

**Vieraiden kirjain-äänneyhteyksien oppiminen sekä  
kielellisen työmuistin yhteys oppimistulokseen**

Maisterintutkielma

Aino Sorsa

Jyväskylän yliopisto

Kielten laitos

Soveltava kielitiede

Heinäkuu 2019



## JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta – Faculty Humanistinen tiedekunta	Laitos – Department Kieli- ja viestintätieteiden laitos
Tekijä – Author Aino Leena Sorsa	
Työn nimi – Title Vieraiden kirjain-äänneyhteyksien oppiminen sekä kielellisen työmuistin yhteys oppimistulokseen	
Oppiaine – Subject Soveltava kielitiede	Työn laji – Level Maisterintutkielma
Aika – Month and year Heinäkuu 2019	Sivumäärä – Number of pages 60 + liitteet
<p>Tiivistelmä – Abstract</p> <p>Maisterintutkielmani tarkastelee vieraiden kirjain-äänneyhteyksien harjoittelua ja oppimista kahtena peräkkäisenä päivänä sekä kielellisen työmuistin osuutta oppimistulokseen. Tutkimukseni on tehty osana ChildBrain-tutkimushanketta, joka tutkii lasten kehityksellisiä neurokognitiivisia häiriöitä. Tutkimukseni viitekehys sijoittuu lukutaidon kartuttamisen ja vieraan kielen oppimiseen liittyviin aihealueisiin. Kirjain-äänneyhteyksien oppiminen ja kyvyn automatisoituminen nähdään lukutaidon kehittymisen yhtenä kriittisenä elementtinä. Kyseiset taidot voisivat kuvata myös L2-kielitaidon taustalla toimivaa, eri aistikanavia hyödyntävää multimodaalista kykyä.</p> <p>Tutkimukseni tavoitteena on selvittää käyttäytymisen ja aivojen tasolla, miten harjoittelu kehittyy kohti oppimista ensimmäisenä tutkimuspäivänä, miten yönaikaisen muistijäljen vahvistuminen näkyy oppimistuloksessa sekä millainen on kielellisen työmuistin osuus audiovisuaalisessa assosiaatio-oppimisessa. Audiovisuaalisen assosiaatio-oppimisen tutkimustehtävä koostui samanaikaisesti esitetyistä vieraskielisistä kirjainmerkeistä (visuaalinen ärsyke) ja suomenkielisistä puheäänteistä (auditiivinen ärsyke). Koehenkilöiden tehtävänä oli oppia saamansa palautteen avulla ärsykeparien yhteensopivuuden ongelmat. Kielellisen työmuistin mittareina toimivat kognitiivisia taitoja mittaavan testistön osiot <i>epäsanantoistotesti</i> ja <i>numerosarjat</i>.</p> <p>Tutkimustulokset havainnollistavat aktiivisen harjoittelun myötä tapahtuvaa oppimista niin käyttäytymisen kuin aivojen tasolla. Yön aikaisen muistijäljen vahvistuminen on todennettavissa oppimistuloksessa oppimisen syventymisenä molemmilla tarkastelun alla olevilla tasoilla. Käyttäytymisen tasolla tarkasteltiin tehtävässä suoriutumista vastausten oikeellisuuden sekä vastausten antamiseen kuluneen reaktioajan muutosten kautta. Aivotasolla mitattua, oppimista kuvaavaa kongruenssiefektiä tarkasteltiin eri oppimisen vaiheisiin liittyvissä tilanteissa. Näitä olivat tilanteet ennen oppimista, oppimisen tapahduttua ja harjoittelua seuraavan päivän oletetussa oppimisen syventymisen tilanteessa. Kielellisen työmuistin yhteys tutkimustehtävässä suoriutumiseen ei ollut todennettavissa.</p> <p>Tutkimukseni voi toimia inspiraation lähteenä kielenopetuksessa tarjoamalla tietoa multimodaalisen oppimisen tapahtumista työni kontekstissa. Kielitaidon kehittämisessä ja opettamisessa aistihavaintoja hyödyntämällä voi olla edullisia vaikutuksia oppimiseen. Myös yön merkityksen todentaminen oppimistuloksessa voi antaa pohjan tarkastella tehtävien ja uusien opettettävien asioiden ajoitusta.</p>	
<p>Asiasanat – Keywords MEG-tutkimus, kirjain-puheäännevastaavuus, lukutaito, L2-oppiminen, kielellinen työmuisti, muistin konsolidaatio, kongruenssiefekti</p>	
<p>Säilytyspaikka – Depository Jyväskylän yliopisto, kielen laitos</p>	
<p>Muita tietoja – Additional information Monitieteinen tutkielma, jossa yhdistyvät psykologian ja soveltavan kielitieteen tieteenalat.</p>	

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b> .....	5
1.1 Aikaisempi tutkimus.....	7
1.2 Tutkimuskysymykset.....	10
1.3 Tutkielman rakenne .....	11
<b>2 KIRJAIN-ÄÄNNEYHTEYKSIEN OPPIMISESTA</b> .....	12
2.1 Audiovisuaalinen tiedonkäsittely lukutaidon edellytyksenä .....	12
2.2 Kielellisten toimintojen sijoittuminen aivoissa .....	13
2.2.1 Kielellisiin toimintoihin spesifioituneet aivokuoren alueet .....	13
2.2.2 Audiovisuaaliseen integraatioon yhdistetyt aivoalueet.....	15
2.3 Kohti kirjain-äänneyhteyksien oppimista .....	18
2.3.1 Resurssina (kielellinen) työmuisti .....	18
2.3.2 Fonologinen silmukka porttina kielelliselle informaatiolle .....	20
2.3.3 Siirtyminen pitkäkestoiseen muistiin: Muistin konsolidaation prosessi .....	21
2.4 Kirjain-äänneyhteyksien oppimisen indeksit .....	22
<b>3 MATERIAALI JA MENETELMÄT</b> .....	24
3.1 Koehenkilöt.....	24
3.2 Aineiston keruumenetelmät .....	25
3.2.1 Kognitiivinen testaus .....	25
3.2.2 MEG-tutkimus .....	26
3.3 Tutkimustehtävät .....	30

3.3.1 Kognitiivisten taitojen testistö.....	30
3.3.2 MEG-tutkimustehtävä .....	32
3.4 Aineiston analyysi .....	35
<b>4 TULOKSET</b> .....	<b>38</b>
4.1 Harjoittelun vaikutus ensimmäisenä tutkimuspäivänä.....	38
4.1.1 Käyttäytymisen tasolla havaittavat vaikutukset .....	38
4.1.2 Aivojen tasolla havaittavat vaikutukset .....	40
4.2 Yön aikaisen levon vaikutus oppimiseen.....	42
4.2.1 Käyttäytymisen tasolla havaittavat vaikutukset .....	42
4.2.2 Aivojen tasolla havaittavat vaikutukset .....	44
4.3 Kielellisen työmuistin yhteys tehtävässä suoriutumiseen.....	45
<b>5 POHDINTA</b> .....	<b>48</b>
5.1 Oppimisen tapahtumasta.....	49
5.2 Kielellisen työmuistin osuus .....	52
5.3 Lopuksi .....	54
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	<b>56</b>
<b>LIITTEET</b> .....	<b>61</b>

# 1 JOHDANTO

Tutkin käsillä olevassa maisterintutkielmassa aktiivisen audiovisuaalisen oppimisen kulkua kahtena peräkkäisenä päivänä sekä kielellisen työmuistin merkitystä oppimistulokseen. Tarkastelun kohteena on vieraskielisten kirjainmerkkien ja äidinkielen puheäänteiden välisten assosiaatioiden harjoittelu ja oppiminen. Tutkimuksen tavoite on selvittää, millaisia muutoksia lyhytaikainen ja aktiivinen harjoittelu aiheuttaa aivoissa ja käyttäytymisessä kahden tutkimuspäivän aikana. Lisäksi tutkin, millainen on henkilökohtaisen työmuistin rooli kontekstin mukaisessa oppimistuloksessa. Tutkimus sisältää aivotutkimuksen menetelmien lisäksi erilaisia kognitiivisia taitoja mittaavia testejä.

Audiovisuaalisen integraation tutkimusotteet näyttäisivät jakautuvan karkeasti sen mukaan, millaista audiovisuaalista ärsykettä tutkimustehtävässä on käytetty, ja onko tehtävien edellyttämän harjoittelun luonne aktiivista vai passiivista. Vanhemmassa tutkimusperinteessä auditiivisena ärsykkeenä on yleisimmin ollut puheäänteiden yhdistyminen ihmiskasvojen, esim. huulten liikkeiden visuaaliseen informaatioon (esim. Calvert ym., 2000; Wright ym., 2003). 2000-luvulla on alettu kiinnostua yhä enemmän kirjoitetun kielen taustamekanismeista. Tällöin tutkimuksen kohteena ovat kirjainten tai kirjainmerkkien ja niitä vastaavien puheäänteiden väliset assosiaatiot (esim. Raij ym., 2000; Hashimoto ja Sakai, 2004).

Kirjoitus on kulttuurinen keksintö, ja siihen liittyvän kyvyn, *lukutaidon*, aivot ovat joutuneet kulttuurisen kehityksen myötä tuottamaan. Kyvyn yhdistää kuultu äänne ja nähty kirjainmerkki toisiinsa on todettu olevan alfabeettisen lukutaidon hankkimisen ja kartuttamisen keskeinen mahdollistaja (Froyen ym., 2008; Blomert, 2011). Tämän taidon puute tai vaikeudet on esitetty mm. kehityksellisen dysleksian yhdeksi taustalla olevaksi ongelmaksi (mm. Norrix ym., 2006 & 2007). Perinteisesti audiovisuaalisen integraation ilmiöitä tutkitaankin kielellisten kehityshäiriöiden, kuten kehityksellisen dysleksian yhteydessä. Tyypillisenä tutkimusryhmänä toimii joko dysleksiasta kärsivät tai tähän korkean riskin omaavat lapset, mikä tarkoittaa yleensä

vahvaa sukurasitetta. Tutkielmassani tarkastelen näiden kahden eri aistikanavan (visuaalinen ja auditiivinen) välityksellä havaittavien ärsykkeiden yhdistymistä tutkimushenkilöillä, joiden lukutaito on normaalisti kehittynyt.

Normaalisti kehittyneessä lukutaidossa multimodaalisen ärsykkeen välisten assosiaatioiden tunnistaminen ja hallitseminen ovat automatisoituneita (Blomert, 2011). Tutkin työssäni sujuvan lukutaidon omaavia aikuisia koehenkilöitä, ja heidän suoriutumistaan kaksipäiväisessä audiovisuaalisen oppimisen tutkimustehtävässä. Tarkastelun alla on suomenkielisten puheäänteiden ja vieraskielisten kirjainmerkkien välille opetettavat assosiaatiot. Näiden välille opetetaan myös, miten ne sopivat yhteen. Ärsykeparit joko vastaavat toisiaan (kongruentti pari), eivät vastaa toisiaan (inkongruentti pari) tai yhteensopivuus jätetään avoimeksi (kontrolliärsyke). Audiovisuaalisen oppimisen tapahtumien tarkastelussa olennaista on määrittää kyky, jolla aivot erottelevat ärsykeparien yhteensopivuuden ongelmat. Tämän lisäksi huomion kohteena on se, miten harjoittelua seuraavan yön aikainen muistijälkien vahvistuminen on vaikuttamassa seuraavan päivän oppimistulokseen, sekä millainen on kielellisen työmuistin merkitys tutkimustehtävässä suoriutumisessa.

Maisterintutkielmani on tehty väitöskirjahankkeessa, joka on osana suurempaa Child Brain-tutkimushanketta ([www.childbrain.eu](http://www.childbrain.eu)). ETN: n (European Training Network) alaisuudessa työskentelevän projektin tarkoitus on edistää tohtorikoulutettavien neurokognitiivista tietämystä lapsista, joilla on jokin normaalin kielellisen kehityksen ongelma, tai suuri riski siihen. Väitöstyö audiovisuaaliseen prosessointiin liittyvistä aivotason mekanismeista on kestänyt muutaman vuoden, ja sen viimeisenä vaiheena on käsillä oleva, aktiivisen oppimisen MEG -tutkimus. Hankkeessa tutkitaan multimodaalisen ärsykkeen yhdistymiseen liittyviä aivotason tapahtumia ja lähteen paikannusta audiovisuaalisen oppimisen hetkellä ja sen jälkeen.

Työni luonne on monitieteinen, sillä siinä yhdistyvät soveltavan kielitieteen ja psykologian tieteenalat. Tutkimusongelmien tarkastelu tapahtuu kognitiivisen neurotieteen tutkimukselle tyypillisin ottein, mutta sijoittuu aihealueeltaan myös kielitieteeseen. Näin on siksi, että huomioon sellaisia kielellisen prosessoinnin mekanismeja, jotka liittyvät lukutaidon kartuttamisen ohella myös uuden kielen (L2) oppimiseen. Niin lukutaidon kehittymisessä kuin vieraan kielen

oppimisessa, työmuistin täytyy samanaikaisesti ylläpitää informaatiota ja suoriutua kognitiivisista haasteista. Kormoksen ja Sáfárin (2008) mukaan lukutaitoon ja vieraan kielen oppimiseen liittyvät prosessit ovat tämän näkökulman kautta verrattavissa toisiinsa. (Kormos ja Sáfár, 2008.)

Tutkimuksen anti sijoittune kielitieteen puolella kielen oppimisen ja opettamisen kenttään. Kielten opetuksen kannalta tutkimustulokset voivat antaa viitteitä mm. siihen, miten ajoittaa ja asettaa tehtävät oppitunnilla niin, että saavutettavissa olisi oppimisen ympäristö, jossa levon vaikutukset on otettu optimaalisesti huomioon. Toisaalta tutkimustulokseni voivat haastaa yksittäisiä oppijoita pohtimaan omia henkilökohtaisia strategioitaan ja esim. levon vaikutusta opiskeluun. Lisäksi toivon tutkielmani toimivan jonkinlaisena siltana psykologian ja kielten tutkimuksen välillä: kenties yhä useampi intoutuu tekemään lopputyönsä monitieteisenä, minkä uskon olevan tulevaisuuden luonteen ydin niin koulu-, tutkimus-, kuin yritysmaailmassa.

