

# **Aivojen herätevasteiden muutokset audiovisuaalisen passiivisen oppimisen tehtävässä**

Tiia Kyhryäinen

Pro gradu -tutkielma

Psykologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Kesäkuu 2020

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

KYHYRÄINEN, TIIA: Aivojen herätevasteiden muutokset audiovisuaalisen passiivisen oppimisen tehtävässä

Pro gradu -tutkielma, 24s.

Ohjaaja: Jarmo Hämäläinen

Psykologia

Kesäkuu 2020

---

Tässä tutkimuksessa selvitettiin passiivisen audiovisuaalisen oppimisen vaikutuksia aivojen herätevasteisiin käyttäen aikataajuustarkastelua. Aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksella ja koehenkilöiksi valikoituivat yliopiston opiskelijat sekä muut tutkimuksesta kiinnostuneet henkilöt. Koe koostui opittavista sekä ei-opittavista audiovisuaalisista ärsykkeistä ja koehenkilöille annettiin peitetehtävä, jotta he eivät kiinnittäisi aktiivisesti huomiota visuaalisten ja auditiivisten ärsykkeiden välisiin yhteyksiin. Kokeessa ärsykkeet jaettiin neljään 10 minuutin pituiseen blokkiin. Koehenkilöiden aivojen sähköisessä toiminnassa tapahtuvia muutoksia mitattiin EEG-menetelmällä. Kerätyn EEG-datan analysointiin käytettiin Besa Research -ohjelmaa ja tilastolliset analyysit ajettiin Besa Statistics -ohjelmalla. Koska tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita erityisesti aivojen herätevasteiden muutoksista aikaikkunan sekä taajuuden osalta, käytettiin menetelmänä aikataajuusanalyysiä. Aivojen herätevasteissa havaittiin muutosta sekä opittavien, että ei-opittavien ärsykkeiden osalta. Keskeisimmiksi alueiksi aivojen sähköisen toiminnan muutoksessa passiivisen audiovisuaalisen oppimisen aikana nousivat vasen otsa- sekä ohimolohko. Muutosten osalta aikaikkuna vaihteli 200-800 ms välillä ja taajuuksilla theta-beta. Blokkien välisissä vertailuissa merkittävimmät muutokset aivojen sähköisessä toiminnassa tapahtuivat ensimmäisen ja viimeisen blokin välillä sekä opittavien että ei-opittavien ärsykkeiden osalta. Ei-opittavien ärsykkeiden osalta myös toisen ja viimeisen blokin välillä oli havaittavissa muutosta herätevasteissa. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että passiivinen audiovisuaalinen oppiminen saa aikaan verrattain nopeita muutoksia aivojen sähköisessä toiminnassa. Jatkossa olisi tärkeää saada lisää tutkimustietoa passiivisesta audiovisuaalisesta oppimisesta, jotta sen mekanismeja voitaisiin ymmärtää paremmin.

# SISÄLTÖ

<b>1. JOHDANTO</b> .....	1
<b>1.1. Oppimisen neurobiologiaa</b> .....	1
<b>1.2. Passiivinen oppiminen</b> .....	1
<b>1.3. Audiovisuaalinen oppiminen</b> .....	2
<b>1.4. EEG-menetelmän perusta</b> .....	3
<b>1.5. ERP-komponentit aivojen sähköisessä toiminnassa</b> .....	4
<b>1.6. Aivojen herätevasteiden värähtelykomponentit</b> .....	6
<b>1.7. Tutkimuskysymykset</b> .....	8
<b>2. MENETELMÄT</b> .....	9
<b>2.1 Tutkittavat</b> .....	9
<b>2.2 Koeasetelma</b> .....	9
<b>2.3 Mittaukset</b> .....	10
<b>2.4. Analyysit</b> .....	11
<b>3. TULOKSET</b> .....	13
<b>3.1. Audiovisuaalisten ärsykkeiden vaikutukset aivojen herätevasteisiin</b> .....	13
<b>3.2. Audiovisuaalisten ärsykkeiden aikaansaamat kokonaismuutokset herätevasteissa</b> ....	14
<b>3.3. Audiovisuaalisten ärsykkeiden aikaansaamat spesifit muutokset herätevasteissa</b> .....	15
<b>3.3.1. Opittavat ärsykkeet</b> .....	15
<b>3.3.2. Ei-opittavat ärsykkeet</b> .....	16
<b>3.4. Herätevasteiden kokonaismuutokset – opittavat vs. ei-opittavat ärsykkeet</b> .....	17
<b>4. POHDINTA</b> .....	18
<b>4.1. Tutkimuksen tarkoitus</b> .....	18
<b>4.2. Aivojen herätevasteiden muutokset audiovisuaalisen passiivisen oppimisen aikana</b> ...	18
<b>4.3. Audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen vaikutus aivojen herätevasteisiin</b> .....	20
<b>4.4. Tutkimuksen rajoitukset ja vahvuudet</b> .....	20
<b>4.5. Tutkimuksen anti ja jatkotutkimus</b> .....	21
<b>LÄHTEET</b> .....	23

# 1. JOHDANTO

## 1.1. Oppimisen neurobiologiaa

Oppiminen näkyy eri tavoin aivojen toiminnassa, sekä herätevasteissa että niihin liittyvissä taajuuskaistojen voimakkuuksissa. Oppimisella tarkoitetaan prosessia, jossa aivojen hermoverkon rakenteet muovautuvat ulkoisten ärsyketapahtumien seurauksena (Benfenati, 2007). Pitkäaikaisen muovautumisen seurauksena karsiutuu sellaisia synaptisia yhteyksiä, joita ei juurikaan käytetä ja vastaavasti paljon käytetyt yhteydet vahvistuvat (Benfenati, 2007). Oppiminen pohjautuu suurimmaksi osaksi jo olemassa oleviin hermoverkon synaptisiin yhteyksiin, joskin näiden yhteyksien määrä voi jossain määrin kasvaa (Benfenati, 2007; Korhonen, 2006).

Oppimisessa ovat toisaalta kyseessä yksittäisten hermosolujen sisäiset muutokset ja toisaalta aivojen toimivan hermoverkon ominaisuudet, jotka muodostuvat hermosoluyhteyksistä (Korhonen, 2006). Ulkoiset ärsyketapahtumat saavat aikaan muutoksia (muistijälkiä) hermoverkon toimintaominaisuuksissa (Korhonen, 2006). Oppiminen ja muisti ovatkin ikään kuin samaa prosessia: oppiminen on itse prosessi ja tämän prosessin lopputulosta kutsutaan muistiksi (Korhonen, 2006).

## 1.2. Passiivinen oppiminen

Tutkijat ovat viimeiset kaksi vuosikymmentä olleet kasvavassa määrin kiinnostuneita passiivisen oppimisen (tilastollinen oppiminen, statistical learning) roolista ihmisen kognitiivisessa kehityksessä (Romberg & Saffran, 2010). Tutkimukset ovat kuitenkin toistaiseksi rajoittuneet pitkälti passiivisen oppimisen tutkimiseen ihmisen kielellisessä kehityksessä ja muut osa-alueet ovat jääneet vähemmälle huomiolle (Romberg & Saffran, 2010). Esimerkiksi Saffran, Aslin ja Newport (1996) havaitsivat

tutkimuksissaan, että kahdeksan kuukauden ikäiset vauvat käyttivät kielen tilastollisia ominaisuuksia erotellakseen sanoja toisistaan. Tästä on lähtenyt kehittymään passiivisen oppimisen käsite.

Saffranin (2001) mukaan kielellisen kehityksen kontekstissa passiivinen oppiminen on kielellisten joukkojen havaitsemisen prosessi, joka perustuu äänteiden piirteiden hahmottamiseen. Passiivisessa oppimisessa keskeistä on se, ettei ihminen tiedosta käynnissä olevaa oppimisprosessia. Passiivisen oppimisen kokeissa ihmisille esitetään jäsenneilty materiaali, mutta heitä ei ohjeisteta opettelemaan sitä (Perruchet & Pacton, 2006).

