

Musiikillisen toiminnan vaikutus 2–6-vuotiaiden lasten kuulotiedon prosessointiin: ERP-tutkimus

Tuuli Vattulainen
Pro gradu -tutkielma
Psykologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Elokuu 2013

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

VATTULAINEN, TUULI: Musiikillisen toiminnan vaikutus 2–6-vuotiaiden lasten kuulotiedon prosessointiin: ERP-tutkimus

Pro Gradu -tutkielma, 42 s , 5 liites.

Ohjaaja: Prof. Mari Tervaniemi ja PsM Vesa Putkinen

Psykologia

Elokuu 2013

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella musiikillisen toiminnan yhteyttä 2–6-vuotiaiden lasten kuulotiedon prosessointiin tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden avulla. Koeasetelmana käytettiin melodia-asetelmaa, joka sisälsi melodiaan, äänenväriin, rytmiin, sävellajiin, sävelten oikeaan ajoitukseen sekä vireeseen kohdistuvia muutoksia. Musiikillisen toiminnan määrä arvioitiin vanhempien täyttämän kyselylomakkeen perusteella lapsen musiikillisen leikin ja vanhempien lapselle laulamisen pohjalta. Eri muutostyypeille syntyneiden vasteiden ja lapsen musiikillisen toiminnan välisiä yhteyksiä tarkasteltiin lineaarisen sekamallin avulla. Lukuun ottamatta rytmin muutostyyppiä havaittiin lähes merkitsevä yhteys musiikillisen toiminnan ja vasteiden amplitudien välillä. Mitä korkeampi lapsen musiikillisen toiminnan määrä oli sitä negatiivisempia olivat vasteiden amplitudit. Lisäksi havaittiin tilastollisesti merkitsevä musiikillisen toiminnan ja mittauskerran yhdysvaikutus vireen muutoksen amplitudeille, jossa kolmannella mittauskerralla musiikillinen toiminta lisäsi amplitudien negatiivisuutta merkitsevästi. Amplitudien kasvu liitetään prosessoinnin tarkentumiseen ja siten musiikillisella toiminnalla näyttäisi olevan positiivinen vaikutus lasten kuulotiedon prosessointiin. Vasteiden latenssien suhteen ei yhteyttä havaittu lukuun ottamatta melodian muutoksen kohdalla havaittua yllättävää yhdysvaikutusta, jolle ei löydy järkevää selitystä nykytutkimuksen valossa. Latenssien aikaistumisen on ehdotettu heijastelevan kehittyneempiä representaatioita musiikillisille elementeille. Saattaa olla, ettei lasten kohdalla riittävän vahvoja edustuksia musiikillisista piirteistä ole ehtinyt vielä muodostua, mikä selittäisi yhteyden puuttumista latenssien suhteen. Tämä tutkimus antaa tärkeää tietoa musiikillisen toiminnan vaikutuksesta lasten kuulotiedon prosessointiin ja aivojen herkkyydestä prosessoinnin muovautumiselle ympäristön tarjoamien virikkeiden puitteissa. Tutkimus tarjoaa uuden näkökulman perinteiselle kuulotiedon prosessointia tarkastelevalle tutkimukselle ja tukee musiikin mahdollisuuksien huomioon ottamista kuntoutuksellisissa ja kasvatuksellisissa ympäristöissä.

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	1
1.1. Aivosähkökäyrä (EEG) ja tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (ERP)	1
1.1.1. MMN – vaste muutoksen havaitsemiselle	3
1.1.2. P3a – tarkkaavuuden tahaton siirtyminen	5
1.1.3. LDN – muutoksenhavaitsemisen jatkoprosessointi	5
1.2. ERP-vasteiden kehittyminen lapsuudessa	6
1.2.1. Ulkosyntyisten vasteiden kehittyminen	7
1.2.2. MMN-vasteen kehittyminen	7
1.2.3. P3a- ja LDN-vasteen kehittyminen	8
1.3. Musiikki ja aivot	9
1.4. Aiemmissä tutkimuksissa käytetyt koeasetelmat	12
1.4.1. Klassinen Oddball-asetelma	12
1.4.2. Monipiirreasetelma	12
1.4.3. Roving-asetelmat	13
1.5. Tutkimusongelmat ja hypoteesit	14
2. MENETELMÄT	14
2.1. Koehenkilöt	14
2.2. Koeasetelma	15
2.3. Kokeen kulku	17
2.4. Kyselylomake	18
2.5. Aivosähkökäyrän rekisteröinti ja jatkokäsittely	19
3. TULOKSET	21
3.1. Poikkeavat ärsykkeet ja musiikillinen toiminta	22
4. POHDINTA	25
4.1. Tutkimustulosten tarkastelua	26
4.1.1. Vasteet eri muutostyypeille	26
4.1.2. Musiikillisen toiminnan yhteys vasteiden latensseihin ja amplitudeihin	27
4.1.3. Vasteiden kehitys iän myötä	28
4.2. Tutkimuksen arviointia	29
4.3. Musiikin siirtovaikutuksista	30
4.4. Yhteenveto	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	43

1. JOHDANTO

Musiikin havaitseminen perustuu musiikissa olevien eri piirteiden monitahoiseen prosessointiin ja analyysiin. Lisäksi vaaditaan kykyä kokonaisuuksien hahmottamiseen. Siten musiikki on hyvä esimerkki ihmisen kyvystä erittäin monimutkaiseen ja monitasoiseen prosessointiin. Musiikin havaitsemisen neuraalinen perusta ja musiikin harrastamisen vaikutukset aivojen rakenteisiin sekä toimintaan ovatkin viime aikoina nousseet kognitiivisen neurotieteen mielenkiinnon kohteeksi.

Musiikillisten taitojen kehittäminen on huomionarvoista varsinkin jos musiikilliset taidot yleistyvät myös ei-musiikillisiin taitoihin ja musiikin harjoittamat taidot ovat hyödynnettävissä myös muunlaisessa toiminnassa. Tällaista musiikillisella harjoittelulla saavutettujen taitojen yleistymistä onkin havaittu (Schellenberg, 2004, 2005), etenkin mikäli tehtävien suorittaminen aktivoi samoja aivoalueita musiikillisen harjoittelun kanssa (Jonides, 2004). Musiikillinen harjoittelu, joka aktivoi tiettyjä alueita aivoissa, parantaa siis samantapaista kognitiivista suoriutumista (Dahlin, Neely, Larsson, Bäckman, & Nyberg, 2008). Siten musiikin neuraalisen perustan tutkiminen ja musiikin vaikutusten selvittäminen aivotoiminnan tasolla voi tuoda uuden ja kiinnostavan näkökulman perinteisten kognitiivisia prosesseja tarkastelevan tutkimuksen rinnalle.

Tutkimuksissa on usein käytetty tapahtumasidonnaisia jännitevasteita, sillä ne mahdollistavat eri kognitiivisten prosessien monipuolisen tutkimisen. Musiikki koostuu havainnollisesti erillisistä elementeistä muodostaen ajallisesti etenevän kokonaisuuden. Siten esimerkiksi muistin toiminta on välttämätöntä musiikin havaitsemiseksi ja vastaavasti tarkkaavaisuustoimintojen automaattisuus keskeistä musiikillisesti yllättävien piirteiden havainnoimisessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden avulla tarkastella musiikillisten piirteiden prosessointia ja piirteissä tapahtuvien muutoksien erottelua lapsuudessa. Erityisesti haluttiin selvittää, onko kotona tapahtuvalla musiikillisella toiminnalla vaikutusta lasten kuulotiedon prosessointiin, ja miten tämä prosessointi muuntuu iän ja musiikillisen toiminnan määrän suhteen.

1.1. Aivosähkökäyrä (EEG) ja tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (ERP)

Aivosähkökäyrä (elektroenkefalografia, EEG) perustuu pään pinnalta mitattaviin sähköisiin potentiaaleihin, jotka ovat seurausta hermosolujen yhtäaikaisesta aktivoitumisesta eli hermosolujen

välisestä viestinnästä. Jatkuvasta aivosähkökäyrästä voidaan erottaa jännitemuutoksia, jotka ovat yhteydessä joko ulkoiseen tapahtumaan, kuten ääniärsykkeeseen, tai aivojen sisäiseen tapahtumaan, esimerkiksi päätöksentekoon. Näitä jännitemuutoksia kutsutaan tapahtumasidonnaisiksi jännitevasteiksi (engl. event-related potential, ERP), joiden avulla pystytään tutkimaan muun muassa havaitsemisen hermostollista perustaa (Coles & Rugg, 1995). Yksittäiset jännitevasteet ovat usein kuitenkin liian heikkoja havaittaviksi ja peittyvät helposti kohinaan eli muusta aivojen toiminnasta johtuvan sähköisen aktiviteettiin. Jotta tutkimuskohteena olevat säännöllisesti toistuviksi ajatellut aiovasteet saataisiin esiin kohinan seasta, on ärsykettä toistettava useita kertoja ja syntyneet vasteet keskiarvoistettava yhteen (Coles & Rugg, 1995; Luck, 2005; Picton, 2010). Näin on mahdollista tarkastella erilaisten ärsykkeiden prosessointia aivoissa (Näätänen, 1992).

Aivokudokset ja kallo vaimentavat ja laajentavat vasteiden jakaantumista pään pinnalla (Luck, 2005), minkä perusteella voidaan saada vain viitteellistä tietoa vasteen alkuperäisen muodostumisalueen sijainnista. Tarkempi paikannus vaatii matemaattista mallintamista tai muiden mittausmenetelmien kuten toiminnallisen magneettikuvauksen (fMRI) tai magneetoenkefalografian (MEG) käyttöä. Aivosähkökäyrän avulla aivoissa tapahtuvasta prosessoinnista saadaan kuitenkin ajallisesti hyvin tarkkaa tietoa. Aivosähkökäyrästä saatujen tapahtumasidonnaiset jännitevasteet antavat mahdollisuuden tarkastella aivojen aktivaatiota, jonka ajatellaan heijastelevan tiedon kulkua ja kognitiivista prosessointia aivoissa. Siten tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden tarkastelu on lähempänä kognitiivisten prosessien tutkimista verrattuna esimerkiksi anatomisemmin suuntautuneeseen fMRI-tutkimukseen. Lisäksi aivojen aktivaatiota mitataan suoraan sähköisellä tasolla hermosolujen toiminnasta verrattuna esimerkiksi aivojen aineenvaihduntaan perustuviin menetelmiin.

Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet jaotellaan usein ulko- (eksogeeninen) ja sisäsyntyisiin (endogeeninen) jännitevasteisiin (Näätänen, 1992). Ulkosyntyisillä vasteilla viitataan kaikille äänille syntyviin äänen akustisten piirteiden perusteella määräytyviin vasteisiin, joiden ajatellaan olevan riippumattomia henkilön tilasta ja suhteesta stimulukseen eli ns. kognitiivisesta manipulaatiosta (Rugg & Coles, 1996). Aikuisilla ulkosyntyisiin jännitevasteisiin kuuluvat muun muassa P1-, N1- ja P2-vasteet. Vasteiden nimeäminen perustuu vasteen polariteettiin (positiivinen tai negatiivinen) sekä esiintymisajankohtaan (Luck, 2005) ja esimerkiksi P1-vaste on polariteetiltaan positiivinen vaste, joka esiintyy 100 ms ärsykkeen alkamishetkestä. Tämän tutkimuksen kiinnostuksen kohteena olevat sisäsyntyiset jännitevasteet taas heijastelevat ärsykkeen niin sanottuja korkeamman tason tiedonkäsittelyn prosesseja ja näihin vasteisiin kuuluvat muun muassa MMN-vaste (engl. mismatch negativity), P3a-vaste sekä myöhäiset negatiiviset

jännitevasteet (engl. late discriminative negativity, LDN). Seuraavissa kappaleissa esitellään näitä perinteisillä koeasetelmilla pieniltä lapsilta tyypillisesti löydettyjä vasteita.

1.1.1. MMN – vaste muutoksen havaitsemiselle

MMN-vaste syntyy toistuvassa äänisarjassa tapahtuvalle muutokselle automaattisesti tarkkaavaisuudesta riippumatta ja heijastaa reaktiota poikkeamille itse ärsykkeen sijaan. MMN-vaste on polariteetiltaan negatiivinen ja esiintyy 100–250 ms poikkeavan ärsykkeen esittämisen jälkeen (Näätänen, 1992). MMN-vaste on yksi käytetyimmistä tapahtumasidonnaisista jännitevasteista kuulotiedon prosessointia tutkittaessa, sillä sen avulla voidaan tutkia kuinka tarkasti ääniärsykeitä erotellaan toisistaan (Näätänen, 1990). Vasteen ajatellaan heijastelevan suoraan aisti-tiedon prosessointia ja siten se mahdollistaa kuulohavaintojen, kuulonvaraisen muistin ja kuulohavainnon käsittelyyn liittyvien tarkkaavuuden kääntymistä edeltävien prosessien tutkimisen (Näätänen, Paavilainen, Rinne, & Alho, 2007). Lisäksi vasteen on havaittu olevan yhteydessä poikkeavien ärsykkeiden käsittelyn behavioraalisiin mittareihin kuten reaktioaikoihin (Amenedo & Escera, 2000; Tiitinen, May, Reinikainen, & Näätänen, 1994). MMN-vasteiden on huomattu olevan myös suurempia musikaalisilla tai musiikkia harrastavilla kuin ei-musikaalisilla tai musiikkia harrastamattomilla henkilöillä (mm. Meyer ym., 2011; Tervaniemi, Ilvonen, Karma, Alho, & Näätänen, 1997; Virtala, Huotilainen, Putkinen, Makkonen, & Tervaniemi, 2012). MMN-vastetta voidaankin siten pitää hyvänä välineenä myös musiikin havaitsemistaitojen tutkimiseen.

Perinteiset MMN-vastetta koskevat teoriat pohjautuvat niin sanottuun muistijälkitulkintaan, jonka mukaan vasteen syntyminen riippuu lyhytkestoisen muistijäljen muodostumisesta kuuloaivokuorelle poikkeavuutta edeltävien kuuloärsykkeiden perusteella (Näätänen ym., 2007). Vaste muodostuu, kun poikkeava ärsyke eroaa vakioärsykkeen muistijäljestä. Teoriaa tukevat havainnot MMN-vasteen puuttumisesta ensimmäisten ärsykkeiden kohdalla (Cowan, Winkler, Teder, & Näätänen, 1993) ja sen esiintyminen esittämättä jätettyyn ääneen muuten säännöllisessä äänijatkumossa (Yabe ym., 1998). Muistijälkitulkinnan lisäksi MMN-vasteen toimintaperiaatteesta on esitetty ajatus kuuloaivokuorelle tulevien äänten ennustamisesta, jossa aiemman kuulotiedon perusteella muodostuneen mallin avulla ennustetaan tulevia ärsykeitä ja poikkeavuudet havaitaan malliin vertaamalla (ks. mm. Näätänen, Tervaniemi, Sussman, Paavilainen, & Winkler, 2001; Winkler, Denham, & Nelken, 2009).

MMN-vaste muodostuu hyvin erilaisille äänipoikkeamille rakenteeltaan erilaisissa äänissä (esim. siniääni, puheääni, soitinänet). Se voi muodostua yksinkertaisen äänen fysikaalisten ominaisuuksien (äänen korkeus, kesto, voimakkuus, tulosuunta) muutosten lisäksi myös abstraktimmille muutoksille, kuten kielioppivirheille (Näätänen ym., 2007) tai poikkeamille äänissä ilmenevistä abstrakteista säännöistä (katsaus: Paavilainen, 2013; Tervaniemi, Maury, & Näätänen, 1994). Lisäksi MMN-vaste syntyy esimerkiksi sointiväriin muutoksille (Tervaniemi, Winkler, & Näätänen, 1997), sävelen epävireisyydelle melodian sisällä (Brattico, Tervaniemi, Näätänen, & Peretz, 2006) sekä ärsykkeiden välisen aikaeron muutoksille (ISI) (Näätänen, Jiang, Lavikainen, Reinikainen, & Paavilainen, 1993) ja rytmillisille muutoksille (Rüsseler, Altenmüller, Nager, Kohlmetz, & Münte, 2001; Vuust, Ostergaard, Pallesen, Bayley, & Roepstroff, 2009). Nämä löydökset tukevat ajatusta MMN-vasteen heijastamien kognitiivisten prosessien roolista etenkin monimutkaisen äänimateriaalin prosessoinnissa ja MMN-vasteen tarkastelun merkitystä musiikillista äänimateriaalia hyödyntävässä tutkimuksessa.

MMN-vaste voidaan rekisteröidä kun koehenkilö ei aktiivisesti seuraa ärsykeitä, vaan tarkkaavaisuus on kiinnittyneenä muualle esimerkiksi kirjan lukemiseen tai äänettömän tekstitetyn elokuvan katsomiseen (katsaus: Näätänen ym., 2007) Vaste näyttäisi siis olevan tarkkaavaisuudesta riippumaton.

MMN-vaste on paikannettu muodostuvan sekä vasemmalla että oikealle kuuloaivokuorella (katsaus: Alho, 1995). Myös muiden alueiden on ehdotettu olevan osallisena vasteen syntymiselle ja esimerkiksi etuaivolohkon aktivoitumisen ajatellaan olevan yhteydessä poikkeavaan ärsykkeeseen suuntautuvan tarkkaavuuden tahattomaan kääntymiseen. Myös päälaenlohkon (Lavikainen, Huotilainen, Pekkonen, Ilmoniemi, & Näätänen, 1994) ja aivokuoren alaisten rakenteiden, kuten hippokampuksen (katsaus: Csépe, 1995), on todettu aktivoituvan. MMN:n syntymäaluetta on pyritty paikantamaan aivosähkökäyrän lisäksi vastaavan magneettisen MMNm-vasteen avulla MEG:llä ja fMRI:llä. Nämä tutkimukset viittaavat siihen, että vasteen muodostumiseen osallistuu laaja hermoverkko, mutta voidaan ajatella, että pääasiassa MMN-vaste syntyy kahdesta komponentista, joista varhaisempi muodostuu ohimolohkolla kuuloaivokuorella (katsaus Alho, 1995; Opitz, Rinne, Mecklinger, von Cramon, & Schröger, 2002) ja myöhäisempi etuaivokuorella (Giard, Perrin, Pernier, & Bouchet, 1990; Opitz ym., 2002).

