiksi mittalaitteistosta, mittaustilanteesta tai tutkijasta aiheutuvaa satunnaisvirhettä (Nummenmaa, 2009). Mittauksen virheettömyydestä käytetään nimitystä reliabiliteetti. Toinen keskeinen asia mittaamisessa on se, että mittari mittaa juuri sitä käsitettä, jota tutkija olettaa sen mittaavan. Mittarin ja mitattavan ominaisuuden välisestä suhteesta käytetään nimitystä validiteetti. Seuraavassa tarkastellaan näitä kahta käsitettä valitun tutkimusmenetelmän ja aineiston näkökulmasta.

Tutkimusmenetelmän vaikutus saatuihin tuloksiin

Tutkimusmenetelmänä kuuloherätevasteet soveltuvat keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn tutkimiseen, sillä ne antavat ajallisesti tarkkaa tietoa (Luck, 2005). Mitattavat muuttujat ovat fyysikaalisia ominaisuuksia, joihin tutkittava ei suoraan pysty itse vaikuttamaan. Kuuloherätevestemittauksen reliabiliteetin ja validiteetin voisi ajatella olevan itsessään melko korkeita, mutta mittauksen suorittamiseen liittyy tekijöitä, jotka voivat näihin vaikuttaa.

Tässä tutkielmassa käytetty passiivinen kuuloherätevesteparadigma ei itsessään vaadi lapsen tarkkaavuuden suuntaamista, mutta vasteiden rekisteröintiin voi silti vaikuttaa eri

tekijät, kuten tutkittavan vireystila, liikehdintä ja ikä. Valitun monipiirreparadigman vahvuutena on ”oddball”-paradigmaan verrattuna paradigman lyhyempi kesto (Lovio ym., 2009; Näätänen Näätänen, Pakarinen, Rinne & Tageta, 2004; Pakarinen ym., 2009). Paradigman suhteellisen lyhyt kesto voi vähentää lapsen levottomuudesta ja liikehinnästä aiheutuvaa häiriöisyyttä elektrodikanavissa. Levottomuuden aiheuttaman liikehinnän minimoimiseksi lapsia seurattiin rekisteröinnin aikana lisäksi videokameran välityksellä, ja tarpeen mukaan pidettiin tauko, jos lapsen levottomuus aiheutti EEG-käyrään hälyisyyttä. Tutkielmassa käytetty optimiparadigma on todettu toimivaksi Haapalan ym. (2013) ja Niemitalo-Haapolan ym. (2013) toimesta.

Mittalaitteistosta johtuvaa virhettä voi lisätä se, että ERP-rekisteröinti suoritettiin sähkösuojamattomassa tilassa, mikä voi vaikuttaa rekisteröintitarkkuuteen. Aineiston rekisteröinnistä vastasivat opiskelijat. Koska aineisto ei ole allekirjoittaneen keräämä, voi tämä vaikuttaa siihen, että kaikkia tekijöitä ei ole mahdollisesti osattu ottaa huomioon aineiston analysoinnissa. Toisaalta rekisteröinnissä aiheutunut häiriöisyys huomataan melko helposti EEG-käyrästä, jolloin asiaan olisi todennäköisesti osattu kiinnittää huomiota. Koska tutkimus ei vaadi tutkittavan osallistumista, on myös epätodennäköisempää, että tutkijan rooli tai toiminta olisi vaikuttanut saatuun aineistoon.

Aineisto siistittiin ennen varsinaista analysointia, jolla pyrittiin siihen, että mahdollisesti häiriöiset kanavat eivät vaikuttaisi tutkimustulosten luotettavuuteen. Kaksi häiriöistä kanavaa poistettiinkin ennen aineiston tilastollista analysointia. Käytetyt analysointiohjelmat ovat yleisessä käytössä kuuloherätevastetutkimuksissa (ks. esim. Haapala, 2016). EEG-käyrän analysoinnissa tarkasteltiin myös lasten yksittäisiä käyriä, jotta pystyttiin varmistamaan, että ohjelma asetti esimerkiksi P3a-vasteen huippukohtat varmasti aallon huippukohtaan eikä esimerkiksi rinteeseen. Analysoinnissa oli tukena vankan kokemuksen ERP-rekisteröinneistä omaava logopedian professori Eira Jansson-Verkasalo. Tilastollisessa analysoinnissa pyrittiin mahdollisimman luotettavaan tulokseen tarkastelemalla yhdeksän yleisemmin kuuloherätevastemittauksissa käytetyn elektrodikanavan (Gumenyuk ym., 2001, 2005; Haapala, 2016; Määttä ym., 2005) lisäksi myös kuutta elektrodikanavaa. Tällä pyrittiin selvittämään, vääristäkö tyypillisesti kehittyneiden lasten aivojen taka-alueiden luonnostaan vaikeat P3a-vasteet (Čeponienė ym., 2004; Gumenyuk ym., 2001) yhdeksellä elektrodikanavalla saatuja tuloksia.