### **1.3. Audiovisuaalinen oppiminen**

Oppimistutkimuksissa (erityisesti havainnointiin liittyvissä) on useimmiten keskitytty käyttämään ärsykeitä, jotka vaativat vain yhden aistikanavan käyttöä (Shams & Seitz, 2008). Ihmiset kuitenkin havainnoivat ympäristöään useamman aistin avulla, käyttäen erityisesti visuaalista ja auditiivista tietoa (Shams & Seitz, 2008). Tämän johdosta ihmisaivot ovat kehittyneet siten, että ne toimivat optimaalisesti ympäristössä, jossa vaaditaan havainnointia useilla aistikanavilla (Shams & Seitz, 2008).

Seitz, Kim ja Shams (2006) osoittivat tutkimuksessaan, että audiovisuaalinen harjoittelu johtaa merkittävästi nopeampaan oppimiseen, kuin ainoastaan visuaalisten ärsykkeiden kautta tapahtuva harjoittelu. Tutkijat vertasivat toisiinsa kahta ryhmää, joissa molemmissa oli tehtävänä harjoitella liikkeen tunnistusta. Toisen verrokkiryhmän harjoitukset olivat ainoastaan näköaistikanavaa hyödyntävää ja toisen ryhmän kohdalla hyödynnettiin sekä näkö- että kuuloaistia. Molemmat ryhmät hyötyivät harjoittelusta, mutta useampaa aistikanavaa hyödyntävän ryhmän kehittyminen oli merkitsevästi suurempaa niin kokeen ensimmäisen, kuin kaikkien kymmenen session aikana.

Audiovisuaalinen oppiminen näyttäisi hyödyntävän melko laajaa aivoalueiden verkostoa (Calvert, Hansen, Iversen & Brammer, 2001). Tämän tutkimuksen kanssa samankaltaisia koeasetelmia on käytetty jonkin verran audiovisuaalisen oppimisen havaitsemiseksi, joskin passiivisen oppimisen näkökulma on jäänyt näissä tutkimuksissa huomiotta. Hashimoto, Kuniyoshi ja Sakai (2004) tutkivat audiovisuaalista oppimista aikuisilla toiminnallisella magneettikuvantamisella (fMRI). Tutkijat

olivat kiinnostuneita aivojen muovautuvuudesta kirjaimia oppiessa. Tutkimuskysymykseen vastatakseen Hashimoto ja kollegat (2004) tutkivat aivojen aktiivisuutta tehtävässä, jossa yhdistettiin kirjaimia puheäänteisiin/ei-puhuttuihin äänteisiin. Korean ja japanin kielen kirjaimet esitettiin visuaalisena ärsykkeenä kolmen kirjaimen sarjana ja samaan aikaan auditiivisena ärsykkeenä toimivat kolmitavuiset puhe-/ei-puhutut äänteet. Koehenkilön aivoaktiivisuutta mitattiin kahtena peräkkäisenä päivänä.

Hashimoto ja kollegat (2004) havaitsivat erityisesti audiovisuaaliseen oppimiseen liittyvää aktiivisuutta useilla aivoalueilla, joista keskisimpinä näyttäytyivät vasemman ohimolohkon aivopoimu (left posterior inferior temporal gyrus, PITG) sekä parietaali-okkipitaalikorteksi. Toiminnallinen yhteys vasemman aivopoimun ja parietaali-okkipitaalikorteksin välillä, sekä aivojen muovautuvuus luovat linkin kielen kirjoitusasun ja äänneopin välille (Hashimoto ym., 2004).

Hyvä esimerkki audiovisuaalisesta oppimisesta ovat kirjainten ja puheäänteiden yhteyden oppiminen, joka muodostaa pohjan lukemaan oppimiselle (van Atteveldt, Formisano, Goebel & Blomert 2004). Van Atteveldt ja kollegat (2004) tutkivat fMRI:llä puheäänteiden ja kirjainten yhteyden taustalla olevia neuroanatomisia mekanismeja. He havaitsivat puheäänteiden ja kirjainten välisen yhteyden muodostuvan ylemmän ohimolohkon uurteen takaosassa. Puheäänteiden kanssa samanaikaisesti esitetyt kirjaimet vaikuttivat lähellä kuuloaivokuorta ilmenevään aktiivisuuteen (van Atteveldt ym., 2004). Van Atteveldtin ja kollegoiden (2004) tutkimukset antavat viitteitä siitä, että kirjainten ja puheäänteiden yhdistämisen taustalla vaikuttavat neuraaliset mekanismit ovat samankaltaisia kielen kulttuuritaustasta riippumatta. Näin ollen ihmisellä vaikuttaisi olevan luontainen taipumus yhdistellä auditiivisiä ja visuaalisia ärsykejä toisiinsa (van Atteveldt ym., 2004).

#### **1.4. EEG-menetelmän perusta**

Elektroenkefalografia (EEG) on yleinen aivotutkimuksessa käytetty menetelmä (Teplan, 2002). Menetelmä pohjautuu päänahkaan asetettaviin elektrodeihin, jotka mittaavat aivojen sähköisessä toiminnassa tapahtuvia muutoksia (Teplan, 2002). Suurten hermosolujoukkojen yhtäaikaisten

toiminta saa aikaan muutokset aivojen sähkökentässä (Leppänen & Hämäläinen, 2010). Sähkökentät ovat seurausta samaan suuntaan asettuneiden tuhansien pyramidisolujen synapsin jälkeisten jännitteiden muutoksesta. (Leppänen & Hämäläinen, 2010). Jokaisen elektrodin on arvioitu laskevan yhteen noin 6 cm<sup>2</sup> kokoisen alueen hermosoluaktiiviteetin aivokuorella (Holmes & Khazipov, 2007). EEG:llä voidaan mitata aivojen aktiiviteettiä myös syvemmistä lähteistä, koska sähkökentät eivät vaimene merkittävästi siirryttäessä kauemmas lähteestä (Leppänen & Hämäläinen, 2010). Ajallisen tarkkuuden vuoksi (millisekunnin luokkaa) EEG-menetelmä soveltuu hyvin esimerkiksi aivojen oppimisprosessien tutkimiseen ajallisesti peräkkäisinä tapahtumina sekä tarkastelemaan aivotoimintaa eri taajuuksilla tapahtuvina värähtelyinä.

Tapahtumasidonnainen heräteväaste eli ERP (event-related potential) syntyy aivojen käsitellessä ulkoista ärsykettä tai aktivoituu kognitiivisen prosessin seurauksena (Leppänen & Hämäläinen, 2010). Tapahtumasidonnaiset heräteväasteet ovat muutoksia aivokuoren sähköisessä aktiivisuudessa ja niitä voidaan saada aikaan niin ulkoisilla kuin sisäisilläkin tapahtumilla (Sokhadze ym., 2017). ERP:t ovat käytetty menetelmä aivojen korkeampiasteisten toimintojen tutkimiseen, mutta lisäksi niiden avulla voidaan tutkia myös erilaisia häiriöitä, kuten oppimisen vaikeuksia (Sokhadze ym., 2017). Tässä tutkimuksessa selvitetään, miten erilaisille kuva-ääni-yhdistelmille altistuminen näkyy EEG:hen pohjautuvassa aivotoiminnassa tilastollisen oppimisen aikana käyttäen erityisesti aika-taajuusanalyysia.

### **1.5. ERP-komponentit aivojen sähköisessä toiminnassa**

Aivojen kognitiivisia prosesseja kuvaavat ns. ERP-komponentit (Leppänen & Hämäläinen, 2010). Auditivisten ärsykkeiden herättämät vasteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden esiintymisen viiveen mukaan (kuinka pian esitetyn ärsyksen jälkeen aivojen heräteväasteissa on havaittavissa muutosta): aikainen latenssi (0-15 ms), keskilatenssi (10-70 ms) ja myöhäinen latenssi (50-300 ms) (Picton ym., 1999). Tässä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita myöhäisistä latensseista, koska ne edustavat aivojen monimutkaisempia kognitiivisia toimintoja.

N1- ja P2-komponentit ovat mm. auditivisten ärsykkeiden herättämiä vasteita aivoissa (Paiva ym., 2016). Auditivisen ärsyksen esittämisen jälkeen aivojen heräteväasteissa on havaittavissa kaksi

huippua n. 80-200 ms kuluttua esitetystä ärsykkeestä (Crowley & Colrain, 2004). Näistä huipuista ensimmäinen on polariteetiltaan negatiivinen N1-komponentti, joka esiintyy n. 75-150 ms esitetyn ärsykkeen jälkeen (Crowley & Colrain, 2004). Toinen huippu on polariteetiltaan positiivinen P2-komponentti, joka esiintyy n. 150-250 ms esitetyn ärsykkeen jälkeen (Crowley & Colrain, 2004). Vaikka useimmiten auditiivinen ärsyke saa aikaan muutoksia näissä heräteasteissa, myös muita aistikanavia pitkin tuleva tieto saa aikaan samankaltaisia reaktioita (Crowley & Colrain, 2004).