## **1.1 Aikaisempi tutkimus**

Työni kannalta keskeisimpiä tutkimuksia ovat kaksi seuraavaa audiovisuaalisen integraation tutkimusta. Ensimmäisenä audiovisuaalisen integraation tutkimuksessa kirjaimia ja puheäänteitä käyttänyt MEG -tutkimus (Raij ym., 2000), ja toiminnallisen magneettikuvantamisen (fMRI) keinon toteutettu kirjainten ja puheäänteiden välisiä assosiaatioita tarkastellut tutkimus (Hashimoto ja Sakai, 2004) ovat lähimpänä tutkimukseni huomion kohdetta ja koeasetelmaa.

Raij kollegoineen (2000) tutki aikuisilta uni- ja bimodaalisesti esitettyjen audiovisuaalisten ärsykkeiden aiheuttamia magneettisia aiovasteita. Ärsykkeet koostuivat 20:sta suomen kielen puheäänteistä ja niitä vastaavista kirjaimista. Kontrolliärsykkeet koostuivat 20:stä erilaisesta, puheeksi tai kirjaimiksi tunnistamattomista auditiivisista ärsykkeistä sekä 20:stä visuaalisesta merkistä. Koehenkilöt olivat suomenkielisiä, 22–32-vuotiaita sujuvan lukutaidon omaavia tutkittavia. Tutkimusasetelma oli yksipäiväinen aktiivisen toimimisen tilanne. Tutkimuksen tulokset olivat osaltaan avaamassa uutta ymmärrystä aivokuoren alueiden välisestä yhteistyöstä objektin tunnistamisen tutkimuksessa. (Raij ym., 2000.)



Tutkimuksen tulokset multimodaalisen ärsykkeen aivotason havaitsemisesta ja prosessoinnista tiivistyvät neljän eri aikaikkunan tapahtumiin. Noin 60–120 millisekunnin kohdalla ärsykkeen esittämisen ajankohdan jälkeen havaittu tapahtuma on tutkimuksessa tulkittu sensorisilta kuorialueilta peräisin olevaksi modaliteetti-spesifiksi aktivaatioksi, jossa aivot tulkitsevat ärsykkeen luonteen. Seuraava, noin 225 millisekunnin kohdalla ilmaantuva aktivaatio lateraalaisella keskitemporaalisella korteksilla on kuvattu kohdaksi, jossa visuaalinen ja auditiivinen aktivaatio yhdistyvät.

Myöhempien aikaikkunoiden aikaiset tapahtumat sisälsivät ärsykkeen spesifioituneempaa käsittelyä. Noin 280 millisekuntia ärsykkeen esittämisen jälkeen, oli havaittavissa oikeanpuoleisella temporo-okkipitaalis-parietaalisilla alueilla auditiivisen ja visuaalisen responssin vuorovaikutusta. Ohimolohkoilla sijaitsevalla superiooris-temporaalisen uurteen (STS) alueella oli havaittavissa yhteensopivan ja ei-yhteensopivan audiovisuaalisen parin vuorovaikutuksen tapahtumia. Aktivaatio näkyi ensin vasemmanpuoleisella (380–540 ms) ja sitten oikeanpuoleisella (450–535 ms) STS:n alueella. Heidän mukaan tulokset olisivat tulkittavissa siten, että assosiaatioiden oppimisen taustalla toimisi tietynlainen STS-alueen hermostollinen uudelleenorganisointumien. (Raij ym., 2000.)

Muutamaa vuotta myöhemmin Hashimoto ja Sakai (2004) täydensivät tarkan paikallisen resoluution omaavalla fMRI-tutkimuksella kirjainmerkkien ja puheäänteiden prosessoinnin aiheuttamia aivoaktivaatioita. Heidän tutkimuksensa oli kaksipäiväinen ja se sisälsi lyhyen aktiivisen harjoittelun jakson. He tutkivat audiovisuaalista yhdentymistä kahdessa eri tilanteessa. Ensiksi he tutkivat japaninkielisillä koehenkilöillä japaninkielisten puheäänteiden ja kirjainmerkkien välisiä assosiaatioita. Toiseksi he tutkivat, millaisia aivoaktivaatioita seuraa tilanteissa, joissa koehenkilön äidinkielen puheäänteisiin opitaan uusia visuaalisia yhteyksiä. Tähän he käyttivät koreankielisiä merkkejä visuaalisena ärsykkeenä. Kontrollitilanteen ärsykkeet eivät sisältäneet puheäänteitä eikä kirjainmerkkejä, vaan ne koostuivat erilaisista äänistä ja muodoista. (Hashimoto ja Sakai, 2004.)

Hashimoto ja Sakai (2004) havaitsivat eroavaisuuksia aktivaatioalueissa mm. siinä, millainen suhde koehenkilöllä on tehtävien sisältämään kielelliseen materiaaliin. Oman äidinkielen kirjainten ja puheäänteiden välisten yhteyksien prosessoinnissa aktiivisina olivat pääosin molemminpuoliset STG (superioorinen temporaalipoimu) ja MTG (keskitemporaalinen poimu), kuin myös vasemmanpuoleinen fusiforminen alue. Tilanteessa, jossa opittiin oman äidinkielen äänteisiin uusia vieraskielisiä kirjainmerkkejä, olivat aktiivisina erityisesti vasemmanpuoleinen inferiooris-temporaalinen poimu (PITG) ja parieto-okkipitaalinen alue (PO). (Hashimoto ja Sakai, 2004.)

Tutkimuksessa havaittiin tämän lisäksi eroavaisuuksia aktivaatioissa eri päivien välillä. Tutut audiovisuaaliset assosiaatiot aiheuttivat uusiin kirjain-äänneyhteyksiin nähden suurempaa aktivaatiota vasemmanpuoleisen fusiformisen poimun alueella molempina päivinä. Oman äidinkielen kirjaimiin tuttuja puheäänteitä liitettäessä, ei PITG: n tai PO: n alueen aktivaatioissa ollut kumpanakaan päivänä havaittavissa merkittäviä eroavaisuuksia. Toisin kuin tilanteessa, jossa bimodaalisen ärsykkeen assosiaatiot ovat uusia, PO: n alueen aivovasteet kasvoivat huomattavasti harjoittelua seuraavana päivänä. (Hashimoto ja Sakai, 2004.)

Hashimoto ja Sakai päättelivät havaintojensa perusteella, että aikuisilla uusien kirjainten ja puheäänteiden välisten linkkien perustana toimisi tietynlainen aivojen toiminnallinen muovautumiskyky, joka mahdollistaisi oppimisen. Heidän tuloksissa tämä näyttäytyi tiettyjen aivoalueiden välisenä vahventuneena vuorovaikutuksena (PO ja PITG) sekä aktivaation kasvuna tehtävässä parantuneen suoriutumisen seurauksena (PITG). (Hashimoto ja Sakai, 2004.)

## 1.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimusongelmani täsmentyivät kolmeen alla listattuun kysymykseen. Tarkastelin jokaisen tutkimusongelman mukaisia tapahtumia kahdella tasolla, sekä käyttäytymisen että aivoista havaittavien tapahtumien kautta. Oppimista kuvaavat mittarit ovat kontekstin mukaista oppimista indikoivia tekijöitä, jotka esittelen myöhemmin (ks. kpl 2.4 Kirjain-äänneyhteyksien oppimisen indeksit).

1. Millainen on harjoittelun kehitys kohti oppimistulosta ensimmäisenä päivänä?
2. Miten yön aikainen muistijälkien vahvistuminen vaikuttaa oppimistulokseen?
3. Millainen on kielellisen työmuistin rooli aktiivisen kirjainten ja puheäänteiden välisten yhteyksien oppimisessa?

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen kohteena oli harjoittelun kehitys kohti oppimistulosta ensimmäisenä tutkimuspäivänä. Oppimistulos tarkoittaa työssäni tutkimustehtävässä harjoitettavien kirjainten ja puheäänteiden välisten assosiaatioiden harjoittelun tuotosta. Oppimiseen liittyviä tapahtumia on mahdollista käyttäytymisen tasolla todentaa vastausten oikeellisuudesta (engl. accuracy) sekä reaktioajasta (engl. reaction time), joka kuuluu kysymyksen esittämisestä vastauksen antamiseen. Aivoissa havaittavia oppimismuutoksia tarkastelen vertaamalla audiovisuaalisen ärsykeparin yhteensopivien ja ei-yhteensopivien tilanteiden aiheuttamia aiovasteita toisiinsa (ks. tehtävän tarkempi kuvaus, luku 3.3.2).

Toinen tutkimusongelma käsittelee yönaikaisen muistijälkien vahvistumisen vaikutusta oppimiseen. Tarkastelen ensimmäisestä toiseen tutkimuspäivään siirtymisen seurauksena tapahtuvia oppimiseen liittyviä muutoksia. Kolmas ongelma keskittyy selvittämään kognitiivisen testisarjan kielellistä työmuistia mittaavien tehtäväosasten ja tutkimustehtävässä menestyksekkään suoriutumisen välillä vallitsevia korrelaatioita.

### 1.3 Tutkielman rakenne

Avaan ensimmäisessä pääluvussa (2.1) audiovisuaalisen integraation tapahtumaan vahvasti liitettävän lukutaidon käsitettä yhtenä kielellisen prosessoinnin muotona. Esittelen tyypillisten kielellisten toimintojen sijoittumisen aivokuorella. Tämän jälkeen kerron, miten neurotieteellisissä tutkimuksissa on paikannettu kirjainten ja äänneiden yhdistymisen tapahtumat aivokuorella.

Kielellisen työmuistin (Baddeley ja Hitch, 1974) on todettu olevan suuressa roolissa kielellisen informaation prosessoinnin kysymyksissä, ja tähän liittyvää teoriaa käsittelen toisessa pääluvussani *Kohti kirjain-puheäänne-assosiaatioiden oppimista*. Unen ja unen kaltaisen tilan aikaisten tapahtumien on todettu mahdollistavan muistijäljen vahvistumisen (Squire ym., 2015), ja lopuksi tarkastelenkin harjoittelun tuotoksen laatua (oppimistulos) indikoivia tekijöitä (luku *Kirjain-äänneyhteyksien oppimisen indeksit*).

Työni toisessa pääluvussa esittelen käyttämämme materiaalin sisällön sekä aineiston keruussa ja analysoimisessa käytetyt menetelmät. Kolmannessa pääluvussa raportoin tutkimuksen tulokset. Viimeisessä pääluvussa esitän keskeiset johtopäätökset ja pohdin yhteenvedon muodossa tutkimuksen antia ja merkitystä laajemmassa mittakaavassa sekä avaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

## **2 KIRJAIN-ÄÄNNEYHTEYKSIEN OPPIMISESTA**

### **2.1 Audiovisuaalinen tiedonkäsittely lukutaidon edellytyksenä**

Kielitieteen perinteisen näkemyksen mukaan kielen primaari muoto on puhe, kun taas kielen sekundäärinen muoto käsittää kirjoituksen. Puhe on tärkeää yksilönkehityksen kannalta. Se opitaan pääosin lapsuudessa spontaanin vuorovaikutuksen ohella. Tätä ensisijaista kielen kehitystä seuraa sen myöhäisempi kulttuurinen keksintö, kirjoitus. Kirjoitetun kielen tulkinnan edellytys on lukutaito, joka opitaan usein jonkinasteisessa ohjauksessa tai opetuksessa. Tarkastelen työssäni audiovisuaalisen tiedonkäsittelyn tapahtumia lukutaidon ja L2-kielen oppimisen näkökulmista.

Neurotiede lähestyy kielen havainnoimiseen liittyvää prosessointia aistihavaintojen kautta ja on kiinnostunut mm. siitä, miten kahden eri aistikanavan (kuulo ja näkö) välityksellä saavutettava informaatio yhdistyy ja prosessoituu aivoissa. Puheen aivomekanismit nähdään biologisen evoluution tuotteena, kun taas kirjoitetun kielen tapahtumat ovat monimutkaisempia niin syntyperältään kuin kehitykseltäänkin. Kirjoitetun, alfabeettisen kielen prosessointiin spesialisoituneiden aivomekanismien tutkimus lähtee liikkeelle alfabeettisistä periaatteista (Lieberman ym., 1989), joiden mukaan lukutaito alkaa kielen kirjain-äännevastaavuuksien oppimisesta. Toisin sanoen, lukutaidon edellyttämää kielellistä prosessointia tarkastellessa on selvitettävä, miten kulttuurisesti kehittynyt kirjoituksen systeemi representoi jo saavutetun luonnollisen puheen systeemiä (Van Atteveldt ym., 2009).

Lukemaan oppiminen on prosessi, joka koostuu monista eri vaiheista. Kuten edellä käy ilmi, alfabeettisen kielen lukutaidon mahdollistavana vaiheena nähdään kirjainten tai kirjainyhdistelmien ja puheäänteiden välisten assosiaatioiden oppiminen ja vakiinnuttaminen (mm. Froyen ym., 2008; Blomert, 2011). Tämän taidon puute on ehdotettu mm. kehityksellisen dysleksian yhdeksi ydinongelmaksi (esim. Norrix ym., 2006 & 2007). Normaalioloissa ja transparenteissa kielissä lukemaan aloittava oppii kuitenkin nopeasti kirjainten ja äänteiden väliset vastaavuudet. Blomertin (2011) mukaan näiden vastaavuuksien tunteminen ei vielä riitä sujuvan

lukutaidon saavuttamiseksi, vaan näiden välisten assosiaatioiden on automatisoiduttava, jotta lukutaitoa on mahdollista kehittää (Blomert, 2011).

Kirjainten ja äänteiden välisten yhteyksien integroituminen automaattiseksi niin, että ne vakiintuvat uusina kestävinä audiovisuaalisina rakenteina, vaatii aikaa ja harjoittelua. Audiovisuaaliseen integraatioon osallistuvat tärkeät aivoalueet on paikallistettu pääosin temporaalisen aivokuoren tuntumaan ja sen lähialueille (kts. esim. Amedi ym., 2005). Kuitenkin lukutaitoa ja vieraan kielen oppimista kokonaisuudessaan tarkasteltaessa on hyvä muistaa, että monimutkaisissa kognitiivisissa toiminnoissa on läsnä usean eri hermoverkon ja aivoalueen osallistuminen ja sitoutuminen toimintaan (Engel ym., 2001).

