

**Aivojen sähköinen aktiivisuus
passiivisen audiovisuaalisen oppimisen
aikana**

Maria Minkkinen
Pro gradu -tutkielma
Psykologian laitos
Jyväskylän Yliopisto
elokuu 2018

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

MINKKINEN, MARIA: Aivojen sähköinen aktiivisuus passiivisen audiovisuaalisen oppimisen aikana

Pro gradu -tutkielma, 30 s., 1 liites.

Ohjaaja: Jarmo Hämäläinen

Psykologia

Elokuu 2018

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka passiivinen audiovisuaalinen oppiminen ilmenee aivojen sähköisessä aktiivisuudessa. Koe sisälsi neljä kymmenen minuutin mittaista blokkia, joiden aikana koehenkilöt altistettiin opittaville ja ei-opittaville merkki-tavupareille. Koehenkilöt eivät kiinnittäneet aktiivisesti huomiota merkin ja äänen yhteyteen. Tutkimuksessa havaittiin, että opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteet erosivat kaikissa blokeissa lukuun ottamatta toista blokkia. Kolmannessa blokkissa ero oli päinvastainen muihin blokkeihin verrattuna ja ilmeni myöhäisissä herätevasteissa. Kolmannen blokin poikkeavuus voidaan näin olettaa oppimisprosessiin liittyvää muutosta. Myös herätevasteiden topografiat erosivat opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä. Herätevasteet erosivat kaikkien blokkien välillä sekä opittavissa että ei-opittavissa ärsykkeissä. Kun verrattiin alueita, joilla herätevasteet muuttuivat, havaittiin, että vasemmalla okkipitaalialueella ja parietaalialueella vasteet muuttuivat ainoastaan opittavilla ärsykkeillä. Kuitenkaan opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden herätevastemuutosten välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitsevää eroa. Lisäksi saatiin viitteitä siitä, että hyvin oppimaansa tiedostavien ja huonosti oppimaansa tiedostavien välisissä herätevasteissa saattaa olla eroja. Tässä tutkimuksessa saatiin tietoa, kuinka audiovisuaalinen oppiminen ilmenee aivojen herätevasteissa ja kuinka herätevasteet muuttuvat oppimisprosessin aikana. Audiovisuaaliseen oppimiseen liittyvien neuraalisten prosessien ymmärtäminen on keskeistä esimerkiksi lukutaidon kehitystä tutkittaessa.

Sisällys

1. JOHDANTO	1
1.1. Passiivinen oppiminen	1
1.2. Aivojen sähköisen aktiivisuuden mittaaminen	3
1.3. Aivojen sähköinen aktiivisuus passiivisen oppimisen aikana	4
1.4. Audiovisuaalinen oppiminen	7
1.5. Tutkimuskysymykset	8
2. MENETELMÄT	10
2.1. Tutkittavat	10
2.2. Koeasetelma	10
2.3. Herätevasteiden mittaaminen ja analysointi	12
3. TULOKSET	13
3.1. Herätevaste-erot opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä	14
3.2. Heätevasteiden muuttuminen kokeen aikana	18
3.3. Tiedostamisen vaikutus oppimisen aikaisiin herätevasteisiin	23
4. POHDINTA	24
4.1. Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden väliset herätevaste-erot	24
4.2. Muutokset herätevasteissa oppimisen aikana	27
4.3. Tiedostamisen vaikutus oppimiseen	28
4.4. Tutkimuksen yhteenveto ja jatko tutkimus	29
Lähteet	31
Liitteet	33

1. JOHDANTO

Oppimista on pitkään tutkittu neurotieteessä. Kyse on perustavanlaatuisesta mekanismista, sillä ihmisellä on jo syntyessään valmius muodostaa assosiaatioita asioiden välille (Aslin & Newport 2012). Assosiativinen oppiminen ilmeneekin jo ilman tietoista opettelua, passiivisesti (Aslin & Newport 2012). Kuitenkaan ei ole täysin selvää, missä määrin passiivinen oppiminen edellyttää tietoista prosessointia ja missä määrin kyse on esitietoisesta prosessista (Daltrozso & Conway 2014).

Opittavilla asioilla ympäristössämme on yleensä eri aistein havaittavia ominaisuuksia esimerkiksi eläinlajeilla tietynlainen ulkonäkö ja ääntelytapa. Siksi aivot ovatkin kehittyneet yhdistämään eri aistikanavista tulevaa tietoa ja muokkaamaan niistä yhtenäisiä kokonaisuuksia (Shams & Seitz 2008). Myös lukemaan oppiminen perustuu auditivisen ja visuaalisen tiedon yhdistämiseen. On havaittu, että esimerkiksi lukihäiriön taustalla on juuri kirjainten nimeämisen pulma eikä pelkästään visuaaliseen prosessointiin liittyvä ongelma (Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon 2004). Näin ollen tutkimustietoa audiovisuaalisen tiedon prosessoinnista voidaan hyödyntää muun muassa lukihäiriön neuraalisen perustan ymmärtämiseen. Tässä tutkimuksessa selvitetäänkin audiovisuaalista oppimista passiivisessa oppimistilanteessa.

1.1.Passiivinen oppiminen

Passiivisella oppimisella (statistical learning) tarkoitetaan havaintokokemuksista syntynyttä kykyä suoriutua tietyissä havaintotehtävissä (Atienza Cantero & Dominguez-Marin 2002). Se on nähtävissä myös aivokuoren neuraalisina muutoksina (Atienza ym. 2002). Passiivinen oppiminen on automaattinen mekanismi, jolla muodostetaan havaituista ärsykkeistä sääntöjä, joiden perusteella voidaan tehdä tiedostamattomia päätelmiä ärsykkeistä (Aslin & Newport 2012). Siihen ei siis tarvita tiedostettuja ohjeita, vaan opittavalle ärsykkeelle altistuminen riittää (Aslin & Newport 2012). Passiivinen oppiminen ei myöskään rajaudu tiettyyn aistiin, vaan sitä tapahtuu kaikkilla aistikanavilla (Aslin & Newport 2012). Vauvoilla oppiminen perustuukin juuri passiiviseen oppimiseen, koska tiedostettujen ohjeiden muodostaminen ei

ole vielä mahdollista (Aslin & Newport 2012). Esimerkiksi sanojen tunnistus ja ympäristön hahmotus perustuvat passiiviseen oppimiseen (Abla, Katahira & Okanoya 2008).

Sääntöoppiminen poikkeaa passiivisesta oppimisesta siinä, että ärsykkeiden osia tai niiden yhdistelmiä sovelletaan, kun taas passiivisessa oppimisessa opittu materiaali on täsmälleen sitä, mille on altistuttu (Aslin & Newport 2012). Onkin ehdotettu, että passiivisessa oppimisessa olisi kysymys eri mekanismeista kuin sääntöoppimisessä (Marcus 2000; Endress & Bonatti 2007). Toisaalta voidaan myös nähdä, etteivät passiivinen oppiminen ja sääntöoppiminen ole toisistaan erillisiä prosesseja, vaan ainoastaan oppimistulos on erilainen (Aslin & Newport 2012). Sääntöoppimista esiintyy vain, jos keskitytään ärsykkeen tärkeisiin piirteisiin, joiden avulla voidaan tehdä yleistyksiä (Aslin & Newport 2012). Toisaalta myös passiivinen oppiminen voi sisältää tärkeitä havaintoon liittyviä osa-alueita kuten aika, sävelkorkeus ja havaintokategoriat, jotka mahdollistavat yhteyksien muodostamisen (Aslin & Newport 2012).

Passiivinen oppiminen voidaan luokitella sen mukaan, perustuuko se ärsykkeen konkreettisten vai abstraktien piirteiden koodaukseen (Franco & Destrebecqz 2012). Kuitenkaan ei ole yksimielisyyttä siitä, missä määrin konkreettinen koodaus liittyy abstrakteihin piirteisiin (Daltrozzo & Conway 2014). Passiivinen oppiminen voidaan luokitella myös tiettyyn aistimodaalin liittyväksi oppimiseksi tai aistimodaaliin liittymättömäksi oppimiseksi (Daltrozzo & Conway 2014). Aistimodaaliin liittymätön oppiminen voidaan toisaalta nähdä lukeutuvaksi edellä mainittuun abstraktiin oppimiseen (Daltrozzo & Conway, 2014). Myös aivojen herätevastetutkimukset tukevat käsitystä siitä, että passiivinen oppiminen voidaan jakaa sekä abstraktiin että konkreettiseen oppimiseen. Joidenkin herätevästeiden on havaittu liittyvän selvemmin abstraktiin oppimiseen kuin konkreettiseen oppimiseen (Daltrozzo & Conway, 2014). Koska tässä tutkimuksessa opittava informaatio on audiovisuaalista, voidaan oppimisen olettaa olevan abstraktia passiivista oppimista.

Passiivinen oppiminen ei tarkoita täysin samaa kuin tiedostamaton oppiminen, vaikka ne käsitteinä usein liitetään toisiinsa (Daltrozzo & Conway 2014). Schögerin ja kollegoiden (2007) mukaan passiivinen oppiminen on nähtävissä automaattisena prosessina, joka ilmenee riippumatta tietoisuuden tasosta. Tietoisten prosessien voidaan kuitenkin nähdä liittyvän vuorovaikutteisesti passiiviseen oppimiseen erilaisten kognitiivisilla prosesseilla kuten eksplisiittisellä muistilla (Clegg, DiGirolamo & Keele 1998). Daltrozzon & Conwayn (2014)

mukaan esimerkiksi riittävä altistus ärsykkeelle tai odottamaton ärsyke saa aikaan tietoisien prosessoinnin. Myös Bakerin, Oslonin & Behrmannin (2004) mukaan passiivisessa oppimisessa kyse ei ole ainoastaan passiivisesta prosessoinnista, vaan myös tarkkaavaisuuden säätelemästä prosessista. Passiivinen oppiminen voidaankin nähdä automaattisena prosessina, joka kohdistuu tarkkaavaisuuden kohteeseen (Baker ym. 2004). Toisaalta Meuwesen ja kollegoiden (2013) mukaan opittavaan asiaan kohdistuva tarkkaavuus ja havainnon tietoisuus ovat toisistaan erillisiä. Heidän mukaansa tarkkaavuus sinällään ei ole passiivisen oppimisen edellytys, mutta tietoisuus on.

Passiivisen oppimisen tietoinen ja tiedostamaton prosessointi ovat oletettavasti toisistaan erillisiä myös neuraalisten yhteyksien perusteella (Clegg ym. 1998; Daltrozzo & Conway 2014). Tietoinen oppiminen voidaan nähdä erityisesti frontaalialueiden aktivaationa, kun taas tiedostamaton prosessointi näkyy suurempana aktivaationa sensomotorisilla aivoalueilla ja basaalganglioissa (Daltrozzo & Conway 2014). Aizensteinin ym. (2004) mukaan tietoinen ja tiedostamaton oppiminen ovat toistensa kanssa osin päällekkäisiä aktivoitujen osin samoja aivoalueita. Toisaalta tiedostamaton oppiminen näkyy näköaivokuoren ja prefrontaalialueen pienempänä aktivaationa verrattuna tietoiseen oppimiseen (Aizenstein ym. 2004). Myös erilaisia herätevasteita on liitetty passiivisen oppimisen tietoiseen ja tiedostamattomaan puoleen. Karkeasti jakaen myöhemmät herätevasteet ilmentävät oppimisen tietoista puolta ja aikaisemmat tiedostamatonta puolta (Daltrozzo & Conway 2014). Tiedostamattoman prosessin on nähty myös olevan kehityksellisesti tietoista prosessia varhaisempi luoden perustan muun muassa kielen kehitykselle (Daltrozzo & Conway 2014).