1.1.2. P3a – tarkkaavuuden tahaton siirtyminen

P3a-vasteella viitataan huipultaan positiiviseen noin 200–300 ms poikkeavan ärsykkeen esittämisen jälkeen muodostuvaan vasteeseen, joka liitetään tarkkaavuuden tahattomaan kääntymiseen ja tarkkaavuuden siirtymiseen poikkeavaan ärsykkeeseen (Escera, Alho, Winkler, & Näätänen, 1998). MMN-vasteen kaltaisesti P3a-vaste syntyy ilman ärsykkeen aktiivista tarkkailua (Escera, Alho, Schröger, & Winkler, 2000) ja vaste voimistuu poikkeavan ja vakioärsykkeen välisen eron mukaan (Yago, Corral, & Escera, 2001).

P3a-vasteen ajatellaan olevan yhteydessä uutuuden havaitsemiseen ja arvioimiseen (katsaus: Friedman, Cycowicz, & Gaeta, 2001). Suurentunut P3a-vaste onkin yhdistetty häiriöherkkyyteen normaalisti kehittyneillä lapsilla (Gumenyuk ym., 2001). Vasteen roolia tahattomassa tarkkaavaisuuden siirtymisessä tukevat myös tutkimustulokset, joissa voimakkaan P3a-vasteen esiintyessä havaitaan virheiden lisääntymistä ja reaktioaikojen kasvamista näönvaraista tehtävää samaan aikaan suoritettaessa (Gumenyuk, Korzyukov, Alho, Escera, & Näätänen, 2004).

P3a-vasteen muodostumiseen osallistuu laaja aivoverkko, johon liittyvät muun muassa otsalohko, ohimolohkolla sijaitseva kuuloaivokuori, hippokampus ja temporoparietaalinen liitos (katsaus: Friedman ym., 2001). Yago, Escera, Alho, Giard ja Serra-Grabulosa (2003) havaitsivat vasemman kuuloaivokuoren olevan voimakkaammin yhteydessä vasteen syntymiseen.

P3a-vaste voidaan jakaa aikaiseen ja myöhäiseen alakomponenttiin, joista aiemman huippu keskittyy pään pinnan keskiosiin ja myöhäisempi pään pinnan etuosiin oikealle aivopuoliskolle painottuen. Vasteen kahtiajako on havaittu niin aikuisilla kuin lapsillakin (Gumenyuk ym., 2001; 2004). Vasteiden ajatellaan heijastelevan hieman erilaisia tahattoman tarkkaavaisuuden siirtymisen prosesseja (Escera ym., 2000) aikaisemman liittyessä aistiärsykkeen toistuvuuden rikkoutumiseen ja myöhäisemmän tarkkaavuuden kääntymiseen. Toisaalta Yago ym. (2003) esittävät, että vaste kehittyisi kolmessa perättäisessä osittain päällekkäisessä vaiheessa painotusalueen siirtyessä pään pinnan keskialueilta kuuloaivokuoren kautta otsalohkolle ja pääläenlohkon yläosiin.

1.1.3 LDN – muutoksenhavaitsemisen jatkoprosessointi

Lapsilla MMN- ja P3a-vasteita seuraa usein myöhäisempi, 400–600 ms ärsykkeen esittämisen jälkeen muodostuva, polariteetiltaan negatiivinen vaste, jota kutsutaan myöhäiseksi

negatiivisuudeksi (late discriminative negativity, LDN tai late mismatch negativity, IMMN; katsaus: Cheour, Korpilahti, Martynova, & Lang, 2001; Korpilahti, Krause, Holopainen, & Lang, 2001). Vaste on havaittu muutamissa tutkimuksissa myös aikuisilla (esim. Alho, Woods, Algazi ja Näätänen, 1992; Horváth, Roeber, & Schröger, 2009a). LDN-vaste muodostuu ärsykesarjassa esiintyviin poikkeaviin ärsykkeisiin ilman aktiivista ärsykkeen tarkkailua (Čeponiené ym., 2004).

Vasteen rooli on vielä epäselvä ja sen selvittämiseksi tarvitaan lisää tutkimusta, mutta sen merkityksestä on kuitenkin esitetty jo muutamia eri tulkintoja: vaste voi heijastaa ärsykemuutoksen esitietoista kognitiivisen tason prosessointia (Čeponiené ym., 2004) tai semanttista prosessointia (Cheour, Leppänen, & Kraus, 2000; Korpilahti ym., 2001). Korpilahden ym. (2001) sekä Cheourin ym. (2000) tutkimustulokset vasteen roolista semanttisessa prosessoinnissa tukevat käsitystä LDN-vasteen merkityksestä kuuloärsykkeen korkeamman tason käsittelyssä. Näissä tutkimuksissa LDN-vaste muodostuu vahvemmin sanoille kuin muille äänille tai epäsanoinneille, jolloin merkitystulkinnan rooli korostuu. Kuitenkin on mahdollista, että LDN-vaste koostuu ylipäätään useammasta toiminnallisesti erilaisesta komponentista, jolloin eri tutkimuksissa löydetty vasteet heijastelisivatkin vasteen eri puolia.

Myös LDN-vasteen linkittyminen muihin vasteisiin askarruttaa tutkijoita. LDN- ja MMN-vasteiden voidaan ajatella heijastelevan peräkkäisiä ja osittain päällekkäisiä prosesseja LDN-vasteen esiintyessä aina noin 230–260 ms MMN-vasteen jälkeen riippumatta MMN-vasteen esiintymisajankohdasta. Toisaalta LDN-vaste on linkitetty myös aikuisilla esiintyvään RON-vasteeseen (reorientating negativity; Schröger & Wolff, 1998; Wetzel, Widmann, Berti, & Schröger, 2006), jolloin se heijastaisi tarkkaavuuden siirtymistä poikkeavasta ärsykkeestä takaisin ensisijaiseen tarkkaavuuden kohteeseen. Vasteiden amplitudien on kuitenkin havaittu muuttuvan eri tavoin iän myötä, joten vasteet eivät ainakaan täysin vastaa toisiaan (katsaus: Cheour ym., 2001; Wetzel ym., 2006). Vaste on yhdistetty myös Nc-aaltoon (negative component), mutta muun muassa vasteiden painottumisessa pään pinnalla ja huippujen voimakkuuksissa on huomattu eroja (Čeponiené ym., 2004), mikä viittaa ainakin osittaiseen vasteiden erillisyyteen.

1.2. ERP-vasteiden kehittyminen lapsuudessa

Aivojen kypsyessä ja kehittyessä myös ERP-vasteissa on nähtävissä muutoksia eri komponenteissa. Yleisesti vasteiden aaltomuoto muuttuu monimutkaisemmaksi, latenssit lyhentyvät ja amplitudit

kasvavat (Thomas & Crow, 1994), mutta eri vasteiden suhteen kehitys näyttäisi tapahtuvan eri tahdissa ja muutokset voivat olla hyvinkin erilaisia.

1.2.1. Ulkosyntyisten vasteiden kehittyminen

Lapsilla ulkosyntyisistä vasteita voimakkaimmin erottuvat P1- ja N2-vasteet kun taas aikuisilla erotetaan P1-, N1- ja P2-vasteet (Rinne & Näätänen, 2002). N1-vasteen on havaittu muodostuvan vasta 8 ikävuoden jälkeen (Ponton, Don, & Masuda, 1996). Varhaisimpina elinvuosina P1-vaste muodostaa selkeimmän huipun ajoittuen 100–150 ms kohdalle (aikuisilla 40–50 ms) (Kushnerenko ym., 2002a), mutta 3-6-vuodesta alkaen N2-vaste muuttuu hallitsevammaksi aina aikuisikään asti (Ponton, Eggermont, Kwong, & Don, 2000). Kehityksen myötä kaikkien vasteiden huippuamplitudien on havaittu kasvavan erityisesti ensimmäisen elinvuoden aikana (Kushnerenko ym., 2002a), mutta myös verrattaessa 4- ja 9-vuotiaita lapsia (Čeponiené, Rinne, & Näätänen, 2002). P1-vasteen amplitudin on kuitenkin havaittu pienenevän lapsuudesta aikuisuuteen siirryttäessä (Čeponiené ym., 2002).

1.2.2. MMN-vasteen kehittyminen

MMN:n kaltaisen vasteen on raportoitu muodostuvan jo vastasyntyneillä lapsilla vakioärsykkeiden (1000 Hz) joukossa esitetyille taajuudeltaan poikkeaville (1200 Hz) äänille (Alho, Sainio, Sajaniemi, Reinikainen, & Näätänen, 1990). MMN-vasteen huippu sijoittui 200–400 ms kohdalle.

MMN-vasteen rekisteröiminen lapsilta voi kuitenkin olla haastavaa vasteen erotessa monella tavalla aikuisille tyypillisestä MMN-vasteesta. Ensinnäkin lapsilla havaittujen MMN-vasteiden polariteetti on usein positiivinen. Tutkimuksissa on myös havaittu vireystilan vaikuttavan vasteiden polariteettiin siten, että hereillä ollessa vasteet olivat negatiivisia kun taas nukkuessa positiivisia (Friederici, Friedrich, & Weber, 2002). Vauvoilta rekisteröityjen positiivisten vasteiden on ajateltu heijastavan aikuisten MMN-vasteiden tapaan automaattisia muutoksenhavaitsemisprosesseja. Trainor (2012) ehdottaa positiivisten ja mahdollisesti epä kypsien vasteiden liittyvän ennustavan järjestelmän toimintaan, joka voisi olla yksi aivojen perusoppimismekanismeista.

Vasteen jakautumassa pään pinnalla on myös löydetty eroavaisuuksia lasten ja aikuisten välillä siten, että lapsilla MMN-vasteen jakauma pään pinnalla on aikuisia laajempi ja vaste painottuu enemmän pääläen alueella verrattuna aikuisilla havaittuun etukeskiosan painotukseen (Cheour ym., 2002). Jakaumaeroja voivat selittää etuaivolohkon myöhäisempi kehittyminen suhteessa parietaalialueisiin (Brody, Kinney, Kloman, & Gilles, 1987) ja kallon paksuuserot aikuisten ja lasten välillä (Neville, 1995). MMN-vasteen on myös havaittu olevan ylipäättään kestoltaan laajempi vasteen alkamisesta sen loppumiseen (Csépe, 1995; Kraus ym., 1993).

Latenssien ja amplitudien suhteen suuria eroja aikuisten ja lasten MMN-vasteiden välillä ei ole löydetty (Courchesne, 1977). Latenssi on kuitenkin pienillä lapsilla aikuisilla havaittua pidempi (Cheour ym., 1997) ja latenssin on huomattu nopeutuvan neljän ja kymmenen ikävuoden välillä (Shafer, Morr, Kreuzer, & Kurtzerg, 2000) alkaen myöhemmin muistuttaa aikuisten kaltaista MMN-vastetta. Putkinen, Saarikivi, Ojala, Huotilainen ja Tervaniemi (hyväksytty julkaistavaksi) havaitsivat MMN-vasteiden amplitudin kasvavan seitsemästä ikävuodesta kolmeentoista. Amplitudien suhteen MMN-vasteen kypsyminen näyttäisi noudattelevan käänteisen U-kirjaimen muotoa (katsaus: Cheour ym., 2000): pikkulapsien MMN-vasteiden amplitudit ovat pienempiä verrattuna kouluikäisiin ja aikuisiin (Cheour ym., 1997) ja kouluikäisten amplitudit taas suurempia suhteessa aikuisten MMN-vasteiden amplitudeihin (Csépe, 1995).

1.2.3. P3a- ja LDN-vasteen kehittyminen

Myös P3a- ja LDN-vasteet on pystytty rekisteröimään jo vastasyntyneiltä vauvoilta (katso Čeponiené ym., 2002; Kushnerenko, Čeponiené, Balan, Fellman, & Näätänen, 2002b; Kushnerenko ym., 2007), mutta MMN-vasteen mukaisesti lapsilta löydetyt vasteet eroavat aikuisilta rekisteröidyistä vasteista.

P3a-vasteen latenssi näyttäisi vauvoilla ajoittuvan aikuisia myöhemmäksi (Kushnerenko ym., 2007) ja aikaistuvan kehityksen myötä aina noin 12 ikävuoteen saakka (Fuchigam ym., 1995). Kuten aikuisilla (Yago ym., 2001), myös lapsilla P3a-vasteen amplitudi korreloi positiivisesti esitettyjen vakio- ja poikkeavien ärsykkeiden eron kanssa (Kushnerenko ym., 2002b). Myös vasteen jakautumisessa pään pinnan suhteen on havaittu eroja eri ikäryhmillä: esim. Määtän ym. (2005) tutkimuksen mukaan 8–9-vuotiailla lapsilla P3a-vaste painottuu päänpinnan etuosiin, kun aikuisilla vaste on rekisteröity voimakkaammin pään pinnan keskiosista. Myös Brinkman ja Stauder (2008) havaitsivat P3a-vasteen siirtyvän pään pinnan etuosista keskiosiin kehityksen myötä. Siirtymä on

liitetty etuotsalohkon kehittymiseen ja tarkkaavaisuuden tahattoman kääntymisen inhiboinnin parantumiseen (Wetzel & Schröger, 2007). Toisaalta vasteen on huomattu olevan ylipäätään laajemmin jakautunut myös pään pinnan takaosiin 6–8-vuotiailla verrattuna 10–12-vuotiaiden ja 17–18-vuotiaiden vasteiden pääläelle keskittymiseen (Wetzel & Schröger, 2007). Vasteen onkin ajateltu kypsyvän 10–12 ikävuoteen mennessä (Brinkman & Staander, 2008).

Ylipäätään LDN-vaste vaikuttaisi heikkenevän vähitellen iän myötä (Kraus ym., 1993, katso lisäksi Bishop, Hardiman, & Barry, 2011; Gumenyuk ym., 2001; Hommet ym., 2009; Müeller, Brehmer, von Örtzen, Li, & Lindenberger, 2008). Lisäksi Horváthin, Cziglerin, Birkásin, Winklerin ja Gervain (2009b) tutkimuksessa havaittiin vasteen syntyvän lapsilla noin 100 ms aikuisia myöhemmin.

1.3. Musiikki ja aivot

Musiikin on todettu olevan yhteydessä moniin kognitiivisiin taitoihin, joiden ajatellaan olevan seurausta musiikkiharjoittelusta. Musiikkiharrastuksen vaikutuksen tutkimisessa on siirrytty yhä enemmän interventiotutkimuksiin, jolloin tutkittavien lasten musiikillinen tausta on pystytty kontrolloimaan. Interventiotutkimusten tulosten perusteella perinnöllisyyden sijasta musiikkiharrastus näyttää selittävän olevan aivojen rakenteellisia ja toiminnallisia eroja (Chobert, François, Habib, & Besson, 2012; Fujioka, Ross, Kakigi, Pantev, & Trainor, 2006; Hyde ym., 2009; Torppa & Huotilainen, 2010). Musiikkiharrastuksen on ajateltu johtavan aivojen tehokkaampaan prosessointiin musiikillisen informaation suhteen.

MMN-vasteen tarkastelua on pidetty hyvänä keinona tutkia kuulojärjestelmän toimintaa erityisesti lasten kohdalla, sillä sen ajatellaan heijastavan kuuloärsykkeiden prosessointia ja muutosten havaitsemista myös passiivisen kuuntelun aikana. Ammattimuusikoiden ja musiikkia harrastavien aikuisten MMN-vasteissa on havaittu eroja verrattuna ei-muusikoihin ja musiikkia harrastamattomiin, mutta vain vähän tutkimusta on tehty musiikkiharrastuksen vaikutuksista lasten kuulojärjestelmän kehittymiseen. Moreno, Marques, Santos, Santos ja Besson (2009) osoittivat musiikkia harrastavien lasten N300-vasteen amplitudien olevan voimakkaampia tehtävässä, jossa vaadittiin pienten äänenkorkeuden erojen havaitsemista. Vasteita verrattiin kuvataidetta harrastavien lasten vasteisiin. Myös Fujioka ym. (2006) raportoivat musiikkia harrastavilla lapsilla voimakkaamman N250m-vasteen viuluäänille verrattuna musiikkia harrastamattomiin lapsiin.

Tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden amplitudien kasvaminen on liitetty neuraalisen verkoston tehokkaampaan toimintaan (Moreno ym., 2009) ja näyttäisi siltä, että musiikkiharrastuksella pystytään edistämään hermoverkoston prosessoinnin tehokkuutta. Bosnyak, Eaton ja Roberts (2004) harjoittivat musiikkia harrastamattomia eri äänentaajuuksille kahden viikon ajan puoli tuntia päivässä ja havaitsivat N1c- ja P2-vasteiden amplitudien kasvavan. Siten jo lyhytaikainen musiikillinen harjoittelu näyttäisi tuottavan pitkäaikaisen musiikkiharrastuksen kaltaisia vaikutuksia. Musiikkiharrastus näkyy myös jo 4–5-vuotiailla lapsilla P1-, N1- ja P2-vasteiden suurempina amplitudeina (Shahin, Roberts, & Trainor, 2004). MMN-vasteen amplitudien on P1-, N1- ja P2-vasteiden kaltaisesti havaittu olevan voimakkaampia musiikkia harrastavilla nuorilla verrattuna musiikkia harrastamattomiin duuri- ja mollisointujen erottelua vaativassa koeasetelmassa (Virtala ym., 2012). MMN-vasteiden amplitudien voimistuminen on todettu myös Putkisen ym. (painossa) pitkittäistutkimuksessa, jossa musiikkia harrastaneiden lasten amplitudien kasvu oli iän myötä jyrkempää kontrolliryhmään verrattuna. Tämä tulos tukee musiikkiharrastuksen merkitystä kuulotiedon erottelun tarkentumisessa verrattuna synnynnäisiin taitoeroihin, sillä varhaisessa vaiheessa ei eroja amplitudien suhteen havaittu.

Vasteiden latenssien lyheneminen on puolestaan liitetty tiedonkäsittelyn nopeutumiseen (Picton & Taylor, 2007). Meyer ym. (2011) ovat havainneet eroavaisuuksia musiikkia harrastavien 7.5–12-vuotiaiden lasten tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden latensseissa vertailtaessa siniäänille ja viuluäänille syntyneitä vasteita. Viuluäänille syntyneiden vasteiden latenssit olivat musiikkia harrastavilla lapsilla huomattavasti puhtaille äänille syntyneiden vasteiden latensseja lyhyempiä. Kontrolliryhmän kohdalla tällaista eroa ei havaittu. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin musiikkia harrastaneiden lasten amplitudien olevan voimakkaampia ja MMN-alue suurempi suhteessa musiikkia harrastamattomiin. Meyer ym. (2011) esittävätkin musiikkiharrastuksella olevan tarkkuutta ja nopeutta lisäävä vaikutus kuulotiedon erottelua vaativissa prosesseissa.