Aineisto

Tutkittavat valittiin satunnaisesti suuresta aineistosta. Aineistoon valikoitui yhteensä 8 änkyttävää lasta ja 12 sujuvasti puhuvaa lasta. Poissulkukriteerinä oli muu neurologinen poikkeavuus kuin änkytys, jolla pyrittiin kontrolloimaan tulosten mahdollista vääristymistä ja komorbiditeetin vaikutusta. Tutkimustuloksiin voi vaikuttaa se, että tutkimukseen valittujen änkyttävien lasten änkytyksen vaikeusaste oli suurimmalla osalla (n=5) lievä ja vain kahdella lapsella kohtalainen sekä yhdellä lapsella keskivaikea. Tällä voi olla vaikutusta siihen, että eroja änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten ryhmien välillä ei havaittu. Koska aineiston lapsien änkytys oli vaikeusasteeltaan eritasoista, voi yksittäisen lapsen suoriutuminen myös mahdollisesti vääristää tuloksia.

Tuloksia tulkitessa on hyvä muistaa aineiston pieni koko. Kansainvälisissä julkaisuissa aineiston koko on yleensä yli 10 lasta (Kozou ym., 2005; Kujala ym., 2004). Vaikka änkyttävien lasten otos ei paljon tavoitemäärästä jää, ovat tulokset suuntaa antavia, eikä niitä sellaisenaan voi yleistää suurempaan populaatioon. Tulokset tuovat kuitenkin arvokasta ensitietoa alallemme, sillä tutkimusta juuri tältä tarkkaavuuden osa-alueelta kuulotiedon käsittelyssä ei ole vielä saatavilla.

5.3 Tutkimuksen kliininen merkitys ja jatkotutkimustarve

Tarkkaavuuden tutkiminen orientaation tasolla kuulotiedon käsittelyssä on vasta aluillaan. Tässä tutkielmassa haluttiin tutkia nimenomaan esitietoista tarkkaavuuden siirtymistä, joten tutkimusmenetelmänä käytettiin passiivista paradigmat, joka ei vaadi tutkittavalta osallistumista. Tällä haluttiin välttää mahdollisten väliintulevien muuttujien vaikutus tutkimustuloksiin. Monissa jo tehdyissä tutkimuksissa tutkittavalta vaaditaan esimerkiksi motorista vastaustapaa, mikä voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Behavioraaliset tutkimukset ovat nostaneet esiin änkyttävien henkilöiden tarkkaavuuden ja kuulotiedon käsittelyn vaikeuksia viime aikoina, ja änkytystä on pidetty niin sanottuna auditoris-motorisena häiriönä (Packman & Attanasio, 2004). Tämä tutkielma tuo uuden näkökulman tähän ajatusmalliin, sillä tässä tutkielmassa ei havaittu eroja änkyttävien ja sujuvasti puhuvien lasten esitietoisessa tarkkaavuuden siirtymisessä keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä.

Behavioraalisisissa tutkimuksissa käytetyt motorisia taitoja vaativat tehtävät voivat vaikuttaa tulosten luotettavuuteen tarkasteltaessa tarkkaavuuden siirtymistä nimenomaan kuulotiedon käsittelyn tasolla. Änkytys luokitellaan usein motoriseksi häiriöksi ja on otettava huomioon, että tämä voi vaikuttaa behavioraalisisissa tehtävissä (esim. napin painaminen ohjeiden mukaan) suoriutumiseen. Behavioraaliset mittaustavat estävätkin usein päätelmien tekemisen siitä, miksi änkyttävien ja tyypillisesti kehittyneiden lasten kuulotiedon käsittely eroaa (Kaganovich, Hampton Wray & Weber-Fox, 2010). Behavioraalisten menetelmien heikkouksien takia tarvittaisiinkin lisää nimenomaan kuuloherätevasteilla tehtyä tutkimusta, jotta päätelmiä tarkkaavuuden siirtymisen eroista keskushermostollinen kuulotiedon käsittelyssä änkyttävillä ja tyypillisesti kehittyneillä lapsilla voitaisiin tehdä. Behavioraaliset tutkimukset tuovat omalta osaltaan tärkeää tietoa eri tarkkaavuuden osa-alueista. Näin ollen jatkossa pystytään toivottavasti yhä paremmin selvittämään, millä tarkkaavuuden osa-alueilla änkyttävillä henkilöillä esiintyy poikkeavuutta. Tämä tutkielma antaa syyn jatkotutkimukselle, sillä tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä ei havaittu. Jatkotutkimusta tarvitaan sekä änkyttävien lasten että aikuisten osalta, jotta jatkossa pystyttäisiin paremmin arvioimaan keskushermostollisen kuulotiedon käsittelyn ja tarkkaavuuden suuntaamisen kehitystä lapsesta aikuisuuteen.