1.2. Aivojen sähköisen aktiivisuuden mittaaminen

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan oppimisen aikaisia aivojen sähköisiä jännitemuutoksia mittaamalla niitä elektroenkefalografialla eli EEG:llä. EEG:llä mitatut herätevasteet antavat ajallisesti tarkkaa tietoa ärsykkeen ja aivokuoren välisestä suhteesta, joten sen avulla saadaan tietoa siitä, kuinka ärsykettä prosessoidaan (Atienza ym. 2002; Luck 2005). Herätevastetutkimuksissa voidaankin havaita oppimista, vaikka oppimista ei käyttäytymisen

tasolla näkyisikään (Luck 2005; Paraskevopoulos ym. 2012). Siksi tiedostamattomia prosesseja kuten passiivista oppimista on tutkittu aivojen herätevasteiden avulla.

EEG antaa tarkkaa tietoa juuri tietystä kognitiivisesta prosessista toisin kuin käyttäytymisen mittaaminen, jossa ei tiedetä liittyykö tietty vaste esimerkiksi havaitsemisprosessiin vai reaktioprosessiin (Luck 2005). Toisaalta EEG:n herätevasteista ei voida tehdä selviä päätelmiä siitä, mitä kognitiivisia prosesseja ne edustavat, koska monet kognitiiviset prosessit ovat päällekkäisiä (Luck 2005). Herätevasteet ovat usein myös niin pieniä, että yhdeltä koehenkilöltä tarvitaan jopa satoja trialeja tiettyä ärsykettä, jotta vaste saadaan näkyviin (Luck 2005). Myös paikannustarkkuudessa EEG-menetelmä jää paljon heikommaksi kuin aivojen verenkiertoon perustuvat mittausmenetelmät kuten fMRI. Lisäksi vasteen mittaus kohdasta ei voida suoraa päätellä, miltä aivoalueelta vaste on peräisin.

1.3. Aivojen sähköinen aktiivisuus passiivisen oppimisen aikana

Koska passiivinen oppiminen tapahtuu ilman tiedostettuja ohjeita (Aslin & Newport 2012), käytetään usein sen tutkimisessa aivotoimintaa mittaavia menetelmiä, kuten EEG:tä. Passiivista oppimista on tutkittu aikaisemmissa kokeissa mittaamalla aivojen sähköistä tai sähkömagneettista toimintaa sanarajojen oppimisessa ja äänne-erojen havaitsemisessa. (Alain ym. 2001; Atienza ym. 2002; Tremblay & Kraus 2002).

Herätevasteet ja niissä tapahtuvat muutokset voidaan usein liittää tiettyihin neuraalisiin prosesseihin (Luck 2005). Ensimmäiset ärsykkeen havaitsemiseen liittyvät herätevasteet, jotka voidaan mitata EEG:llä, esiintyvät jo 10-60 ms jälkeen ärsykkeen esittämisestä (Luck 2005). Niiden jälkeen ilmenee P1 vaste, joka voidaan mitata suurimpana sekundaariselta näköaivokuorelta tai temporaalilohkolta riippuen siitä, onko ärsyke visuaalinen vai auditiivinen (Luck 2005). N1-herätevasteesta voidaan erottaa useita ala-komponentteja, joiden on nähty liittyvän tarkkaavuuden ja erottelun prosesseihin (Luck 2005). Visuaalisissa ärsykkeissä ne esiintyvät suurimpina parietaali- ja okkipitaalialueella ja auditiivisissa ärsykkeissä frontaali- ja temporaalialueilla (Luck 2005).

Tremblay & Kraus (2002) havaitsivat kokeessaan, että herätevasteissa P1, P2 ja N1 ilmenevät muutokset kuvasivat äänteiden erotteluun liittyvää oppimista. Oppimisen seurauksena P1-herätevasteen amplitudi väheni ja P2- sekä N1-vasteiden amplitudi kasvoi. Lisäksi muutos erosi lateraalisesti niin, että N1- ja P1-herätevasteissa muutos näkyi oikealla puolella, kun taas P2-vasteessa muutos esiintyi molemmin puolin. Voidaankin ajatella P2-vasteen liittyvän N1- ja P1-vastetta enemmän ärsykkeen globaaleihin piirteisiin ja tarkkaavaisuuden prosesseihin oppimisen aikana (Tremblay & Kraus 2002).

MMN-herätevaste (mismatch negativity) saa huippunsa noin 160 - 220 ms kohdalla ja sen on havaittu heijastavan automaattista vertailuprosessia (Luck 2005). On päätelty, että N1 vaste heijastaa automaattisen tarkkavaisuuden nopeaa mekanismia, joka vastaa selvästi poikkeaviin ärsykkeisiin ja MMN-vaste on yhteydessä pienempiin ärsykemuutoksiin (Escera ym. 1998).

Koska MMN liittyy automaattiseen vertailuprosessiin, tarkkaavaisuus ei vaikuta siihen toisin kuin myöhempään herätevasteisiin kuten P300-herätevasteeseen (Daltrozzon & Conway 2014). On havaittu, että oddball-koeasetelmassa MMN-herätevaste kasvaa, vaikka koehenkilö ei olisikaan tietoinen oppimisesta, mutta P300-vaste muuttuu ainoastaan koehenkilön ollessa tietoinen oppimastaan (van Zuijen ym 2006). Näin ollen MMN-herätevasteen voidaan nähdä heijastavan passiivisen oppimisen tiedostamatonta puolta ja P300-vasteen passiivisen oppimisen tietoista puolta (van Zuijen ym 2006). Atienza ja kollegat (2002) havaitsivat MMN-herätevasteen liittyvän myös oppimisprosessin etenemiseen. Heidän tutkimuksessaan MMN-herätevasteen amplitudin nähtiin kasvavan passiivisessa äänteiden erottelun tilanteessa, kun henkilö oli opetellut tietoisesti erottamaan äänteet.

P2- ja N2-vasteet liittyvät tarkkaavaisuuden säätelyyn ja äänen tietoiseen prosessointiin (Leppänen & Hämäläinen 2010). Visuaalisissa ärsykkeissä P2-vasteen on nähty liittyvän juuri tietyn piirteen seuraamiseen ärsykkeestä (Luck 2005). Vaste on suurempi silloin, kun piirre esiintyy epäsäännöllisesti. N2-vasteen on puolestaan nähty liittyvän toistuviin ärsykkeisiin, jotka eivät ole seuraamisen kohteena. Jos ärsykettä esitetään satunnaisesti, on amplitudi suurempi. P3 liittyy P2-vasteen tavoin seurattavaan piirteeseen ärsykkeessä, mutta toisin kuin P2-vasteessa, kyse on usein monimutkaisemmista piirteistä. Daltrozzon & Conwayn (2014) mukaan P300 heijastaa päätöksentekoprosessia ja motorista valmistelua. N400-vasteen on nähty liittyvän kielellisiin prosesseihin. Se esiintyy, kun ärsyke poikkeaa

semanttiseen edustukseen perustuvasta odotuksesta esim. kun yksi sana ei yllättäen sovi lauseyhteyteen. Suurimpana N400-vaste voidaan mitata parietaalialueelta (Luck 2005; Leppänen & Hämäläinen, 2010).

Abla, Katahira ja Okanoya (2008) havaitsivat, että N100-vaste ja N400-vaste liittyivät sanarajojen tunnistukseen pseudosanojen erottelussa. Lisäksi N400-vasteen amplitudin on nähty muuttuvan sanarajojen oppimisen aikana, josta voidaan olettaa sen kuvastavan passiivista oppimisprosessia (Abla ym. 2008).

Myös Alain, Arnott ja Picton (2001) havaitsivat, että aikaisemmin ilmenevät herätevasteet kuvastavat automaattisia prosesseja ja myöhemmin ilmenevät tietoiseen päätöksentekoon ja muistiin liittyviä prosesseja. Heidän tutkimuksessaan tarkasteltiin, kuinka kahdesta eri sävelestä muodostuvat äänet erotellaan niistä, jotka muodostuivat vain yhdestä sävelestä. Kun koehenkilö ei kiinnittänyt huomiota ääniin, voitiin havaita N1 herätevaste, jonka voimakkuus riippui siitä, kuinka paljon kaksi säveltä erosi toisistaan. Sen sijaan tilanteessa, jossa koehenkilön tuli raportoida, kuuleeko hän yhden vai kaksi säveltä, havaittiin myös positiivinen vaste laajalti parietaali- ja okkipitaalialueilla 400 millisekunnin kohdalla (Alain, ym 2001).

Aiempien tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että myös tässä tutkimuksessa oppimisefekti näkyisi jo 100 ms jälkeen (esim. Alain ym. 2001; Tremblay & Kraus 2002). Toisaalta myös myöhempiä 300 - 400 ms aikaikkunalla näkyviä herätevasteita on ilmennyt passiivisissa oppimiskokeissa (esim. Alain ym. 2001; van Zuijen ym 2006; Abla ym. 2008). Kuitenkaan tarkkoja oletuksia ei aiemman tutkimuksen pohjalta voida tehdä, koska tässä tutkimuksessa opittavat ärsykkeet ovat audiovisuaalisia ja aiemmissa tutkimuksissa ärsykkeet ovat olleet auditiivisia. Voidaan esimerkiksi olettaa audiovisuaalisen integraation edellyttävän korkeamman tason prosessointia kuin pelkän auditiivisen prosessoinnin. Oppimisefekti voisi siksi näkyä myöhemmillä aikaikkunoilla kuin auditiivisessa oppimisessa. Voidaan myös olettaa, että jos oppimisen tiedostamisella on vaikutusta herätevasteisiin, niin ero ilmenisi noin 300 - 400 millisekunnin aikaikkunalla.

1.4. Audiovisuaalinen oppiminen

Passiivista oppimista on aiemmissa tutkimuksissa tutkittu ärsykkeiden erotteluun ja havaitsemiseen liittyvillä koeasetelmilla (mm. Alain ym. 2001; Atieza ym. 2002; Trembly & Kraus 2002). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kuitenkin passiivista oppimista audiovisuaalisessa oppimistilanteessa.

On havaittu, että audiovisuaaliset ärsykkeet saavat aikaan nopeamman reaktion kuin pelkkä auditiivinen tai visuaalinen ärsyke yksin (Raij, Uutela & Hari 2000) ja toisaalta eri aistikanavia hyödyntävä oppiminen on nähty myös tehokkaampana kuin yhtä aistikanavaa hyödyntävä oppiminen (Shams & Seitz 2008). Voidaankin olettaa, että havainnointi ja kognitiivinen prosessointi ovat kehittyneet hyödyntämään eri aistikanavien signaaleja (Shams & Seitz 2008). Tässä tutkimuksessa audiovisuaalista oppimista tutkitaan merkki-äänne vastaavuuksien oppimisella. Kuitenkin kirjain-äänne vastaavuuksien oppiminen on evolutiivisesti uusi ilmiö, joten sen voidaan olettaa perustuvan samaan neurokognitiiviseen mekanismiin kuin audiovisuaalisen puheen prosessoinnin (van Atteveldt 2009).