Musiikkiharrastuksen vaikutuksia on tutkittu myös aivojen rakennetasolla vertailemalla muusikoiden ja ei-muusikoiden aivoja (katso katsaus: Jäncke, 2009; Pantev & Herholz, 2011). Musiikkiharrastus laajentaa aivoissa muun muassa kuuloaivokuorta, premotorista aivokuorta ja aivopuoliskoja yhdistävää aivokurkiaista (Hyde ym., 2009), ohimolohkon takaosaa (Schneider ym., 2002) ja otsalohkon aivokuoren alaosaa (Gaser & Schlaugh, 2003). Näiden lisäksi muusikoilla on enemmän harmaata ainetta muun muassa etummaisilla parietaalialueilla, joiden ajatellaan olevan tärkeässä asemassa multimodaalisen aistitiedon yhdistelemisessä (Gaser & Schlaug, 2003). Harmaan aineen lisääntymisen etuaivolohkossa, kuuloaivokuorella ja aivojen syvemmissä osissa voidaan ajatella linkittyvän aivojen parempaan prosessointikapasiteettiin. Tutkimukset osoittavatkin musiikkiharrastuksen vaikuttavan aivorakenteiden funktionaalisiin toimintoihin kuten esimerkiksi

äännten nopeampaan, tarkempaan erotteluun ja voimakkaampia aivovasteita tuottavaan prosessointiin kuuloaivokuorella (katsaus: Tervaniemi, 2009) ja aivorungossa (katsaus: Kraus & Chandrasekaran, 2010).

Voidaankin sanoa, että musiikkiharrastus kehittää monipuolisesti erilaisia taitoja ja muutokset ovat nähtävissä myös aivojen toiminnassa sekä aivojen rakenteellisina eroina musiikkia harrastavien ja sitä harrastamattomien välillä. Aivojen toiminnallisten erojen ajatellaan olevan suoraan yhteydessä aivojen anatomisiin eroihin ja näiden erojen olevan seurausta ja suhteessa musiikillisen harjoittelun määrään (Moreno, 2009). Huomattavaa on myös, että sekä musiikin kehittämät taidot että aivoalueet ja -toiminnot ovat hyödyllisiä ja tarpeellisia myös yleisen kognitiivisen prosessoinnin kannalta ja esimerkiksi verbaalisen muistin tai fonologisten taitojen linkittyminen kielellisiin taitoihin on todennettu useissa tutkimuksissa. Musiikin vaikutukset ovat lisäksi nähtävissä lapsilla erittäin nopean ajan sisällä musiikkiharrastuksen aloittamisesta. Vain 15 kk ajan pianonsoittoa harrastaneiden lasten kuulojärjestelmässä, tuntojärjestelmässä ja aivokurkiaisien alueella on nähtävissä samankaltaisia muutoksia, joita on nähty aikuisten muusikoiden aivoissa (Hyde ym., 2009). Lapsilla aivojen rakennemuutokset näyttävät siis olevan erittäin nopeita.

Musiikin vaikutuksia tutkiva tutkimus on keskittynyt tarkastelemaan lähinnä musiikkia ohjatusti harrastavien aivoissa tapahtuvia muutoksia tai vertailemalla ammattimuusikoiden ja ei musiikkia harrastavien aivoja. Musiikin harrastaminen ei kuitenkaan rajoitu vain ohjattuun harrastamiseen, vaan useimmissa tapauksissa musiikkia harrastetaan itseohjautuvasti kotona ja etenkin lapsilla musiikilliset kokemukset liittyvät usein kotona laulamiseen ja musiikilliseen leikkiin (Putkinen, Tervaniemi, & Huotilainen, 2013). Tällaisen musiikillisen toiminnan vaikutuksia aivoihin on tutkittu varsin vähän. Putkinen ym. (2013) tarkastelivat lasten tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden ja musiikillisen toiminnan yhteyttä ja havaitsivat positiivisen yhteyden jo kotioloissa harrastetun musiikin ja vasteiden kehittymisen välillä. Tutkimuksessa hyödynnettiin monipiirreasetelmaa, jonka avulla pystyttiin rekisteröimään usean erilaisen poikkeavan ärsykkeen synnyttämiä vasteita. Musiikillisen toiminta korreloi positiivisesti taukopoikkeaman ja kestopoikkeaman synnyttämän P3a-vasteen kaltaisen vasteen kanssa ja kaikkien koeasetelmassa esitettyjen muutostyyppien synnyttämän LDN-vasteen kanssa. Tulos viittaa siihen, että muodollisen musiikkiharrastuksen lisäksi myös arkipäiväiset musiikilliset toiminnot saattavat vaikuttaa aivojen kuulokykyjen ja tarkkaavuustoimintojen kehittymiseen.

1.4. Aiemmissa MMN-tutkimuksissa käytetyt koeasetelmat

1.4.1. Klassinen Oddball-asetelma

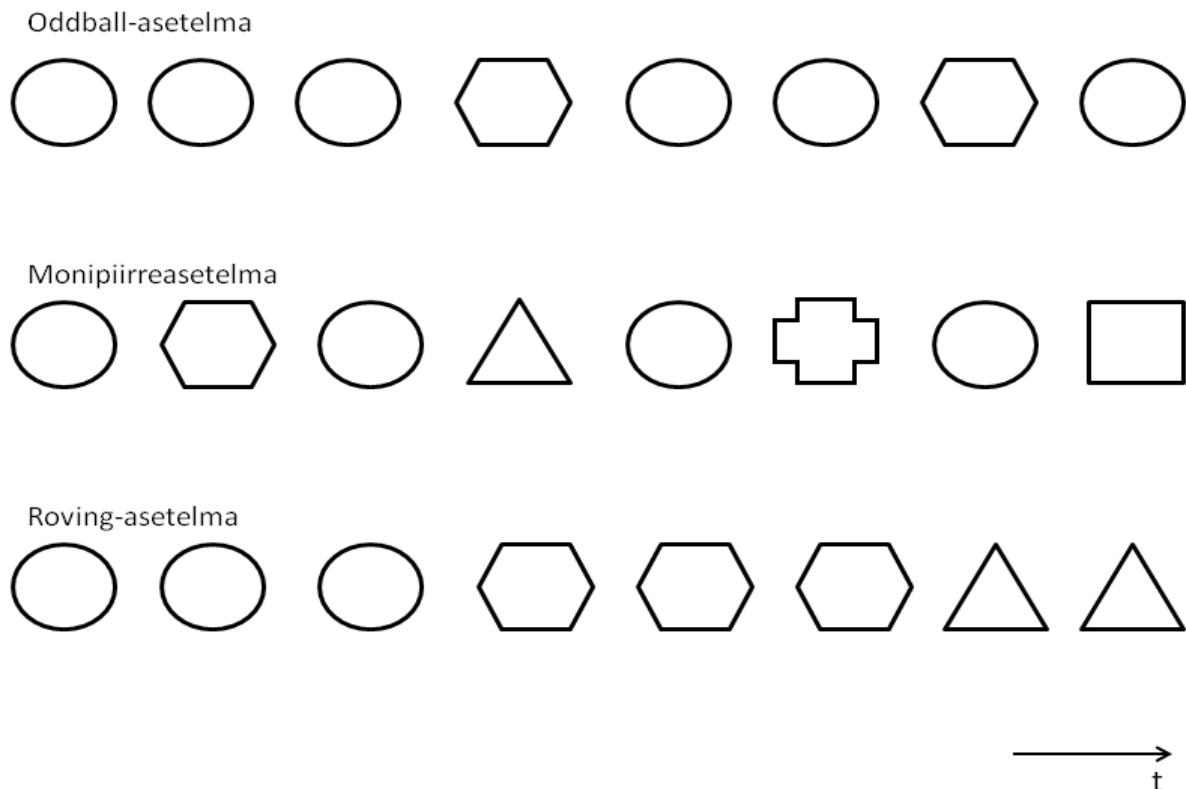
Oddball-asetelma on perinteinen MMN-, P3a- ja LDN-vasteita tarkastelevissa tutkimuksissa käytetty koeasetelma, jossa tyypillisesti vakioärsykkeen toistojen joukossa esitetään satunnaisesti vakioärsykkeestä yhdellä akustisella piirteellä (mm. kesto, äänenkorkeus) poikkeavia ärsykeitä. Tämä poikkeava ärsyke, asetelman nimen mukaisesti ”oddball”, saa aikaan MMN-vasteen (Näätänen & Michie, 1979). Poikkeava ärsyke esiintyy tyypillisesti enintään 10–20 % toistoista (Sinkkonen & Tervaniemi, 2000). Oddball-asetelma vaatii kuitenkin runsaasti toistomääriä ja siten pitkiä mittausaikoja. Oddball-asetelma soveltuu heikosti tilanteeseen, joka vaatii lyhyttä, mutta tehokkaasti tietoa keräävää, koeasetelmaa esimerkiksi tutkittaessa lasten vasteita.

1.4.2. Monipiirreasetelma

Oddball-asetelman haasteiden pohjalta kehiteltiin koeasetelma, jolla MMN-vasteita pystyttiin rekisteröimään tehokkaammin (Näätänen, Pakarinen, Rinne, & Takegata, 2004). Tällä niin sanotulla monipiirreasetelmalla pystyttiin samanaikaisesti rekisteröimään viiden erilaisen poikkeavan ärsykkeen synnyttämiä vasteita, jolloin sama määrä tietoa pystyttiin keräämään lyhyemmässä ajassa verrattuna perinteiseen oddball-asetelmaan. Poikkeavia ärsykeitä oli jopa 50 % esitetyistä ärsykeistä, mutta kun jokainen poikkeava ärsyke eroaa vakioärsykkeestä vain yhden piirteen suhteen, saa vakioärsykkeen muistijälki vahvistusta poikkeavista ärsykeistä kaikkien muiden muuttumattomina säilyvien piirteiden osalta. Aikatehokkuuden parantuessa monipiirreasetelman sopivuus myös lasten tutkimisen suhteen parani ja asetelmaa onkin käytetty viime aikoina menestyksekkäästi tutkittaessa lasten varhaista kuulotiedon (katso Putkinen, Niinikuru, Lipsanen, Tervaniemi, & Huotilainen, 2012) ja puheäänteiden prosessointia (Lovio ym., 2009; Sambeth ym., 2009).

1.4.3. Roving-asetelmat

Roving standard -asetelmassa poikkeavaa ärsykettä toistetaan seuraavaan muunnettuun ärsykkeeseen asti, jolloin muunnettu ääni muuttuu asteittain toistojen myötä uudeksi vakioärsykkeeksi (Garrido, Friston, Kiebel, & Stephan, 2008; Winkler, Cowan, Csépe, Czigler, & Näätänen, 1996). Muistijälki vakioärsykkeestä pohjautuu siten vain esitettyjen toistokertojen määrään. Roving standard -asetelman pohjalta on kehitetty edelleen roving melody -asetelmaksi nimetty korkeamman tason prosessoinnin tutkimiseen soveltuva koeasetelma (Huotilainen, Putkinen, & Tervaniemi, 2009). Asetelma mahdollistaa jatkuvassa äänivirrassa tapahtuvien musiikillisten muutosten prosessoinnin tarkastelun lyhyttä, useita muutoksia sisältävää, melodiaa toistamalla. Melodiassa tapahtuvat muutokset voivat kohdistua itse sävelkulkuun, rytmiin, sävellajiin, äänenväriin, vireeseen tai sävelten oikeaan ajoittumiseen. Osa muutoksista jää voimaan muodostaen uuden vakioärsyksen roving standard -asetelman mukaisesti. Jatkuva äänivirta saa aikaan vahvemman vaikutelman musiikista, jolloin musiikillisten taitojen tutkiminen asetelmalla on luotettavampaa standard-asetelmaan verrattuna ajallisen hyödyn kuitenkin säilyessä.



Kuva 1. Esimerkki MMN-tutkimuksissa käytettyjen koeasetelmien kuuloärsykkeiden muutoksista merkein kuvattuna.

1.5 Tutkimusongelmat ja hypoteesit

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden avulla miten monimutkaista musiikillista kuuloärsykettä käsitellään 2–6-vuotiaiden lasten aivoissa. Erityisesti haluttiin tarkastella musiikillisen toiminnan vaikutusta vasteiden kehittymiselle. Kotona toteutettavan musiikillisen toiminnan vaikutuksia on tutkittu varsin vähän ja tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden kehittymisestä ei ylipäätään tiedetä kovin paljoa. Tällä tutkimuksella pyritään lisäämään ymmärrystä vasteiden kehittymisestä ja musiikillisen toiminnan vaikutuksista hyödyntämällä monimutkaisempaa roving melody -asetelmaa.

Tutkimuksessa tarkasteltiin minkälaisia vasteita koeasetelmassa esitetyt muutokset saavat aikaiseksi ja muistuttavatko ne aikuisilta löydettyjä tapahtumasidonnaisia jännitevasteita. Myös vasteiden muuttumista eri mittauskertojen välillä haluttiin seurata. Varsinaisena tutkimuskysymyksenä oli, vaikuttaako musiikillinen toiminta lasten vasteiden kehittymiseen. Aiemman tutkimustiedon perusteella asetettiin oletus musiikillisen toiminnan, vasteiden latenssien aikaistumisen ja amplitudien suuruuden positiivisesta yhteydestä.

2. MENETELMÄT

2.1. Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui yhteensä 43 lasta. Mittaukset suoritettiin joka toinen vuosi vuosien 2006–2012 aikana. Jokaisella mittauskerralla rekrytoitiin uusi 2-vuotiaiden ryhmä aiemmin rekrytoitujen osallistujien lisäksi, lukuun ottamatta vuotta 2012. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan 2, 4 ja 6 vuoden iässä tehtyjen mittausten tuloksia. Kaksivuotiaana osallistuneista lapsista mitattiin nelivuotiaina uudestaan 35 lasta ja kuusivuotiaina 19 lasta. Lopullisista analyyseista jätettiin pois yksi koehenkilö aivosähkökäyrän häiriöisyyden vuoksi. Kaikki lapset kävivät samaa musiikkileikkikoulua ollessaan 2-vuotiaita. Heillä ei ollut raportoituja perussairauksia atooppista ihottumaa ja allergioita lukuun ottamatta. Lapsilla ei myöskään raportoitu kuulo-ongelmia tai neurologisia sairauksia. Lapset olivat syntyneet normaalipainoisina ja heidän pituutensa ja painonsa

olivat kehittyneet normaalisti. Tarkemmat mittauskertakohtaiset tiedot lasten lukumäärästä ja sukupuolijakaumasta sekä iän keskiarvo on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koehenkilöiden lukumäärät, sukupuolijakauma ja iän keskiarvot.

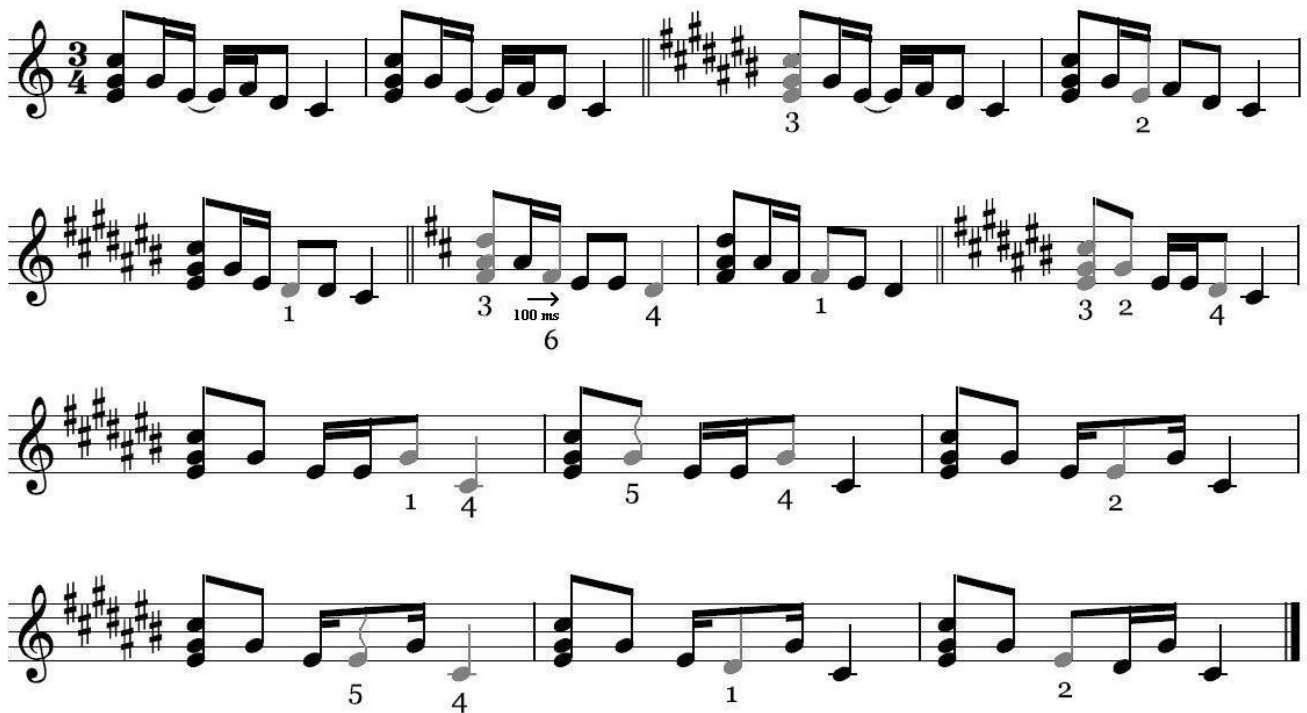
		2-vuotiaat	4-vuotiaat	6-vuotiaat
n	2006	16	x	x
	2008	12	14	x
	2010	14	10	10
	2012	x	11	9
n		42	35	19
iän ka.		2,82 (sd. 0,44)	4,83 (sd. 0,29)	6,89 (sd. 0,31)
sp	tyttö	21	17	10
	poika	21	18	9

2.2. Koeasetelma

Kokeessa esitettiin 2100 ms kestoisia melodioita, jotka koostuivat 575 ms (neljäsosanuotti), 300 ms (kahdeksasosanuotti) tai 125 ms (kuudestoistaosanuotti) kestoista sävelistä ja esitettyjen sävelten ajallinen väli edellisen loppumisesta seuraavan alkuun oli 50 ms. Melodiat oli soitettu syntetisaattorin pianoäänellä. Kukin melodia alkoi kahdeksasosanuotin pituisella (300 ms) duurikolmisoinnolla, jota seurasi neljä välisäveliksi kutsuttavaa säveltä. Kaksi näistä oli 125 ms kestoisia kuudestoistaosanuotteja ja kaksi 300 ms kestoisia kahdeksasosanuotteja. Melodiat päättyivät 575 ms kestoiseen neljäsosanuottiin, jota seurasi 125 ms tauko ennen seuraavan melodian alkua. Melodiat liikkuivat 223.08–587.33 Hz (pieni ais – yksiviivainen d) välillä. Koeasetelman kokonaiskesto oli 12 minuuttia, jonka aikana melodia esitettiin 360 kertaa sisältäen kuitenkin muunnoksia satunnaisessa järjestyksessä esitettyinä.