Kliinisestä näkökulmasta tarkkaavuuden suuntaaminen yllättäviin ääniärsykkeisiin on merkittävä ja usein puheterapiatilanteessa esiin tuleva asia. Yllättävät, harjoitusten kannalta epäolennaiset äänet voivat siirtää tarkkaavuuden pois harjoituksesta, joka luonnollisesti vaikeuttaa puheterapian kulkua. On havaittu, että taipumus suunnata tarkkaavuus epäolennaisiin ärsykkeisiin lapsuudessa voi johtaa haasteisiin kielen omaksumisessa (Hari & Renvall, 2001). Tämän vuoksi on ehdottoman tärkeää saada lisätietoa änkyttävien ja myös muiden lasten automaattisesta tarkkaavuuden siirtymisestä. Tämä tutkielma viittaa siihen, että änkyttävät lapset eivät olisi herkempiä siirtämään tarkkaavuuttaan yllättäviin ääniärsykkeisiin kuin sujuvasti puhuvat lapset.

P3a-vasteita on tutkittu myös lapsilla, joilla on aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD) (ks. esim. Gumenyuk ym., 2005). Tutkimuksessa on havaittu P3a-vasteiden poikkevan tyypillisesti kehittyneistä lapsista. Keskittymisen ongelmat voivat johtaa puheen ja kielen kehittymisen ongelmiin, lapsen kiinnittäessä huomionsa häiritseviin tekijöihin kielellisen ärsykkeen sijaan. Toisaalta, jos lapsella on vaikeutta siirtää tarkkaavuuttaan, voi kielen oppimisen kannalta

olennaisia piirteitä jäädä havaitsematta. Lapsen tulee siis osata suunnata tarkkaavuutensa ja siirtää se merkityksellisiin kielellisiin ärsykkeisiin, jotta hän pystyy oppimaan äidinkieltä ja sille tyypilliset kielelliset edustumat.

Tämän tutkimuksen tulokset eivät tue behavioraalisten tutkimusten perusteella tehtyä oletusta siitä, että änkyttävien lasten automaattinen tarkkaavuuden siirtäminen keskushermostollisessa kuulotiedon käsittelyssä olisi poikkeavaa. Tutkimus on ensimmäinen laatuaan, joten lisätutkimus aiheesta on tärkeää näiden johtopäätelmien vahvistamiseksi tai hylkäämiseksi. Tämä tutkimus antanee motivaation lisätutkimukselle, sillä tulokset olivat odotetun vastaisia.

LÄHTEET

- Alku, P., Tiitinen, H., & Näätänen, R. (1999). A method for generating natural-sounding speech-stimuli for cognitive brain research. *Clinical Neurophysiology*, *110*, 1329–1333.
- Alm, P. A. (2004). Stuttering, emotions, and heart rate during anticipatory anxiety: A critical review. *Journal of Fluency Disorders*, *29*, 123–133.
- American Speech-Language Hearing Association (2005). Central auditory processing disorders, technical report: Working group on auditory processing disorders. Saatavilla: www.asha.org/policy. doi:10.1044/policy.TR2005-00043.
- Anderson, J. D., Pellowski, M. W., Conture, E. G., & Kelly, E. M. (2003). Temperamental Characteristics of Young Children Who Stutter. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, *46*, 1221–1233.
- Bajaj, A. (2007). Working memory involvement in stuttering: Exploring the evidence and research implications. *Journal of Fluency Disorders*, *32*, 218–238.
- Baron, I. S. (2004). *Neuropsychological evaluation of the child*. New York, NY: Oxford University Press.
- Beal, D. S., Gracco, V. L., Brettschneider, J., Kroll, R. M., & De Nil, L. F. (2013). A voxel-based morphometry (VBM) analysis of regional grey and white matter volume abnormalities within the speech production network of children who stutter. *Cortex*, *49*, 2151–2161.
- Bellis, T. J. (2011). *Assessment and management of central auditory processing disorders in the educational setting from science to practice*. San Diego: Plural Publishing.
- Belyk, M., Kraft, S. J., & Brown, S. (2015). Stuttering as a trait or state – an ALE meta-analysis of neuroimaging studies. *European Journal of Neuroscience*, *41*, 275–284.