Audiovisuaalisen integraation voidaan nähdä perustuvan ensinnäkin aivoalueisiin, jotka aktivoituvat sekä auditiivisesta että visuaalisesta ärsykkeestä. Toisaalta audiovisuaalinen prosessointi perustuu aivoalueisiin, jotka aktivoituvat ainoastaan auditiivisen ja visuaalisen ärsykkeen yhteisvaikutuksesta (Raij ym. 2000). Tanaben, Hondan ja Sadaton (2005) mukaan juuri STS (superior temporal sulcus) olisi alue, joka aktivoituu sekä visuaalisesta että auditiivisesta ärsykkeestä. PHG:n (parahippocampal gyrus) sen sijaan on nähty aktivoituvan auditiivisen ja visuaalisen ärsykkeen yhteisvaikutuksesta (Tanabe ym. 2005). Myös muissa tutkimuksissa on todettu temporaalialueiden, erityisesti STG- ja STS-alueiden, vastaavan auditiivisen ja visuaalisen informaation yhdistämisestä (mm. van Atteveldt 2009; Hein & Knight 2008)

Siitä, milloin eri aistikanavista tulevan informaation yhdistäminen aivoissa ilmenee, on esitetty eri teorioita. Myöhäisen prosessoinnin teorian mukaan tiettyyn aistiin liittyvä tarkkaavaisuus vaikuttaa vastaanotettuun aistitietoon (Koelewijn Bronkhorst & Theeuwes 2010). Aistitieto prosessoidaan ensin irrallaan ja vasta sen jälkeen ilmenee aistitiedon integraatio korkeammalla tasolla (Koelewijn ym. 2010). Toisaalta aistitiedon integraation

voidaan nähdä tapahtuvan jo varhaisessa prosessoinnin vaiheessa niin, että aistitiedon integraatio on jo esitietoinen prosessi (Koelewijn ym. 2010).

Kolmannen teorian mukaan kyse on taas verkkomaisesta prosessista, jossa integraatio voi ilmetä joko varhaisessa vaiheessa tai myöhäisessä vaiheessa tehtävästä riippuen (Koelewijn ym. 2010). Teoria selittää aistialueiden ja assosiaatioalueiden vuorovaikutuksen kaksisuuntaisena niin, että informaatio ei etene pelkästään aistialueilta assosiaatio alueille, vaan myös assosiaatioalueilta kulkee informaatiota aistialueille ohjaten tarkkaavaisuutta (Koelewijn ym. 2010). Myös Bizleyn, Maddoxin ja Leen (2015) mukaan audiovisuaalinen integraatio tapahtuu jo sensorisilla alueilla. Visuaalinen vaste saa aikaan niiden auditiivisten vasteiden voimistumisen, jotka ovat yhteneviä visuaalisen vasteen kanssa ja heikentää niitä, jotka eivät ole (Bizley ym. 2015). Toisaalta myös tarkkaavaisuus vaikuttaa siihen, mitkä aistialueiden vasteet siirtyvät ylemmille tasoille (Bizley ym. 2015).

Onkin päätelty, että audiovisuaalinen integraatio tapahtuu jo varhaisessa vaiheessa vain, jos ärsyke on riittävän voimakas (Koelewijn ym. 2010). Ilman tietyn kynnsarvon ylittämistä, integraatio tapahtuu vasta myöhemmissä prosessoinnin vaiheissa (Koelewijn ym. 2010). Voidaankin ajatella, että aistitiedon integraatio pitää sisällään kaksi eri prosessia, joista varhaisempi tapahtuu tiedostamatta ja myöhempi tietoisesti (Koelewijn ym. 2010).

Aivojen herätevastetutkimus osoittaa audiovisuaalisen integraation ilmenevän temporaali-, parietaali- ja okkipitaalialueiden välisien yhteyksien herätevasteissa (Raiji ym. 2000). Raijin ja kollegoiden (2000) tutkimuksessa ensimmäiset ärsykkeeseen liittyvät herätevasteet ilmenivät oikealla puolella 280 - 345 ms aikaikkunalla ja vasemmalla puolella 380 - 530 ms aikaikkunalla sekä oikean puolen STS (superior temporal sulci) alueen herätevasteissa 430 - 530 ms aikaikkunalla. On mahdollista, että myös tässä tutkimuksessa ilmeni herätevasteita kyseisillä aikaikkunoilla. Toisaalta tässä tutkimuksessa audiovisuaalinen integraatio ilmenee passiivisessa oppimistilanteessa toisin kuin Raijin ja kollegojen (2000) tutkimuksessa, jossa kyse oli aktiivisesta kirjain-äännevastaavuuksien tunnistamisesta.

1.5. Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää, kuinka passiivinen oppiminen näkyy aivojen herätevasteissa audiovisuaalisessa oppimistilanteessa. Ensinnäkin tarkastellaan, eroaako opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteet ja toiseksi sitä tapahtuuko

herätevasteissa muutosta oppimisprosessin aikana ja onko muutos erilaista opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä. Lisäksi selvitetään, ilmeneekö opittavien ärsykkeiden herätevasteissa eroja riippuen siitä, onko koehenkilö tullut tietoiseksi merkin ja äänen välisestä yhteydestä kokeen aikana.

Tutkimuskysymykset:

1. Eroaako opittavien ärsykkeiden aikaan saamat herätevasteet satunnaisesti toistettujen ärsykkeiden herätevasteista? Missä kohtaa ja millä aikaikkunoilla ero ilmenee?
2. Muuttuuko opittaviin ja ei-opittaviin ärsykkeisiin liittyvät herätevasteet kokeen aikana (neljän kokeessa olevan blokin välillä), ja jos muuttuu, onko muutos opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä erilaista?
3. Eroavatko herätevasteet opittaviin ärsykkeisiin sen mukaan onko koehenkilö tiedostanut merkin ja äänen yhteyden?

Oletuksena on, että opittaviin ja ei-opittaviin ärsykkeisiin liittyvät herätevasteet eroavat toisistaan. Myös herätevasteiden oletetaan muuttuvan kokeen aikana ainakin opittavien ärsykkeiden suhteen. Lisäksi oletetaan, että opitun tiedostaminen vaikuttaa herätevasteiden ilmenemiseen.

2. MENETELMÄT

2.1. Tutkittavat

Tutkimus aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston Psykologian laitoksella syksyllä 2017 ja keväällä 2018. Koehenkilöt rekrytoitiin sähköpostilistoilta ja henkilökohtaisten suhteiden kautta. Poissulkukriteereinä olivat kuulon heikkous, neurologiset häiriöt, keskushermostoon vaikuttavat lääkkeet, oppimisvaikeudet ja japaninkielen osaaminen. Mittauksia suoritettiin yhteensä 31. Kuitenkin lopullisesta aineistosta karsiutui 9 koehenkilöä, 6 huonon EEG datan, 2 teknisten ongelmien ja 1 poissulkukriteerien ilmenemisen myötä, joten lopullinen aineisto oli 22 koehenkilöä. Yhdeltä koehenkilöistä jouduttiin hylkäämään viimeinen blokki huonon EEG-datan vuoksi, joten viimeisen blokin osalta aineistoa oli 21 koehenkilöltä. Koehenkilöt olivat 19-36-vuotiaita (ka= 26,4; kh=4,9). Naisia oli 20 ja miehiä 2, oikeakätisiä 21 ja vasenkätisiä 1.

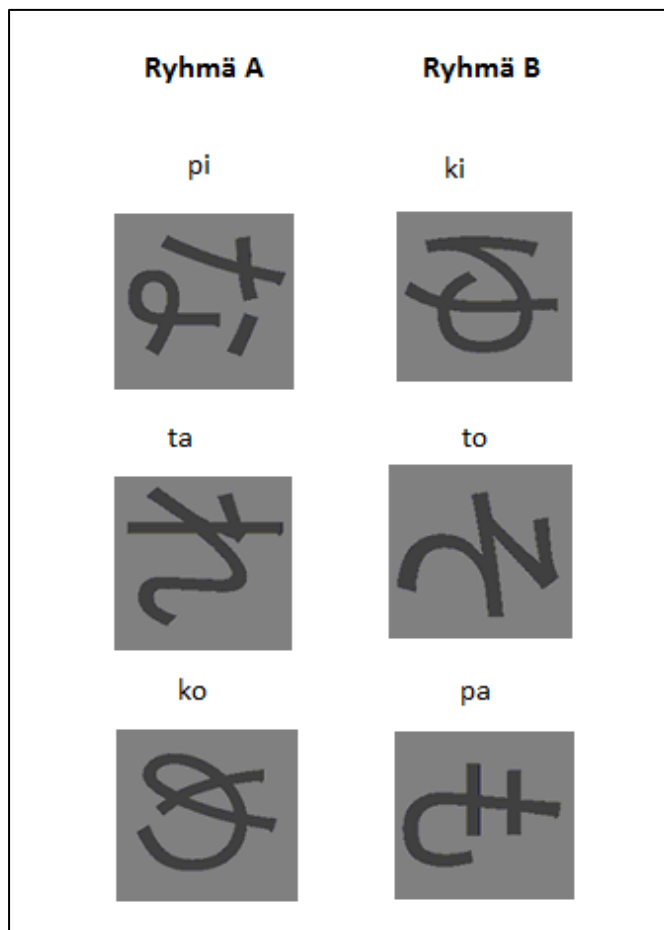
2.2. Koeasetelma

Kokeessa käytettiin 90 astetta oikealle käännettyjä japaninkielenkirjaimia, jotka esiintyivät kaksikirjaimisten tavujen pi, ta, ko, ki, to ja pa kanssa (kuva 1). Tavut kuuluivat noin 59 desibelin voimakkuudella. Fiksaatoristi näkyi ruudulla 745 ms, jonka jälkeen esitettiin merkki ja ääni, josta merkki näkyi 700 ms ajan. Puolet tavuista ja merkeistä olivat opittavia eli ne esiintyivät aina yhdessä ja puolet oli ei-opittavia eli ne esiintyivät satunnaisesti toistensa kanssa. Opittavat ja ei-opittavat tavut vaihdettiin koehenkilöiden välillä niin, että yhdelletoista koehenkilöistä tavut pi, ta ja ko olivat opittavia ja yhdelletoista koehenkilöistä tavut ki, to ja pa olivat opittavia.

Peitetehtävänä koehenkilöitä pyydettiin reagoimaan nappia painamalla tavuihin, jotka kuuluivat muita tavuja korkeammalla taajuudella ja merkkeihin, jotka olivat tavallisesta

poiketen sinisiä (liittessä 1 on esitetty koehenkilöiden reaktiot tehtävään). Näin koehenkilöt eivät aktiivisesti kiinnittäneet huomiota merkin ja äänen yhteyteen, vaan kyse oli passiivisesta oppimisesta. Vastaukset sisälsivät osin paljon vääriä vastauksia, sillä joitakin tavuja luokiteltiin systemaattisesti väärin. Voidaan kuitenkin olettaa, että koehenkilöt keskittyivät peitetehtävään, vaikka vääriä vastauksia ilmenikin joillain koehenkilöillä paljon.

Koe sisälsi neljä 10 minuutin mittaista blokkia, joiden välillä koehenkilön oli mahdollista pitää haluamansa pituinen tauko. Koe ajettiin ja vastaukset tallennettiin E-prime-ohjelmalla (2.0.10.356 versio). Kokeen jälkeen koehenkilöiltä kysyttiin, olivatko he huomanneet kokeen aikana jonkun tai joidenkin merkkien ja äänien esiintyvän aina yhdessä. Näin kontrolloitiin, kuinka tietoisiksi koehenkilöt olivat tulleet kokeen aikaisesta oppimisesta.



Kuva1. Kokeessa esitetyt merkit ja tavut. Puolelle koehenkilöistä ryhmän a ärsykkeet olivat opittavia ja ryhmän b ei-opittavia ja puolelle koehenkilöistä ryhmän b ärsykkeet olivat opittavia ja ryhmän a ärsykkeet ei-opittavia.