Melodioissa esitettiin kuutta erilaista muunnosta: itse melodian muutos, rytmin muutos, sävellajin muutos, äänenväriin muutos, vireen muutos ja rytmivirhe (katso kuva 2). Muunnoksista melodian, rytmin ja vireen muutokset jäivät voimaan myös seuraaviin toistoihin, jolloin kyseiset muutokset muodostivat roving standard -asetelman periaatteen mukaisesti uuden vakioärsyksen. Melodian muutoksessa yksittäisen kahdeksasosanuotin pituisen välisävelen sävelkorkeutta laskettiin tai nostettiin 2–5 puolisävelaskelta sävellajia seuraten. Melodian muutos esiintyi 80 toistossa. Rytmin muutoksessa välisävelten kestoja muutettiin vaihtamalla kahdeksasosa- ja kuudestoistaosanuottien paikkaa rytmillisesti keskenään melodian säilyessä samana. Muutos kohdistui nuotteihin, jotka olivat joko perättäisiä tai niiden välissä oli yksi erillinen nuotti. Tämä muunnos esiintyi 72 toistossa. Sävellajin muutoksessa melodian sävellajia vaihdettiin nostamalla tai laskemalla koko melodiaa puolisävelaskelta heti melodian aloittavasta kolmisoinnusta lähtien. Transponoituja melodioita oli toistoista 96 kappaletta. Äänenväriin muutos, epävireisyys ja rytmivirhe eivät jääneet voimaan seuraaviin toistokertoihin, jolloin ne oddball-asetelman mukaisesti käsiteltiin kertaluontoisina muutoksina. Äänenväriin muutoksessa kahdeksasosanuotin kestoisen välisävel tai melodian päättävä neljäsosanuotin kestoisen pianoääni korvattiin syntetisaattorin huiluaänellä 96 toistossa. Vireen muutoksessa yksittäisen kahdeksasosanuotin kestoisen välisävelen äänenkorkeutta nostettiin 25 % kokosävelaskeleesta 72 toistossa. Rytmivirhe muodostui yksittäistä säveltä viivästyttämällä 100 ms, jolloin edellisen sävelen lopusta seuraavan alkuun kului normaalin 50 ms sijaan 150 ms. Rytmivirhe esiintyi 100 toistossa. Muutoksen havaitsemisen ajateltiin ajoittuvan sävelen normaaliin alkamisaikaan. Tätä muutostyyppiä ei tämän tutkimuksen jatkoanalyysissä kuitenkaan käsitelty.

Vakioärsykkeinä toimivat melodian aloittavat transponoimattomat kolmisoinnut, sekä kaikki neljäsosa-, kahdeksasosa-, ja kuudestoistaosanuotit, joihin ei kohdistunut muunnoksia. Jokainen poikkeava ärsyke sai parikseen niin kestoltaan että melodiassa sijoittumiseltaan parhaiten vastaavan vakioärsyksen. Lisäksi huomioitiin edeltävät sävelet pituuksineen, jotta mahdolliset edellisten sävelten aiheuttamat vaste-erot saataisiin kontrolloitua. Melodian ja vireen muutoksessa vakioärsykkeenä olivat kahdeksasosanuotin kestoiset välisävelet. Rytmin muutoksessa käytettiin kahdeksasosanuotin ja kuudestoistaosanuotin kestoisia välisäveliä, joita ei seurannut poikkeava ärsyke. Transponoitua alkusointua verrattiin transponoimattomaan alkusointuun ja äänenväriin muutoksessa vertailukohtana olivat pianoäänellä soitetut kahdeksasosanuotin kestoiset välisävelet sekä neljäsosanuotin kestoiset melodian päättävät sävelet.



1 Melodian muutos

3 Transponointi

5 Epävireisyys

2 Rytmin muutos

4 Äänenväriin muutos

6 Rytmivirhe

Kuva 2. Esimerkki ärsykkeenä käytetystä melodiasta ja muutostyypeistä

2.3. Kokeen kulku

Helsingin yliopiston Käyttäytymistieteiden laitoksen eettinen toimikunta on hyväksynyt tutkimussuunnitelman, jonka puitteissa kokeet suoritettiin. Lapset antoivat suostumuksensa mittaukseen suullisesti ja vanhemmat allekirjoittivat oman suostumuksensa lapsen osallistumisesta tutkimukseen. Kokeen kulku käytiin läpi ennen mittauksen aloittamista ja vanhempi oli mukana koko tutkimuksen ajan. Lapsi sai osallistumisesta kiitokseksi kaksi elokuvalippua, kulttuuriseteleitä ja valitsemaansa pienen palkinnon.

Kokeet suoritettiin Helsingin yliopiston Käyttäytymistieteiden laitoksella Kognitiivisen aivotutkimusyksikön EEG-laboratoriossa. Kokeen aikana lapset istuivat nojatuolissa ääni- ja sähköeristetyssä huoneessa halutessaan joko yksin, vanhemman sylissä tai vanhemman istuessa viereisellä tuolilla. Ennen koetta koehenkilöitä ohjeistettiin istumaan mahdollisimman paikoillaan, välttämään puhetta ja keskittymään valitsemaansa äänettömään piirroselokuvaan. Ohjeistuksesta

huolimatta lapset aika ajoin vaihtoivat asentoa ja puhuivat koehuoneessa olevan vanhempansa kanssa joitakin kertoja kokeen aikana. Koehuoneeseen oli mittauksen aikana jatkuva ääni- ja videoyhteys, joista koehenkilöt olivat tietoisia ja siten heillä oli halutessaan mahdollisuus myös keskeyttää koe.

Mittauksen aikana tarkkailtiin koehenkilön aivosähkökäyrää sekä impedanssilukemia. Kesken kokeen yksittäisten elektrodien huonoa impedanssia pyrittiin korjaamaan lisäämällä elektrodipastaa ja varmistamaan elektrodin kiinnitys. Samassa kokeessa esitettiin myös toinen koeasetelma, jota ei tässä tutkielmassa raportoida. Koeasetelmien esittämisjärjestys vuorotteli siten, että joka toiselle mitattavalle lapselle esitettiin ensin tässä tutkimuksessa tarkasteltava koeasetelma ja joka toiselle kyseinen koeasetelma esitettiin toisen asetelman jälkeen. Koeasetelmien välissä lapsilla oli mahdollisuus pitää mehu- ja keksitauko sekä käydä vessassa. Kokeen kesto alku- ja loppuvalmisteluineen oli noin 1,5–2 tuntia ja itse koeasetelman kesto oli noin 12 minuuttia.

2.5. Kyselylomake

Lapsien vanhempia pyydettiin jokaisen mittauskerran yhteydessä täyttämään Internetissä oleva lapsen musiikkikäyttäytymistä kartoittava kysely, jonka pohjalta määritettiin kullekin lapselle yksi numeerinen arvo kuvaamaan kotona tapahtuvan musiikillisen toiminnan määrää.

Musiikillisen toiminnan määrittelemisessä hyödynnettiin Putkisen ym. (2012) tutkimuksessa määriteltyä musiikillista toimintaa, jonka havaittiin olevan positiivisesti yhteydessä 2–3-vuotiaiden lasten tapahtumasidonnaisiin jännitevasteisiin. Molempia vanhempia pyydettiin arvioimaan kuinka usein he laulavat lapselleen. Vanhempia pyydettiin myös erittelemää kuinka usein he laulavat tuttuja ja kuinka usein itse keksimiään lauluja. Lapsen musiikkikäyttäytymisestä pyydettiin arvioimaan kuinka usein lapsi laulaa tuttuja melodioita ja kuinka usein itse keksimiään melodioita. Lisäksi tiedusteltiin lapsen taipumusta rummuttaa tai taputtaa rytmejä ja tanssia kotona. Kutakin kysymystä arvioitiin viisiportaisella asteikolla (1, ei juuri koskaan; 2, korkeintaan kerran kuukaudessa; 3, useampia kertoja kuukaudessa; 4, keskimäärin kerran viikossa; 5, lähes päivittäin). Kummallekin vanhemmalle laskettiin erikseen yhdistetty pistemäärä laulamista kartoittavista kysymyksistä. Samoin kullekin lapselle laskettiin heidän laulamisensa, rummuttamisensa ja tanssimisensa perusteella yhdistetty pistemäärä, joka normalisoitiin vähentämällä muuttujan keskiarvo kustakin pistemäärästä ja jakamalla tämä erotus muuttujan keskihajonnalla. Tällöin keskiarvon alle jäävät pistemäärät ovat negatiivisia. Lopullinen lapsen musiikillisen toiminnan

määrää kuvaava numeerinen arvo muodostui laskemalla yhteen lapsen normalisoitu musiikkikäyttäytymisen pistemäärä ja isien laulamista kuvaava pistemäärä. Vain isien laulaminen huomioitiin, sillä vain isien välillä havaittiin eroavaisuuksia laulamisen määrässä, kun taas äidit vastasivat lähes poikkeuksetta laulavansa lapselleen lähes päivittäin (Putkinen ym., 2012).

Kullekin lapselle laskettiin yksi musiikillisen toiminnan määrää kuvaava arvo (eri vuosien pistemäärän keskiarvo), joka säilyi samana eri mittauskertojen välillä. Tämän ajateltiin kuvaavan lapsen musiikillista toimintaa paremmin kokonaisuutena, kuin jos olisi tarkasteltu eri mittauskertojen kyselylomakevastauksia erikseen.

2.4. Aivosähkökäyrän rekisteröinti ja jatkokäsittely

Vuosina 2006–2008 aivosähkökäyrän rekisteröitiin ja jatkokäsittelyyn käytettiin Neuroscan-laitteistoa. Rekisteröinti tapahtui pään pinnalta 10–20-järjestelmän mukaisesti F3-, F4-, C3-, C4- ja Pz-elektrodeilla sekä oikealta että vasemmalta mastoidilta (RM ja LM) Ag/AgCl-elektrodeilla. Silmänliikkeet ja räpäytykset rekisteröitiin erillisillä elektrodeilla, jotka asetettiin oikean silmän alle ja silmäkulmaan. Mittauksen aikana vahvistimen taajuuskaista oli 0.10–70 Hz ja näytteenottotaajuus 500 Hz.

Vuosina 2010–2012 aikana aivosähkökäyrän rekisteröintiin käytettiin BioSemin Active Two -laitteistoa. Jatkokäsittelyyn käytettiin BESA 5.1 -ohjelmistoa. Mittauksessa käytettiin 64-kanavaisia elektrodimyssyjä, joiden AG-AgCl-elektrodien sijainnit noudattavat kansainvälistä 10–20-järjestelmää. Mittauksen aikana vahvistimen taajuuskaista oli 0.16–100 Hz ja näytteenottotaajuus oli 512 Hz, joka muutettiin analyysivaiheessa 500 Hz:iin. Mastoidi- ja silmänliike-elektrodien sijainnit säilyivät samoina kuin edellisvuosina.

Datan jatkokäsittelyssä päädyttiin käyttämään F3-, F4-, C3- ja C4-elektrodeilta saatua aineistoa ja Pz-elektrodilta saatu aineisto jätettiin analyysien ulkopuolelle häiriöisyyden takia aiempien vuosien mukaisesti. Aineisto referoitiin vasemman ja oikean mastoidin keskiarvoon. Alle 1 ja yli 20 Hz taajuudet suodatettiin ja liikaa häiriöitä sisältävät elektrodit joko interpoloitiin mahdollisuuksien mukaan tai poistettiin kokonaan analyysistä. Yhden koehenkilön data jätettiin kokonaan analyysien ulkopuolelle datan liiallisen häiriöisyyden vuoksi. Jäljelle jääneiden koehenkilöiden jatkuva EEG leikattiin 450 ms pituisiin jaksoihin, jotka alkoivat 100 ms ennen ärsykkeen alkua ja loppuivat 350 ms ärsykkeen alkamisen jälkeen. Jaksot, jotka sisälsivät yli $\pm 150 \mu\text{V}$ jännitevaihteluita millä

tahansa kanavalla hylättiin jatkoanalyysistä lihasjännitysten ja silmänliikkeiden aiheuttamien häiriöiden poistamiseksi. Vakio- ja poikkeavien ärsykkeiden aiheuttamat jännitevasteet keskiarvoistettiin erikseen kullekin koehenkilölle kaikissa muunnostyypeissä (melodian muutos, rytmin muutos, transponointi, äänenväri, epävireisyys). Nämä saadut yksilövasteet taas keskiarvoistettiin yhteen, jolloin jokaiselle poikkeavalle ärsykkeelle saatiin oma ryhmäkeskiarvokäyrä. Lisäksi jokaiselle koehenkilölle muodostettiin erotuskäyrä vähentämällä yksittäisten poikkeavien ärsykkeiden keskiarvokäyristä vakioärsykkeisiin syntyneiden vasteiden keskiarvokäyrät. Ryhmäkeskiarvoista muodostettiin erotuskäyrät kaikille kolmelle ikäryhmälle (2-, 4-, ja 6-vuotiaat) ja eri ärsyketyypeille.

Vakiovasteista ja poikkeavien ärsyketyyppien erotusvasteista laskettiin erikseen neljälle elektrodille (F3, F4, C3, C4) keskiarvot ja näistä keskiarvovasteista poimittiin jokaiselle ärsyketyypille latenssi, jonka kohdalla vasteen amplitudi oli suurimmillaan. Osassa vasteista ei selvää huippua ollut havaittavissa, jolloin huippulatenssi määrittyi vanhemman ikäryhmän mukaan. Saatujen huippulatenssien ympärille muodostettiin 50 ms aikaikkuna ja jokaiselta yksittäiseltä koehenkilöltä poimittiin aikaikkunan sisällä keskiarvoamplitudit jokaiselle ärsyketyypille (ks. taulukko 2).

Amplitudien tarkastelun lisäksi tarkasteltiin latensseja etsimällä jokaiselta koehenkilöltä latenssi, jonka kohdalla vasteen amplitudi oli suurimmillaan. Latenssien etsimisessä käytettiin samoja aikaikkunoita jokaisella ikäryhmällä. Aikaikkunat määrittyivät siten, että 6-vuotiaiden keskiarvokäyrän huippulatenssista 50 ms vähentämällä saatiin aikaikkunan alaraja ja yläraja 2-vuotiaiden keskiarvokäyrän huippulatenssiin 50 ms lisäämällä.

Vasteiden amplitudien tilastollinen analyysi suoritettiin PASW 18-ohjelman lineaarisen sekamallin (engl. linear mixed model) avulla. Riippuvana muuttujana oli vasteen amplitudi ja riippumattomina muuttujina mittauskerta (1, 2 ja 3) sekä kyselylomakkeiden vastausten pohjalta muodostettu musiikillisen toiminnan määrää mittaava muuttuja. Musiikkimuuttuja keskistettiin vähentämällä jokaisen koehenkilön arvosta muuttujan keskiarvo. Kovarianssirakenteeksi valittiin tasakovarianssi (engl. compound symmetry, CS) Schwarzin bayeslaisen informaatiokriteerin perusteella.

Taulukko 2. Eri muutostyyppien vasteiden huippulatenssit, -amplitudit ja aikaikkunat.

Muutostyyppi	Huippulatenssi (ms)	Huippuamplitudi (μ)	Aikaikkunat (ms, amplitudianalyysi)	Aikaikkunat (ms, latenssianalyysi)
<i>Melodian muutos</i>				
2 v	226	0,45	201-251	
4 v	224	-0,05	199-249	156-276
6 v	206	-1,26	181-231	
<i>Äänenväriin muutos</i>				
2 v	236	2,16	211-261	
4 v	236	1,81	211-261	158-298
6 v	208	0,83	183-233	
<i>Vireen muutos</i>				
2 v	216	0,82	191-241	
4 v	216	0,86	191-241	152-266
6 v	202	-0,02	177-227	
<i>Sävellajin muutos</i>				
2 v	196	-0,89	171-221	
4 v	184	-1,50	159-209	100-246
6 v	150	-1,48	125-175	
<i>Rytmin muutos</i>				
2 v	354	0,31	329-379	
4 v	354	-0,28	329-379	304-404
6 v	354	-0,44	329-379	

3. TULOKSET

Koeasetelmassa käytetyt eri muutostyypit (melodian muutos, äänenväriin muutos, vireen muutos, sävellajin muutos, rytmin muutos) synnyttivät toisistaan poikkeavia vasteita. Ryhmäkeskiarvokäyrien perusteella vasteiden yleinen kehityssuunta näyttäisi olevan vasteiden amplitudien muuttuminen negatiivisemmiksi iän myötä, joskaan tilastollista merkitsevyyttä ei mittauskertojen ja vasteiden amplitudien välillä löydetty.

Muutostyypeistä melodian muutos ja äänenväriin muutos saivat aikaan lievästi positiivisia vasteita, mutta trendi muutoksesta negatiivisempaan suuntaan oli kuitenkin silmämääräisesti havaittavissa. Äänenväriin muutos synnytti selkeimmin positiivisen vasteen, jossa positiivista aaltoa seurasi negatiivisempi, kuitenkin positiivisuuden puolelle jäävä, huippu.