- Benasich, A. A., Choudhury, N., Friedman, J. T., Realpe-Bonilla, T., Chojnowska, C., & Gou, Z. (2006). The infant as a prelinguistic model for language learning impairments: Predicting from event-related potentials to behavior. *Neuropsychologia*, *44*, 396–411.
- Blood, G. W., Blood, I. M., Maloney, K., Meyer, C., & Dean Qualls, C. (2007). Anxiety levels in adolescents who stutter. *Journal of Communication Disorders*, *40*, 452–469.
- Blood, G. W., Ridenour Jr., V. J., Dean Qualls, C., & Scheffner Hammer, C. (2003). Co-occurring disorders in children who stutter. *Journal of Communication Disorders*, *36*, 427–448.
- Bloodstein, O., & Bernstein Ratner, N. (2008). *The handbook of stuttering*. Clifton Park: Delmar.
- Brown, S., Ingham, R. J., Ingham, J. C., Laird, A. R., & Fox, P. T. (2005). Stuttered and fluent speech production: An ALE meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, *25*, 105–117.
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, *54*, 241–257.
- Chan, R. C. K., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. H. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*, 201–2016.
- Chang, S. E., Chow, H., Wieland, E. A. & McAuley, J.D. (2016). Relation between functional connectivity and rhythm discrimination in children who do and do not stutter. *NeuroImage: Clinical* *12*, 442–450.
- Chang, S. E., Erickson, K. I., Ambrose, N. G., Hasegawa-Johnson, M. A., & Ludlow, C. I. (2008). Brain anatomy differences in childhood stuttering. *NeuroImage*, *39*, 1333–1344.
- Chang, S., Kenney, M., Loucks, T., & Ludlow, C. (2009). Brain activation abnormalities during speech and non-speech in stuttering speakers. *NeuroImage*, *46*, 201–212.

Courchesne, E. (1990). Chronology of postnatal human brain development: event-related potential, positron emission tomography, myelinogenesis, and synaptogenesis studies, Teoksessa R. Rohrbaugh, R. Parasuroman & R. Johnson (toim.). *Event Related Brain Potentials: Basic Issue and Applications*. Oxford: Oxford University Press.

Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *39*, 131–143.

Čeponienė, R., Lepistö, T., Soinen, M., Aronen, E., Alku P., & Näätänen, R. (2004). Event-related potentials associated with sound discrimination versus novelty detection in children. *Psychophysiology*, *41*, 130–141.

Coles, M. G. H., & Rugg, M. D. (1995). Event-related potentials: an introduction. Teoksessa M. D. Rugg & M. G. H. Coles, *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*. Oxford: Oxford University Press.

Corbera, S., Corral, M.-J., Escera, C., & Idiazábal, A. (2005). Abnormal speech sound representation in persistent developmental stuttering. *Neurology*, *65*, 1246–1252.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 201–215.

Corcoran, J. A., & Stewart, M. (1998). Stories of stuttering: A qualitative analysis of interview narratives. *Journal of Fluency Disorders*, *23*, 247–264.

Craig, A. (2006). Fear of speaking: Chronic anxiety and stammering. *Advances in Psychiatric Treatment*, *12*, 63–68.

Cycowicz, Y. M., & Friedman, D. (1997). A developmental study of the effect of temporal order on the ERPs elicited by novel environmental sounds. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, *103*, 304–318.

De Nil, L. F., Beal, D. S., Lafaille, S. J., Kroll, R. M., Crawley, A. P., & Gracco, V. L. (2008). The effects of simulated stuttering and prolonged speech on the neural activation patterns of stuttering and nonstuttering adults. *Brain and Language*, *107*, 114–123.

- De Sonnevile, L. (2014). *Handboek ANT: Amsterdamse Neuropsychologische Taken*. [Handbook ANT: Amsterdam Neuropsychological Tasks]. Boom test Publishers, Amsterdam.
- Doneva, S., Davis, S., & Cavenagh, P. (2017). Comparing the performance of people who stutter and people who do not stutter on the Test of Everyday Attention. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *24*, 1–15.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E., & Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology and Neurotology*, *5*, 151–166.
- Escera, C., Alho, K., Winkler, I., & Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 590–604.
- Eggers, K., De Nil, L. F., & Van den Bergh, B. R. H. (2013). Inhibitory control in childhood stuttering. *Journal of Fluency Disorders*, *38*, 1–13.
- Eggers, K., De Nil, L., & Van den Bergh, B. T. H. (2012). The efficiency of attentional networks in children who stutter. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *55*, 946–959.
- Eggers, K., De Nil, L., & Van den Bergh, B. T. H. (2010). Temperament dimensions of stuttering, voice disordered, and normal speaking children. *Journal of Fluency Disorders*, *35*, 355–372.
- Eggers, K., De Nil, L., & Van den Bergh, B. T. H. (2009). Factorial temperament structure of stuttering, voice disordered, and normal speaking children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *52*, 1610–1622.
- Eggers, K., & Jansson-Verkasalo, E. Auditory attentional Set-shifting and Inhibition in Children who Stutter (2017). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *60*, 3159–3170.
- Felsenfeld, S., van Beijsterveldt, C. E. M., & Boomsma, D. I. (2010). Attentional Regulation in Young Twins With Probable Stuttering, High Nonfluency, and Typical Fluency. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, *53*, 1147–1166