## **2.2 Kielellisten toimintojen sijoittuminen aivoissa**

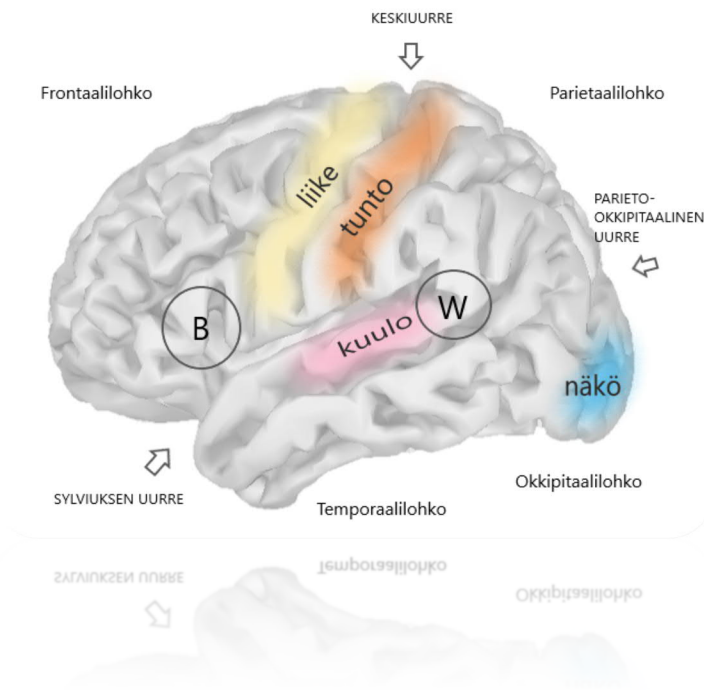
### **2.2.1 Kielellisiin toimintoihin spesifioituneet aivokuoren alueet**

Isot aivot jakautuvat neljään lohkoon: otsalohkoon (engl. frontal lobe), pääläenlohkoon (engl. parietal lobe), takaraivolohkoon (engl. occipital lobe) ja ohimolohkoon (engl. temporal lobe). Lohkoja on rajaamassa otsalohkon ja pääläenlohkon välissä keskiuurre (engl. central sulcus) sekä otsalohkon ja ohimolohkon välissä sylviusen uurre (engl. sylvian Fissure). Parietaalilohkon ja takaraivolohkon erottaa parietaalio-okkipitaalinen uurre (engl. parieto-occipital sulcus). Käytän työssäni nimityksiä frontaali- parietaali- okkipitaalinen- ja temporaalilohko nimitysten vakiintuneen käyttötavan vuoksi alan kontekstissa.

Jokaisella aivokuoren alueella on oma päävastuullinen tehtäväalueensa. Frontaalilohkon etuosa vastaa mm. toiminnan ja huomion suuntaamisesta, kun sen takaosaan sijoittuva motorinen aivokuori hallinnoi mm. liikkeitä. Parietaalilohkolla sijaitsee mm. aivojen somatosensorinen alue, joka käsittelee tuntoaistimuksia. Okkipitaalilohkolla sijaitsevat mm. näkötoiminnoista, ja temporaalilohkolla mm. kuulotoiminnoista vastaavat alueet. Edellä tehty jako on karkea ja tämän lisäksi jokainen rajattu alue on toiminnallisuudelta ja yhteyksiltä paljon muutakin. (ks. esim. Baars ja Gage, 2010: 145-148.)

Yksi aivojemme tärkeä rakenteellinen ominaisuus on aivopuoliskojen välinen asymmetria. Vaikka aivot ovat molemmilta puoliskoilta rakentuneet anatomisesti samankaltaisiksi, ne eivät ole täysin symmetriset. Riippuen tarkasteltavasta aiheesta, niissä voi olla alueittain huomattaviakin eroja mm. koon, muodon ja toimintojen suhteen. Aivojen lateralisaatio, eli aivopuoliskoiden erikoistuminen tiettyihin toimintoihin ja informaation käsittelytapoihin, on merkittävä myös kielellisten toimintojen kannalta. Geschwind kollegoineen (1960) havaitsi vasemman puoleisen ohimopinnan (engl. planum temporale) huomattavasti vastaavaa oikeanpuoleista aluetta kookkaammaksi. Tämä löydös vaikutti osaltaan johtopäätökseen, että aivojen vasen puoli dominoisi kielellisissä toiminnoissa (Geschwind ym., 1960).

Voidaan siis ajatella, että kielelliset toiminnot, kuten puheen havaitseminen, ymmärtäminen ja tuottaminen, sijoittuvat tyypillisesti vasemmalle aivopuoliskolle, kun oikea aivopuolisko toimii tärkeänä hienosäätäjänä ja merkitysvihjeiden tulkitsijana (Purves ym., 2005: 654). On olemassa kuitenkin havaintoja kätisyyden aiheuttamista poikkeuksista, joissa vahvasti oikeakätisillä oli todennäköisyys oikeanpuoleisen aivopuoliskon dominanssista 4%, kun vastaava lukema vahvasti vasenkätisillä oli 27% (Knecht ym., 2000). Huolimatta kätisyyden aiheuttamista mahdollisista poikkeuksista, tarkastelen tässä kappaleessa vasemman aivopuoliskon osuutta kielen prosessoinnissa sen todennäköisemmän esiintyvyyden perusteella. Seuraavassa kuvassa (kuva 1) on havainnollistettu tyypilliset kielellisistä toiminnoista vastaavat aivoalueet.



**Kuva 1** | Aivojen anatominen rakentuminen ja kielelliset toiminnot. Ympyröity *B* on kuvaamassa Brocan, ja ympyröity *W* Wernicken alueiden sijoittumista aivokuorella.

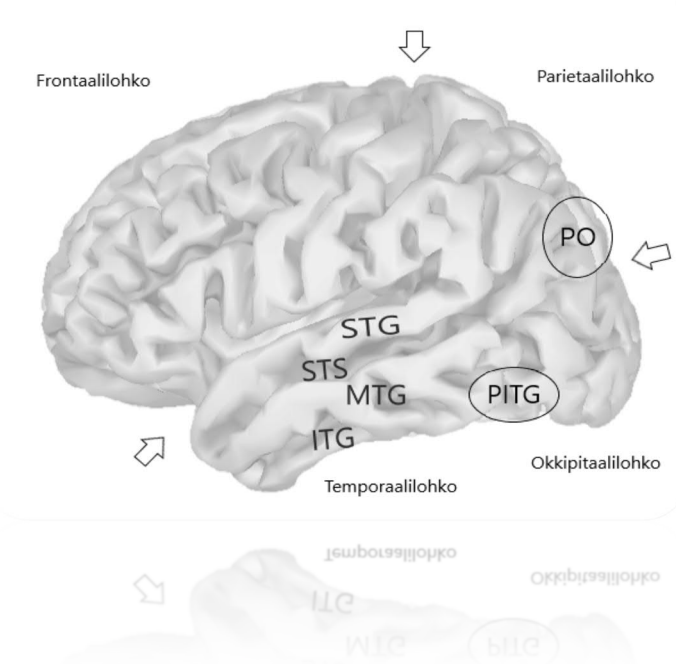
Tyypillisiksi kielellisiksi aivoalueiksi lukeutuu otsalohkolla sijaitseva *Brocan alue* (engl. Broca's area) ja ohimolohkolla sijaitseva *Wernicken alue* (engl. Wernicke's area) (kuva 1). Brocan alue rajautuu *Sylviuksen uurteen* yläpuolelle lähelle aivojen motorisia alueita, ja sen on todettu olevan elintärkeä puheen tuottamisen prosesseissa. Taaemmaksi aivojen auditiivisten assosiaatioalueiden tuntumaan sijoittuva Wernicken alue on liitetty puheen ymmärtämiseen. Motorista aivokuorta tarvitaan luonnollisesti mm. puheen tuottamisessa, kun taas auditiivisia assosiaatioalueita kuuloaistin kautta välittyvän informaation havaitsemisessa ja vastaanottamisessa. (Purves ym., 2005: 637-639.) Näiden alueiden lisäksi on kirjo alueita, joiden merkitys vaihtelee kontekstista riippuen. Vaikka tietyt alueet ovat spesifioituneet omiin tehtäväalueisiinsa, on kokonaisuuden hahmottamisessa usean eri aivoalueen ja hermoverkon vaikutus mukana.

## 2.2.2 Audiovisuaaliseen integraatioon yhdistetyt aivoalueet

Puheen ymmärtämisen tutkimuksessa audiovisuaalinen kieli välittyy pääosin ihmiskasvoista (huulten liikkeet) ja niiden välittämistä puheäänneistä. Tämän tyyppisen audiovisuaalisen integraation tutkimuksessa on kuitenkin havaittu puhujan välittämän visuaalisen informaation



yksistään aktivoivan auditiivista aivokuorta (Campbell, 2008). Kasvojen liikkeiden ja näistä välittyvien puheäänteiden väliset assosiaatiot on opittu implisiittisesti, ja jo varhaislapsuudessa, jolloin pelkästään tämän asetelman nähdään säättävän puheen prosessointia (Amedi ym., 2005). Tästä syystä tarkastelen ainoastaan kirjainten ja puheäänteiden välisten assosiaatioiden prosessointiin keskittyneitä audiovisuaalisen integraation tutkimustuloksia, joista tutkimukseni kannalta oleellimmat alueet ovat esitettynä kuvassa 2.



**Kuva 2** | Audiovisuaalisen integraation tapahtumissa aktivoituvat aivoalueet. Ympyröidyt PO ja PITG osoittavat aktiivisuutta vieraita assosiaatiota opeteltaessa (Hashimoto ja Sakai, 2004). Ohimopinta ja Heschlin uurre sijoittuvat temporaalilohkon kuuloalueille, ja aivojen fusiforminen alue PITG:n tuntumaan.

Kirjainten ja puheäänteiden prosessoinnin ja yhdistymisen on havaittu tapahtuvan ensisijaisesti seuraavaksi mainituilla alueilla. Aivojen ohimopinnan (engl. Planum Temporale, PT) ja Heschlin uurteen (engl. Heschl's sulcus) on todettu olevan merkittävässä osassa audiovisuaalisen ärsykkeen prosessoinnissa (Van Atteveldt ym., 2004; Van Atteveldt ym., 2009). Tämän tutkimuksen kannalta kiinnostavimmat alueet sijoittuvat ohimolohkon poimuihin ja uurteisiin: superioorisen temporaaluurteen (engl. Superior Temporale Sulcus, STS) ja -poimun (engl. Superior Temporal Gyrus, STG), keskitemporaalisen poimun (engl. Middle Temporal Gyrus) sekä inferioorisen temporaalipoimun (engl. Inferior Temporal Gyrus, ITG) on havaittu olevan keskeisessä roolissa monenlaisissa koeasetelmissa audiovisuaalisen integraation tutkimuksessa (Amedi ym., 2005).

Näiden alueiden lisäksi on inferiooris-temporaalisen hermoverkon takaosan (PITG) ja parietaalisen okkipitaalilohkon alueiden (PO) esitetty liittyvän vieraiden kirjain-puheäänne-parien yhdistymiseen (Hashimoto ja Sakai, 2004).

Ohimopinta ja Heschlin uurre liitetään puheäänteiden prosessointiin, kun aivojen takaosan, kuten fusiformisen alueen nähdään olevan merkittävä visuaalisten kirjainten prosessoinnissa. (Van Atteveldt ym., 2004 & Amedi ym., 2005.) Fusiform-poimun toiminta liitetään vanhojen hermoverkkojen kierrättämiseen, ja näin uusien taitojen oppimiseen (Dehaene ja Cohen, 2011). Nykytiedon valossa näyttää siltä, että alueen toiminta muuttuu vasta ajan, kenties kuukausien kuluessa harjoittelun jatkuessa. Esimerkiksi lapsilla, jotka eivät ole oppineet vielä lukemaan, ei tätä kirjaimiin spesifioitunutta aktiivisuutta ole havaittavissa (Cohen ym., 2000). Tutkijat ovat silti kiinnostuneita löytämään kyseisen alueen aktivaatiota myös lyhyen aikavälin tapahtumissa, jotka liittyvät uuden tiedon omaksumiseen.

Superioorisen temporaalipoimun (STG) on osoitettu liittyvän vahvasti kielen, kuulemisen ja puhumisen prosessointiin (Howard ym., 2000). Erityisesti se yhdistetään puheen korkeampaan prosessointiin, kuten foneettisen informaation käsittelyyn (Mesgarani ym., 2014). Superioorinen temporaaluuurre (STS) on monimuotoinen aivojen rakenne. Se on yhdistetty niin mielen teoriaan (Theory of Mind), liikkeen, puheen ja kasvojen prosessointiin sekä audiovisuaalisen integraation tapahtumiin. STS- alueen monipuolisen toiminnallisuuden määrittäjäksi eri kognitiivisten prosessien yhteydessä on ehdotettu muiden samanaikaisesti aktivoituvien aivoalueiden vaikutus. (Hein ja Knight, 2008.) Audiovisuaalisen integraation kontekstissa STS nähdään yhdessä MTG:n kanssa olevan erikoistunut yhdistämään samanaikaisesti, eri lähteistä saapuvia aistimuksia toisiinsa (Beauchamp ym., 2004).

Inferioorinen temporaalipoimu sijoittuu keskitemporaalisen poimun alapuolelle. Alueen toiminta keskittyy visuaalisten objektien tunnistamiseen ja prosessointiin (Kolb ja Whishaw, 2014). Tämän alueen takaosa on yhdistetty muun muassa oikeinkirjoitukseen (Rapcsak ja Beeson, 2004) sekä sanojen mielessä toistoon ja kirjoituksen kielispesifiin hermostolliseen organisoitumiseen (Nakamura ym., 2000). Parieto-okkipitaalinen alue sijoittuu parietaali- ja okkipitaalilohkon välille ja on yhdessä posteriorisen inferiooris-temporaalipoimun kanssa yhdistetty vieraan kielen

kirjainmerkkien ja äidin kielen puheäänteiden välisten assosiaatioiden prosessointiin (Hashimoto ja Sakai, 2004).