N1-komponentin taustalla on useiden aivoalueiden lähes samanaikainen aktivoituminen (Leppänen & Hämäläinen, 2010). N1-komponentin merkittävimpiä vasteita tuottavia aivoalueita ovat ohimoalue (T-kompleksi), sekundaarinen kuuloaivokuori sekä ns. vertex-N1, jota ei ole pystytty paikallistamaan tarkasti, mutta se on luultavasti ainakin osittain tuotosta motorisen aivokuoren aktiviteetista (Leppänen & Hämäläinen, 2010). N1-komponentin on ajateltu olevan yhteydessä auditiivisessa ympäristössä tapahtuvien muutosten havaitsemiseen ja niihin huomion suuntaamiseen (Paiva ym., 2016).

P2-komponentin toiminnan merkityksellisyyttä ei vielä täysin tunneta (Paiva ym., 2016). P2-vaste on mahdollisesti seurausta ärsykkeiden luokittelusta, tarkkaavuuden suuntaamisesta sekä havainto-oppimisesta (Arnott, Bardouille, Ross & Alain, 2011). Arnott ja kollegat (2011) havaitsivat tutkimuksessaan, että P2-komponentin huippu esiintyi aikaisemmin oikealla, kuin vasemmalla aivopuoliskolla.

Kielellistä prosessointia tutkimalla on havaittu tiettyjen ERP-komponenttien olevan yhteydessä fonologiseen, semanttiseen ja lauseopilliseen prosessointiin aikuisilla (Friederici, 2005). Näistä N400-vaste heijastelee semanttisia prosesseja ja vaste on havaittavissa sekä sana- että lausetasolla (Friederici, 2005). P600-vaste puolestaan on yhteydessä lauseoppiin ja heijastelee sellaisia toimintoja, kuin kielellinen uudelleenanalysointi sekä korjaaminen (Friederici, 2005).

N400-vasteen on havaittu näkyvän suurempana amplitudina semanttisesti ei-kongruenttien, kuin kongruenttien sanojen kohdalla (Friederici, 2005). Karipidis ja kollegat (2018) havaitsivat tutkimuksessaan merkittävää kongruenssin ja lukusujuvuuden välistä vuorovaikutusta audiovisuaalisen integraation ensimmäisessä aikaikkunassa (382-442 ms). Kyseisen aikaikkunan osalta aivojen takaosan positiiviset vasteet ennen lukemaan oppimista lapsilla, jotka kouluikässä lukivat ikätasoisesti, olivat suurempia ei-kongruenttien kuin kongruenttien sanaparien kohdalla ja korostuivat vasemmassa aivopuoliskossa (Karipidis ym., 2018). Tässä tutkimuksessa voidaan odottaa aivojen heräteasteissa tapahtuvan muutosta samalla aikaikkunalla. Myöhäisten negatiivisten



vasteiden (644-704 ms) on havaittu olevan vahvasti yhteydessä aivopuoliskon ja lukusujuvuuden väliseen vuorovaikutukseen (Karipidis ym., 2018).

Ei-kongruenttien ärsykeparien esittäminen kasvatti aivojen positiivista vastetta parietaali-okkipitaali-temporaalikuorella n. 400 ms ja vastaavasti vähensi negatiivista vastetta n. 650 ms kuluttua ärsykkeen esittämisestä (Karipidis ym., 2017). Nämä tutkimukset antavat viitteitä siitä, millä aikaikkunoilla audiovisuaalisten yhteyksien oppimisen tulokset todennäköisesti näkyvät.

## **1.6. Aivojen herätevasteiden värähtelykomponentit**

Audiovisuaalisten ärsykkeiden käsittelyyn on aiemmissa tutkimuksissa liitetty kolme taajuuskaistaa: theta, beta ja gamma. Hermosolujen aktiviteetin muutokset näillä taajuuskaistoilla ovat ilmenneet erityisesti oppimista ja muistia vaativissa tehtävissä.

Aivosähkökäyrän värähtelykomponentit on liitetty tutkimuksissa kognitiiviseen prosessointiin ja havainnointiin (Singer & Gray, 1995). Lisäksi aivojen aktivaatiossa tapahtuvan värähtelyn ajatellaan olevan keskeisessä roolissa useamman aistikanavan integraatiossa (Senkowski, Schneider, Foxe & Engel, 2008). Marrufo, Vaquero, Cardoso ja Gomez (2001) havaitsivat visuospatiaalista tarkkaavuutta mittaavassa tutkimuksessaan alfa-aktiivisuuden vähentymistä aikaikkunan ollessa 375-500 ms ja beta-aktiivisuuden lisääntymistä aikaikkunalla 500-875 ms ärsykkeen esittämisestä. Schepers, Schneider, Hipp, Engel ja Senkowski (2013) tutkivat, kuinka auditiiviset ärsykkeet vaikuttavat aivojen herätevasteisiin audiovisuaalisen puheen prosessoinnin osalta. Schepers ja kollegat (2013) havaitsivat hermosolujen aktiviteetin vaimenemista aivojen STS-alueella (superior temporal sulcus) beta-taajuudella (16-32 Hz) aikaikkunalla 100-400 ms audiovisuaalisen ärsykkeen esittämisestä ja tämä vaimeneminen oli suurempaa matalammilla, kuin korkeilla ääniärsykkeillä.

Otsalohkon etuosan alueiden on ajateltu kontrolloivan työmuistin prosesseja fronto-temporaalisten jaksoittaisten synkronisaatioiden avulla matalilla taajuuksilla (Daume, Graetz, Gruber, Engel & Friese, 2017). Daume ja kollegat (2017) havaitsivat tutkimuksessaan, että mediaali-temporaalilohkon alueet, joilla oli havaittavissa lisääntyntä theta-beta jaksoamplitudin kytkentää työmuistin

viivästetyssä aikaikkunassa, osoittivat vahvempaa jaksoittaista synkronisaatiota theta-taajuudella (4-7 Hz) audiovisuaalisen työmuistitehtävän, kuin pelkän visuaalisen työmuistitehtävän aikana.

Auditiivisten muutosten on huomattu aiheuttavan lisääntyntä aktiivisuutta vasemmalla alemmalla frontaalikorteksilla gamma-taajuudella (Kaiser, Hertrich, Ackermann, Mathiak & Lutzenberger, 2004). Kaiser ja kollegat (2004) tutkivat, onko gamma-taajuus yhteydessä visuaalisissa ärsykeissä tapahtuviin muutoksiin, vaikka auditiivinen ärsyke pysyisikin muuttumattomana. Tutkimuksessa havaittiin muutosta aivoissa n. 75 ja 78 Hz taajuudella (Kaiser ym., 2004). Gamma-aktiivisuus visuaalisiin poikkeavuuksiin liittyen oli korkeimmillaan 160 ms auditiivisen ärsykkeen esittämisestä parietaalikorteksin takaosissa, 270 ms kuluttua takaraivon alueella sekä 320 ms kuluttua vasemmalla frontaalikorteksin alaosissa (Kaiser ym., 2004). Tutkimuksissa on myös havaittu kongruenttien ärsykkeiden saavan aikaan aktiivisuuden lisääntymisen vasemmalla kuuloaivokuorella 2-10 Hz taajuudella ensimmäisten 250 ms ajan ärsykkeen esittämisestä audiovisuaalisessa tehtävässä (Herdman ym., 2006). Sen sijaan aktiivisuuden on havaittu vähenevän bilateraalilla näköaivokuorella 2-16 Hz taajuudella 250-500 ms aikavälillä ärsykkeen esittämisestä (Herdman ym., 2006).