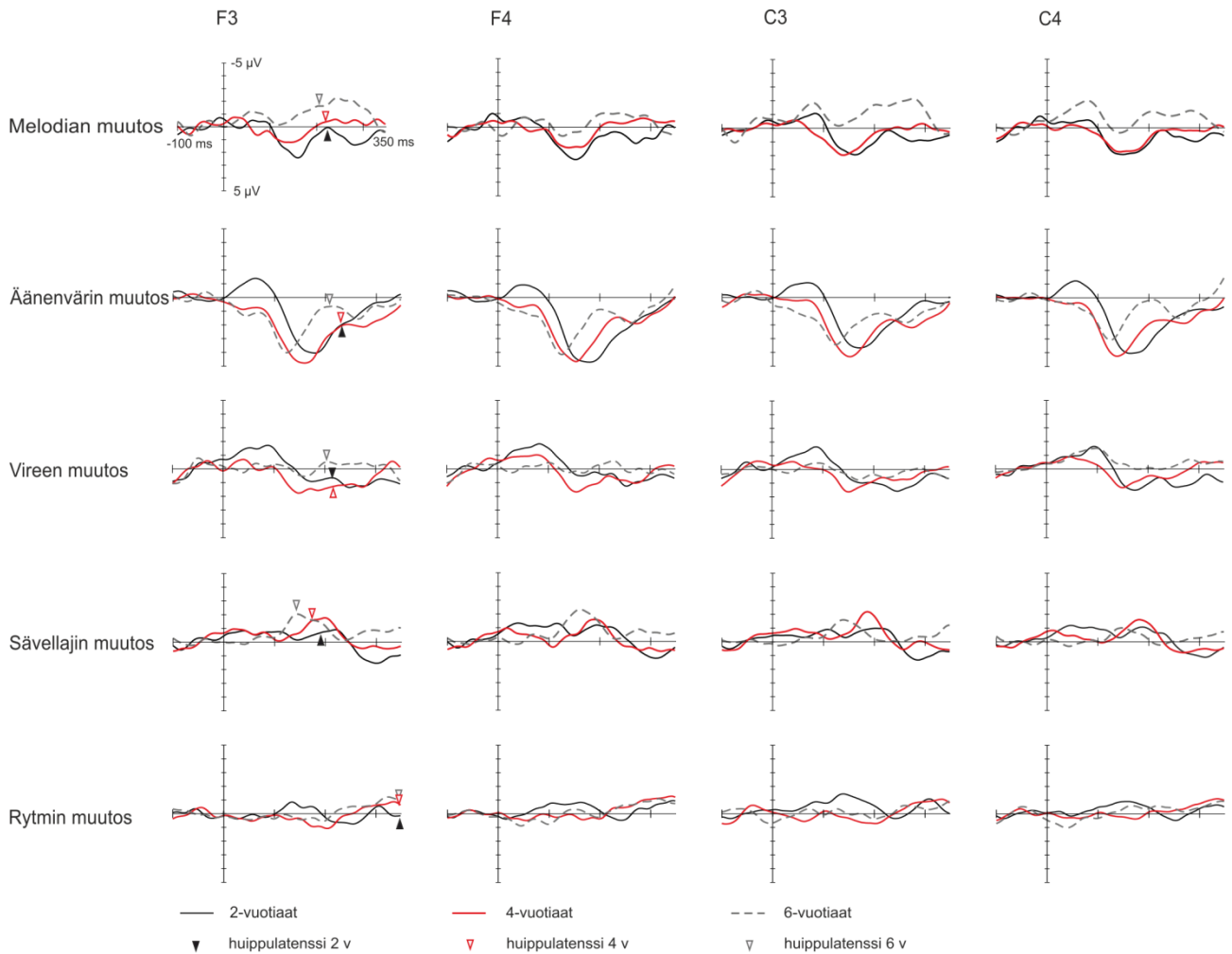
län mukaisen negatiivisuuden lisääntymisen lisäksi voidaan silmämääräisesti havaita positiivista aaltoa seuraavan negatiivisen huipun selkiytyminen ja latenssin aikaistuminen eri mittauskertoja verrattaessa. Muutostyypeistä sävellajin muutos sai aikaan eniten MMN-vastetta muistuttavan vasteen. Silmämääräisen vasteiden tarkastelun perusteella etenkin F3- ja F4-elektrodien keskiarvokäyrissä oli havaittavissa negatiivisen huipun muutos negatiivisemmaksi eri mittauskertojen välillä. Lisäksi MMN-vasteelle tyypillisen negatiivisen huipun latenssien aikaistuminen oli nähtävissä kaikilla elektrodeilla. Rytmien muutoksen synnyttämässä vasteissa ei edes silmämääräisesti ollut havaittavissa positiivisia tai negatiivisia huippuja tai eroavaisuuksia eri mittauskertojen välillä.

Vaikka latenssien ja amplitudien muutokset eri mittauskertojen välillä eivät synnyttäneet tilastollisesti merkitseviä eroja, havaittiin lähes tilastollisesti merkitsevä yhteys musiikillisen toiminnan määrän ja vasteiden amplitudien kehittymisen välillä. Lähes tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittiin kaikkien muutostyyppien kohdalla lukuun ottamatta rytmien muutosta. Lähes merkitsevien musiikillisen toiminnan päävaikutusten lisäksi havaittiin mittauskerran ja musiikillisen toiminnan yhdysvaikutus vireen muutoksen synnyttämän vasteen amplitudille sekä melodian muutoksen latenssille. Muiden kuin musiikillisen toiminnan määrän ja amplitudien välillä sekä kahden yhdysvaikutuksen lisäksi ei tilastollisesti merkitseviä tai lähes merkitseviä yhteyksiä havaittu.

3.1. Poikkeavat ärsykkeet ja musiikillinen toiminta

Melodian muutos -tilanteessa havaittiin lähes merkitsevä yhteys musiikillisen toiminnan määrän ja vasteiden amplitudien kehittymisen välillä ($F(1,37) = 3.66, p = .063$). Musiikillisen toiminnan ja vasteiden amplitudien yhteys oli positiivinen suhteessa amplitudien negatiivisuuteen, eli mitä enemmän lapsi oli puuhastellut musiikin parissa, sitä negatiivisempia lapsen huippuamplitudit olivat.

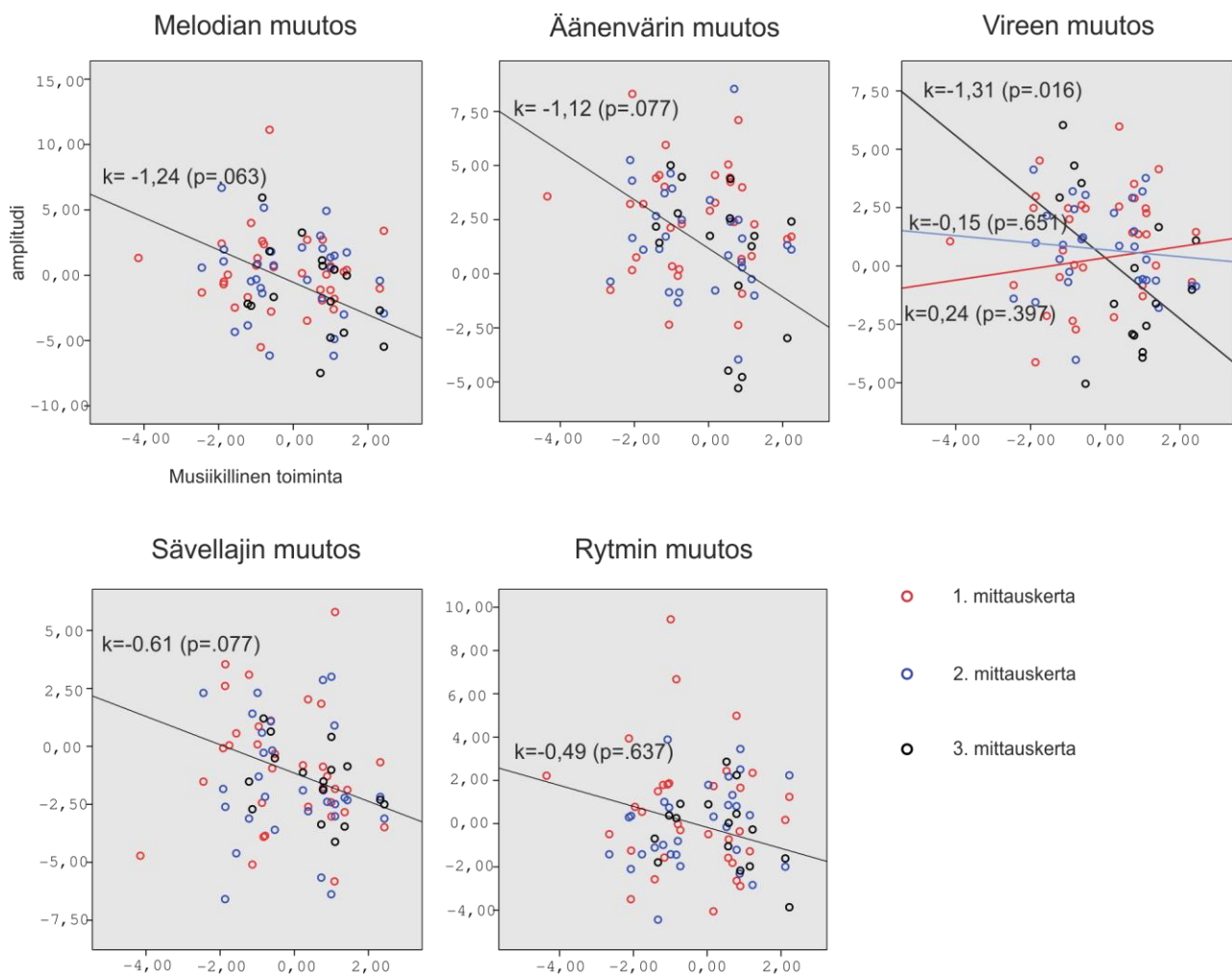
Äänenväriin muutos -tilanteessa havaittiin myös lähes merkitsevä yhteys vasteiden amplitudien ja musiikillisen toiminnan välillä ($F(1,44) = 3.28, p = .077$). Myös äänenväriin muutoksen kohdalla musiikillisen toiminnan määrä oli yhteydessä amplitudien negatiivisuuteen siten, että enemmän musiikin kanssa puuhastelevien lasten vasteet olivat vähemmän puuhastelevia negatiivisempia.



Kuva 3. 2-, 4- ja 6-vuotiaiden ryhmäerotuskäyrät poikkeaville ärsykeille

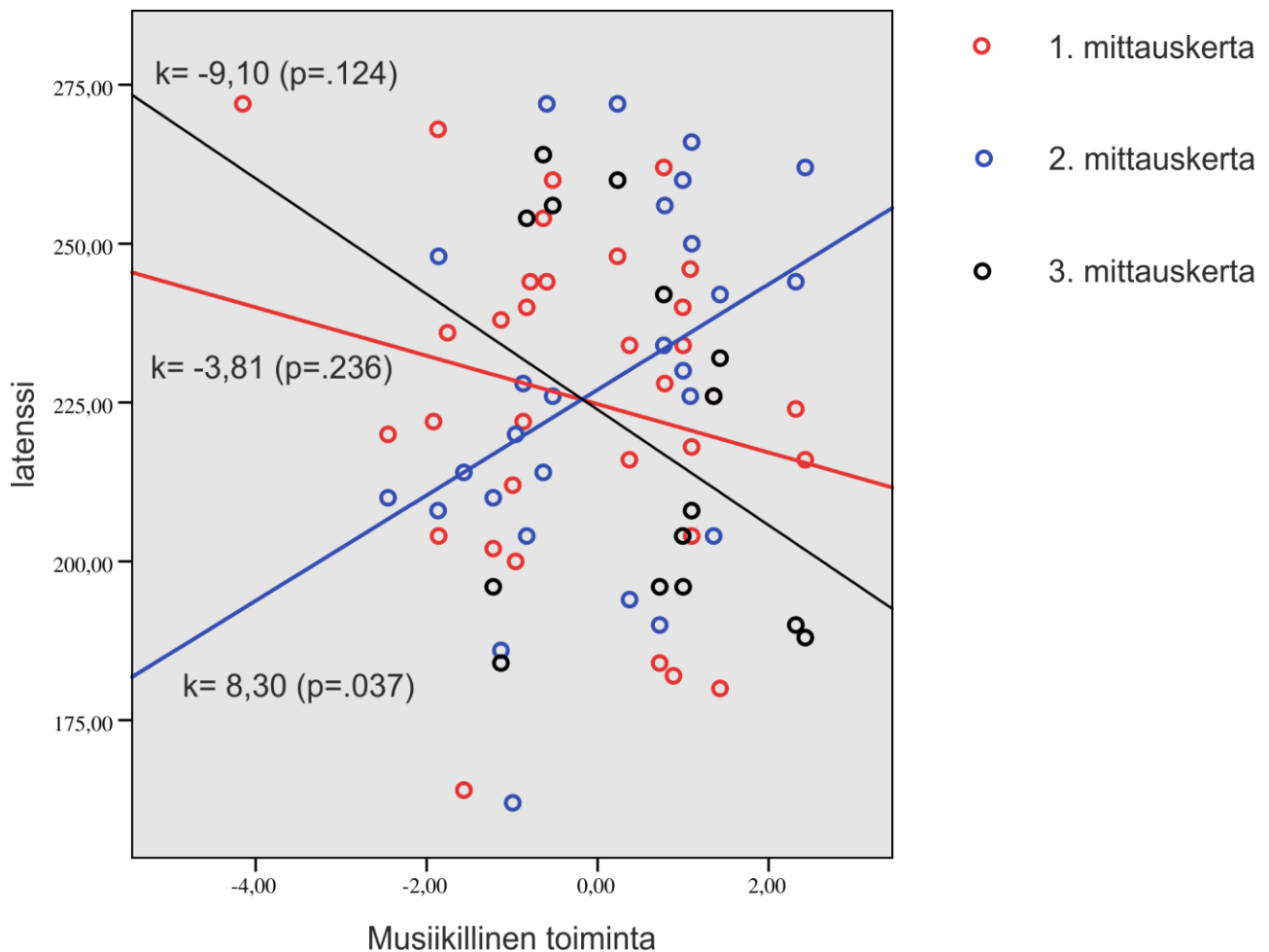
Myös vireen muutoksen suhteen tulokset noudattelivat melodian ja äänenväriin muutoksen yhteydessä havaittuja tuloksia. Musiikillinen toiminta lisäsi vasteiden huippuamplitudien negatiivisuutta lähes tilastollisesti merkitsevästi ($F(1,33) = 3.23, p = .082$). Vireen muutoksen yhteydessä havaittiin myös musiikillisen toiminnan ja mittauskerran yhdysvaikutus ($F(2,52) = 3.29, p < .05$), jolloin musiikillisen toiminnan ja amplitudien yhteys vaihtelee eri mittauskertojen välillä. Ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla musiikillisen toiminnan määrä ei juuri vaikuttanut vasteiden amplitudeihin, mutta kolmannella mittauskerralla musiikillinen toiminta näyttäisi lisäävän vasteiden negatiivisuutta merkitsevästi (katso kuva 4).

Sävellajin muutoksen yhteys musiikillisen toiminnan ja huippuamplitudien välillä oli myös lähes tilastollisesti merkitsevä ($F(1,34) = 3.33, p = .077$) ja musiikillinen toiminta vaikutti vasteiden negatiivisuuteen sitä lisäten. Musiikillinen toiminta lisäsi vasteiden negatiivisuutta kuitenkin vähemmän, kuin muiden muutostyyppien yhteydessä.



Kuva 4. Hajontakuvat ja regressiosuorat muutostyyppien MMN-amplitudeille.

Latenssien suhteen havaittiin ainoastaan musiikillisen toiminnan ja mittauskerran yhdysvaikutus ($F(2,51) = 5.03$, $p < .05$) melodian muutoksen synnyttämille vasteille. Ensimmäisellä ja kolmannella mittauskerralla musiikillisen toiminnan määrän ja latenssien välillä oli negatiivinen yhteys, eli mitä enemmän lapsi puuhasteli musiikin kanssa, sitä lyhyempiä latenssit olivat. Toisella mittauskerralla vasteiden latenssien ja musiikillisen toiminnan määrän yhteys oli merkitsevästi positiivinen (kuva 5).



Kuva 5. Hajontakuva musiikillisen toiminnan määrän ja mittauskerran yhdysvaikutuksesta melodian muutoksen MMN-latensseille.

4. POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, onko musiikillisella toiminnalla merkitystä musiikillisten piirteiden ja niissä tapahtuvien muutosten havaitsemistaitoihin lapsilla hyödyntämällä roving melody -asetelmaa ja tarkastelemalla tapahtumasidonnaisia jännitevasteita. Muodollisen musiikkiharrastuksen vaikutuksia tarkasteleva tutkimus on viime aikoina herättänyt kiinnostusta ja tuottanut merkittävää tietoa musiikkiharrastuksen vaikutuksista lapsilla. Kuitenkaan aiempi kotona toteutetun musiikillisen toiminnan merkitystä lasten kuulotiedon prosessoinnille tarkasteleva tutkimus on erittäin vähäistä, vaikka suurimmalle osalle lapsista musiikki on läsnä juuri tämänkaltaisen harrastamisen ja puuhastelun muodossa.

4.1. Tutkimustulosten tarkastelua

4.1.1. Vasteet eri muutostyypeille

Eri muutostyypit saivat aikaan ylipäätään erilaisia vasteita. Tämä erityyppisten muutosten synnyttämien vasteiden tarkastelu ja vertailu mahdollistui, kun pystyttiin esittämään useita erilaisia ärsykejä samanaikaisesti roving melody -asetelman avulla.

Perinteisemmällä koeasetelmalla havaittua MMN-, P3a- ja LDN-vasteiden jatkumoa ei tässä tutkimuksessa käytetyllä uudella koeasetelmalla kuitenkaan havaittu ainakaan täysin samanlaisessa muodossa. Tutkimuksessa havaitut vasteet muistuttavat MMN-vastetta aikaikkunoiden sijoittumisen ja vasteiden negatiivisen muutossuunnan suhteen, jolloin havaitut vasteet mitä todennäköisimmin viittaavat MMN-vasteen kaltaiseen vasteeseen. Mikään muutostyyppi ei synnyttänyt P3a:n kaltaista positiivista vastetta vasteiden havaitun positiivisuuden liittyessä lähinnä MMN-vasteen kehitykseen positiivisemmasta negatiivisemmaksi. P3a-vaste on kuitenkin onnistuttu havaitsemaan jo vauvoilta (Kushnerenko ym., 2002b) sekä 2-vuotiailta lapsilta (Putkinen ym., 2012), mutta näissä tutkimuksissa käytettyjen koeasetelmien ärsykkeet ovat olleet roving melody-asetelman ärsykejä yksinkertaisempia ja muutokset suurempia. Saattaa olla, että roving melody-asetelman muutokset ovat liian hienovaraisia P3a-vasteen heijastamalle tarkkaavuuden tahattomalle siirtymiselle. Tässä tutkimuksessa ei myöskään mitattu vasteita, jotka syntyvät myöhemmin kuin 350 ms ärsykeen alusta koeasetelman sisältämien ärsykkeiden nopean esitystahdin ja muutosten tiheyden vuoksi. Tämä selittää LDN-vasteen puuttumisen, mutta myöhäisemmällä aikaikkunalla LDN-vasteen esiintyminen olisi saattanut olla mahdollista.