Friedman, D., Cycowicz, Y. M., & Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *25*, 355–733.

Garon, N., Bryson, S., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, *134*, 31–60.

Geffner, D., & Ross-Swain, D. (2007). *Auditory processing disorders. Assessment, management and treatment*. San Diego: Plural Publishing.

Gomes, H., Molholm, S., Christodoulou, C., Ritter, W., & Cowan, N. (2000). The development of auditory attention in children. *Frontiers in Bioscience*, *5*, D108–D120.

Gumenyuk, V., Korzyukov, O., Escera, C., Hämäläinen, M., Huotilainen, M., Häyriinen, T.,... & Alho, K. (2005). Electrophysiological evidence of enhanced distractibility in ADHD children. *Neuroscience Letters*, *374*, 212–217.

Gumenyuk, V., Korzyukov, O., Alho, K., Escera, C., & Näätänen, R. (2004). Effects of auditory distraction on electrophysiological brain activity and performance in children aged 8–13 years. *Psychophysiology*, *41*, 30–36.

Gumenyuk, V., Korzyukov, O., Alho, K., Escera, C., Schröger, E., Ilmoniemi, R. J., & Näätänen, R. (2001). Brain activity index of distractibility in normal school-age children. *Neuroscience Letters*, *314*, 147–150.

Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A.-M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen H. (2005). Electrophysiological evidence of enhanced distractibility in ADHD children. *Neuroscience Letters*, *374*, 212–217

Haapala, S. (2016). Central Auditory Processing and the Acquisition of Phonology in 2-year-old Children with Recurrent Acute Otitis Media. *Behavioral and Brain Functions*, *4*.

Haapala, S., Niemitalo-Haapola, E., Raappana, A., Kujala, T., Suominen, K., Jansson-Verkasalo, E., & Kujala, T. (2016). Long-term influence of recurrent acute otitis media on neural involuntary attention switching in 2-year-old children. *Behavioral and Brain Functions*, *12*, 1.

Haapala, S., Niemitalo-Haapola, E., Raappana, A., Kujala, T., & Jansson-Verkasalo, E. (2014). Effects of recurrent acute otitis media on cortical speech-sound processing in 2-year old children. *Ear and Hearing, 35*, 75–83.

Hampton, A., & Weber-Fox, C. (2008). Non-linguistic Auditory Processing in Stuttering: Evidence from Behavior and Event-Related Brain Potentials. *Journal of Fluency Disorders, 33*, 253–273.

Hari, R., & Renvall H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 525–532.

Huotilainen, M., Kujala, A., Hotakainen, M., Parkkonen, L., Taulu, S., Simola, J., Nenonen, J., Karjalainen, M., & Näätänen, R. (2005). Short-term memory functions of the human fetus recorded with magnetoencephalography. *Neuroreport, 19*, 81–84.

Iverach, L., O'Brian, S., Jones, M., Block, S., Lincoln, M., Harrison, E., ... Onslow, M. (2009). Prevalence of anxiety disorders among adults seeking speech therapy for stuttering. *Journal of Anxiety Disorders, 23*, 928–934.

Jansson-Verkasalo, E., Eggers, K., Järvenpää, A., Suominen, K., Van de Bergh, B., De Nil, L., & Kujala, T. (2014). Atypical central auditory speech-sound discrimination in children who stutter as indexed by the mismatch negativity. *Journal of Fluency Disorders, 41*, 1–11.

Jansson-Verkasalo, E., Ruusuvirta, T., Huotilainen, M., Alku, P., Kushnerenko, E., Suominen K., ... & Hallman, M. (2010). Atypical perceptual narrowing in prematurely born infants is associated with compromised language acquisition at 2 years of age. *BMC Neuroscience, 11*, 88.