## 2.3 Kohti kirjain-äänneyhteyksien oppimista

Millaisella menestyksellä kirjain-puheäänneyhteydet opitaan, vaihtelee yksilöiden välillä. Kielellisen työmuistin kapasiteetissa on yksilöllisiä eroja, ja tämän lyhytkestoisen muistityypin oletan refleктоivan harjoittelun sujuvuutta, oppimismenoa sekä kehittyneempää pitkäkestoista tuotosta työni kontekstissa. Näin kielellisen työmuistin ominaisuudet toimivat yksilön resurssina multimodaalisissa, kielellistä prosessointia vaativissa tehtävissä.

### 2.3.1 Resurssina (kielellinen) työmuisti

Eri muistin tyyppejä on ihmisellä useita, kunkin palvelen tarkoitukseensa sopivassa tilanteessa. Työmuisti on luonteeltaan lyhytkestoinen ja käsittelee sekä eri aistikanavien kautta, että myös pitkäkestoisesta muistista saapuvaa informaatiota. Työmuistin tärkein tehtävä on esi-prosessoida saapuva tieto niin, että se on sopiva ja relevantti pitkäkestoisen muistin jatkokäsittelyä ja varastointia varten. Tämän muistityypin avulla onnistumme suuntaamaan huomion olennaiseen ja olemme tietoisia kulloinkin vallitsevan hetken sisällöstä. (Atkinson ja Shiffrin, 1968.)

Suosittua työmuistin mallia, jonka alkuperäisinä laatijoina ovat Baddeley ja Hitch (1974), ja jota myöhemmin Baddeley kehitti eteenpäin (Baddeley, 1986), käytetään kehikkona myös monissa kielentutkimuksen kentällä tehtävissä tutkimuksissa ja teorioissa. Mallin mukaan työmuisti on neljän eri osa-alueen rakennelma, jossa ytimenä toimii tarkkaavaisuuden suuntaamisesta ja toiminnan yleisestä ohjauksesta vastaava *keskusyksikkö* (engl. central executive). Keskuksen toiminnasta paitsi riippuvaisia, myös sen toimintaa tukevia ja vahvistavia ovat verbaalista ja akustista informaatiota käsittelevä *fonologinen silmukka* (engl. the phonological loop) ja visuaalisen informaation prosessoinnista vastaava *visuospatiaalinen luonnoslehtiö* (engl. visuospatial sketchpad). Myöhemmin malliin lisätty työmuistin neljäs rakenne, *episodinen puskuri*

(engl. episodic buffer), nähdään liittyvän kielen normaaliin prosessointiin ja sen mahdollisiin häiriöihin (Baddeley, 2000).

Kielellisen työmuistin on osoitettu olevan vahvasti yhteydessä vieraan kielen oppimiseen liittyvien tapahtumien kanssa. Papagno ja Vallar (1995) havaitsivat monikielisiä aikuisia (N=10) tutkiessaan, että mitä parempi oli heidän kielellinen työmuisti, sitä nopeammin he oppivat vieraan kielen. He käyttivät työmuistin mittareina auditiivisia numerosarjoja (engl. auditory digit span) ja äidinkielistä epäsanantoistoa (engl. non word repetition). Testeistä saatuja pistemääriä he vertasivat suoriutumiseen tehtävässä, joka sisälsi vieraan kielen sanoja sisältävien sanaparien opettelua. (Papagno ja Vallar, 1995.)

Kormos ja Sáfár (2008) raportoivat myöhemmin samansuuntaisia tuloksia. Heidän tutkimuksen kohteena olivat teini-ikäisten (N=121) luetun- ja kuullun ymmärtäminen, rakenne, sanasto, kielioppi ja suulliset taidot. Kielellisen työmuistin mittareina he käyttivät käänteistä numerosarjaa sekä epäsanantoistotestiä, ja havaitsivat tämän työmuistin osan yleisen työmuistin ohella vaikuttavan L2-kielen oppimiseen. (Kormos ja Sáfár, 2008.) Lapsilla (N=54) havaittiin kielellisen työmuistin ennustavan vieraan kielen kieliopin ja sanaston oppimista matalan tason oppijoilla (low proficiency learners) (French, 2003). Kielellisen työmuistin mittarina käytettiin vieraskielistä epäsanantoistotestiä, ja L2-kielen tehtävät sisälsivät kaksi standardoitua sanaston ja kieliopin tehtävää.

Myös Miettisen (2010) havaintojen mukaan L2-taitojen ja fonologisen työmuistin välillä on vahva yhteys. Kielen oppimista kognitiivisesta aspektista sosiaalisen rakennelman sijaan tarkastellut Miettinen toteaa, että työmuisti on yksi kriittinen elementti, joka on erottamassa oppijat toisistaan, niin kielen omaksumiskyvyiltään kuin oppimisstrategioiltaan. Hän tutki alakoulun viimeisillä luokilla olevien oppilaiden äidinkielen ja englannin kielen taitoja. Vieraan kielen tehtävät käsittivät kuullun- ja luetun ymmärtämistä, sanastoa, verbimuotoja sekä lauseenmuodostusta. Kielellisen työmuistin mittarina käytettiin sekä äidinkielen että englanninkielen epäsanantoistotestiä, joista molemmat korreloivat englannin kielen taidon kanssa. (Miettinen, 2010.)

Kuten edellä on todettu, työmuistilla on yhteys kielen oppimisessa mm. lukemisen, puhumisen ja kuuntelemisen tasoihin liittyvissä asioissa, mikä viittaisi Baddeleyn (2003) teoriaan työmuistin ja kielellisen prosessoinnin välisestä suhteesta (Baddeley, 2003). Miettinen (2010) järkeistää Gernsbacherin (1994) ajatuksin työmuistin ja kielen oppimisen välistä suhdetta siten, että suuri osa kielen oppimisesta >> eli tiedon siirtymisestä pitkäkestoiseen muistiin >> tapahtuu sen takia, että työmuistin prosessoinnin resursseja vapautuisi seuraavan uuden tiedon käsittelyyn (Gernsbacher, 1994). Kaiken kognitiivisen toiminnan, kuten myös vieraan kielen oppimiseen liittyvät tapahtumat edellyttävät niin pitkäkestoisen kuin lyhytkestoisen muistityypin läsnäoloa, jossa työmuisti nähdään rajallisena resurssina, kun taas pitkäkestoinen muisti loppumattomana tallennustilana. (Miettinen, 2010: 18.)

### **2.3.2 Fonologinen silmukka porttina kielelliselle informaatiolle**

Työmuisti kokonaisuudessaan on monitasoinen, jossa sen yksi alasysteemi, fonologinen silmukka, on ensisijaisen tärkeä kielellisen prosessoinnin kysymyksissä. Sen rooli kielellisten tehtävien suorittamisen kontekstissa voidaan nähdä tietynlaisena porttina, jonka läpi kielellinen informaatio kulkee (Miettinen, 2010: 11), ja jonka toiminta on tukemassa kielen oppimisessa mm. sanaston karttumista, muistin suoritusta ja vieraan puheen prosessointia (Baddeley ym., 1998).

Kuten työmuistin mallia esitellessä käy ilmi, fonologinen silmukka vastaa sekä artikulatorisen että verbaalisen informaation käsittelystä. Visuospatiaalisen luonnoslehtiön toimintaa tämän työn kontekstissa ei sovi jättää huomiotta, sillä se mahdollistaa tarvittaessa visuaalisen informaation integroitumisen käsiteltävään teemaan (Baddeley, 2003). Kyky prosessoida yhtäaikaaisesti eri modalitytein hankittua tuotosta on tärkeää kaikissa kielellistä prosessointia vaativissa tilanteissa, vaikka se ei näyttäisi ensi silmäykseltä olennaiselta. Esimerkiksi tilanteessa, jossa koehenkilön on määrä kirjainten esittämisen jälkeen toistaa näkemänsä, tuottaa hän mielessään kirjaimille vokalisaatiot, ja näin myös visuaalisten presentaatioiden säilyttämisessä on olennaista niiden akustinen ja fonologinen muoto (Baddeley, 2003).

Kielellisen prosessoinnin suorituskyvyn takaamiseksi fonologisella silmukalla on kaksi spesifiä rakennetta: *artikulatorisen harjoittamisen prosessi* (engl. the articulatory rehearsal system) ja

*fonologinen varasto* (engl. the phonological store). Näistä ensimmäinen toimii jälkimmäisen sisällön päivittäjänä, turvaten näin säilytyksessä olevia muistijälkiä. Fonologinen varasto on vain hetkellisen, muutamien sekuntien ajanjakson kattavan varastoinnin systeemi, minkä jälkeen materiaali hajoaa ja katoaa, jos sitä ei harjoiteta ja toisteta artikulatorisen harjoittamisen prosessin osassa. (Baddeley, 2003.)

Kaiken kaikkiaan Baddeleyn ja Hitchin laatima työmuistin malli on monipuolinen ja erittäin kelpo kuvaamaan kielen oppimisen taustalla olevia prosesseja mm. sen kattavuuden, spesifisyyden ja yksinkertaisuuden vuoksi. Kyseinen malli kattaa sekä auditiivisten että visuaalisten representaatioiden manipuloimisen ja hetkellisen säilytyksen. Kielitieteen tutkimuksen lisäksi tällä työmuistin teorialla on vakiintunut positio kognitiivisessa psykologiassa

### **2.3.3 Siirtyminen pitkäkestoiseen muistiin: Muistin konsolidaation prosessi**

Muistin konsolidaation tapahtuma tarkoittaa yksinkertaisuudessaan muistijälkien vahvistumisen prosessia. Tällöin äskettäin hankittu, vielä heikko ja vahvasti manipuloitavissa oleva muistijälki muuntuu kohti kestävämpää ja pitkäkestoisempaa muotoa. Retrogradisen amnesian tutkimuksen yhteydessä havaittiin, että tuoreet muistot ovat huomattavasti haavoittuvaisempia ja alttiimpia muutoksille kuin aikaisemmin hankitut, mikä on johtanut ilmiön tarkempaan tutkimukseen (Squire ym., 2015). Muistin vahvistumisen prosessi nähdään nykytiedon valossa jonkinlaiseksi hippokampuksen ja neokorteksin väliseksi dialogiksi, jossa päämääränä on saavuttaa hippokampuksen toiminnasta ja vaikutuksesta riippumaton muiston muoto, joka stabiloituu neokorteksin rakenteisiin (Diekelmann ja Born, 2010).

Muistijäljen vahvistumista on tutkittu eri aivokuvantamismenetelmin (esim. PET ja fMRI). Näiden avulla on pystytty jäljittämään aivoalueita, jotka ovat aktiivisina prosessin eri vaiheissa. Tämän lisäksi havainnot ovat riittäneet siihen, että on voitu tehdä johtopäätöksiä mm. siitä, miten konsolidaation prosessi tapahtuu ja millä ehdoin. On ehdotettu, että tapahtuman takana toimisi unen ja levon aikana ilmestyvä *neuraalisen uusinnan* hetki (engl. neural replay). Tämän hidasaaltoisen unen aikana mitatun aktiivisuuden on havaittu korreloivan seuraavan päivän tehtävässä suoriutumisen kanssa. Samantyyppinen aktiivisuus on havaittavissa oikeassa oppimisen

tilanteessa hippokampuksessa, joka on muistitoiminnoissa keskeinen sisäaivojen rakenne. (Squire ym., 2015)

Univaiheita, joiden on todettu mahdollistavan äskettäin hankitun uuden informaation muuntumisen kohti omaksutumpaa muotoa, on havaittu ainakin kaksi erilaista ja eri taajuisia unen jaksoa. Pienen kolinergisen aktiivisuuden matala-aaltoisen unen vaihe (engl. Slow Wave Sleep) on kuljettamassa hippokampuksessa riippuvaista muistia neokorteksin puoleen, kun taas theta -aaltoinen ja kolinergisesti aktiivinen REM-univaihe (engl. Rapid Eye Movement) on tukemassa myöhempää muistin synaptista vahvistumista aivokuorella. (Diekelmann ja Born, 2010.) Sitten on havaittu, että myös unen kaltainen, aivojen 'tyhjäkäynnin' tila riittäisi yksinään mahdollistamaan prosessin synnyn ja läpikäymisen eli muistijäljen vahvistumisen (Squire ym., 2015).

## **2.4 Kirjain-äänneyhteyksien oppimisen indeksit**

Kontekstin mukainen harjoittelun tuotos (=oppimistulos) on määritelty työssäni seuraavasti. Käyttäytymisen tasolla oppimista on kuvaamassa muutokset vastausten oikeellisuudessa (prosenttilukema) sekä reaktioajassa. Aivojen tasolla tarkastelun kohteena on kongruenssiefekti, joka kuvaa aivojen kykyä erotella yhteensopivan ja ei-yhteensopivan ärsykeparin ominaisuuksia. Olennaista on, miten aivot ilmoittavat 'virheestä' tilanteessa, jossa parit eivät sovi yhteen.

Käyttäytymisen tasolla oppimista on kuvaamassa oikeiden vastausten osuuden kasvu kohti maksimilukemaa (100%). Kun maksimilukema on saavutettu, oletetaan vastausten oikeellisuuden vakiintuvan oppimisen seurauksena. Reaktioaika käsittää ajan, joka tutkimushenkilöllä kuluu kysymyksen esittämisestä vastauksen antoon. Tämä on esitetty millisekunneissa. Oletuksena on, että reaktioaika laskee tehtävän edetessä, dramaattisimman laskun tapahtuessa yön aikaisen muistijäljen vahvistumisen seurauksena.

Kun tarkastellaan aivotasolla tutkimuksen mukaista oppimista, on audiovisuaalisessa prosessoinnissa olennaista se, miten aivot reagoivat inkongruenttiin tilanteeseen sen jälkeen, kun

parien yhteensopivuudet on opittu. Tällöin tutkimukseni mukaisessa tilanteessa inkongruentin ärsykeparin aiheuttamat aivovasteet oletettavasti voimistuvat, kun yhteensopivan ärsykkeen aivovasteet laimenevat. Kongruenssiefekti kuvaa aivovasteiden eroa näiden tilanteiden välillä. Jotta kongruenssiefekti on havaittavissa, on unimodaalisesti esitettyjen ärsykkeiden täytynyt integroitua oikein (Van Atteveldt, 2007).