2.3. Herätevasteiden mittaaminen ja analysointi

Koehenkilöiltä mitattiin aivojen sähköisiä jännitemuutoksia elektroenkefalografialla eli EEG:llä. EEG aineisto mitattiin NeurOne vahvistimella (Bittium Oy). Myssyinä käytettiin HydroCel GSN mallia olevilla EEG-myssyjä (Electrical Geodesic Inc.), joiden elektrodit olivat tyypiltään Ag-AgCl-elektrodeja. Mittauselektrodien lukumäärä elektrodimyssyissä oli 128. Aineistonkeruu ohjelmana käytettiin NeurOne-ohjelmaa (versio 1.4.1.64).

Kerätty EEG data analysoitiin BESA Reseach -ohjelmalla (versio 6.1). Jokaisen koehenkilön aineistoon tehtiin kaistanpäästösuodatus 0,5 Hz (12db/Oct, zero-phase) alarvolla ja 20 Hz (24db/ Oct, zero-phase) yläarvolla. Näin voitiin suodattaa ulkopuolelta tuleva sähköhäiriö. Aluksi suodatettiin vain matalat taajuudet. Datasta merkittiin huonot kanavat, joita oli 1-12, keskimäärin 5. Silmänräpäytykset ja silmänliikkeet korjattiin riippumattomien komponenttien analyysillä (ICA, independent comonent analysis) joka suoritettiin minuutin mittaiselle jaksolle. Algoritmina käytettiin infomax algoritmia.

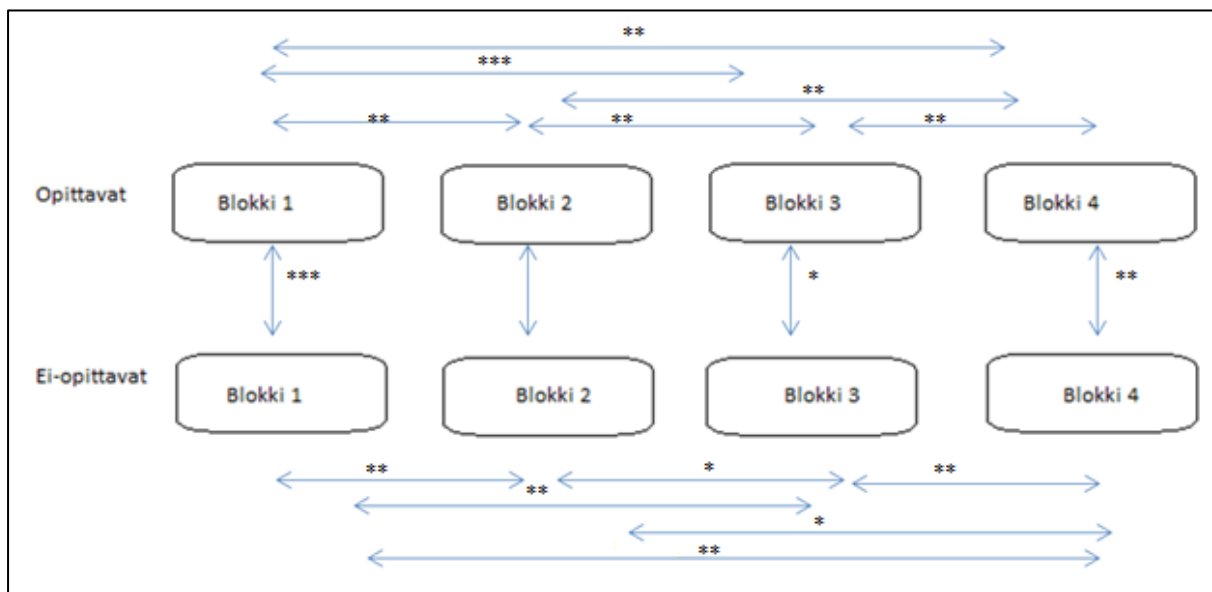
EEG-data pilkottiin niin, että ei-opittavat ja opittavat ärsykkeet jaettiin erillisiin ryhmiin. Trialit muodostuivat ajasta 100 ms ennen ja 800 ms jälkeen esitetyn ärsykkeen, jolloin analyysi voitiin kohdistaa ärsykkeen aiheuttamiin herätevasteisiin. Tämän jälkeen datasta poistettiin huonot trialit, joissa amplitudi oli yli 120 μV tai 0,7 μV tai pienempi. Myös 75 μV nopeat heilahtelut karsittiin pois. Opittavien ärsykkeiden trialeista hylättiin keskimäärin 8 % (vaihteluväli 1-23 %) ja ei opittavista keskimäärin 8 % (vaihteluväli 2-23 %). Jokaisen blokin opittaville ja ei-opittaville trialeille laskettiin keskiarvot erikseen. Korkeiden taajuuksien suodatin asetettiin päälle keskiarvon laskennan jälkeen. Viimeisenä huonoille kanaville suoritettiin interpolointi, joka laskee huonolle kanavalle arvot viereisten kanavien perusteella. Lopuksi keskiarvoreferenssi säädettiin päälle. Opittavat ja ei-opittavat trialit keskiarvoistettiin lopuksi kaikkien koehenkilöiden yli.

Tilastolliset analyysit suoritettiin BESA Statistics -ohjelmalla (versio 2.0). Tilasto-ohjelma muodosti klustereita ajallisesti ja paikallisesti vierekkäisistä aikapisteistä ja EEG-kanavista, joiden herätevasteissa näkyi tilastollisesti merkitseviä eroja tarkasteltujen ryhmien välillä. Alkupisteeksi määritettiin 50 ms, klustereiden etäisyydeksi 3,5 cm ja alfa tasoksi 0,05 ja permutaatioiden määräksi säädettiin 3000.

3. TULOKSET

Aluksi selvitettiin, eroavatko opittaviin ärsykeisiin liittyvät herätevasteet ei-opittaviin ärsykeisiin liittyvistä herätevasteista ja jos eroavat, niin missä vaiheessa koetta ja miten. Jokaiselle kokeen neljälle blokille tehtiin riippuvien otosten T-testit. Yksisuuntaisella toistomittausten ANOVA:lla tarkasteltiin, että eroavatko blokit toisistaan opittaviin ärsykeisiin liittyvissä herätevasteissa ja ei-opittaviin ärsykeisiin liittyvissä herätevasteissa. Kaaviossa 1 on esitetty edellä mainitut tilastolliset analyysit.

Tämän jälkeen selvitettiin yksisuuntaisella toistomittausten ANOVA:lla, eroaako blokkien välinen muutos opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä minkään blokkien välillä. Viimeisenä tarkasteltiin ilmeneekö hyvin oppimaansa tiedostavien ja huonosti tiedostavien koehenkilöiden välillä eroa opittaviin ärsykeisiin liittyvissä herätevasteissa.



Kaavio 1. Blokkien väliset erot ärsykeryhmissä ja ärsykeryhmien väliset erot eri blokeissa (***) $p < .001$, **) $p < .01$, *) $p > .05$).

3.1.Herätevaste-erot opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä

Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteet erosivat toisistaan kaikissa blokeissa lukuun ottamatta blokkia 2, jossa ero näkyi vain viitteellisenä. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

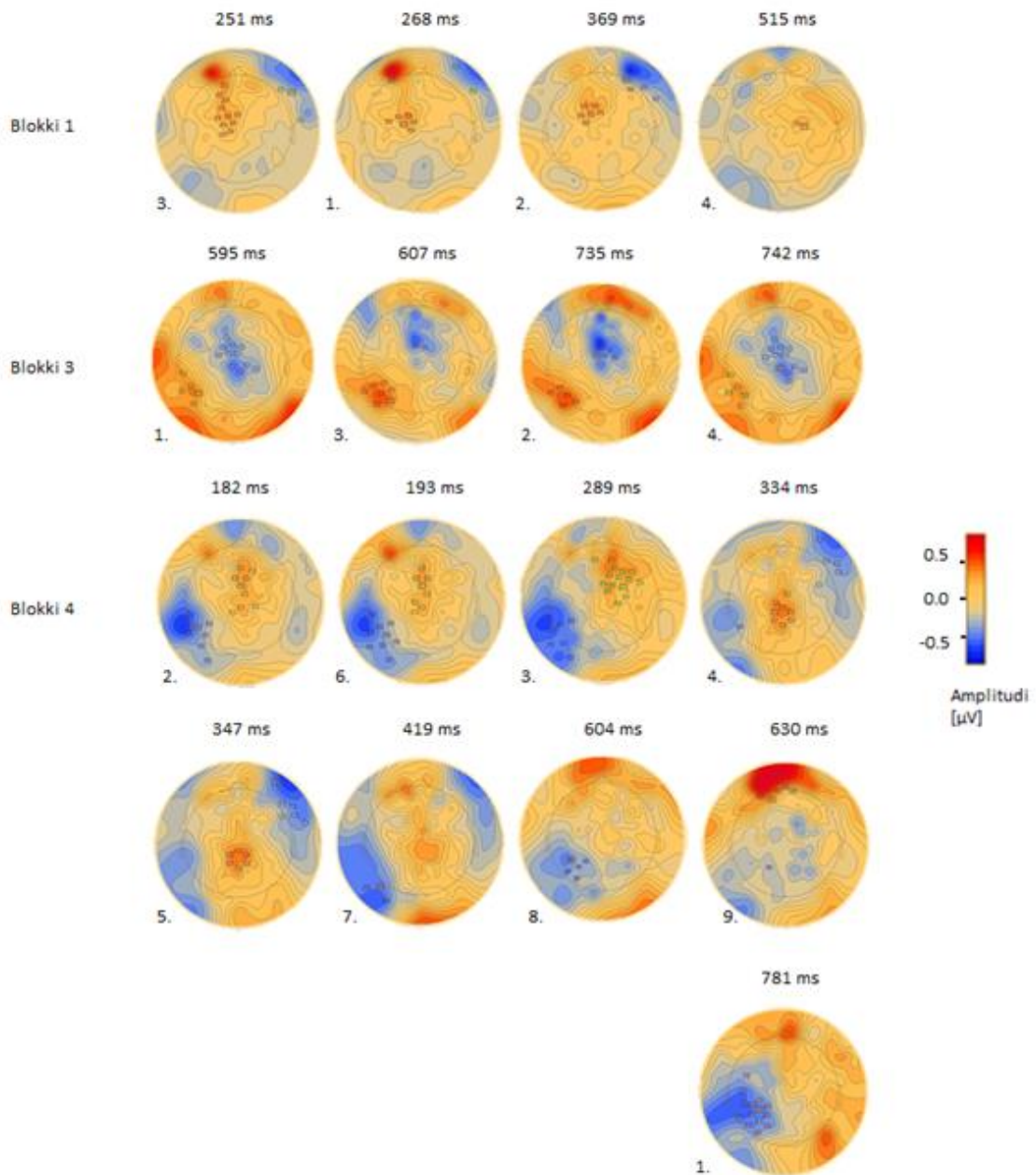
Taulukko 1. Taulukossa on esitetty opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välisten herätevaste-erojen aikaikkunat, jakauma pään pinnalla ja p-arvo klustereittain jokaiselle blokille.