Nämä tulokset antavat viitteitä siitä, millä taajuuskaistoilla audiovisuaalisen oppimisen tulosten voidaan odottaa näkyvän. On kuitenkin huomioitava, että aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet aktiivisten tehtävien käyttöön, ja tässä tutkimuksessa on kyseessä passiivinen altistus. Näin ollen suoria johtopäätöksiä ei voida tehdä, mutta on oletettavaa, että tulokset ovat myös passiivisen kokeen osalta samansuuntaisia aiempien aktiivista koeasetelmaa käyttäneiden tutkimusten kanssa.

## 1.7. Tutkimuskysymykset

Passiivisen oppimisen hermostollisesta perustaa on tutkittu vain vähän. Audiovisuaalisen harjoittelun on havaittu johtavan merkittävästi nopeampaan oppimiseen, kuin pelkkää visuaalista informaatiota sisältävän harjoittelun (Seitz ym., 2006). Audiovisuaalista oppimista onkin tutkittu melko paljon, mutta passiivisen oppimisen näkökulma on jäänyt tutkimuksissa hyvin vähälle huomiolle. Passiivisen oppimisen on kuitenkin havaittu olevan keskeisessä asemassa mm. ihmisen kielellisen kehityksen kannalta (Saffran ym., 1996). Näin ollen tässä tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita yhdistämään passiivinen ja audiovisuaalinen koeasetelma. Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

1. Tapahtuuko aivojen toiminnassa muutosta passiivisen oppimisen aikana?
2. Jos muutosta tapahtuu, minkälaista tämä muutos on?
  - 2.1. Millä aikaikkunalla muutos tapahtuu?
  - 2.2. Millä taajuuskaistalla muutos tapahtuu?

Aiempien tutkimusten perusteella voidaan olettaa aivojen heräteasteissa tapahtuvan muutoksen sijoittuvan aikaikkunalle 200-800 ms ärsyksen esittämisestä. Aikataajuusanalyysien oletetaan tässä tutkimuksessa näyttävän muutoksia samalla aikaikkunalla. Aivotoiminnan muutosten oletetaan tapahtuvan theta-, beta- sekä gamma-taajuudella.

## 2. MENETELMÄT

### 2.1. Tutkittavat

Tutkimuksen otokseen kuului 31 henkilöä, joista 9 kuitenkin karsiutui pois. Karsiutumisen syynä olivat laadullisesti heikko EEG-data (6 henkilöä), tekniset ongelmat (2 henkilöä) sekä poissulkukriteerin ilmeneminen jälkikäteen yhden koehenkilön kohdalla. Poissulkukriteerit käsittivät kuulon heikkouden, keskushermostoon vaikuttavat lääkkeet, neurologiset häiriöt, oppimisvaikeudet sekä japanin kielen osaamisen. Näin ollen lopullinen otos sisälsi 22:n 19-36- vuotiaan (ka = 26,4; kh = 4,9) koehenkilön aineiston. Lisäksi kahdelta koehenkilöltä jouduttiin hylkäämään viimeinen (4.) blokki, joten viimeisen blokin osalta aineisto käsitti vain 20 henkilöä.

Tutkimusaineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksella syksyn 2017 sekä kevään 2018 aikana, jolloin koehenkilöt rekrytoitiin sähköpostilistojen sekä henkilökohtaisten suhteiden kautta. Naisia otokseen valikoitui 20 ja miehiä 2. Koehenkilöistä oikeakätisiä oli 21 ja vasenkätisiä 1. Otokseen valikoituivat pitkälti yliopisto-opiskelijat (erityisesti psykologian alalta) sekä muut yliopiston tutkimuksesta kiinnostuneet henkilöt.

### 2.2. Koeasetelma

Kokeessa käytettiin japanin kielen kirjaimia ( な, れ, ゆ, そ, も, め ), joita oli käännetty 90 astetta oikealle. Kirjaimet esiintyivät kuuden kaksikirjaimisen tavun (pi, ta, ko, ki, to sekä pa) kanssa. Näistä kirjaimista sekä tavuista puolet olivat opittavia ja puolet ei-opittavia. Opittavat kirjaimet ja tavut esiintyivät siis aina yhdessä ja ei-opittavat esiintyivät täysin satunnaisesti toistensa kanssa. Koehenkilöiden välillä opittavia sekä ei-opittavia tavuja vaihdettiin siten, että yhdentoista koehenkilön kohdalla tavut pi, ta sekä ko olivat opittavia ja toisten yhdentoista henkilön kohdalla

tavut ki, to sekä pa olivat opittavia. Kukin ärsyke esitettiin tutkittaville 132 kertaa satunnaisessa esittämisjärjestyksessä, kuitenkin niin, että sama ärsyke ei voinut toistua kahta kertaa peräkkäin.

Tavut kuuluivat noin 59 desibelin voimakkuudella (dB(A) mitattuna Brüel & Kjaer-mittarilla, malli 2235) ja japanin kielen kirjaimet olivat näkyvissä 700 ms ajan. Kirjainten välissä esitettiin aina fiksaatoristi, joka näkyi ruudulla 745 ms ajan. Suurin osa kirjaimista oli väriltään mustia, mutta joukossa oli myös sinisiä kirjaimia. Kirjaimet esitettiin harmaata taustaa vasten. Lisäksi jotkut tavuista kuuluivat muita tavuja korkeammalla taajuudella. Peitetehtävänä koehenkilöä pyydettiin painamaan nappia, kun tällaisia poikkeavia kirjaimia tai tavuja esiintyi. Tällä tavoin vältyttiin siltä, että koehenkilöt olisivat aktiivisesti kiinnittäneet huomiota kirjainten ja tavujen väliseen yhteyteen. Koehenkilöt luokittelivat joitain tavuja systemaattisesti väärin, jolloin tuloksena oli paljon virheellisiä vastauksia. Oletettavasti he kuitenkin keskittyivät peitetehtävään.

Koe koostui neljästä 10 minuutin pituisesta blokista (kussakin 198 ärsykeparia), joiden välillä koehenkilö sai halutessaan pitää tauon. Kokeen ajamiseen ja vastausten tallentamiseen käytettiin E-prime-ohjelmaa (versio 2.0.10.356). Kokeen päätyttyä koehenkilöiltä tiedusteltiin, olivatko he huomanneet jonkun tai joidenkin kirjainten ja tavujen esiintyvän systemaattisesti yhdessä. Tällä haluttiin selvittää sitä, kuinka tietoisia koehenkilöt olivat kokeen aikana tapahtuneesta oppimisesta.

### **2.3. Mittaukset**

Koehenkilöiden aivojen sähköisen toiminnan muutoksen mittaamiseen käytettiin elektroenkefalografiaa (EEG). EEG-aineiston mittauksessa käytettiin NeurOne-vahvistinta (Bittium Oy) ja myssyinä toimivat HydroCel GSN -mallia olevat EEG-myssyt (Electrical Geodesic Inc.). 128:sta mittauselektrodista koostuvien myssyjen elektrodit olivat tyypiltään Ag-AgCl-elektrodeja. Elektrodien impedanssit pyrittiin pitämään alle 50 kOhmia. Aineiston keräämiseen käytettiin NeurOne-ohjelmaa (versio 1.4.1.64). Aineisto kerättiin 1000 Hz näytteenottotaajuudella ja mittauksen aikaiset suodattimet olivat 0.1 – 200 Hz.

## 2.4. Analyysit

Kerätyn EEG-datan analysointiin käytettiin BESA Research -ohjelmaa (versio 6.1). Jokaisen koehenkilön aineiston kohdalla tehtiin alapäästösuodatus 0,5 Hz (12 db/oct, zero-phase) rajalla. EEG-datan huonot kanavat merkittiin. Näitä kanavia oli aineistosta riippuen 1-12, keskimäärin 5. Silmänräpäysten ja silmänliikkeiden korjaukseen käytettiin riippumattomien komponenttien analyysiä (ICA, independent component analysis), joka suoritettiin minuutin mittaiselle ajanjaksolle. Algoritmina toimi infomax algoritmi (Lee, Girolami & Sejnowski, 1999).