## 3 MATERIAALI JA MENETELMÄT

Aineisto kerättiin koehenkilöillä teetettyjen audiovisuaalisten tehtävien sekä kognitiivisia taitoja mittaavien testien avulla, ja taltioitiin sekä MEG-aivokuvantamismenetelmän, että psykologisten testien keinoja hyödyntämällä. Aineiston keruu oli kestoaltaan kaksipäiväinen ja tapahtui Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen MEG-laboratoriossa, sekä tutkimukseen sisältyvän kognitiivisen testisarjan osalta muissa psykologian laitoksen tiloissa. Esittelen tässä osiossa työni materiaalin sisällön ja sen hankkimiseen ja tutkimustulosten analysoimiseen käytetyt menetelmät.

### 3.1 Koehenkilöt

Väitöskirjahanke tutkii grafeemi-foneemi-assosiaatioihin liittyviä ilmiöitä laajemmassa mittakaavassa, niin koehenkilöiden kuin koeasetelmien suhteen. Tutkielmani käsittelee aikuisilla tapahtuvaa, kirjainmerkin ja puheäänteen välisten yhteyksien oppimiseen liittyviä ilmiöitä. Näin työni kannalta relevantti tutkimuskohde oli aikuisista koostuva koehenkilöiden ryhmä aktiivisen oppimisen tilanteessa. Tutkimukseen rekrytoitiin Jyväskylän yliopiston sähköpostilistojen kautta 36 koehenkilöä, joista poistettiin kuusi lopullisesta analyysiin kelpaavasta aineistosta. Poistot johtuivat siitä, että mittauksista osa keskeytyi ennenaikaisesti ja osa taltioidusta aineistosta oli epäluotettavaa.

Koehenkilöt (ks. taulukko 1) olivat iältään 19-36 vuotiaita, perusterveitä yliopisto-opiskelijoita. Lopullisesta 30:sta koehenkilöstä koostuvasta joukosta kaksi oli vasenkätisiä, kaksi molempikätisiä ja 26 oikeakätisiä. Kaksikielisiä koehenkilöistä oli kaksi, loput 28 yksikielisiä. Naisia oli 20 ja miehiä 10. Yhdelläkään ei oltu todettu oppimisen eikä tarkkaavaisuuden häiriöitä, eikä kuulemiseen liittyviä alentumia. Koehenkilöillä ei ollut tutkimuksen tekohetkellä, eikä lähimenneisyydessä käytössä keskushermostoon vaikuttavia lääkkeitä. Ennen tutkimusta koehenkilöt tutustuivat tiedotteeseen (ks. liite 3), jossa kävi ilmi tutkimuksen sisältö ja tarkoitus, koehenkilön oikeudet, mihin tutkimustuloksia käytetään, ja miten niitä säilytetään. Ennen

tutkimusta koehenkilöt täyttivät esitietolomakkeen (ks. liite 4) ja allekirjoittivat suostumuksen tutkimukseen (ks. liite 5). Koehenkilöt saivat osallistumisestaan palkkioksi elokuvalippuja ja lahjakortteja.

**Taulukko 1.** Tietoa tutkimushenkilöistä

---

Lukumäärä	30
Ikä	19-36, keski-ikä 24.33
Sukupuoli	naisia 20, miehiä 10
Kätisyys	2 vasenkätistä, 2 molempikätistä, 26 oikeakätistä
Äidinkieli	suomi

---

## 3.2 Aineiston keruumenetelmät

Kielellisen työmuistin kapasiteetin yhteyttä kirjain-äänneyhteyksien oppimiseen tutkittiin kognitiivisia taitoja mittaavan testisarjan (WAIS, NEPSY, Lukilasse) avulla. Kirjainten ja äänteiden yhdistymiseen liittyviä ilmiöitä tutkittiin aivotasolla MEG-aivokuvantamismenetelmän keinoin. Molemmat aineistot analysoitiin kvantitatiivisesti.

### 3.2.1 Kognitiivinen testaus

Kielellisen työmuistin tutkimiseen on olemassa useita keinoja. Tässä tutkimuksessa työmuistin kapasiteetin mittaamenetelmänä käytettiin kahdeksasta kognitiivisia taitoja mittaavasta tehtävästä koostuvaa sarjaa. *Epäsanantoistotesti* (engl. Nonword Repetition Test) ja WAIS-testistön *numerosarjat* (engl. Digit Span) ovat suosittuja kielellisen työmuistin mittareita, joten valitsin nämä tehtäväosiot myöhempään korrelaatioanalyysiin. Testisarjan kuutiot-osio valittiin kontrollitehtäväksi, jonka funktioksi oletettiin edellä mainittujen kognitiivisten taitojen yhteyden näytön tukeminen varsinaisessa tutkimustehtävässä pärjäämisen kanssa. Selvennän tässä osiossa valittujen tehtävien taustaperiaatteita ja sopivuutta menetelmänä. Testisarjan sisällön esittelen kokonaisuudessaan myöhemmin (3.3.1 Kognitiivisten taitojen testistö).

Epäsanoja käyttävässä testissä epäsanat ovat merkityksettömiä, mutta koostuvat fonologisista osasista, jotka noudattavat tehtävässä käytetyn kielen fonotakteja. Epäsanojen idea on kontrolloida mm. sitä, että ne ovat yleisesti tuntemattomia kaikille koehenkilöille. Toisena merkittävänä ominaisuutena nähdään niiden samankaltaisuus vastaavien oikeiden sanojen kanssa, jolloin koehenkilöiden on käytettävä oman kohdekielensä pitkäkestoista muistia epäsanojen toistamisen apuna. Mitä oudompi epäsanana muoto on, sitä vähemmän se on samankaltainen oikeiden sanojen kanssa, jolloin työmuisti on erityisen koetuksella. Voidaan päätellä, että epäsanantoistotestissä saavutetut pisteet reflektioivat fonologisen työmuistin kapasiteettia. (Miettinen, 2012: 41.)

Numerosarjojen toistaminen on WAIS-testistössä kielellisen työmuistin tarkastelussa ja tutkimisessa käytettävä menetelmä. Tämä tehtävä on kuulonvarainen, ja sen funktio on mitata lyhytkestoisen muistin ohella henkilön kykyä jaksottaa kuulemaansa, suunnata tarkkaavaisuutta sekä keskittymistä (Wechsler Adult Intelligence Scale). Kuutiotehtävä on WAIS-testistössä käytetty mittaamaan yksilön ongelmanratkaisukykyä ja kuvaamaan yleisempää tiedonkäsittelyn prosessointia (Wechsler Adult Intelligence Scale).

### **3.2.2 MEG-tutkimus**

Aivoissa aiheutuu erilaisia elektromagneettisia tapahtumia eri aktiivisuuden tasoissa. Näitä ovat muun muassa sisäsyntyisesti aiheutuneet, unen ja valveillaolon eri tasojen, tai motoristen toimintojen ja sensoristen tapahtumien tuloksina havaittavat signaalit. (Hansen ym., 2010.) Näiden elektromagneettisten signaalien nähdään olevan peräisin aivokuorella sijaitsevien pyramidisolujen tuojahaarakkeista, joissa suuri osa viestinvälityksestä tapahtuu. Kognitiivisessa aivotutkimuksessa on useita, vähän eri toimintaperiaatteisiin pohjautuvia mittaus- ja kuvantamismenetelmiä, joilla tutkia aivojen toimintaa ja rakenteita. Taltioitun aivoaktiivisuuden perusteella voidaan tehdä koeasetelmasta riippuen päätelmiä mm. ihmisen kognitiivisista taidoista, kuten oppimiseen ja muistiin liittyvissä kysymyksissä.

Aivokuvantamismenetelmän valintaan vaikuttaa se, mitkä seikat ovat tutkimusongelman kannalta merkittävämpiä kuin toiset. EEG (engl. electroencephalography) ja MEG (engl. magnetoencephalography) mittaavat aivoaktiivisuutta suoraan, kun taas muut menetelmät, kuten

esim. fMRI (engl. functional Magnetic Resonance Imaging) perustuu aineenvaihdunnallisiin muutoksiin. Menetelmä on suosittu audiovisuaalisen oppimisen tutkimuksissa, erityisesti silloin, kun ollaan kiinnostuneita lähteen mahdollisimman tarkasta paikantamisesta. fMRI havaitsee aktivaation lähteen alle millimetrin tarkkuudella, mutta tieto siitä, missä kohtaa aikaa jotakin tapahtuu, on hatara. Menetelmä perustuu veren happipitoisuuksien lokaaleihin muutoksiin, ja nämä ovat mitattavissa aikaisintaan hetki varsinaisen tapahtuman jälkeen. (Baars ja Gage, 2010: 106-107, 114).

EEG on edullinen ja helppo käyttää, sekä liikuteltavissa lähes kaikkialle, mikä mahdollistaa tutkimusasetelman tuomisen lähelle luonnollista olotilaa. EEG mittaa aivojen sähköistä toimintaa omaten tarkan ajallisen, mutta heikomman lähteen paikantamisen tarkkuuden. MEG havaitsee ja mittaa tämän sähköisen toiminnan ympärille muodostuvia magneettikenttiä omaten erinomaisen temporaalisen tarkkuuden (Darvas ym., 2004), sekä huomattavasti luotettavamman lähteen paikannuksen, kuin EEG (Baars ja Gage, 2010: 106-107). Tutkimushanke, jossa tutkielmani tiimoilta työskentelin, on ensisijaisesti kiinnostunut aivoissa tapahtuvista ajallisista muutoksista sekä lähteen luotettavasta paikantamisesta, ja näin ollen MEG on koko hankkeen kannalta monipuolinen ja sopiva menetelmä.

MEG-laite (kuva 3) on sijoitettuna magneettisuojaattuun huoneeseen ulkopuolisten magneettikenttien minimoimiseksi. Laite koostuu eri osista, joista tässä yhteydessä mainitsemisen arvoinen on mm. kehikko (engl. gantry), joka on liikuteltavissa eri asentoihin sen mukaan, suoritetaanko mittaus istuen vai makuultaan. Päivän päätteeksi tai mittauksen loputtua laite käännetään kierrätysasentoon, mikä mahdollistaa mittaukselle välttämättömän arvokkaan raaka-aineen, heliumin, kierrätyksen. -269-asteinen helium on kehikon sisällä nestemäisenä, ja tämä takaa kypärässä sijaitsevien sensorien (SQUID's) suprajohtavuuden. Käyttämässämme laitemallissa (Elekta Neuromag TRIUX) on 102 kanavapaikkaa, joista kussakin on kolme sensoria. Jokainen sensori käsittää kaksi gradiometriä ja yhden magnetometrin, joilla on keskenään erilaiset tavat ja suunnat magneettivirtojen keräämisessä, ja näin niiden kombinaatio yhdistää optimaalisen mittaustuloksen aivoperäisistä tapahtumista kussakin kanavassa. (Hansen ym., 2010.)



**Kuva 3** | MEG-laite 68:n asteen positiossa. Tutkittavan pää on tutkimuksen aikana sisällä kypärässä, joka sijaitsee nestemäistä heliumia sisältävän kehikon (engl. gantry) pohjassa. (kuva: Elekta Neuromag TRIUX)

### *3.2.2.1 Tutkimustilaan liittyvät valmistelut*

Tutkimustilanne itsessään vaatii aikaa ja huomiota, joten on tarpeen suorittaa alkuvalmistelut huolellisesti. Tutkimustila ja tutkimuksessa käytettävät laitteet on järjestettävä tutkimusasetelman mukaisesti. Näin koehenkilön valmistaminen tutkimuksessa on sujuvaa, mikä edesauttaa stressittömän ja kontekstiin nähden mahdollisimman luonnollisen ilmapiirin säilymisen.

Tutkimustiloissa on kytkettävä tutkimuksessa käytettävät laitteet päälle ja varmistettava niiden sujuva toiminta. Koehenkilöä varten tarvittavat laitteistot (digitalisoija, käytettävät kela- ja elektrodipihuat) ja aineet (ihonpuhdistusvälineet, tuoli) on hyvä ottaa esille ja sijoittaa ne niin, että ne ovat tarvittaessa helposti saatavilla. MEG-laite on säädettävä oikeaan asentoon (tässä tutkimuksessa laite on 68 asteen kulmassa) ja varmistettava sen turvallinen käyttö.

Ennen kokeen aloittamista varmistetaan MEG-systeemin hyvä toiminta mittaamalla tyhjää huonetta muutaman minuutin ajan mahdollisten piilevien ongelmien kontrolloimiseksi (Gross ym., 2013). Myös mahdollisten toimimattomien ja huonojen kanavien identifiointi ja säätö on paitsi mahdollista, myös välttämätöntä ennen mittausten aloittamista, sekä tehtävien välissä, jos ne edellyttävät tutkijan käyntiä tutkimustilassa.

### *3.2.2.2 Koehenkilöön liittyvät valmistelut*

Koehenkilön vaatetus voi joissain tilanteissa häiritä mittauksia. Metalliset vaatekappaleet ja asusteet, kuten vyöt, silmälasit, kaarituelliset rintaliivit ja muut magneettista materiaalia sisältävät osat on poistettava niiden magneettisiin kenttiin yltävien vaikutusten minimoimiseksi. (Gross ym., 2013) Tutkimustiloista löytyy huone, jossa MEG-kokeeseen soveltuvat vaatteet voi käydä vaihtamassa päälleen.