Kontrasti (opittavat ja ei- opittavat)	Klusterin numero	Aika / ms	Alue päänpinnalla	p-arvo
Blokki 1	1	171-456	frontaali-parietaali	<.001
	2	312-479	oikea frontaali	.001
	3	139-280	oikea frontaali	.003
	4	462-562	parietaali	.03
	5*	144-222	vasen temporaali	.058
Blokki 2	1*	753-799	parietaali	.052
	2*	105-149	frontaali-parietaali	.082
Blokki 3	1	577-626	vasen temporaali-okkipitaali	.026
	2	713-774	vasen temporaali-okkipitaali	.029
	3	587-637	parietaalialueella	.032
	4	712-770	parietaali	.034
	5*	290-340	parietaali	.050
	6*	720-761	parietaali	.071
Blokki 4	1	695-799	vasen temporaali-okkipitaali	.001
	2	160-341	vasen temporaali-okkipitaali	.002
	3	230-346	oikealla frontaali	.003
	4	307-405	parietaali	.007
	5	327-405	oikealla frontaali	.010
	6	161-214	parietaali	.011
	7	366-474	vasen okkipitaali	.020
	8	570-684	vasen okkipitaali	.026
	9	613-672	prefrontaali	.036
	10*	736-799	oikea temporaali	.074
	11*	690-763	frontaali	.091

**Viitteellinen tulos ($p < .1$ ja $p > .05$)*

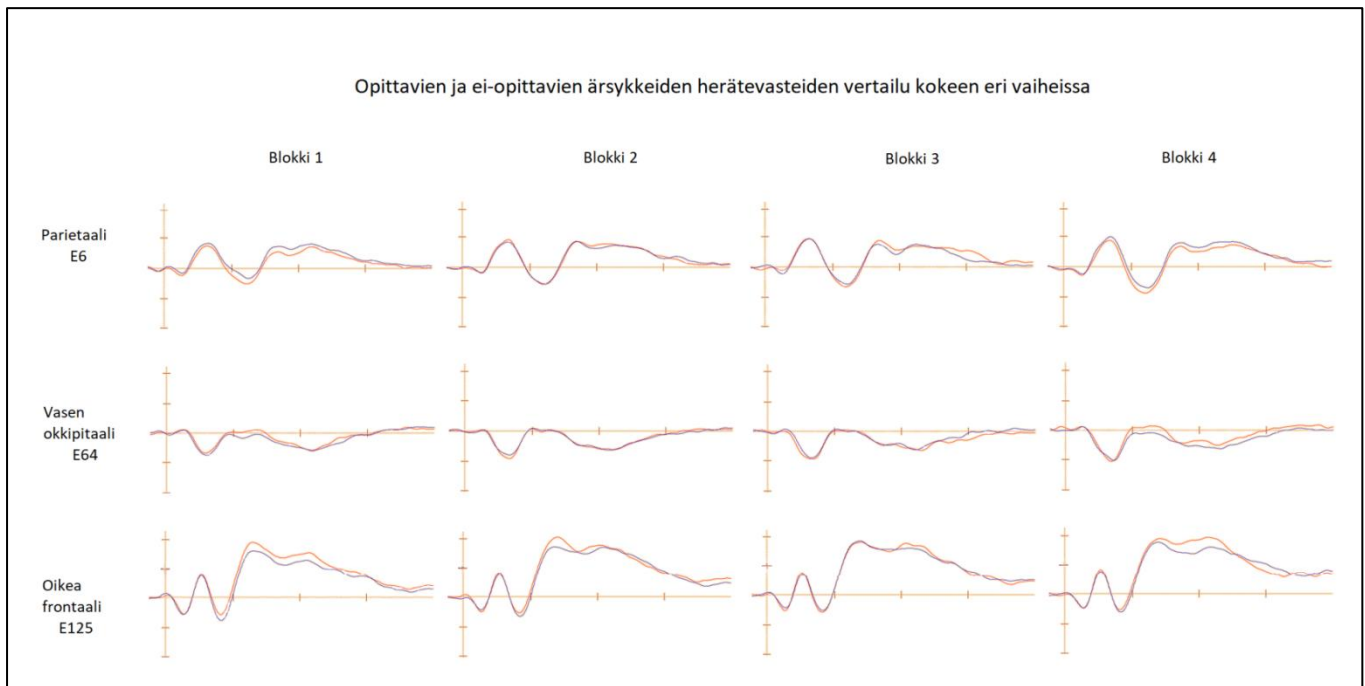
Blokissa 3 ja 4 kummassakin ero näkyi vasemmanpuoleisilla temporaali- ja okkipitaalialueilla sekä parietaalialueilla, mutta vaste-erojen suunta kuitenkin erosi blokkien välillä (kuva 2). Kolmannessa blokissa erot, jotka näkyivät parietaalialueilla ilmenivät opittavien ärsykkeiden suurempana positiivisena vasteena ei-opittaviin ärsykkeisiin verrattuna. Vasemmanpuolen okkipitaalialueella ilmenevät erot puolestaan näkyvät amplitudiltaan suurempana negatiivisena vasteena opittavilla ärsykkeillä kuin ei-opittavilla. Neljännessä blokissa parietaalialueella ja vasemmanpuolen okkipitaalialueella ja ensimmäisessä blokissa parietaalialueella eron suunta oli päinvastainen kolmanteen blokkiin verrattuna. Lisäksi ensimmäisessä ja neljännessä blokissa ero ärsykkeiden välillä ilmeni myös prefrontaalialueella.

Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden väliset herätevaste-erot topografiakuvina klustereittain blokeissa 1, 3 ja 4



Kuva 2. Kuvassa on esitetty opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välisten herätevaste-erojen paikantuminen topografiakuvina blokeille 1, 2 ja 3. Vasemmalla alakulmassa näkyy taulukon 1 mukainen klusterien järjestys.

Aikaikkunoissa, jolloin herätevaste-erot ilmenivät, voitiin nähdä eroa blokkien välillä. Blokissa 3 erot herätevasteissa ilmenivät myöhemmin kuin muissa blokeissa, keskimäärin 600 ms jälkeen ärsykkeestä ja olivat kestoltaan keskimäärin 50 ms (vaihteluväli 49-61). Blokeissa 1 ja 2 aikaikkunat näyttivät vaihtelevan enemmän ja olevan kestoltaan pidempiä, kuin blokissa 3. Blokissa 1 erot herätevasteissa ilmenivät 171 ja 562 ms välillä ja näkyivät keskimäärin 173 ms ajan (vaihteluväli 100-285 ms). Blokissa 4 erot herätevasteissa ilmenivät 160 ja 800 ms välillä ja erot näkyivät keskimäärin 100ms ajan (vaihteluväli 53-180 ms).



Kuva 3. Kuvassa näkyy opittavien ärsykkeiden (punainen viiva) ja ei-opittavien ärsykkeiden (sininen viiva) keskiarvoistetut herätevasteet kaikissa blokeissa kanavilla E6, E64 ja E125 mitattuna. Pystyakselilla näkyy amplitudi yhden mikrovoltin välein ja vaaka-akselilla aika 200 millisekunnin välein.

3.2. Herätevasteiden muuttuminen kokeen aikana

Yksisuuntaisella toistomittausten ANOVA:lla selvitettiin eroavatko blokit toisistaan eli ilmeneekö ärsykkeisiin liittyvissä herätevasteissa muutoksia kokeen aikana. ANOVA osoitti

tilastollisesti merkitsevän eron blokkien välillä molemmissa tilanteissa ($p < 0.05$). Parittaiset vertailut osoittivat, että kaikki blokit erosivat toisistaan sekä opittaviin ärsykkeisiin liittyvien herätevasteiden että ei-opittaviin ärsykkeisiin liittyvien herätevasteiden osalta ($p < .04$ kaikissa vertailuissa). Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty parittaisten vertailujen tulokset.

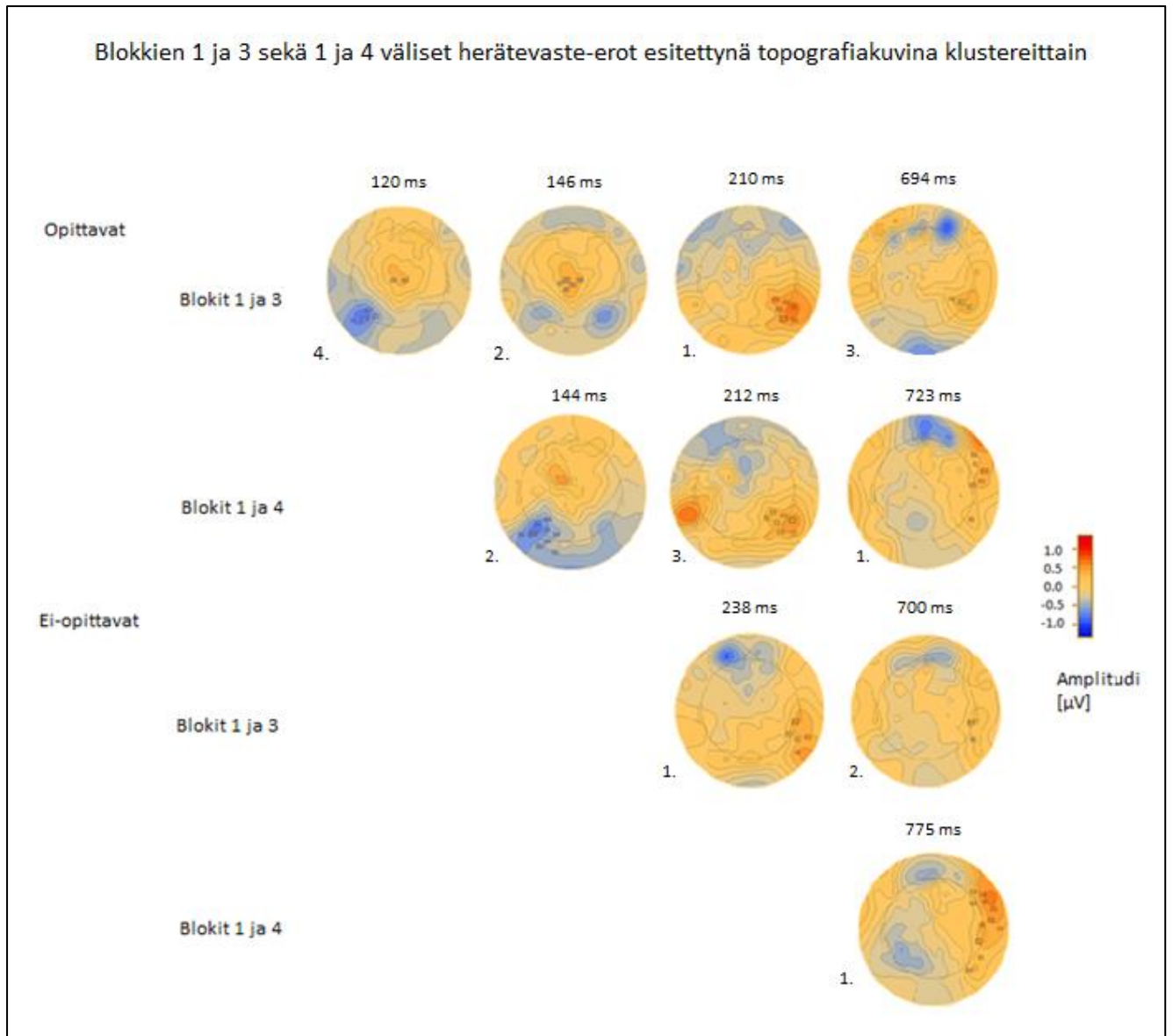
Taulukko 2. Taulukossa on kuvattu blokkien väliset parittaiset vertailut opittavilla ärsykkeillä. Taulukossa ilmenee herätevaste-erojen aikaikkunat, jakautuminen pään pinnalla ja merkitsevyys klustereittain.