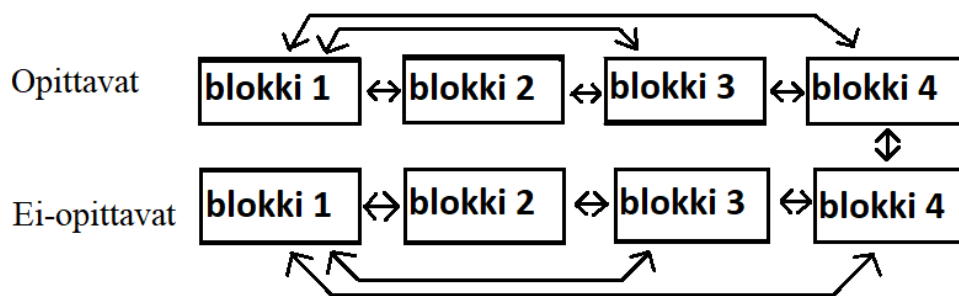
EEG-aineiston opittavat ja ei-opittavat ärsykkeet jaettiin omiin ryhmiinsä. Trialit käsittivät ajan 100 ms ennen ja 800 ms jälkeen esitetyn ärsykkeen. Tämä mahdollisti analyysin kohdistamisen ärsykkeen aiheuttamiin herätevasteisiin. Ärsykkeiden jaottelun jälkeen aineistosta poistettiin huonot trialit (amplitudi yli 120  $\mu\text{V}$  tai 0.7  $\mu\text{V}$  tai pienempi) sekä 75  $\mu\text{V}$  nopeat heilahtelut. Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden trialeista hylättiin molemmista keskimäärin 8 %. Opittavien ärsykkeiden kohdalla hylättyjen trialeiden vaihteluväli oli 1-23 % ja ei-opittavien kohdalla 2-23 %.

EEG-datan kanava-aineisto muutettiin lähdeavaruuteen aikataajuusanalyysin vaatimien laskentaresurssien ja kanavamäärän pienentämiseksi. Lähdemallina käytettiin BESA-ohjelman antamaa 15 lähteen (regional source) standardimallia. Lähteet olivat vasen ja oikea etummainen ohimolohko, vasen ja oikea taaempi ohimolohko, vasen ja oikea otsalohko, vasen ja oikea keskusuurteen alue, vasen ja oikea pääläenlohko, sekä viisi lähettä aivojen keskilinjassa etuotsalohkossa, otsalohkossa, keskusuurteen kohdalla, pääläenlohkossa ja takaraivolohkossa. Aiemmin käytetyt suodattimet otettiin pois päältä. Monitahoista demodulaatiota (complex demodulation) käytettiin hajottamaan EEG-data aikataajuusanalyysiä edustavaksi, aikaresoluution ollessa 50 ms, taajuusresoluution 1 Hz ja aikaikkunan -100-800 ms. Aikataajuusanalyysi laskettiin taajuuksille 4-40 Hz. TSE-menetelmää (temporal spectral evolution) käytettiin vertaamaan tapahtumasidonnaisia muutoksia eri taajuuskaistoilla suhteessa aikaikkunan perustasoon (-100 – 0 ms).

Tilastollisten analyysien ajamiseen käytettiin BESA Statistics -ohjelmaa (versio 2.0). Ohjelma käyttää klusteripohjaista permutaatiomenetelmää (Maris & Oostenveld, 2007), joka pohjautuu varianssianalyysiin (ANOVA). Klusteripohjainen permutaatiomenetelmä korjaa p-arvoa lukuisten lähteiden, aikapisteiden ja taajuuskaistojen tarkastelun aiheuttamalta tyypin I virheeltä. Ensin

haluttiin selvittää, oliko muutosta tapahtunut kokeen aikana. Neljän blokin välistä eroa tarkasteltiin tällä menetelmällä, ja analyysit ajettiin erikseen opittaville ja ei-opittaville ärsykeille. Herätevasteille ajetun varianssianalyysin permutaatioiden lukumäärä oli 3000, aikaikkuna 50-800 ms. Jatkoanalyysit suoritettiin parittaisilla vertailuilla klusteripohjaista permutaatiomenetelmää käyttäen pohjautuen t-testeihin (blokki 1 vs. 2, 1 vs. 3, 1 vs. 4, 2 vs. 3, 2 vs. 4 ja 3 vs. 4). Toiseksi haluttiin selvittää, oliko passiivinen altistus johtanut erilaisiin muutoksiin opittaville ja ei-opittaville ärsykeille. Opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden 4. blokkien välinen vertailu suoritettiin niin ikään t-testivertailulla. Kaikkien analyysien alfasaso oli 0,05.

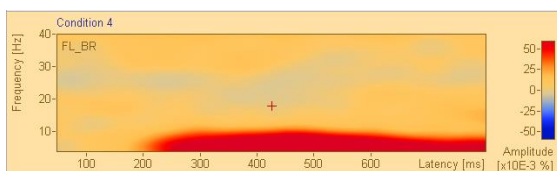
*Kaavio 1. Kaaviossa on havainnollistettu opittavien ärsykkeiden blokkien ja ei-opittavien ärsykkeiden blokkien väliset t-testivertailut sekä opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden 4. blokkien välinen t-testivertailu.*



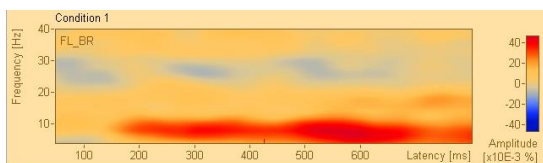
### 3. TULOKSET

#### 3.1. Audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen vaikutukset aivojen herätevasteisiin

Aivojen herätevasteiden perustasoon verrattuna audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen havaittiin kasvattavan matalia taajuuksia (4-10 Hz) opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden osalta n. 200 ms ärsyksen esittämisen jälkeen. Lisäksi erityisesti ei-opittavilla ärsykkeillä oli näkyvissä korkeampien taajuuksien (n.15-30 Hz) laskua eli desynkronisaatiota.



A.



B.

*Kuva 1.*

*A. Kuvasta voidaan havaita audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen kasvattavan jonkin verran herätevasteiden voimakkuutta opittavien ärsykkeiden osalta erityisesti delta- ja theta-taajuuksilla. Sen sijaan korkeammilla (beta-) taajuuksilla on havaittavissa lievää taajuuden laskua.*

*B. Kuvasta voidaan havaita audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen kasvattavan jonkin verran herätevasteiden voimakkuutta delta- ja theta-taajuuksilla ei-opittavien ärsykkeiden osalta. Sen sijaan korkeammilla taajuuksilla on havaittavissa selvää voimakkuuden laskua.*

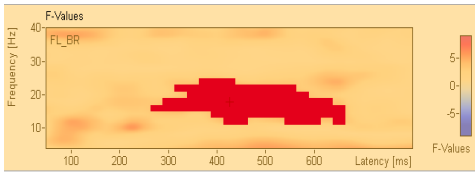


### 3.2. Audiovisuaalisten ärsykkeiden aikaansaamat kokonaisuutokset heräteasteissa

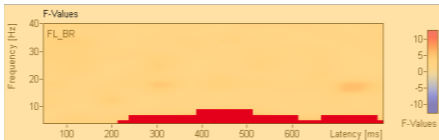
Yksisuuntainen varianssianalyysi osoitti aivojen heräteasteissa tapahtuvan tilastollisesti merkitsevää muutosta passiivisen oppimisen aikana sekä opittavien, että ei-opittavien ärsykkeiden kohdalla ( $p < 0.05$ ). Opittavien ärsykkeiden osalta muutosta oli havaittavissa vasemmassa otsalohkossa, aikaikkunalla 275-650 ms ja taajuudella 12-24 Hz. Ei-opittavien ärsykkeiden osalta muutosta oli havaittavissa kahdella alueella: vasemmassa otsalohkossa sekä vasemmassa ohimolohkossa. Vasemman otsalohkon heräteasteiden muutokset olivat havaittavissa aikaikkunalla 225-800 ms ja taajuudella 4-8 Hz. Vasemman ohimolohkon osalta muutoksen aikaikkuna oli 275-800 ms ja taajuus 4-8 Hz.