Koehenkilölle suoritetaan koeasetelmasta riippuen noin puoli tuntia kestävätkä alkuvalmistelut. Pään muoto ja siinä vallitsevien suhteiden ääriarvot määritetään ja syötetään koneelle. Tämä tapahtuu digitalisoimalla tarkoitukseen sopivalla kynällä pään tietyt maamerkilliset pisteet (engl. landmarks), päähän kiinnitettävien kelojen sijainnit sekä pään muoto. Tätä ennen koehenkilölle asennetaan teipein päähän viisi kela (engl. coil) niin, että kaksi sijoittuu korkealla korvien taakse ja kolme otsan ja hiusrajan tuntumaan riviin, noin kolmen cm:n päähän toisistaan. Kelojen avulla MEG-laite tunnistaa koehenkilön pään sijainnin ja liikkeen. (Gross ym., 2013) Horisontaaliset ja vertikaaliset silmänliikkeet kontrolloidaan asentamalla erikseen niistä aiheutuvaa magneettikenttää mittaavat elektrodit. Solisluuhun tai kaulaan kiinnitettävä maadoittava elektrodi mahdollistaa silmänliikkeitä mittaavien elektrodien toiminnan.

Koehenkilölle selvennetään tutkimuksen kulku ja hänen roolinsa tutkimuksen aikana. Koehenkilö saatetaan tutkimushuoneeseen ja avustetaan MEG-laitteeseen mukavaan asentoon. Häntä informoidaan MEG-laitteessa sijaitsevasta mikrofoniasta, jota kautta koehenkilöllä on yhteys tutkijoihin. Tutkimustiloista on myös videoyhteys MEG-huoneeseen, jotta mahdolliset muutokset koehenkilön voinnissa tai vireystilassa eivät jää huomaamatta. Koehenkilö opastetaan välttämään ylimääräisiä liikkeitä ja silmänräpäytyksiä tehtävän aikana. Tämä on tärkeää myöhempää

analyysiä silmällä pitäen, sillä liikkeistä aiheutuva lihasaktiivisuus taltioituu ylimääräisenä ja analyysiä mutkistavana kohinana aineistoon.

Lopuksi koehenkilö ohjeistetaan rentoutumaan ja orientoitumaan tutkimustehtäviin. MEG-mittaus alkaa lepotilamittauksella, jossa koehenkilö on yhteensä viiden minuutin ajan silmät auki ja silmät kiinni. Lepotila-mittauksesta saadaan talteen aivojen vireystilaa heijastelevia aivorytmejä, joiden osuutta ja merkitystä mm. työmuistin eri prosesseissa on viime vuosien tutkimuksissa nostettu yhä enemmän esille (ks. lisää esim. Haegens ym., 2014; Mierau ym., 2017). Tämän jälkeen suoritetaan viimeistelyt ja kun koehenkilö on ymmärtänyt kokeen kulun ja on valmis aloittamaan, koe käynnistetään.

### **3.3 Tutkimustehtävät**

Tutkimustehtävät jakautuivat jokaisen koehenkilön kohdalla kahdelle peräkkäiselle päivälle, jotta levon välitön vaikutus oppimiseen oli todennettavissa. MEG-aivokuvantamismenetelmän avulla suoritettavat mittaukset kestivät molempina päivinä esivalmisteluineen noin 2,5 tuntia, sisältäen koko tutkimushanketta kiinnostavat koetehtävät. Tätä ennen koehenkilöt osallistuivat kognitiivisten taitojen testisarjaan, joka kesti molempina päivinä noin puoli tuntia.

#### **3.3.1 Kognitiivisten taitojen testistö**

Kognitiivisia taitoja mittaava testistö koostui seuraavista tehtäväosista: *Kuutiot, sanavarasto, numerosarjat, epäsanojen toistaminen, fonologinen prosessointi NEPSY, RAN, Lukilasse, epäsanalista ja epäsanateksti*. Tutkielmaani varten hyödynsin vain epäsanantoisto- ja numerosarjat-tehtäväosioita mittaamaan kielellisen työmuistin kapasiteettia. Näiden lisäksi tarkastelin kuutiotehtävää vertailupintana erottamaan yleisen työmuistin osuuden tutkimustehtävässä suoriutumisessa. Tehtävät olivat suurilta osin suunnattu noin kuudesluokkalaisille, joten aikuisille tehtävät olivat suhteellisen helppoja. Tuloksista oletettiin siitä huolimatta saavan yleisesti käyttökelpoista osviittaa kunkin koehenkilön testissä mitattavien

kognitiivisten taitojen perustasosta ja -luonteesta.

Epäsanojen toistamisessa koehenkilölle soitettiin nauhalta suomenkielisiä epäsanuja. Sanojen nauhoituksessa oltiin käytetty suomenkielistä puhujaa. Sanat soitettiin yksitellen, minkä jälkeen koehenkilön tehtävänä oli toistaa kuulemansa sana mahdollisimman tarkasti. Sanat vaikeutuvat loppua kohden, ja koehenkilö kuuli jokaisen sanan vain kerran. Takeltelevista sanoista tai selkeistä virheistä testin valvoja merkkasi huomionsa, jotka olivat vaikuttamassa arviointiin ja tehtävässä saavutettavaan pistemäärään.

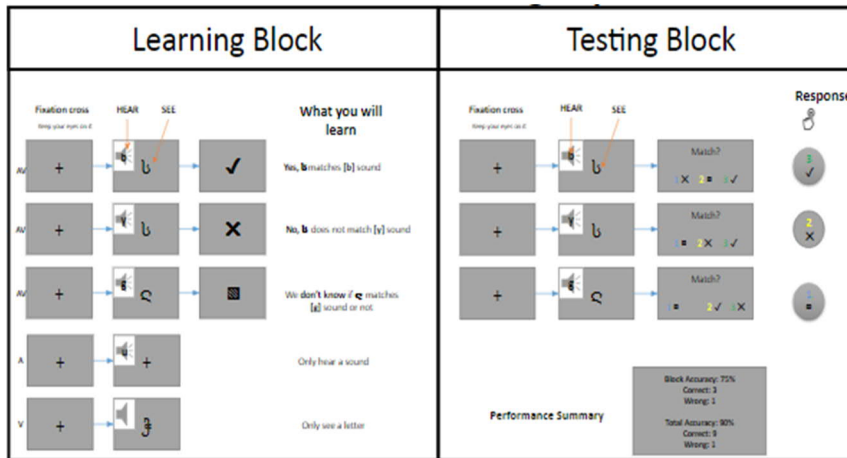
Numerosarjat (WAIS) mittasivat koehenkilön työmuistia ja kykyä toistaa numerosarjoja eteenpäin, taaksepäin, sekä järjestyksessä. Ensimmäisessä osiossa koehenkilön oli määrä toistaa hänelle lausutut numerosarjat samassa järjestyksessä, kuin ne hänelle tutkimuksen tekijän toimesta esitettiin. Toisessa osiossa rakenne ja idea pysyivät samoina, mutta koehenkilön tuli toistaa lukujono päinvastaisessa järjestyksessä. Viimeisessä osiossa koehenkilö kuuli numeroita satunnaisessa järjestyksessä, ja tämän oli toistettava ne järjestyksessä pienimmästä suurimpaan. Testi alkoi muutaman yksikön sisältävistä sarjoista, vaikeutuen loppua kohden. Tämä osio oli kestoltaan niin pitkä, kuin koehenkilö siitä suoriutui.

Kuutiot-osiossa (WAIS) koehenkilö sai eteensä psykologisissa testeissä käytettävät kuutionmuotoiset palikat, jotka ovat sivuiltaan erilaiset: yhdeltä sivultaan kuutio on joko kokonaan punainen, kokonaan valkoinen, tai puoliksi valkoinen ja puoliksi punainen. Värit jakautuvat viistosti niin, että kumpikin väri muodosti kullekin punavalkoiselle sivulle kolmion. Tämä tehtäväosio alkoi kuudella kuutiolla, joilla koehenkilö rakensi mallia vastaavan kuvion. Esimerkkimalli näytettiin samanaikaisesti, kuin sekuntikello laitettiin päälle, ja tehtävästä oli tarkoitus suoriutua mahdollisimman nopeasti. Tehtävä vaikeutui loppua kohden, ja viimeisimmät esimerkkimallit koostuivat yhdeksästä palikasta. Esimerkkikuvat olivat mittasuhteiltaan erikokoiset kuin fyysiset palikat. Tehtävä loppui, kun kahdesta peräkkäisestä osiosta koehenkilö sai nolla pistettä.



### 3.3.2 MEG-tutkimustehtävä

Audiovisuaalista yhdistymistä testaava tutkimustehtävä kesti ensimmäisenä päivänä noin 40 minuuttia (12blokkia), ja toisena päivänä puolet tästä, eli 20 minuuttia (6 blokkia). Yksi blokki (ks. kuva 4) piti sisällään sekä harjoittelun että harjoittelun testaamisen osiot. Osiot koostuivat audiovisuaalisista trialeista, joissa ärsyke/ärsykkeet ja niitä seuranneet palautteet tai kysymykset esitettiin. Tutkimustehtävä noudatti tyypillistä audiovisuaalisen integraation tutkimuksessa käytettävän asetelman kulkua, jossa esitetään sekä eri- että samanaikaisesti neljää olosuhteiltaan erityyppistä ärsykettä: auditiivinen (A), visuaalinen (V), audiovisuaalinen yhteensopivana (AVC) ja ei-yhteensopivana (AVI) (Jost ym., 2014).



**Kuva 4** | Audiovisuaalisen oppimisen koetehtävän yhden blokin sisältö, joka käsitti sekä harjoittelun, että harjoittelun testaamisen osiot. Ensimmäisen päivän tehtävä koostui 12:ta, ja toisen päivän tehtävä kuudesta blokista. (Xu, W. 2018)

Auditiivisina ärsykkeinä käytimme suomenkielisiä puheäänteitä, jotka käsittivät 12 naisäänen tuottamaa äännettä: ([a], [e], [u], [o], [ä], [k], [t], [p], [j], [v]). Auditiivinen ärsyke välitettiin koehenkilölle korvanappien kautta. Visuaalisena ärsykkeenä toimi 12 georgiankielen aakkosista valittua kirjainmerkkiä (ks. kuva 5). Visuaalinen ärsyke heijastettiin koehenkilön edessä olevalle näytölle, joka asetettiin sopivaan kohtaan niin, että kuva oli tarkka ja riittävällä (n. 1m) etäisyydellä. Ärsykkeet esitettiin satunnaisessa järjestyksessä siten, että esitettiin joko yksinään puheäänne (A), yksinään kirjainmerkki (V), tai ärsykkeet samanaikaisesti niin, että niiden välinen

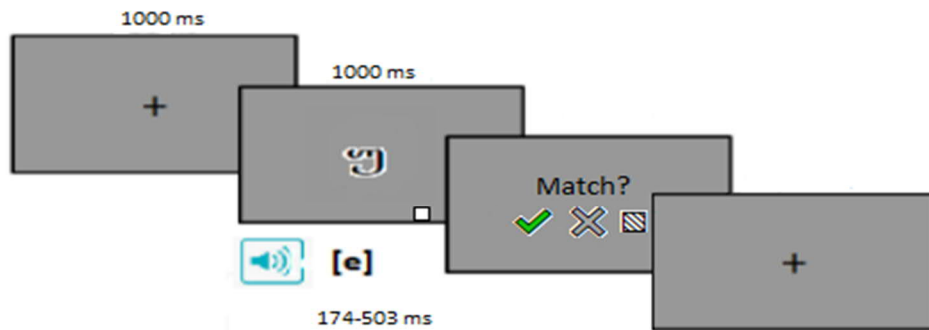
assosiaatio oli yhteensopiva (AVI) tai ei-yhteensopiva (AVC). Kontrolliärsykkeenä toimi audiovisuaalinen ärsykekombinaatio, jonka yhteensopivuus ei ollut opittavissa.

Seuraavassa kuvassa (kuva 5) on esitettyä tehtävässä käytetyt ärsykkeet. Taulukon ylemmässä sarakkeessa on esiteltyä 12 suomenkielistä äännettä, ja niiden alapuolella niitä vastaavat kirjainmerkit. Nämä ovat jaettu kahteen osioon niin, että taulukon kuusi ensimmäistä paria muodostivat ensimmäisen setin, ja loput kuusi toisen setin. Jokainen koehenkilö oppi yhteensä kuusi yhteensopivaa audiovisuaalista paria. Settien esitystä vaihdeltiin siten, että peräkkäiset koehenkilöt eivät suorittaneet samaa settiä. Setit vastasivat sekä visuaaliselta että auditiiviselta haastavuudeltaan toisiaan.

<b>Auditory</b>	<b>a</b>	<b>ä</b>	<b>e</b>	<b>t</b>	<b>s</b>	<b>k</b>	<b>o</b>	<b>ö</b>	<b>i</b>	<b>p</b>	<b>v</b>	<b>d</b>
<b>Visual</b>	ა	ჲ	ე	თ	ს	კ	ო	ო	ი	პ	ვ	დ

**Kuva 5** | Auditiiviset ärsykkeet käsittivät naisäänen tuottamia suomenkielisiä äänneitä, ja visuaaliset ärsykkeet koostuivat georgiankielen kirjainmerkeistä.

Tehtäväblokin testausosion yksi audiovisuaalinen triali (ks. kuva 6) alkoi ruudun keskelle sijoittuvalla fiksaatiopisteellä (1000ms), jota seurasi audiovisuaalinen ärsyke. Visuaalinen ärsyke oli kestoltaan 1000 ms, auditiivisen ärsykkeen keston vaihdellessa 174–503 ms välillä. Ärsykettä seurasi kysymys 'Match?' sekä vastausvaihtoehdot 'kyllä', 'ei' ja 'en tiedä'. Kysymys päättyi, kun koehenkilö reagoi painamalla vastausnappia. Seuraava fiksaatiopiste aloitti seuraavan trialin.



**Kuva 6** | Testausosion audiovisuaalisen trialin tapahtumat. Triali alkoi fiksaatiopisteellä (1000ms), jota seurasi audiovisuaalinen ärsyke. Visuaalisen ärsykkeen kesto oli 1000 ms, kun auditiivisen ärsykkeen kesto vaihteli 174–503 millisekunnin välillä. Ärsykettä seurasi kysymys, sopiko edellä esitetty pari yhteen. Koehenkilön vastauksesta seurasi fiksaatiopiste, joka aloitti seuraavan audiovisuaalisen ärsykkeen trialin.