Silmämääräisen tarkastelun perusteella sävellajin muutos synnytti selkeimmin MMN-vasteen kaltaisen vasteen. Sävellajin muutosta voisi pitää melko selkeänä muutoksena, mikä saattaa heijastua myös vasteen kypsyytenä suhteessa muiden muutostyyppien synnyttämiin vasteisiin. Sävellajin muuttamista käytetään yleisesti kevyen länsimaisen musiikin tehokeinona, jolloin sävellajin muutokselle syntyneet representaatiot saattavat olla ylipäätään vahvemmat. Äänenväriin muutokselle syntynyt positiivinen vaste taas saattaa heijastaa monimutkaisempaa prosessointia (Anvari ym., 2002), jolloin positiivisen vasteen taustalla saattavat olla kypsymättömät tiedonkäsittelyprosessit (Trainor, 2012). Melodian muutos synnytti lievästi positiivisen vasteen, mutta iän myötä vasteiden muutos negatiivisemmiksi näkyi etenkin 6-vuotiaiden vasteessa. Sävellajin muutoksen synnyttämässä vasteessa oli nähtävissä yksi myöhäinen negatiivinen huippu.

Rytmin muutos taas ei synnyttänyt selvää vastetta lainkaan. Jatkossa olisikin hyvä selvittää, onko kyse koeasetelmasta johtuvasta tekijästä ja mahdollisesti pyrkiä muokkaamaan koeasetelmaa havaintojen perusteella, jotta koeasetelman koko potentiaali saataisiin hyödynnettyä.

4.1.2. Musiikillisen toiminnan yhteys vasteiden amplitudeihin ja latensseihin

Tutkimuksemme viittaa siihen, että musiikillinen toiminta vaikuttaa lasten kuulotiedon prosessointiin. Musiikillisen toiminnan ja MMN-vasteiden amplitudien negatiivisuuden välillä havaittiin suuntaa antava yhteys, joka tukee aiempien tutkimustulosten mukaisesti musiikin merkitystä kuulotiedon prosessoinnin tarkentumiselle (katso mm. Fujioka ym., 2006; Meyer ym., 2011; Moreno ym., 2009; Shahin ym., 2004). Kotona ja päiväkodeissa tapahtuva musiikillinen toiminta tavoittaa laajan joukon lapsia, jolloin tieto sen mahdollisista vaikutuksista on merkittävää.

Laajemmin näkyvä yleinen suunta musiikillisen toiminnan yhteydestä amplitudien negatiivisuuteen saa vahvistusta musiikillisen toiminnan ja mittauskerran yhdysvaikutuksesta vireen muutoksen synnyttämien vasteiden amplitudeille. Vireen muutostyypissä muutos on vain puolen sävelaskeleen suuruinen, mikä tekee sen haastavaksi havaita. Ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla musiikillisen toiminnan ja amplitudien negatiivisuuden välillä ei olekaan yhteyttä, mutta kolmannella mittauskerralla paljon musiikin kanssa puuhastelevien lasten vasteet olivat negatiivisempia vähemmän musiikin kanssa puuhasteleviin verrattuna. Koska epävireisyyden havaitseminen saattaa vaatia monimutkaisempaa prosessointia, ei musiikillisen toiminnan merkitys välttämättä pääse esiin kuin vasta myöhemmällä iällä prosessointimekanismien kypsyttyä. Tutkimuksessa näkyvä yleinen suunta sekä tilastollisesti merkitseväksi nouseva musiikillisen toiminnan ja mittauskerran välinen yhdysvaikutus tukee ajatusta musiikillisen toiminnan merkityksestä kuulotiedon prosessoinnille amplitudien negatiivisen muutoksen kautta.

Rytmin muutoksen suhteen ei yhteyttä amplitudien ja musiikillisen toiminnan välillä havaittu. Anvari ym. (2002) kuitenkin ehdottavat ainakin länsimaisen musiikin kohdalla rytmillisten taitojen kehittyvän kulttuurispesifien melodian ja harmonioiden prosessointia aikaisemmin, jolloin esimerkiksi äänenvärin havaitsemistaidot saattaisivat heijastaa paremmin kykyä sisäistää ympäristön äänirakenteita. Siten musiikillisen toiminnan määrä ei välttämättä erottele lapsia rytmin havaitsemistaitojen suhteen niiden kuvastaessa enemmän kuulotiedon prosessoinnin perusmekanismeja suhteutettuna tämän tutkimuksen muihin muutostyyppeihin. Toisaalta tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden on havaittu voimistuvan kehityksen myötä (Picton &

Taylor, 2007). Tässä tutkimuksessa rytmien muutostyypille ei muodostunut selvää vastetta lainkaan, jolloin syy saattaa olla myös koeasetelmassa, tai muissa kokeeseen liittyvissä tekijöissä.

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu aikuisten muusikoiden vasteiden latenssien olevan lyhyempiä verrattuna musiikkia harrastamattomien vasteiden latensseihin (Nikjeh, Lister, & Frisch, 2009), mutta tässä tutkimuksessa ei yhteyttä latenssien ja musiikillisen toiminnan välillä onnistuttu havaitsemaan lukuun ottamatta yllättävää mittauskerran ja musiikillisen toiminnan yhdysvaikutusta melodian muutoksessa. Muusikoiden latenssien aikaistuminen on liitetty kehittyneempiin representaatioihin ääniärsykkeistä ja akustisista elementeistä (Nikjeh ym., 2009), joka mahdollistaa herkemmän reagoinnin musiikillisten piirteiden muutoksille. Meyer ym. (2011) ovat pyrkineet selittämään latenssierojen havaitsemisvaikeutta lasten kohdalla. Saattaa olla, ettei lasten kohdalla ole vielä syntynyt riittävän vahvoja representaatioita, jotta ero musiikillisen toiminnan määrän suhteen tulisi ilmi. Lisäksi kaikki tähän tutkimukseen osallistuvat lapset kävivät samaa musiikkileikkikoulua ja siten olivat musiikin kanssa aktiivisesti tekemisissä, jolloin eron puuttuminen saattaa selittyä myös kontrolliryhmän puuttumisella.

Mittauskerran ja musiikillisen toiminnan välisen yhdysvaikutuksen esiintyminen melodian muutoksen latensseille oli yllättävä, eikä tulokselle löydy nykyisen tutkimustiedon valossa järkevää selitystä. Ensimmäisellä ja kolmannella mittauskerralla latenssien pituuden ja musiikillisen toiminnan määrän yhteys oli negatiivinen, eli mitä enemmän lapsi puuhastelee musiikin parissa, sitä lyhyemmät latenssit olivat. Toisella mittauskerralla yhteys oli kuitenkin päinvastainen. Latenssianalyysi on kuitenkin herkkä aivosähkökäyrässä olevalle häiriölle, kun amplitudeja tarkastellaan vain yhdessä pisteessä (Luck, 2005). Merkitsevä yhdysvaikutus saattaa olla virheellinen jo pelkän sattuman takia. Toisella mittauskerralla havaitun positiivisen yhteyden virheellisyyttä puoltaa oletusten vastaisuuden lisäksi yhteyden esiintyminen ainoastaan yhden muutostyyppin yhdellä mittauskerralla.

4.1.3. Vasteiden kehitys iän myötä

Seurantatutkimusasetelma mahdollisti vasteiden kehittymisen tarkastelun, mutta mittauskerran päävaikutusta ei kuitenkaan onnistuttu havaitsemaan, mikä oli tuloksena yllättävä. Putkisen ym. (painossa) pitkittäistutkimuksessa havaittiin MMN-vasteen amplitudien kasvavan seitsemästä ikävuodesta kolmeentoista, mikä viittaa MMN-vasteen kypsymättömyyteen vielä kouluikäisilläkin lapsilla. Tämän tutkimuksen alle kouluikäisten lasten MMN-vasteet saattavat siten olla vielä liian

kypsymättömiä, jotta erot eri mittauskertojen välillä tulisivat ilmi. Lisäksi vasteiden hajonnat olivat suuria (katso liite 4) sekä etenkin kolmannen mittauskerran ryhmäkoko oli pieni, mikä saattaa selittää mittauskerran päävaikutusten puuttumista. Toisaalta Putkisen ym. (painossa) tutkimuksessa havaittiin myös musiikkia harrastaneiden lasten amplitudien kasvavan iän myötä musiikkia harrastamattomia jyrkemmin. Tässä tutkimuksessa havaittu yhteys musiikillisen toiminnan ja amplitudien kasvun välillä saa siten tukea myös Putkisen ym. (painossa) pitkittäistutkimuksen löydöksistä ja näyttäisi siltä, että musiikillisella toiminnalla pystytään vaikuttamaan myös vasteiden kehitykseen positiivisesti.

Silmämääräisen tarkastelun perusteella MMN-vasteiden yleinen kehityssuunta näyttäisikin olevan samansuuntainen aiempien tutkimustulosten kanssa vasteiden amplitudien muuttuessa negatiivisemmiksi ja latenssien aikaistuessa (katso taulukko 2). Tämä muutossuunta saattaisi viitata negatiivisen MMN-vasteen kehittymiseen, vaikka tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittukaan. Amplitudien muuttuminen negatiivisemmiksi ja latenssien aikaistuminen voidaan liittää kypsymisen myötä tapahtuvaan yleiseen prosessointimekanismien kehittymiseen niin prosessoinnin tarkkuuden kuin nopeuden suhteen (Picton & Taylor, 2007).

4.2. Tutkimuksen arviointia

Aiempi tutkimus on keskittynyt pitkälti muodollisen musiikkiharrastuksen vaikutuksen tutkimiseen ja tutkimusta lasten tapahtumasidonnaisista jännitevasteista on ylipäättään niukasti. Tämän tutkimuksen kautta saatiin uutta tietoa lasten kuulotiedon prosessoinnista ja musiikillisen toiminnan vaikutuksista.

Tutkimuksessa hyödynnettiin monimutkaisempaa roving melody -asetelmaa. Musiikillisen toiminnan merkitys saattaa tulla ilmi juuri monimutkaisessa kuulotiedon prosessoinnissa ja liian helppo asetelma ei tavoita prosessoinnin eroja musiikin toiminnan määrän suhteen. Asetelman muodostuessa lyhyistä melodioista muistuttaa se enemmän oikeaa musiikkia, jolloin pystytään tarkastelemaan paremmin lasten kykyä prosessoida muutoksia jatkuvassa äänivirrassa. Siten ekologinen validiteetti on esimerkiksi oddball-asetelmaan verrattaessa parempi. Useat tutkimukset ovat keskittyneet tarkastelemaan yhtä piirrettä musiikissa, mutta roving melody -asetelman käyttäminen mahdollisti monien piirteiden yhtäaikaisen tarkastelun. Näin saadaan laajempi ja monipuolisempi kuva lasten kuulotiedon prosessoinnista. Toisaalta roving melody -asetelma saattaa olla jopa liian monimutkainen ja hienovarainen kaikkien tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden

komponenttien havaitsemiselle ja esimerkiksi tässä tutkimuksessa ei onnistuttu havaitsemaan P3a-vasteen kaltaista positiivista vastetta eikä myöhäistä negatiivista LDN-vastetta. Tulevaisuudessa olisikin pyrittävä kehittämään vastaavanlainen asetelma, jossa myös tällaisia vasteita olisi mahdollista mitata, sillä esimerkiksi LDN-vasteen on aiemmissa tutkimuksissa todettu olevan lupaava mittari pienten lasten äänenerottelukyvylle ja hyödyllinen väline kuulotiedon oppimisen ja kehityksen kliiniseen seuraamiseen (Putkinen ym., 2012).

Tutkimukseen osallistui yhteensä 43 lasta. Vaikka otoskoko on kohtuullinen lasten MMN-tutkimukselle, saattaa se olla liian pieni tilastollisesti merkitsevien tulosten saamiseksi. Lapset kävivät myös kaikki samaa musiikkileikkikoulua, mikä saattaa vaikuttaa tulosten yleistettävyyteen. Lisäksi tutkimuksessa ei käytetty kontrolliryhmää. Kontrolliryhmään vertaaminen olisi voinut vahvistaa tulosten merkitsevyyttä ja lisätä musiikillisen toiminnan vaikutuksen luotettavuutta. Toisaalta musiikki on osana useimpien lasten arkea juuri itseohjautuvan toiminnan muodossa, jolloin musiikkia lainkaan harrastamattomista lapsista koostuvan kontrolliryhmän muodostaminen voi osoittautua hyvin haastavaksi. Lasten kanssa työskenteleminen tuo omat haasteensa tutkimukselle. Ohjeistuksesta huolimatta lapset liikkuvat ja puhuivat kokeen aikana, mikä vaikuttaa aivosähkökäyrän laatuun. Tässä tutkimuksessa käytetyn koeasetelman lisäksi lapsille esitettiin myös toinen koeasetelma vuoroin ennen ja vuoroin jälkeen tämän tutkimuksen koeasetelman. Vaikka roving melody -asetelma itsessään soveltuu hyvin lapsille lyhyen keston ansiosta, lisäsi toinen asetelma mittauksen kestoja. Lasten väsyminen ja turhautuminen näkyivät taas liikehtimisen ja puhumisen lisääntymisenä, mikä taas vaikutti aivosähkökäyrän laatuun.

4.3. Musiikin siirtovaikutuksista

Musiikillisella toiminnalla näyttäisi olevan yleisesti voimakas vaikutus aivojen toimintaan ja kognitioon. Musiikin vaikuttavuuden puolesta puhuu jo se, että pelkkä musiikin kuunteleminen aktivoi aivoissa laajalti eri alueita (Levitin & Tirovolas, 2009). Musiikkitesteissä menestymisen on huomattu korreloivan positiivisesti mm. yleisen älykkyyden (Schellenberg, 2004), päättelykyvyn (Nelson & Barresi, 1989) ja spatiaalisten kykyjen (Hassler ym., 1985) kanssa. Musiikkiharrastuksen taas on huomattu korreloivan positiivisesti esimerkiksi valikoivan tarkkaavaisuuden (Hurwitz, Wolff, Bortnick, & Kokas, 1975), kielellisen muistin (Chan, Ho, & Cheung, 1998.), verbaalisen älykkyyden sekä toiminnanohjauksen (Moreno ym., 2011) ja matemaattisten taitojen (Cheek & Smith, 1999) kanssa. Anvarin ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin musiikin havaintotaitojen olevan

yhteydessä fonologiseen tietoisuuteen, jonka tiedetään olevan tärkeä tekijä lukemaan oppimisessa. Mielenkiintoiseksi lukutaidon ja musiikin yhteyden teki se, että musiikin havaitsemisen taidot eivät olleet yhteydessä lukemaan oppimiseen vain fonologisen tietoisuuden kautta, vaan ennustivat lukemaan oppimista myös silloin, kun fonologinen tietoisuus oli kontrolloituna. Myöskään auditiivinen muisti, sanavaraston suuruus tai matemaattiset kyvyt eivät selittäneet tutkimuksessa löydettyä musiikin havaitsemisen ja lukemaan oppimisen suhdetta. Musiikilla näyttäisi siis olevan varsin ainutlaatuinen positiivinen vaikutus lukemaan oppimisen kannalta.

Musiikin positiiviset myötävaikutukset herättävät väistämättä kysymyksen musiikin mahdollisuuksista toimia esimerkiksi kuntoutusmuotona erilaisiin kognitiivisiin ongelmiin. Muutamissa tutkimuksissa on todettu musiikin hyödyllisyys muun muassa dysleksiaan liittyvissä kielellisissä vaikeuksissa (Foregeard ym., 2008) sekä afasia- (Schlaugh, Marchina, & Norton, 2008) ja aivohalvauspotilaiden (Särkämö ym., 2010) kuntoutuksessa. Silti musiikin vaikutusmekanismeista ja mahdollisuuksista kuntoutuksessa tarvitaan lisää tietoa ja ymmärrystä sekä tutkimusta musiikin prosessoinnin perusmekanismeista.

Koska useille lapsille musiikki on läsnä leikinomaisena kotona tapahtuvana puuhasteluna, on tärkeää tutkia musiikin vaikutuksia myös tässä kontekstissa. Tällainen musiikillinen toiminta tavoittaa myös ne lapset, joilla ei ole mahdollisuuksia ohjatumpaan musiikin harrastamiseen. Tämä tutkimus viittaa siihen, että jo kotona harrastetulla musiikillisella toiminnalla on positiivisia vaikutuksia kuulotiedon prosessointiin. Siten musiikin positiiviset vaikutukset eivät rajoitu vain intensiiviseen ohjattuun harrastamiseen, vaan musiikillinen tekeminen ja puuhastelu ovat ylipäätään hyödyllisiä aktiviteetteja.

Tieto musiikillisen toiminnan positiivista vaikutuksista mahdollistaa musiikin laajan soveltamisen. Erityisen hyödyllistä tämä tieto on esimerkiksi päiväkotien, esikoulujen ja koulun alaluokkien musiikkitoiminnan perusteluna. Musiikin havaitsemistaitojen on todettu olevan yhteydessä esimerkiksi lukemaan oppimiseen (Anvari ym., 2002), mikä on tärkeä tekijä lapsen yleisen oppimisen kannalta. Jos kuulotiedon prosessointia pystytään musiikillisen toiminnan avulla parantamaan esimerkiksi päiväkotien laululeikkituokioiden kautta, saattaa sillä olla merkitystä myös lukutaidon kehittymiselle. Musiikillisella toiminnalla voitaisiin tukea monien lasten kehitystä jo hyvin varhaisessa vaiheessa ennen ongelmien ilmenemistä ja sitä kautta parantaa prosessointikapasiteettia ja mahdollisesti ennaltaehkäistä ja vähentää ongelmia.