*Taulukko 1. Taulukossa on havainnollistettu opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden aikaansaamien aivojen heräteasteiden muutosten taajuuskaistat sekä aivoalueet. Taulukosta voidaan nähdä opittavien ärsykkeiden aiheuttamien muutosten tapahtuvan beta-taajuuskaistalla vasemmassa otsalohkossa. Ei-opittavien ärsykkeiden kohdalla puolestaan muutokset tapahtuvat theta-taajuudella vasemmassa otsa- sekä ohimolohkossa.*

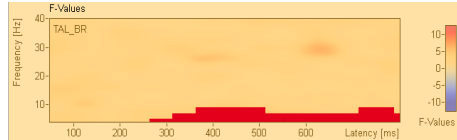
ärsyke	klusteri	aivoalue	taajuus
opittavat	1	vasen otsalohko	Beta
ei-opittavat	1	vasen otsalohko	Theta
ei-opittavat	2	vasen ohimolohko	Theta



A.



B.



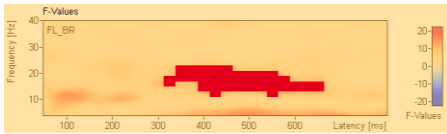
C.

Kuva 2. Kuvassa on havainnollistettu aivojen herätevasteissa tapahtuneet kokonaismuutokset opittavilla ja ei-opittavilla ärsykkeillä. Tumman punainen alue kuvaa klusteripohjaisen permutaatiotestin muodostamaa klusteria. A. Kuvasta voidaan nähdä herätevasteiden voimakkuuden kasvua vasemmassa otsalohkossa opittavien ärsykkeiden osalta ( $p < 0,01$ ). B. Kuvasta nähdään herätevasteiden voimakkuuden kasvu vasemmassa otsalohkossa ei-opittavien ärsykkeiden osalta ( $p < 0,01$ ). C. Kuvassa ilmenee herätevasteiden voimakkuuden kasvua vasemmassa ohimolohkossa ei-opittavien ärsykkeiden johdosta ( $p < 0,05$ ).

### 3.3. Audiovisuaalisten ärsykkeiden aikaansaamat spesifit muutokset herätevasteissa

#### 3.3.1. Opittavat ärsykkeet

Parittaiset t-testivertailut kertoivat tilastollisesti merkitsevää muutoksesta aivojen herätevasteissa opittavien ärsykkeiden 1. ja 4. blokin välillä. Muutokset näkyivät vasemmassa otsalohkossa, aikaikkunalla 325-650 ms ja taajuudella 12-22 Hz. Kuvassa 3 on havainnollistettu aivojen herätevasteissa tapahtuvaa voimakkuuden kasvua opittavien ärsykkeiden 1. ja 4. blokin välillä.

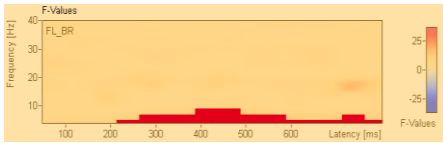


*Kuva 3. Vasemman otsalohkon herätevasteiden voimakkuuden voidaan havaita kasvavan verrattaessa 1. ja 4. blokkia ( $p < 0,01$ ) opittavien ärsykkeiden osalta. Voimakkuuden kasvu tapahtuu beta-taajuuskaistalla. Tummanpunainen alue kuvaa klusteripohjaisen permutaatiotestin muodostamaa klusteria.*

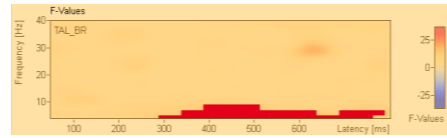
### 3.3.2. Ei-opittavat ärsykkeet

Ei-opittavien ärsykkeiden osalta tilastollisesti merkitsevää eroa aivojen herätevasteissa oli havaittavissa 1. ja 4. blokkien välillä sekä 2. ja 4. blokkien välillä. Vertailtaessa 1. ja 4. blokkia muutosta havaittiin vasemmassa otsalohkossa sekä vasemmassa ohimolohkossa. Vasemmassa otsalohkossa aikaikkuna muutoksen osalta oli 225-800 ms ja taajuus 4-8Hz. Vasemmassa ohimolohkossa aikaikkuna muutoksen osalta oli 300-775 ms ja taajuus 4-8Hz. 2. ja 4. blokkia vertaillessa herätevaste-erot näkyivät vasemmassa otsalohkossa, aikaikkunalla 325-625 ms ja taajuudella 4-6 Hz.

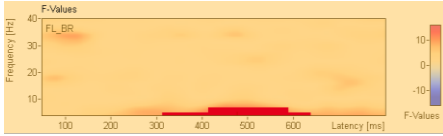
Kuvassa 4 on havainnollistettu aivojen herätevasteiden voimakkuuden kasvu vertailtaessa blokkeja ei-opittavien ärsykkeiden osalta.



A.



B.



C.

Kuva 4. A. Kuvasta voidaan nähdä ei-opittavien ärsykkeiden aiheuttama herätevasteiden voimakkuuden kasvu vasemmassa otsalohkossa vertailtaessa 1. ja 4. blokkia ( $p < 0,001$ ). B. Kuvasta voidaan nähdä vasemmassa ohimolohkossa tapahtuva herätevasteiden voimakkuuden kasvu vertailtaessa 1. ja 4. blokkia ei-opittavien ärsykkeiden osalta ( $p < 0,05$ ). C. Kuvasta voidaan nähdä vasemmassa otsalohkossa tapahtuvat herätevasteiden voimakkuuden kasvu ei-opittavien ärsykkeiden osalta vertailtaessa 2. ja 4. blokkia ( $p < 0,01$ ). Kaikissa kolmessa tapauksessa muutosta oli havaittavissa theta-taajuudella. Tummanpunainen alue kuvaa klusteripohjaisen permutaatiotestin muodostamaa klusteria.

### 3.4. Herätevasteiden kokonaisuutokset – opittavat vs. ei-opittavat ärsykkeet

Vertailtaessa aivojen herätevasteissa tapahtuvaa muutosta opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden 4. blokkien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ( $p > 0,05$ ). Ts. muutos herätevasteissa oli samanlaista opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden 4. blokkien osalta.

## **4. POHDINTA**

### **4.1. Tutkimuksen tarkoitus**

Tutkimuksessa selvitettiin, tapahtuuko aivojen toiminnassa muutosta passiivisen oppimisen aikana. Aiemmat tutkimukset ovat pääsääntöisesti keskittyneet aktiivisen oppimisen vaikutusten tutkimiseen, joten tällä tutkimuksella haluttiin saada lisätietoa siitä, ovatko passiivisen oppimisen aikaansaamat muutokset aivojen herätevasteissa samansuuntaisia, kuin aiemmissa tutkimuksissa havaitut aktiivisen oppimisen aiheuttamat muutokset.

Lisäksi oltiin kiinnostuneita siitä, millä aikaikkunalla ja taajuuskaistalla muutosta on havaittavissa. Oletuksena oli, että aivojen herätevasteissa on havaittavissa muutosta 200-800 ms esitetyn ärsykkeen jälkeen theta- (4-8 Hz), beta- (12-30 Hz) sekä gamma (yli 30 Hz) -taajuudella (Jia & Kohn, 2011), jolloin tulokset olisivat samankaltaisia aktiivisten koeasetelmien kanssa.

### **4.2. Aivojen herätevasteiden muutokset audiovisuaalisen passiivisen oppimisen aikana**

Tutkimus osoitti, että aivojen herätevasteissa on havaittavissa muutosta passiivisen oppimisen aikana. Kokonaisuutena oli havaittavissa sekä opittavien että ei-opittavien ärsykkeiden osalta ja molemmissa tapauksissa herätevasteiden voimakkuudessa oli havaittavissa kasvua. Lisäksi opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden aikaansaamat herätevasteiden muutokset olivat havaittavissa suurin piirtein samalla aikaikkunalla 200-800 ms esitetyn ärsykkeen jälkeen.

Aivojen herätevasteiden kokonaisuutena lisäksi oltiin kiinnostuneita spesifeistä blokkien välisistä muutoksista. Opittavien ärsykkeiden osalta muutosta oli havaittavissa ensimmäisen ja viimeisen blokin välillä. Ei-opittavien ärsykkeiden osalta muutosta oli havaittavissa ensimmäisen ja

viimeisen sekä toisen ja viimeisen blokin välillä. Molempien ärsykkeiden kohdalla oli havaittavissa herätevasteiden voimakkuuden kasvua kyseisiä blokkeja vertailtaessa.