Harjoitteluosiossa koehenkilön tehtävänä oli aktiivisesti seurata opetettavia kirjain-äänneyhteyksiä. Nämä opetettiin esittämällä ensin ehdotus kirjain-ääne-parista, jota seurasi palaute, sopivatko siinä esiintyvät ärsykkeet yhteen vai eivät. Kun pari sopi yhteen, siitä seurasi myönteinen palaute (✓). Kun pari ei sopinut yhteen, seurasi kielteinen palaute (✗). Kontrolliärsykkeenä käytettiin tilanteita, joissa parien yhteensopivuus ei ollut opittavissa, jolloin ärsykettä seurannut palaute oli tyhjä (☐). Näiden lisäksi harjoitteluosiossa esitettiin visuaalisia ja auditiivisia ärsykeitä yksinään, jolloin koehenkilön tehtävänä oli havainnoida niitä aktiivisesti. Kokonaishankkeen aineiston analyysissä tieto aivojen unimodaalisesti esitettävien ärsykkeiden prosessoinnista on välttämätön audiovisuaalisen integraation tarkastelemisen laskukaavoissa (hankkeen julkaisut: Xu ym., 2018; Xu ym., 2019).

Harjoittelun tuotosta testaavassa jaksossa esitettiin auditiivinen ja visuaalinen ärsyke ainoastaan samanaikaisena, ja koehenkilön oli osoitettava, miten tämä oli kirjain-ääne-parien yhteensopivuudet siihen mennessä oppinut. Tämän osoittamista varten koehenkilölle annettiin

vastauskapula, jossa oli kolme vastausvaihtoehtoa parien yhteensopivuuden kysymykseen: kyllä, ei, en tiedä. Näistä jälkimmäinen palveli tilanteissa, joissa parien yhteensopivuus ei ollut opittavissa. Tämän vaihtoehdon ja sen tarjoaman tiedon sisällyttäminen koeasetelmaan oli tarpeellista, jotta oppimisen tapahtumat olivat analyysivaiheessa luotettavasti ja monipuolisesti tarkasteltavissa. Jokaisen tehtäväosion jälkeen seurasi palaute tehtävässä onnistumisesta, eli prosenttiluku vastausten oikeellisuuden tarkkuudesta (engl. accuracy). Seuraavana päivänä sama tehtävä toistettiin kuuden blokin (20min) verran

Ärsykkeen unimodaalisen käyttötavan funktio on selventää, mitkä aivoalueet ovat spesifioituneet reagoimaan vain kirjaimille tai äänneille, ja mitkä alueet käsittelevät näitä kahta ärsykettä samanaikaisesti. Bimodaalisen ärsykkeen kaksi esitystapaa mahdollistavat oppimista indikoivien tekijöiden esilletulon. Näin saadaan selville kirjainten ja puheäänteiden modaaliteetti-spesifinen prosessointi sekä niiden lähentyminen ja samanaikainen käsittely. Vertaamalla uni- ja bimodaalisesti esitettävien ärsykkeiden aiheuttamia aiovasteita keskenään, saadaan tietoa alueista, jotka osallistuvat ärsykkeiden multisensoriseen integraatioon. Oppimiseen liittyviä tapahtumia kuvaava kongruenssiefekti lasketaan vertaamalla bimodaalisen (audiovisuaalisen) ärsykkeen eri olosuhteita (yhteensopiva vs. ei-yhteensopiva) toisiinsa. (Van Atteveldt ym., 2009.) Työni aineiston analyysissä tarkastelen harjoittelun tuotosta mittaavia tehtäväosioita, joissa koehenkilö osoittaa harjoitteluosioissa saavuttamansa opin kehityksen ja tason.

### **3.4 Aineiston analyysi**

Kokonaisaineisto käsitti kognitiivisen testisarjan tulokset sekä käyttäytymisestä että MEG-aineistosta mitattavia oppimista indikoivia lukemia. Kognitiivisen testistön kokonaispistemäärät arvioitiin ja syötettiin SPSS-ohjelmistoon (IBM SPSS Statistics). Käyttäytymisen tasolla mitattu lokitiedosto avattiin taulukkolaskentaohjelmalla (Microsoft Excel 2016, Windows). Tapahtumista laskettiin relevantti matriisi SPSS:llä suoritettavaa korrelaatioanalyysiä varten. MEG-aineistosta poistettiin MaxFilter 3.0TM-ohjelman (Elekta AB, Stockholm, Sweden) avulla ulkopuolisten magneettikenttien aiheuttamat artifaktit sekä korjattiin pään liikkeistä aiheutuneet häiriöt. Tämän

jälkeen analysoinnissa käytettiin MNE Pythonin 0.14-versiota tutkimukseni kannalta kiinnostavien arvojen saamiseksi.

Tarkastelin seuraavien muuttujien kautta tutkimukseni kannalta kiinnostavia tapahtumia: vastausten oikeellisuuden kehitys, oppimismuutos, reaktioaikaan liittyvät muutokset ja kongruenssiefektin muutokset. Vastausten oikeellisuuden kehitystä tarkastelin sekä ensimmäisenä että toisena tutkimuspäivänä. Oppimismuutokseksi määritin ensimmäisenä tutkimuspäivänä havaittavan hetken, jolloin koehenkilö saavutti oikeiden vastausten osuudeksi täydet lukemat (100%). Kahdella koehenkilöllä ylin lukema oli 94%, jonka määritin heidän kohdallaan oppimisen hetkeksi. Reaktioaikojen muutoksia ja kongruenssiefektin tapahtumia tarkastelin molempina tutkimuspäivinä vertaamalla eri oppimiseen liittyvien tilanteiden tapahtumia toisiinsa.

Kognitiivisten taitojen testisarjan suoritti ja pisteytti psykologian maisteri ja psykologian maisteriopiskelija, joiden toimesta tulokset siirrettiin SPSS-ohjelmistoon. Ohjelma on monipuolinen ja suosittu työkalu kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Käyttäytymisen tason aineiston tarkastelin aluksi Excelissä, jossa poistin siitä analyysin kannalta irrelevantit komponentit. Laskin keskiarvoistamisen avulla kiinnostavat tapahtumat jokaisen koehenkilön kohdalla ensimmäisenä ja toisena tutkimuspäivänä. Kiinnostaviksi tarkastelun kohteiksi valikoitui vastausten oikeellisuuteen ja reaktioaikaan liittyviä muuttujia. Oppimisen kulkua ja kehitystä tarkastelin seuraavien, oppimista indikoivien muuttujien kautta molempina tutkimuspäivinä:

- vastausten oikeellisuudessa tapahtuva kehitys, eli oikeiden vastausten osuuden muutos tehtävän edetessä
- reaktioaika, joka kuluu kysymyksen esittämisestä vastauksen antamiseen

Korrelaatioanalyysiä varten laskin edellä mainittujen lisäksi oppimismuutoksen, eli ajankohdan, jossa oletettu oppiminen tapahtui. Valitsin kunkin koehenkilön kohdalla manuaalisesti ajankohdan (blokin), jossa oikeiden vastausten osuus saavutti 100%. Kahdella koehenkilöllä maksimilukema ylsi 94%: iin asti, jolloin määritin sen heidän kohdallaan oppimisen ajankohdaksi. Lisäksi vertailin eri oppimisen tasoon liittyvien tilanteiden reaktioaikoja keskenään. Korrelaatioanalyysiin valikoitui MEG-aineiston muuttujia mukaillen ensimmäisen tutkimuspäivän ensimmäisen ja

viimeisen tehtäväblokin reaktioaikojen erotukset sekä ensimmäisen tutkimuspäivän viimeisen tehtäväblokin ja toisen tutkimuspäivän ensimmäisen tehtäväblokin sisältämien reaktioaikojen erot. Lisäksi tarkastelin kokonaisreaktioaikaa, jonka keskiarvoistin koko tutkimustilanteen ajalta. Syötin muuttujat SPSS-ohjelmaan, jossa tarkastelin käyttäytymisen tasolla havaittavan ja mitattavan oppimisen ja kognitiivisten taitojen välisiä korrelaatioita.

MEG-aineisto esikäsiteltiin ja analysoitiin tohtoriopiskelijan toimesta. Aineisto puhdistettiin ylimääräisistä tekijöistä, kuten pään liikkeistä ja ulkopuolisten magneettikenttien häiriöistä. Tämän jälkeen aineisto analysoitiin tutkimusongelman mukaisesti MNE Pythonilla. Sain käsiini tiedot oppimista indikoivista aivotason tapahtumista. Tämä käsitti tutkimusongelmani kannalta kiinnostavat arvot kongruentin ja inkongruentin ärsykeparin sekä kontrolliärsykkeen aiheuttamista aiovasteista kolmessa eri oppimiseen liittyvässä tilanteessa: ennen oppimista ja oppimisen tapahduttua ensimmäisenä tutkimuspäivänä sekä oppimisen jälkeen toisena tutkimuspäivänä.

Käytettäväksi analyysimenetelmiksi korrelaatioita tarkastellessa määräytyivät parametritön testit (Spearmanin korrelaatiokerroin), sillä MEG-aineisto sisälsi poikkeavia arvoja aineiston normaalijakauman testaamisen jälkeen (Kolmogorov-Smirnov-testi). Käyttäytymisen tason aineisto ei sisältänyt parametritöntä testejä vaativia arvoja, mutta analyysin johdonmukaisuuden vuoksi päädyin käyttämään koko aineistolle samoja menetelmiä.

## 4 TULOKSET

Esitän tulokseni tutkimusongelmien mukaisesti kolmen alaotsikon alla. Ensimmäisenä havainnollistan tuloksien perusteella, miten harjoittelu kehittyi kohti harjoittelun tuotosta ensimmäisenä tutkimuspäivänä. Tämän jälkeen esitän, miten yön aikaisen muistijäljen vahvistumisen vaikutus on havaittavissa oppimistuloksessa. Lopuksi esitän kielellisen työmuistin yhteyden kontekstin mukaisessa tehtävässä suoriutumiseen.

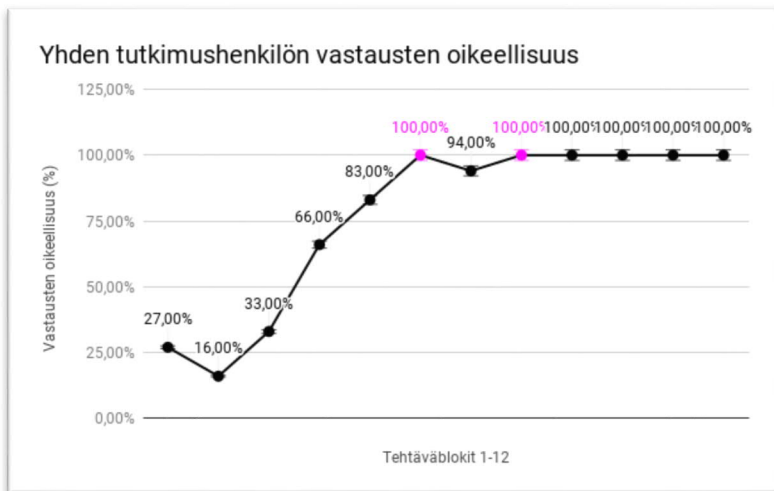
### 4.1 Harjoittelun vaikutus ensimmäisenä tutkimuspäivänä

Ensimmäinen tutkimusongelma käsitteli kahden eri oppimisen tasoon liittyvän tilanteen välillä (ei-opittu vs. opittu) havaittava muutos ensimmäisenä päivänä. Tapahtumia tarkasteltiin käyttäytymisen ja aivojen tasolla aiemmin määriteltyjen, oppimista indikoivien tekijöiden kautta (ks. luku 2.4).

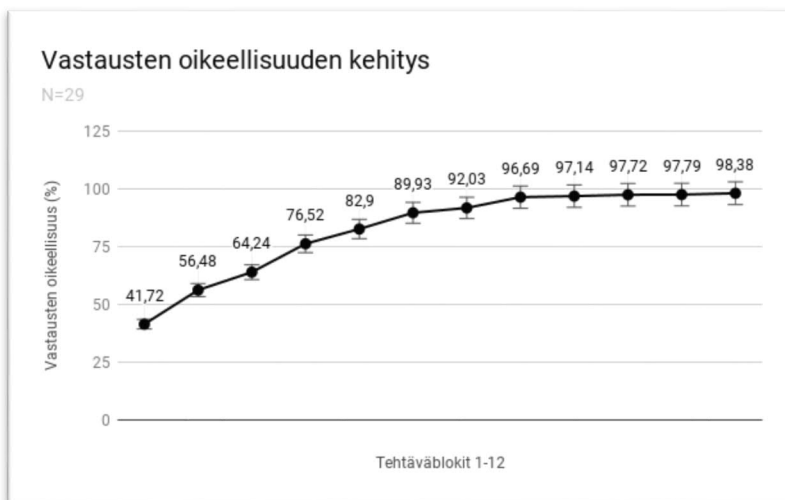
#### 4.1.1 Käyttäytymisen tasolla havaittavat vaikutukset

Käyttäytymisen tasolla havaittavaa oppimista tarkasteltiin vastausten oikeellisuudessa ja reaktioajassa tapahtuvien muutosten kautta. Oikeiden vastausten osuus nousi tehtävän aikana maksimilukemaan. Vastausten antoon kulunut reaktioaika laski tehtävän edetessä. Näiden muutosten perusteella oppimista tapahtui.

Kuviossa 1 on havainnollistettu tutkittavien henkilökohtainen vastausten oikeellisuuden kehitys. Kuvassa on esitettyä yhden satunnaisesti valitun koehenkilön otos. Oikeiden vastausten osuus kohosi nopeasti 100%:iin, ja lukemaan päästyään pysyi siinä tehtävän loppuun asti. Kaikkien koehenkilöiden vastausten oikeellisuuden keskiarvo kehittyi loivasti (kuvio 2). Tehtävän puolen välin jälkeen vastausten oikeellisuuden keskiarvo hipoi täyttä lukemaa tehtävän loppuun asti. Pystyakselilla on kuvattuna oikeiden vastausten osuus kokonaisvastauksista (%) ja vaaka-akselilla ensimmäisen päivän tehtävän eteneminen (tehtäväblokit 1-12).