Kontrasti (blokkien välillä)	klusterinumero	aika/ms	Alue päänpinnalla	p-arvo
Blokkit 1 ja 4	1	595-799	oikea temporaali	.002
	2	106-172	vasen okkipitaali	.008
	3	140-304	oikea okkipitaali	.010
Blokkit 1 ja 3	1	188-297	oikea okkipitaali-temporaali	<.001
	2	95-147	parietaali	.002
	3	651-694	oikea okkipitaali-temporaali	.003
	4	124-168	vasen okkipitaali	.004
Blokkit 1 ja 2	1	187-244	oikea temporaali-okkipitaali	.001
	2	123-169	vasen temporaali-okkipitaali	.004
Blokkit 2 ja 3	1	613-639	prefrontaali	.003
Blokkit 2 ja 4	1	182-234	parietaali	.001
	2	604-675	prefrontaali	.004
	3	374-430	parietaali	.005
	4	498-572	prefrontaali	.010
Blokkit 3 ja 4	1	704-744	oikea frontaali-temporaali	.004
	2	267-294	frontaali-parietaalialueella	.032
	3	768-799	oikea frontaali-temporaali	.034
	4	357-388	oikea frontaali	.037

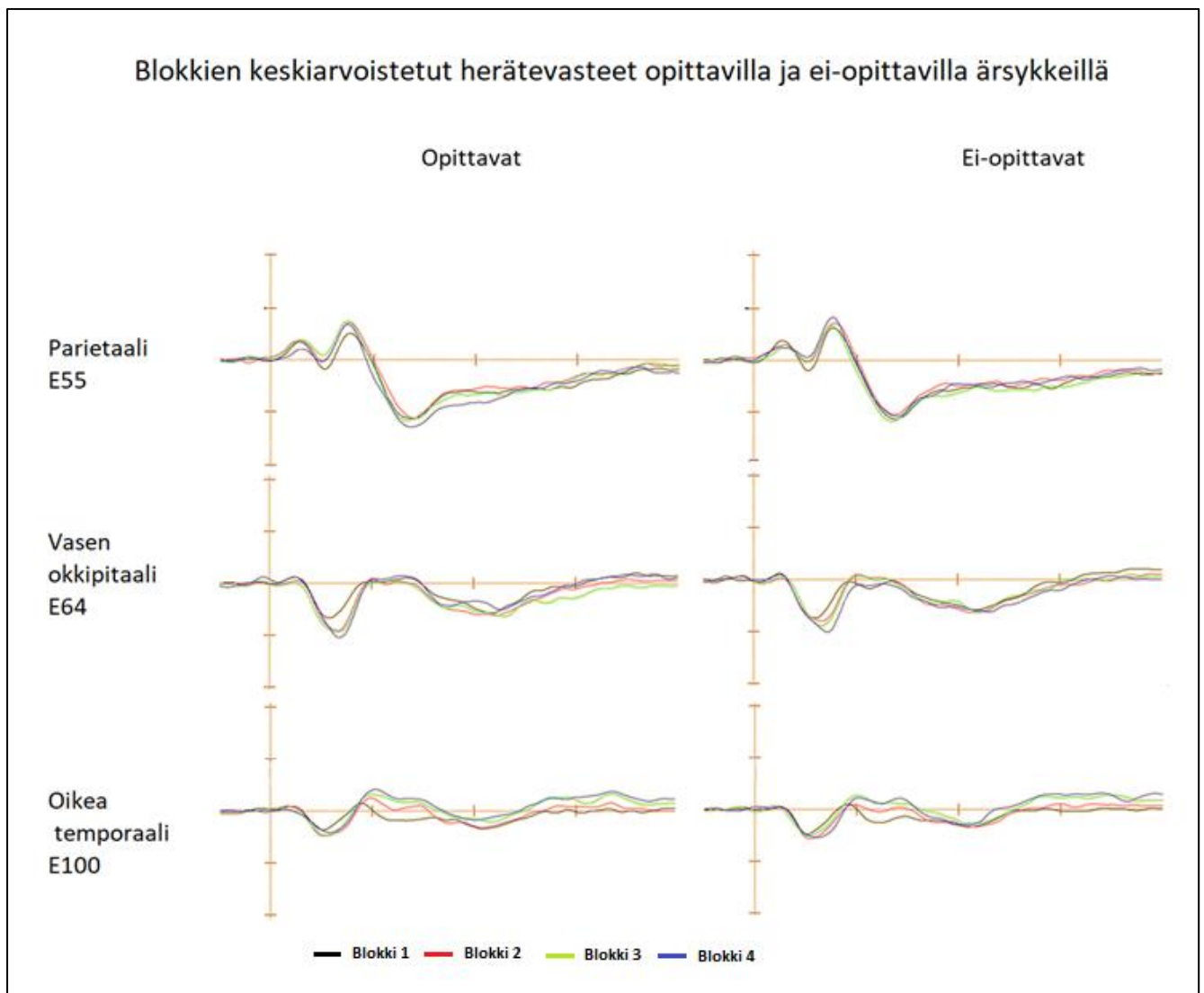
Taulukko 3. Taulukossa on kuvattu blokkien väliset parittaiset vertailut ei-opittavilla ärsykeillä. Taulukossa ilmenee herätevaste-erojen aikaikkunat, jakautuminen pään pinnalla ja merkitsevyys klustereittain.

Kontrasti (blokkien välillä)	klusterinumero	aika/ms	Alue päänpinnalla	p-arvo
Blokit 1 ja 4	1	579-799	oikea temporaali	.003
Blokit 1 ja 3	1	200-307	oikea okkipitaali-temporaali	.002
	2	623-720	oikea okkipitaali-temporaali	.007
Blokit 1 ja 2	1	193-274	frontaali	.001
	2	194-234	oikea okkipitaali	.001
Blokit 2 ja 3	1	64-78	oikea okkipitaali	.019
	2	173-185	oikea temporaali	.024
Blokit 2 ja 4	1	747-799	oikea temporaali	.04
Blokit 3 ja 4	1	764-799	vasen temporaali	.006

Blokkien 1 ja 3 sekä 1 ja 4 parittaisissa vertailuissa havaittiin, että ero ilmenee vasemmalla okkipitaalialueella opittavilla ärsykeillä, mutta ei ilmennyt ei-opittavilla ärsykeillä (Kuva 3). Parieraalialueella ero ilmeni vain opittavilla ärsykeillä blokkien 1 ja 3 välillä. Lisäksi ei-opittavilla ärsykeillä erot ilmenivät 238 millisekunnin jälkeen, kun taas opittavilla ärsykeillä eroja ilmenee jo 120 millisekunnin jälkeen.



Kuva 4. Kuvassa näkyy opittavilla ärsykeillä (yläpuolella) ja ei-opittavilla ärsykeillä (alapuolella) blokkien 1 ja 3 sekä 1 ja 4 välisten erojen paikantuminen topografia kuvina. Vasemmalla alakulmassa on klusterin numero taulukoiden 2 ja 3 mukaisesti.

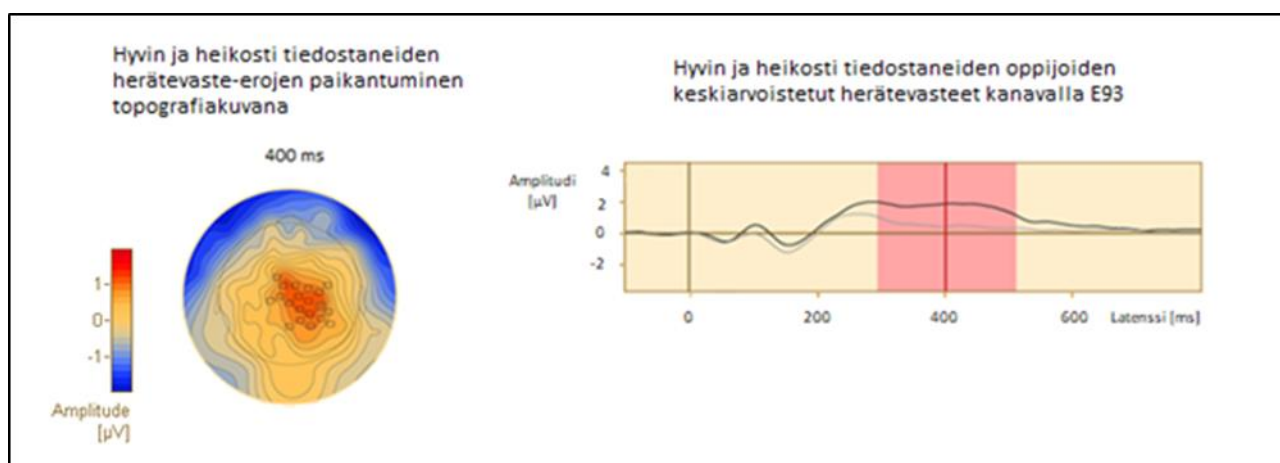


Kuva 5. Kuvassa on esitetty kolmella eri kanavalla mitatut keskiarvoistetut heräteasteet opittaviin ärsykeisiin (oikealla) ja ei-opittaviin ärsykeisiin (vasemmalla) kaikissa neljässä blokissa. Pystyakselilla näkyy amplitudi yhden mikrovoltin välein ja vaaka-akselilla aika 200 millisekunnin välein.

Koska blokit erosivat sekä opittavilla, että ei-opittavilla ärsykeillä, selvitettiin vielä eroavatko opittavien ja ei opittavien ärsykkeiden heräteasteemuutokset toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Heräteasteemuutoksille laskettiin erotuskäyrät opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välille, jonka jälkeen tarkasteltiin, että eroavatko mitkään blokit erotuskäyrien suhteen. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei kuitenkaan ilmennyt minkään blokkien välillä ($p=.319$). Tutkimuksessa ei siis nähty oppimiseen liittyvän heräteasteemuutoksen eroavan pelkästä ärsykkeelle altistumiseen liittyvästä heräteasteemuutoksesta.

3.3. Tiedostamisen vaikutus oppimisen aikaisiin herätevasteisiin

Koehenkilöistä neljä ei ollut huomannut yhdenkään merkin ja tavun välillä yhteyttä, yhdeksän osasi nimetä yhden, viisi osasi nimetä kaksi ja neljä koehenkilöä olivat tulleet tietoisiksi kaikista kolmesta opittavasta ärsykkeestä. Koehenkilöt jaettiin hyvin tiedostaviin oppijoihin (n=9), jotka olivat tiedostaneet kaksi tai kolme tavua ja huonosti tiedostaviin oppijoihin (n=13), jotka olivat tiedostaneet yhden opittavista tavuista tai eivät yhtään tavua. Ryhmien välisiä eroja selvitettiin riippumattomien otosten T-testillä kaikille neljälle blokille opittavilla ärsykkeillä. Ryhmien välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitsevää eroa missään blokissa. Kuitenkin kolmannessa blokissa voitiin havaita viitteellinen ero parietaalialueella, niin, että hyvin tiedostavien oppijien heräteaste 300-500 ms aikaikkunalla oli amplitudiltaan voimakkaampi (p=0,085). Blokeissa 1, 2 ja 4 ei havaittu edes viitteellisiä eroja (p=0,379, p=.360 ja p=0,237).



Kuva 6. Kuvassa on hyvin tiedostajien ja heikosti tiedostajien välillä ilmennyt viitteellinen heräteaste-ero blokissa 3. Vasemmalla on vasteen paikantuminen topografiakuvana. Oikealla ilmenee vasteen ajallinen ilmeneminen sekä eron ilmeneminen amplitudin suuruudessa (musta viiva hyvät tiedostajat ja harmaa viiva heikosti tiedostavat).

4. POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka audiovisuaalinen oppiminen ilmenee aivojen herätevasteissa passiivisen oppimisen aikana. Kokeessa koehenkilöt altistettiin samanaikaisesti merkeille ja tavuille neljän kymmenen minuutin mittaisen blokin ajan. Puolet merkki-äänne pareista olivat opittavia esiintyen aina yhdessä ja puolet ei-opittavia esiintyen satunnaisina pareina. Peitetehtävänä koehenkilöitä ohjeistettiin erottamaan korkeammalla taajuudella kuuluvat tavut ja sinisenä näkyvät merkit.