Opittavien ärsykkeiden osalta kokonaismuutosta herätevasteissa havaittiin beta-taajuudella vasemmassa otsalohkossa. Samankaltaisia tuloksia opittavien ärsykkeiden osalta saatiin myös blokkien välisissä vertailuissa. Opittavien ärsykkeiden osalta herätevasteiden kasvua havaittiin ensimmäisen ja viimeisen blokin välisessä vertailussa vasemmassa otsalohkossa aikavälillä 325-650 ms esitetystä ärsykkeestä ja beta-taajuuskaistalla. Nämä tulokset saavat jonkin asteista tukea aiemmista audiovisuaalista koeasetelmaa käyttäneistä tutkimuksista (Kaiser ym., 2004; Karipidis ym., 2018). Karipidoksen ja kollegoiden (2018) tulokset poikkeavat tämän tutkimuksen tuloksista siltä osin, että heidän tutkimuksessaan herätevasteiden kasvu liitettiin aivojen takaosiin (menetelmänä toimi EEG-fMRI), kun tässä tutkimuksessa vasteiden kasvua oli havaittavissa aivojen etuosissa. Kaiserin ja kollegoiden (2004) tutkimukset puolestaan tukevat tuloksia opittavien ärsykkeiden välisten blokkien herätevastemuutosten paikallistamisen osalta, mutta Kaiserin ja kollegoiden tutkimuksissa herätevasteiden muutosta havaittiin beta-taajuuskaistan sijaan gamma-taajuudella.

Ei-opittavien ärsykkeiden osalta kokonaismuutosta herätevasteissa havaittiin theta-taajuudella otsa- ja ohimolohkoissa. Aiemmissä tutkimuksissa erityisesti vasemman ohimolohkon aktiivisuus on liitetty audiovisuaaliseen oppimiseen (Hashimoto ym., 2004), joten tulokset antavat tukea näille aiemmille havainnoille. Samankaltaisia tuloksia saatiin myös ei-opittavien ärsykkeiden kohdalla blokkien välisissä vertailuissa. Ei-opittavien ärsykkeiden osalta herätevasteiden kasvua havaittiin ensimmäisen ja viimeisen blokin välisessä vertailussa sekä vasemmassa otsa- että ohimolohkossa. Otsalohkon osalta herätevasteiden muutoksen aikaikkuna (225-800 ms) oli jonkin verran pidempi, alkaen aiemmin ja päättyen myöhemmin, kuin ohimolohkon herätevasteiden muutosten aikaikkuna (300-775 ms). Molemmilla aivoalueilla muutosta oli havaittavissa theta-taajuuskaistalla. Myös toisen ja neljännen blokin välisessä vertailussa muutos herätevasteissa tapahtui theta-taajuuskaistalla, mutta aikaikkuna oli lyhempi (325-625 ms), kuin ensimmäistä ja neljättä blokkia vertailtaessa. Herätevasteiden muutokset ohimolohkossa theta-taajuuskaistalla ovat aiemmissä tutkimuksissa liittyneet mm. työmuistitehtäviin sekä kongruenteihin ärsykkeisiin audiovisuaalisissa tehtävissä (Daume ym., 2017; Herdman ym., 2006). Näiltä osin tämän tutkimuksen tulokset tukevat aiempaa tutkimustietoa.

Muutokset herätevasteissa sekä opittavien, että ei-opittavien ärsykkeiden osalta olivat verrattain nopeita, muutosten näkyessä aikataajuusanalyysissä 40 minuutin kuluessa. Aiemmissä tutkimuksissa on käytetty pitkittäistutkimusasetelmia (esim. Karipidis ym., 2018) tai MEG-menetelmää audiovisuaalisen oppimisen tehtävissä (Daume ym., 2017; Herdman ym., 2006; Kaiser ym., 2004).

EEG menetelmänä antaa ajallisesti yhtä tarkkaa tietoa kuin MEG, joten tältä osin tässä tutkimuksessa on saatu ajallisesti spesifimpää tietoa, kuin monissa aiemmissa audiovisuaalista oppimista mitanneissa tutkimuksissa, jotka usein käyttivät toiminallista magneettikuvantamista (esim. Hashimoto ym. 2004). Toisaalta muutokset herätevasteissa tässä tutkimuksessa ovat varsin nopeita verrattuna pitkittäistutkimuksiin; esim. Karipidis ja kollegat (2018) keskittyivät tutkimuksissaan lasten lukusujuvuuden kehittymiseen puolen vuoden mittaisella ajanjaksolla, jolloin herätevasteiden muutoksia havaittiin usean kuukauden pituisella ajanjaksolla.

### **4.3. Audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen vaikutus aivojen herätevasteisiin**

Audiovisuaalisten ärsykkeiden esittämisen havaittiin kasvattavan aivojen herätevasteiden matalia taajuuksia, mutta toisaalta erityisesti ei-opittavilla ärsykkeillä näkyi korkeampien taajuuksien laskua. Schepers ja kollegat (2013) ovat havainneet samansuuntaisia tuloksia tutkimuksessaan, jossa he tutkivat auditiivisten ärsykkeiden vaikutusta herätevasteisiin audiovisuaalisen puheen prosessoinnin osalta. Tutkimuksessa havaittiin hermosolujen aktiviteetin vaimenemista aivojen STS-alueella ja tämä vaimeneminen oli suurempaa korkeilla kuin matalilla ääniärsykkeillä (Schepers ym., 2013). Herätevasteiden muutokset opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden osalta eivät eronneet toisistaan. Voidaan siis olettaa opittavien ja ei-opittavien ärsykkeiden saavan aikaan samankaltaisia muutoksia aivoissa.

### **4.4. Tutkimuksen rajoitukset ja vahvuudet**

Tulosten yleistettävyyttä ajatellen on muistettava, että suuri osa tutkimukseen valikoituneista koehenkilöistä olivat yliopiston psykologian opiskelijoita ja toisaalta loput yliopiston tutkimuksesta kiinnostuneita henkilöitä. Näin ollen tutkimuksen perusjoukko on hyvin homogeeninen, eivätkä

tulokset ole yksiselitteisesti yleistettävissä koko väestöön. Haasteensa asettaa myös vinoutunut sukupuolijakauma (vain kaksi miestä) ja toisaalta otokseen valikoituneista vain yksi koehenkilö oli vasenkätinen. Toisaalta voidaan ajatella, että aivojen herätevasteiden muutokset tällaisessa passiivisen oppimisen koeasetelmassa kuvaavat yleistä hermoverkkomekanismia, joten sukupuolen, kätisyyden ja koulutuksen vaikutukset tuloksiin eivät ole kovin todennäköisiä.

Dataa analysoitaessa havaittiin koehenkilöiden luokittelevan joitain tavuja systemaattisesti väärin peitetehtävän aikana. Syynä saattoi olla se, että jotkut tavut tulkittiin korkeammiksi johtuen äänteiden välisistä eroista. Oletettavaa on, että koehenkilöt keskittyivät peitetehtävään, mutta myös jonkin asteista tiedostamista oli havaittavissa. Koehenkilöiltä kysyttäessä neljä ei huomannut yhteyttä minkään merkin ja tavun välillä, yhdeksän henkilöä huomasi yhteyden yhden merkin ja tavun välillä, viisi havaitsi yhteyden kahden tavun ja merkin välillä sekä neljä koehenkilöä kertoi huomanneensa yhteyden kaikkien kolmen opittavan merkin ja tavun välillä. Tämä tuo vaihtelua aineistoon, jonka vuoksi tutkittavia olisi hyvä olla enemmän oppimiseffektin löytämiseksi.

#### **4.5. Tutkimuksen anti ja jatkotutkimus**

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että aivot käyvät läpi hyvin samantyyllisiä prosesseja passiivisessa ja aktiivisessa oppimisessa. Esimerkiksi vasen otsa- ja ohimolohko näyttäytyivät tässä tutkimuksessa olevan keskeisessä roolissa herätevasteiden muutosten kannalta. Samoja havaintoja on saatu myös aiemmissa audiovisuaalista oppimista mittaavissa tehtävissä, vaikka ne ovatkin olleet koeasetelmaltaan aktiivista oppimista mittaavia (Hashimoto ym., 2004; Kaiser ym., 2004). Myös aikaikkuna muutosten osalta on samankaltainen, kuin aiemmissa tutkimuksissa on havaittu (Karipidis ym., 2018). Lisäksi taajuuskaistat beta ja theta ovat aiemmissa tutkimuksissa havaittu keskeisiksi aktiivisen oppimisen tehtävissä (Daume ym., 2017; Herdman ym., 2006) ja muutokset herätevasteissa tapahtuivat myös tässä tutkimuksessa näillä taajuuskaistoilla.