4.4. Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella musiikillisen toiminnan vaikutuksia 4–6-vuotiaiden lasten tapahtumasidonnaisiin jännitevasteisiin. Tutkimuksessa havaittiin lähes merkitsevä positiivinen yhteys eri muutostyypeille syntyneiden MMN-vasteen kaltaisten vasteiden amplitudien negatiivisuuden ja musiikillisen toiminnan määrän välillä lukuun ottamatta rytmin muutosta. Yhteyttä latenssien ja musiikillisen toiminnan välillä ei havaittu, mikä saattaa johtua siitä, etteivät lasten representaatiot akustisista elementeistä ja ääniärsykkeistä ole vielä vahvistuneet riittävästi (Meyer ym., 2009). Tilastollisesti merkitsevä musiikillisen toiminnan ja mittauskerran yhdysvaikutus vireen muutoksen synnyttämien vasteiden amplitudien negatiivisuuteen vahvistaa koko tutkimuksessa ilmenevää suuntaa musiikillisen toiminnan ja amplitudien negatiivisuuden yhteydestä. Yhdysvaikutus melodian latensseille ei nykyisen tutkimustiedon varassa ole kuitenkaan selitettävissä.

Tutkimus tarjoaa uutta ja tärkeää tietoa musiikillisen toiminnan vaikutuksista kuulotiedon prosessointiin aivoissa ja aivojen herkkyydestä prosessoinnin tarkentumiseen ja tehostumiseen ympäristössä tarjottujen elementtien suhteen. Monimutkaisen koeasetelman käyttö mahdollisti prosessoinnin monipuolisemman tarkastelun verrattuna aiemmin toteutettuihin yksittäisiä piirteitä tarkasteleviin tai ei-musiikillista aineistoa käyttäviin tutkimuksiin. Jatkotutkimuksissa olisi kuitenkin hyvä pyrkiä käyttämään roving melody -asetelmaa mittaustilanteessa ainoana koeasetelmana, jotta asetelman aikaetu pystyttäisiin säilyttämään ja aivosähkökäyrän laatua parantamaan, ja jotta lasten aikuisiin verrattuna vaikeammin havaittavat vasteet saataisiin vielä paremmin esiin. Myös kontrolliryhmään vertaaminen ja lasten rekrytoiminen keskenään eri ympäristöistä parantaisi tulosten luotettavuutta. Lisäksi asetelma vaatii ylipäätään kehittämistä MMN-vastetta myöhäisempien vasteiden esiin saamiseksi.

Vaikka näihin haasteisiin ei tässä tutkimuksessa pystytty vastaamaan, antaa tämä tutkimus uuden näkökulman niin musiikin vaikutusten kuin yleisen kuulotiedon prosessoinnin ja muutoksen havaitsemisen tutkimukselle sekä varhaiskasvatuksen ympärillä käytävään keskusteluun musiikillisten keinojen sisällyttämisestä kasvatukseen.

LÄHTEET

- Alho, K. (1995). Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. *Ear & Hearing*, 16(1), 38–51.
- Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1990). Event-related brain potential of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 77(2), 151–155.
- Alho, K., Woods, D. L., Algazi, A., & Näätänen, R. (1992). Intermodal selective attention. Effects of attentional load on processing of auditory and visual stimuli in central space. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82(5), 356–368.
- Amenedo, E., & Escera, C. (2000). The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioural perception. *European Journal of Neuroscience*, 12(7), 2570–2574.
- Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83(2), 111–130.
- Bishop, D. V., Hardiman, M. J., & Barry, J. G. (2011). Is auditory discrimination mature by middle childhood? A study using time-frequency analysis of mismatch responses from 7 years to adulthood. *Developmental science*, 14(2), 402–416.
- Bosnyak, D. J., Eaton, R. A., & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, 14(10), 1088–1099.
- Brattico, E., Tervaniemi, M., Näätänen, R., & Peretz, I. (2006). Musical scale properties are automatically processed in the human auditory cortex. *Brain Research*, 1117(1), 162–174.
- Brinkman, M. J. R., & Stauder, J. E. A. (2008). The development of passive auditory novelty processing. *International Journal of Psychophysiology*, 70(1), 33–39.
- Brody, A. B., Kinney, H. C., Kloman, A., & Gilles, F. H. (1987). Sequence of central system myelination in human infancy. I. An autopsy study of human myelination. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 46(3), 283–301.

- Čeponienė, R., Lepistö, T., Soininen, M., Aronen, E., Alku, P., & Näätänen, R. (2004). Event-related potentials associated with sound discrimination versus novelty detection in children. *Psychophysiology*, 41(1), 130–141.
- Čeponienė, R., Rinne, T., & Näätänen, R. (2002). Maturation of cortical sound processing as indexed by event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 870–882.
- Chan, A. S., Ho, Y. C., & Cheung, M. C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature*, 396(6707), 128–128.
- Cheek, J. M., & Smith, L. R. (1999). Music training and mathematics achievement. *Adolescence*, 34(136), 756–761.
- Cheour, M., Alho, K., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O., & Näätänen, R. (1997). The mismatch negativity to changes in speech sounds at the age of three months. *Developmental Neuropsychology*, 13(2), 167–174.
- Cheour, M., Čeponienė, R., Leppänen, P., Alho, K., Kujala, T., Renlund, M., Fellman, V., & Näätänen, R. (2002). The auditory sensory memory trace decays rapidly in newborns. *Scandinavian Journal of Psychology*, 43(1), 33–39.
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O., & Lang, A. H. (2001). Mismatch Negativity and Late Discriminative Negativity in Investigating Speech Perception and Learning in Children and Infants. *Audiology & Neurotology*, 6(1), 2–11.
- Cheour, M., Leppänen, P. H. T., & Kraus, N. (2000). Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigate auditory discrimination and sensory memory in infants and children. *Clinical Neurophysiology*, 111(1), 4–16.
- Chobert, J., François, C., Habib, M., & Besson, M. (2012). Deficit in the preattentive processing of syllabic duration and VOT in children with dyslexia. *Neuropsychologia*, 50(8), 2044–2055.
- Coles, M. G. H., & Rugg, M. D. (1995). Event-related-potentials: an introduction. Teoksessa M. D. Rugg & M. G. H. Coles (toim.), *Electrophysiology of mind – Event-related potentials and cognition*. (s. 1–25). Oxford: Oxford University Press.
- Courchesne, E. (1977). Event-related brain potentials: comparison between children and adults. *Science*, 197, 589–592.

- Cowan, N., Winkler, I., Teder, W., & Näätänen, R. (1993). Memory prerequisites of mismatch negativity in the auditory event-related potential (ERP). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(4), 909–921.
- Csépe, V. (1995). On the origin and development of the mismatch negativity. *Ear & Hearing*, 16(1), 91–104.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510–1512.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E., & Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology & Neurotology*, 5(3-4), 151–166.
- Escera, C., Alho, K., Winkler, I., & Näätänen, R. N. (1998) Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(5), 590–604.
- Forgeard, M., Schlaug, G., Norton, A., Rosam, C., Iyengar, U., & Winner, E. (2008). The relation between music and phonological processing in normal reading children and children with dyslexia. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 25(4), 383–390.
- Friederici, A. D., Friedrich, M., & Weber, C. (2002). Neural manifestation of cognitive and precognitive mismatch detection in early infancy. *NeuroReport*, 13(10), 1251–1254.
- 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 and Biobehavioral Reviews*, 25(4), 355–373.
- Fuchigami, T., Okubo, O., Ejiri, K., Fujita, Y., Kohira, R., Noguchi, Y., Fuchigami, S., Hiyoshi, K., Nishimura, A., & Harada, K. (1995). Developmental changes in P300 wave elicited during two different experimental conditions. *Pediatric Neurology*, 13(1), 25–28.
- Fujioka, T., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C., & Trainor, L. J. (2006). One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain*, 129(10), 2593–2608.
- Garrido, M. I., Friston, K. J., Kiebel, S. J., & Stephan, K. E. (2008) The functional anatomy of the MMN: A DCM study of the roving paradigm. *NeuroImage*, 42(2), 936–944.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and *non-musicians*. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9249–9245.

- Giard, M. H., Perrin, F., Pernier, J., & Bouchet, P. (1990). Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: A topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27(6), 627–639.
- 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(1), 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(3), 147–150.
- Hassler, M., Birbaumer, N., & Feil, A. (1985). Musical Talent and Visual-Spatial Abilities: A Longitudinal Study. *Psychology of Music*, 13(2), 99–113.
- Hommet, C., Vidal, J., Roux, S., Blanc, R., Barthez, M. A., De Becque, B., ... & Gomot, M. (2009). Topography of syllable change-detection electrophysiological indices in children and adults with reading disabilities. *Neuropsychologia*, 47(3), 761–770.
- Horváth, J., Czigler, I., Birkás, E., Winkler, I., & Gervai, J. (2009b). Age-related differences in distraction and reorientation in an auditory task. *Neurobiology of Aging*, 30(7), 1157–1172.
- Horváth, J., Roeber, U., & Schröger, E. (2009a). The utility of brief, spectrally rich, dynamic sounds in the passive oddball paradigm. *Neuroscience Letters*, 461(3), 262–265.
- Huotilainen, M., Putkinen, V., & Tervaniemi, M. (2009). Brain research reveals automatic musical memory functions in children. *Annals of the New York Academic Science*, 1169(1), 178–181.
- Hurwitz, I., Wolff, P. H., Bortnick, B. D., & Kokas, K. (1975). Nonmusical Effects of the Kodaly Music Curriculum in Primary Grade Children. *Journal of Learning Disabilities*, 8(3), 167–174.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). The Effects of Musical Training on Structural Brain Development. A Longitudinal Study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 182–186.
- Jonides, J. (2004). How does practise makes you perfect? *Nature Neuroscience*, 7(1), 10–11.
- Jäncke, L. (2009). The plastic human brain. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 521–538.

- Korpilahti, P., Krause, C. M., Holopainen, I., & Lang, A. H. (2001). Early and Late Mismatch Negativity Elicited by Words and Speech-Like Stimuli in Children. *Brain and Language*, 76(3), 332–339.
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(8), 599–605.
- Kraus, N., McGee, T., Carrell, T., Sharma, A., Micco, A., & Nicol, T. (1993). Speech-evoked cortical potentials in children. *Journal of the American Academy of Audiology*, 4(4), 238–248.
- Kushnerenko, E., Čeponienė, R., Balan, P., Fellman, V., Huotilainen, M., & Näätänen, R. (2002a). Maturation of the auditory event-related potentials during the first year of life. *NeuroReport*, 13(1), 47–51.
- Kushnerenko, E., Čeponienė, R., Balan, P., Fellman, V., & Näätänen, R. (2002b). Maturation of the auditory change detection response in infants: a longitudinal ERP study. *NeuroReport*, 13(15), 1843–1848.
- Kushnerenko, E., Winkler, I., Horváth, J., Näätänen, R., Pavlov, I., Fellman, V., & Huotilainen, M. (2007). Processing acoustic change and novelty in newborn infants. *European Journal of Neuroscience*, 26(1), 265–274.
- Lavikainen, J., Huotilainen, M., Pekkonen, E., Ilmoniemi, R. J., & Näätänen, R. (1994). Auditory stimuli activate parietal brain regions: a whole-head MEG study. *Neuroreport*, 6(1), 182–184.
- Levitin, D. J., & Tirovolas, A. K. (2009). Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 211–231.
- 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(5), 916–921.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Meyer, M., Elmer, S., Ringli, M., Oechslin, M. S., Baumann, S., & Jancke, L. (2011). Long-term exposure to music enhances the sensitivity of the auditory system in children. *European Journal of Neuroscience*, 34(5), 755–765.

- Moreno, S. (2009). Can music influence language and cognition? *Contemporary Music Review*, 28(3), 329–345.
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science*, 22(11), 1425–1433.
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19(3), 712–723.
- Müeller, V., Brehmer, Y., von Örtzen, T., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2008). Electrophysiological correlates of selective attention: A lifespan comparison. *BMC Neuroscience*, 9(1), 1–21.
- 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(13), 1443–1446.
- Nelson, D. J., & Barresi, A. L. (1989). Childrens age-related intellectual strategies for dealing with musical and spatial analogical tasks. *Journal of Music Education*, 37(2), 93–103.
- Neville, H. (1995) Developmental specificity in neurocognitive development in humans. *The cognitive neurosciences, MA: Bradford books*, s. 219–232.
- Nikjeh, D. A., Lister, J. J., & Frisch, S. A. (2009). Preattentive cortical-evoked responses to pure tones, harmonic tones, and speech: influence of music training. *Ear and hearing*, 30(4), 432–446.
- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *The Behavioral and Brain Sciences*, 13(02), 201–288.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*. Hillsdale: Erlbaum.
- Näätänen, R., Jiang, D., Lavikainen, J., Reinikainen, K., & Paavilainen, P. (1993). Event-related potentials reveal a memory trace for temporal features. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 5(3), 310–312.
- Näätänen, R., & Michie, P. T. (1979). Early selective-attention effects on the evoked potential: a critical review and reinterpretation. *Biological Psychology*, 8(2), 81–136.

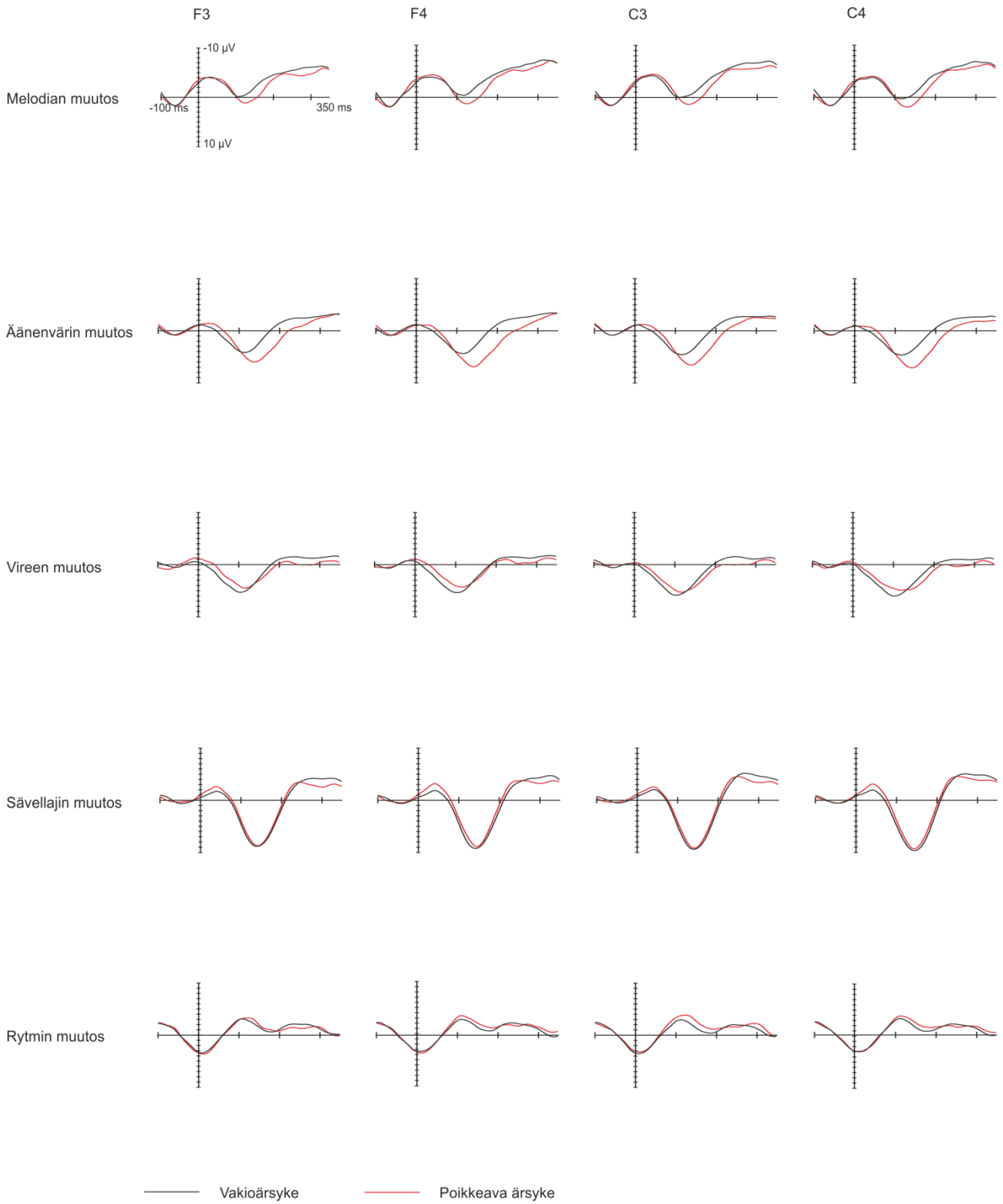
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2544–2590.
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Takegata, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 115(1), 140–144.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P., & Winkler, I. (2001). ‘Primitive intelligence’ in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24(5), 283–288.
- Opitz, B., Rinne, T., Mecklinger, A., von Cramon, D. Y., & Schröger, E. (2002). Differential contribution of frontal and temporal cortices to auditory change detection: fMRI and ERP results. *NeuroImage*, 15(1), 167–174.
- Paavilainen, P. (2013). The mismatch-negativity (MMN) component of the auditory event-related potential to violations of abstract regularities: A review. *International Journal of Psychophysiology*, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.03.015>
- Pantev, C., & Herholz, S. C. (2011). Plasticity of the human auditory cortex related to musical training. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(10), 2140–2154.
- Picton, T. W. (2010). *Human Auditory Evoked Potentials*. San Diego, CA: Plural Publishing.
- Picton, T. W., & Taylor, M. J. (2007). Electrophysiological evaluation of human brain development. *Developmental neuropsychology*, 31(3), 249–278.
- Ponton, C., Don, M., & Masuda, A. (1996). Maturation of human cortical auditory function: differences between normal hearing and cochlear implant children. *Ear Hearing*, 17(5), 430.
- Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: evidence from multi-channel evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*, 111(2), 220–236.
- 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(1), 51–75.
- Putkinen, V., Saarikivi, K., Ojala, P., Huotilainen, M., & Tervaniemi, M. (painossa). Enhanced development of auditory change detection in musically trained school-aged children: a longitudinal event-related potential study. *Developmental Science*.