Jansson-Verkasalo, E., Korpilahti, P., Jäntti, V., Valkama, M., Vainionpää, L., Alku, P., Suominen, K., & Näätänen, R. (2004a). Neurophysiologic correlates of deficient phonological representations and object naming in prematurely born children. *Clinical Neurophysiology, 115*, 179–187.

Jansson-Verkasalo, E., Valkama, M., Vainionpää, L., Pääkkö, E., Ilkko, E., & Lehtihalmes, M. (2004b). Language development in very low birth weight preterm children: a followup study. *Folia Phoniatica et Logopaedica, 56*, 108–119

- Jokel, R., De Nil, L. F., & Sharpe, A. K. (2007). Speech disfluencies in adults with neurogenic stuttering associated with stroke and traumatic brain injury. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, *15*, 249.
- Jurado, M. B., & Roselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychological Review*, *17*, 213–233.
- Kaganovich, K., Hampton Wray, A., & Weber-Fox, C. (2010). Non-linguistic auditory processing and working memory update in pre-school children who stutter: an electrophysiological study. *Developmental Neuropsychology*, *35*, 712–736.
- Karrass, J., Walden, T. A., Conture, E. G., Graham, C. G., Arnold, H. S., Hartfield, K. N., & Schwenk, K. A. (2006). Relation of emotional reactivity and regulation to childhood stuttering. *Journal of Communication Disorders*, *39*, 402–423.
- Kidd, K. (1984). Stuttering as a genetic disorder. Teoksessa R. Curlee & W. Perkins: Nature and treatment of stuttering. San Diego, CA: College-Hill.
- Kidd, K.K., Heimbuch, R.C., & Records, M.A. (1981). Vertical transmission of susceptibility to stuttering with sex-modified expression. *Medical Sciences*, *78*, 606–610.
- Kidd, K., Kidd, J., & Records, M. (1978). The possible causes of the sex ratio in stuttering and its implications. *Journal of Fluency Disorders*, *3*, 13–23.
- Kozou, H., Kujala, T., Shtyrov, Y., Toppila, E., Starck, J., Alku P., & Näätänen, R. (2005). The effect of different noise types on the speech and non-speech elicited mismatch negativity. *Hearing Research*, *199*, 31–39.
- Kushnerenko, E. V., van den Bergh, B. R. H., & Winkler, I. (2013a). Separating acoustic deviance from novelty during the first year of life: a review of event-related potential evidence. *Frontiers in Psychology*, *4*, 595.
- Kuhl, P. K., Conboy, B. T., Coffney-Corina, S., Padden, D., Rivera-Gaxiola, M., & Nelson, T. (2008). Phonetic learning as a pathway to language: New data and native language magnet theory expanded (NLM-e). *Philosophical Transactions of Royal Society B Biological Sciences*, *363*, 979–1000.

- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S., & Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental Science, 9*, F13–F21.
- Kujala, T., Lovio, R., Lepistö, T., Laasonen, M., & Näätänen, R. (2006). Evaluation of multi-attribute auditory discrimination in dyslexia with the mismatch negativity. *Clinical Neurophysiology, 117*, 885–893.
- Kujala, T., & Näätänen, R. (2010). The adaptive brain: A neurophysiological perspective. *Progress in Neurobiology, 91*, 55–67
- Laberge, D. H. (1995). Attentional processing: The brain's art of mindfulness. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*, 339–354.
- Liotti, M., Ingham, J., Takai, O., Kothmann Paskos, D., Perez, R., & Ingham, R. (2010). Spatiotemporal dynamics of speech sound perception in chronic developmental stuttering. *Brain and Language, 115*, 141–147
- Loucks, T., Kraft, S. J., Choo, A. L., Sharma, H., & Ambrose, N. G. (2011). Functional brain activation differences in stuttering identified with a rapid fMRI sequence. *Journal of Fluency Disorders, 36*, 302–307.
- Lovio, R., Pakarinen, S., Huotilainen, M., Alku, P., Silvennoinen, S., Näätänen, R., & Kujala, T. (2009). Auditory discrimination profiles of speech sound changes in 6-year-old children as determined with the multi-feature MMN paradigm. *Clinical Neurophysiology, 120*, 916–921.
- Luck, S. J. (2005). An introduction to event-related potentials and their neural origins. Teoksessa Luck, S. J. *An introduction to the event-related potential technique*. The United States of America: The MIT Press.
- Martin, B. A., Kurtzberg, D., & Stapells, D. R. (1999). The effects of decreased audibility produced by high-pass noise masking on N1 and the mismatch negativity to speech sounds /ba/and/da. *Journal of Speech and Language Research, 42*, 271–286.