Toisaalta aiemmissa tutkimuksissa myös gamma-taajuuskaista on liitetty oppimiseen (Kaiser ym., 2004), mutta tässä tutkimuksessa ei saatu samansuuntaisia tuloksia. Tätä ilmiötä olisikin hyvä tutkia lisää: liittyykö gamma-taajuuskaista erityisesti aktiiviseen oppimiseen vai havaitaanko sitä joissain tapauksissa myös passiivisen oppimisen tehtävissä. Myös oppimisen ajanjakson vaikutuksesta



(poikittais- vs. pitkittäistutkimukset) taajuuskaistoihin olisi hyvä saada lisätutkimusta. Passiivisen oppimisen näkökulma on muutenkin jäänyt vähälle audiovisuaalisen oppimisen tutkimuksissa. Passiivisen oppimisen on havaittu olevan yhteydessä ihmisen kognitiiviseen kehitykseen; vauvojen on havaittu käyttävän kielen tilastollisia ominaisuuksia sanojen erotteluun (Saffran ym., 1996). Passiivisesta oppimisesta kaivattaisiin lisää tutkimusta, koska toistaiseksi se on keskittynyt pitkälti ihmisen kielelliseen kehitykseen (Saffran, 2010). Olisi tärkeä saada tietää lisää passiivisen oppimisen mekanismeista ja mahdollisista hyödyistä ihmisen kognitiivisessa kehityksessä.

Ihmisaivojen on havaittu toimivan optimaalisesti ympäristössä, jossa vaaditaan usean aistikanavan käyttöä (Shams & Seitz, 2008). Tämän johdosta audiovisuaalisen oppimisen tutkiminen on tärkeää, jotta saadaan lisätietoa ihmisen oppimisprosesseista. Audiovisuaalisen tehtävän yhdistämisen passiiviseen koeasetelmaan tulisikin olla jatkossa yhtenä merkittävänä tutkimuksen kohteena.

## LÄHTEET

- Arnott, S., Bardouille, T., Ross, B. & Alain, C. (2011). Neural generators underlying concurrent sound segregation. *Brain Research*, 1387, 116–124.
- Benfenati, F. (2007). Synaptic plasticity and the neurobiology of learning and memory. *Acta Biomed*, 78(1), 58–66.
- Calvert, G., Hansen, P., Iversen, S. & Brammer, M. (2001). Detection of Audio-Visual Integration Sites in Humans by Application of Electrophysiological Criteria to the BOLD Effect. *NeuroImage*, 14, 427–438.
- Crowley, K. & Colrain, I. (2004). A review of the evidence for P2 being an independent component process: age, sleep and modality. *Clinical Neurophysiology*, 115, 732–744.
- Daume, J., Graetz, S., Gruber, T., Engel, A. & Fries, U. (2017). Cognitive control during audiovisual working memory engages frontotemporal theta-band interactions. *Scientific Reports*, 7, 1–13.
- Friederici, A. (2005). Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 9(10), 481–488.
- Hashimoto, R. & Sakai, K. (2004). Learning Letters in Adulthood: Direct Visualization of Cortical Plasticity for Forming a New Link between Orthography and Phonology. *Neuron*, 42, 311–322.
- Herdman, A., Fujioka, T., Chau, W., Ross, B., Pantev, C. & Picton, T. (2006). Cortical oscillations related to processing congruent and incongruent grapheme-phoneme pairs. *Neuroscience Letters*, 399, 61–66.
- Holmes, G. & Khazipov, R. (2007). Basic Neurophysiology and the Cortical Basis of EEG. *The Clinical Neurophysiology Primer*, 19–33.
- Jia, X. & Kohn, A. (2011). Gamma Rhythms in the Brain. *PLoS Biology*, 9(4), 1–4.
- Kaiser, J., Hertrich, I., Ackermann, H., Mathiak, K. & Lutzenberger, W. (2004). Hearing Lips: Gamma-band Activity During Audiovisual Speech Perception. *Cerebral Cortex*, 15(5), 646–653.
- Karipidis, I., Pleisch, G., Röthlisberger, M., Hofstetter, C., Dornbierer, D., Stämpfli, P. & Brem, S. (2017). Neural Initialization of Audiovisual Integration in Prereaders at Varying Risk for Developmental Dyslexia. *Human Brain Mapping*, 38, 1038–1055.
- Karipidis, I., Pleisch, G., Brandeis, D., Roth, A., Röthlisberger, M., Schneebeli, M., Walitza, S. & Brem, S. (2018). Simulating reading acquisition: The link between reading outcome and multimodal brain signatures of letter-speech sound learning in prereaders. *Scientific Reports*, 8, 1–13.
- Korhonen, T. (2006). Oppimisen neurobiologiset mekanismit. Teoksessa Hämäläinen, H., Laine, M., Aaltonen, O. & Revonsuo, A. *Mieli ja aivot*, 200–211. Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun yliopisto.
- Lee, T.W., Girolami, M. & Sejnowski, T. (1999). Independent Component Analysis Using an Extended Infomax Algorithm for Mixed Subgaussian and Supergaussian Sources. *Neural Computation*, 11(2), 417–441.
- Leppänen, P. & Hämäläinen, J. (2010). Puheen ja kielen aivoperustan mittaus ja kuvantaminen. Teoksessa Korpilahti, P., Aaltonen, O. & Laine, M. (toim.), *Kieli ja aivot*. 1.painos, 68–80. Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun yliopisto.

- Maris, E. & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, *164*, 177–190.
- Marrufo, M., Vaquero, E., Cardoso, M. & Gomez, C. (2001). Temporal evolution of  $\alpha$  and  $\beta$  bands during visual spatial attention. *Cognitive Brain Research*, *12*, 315–320.
- Paiva, T., Almeida, P., Ferreira-Santos, F., Vieira, J., Silveira, C., Chaves, P., Barbosa, F. & Marques-Teixeira, J. (2016). Similar sound intensity dependence of the N1 and P2 components of the auditory ERP: Averaged and single trial evidence. *Clinical Neurophysiology*, *127*, 499–508.
- Perruchet, P. & Pacton, S. (2006). Implicit learning and statistical learning: one phenomenon, two approaches. *TRENDS in Cognitive Sciences*, *10(5)*, 233–238.
- Picton, T., Alain, C., Woods, D., John, M., Scherg, M., Valdes-Sosa, P., Bosch-Bayard, J. & Trujillo, N. (1998). Intracerebral Sources of Human Auditory-Evoked Potentials. *Audiology & Neuro-otology*, *4*, 64–79.
- Romberg, A. & Saffran, J. (2010). Statistical learning and language acquisition. *WIREs Cognitive Science*, *1*, 906–914.
- Saffran, J. (2001). Words in a sea of sounds: the output of infant statistical learning. *Cognition*, *81*, 149–169.
- Saffran, J., Aslin, R. & Newport, E. (1996). Statistical Learning by 8-Month-Old Infants. *Science*, *274*, 1926–1928.
- Schepers, I., Schneider, T., Hipp, J., Engel, A. & Senkowski, D. (2013). Noise alters beta-band activity in superior temporal cortex during audiovisual speech processing. *NeuroImage*, *70*, 101–112.
- Seitz, A., Kim, R. & Shams, L. (2006). Sound Facilitates Visual Learning. *Current Biology*, *16*, 1422–1427.
- Senkowski, D., Schneider, T., Foxe, J. & Engel, A. (2008). Crossmodal binding through neural coherence: implications for multisensory processing. *Trends in Neuroscience*, *31(8)*, 401–409.
- Shams, L. & Seitz, A. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *12(11)*, 411–417.
- Sokhadze, E., Casanova, M., Casanova, E., Lamina, E., Kelly, D. & Khachidze, I. (2017). Event-related Potentials (ERP) in Cognitive Neuroscience Research and Applications. *NeuroRegulation*, *4(1)*, 14–27.
- Teplan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. *Measurement Science Review*, *2(2)*, 1–11.
- van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. (2004). Integration of Letters and Speech Sounds in the Human Brain. *Neuron*, *43*, 271–282.