- Putkinen, V., Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2013). Informal musical activities are linked to auditory discrimination and attention in 2–3-year-old children: an event-related potential study. *European Journal of Neuroscience*.
- Rugg, M. D., & Coles, M. G. H. (toim). (1996). *Electrophysiology of Mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Rüsseler, J., Altenmüller, E., Nager, W., Kohlmetz, C., & Münte, T. F. (2001). Event-related brain potentials to sound omissions differ in musicians and non-musicians. *Neuroscience letters*, 308(1), 33–36.
- Sambeth, A., Pakarinen, S., Ruohio, K., Fellman, V., van Zuijen, T. L., & Huotilainen, M. (2009). Change detection in newborns using a multiple deviant paradigm: A study using magnetoencephalography. *Clinical Neurophysiology*, 120(3), 530–538.
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511–514.
- Schellenberg, E. G. (2005). Music and cognitive abilities. *Current Directions in Psychological Science*. 14(6), 317–320.
- Schlaug, G., Marchina, S., & Norton, A. (2008). From singing to speaking: Why singing may lead to recovery of expressive language function in patients with broca's aphasia. *Music Perception*, 25(4), 315–323.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J. Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002) Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688–694.
- Schröger E., & Wolff, C. (1998). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *NeuroReport*, 9(15), 3355–3358.
- Shafer, V. L., Morr, M. L., Kreuzer, J. A., & Kurtzberg, D. (2000). Maturation of mismatch negativity in school-age children. *Ear & Hearing*, 21(3), 242–251.
- Shahin, A., Roberts, L. E., & Trainor, L. J. (2004). Enhancement of auditory cortical development by musical experience in children. *NeuroReport*, 15(12), 1917–1921.
- Sinkkonen, J., & Tervaniemi, M. (2000). Towards optimal recording and analysis of the mismatch negativity. *Audiology & Neuro-Otology*, 5(3-4), 235–246.

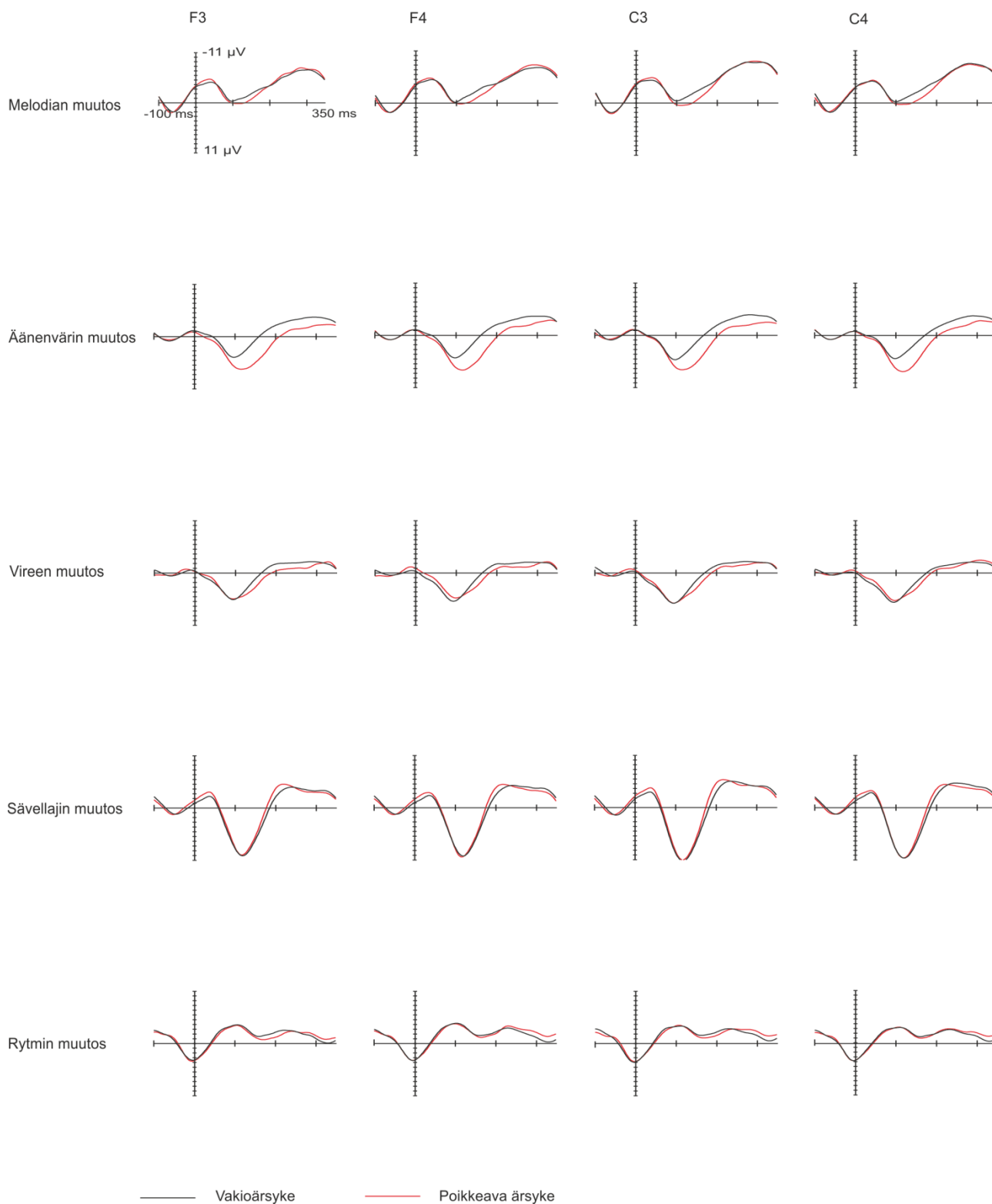
- Särkämö, T., Pihko, E., Laitinen, S., Forsblom, A., Soinila, S., Mikkonen, M., & Tervaniemi, M. (2010). Music and speech listening enhance the recovery of early sensory processing after stroke. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(12), 2716–2727.
- Tervaniemi, M. (2009). Musicians—same or different?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 151–156.
- Tervaniemi, M., Ilvonen, T., Karma, K., Alho, K., & Näätänen, R. (1997). The musical brain: brain waves reveal the neurophysiological basis of musicality in human subjects. *Neuroscience Letters*, 226(1), 1–4.
- Tervaniemi, M., Maury, S., & Näätänen, R. (1994). Neural representations of abstract stimulus features in the human brain as reflected by the mismatch negativity. *NeuroReport*, 5(7), 844–846.
- Tervaniemi, M., Winkler, I., & Näätänen, R. (1997). Pre-attentive categorization of sounds by timbre as revealed by event-related potentials. *NeuroReport*, 8(11), 2571–2574.
- Thomas, D. G., & Crow, C. D. (1994). Development of evoked electrical brain activity in infancy. Teoksessa: G. Dawson & K. W. Fischer (toim.), *Human Behavior and the Developing Brain*. (s. 207–231). New York: Guilford Press.
- Tiitinen, H., May, P., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1994). Attentive novelty detection in humans is governed by pre-attentive sensory memory. *Nature*, 372, 90–92.
- Torppa, R., & Huotilainen, M. (2010). Musiikin merkitys kuulovikaisen lapsen kuntoutuksessa. *Puhe ja Kieli*, 30(3), 137–155.
- Trainor, L. J. (2012). Predictive information processing is a fundamental learning mechanism present in early development: Evidence from infants. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 256–258.
- Virtala, P., Huotilainen, M., Putkinen, V., Makkonen, T., & Tervaniemi, M. (2012). Musical training facilitates the neural discrimination of major versus minor chords in 13-year-old children. *Psychophysiology*, 49(8), 1125–1132.
- Vuust, P., Ostergaard, L., Pallesen, K. J., Bailey, C., & Roepstorff, A. (2009). Predictive coding of music–brain responses to rhythmic incongruity. *Cortex*, 45(1), 80–92.
- Wetzel, N. & Schröger, E. (2007). Modulation of involuntary attention by the duration of novel and pitch deviant sounds in children and adolescents. *Biological Psychology*, 75(1), 24–31.

- 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(10), 2191–2203.
- Winkler, I., Cowan, N., Csépe, V., Czigler, I., & Näätänen, R. (1996) Interactions between transient and long-term auditory memory as reflected by the mismatch negativity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(5), 403–415.
- Winkler, I., Denham, S. L., & Nelken, I. (2009). Modeling the auditory scene: predictive regularity representations and perceptual objects. *Trends in cognitive sciences*, 13(12), 532-540.
- Yabe, H., Tervaniemi, M., Sinkkonen, J., Huottilainen, M., Ilmoniemi, R. J., & Näätänen, R. (1998). Temporal window of integration of auditory information in the human brain. *Psychophysiology*, 35(5), 615–619.
- Yago, E., Escera, C., Alho, K., Giard, M. H., & Serra-Grabulosa, J. M. (2003). Spatiotemporal dynamics of the auditory novelty-P3 event-related brain potential. *Cognitive Brain Research*, 16(3), 383–390.
- Yago, E., Corral, M. J., & Escera, C. (2001). Activation of brain mechanisms of attention switching as a function of auditory frequency change. *NeuroReport*, 12(18), 4093–4097.

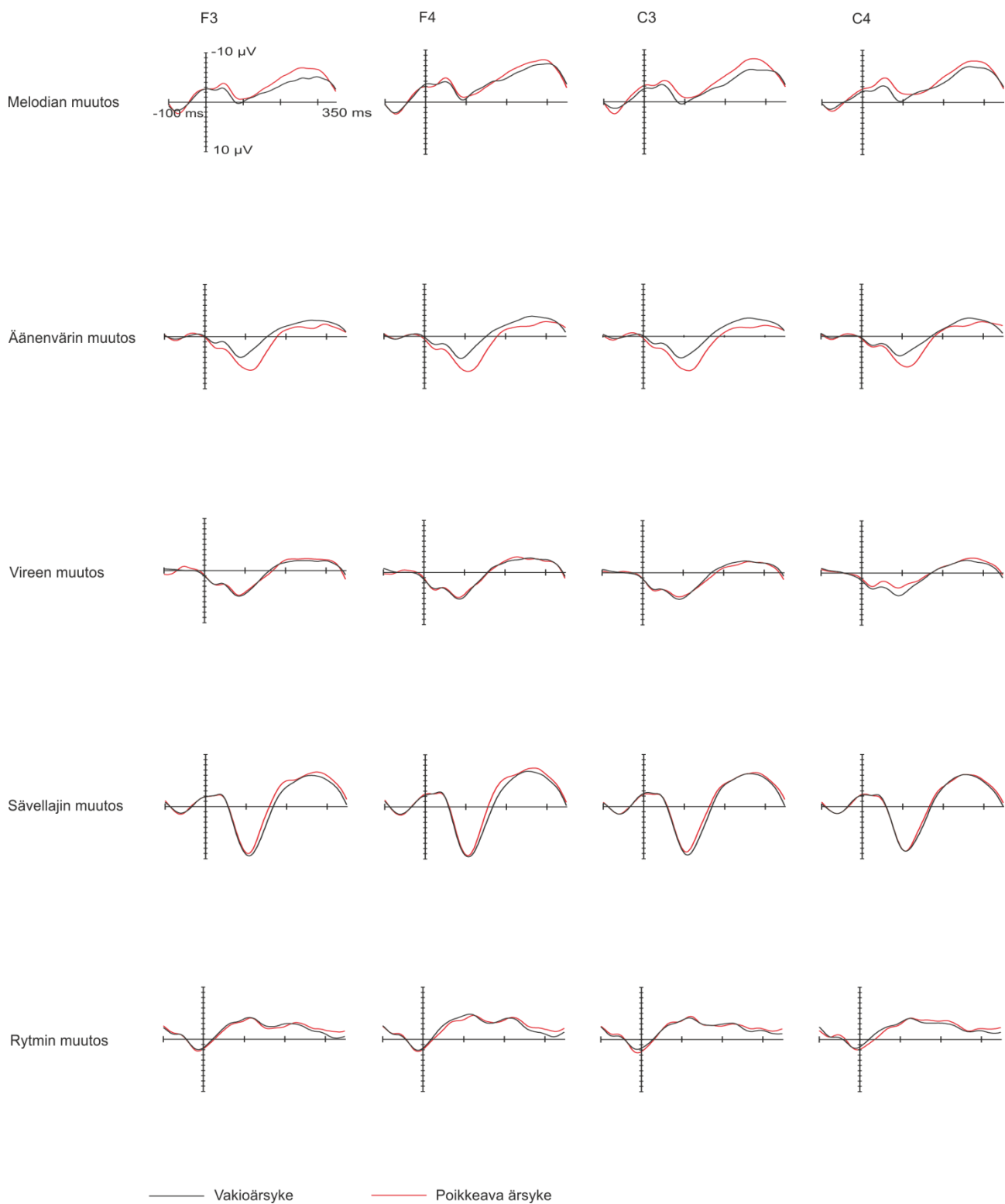
LIITTEET



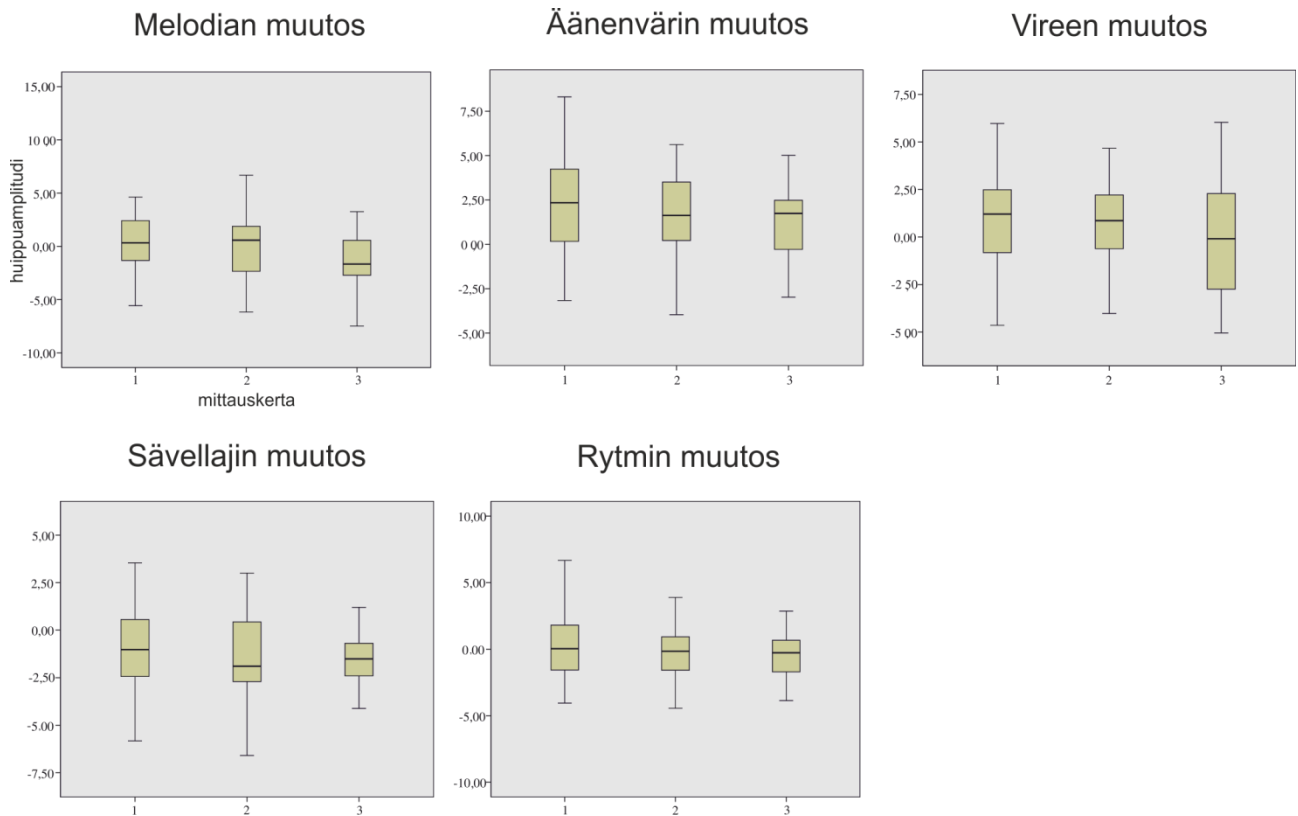
Liite 1. 2-vuotiaiden ryhmäkeskiarvokäyrät vakio- ja poikkeaville ärsykeille.



Liite 2. 4-vuotiaiden ryhmäkeskiarvokäyrät vakio- ja poikkeaville ärsykkeille.



Liite 3. 6-vuotiaiden ryhmäkeskiarvokäyrät vakio- ja poikkeaville ärsykkeille.



Liite 4. Box-plot -kuvat MMN:n keskiarvoamplitudeista.

Liite 5. Amplitudianalyysi

	mittauskerta	musiikillinen toiminta	mittauskerta* musiikill. toiminta
melodian muutos	$F(2,51) = .316$ ($p=.731$)	$F(1,37) = 3.662$ ($p=.063$)	$F(2,55)=1.038$ ($p=.361$)
äänenväriin muutos	$F(2,49) = 1.620$ ($p=.208$)	$F(1,44) = 3.279$ ($p=.077$)	$F(2,52) = 1.455$ ($p=.243$)
vireen muutos	$F(2,47) = .445$ ($p=.643$)	$F(1,33) = 3.228$ ($p=.082$)	$F(2,52) = 3.292$ ($p=.045$)
sävellajin muutos	$F(2,59) = .469$ ($p=.628$)	$F(1,34) = .3325$ ($p=.077$)	$F(2,62) = .231$ ($p=.794$)
rytmin muutos	$F(2,51) = .664$ ($p=.519$)	$F(1,36) = .227$ ($p=.637$)	$F(2,55) = 1.341$ ($p=.270$)

Liite 6. Latenssianalyysi

	mittauskerta	musiikillinen toiminta	mittauskerta* musiikill. toiminta
melodian muutos	$F(2,47) = .100$ (p=.905)	$F(1,42) = .281$ (p=.599)	$F(2,51) = .5033$ (p=.010)
äänenväriin muutos	$F(2,49) = .633$ (p=.535)	$F(1,39) = .000$ (p=.991)	$F(2,51) = 2.247$ (p=.116)
vireen muutos	$F(2,48) = .057$ (p=.945)	$F(1,44) = .341$ (p=.562)	$F(2,52) = .158$ (p=.855)
sävellajin muutos	$F(2,57) = 2.330$ (p=.106)	$F(1,40) = .215$ (p=.645)	$F(2,61) = .174$ (p=.841)
rytmin muutos	$F(2,40) = .880$ (p=.422)	$F(1,27) = .118$ (p=.733)	$F(2,38) = .459$ (p=.636)