Peitetehtävän vastauksia tarkasteltaessa havaittiin kuitenkin, että osalla koehenkilöistä ilmeni huomattavan paljon tehtävänkannalta väärää reaktioita. On mahdollista, että osa tavuista tulkittiin taajuudeltaan korkeammiksi äänten perusteella, ja sitä johtui paljon systemaattisia virheitä. Voidaan myös pitää todennäköisenä, että E-prime-ohjelma on rekisteröinyt joitakin vastauksia useaan kertaan, jos esimerkiksi koehenkilö oli painanut näppäintä pitkään. Tästä huolimatta voidaan kuitenkin olettaa koehenkilöiden kiinnittäneen huomionsa peitetehtävään eikä merkin ja äänen väliseen yhteyteen.

Kokeessa verrattiin opittaviin ja ei-opittaviin ärsykkeisiin liittyviä herätevasteita, blokkien välisiä herätevasteita, opittavien ja ei-opittavien herätevastemuutosten välisiä eroja sekä lisäksi tietoisuuden vaikutusta opittavien ärsykkeiden herätevasteisiin. Oletuksena oli, että opittavat ärsykkeet saavat aikaan erilaista prosessointia kuin ei-opittavat ärsykkeet ja näin ollen herätevasteet eroaisivat toisistaan. Myös oppimisprosessin oletettiin saavan aikaan muutoksia. Oletettiin siis, että blokit eroavat toisistaan ja että ero on erilaista opittavilla ja ei-opittavilla ärsykkeillä. Lisäksi oletettiin, että hyvin oppimaansa tiedostavien herätevasteet olisivat erilaisia heikosti oppimaansa tiedostaviin verrattuna.

4.1. Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden väliset herätevaste-erot

Opittaviin ja ei-opittaviin ärsykkeisiin liittyvät herätevasteet erosivat kaikissa blokeissa lukuun ottamatta blokkia kaksi. Tästä voidaan päätellä, että opittaviin ärsykkeisiin reagoidaan eritavalla jo lyhyen altistuksen jälkeen.

Erot ilmenivät kaikissa blokeissa päänpinnan parietaalialueella ja tämän lisäksi blokeissa kolme ja neljä vasemmalla okkipitaalialueella sekä blokeissa yksi ja neljä frontaalialueella. Kuitenkaan aivoalueesta, jolta vasteet olivat peräisin, ei voida vielä mittauskohdan perusteella tehdä päätelmiä. On siis mahdollista, että tässä tutkimuksessa parietaalialueella ilmenneet herätevasteet ilmentävät temporaali- ja okkipitaalialueiden aktiivisuutta, jotka on aiemmissa tutkimuksissa liitetty audiovisuaaliseen integraatioon (van Atteveldt 2009; Tnabe ym. 2005; Hein & Knight 2008).

Huomattavaa on myös, että vasta kolmannen ja neljännen blokin aikana herätevaste-erot ilmenivät okkipitaalialueella. Voidaankin olettaa, että okkipitaalialueella mitatut vasteet ilmentävät audiovisuaalisen oppimisen aikaisia prosesseja, joita ei vielä ensimmäisen ja toisen blokin aikana ilmene.

Frontaalialueen herätevasteissa ei ilmennyt eroja kolmannessa blokissa, mutta neljännessä ilmeni. On mahdollista, että kyse on tietoisien prosessien lisääntymisestä, sillä tietoisien oppimisen on nähty liittyvän erityisesti frontaalialueiden aktiivisuuteen (Aizenstein ym. 2004; Daltrozzo & Conway 2014). Toisaalta myös ensimmäisessä blokissa näkyi eroja frontaalialueen herätevasteissa, mutta ne ilmenivät jo n. 300 - 400 millisekunnin kohdalla toisin kuin neljännessä blokissa, jossa ero näkyi tämän lisäksi vielä 600 millisekunnin jälkeen. 300 - 400 millisekunnin kohdalla vaste opittaviin ärsykkeisiin oli amplitudiltaan suurempi kuin ei-opittaviin ja 600 millisekunnin kohdalla taas vaste oli suurempi ei-opittaviin ärsykkeisiin. Kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu (esim. Alain ym. 2001; van Zuijen ym. 2006), myöhemmin ilmenevät herätevasteet ilmentävät tietoisuuteen ja muistiin liittyviä prosesseja. Voidaankin olettaa, että neljännen blokin frontaalialueella ilmenevä herätevaste-ero ilmentää eri prosessia kuin ensimmäisen blokin aikana ilmenevät.

Blokissa kolme havaitut herätevaste-erot olivat päinvastaisia muiden blokkien herätevaste-eroihin verrattuna. Blokissa kolme opittavien ärsykkeiden herätevasteet (parietaalialueen positiiviset vasteet n. 300 ms jälkeen ja vasemman okkipitaalialueen negatiiviset vasteet n. 400 ms jälkeen) olivat amplitudiltaan suurempia kuin ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteet. Blokeissa 1 ja 4 herätevasteiden amplitudit olivat puolestaan ei-opittaviin ärsykkeisiin suurempia kuin opittaviin.

Tämä sopii yhteen aiempaan tutkimukseen, jossa havaittiin herätevasteiden olevan erilaisia oppimisen aikana kuin oppimisen jälkeen (Abla ym. 2008). Abla ym. (2008) mukaan N400-herätevasteen amplitudi oli aluksi pieni, mutta voimistui oppimisen aikana ja pieneni

uudestaan, kun oppiminen oli tapahtunut. Tässä tutkimuksessa havaitut erot liittyivät eri herätevasteisiin kuin Abla ym. (2008) tutkimuksessa, mutta samoin kuin heidän tutkimuksessaan, opittavien ärsykkeiden herätevasteiden voitiin nähdä voimistuvan oppimisen aikana ja laskevan oppimisen jälkeen. Voidaankin päätellä, että oppiminen on tässä tutkimuksessa tapahtunut keskimäärin kolmannen blokin aikana.

Toisessa blokissa tilastollisesti merkitsevää eroa ei ilmennyt opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden välillä. Ainoat viitteelliseksi jäävät erot näkyivät parietaali-frontaalialueella opittavien ärsykkeiden herätevasteiden ollessa pienempiä kuin ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteiden. Opittavien ärsykkeiden herätevastekäyrien amplitudit olivat ensimmäisessä blokissa pienempiä kuin ei-opittavien, mutta kasvoivat ei-opittavien vasteita suuremmiksi kolmannessa blokissa. Herätevastekäyrien risteäminen tapahtui siis blokissa kaksi, mikä selittää, ettei kyseisessä blokissa ilmennyt eroja herätevasteissa.

Eroja tarkasteltaessa ilmeni myös, että vasteet ilmenivät eri aikaikkunoilla blokista riippuen. Ensimmäisessä blokissa vaste-erot ilmenivät muihin blokkeihin verrattain aikaisissa herätevasteissa useimmiten noin 300 - 400 ms kohdalla. Kolmannessa blokissa vaste-erot ilmenivät vasta 600 ms jälkeen ja neljännessä blokissa eroja ilmeni sekä aikaisissa että myöhäisissä herätevasteissa. Havainto sopii yhteen aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan muistiin ja tietoiseen prosessointiin liittyvät herätevasteet ilmenevät myöhemmissä herätevasteissa (esim. Alain ym. 2001; van Zuijen ym. 2006). Voidaan olettaa, että kolmannen blokin herätevaste-erot kuvaavat juuri audiovisuaaliseen integraatioon liittyviä muistiprosesseja. Sen sijaan ensimmäisen ja neljännen blokin aikaiset jo 140 ms jälkeen näkyvät herätevasteet saattavat liittyä ärsykkeen havaitsemisprosessiin.

Tässä tutkimuksessa havaitut herätevaste-erot ilmenivät myöhemmin kuin muissa passiivisen oppimisen kokeissa. Tämä voi johtua siitä, että tässä tutkimuksessa kyse oli audiovisuaalisesta oppimisesta, joka voi olla osaltaan monimutkaisempi prosessi kuin auditiivinen tai visuaalinen oppiminen yksin. Tässä tutkimuksessa havaitut herätevaste-erot ilmenevätkin samanlaisilla aikaikkunoilla kuin Raijin ja kollegoiden (2000) tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin audiovisuaalista integraatiota.

4.2. Muutokset herätevasteissa oppimisen aikana

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että herätevasteet muuttuivat kokeen aikana kaikkien blokkien välillä. Muutos näkyi opittavien ärsykkeiden lisäksi ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteissa, minkä voidaan nähdä ilmentävän ärsykealtistuksen aikaansaamaa muutosta. Herätevastemuutokset ilmenivät sekä opittavilla että ei-opittavilla ärsykkeillä oikean puoleisilla temporaali- ja okkipitaalialueilla sekä frontaalialueilla. Huomattavaa kuitenkin on, että parietaalialueella ja vasemman puolen okkipitaalialueella herätevaste-eroja ilmeni ainoastaan opittavilla ärsykkeillä. Voidaankin päätellä, että näillä alueilla mitatut herätevastemuutokset ilmentäisivät juuri oppimisen aikaansaamia neuraalisia muutoksia. Erot ilmenivät ensimmäisen ja kolmannen sekä ensimmäisen ja neljännen blokin välillä sekä aikaisissa 100 - 200 millisekunnin herätevasteissa että myöhäisissä 600 millisekunnin jälkeisissä herätevasteissa.

Ei-opittavien ja opittavien ärsykkeiden herätevastemuutosten välillä ei kuitenkaan ilmennyt tilastollisesti merkitsevää eroa missään kohdassa koetta. Syynä tähän voi olla, että puhtaasti oppimisen aikaansaama muutos on pieni verrattuna pelkän ärsykealtistuksen aikaansaamaan muutokseen. Näin altistuksen aikaansaama muutos, joka ilmenee kummassakin tilanteessa, saattaa peittää oppimiseen liittyvän muutoksen. On myös mahdollista, että oppiminen ilmenee koehenkilöillä eri vaiheessa koetta, jolloin ryhmätasolla oppimisefekti ei tule näkyviin. Kuten Ablä ym. (2001) havaitsivat kokeessaan, N400-herätevaste oli voimakkain oppimisen aikana ja heikkeni jälleen, kun oppiminen oli tapahtunut. Muutos N400-vasteessa ilmeni koehenkilöillä erivaiheessa koetta riippuen siitä, olivatko he hyviä keskitasoisia vai heikkoja oppijoita (Ablä ym. 2001). Lisäksi muutosta tarkasteltiin opittavien ja ei-opittavien erotusvasteista. Erotusvasteiden signaali-kohina -suhde on huonompi kuin alkuperäisten herätevasteiden, mikä saattaa vaikuttaa tuloksiin.

4.3. Tiedostamisen vaikutus oppimiseen

Tässä tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, hyvin oppimaansa tiedostavien ja huonosti oppimaansa tiedostavien välillä missään blokissa. Kuitenkin viitteitä mahdollisesta erosta havaittiin kolmannessa blokissa. Viitteellinen ero näkyi parietaalialueella 400 millisekunnin kohdalla. Viitteellinen tulos on linjassa tämän tutkimuksen muihin tuloksiin. Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden herätevasteet erosivat kaikissa blokeissa parietaalialueella mitatuissa herätevasteissa. Toisaalta parietaalialueella mitatut herätevastemuutokset liittyivät ainoastaan opittaviin ärsykkeisiin. Lisäksi viitteellinen ero ilmeni juuri kolmannessa blokissa, jonka aikana oletettavasti opittiin merkin ja äänen yhteys. Herätevaste-ero ilmeni myös suhteellisen myöhään, mistä voidaan päätellä sen kuvaavan tietoista prosessointia.