- Maxfield, N. D., Huffman, J. L., Frisch, S. A., & Hinckley, J. J. (2010). Neural correlates of semantic activation spreading on the path to picture naming in adults who stutter. *Clinical Neurophysiology*, *121*, 1447–1463.
- Maxfield, N. D., Morris, K., Frisch, S. A., Morphew, K., & Constantine, J. L. (2015). Real-time processing in picture naming in adults who stutter: ERP-evidence. *Clinical Neurophysiology*, *126*, 284–296.
- Maxfield, N. D., Olsen, W. L., Kleinman, D., Frisch, S. A., Ferreira, V. S., & Lister, J. J. (2016). Attention demands of language production in adults who stutter. *Clinical Neurophysiology*, *127*, 1942–1960.
- Maxfield, N. D., Pizon-Moore, A. A., Frisch, S. A., & Constantine, J. L. (2012). Exploring semantic and phonological picture-word priming in adults who stutter using event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, *123*, 1131–1146.
- Mearns, R., Melkonian, D., Gordon, E., & Williams, L. (2005). Distinct pattern of P3a event-related potential in borderline personality disorder. *Neuroreport*, *3*, 289–293.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex ‘frontal lobe’ tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49–100.
- Mohan, R., & Weber, C. (2015). Neural systems mediating processing of sound units of language distinguish recovery versus persistence in stuttering. *Journal of neurodevelopmental disorders*, *7*, 28.
- Movsessian, P. (2005). Neuropharmacology of theophylline induced stuttering: The role of dopamine, adenosine and GABA. *Medical Hypotheses*, *64*, 290–297.
- Mowrer, D. E., & Younts J. (2001). Sudden onset of excessive repetitions in the speech of a patient with multiple sclerosis: A case report. *Journal of Fluency Disorders*, *26*, 269–309.
- Månsson, H. (2000). Childhood stuttering: incidence and development. *Journal of Fluency Disorders*, *25*, 47–57.

- Määttä, S., Saavalainen, P., Könönen, M., Pääkkönen, A., Muraja-Murro, A., & Partanen, J. (2005). Processing of highly novel auditory events in children and adults: an event-related potential study. *NeuroReport*, *16*, 1443–1446.
- Niemitalo-Haapola, E., Lapinlampi, S., Kujala, T., Alku, P., Kujala, T., Suominen, K., & Jansson-Verkasalo, E. (2013). Linguistic multi-feature paradigm as an eligible measure of central auditory processing and novelty detection in 2-year-old children. *Cognitive Neuroscience*, *4*, 99–106.
- Niemitalo-Haapola, E., Haapala, S., Kujala, T., Raappana, A., Kujala, T., & Jansson-Verkasalo, E. (2017). Noise equally degrades central auditory processing in 2- and 4- year-old children. Accepted for publication in *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- Niemitalo-Haapola, E., Haapala, S., Jansson-Verkasalo, E., & Kujala, T. (2015). Background Noise Degrades Central Auditory Processing in Toddlers. *Ear and Hearing*, *36*, 342–351.
- Nummenmaa, L. (2009). Useampisuuntainen varianssianalyysi. Teoksessa L. Nummenmaa (toim.) *Tilastolliset menetelmät*. Tekijä ja kustannusyhtiö Tammi.
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Tageta, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): Towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 140–144.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ortiz-Mantilla, S., Hämäläinen, J. A., Realpe-Bonilla, T., & Benasich A. A. (2016). Oscillatory Dynamics Underlying Perceptual Narrowing of Native Phoneme Mapping from 6 to 12 Months of Age. *Journal of Neuroscience*, *36*, 12095–12105.
- Packman, A., & Attanasio, J. S. (2004). *Theoretical Issues in Stuttering*. New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group.

Pakarinen, S., Lovio, R., Huotilainen, M., Alku, P., Näätänen, R., & Kujala, T. (2009). Fast multi-feature paradigm for recording several mismatch negativities (MMNs) to phonetic and acoustic changes in speech sounds. *Biological Psychology*, *82*, 219–226.

Pavlov I. (1927). *Conditioned Reflexes*. New York: Oxford University Press.

Partanen J., Lang H., Valkonen-Korhonen, M., & Cheour, M. (2006). Tapahtumapotentialit (ERP). Teoksessa J. Partanen, B. Falck, J. Hasan, V. Jäntti, T. Salmi, & U. Tolonen (toim.), *Kliininen neurofysiologia*. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki.

Piispala, J., Jansson-Verkasalo, E., & Kallio, M. (2016). Delayed N2 response in go condition in a visual go/nogo ERP study in children who stutter. *Journal of Fluency Disorders*, *48*, 16–26.

Piispala, J., Määttä, S., Pääkkönen, A., Bloigu, R., Kallio, M., & Jansson-Verkasalo, E. (2017). Atypical brain activation in children who stutter in a visual Go/Nogo task: An ERP study. *Clinical Neurophysiology*, *128*, 194–203.

Ponton, C., Eggermont, J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: evidence from multi-channel evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*, *111*, 220–236.

Posner, M. I., & Petersen, S.E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Reviews of Neuroscience*, *13*, 25–42.

Prestes, R., Neves de Andrade, A., Santos, R., Marangoni, A., Schiefer, A. M., & Gil, D. (2017). Temporal processing and long-latency auditory evoked potential in stutterers. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*.

Putkinen, V., Niinikuru, R., Lipsanen, J., Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2012). Fast measurement of auditory event-related potential profiles in 2–3-year-olds. *Developmental Neuropsychology*, *37*, 51–75.

- Rautakoski, P., Hannus, T., Simberg, S., Sandnabba, N. K., & Santtila, P. (2012). Genetic and environmental effects on stuttering: A twin study from Finland. *Journal of Fluency Disorders*, *37*, 202–210.
- Richard, G. (2007). Language processing versus auditory processing. Teoksessa D., Geffner, & D. Ross-Swain, *Auditory processing disorders. Assessment, management and treatment*. San Diego: Plural Publishing.
- Riley, G. (1994). *Stuttering Severity Instrument for children and adults*. Austin: Pro-Ed.
- Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2001). Mechanisms and variation in the development of attentional networks. Teoksessa C. A. Nelson & M. Luciana (Toim.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rueda, M. R., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2004). Attention control and self-regulation. Teoksessa R. F. Baumeister & K. D. Vohs (Toim.), *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications*. New York, NY: Guilford.
- Salmi, J., Rinne, T., Koistinen, S., Salonen, O., & Alho, K. (2009). Brain networks of bottom-up triggered and top-down controlled shifting of auditory attention. *Brain Research*, *1286*, 155–164.
- Sasisekaran, J., Brady, A. & Stein, J. (2013). A preliminary investigation of phonological encoding skills in children who stutter. *Fluency Disorders*, *38*, 45–58.
- Schröger, E., & Wolff, C. (1998). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *NeuroReport*, *9*, 3355–3358.
- Shetake, J. A., Wolf, J. T., Cheung, R. J., Engineer, C. T., Ram, S. K., & Kilgard, M. P. (2011) Cortical activity patterns predict robust speech discrimination ability in noise. *European Journal of Neuroscience*, *34*, 1823–1838.
- Sokolov E (1963). *Perception and the Conditioned Reflex*. Oxford: Pergamon Press.
- Sokolov, E. N. (1975). The neuronal mechanisms of the orienting reflex, Teoksessa E. N. Sokolov & O. S. Vinogradova (toim.), *Neuronal Mechanisms of the Orienting Reflex*. Erlbaum, Hillsdale.

Sorokin, A., Alku, P., & Kujala, T. (2010). Change and novelty detection in speech and non-speech sound streams. *Brain Research, 1327*, 77–90.

Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 38*, 387–401.

Vasic, N., & Wijnen, F. (2005). Stuttering as monitoring deficit. Teoksessa R. J. Hartsuiker, R. Bastiaanse, A. Postma, & F. Wijnen (toim.), *Phonological encoding and monitoring in normal and pathological speech*. Hove: Psychology Press.

Vouloumanos, A., & Werker, J. F. (2007). Listening to language at birth: evidence for a bias for speech in neonates. *Developmental Science, 10*, 159–164.

Werner, J. F., Pons, F., Dietrich, C., Kajikawa, S., Fais, L., & Amano, S. (2007). Infant-directed speech supports phonetic category learning in English and Japanese. *Cognition, 103*, 147–162.

Wetzel, N., Widmann, A., Berti, S., & Schröger, E. (2006). The development of involuntary and voluntary attention from childhood to adulthood: a combined behavioral and event-related potential study. *Clinical Neurophysiology, 117*, 2191–2203.

Wieland, E. A., McAuley, J. D., Dilley, L. C., & Chang, S. E. (2015). Evidence for a rhythm perception deficit in children who stutter. *Brain and language, 144*, 26–34.

Yamaguchi, S., & Knight, R. T. (1992). Effects of temporal-parietal lesions on the somatosensory P3 to lower limb stimulation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 84*, 139–148.

Yeoh, H. K., Lind, C. R. P., & Law, A. J. J. (2006). Acute transient cerebellar dysfunction and stuttering following mild closed head injury. *Child's Nervous System, 22*, 310–313.