Tulos on linjassa aiempiin tutkimukseen, jossa positiivinen herätevaste 400 millisekunnin kohdalla parietaali- ja okkipitaalialueella mitattuna liittyi aktiiviseen äänien erotteluun, mutta ei passiiviseen äänien erotteluun (Alain ym. 2001) Toisaalta myös Abla ja kollegat (2008) havaitsivat, että 400 millisekunnin kohdalla ilmenevä herätevaste erosi hyvien, keskitasoisten ja heikkojen oppijoiden välillä.

Kuitenkaan ei ole varmaa, onko viitteellinen ero herätevasteissa tiedostamiseen liittyvä muutos vai selittääkö jokin muu tekijä ryhmien välillä eron. Ryhmät eivät olleet satunnaiset, vaan muodostuivat sen mukaan, kuinka koehenkilöt kykenivät raportoimaan oppimaansa. Tulos ei yltänyt tilastolliseen merkitsevyyteen, johon voi olla syynä se, että ryhmäkoot olivat pienet (hyvin tiedostavat $n=9$ ja heikosti tiedostavat $n=13$). Tutkimuksessa ei myöskään kontrolloitu, missä vaiheessa koetta koehenkilöt tulivat tietoisiksi oppimastaan, joten ryhmän sisäinen vaihtelu saattoi peittää eroja, joita mahdollisesti voitaisiin havaita homogeenisessä ryhmässä.

4.4. Tutkimuksen yhteenveto ja jatko tutkimus

Koska oppiminen ilmenee arkielämässä usein eri aistikanavia hyödyntäen (Shams & Seitz 2008), on tärkeää ymmärtää eri aisteja hyödyntävän oppimisen neuraalista perustaa. Esimerkiksi luku- ja kirjoitustaito, jotka perustuvat auditiivisen ja visuaalisen tiedon yhdistämiseen, on nykyisin lähes välttämätön taito.

Tämä tutkimus laajensi tietoa siitä, kuinka audiovisuaalinen oppiminen ilmenee aivojen sähköisessä aktiivisuudessa passiivisen oppimistilanteen aikana. Tutkimuksessa saatiin ajallisesti tarkkaa tietoa oppimisprosessin aikaisista herätevasteista ja niiden muutoksista. Tutkimustieto voidaan nähdä merkityksellisenä muun muassa lukutaidon kehitystä ja siihen liittyviä haasteita tutkittaessa. On tärkeää tuntea audiovisuaalisen oppimisen neuraalinen perusta, jotta voidaan ymmärtää esimerkiksi lukivaikeuteen liittyviä tekijöitä ja suunnitella tehokkaita tukimenetelmiä.

Huomattavaa on myös, että suuri osa oppimisesta kuten kielen kehitys tapahtuu pitkälti passiivisesti (Abla ym. 2008). Tämä tutkimus vahvisti, näkemystä, että oppimista ilmenee ilman tietoista opettelua. Toisaalta se antoi myös viitteitä, että vasteet saattavat olla erilaisia riippuen kuinka paljon henkilö tiedostaa oppimaansa.

Vastaavanlaista tutkimusasetelmaa ei ole aikaisemmin käytetty, sillä audiovisuaalista oppimista on tutkittu paljolti fMRI:llä eikä juurikaan aivojen sähköistä toimintaa mittaavilla menetelmillä kuten MEG:llä tai EEG:llä. Toisaalta passiivista oppimista ja audiovisuaalista oppimista yhdessä ei ole tutkittu vielä paljon. Tämä tutkimus antoi lisää tietoa siitä, millä ajanjaksoilla ja missä kohdissa mitatut herätevasteet liittyvät audiovisuaaliseen oppimiseen. Tutkimus antoi myös lisää tietoa, kuinka oppimisprosessi ilmenee ajan edetessä kokeen aikana.

Tutkimuksen vahvuuksina voidaan nähdä, että siinä tarkasteltiin laajasti sekä audiovisuaalista oppimista että passiivista oppimista. Tutkimuksen vahvuutena oli myös hyvä otoskoko (n=22), joten tulosta voidaan pitää yleistettävänä nuoriin aikuisiin. Sukupuolijakauma oli kuitenkin epätasainen, sillä osallistujista vain kaksi oli miehiä. Myöskään vasenkätisiä ei aineistossa ollut kuin yksi.

Tämä tutkimus ei kuitenkaan antanut vastausta, millä aivoalueilla audiovisuaalinen oppiminen ilmenee. Siitä missä kohtaa päänpintaa vasteet ilmenivät voimakkaimmin, ei voida päätellä, mistä aivoalueelta vasteet olivat peräisin. Jatkossa olisikin mielenkiintoista tutkia tarkemmin, mille aivoalueelle vasteet paikantuvat. Lisäksi tarvitaan lisää tutkimusta siitä, kuinka audiovisuaaliseen oppimiseen liittyvät herätevasteet muuttuvat oppimisen aikana. Onko erotettavissa herätevastemuutoksia, jotka liittyvät vain oppimisen aikaisiin prosesseihin eivätkä äräskaltistuksen aikaansaamiin muutoksiin. Tässä tutkimuksessa ei myöskään verrattu audiovisuaalista oppimista pelkkään auditiiviseen tai visuaaliseen oppimiseen. Jatkotutkimusta voisikin tehdä verraten auditiivista, visuaalista ja audiovisuaalista oppimista. Lisää tutkimusta siis tarvitaan, jotta audiovisuaalisen oppimisen perustaa voidaan ymmärtää paremmin.

Lähteet

- Abla, D., Katahira K. & Okanoya, K. 2008. On-Line Assessment of Statistical Learning by Event-Related Potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20 (6): 952-964.
- Aizenstein H., Stenger A., Cochran J., Clark K., Johnson M., Nebes R. & Carter C. 2004. Regional Brain Activation during Concurrent Implicit and Explicit Sequence Learning. *Cereb Cortex*, 14(2): 199-208
- Alain, C., Arnott, S., Picton, T. 2001. Bottom Up and Top Down Influences on Auditory Scene Analysis: Evidences on Event-Related Brain Potential. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27 (5): 1072-1089
- Aslin R. & Newport E. 2012. "Statistical Learning." *Current Directions in Psychological Science* 21 (3): 170-176
- Atienza M., Cantero J. & Dominguez-Marin E. 2002. The Time Course of Neural Changes Underlying Auditory Perceptual Learning. *Learning & Memory*, 9 (3): 138-150
- Baker C., Osion C. & Behrmann M. 2004. "Role of Attention and Perceptual Grouping in Visual Statistical Learning." *Psychological Science* 15 (7): 460-466.
- Bizley J., Maddox R. & Lee A. 2015. Defining Auditory-Visual Objects: Behavioral Tests and Physiological Mechanisms. *Trends in Neurosciences*, 39 (2):74-85
- Clegg B., DiGirolamo G. & Keele S. 1998. Sequence learning. *Trends in cognitive sciences*, 2(8):275-281
- Daltrozzo, J. & Conway C. 2014. Neurocognitive Mechanisms of Statistical-Sequential Learning: What do Event-Related Potentials Tell Us? *Frontiers in Human Neuroscience*, 437 (8):1-22
- Endress A., Bonatti L. 2006. Rapid learning of syllable classes from a perceptually continuous speech stream. *Cognition*, 105 (2007): 247–299
- Escera, C., K. Alho, I. Winkler & R. Näätänen. 1998. Neural Mechanisms of Involuntary Attention to Acoustic Novelty and Change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10 (5): 590-604.
- Franco A. & Destrebecqz A. 2012. Chunking or not chunking? How do we find words in artificial language learning? *Advances in cognitive Psychology*, 8(2): 144-154
- Hein G. & Knight R. 2008. Superior Temporal Sulcus—It's My Area: Or Is It? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(12): 2125–213
- Koelewijn T., Bronkhorst A. & Theeuwes J. 2009. Attention and the multiple stages of multisensory integration: A review of audiovisual studies. *Acta Psychologica*, 134 (2010): 372–384
- Marcus G. 2000. Pabiku and Ga Ti Ga: Two Mechanisms Infants Use to Learn about the World. *Current Directions in Psychological Science*, 9 (5): 145-147.

- Leppänen & Hämäläinen 2010. Puheen ja kielen aivoperustan mittaus ja kuvantaminen. Teoksessa Korpilahti, P., Aaltonen, O. & Laine, M. (toim.), *Kieli ja aivot*.1.painos (s.68-80).Turun yliopisto, kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus
- Luck S. 2005. An Introduction to the Event-related Potential Technique.1. painos (s. 21-27, 34-49) Massachusetts Institute of Technology, Cambridge
- Meuwese J., Post R., Scholte S. & Lamme V. 2013. Does Perceptual Learning Require Consciousness Or Attention? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(10): 1579-1596
- Paraskevopoulos E., Kuchenbuch A., Herholz S., & Pantev C. 2012. Statistical Learning Effects in Musicians and Non-Musicians: An MEG Study. *Neuropsychologia*, 50(2): 341–349
- Raij T., Uutela K., and Hari R. 2000. Audiovisual Integration of Letters in the Human Brain. *Neuron*, 28(2): 617–625
- Schöger E., Bendixen A., Trujillo-Barreto N., Roeber U. 2007. Processing of Abstract Rule Violations in Audition. *Plos One*, 2(11): 1-8
- Shams L. & Seiz A. 2008. Benefits of Multisensory Learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12 (11): 411-417.
- Tanabe H., Honda M. & Sadato N. 2005. Functionally Segregated Neural Substrates for Arbitrary Audiovisual Paired-Association Learning. *The Journal of Neuroscience*, 25(27):6409–6418
- Tremblay K. & Kraus N. 2002. Auditory Training Induces Asymmetrical Changes in Cortical Neural Activity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45 (3): 564-572
- van Atteveldt N., Roebroek A. & Goebel R. 2009. Interaction of speech and script in human auditory cortex: Insights from neuro-imaging and effective connectivity. *Hearing Research*, 258(1): 152-164
- van Zuijen T., Simoens V., Paavilainen P., Näätänen R., & Tervaniemi M. 2006. Implicit, Intuitive, and Explicit Knowledge of Abstract Regularities in a Sound Sequence: An Event-related Brain Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(8): 1292–1303
- Vellutino, F., Fletcher, J., Snowling, M., & Scanlon, D. (2004). Specific Reading Disability(dyslexia): What Have We Learned In The Past Four Decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(1): 2-40

Liitteet

Liite 1. Koehenkilöiden vastaukset peitetehtävään taulukossa eroteltuna. Oikea vastaus on sinisen merkin tai korkeammalla taajuudella kuuluvan äänen tunnistaminen, ei vastausta on korkean äänen tai sinisen merkin huomiotta jättäminen ja väärä vastaus on väärään merkkiin tai ääneen reagoiminen. Trialien määrä oli yhteensä noin 163.

koehenkilö nro	oikea vastaus	ei vastausta	väärä vastaus
4	42	5	406
6	28	18	160
8	33	12	122
9	30	16	9
10	27	18	38
12	20	23	354
13	37	7	170
14	39	8	237
15	38	8	188
16	36	10	166
20	42	4	330
21	33	11	164
22	36	8	197
23	43	3	296
24	34	10	402
25	33	13	62
26	46	0	44
27	33	13	48
28	24	19	44
29	37	9	250
31	31	15	52
keskiarvo	34,4	11,0	178

*Koehenkilön 19 vastauksia ei voitu raportoida teknisten ongelmien vuoksi.