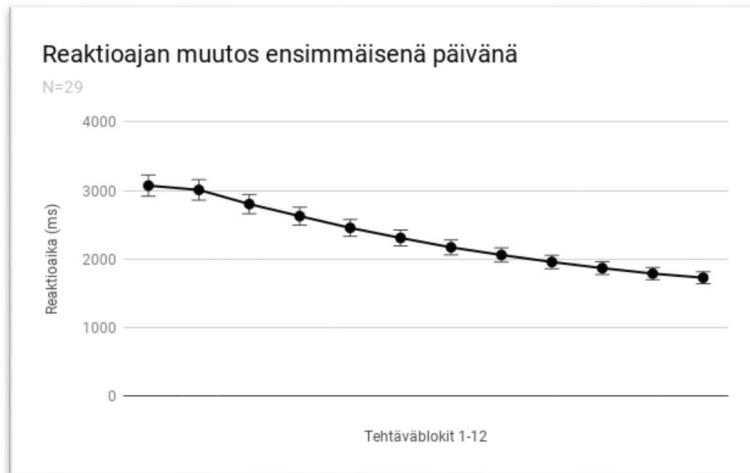
**Kuvio 1** | Yhden tutkimushenkilön vastausten oikeellisuus. Kuvassa esitettynä yhden satunnaisesti valitun koehenkilön vastausten oikeellisuuden kehitys ensimmäisenä tutkimuspäivänä. Kehityksen suuntaa kuvaa jyrkkä nousu kohti 100%:n oikeiden vastausten osuutta.



**Kuvio 2** | Vastausten oikeellisuuden kehitys. Kuvassa esitettynä koehenkilöiden keskiarvoinen vastausten oikeellisuuden kehitys ensimmäisenä päivänä. Kehitystä kuvaa oikeiden vastausten osuuden tasainen nousu tehtävän edetessä.



Kun tarkastellaan koehenkilöiden reaktioaikoja, osoittautui, että se laskee tehtävän myötä. Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu, että aika kysymyksen esittämisestä vastauksen antoon laskee tasaisesti tehtävän edetessä. Pystyakseli kuvaa reaktioaikaa (ms) kysymyksestä vastauksen antoon. Vaaka-akseli käsittää ensimmäisen päivän tutkimustehtävän etenemisen (tehtäväblokit 1-12).



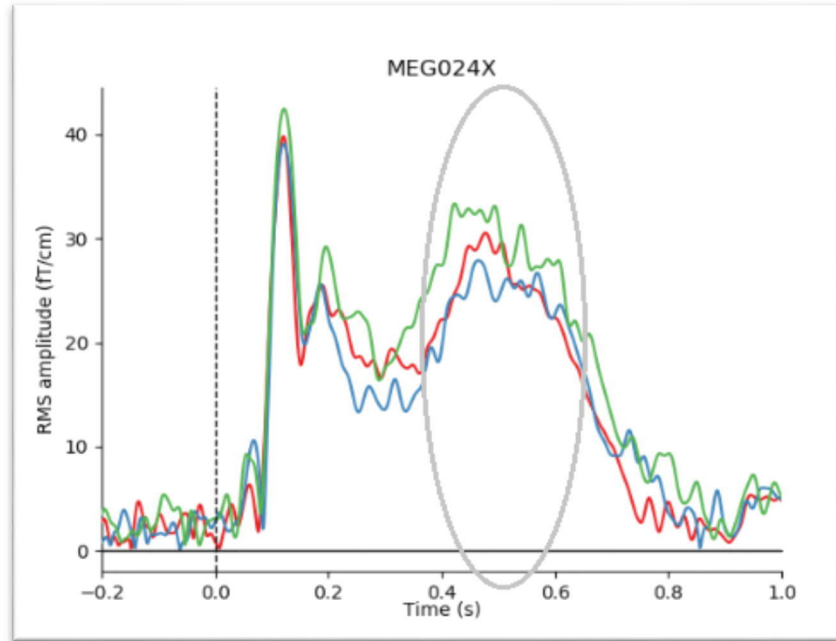
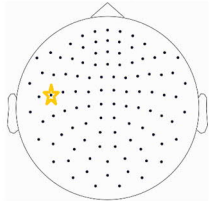
**Kuvio 3** | Reaktioajan muutos ensimmäisenä päivänä. Kuvassa esitettynä koehenkilöiden reaktioajan muutoksen keskiarvo. Muutosta kuvaa vastauksen antamiseen kuluneen ajan tasainen lasku tehtävän edetessä.

#### 4.1.2 Aivojen tasolla havaittavat vaikutukset

Aivojen tasolla oppimista tarkasteltiin kongruenssiefektissä tapahtuvan muutoksen kautta. Kongruenssiefekti voimistui ensimmäisenä tutkimuspäivänä tehtävän edetessä. Muutos oli tilastollisesti merkitsevä ( $t=-2.578$ ,  $p=0.016$ ). Kirjain-äänneyhteyksien oppiminen oli siis havaittavissa myös aivotasolla.

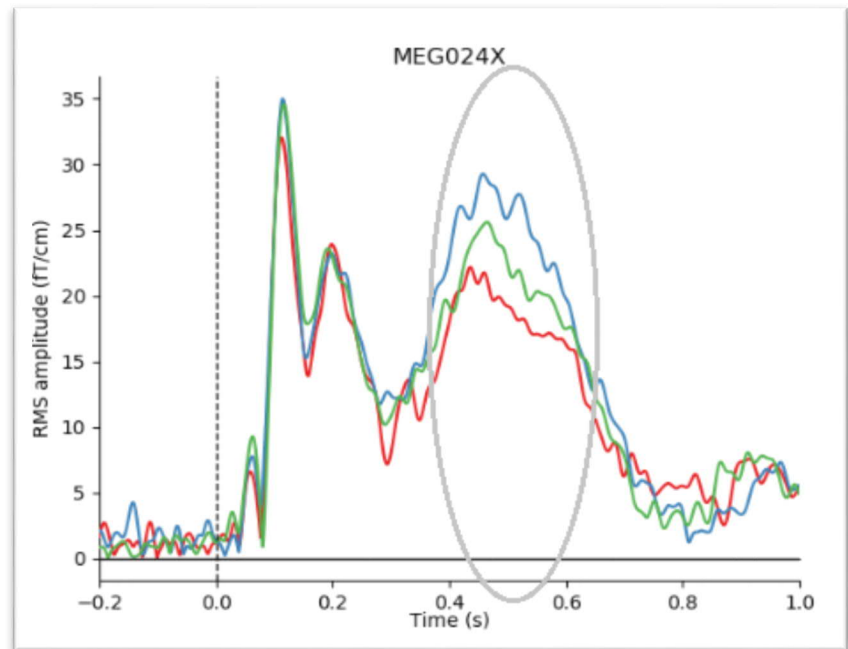
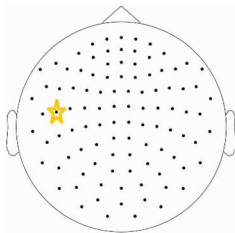
Kuva 7 käsittää yhden kanavan (MEG024X) taltioiman tilanteen harjoittelun alkuvaiheessa ennen kuvan ja äänteen yhteyden oppimista. Tarkastelun kohteena on noin 408–508 millisekunnin aikaikkunan tapahtumat vasemmanpuoleisella keskitemporaalialueella. Sininen viiva kuvastaa ei-yhteensopivan ärsyksen ja punainen yhteensopivan ärsyksen aiheuttamaa aiovastetta. Vihreä viiva kuvaa aiovastetta tilanteessa, jossa ärsykeparin yhteensopivuus ei ollut

opittavissa (kontrolliärsyke). Vasteet olivat alkuvaiheessa voimakkaampia niiden parien kohdalla, jotka sopivat yhteen, kuin niiden parien, jotka eivät sopineet yhteen.



**Kuva 7** | Yhden kanavan (MEG024X) aivovasteet ärsykkeen eri yhteensopivuuksille harjoittelun alkuvaiheessa. Vihreä kuvaa kontrolliärsykkeen, sininen inkongruentin ja punainen kongruentin ärsykeparin aiheuttamia aivovasteita. (Kuva: Xu, Weiyong 2019)

Seuraava kuva (kuva 8) käsittää tilanteen, jossa kirjain ja äänne on opittu yhdistämään toisiinsa. Kongruenssiefekti on selkeä. Aivovasteet ovat tässä oppimisen vaiheessa voimakkaammat ei-yhteensopiville ärsykepareille kuin yhteensopiville ärsykepareille. Kontrolliärsykkeen aiheuttama vaste sijoittuu oletuksen mukaisesti kahden muun ärsyketilanteen välille.



**Kuva 8** | Kongruenssiefekti harjoittelun lopussa ensimmäisenä tutkimuspäivänä on linjassa hypoteesin kanssa. Inkongruentin ärsykkeen aiheuttama aiovaste on voimakkain, kongruentin ärsykeparin aiheuttaman aiovasteen jäädessä pienimmäksi. Kontrolliärsykkeen aiheuttama vaste sijoittuu voimakkuudeltaan kongruenssiefektin muodostavien vasteiden väliin. (Kuva Xu, Weiyong 2019.)

## 4.2 Yön aikaisen levon vaikutus oppimiseen

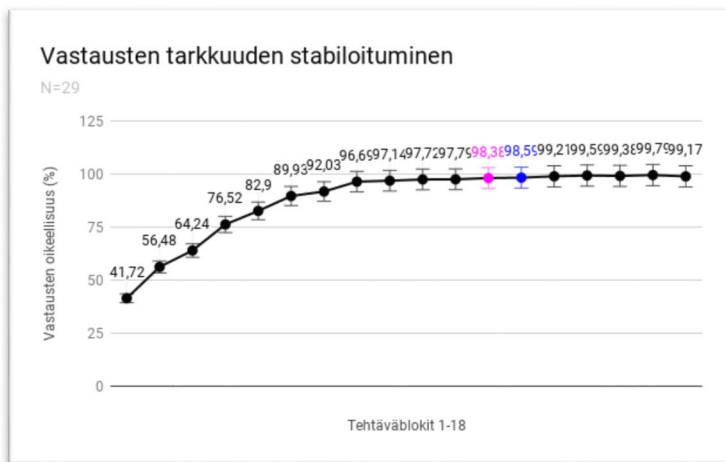
Toisen tutkimusongelman tarkastelun kohteena oli yön ja levon aikaisten muistin vahvistumisen prosessien vaikutus oppimistulokseen. Tapahtumia tarkkailtiin käyttäytymisen ja aivojen tasolla ennalta määritettyjen oppimista indikoivien tekijöiden kautta.

### 4.2.1 Käyttäytymisen tasolla havaittavat vaikutukset

Vastausten oikeellisuus pysyi kaikkien koehenkilöiden kohdalla lähes poikkeuksetta 100:ssa prosenttiyksikössä koko toisen tutkimuspäivän ajan. Ero edelliseen päivään oli merkitsevä ( $p < 0,05$ , kun  $t = -10.308$ ,  $p = 0.00$ ). Reaktioajassa tapahtui dramaattinen lasku ensimmäisen päivän

viimeisestä tehtävästä toisen päivän ensimmäiseen tehtävään. Ensimmäisen tutkimuspäivän ensimmäisen ja viimeisen tehtäväblokin reaktioaikojen erotus verrattuna ensimmäisen päivän viimeisen ja toisen päivän ensimmäisen tehtäväblokin erotukseen oli merkitsevä ( $p < 0.05$ , kun  $t = -2.507$ ,  $p = 0.018$ ). Näin ollen käyttäytymisen tasolla oli havaittavissa yön aikaisen levon ja muistijälkien vahvistumisen vaikutus.

Kuviossa 4 havainnollistuu vastausten oikeellisuuden kehitys ja stabiloituminen molempina tutkimuspäivinä. Lila piste kuvaa ensimmäisen päivän viimeistä tehtäväblokkia, kun sininen piste merkitsee toisen päivän ensimmäisen tehtäväblokin. Koko toisen tutkimuspäivän ajan koehenkilöiden oikeiden vastausten keskiarvoa kuvaa lähellä täyttä prosenttilukemaa pysyttelevät arvot. Tämän perusteella kirjain-äänneyhteyksien oppimisen voi tulkita syventyneen. On esitetty, että harjoittelua seuraavana päivänä havaittava vastausten stabiloituminen oikeiksi on kuvaamassa oppimisen syventymistä kielellisissä tehtävissä (Fenn ym., 2003).



**Kuvio 4** | Vastausten oikeellisuuden stabiloituminen toisena tutkimuspäivänä. Lila piste kuvaa ensimmäisen tutkimuspäivän viimeistä tehtäväblokkia, ja sininen toisen tutkimuspäivän ensimmäistä tehtäväblokkia. Vastausten stabiloitumista kuvaa lähellä maksimilukemaa pysyttelevä oikeiden vastausten osuus

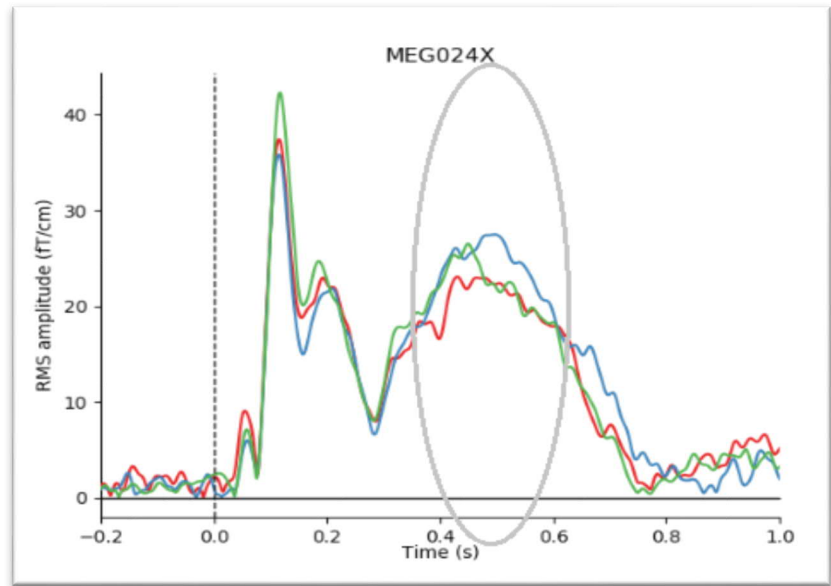
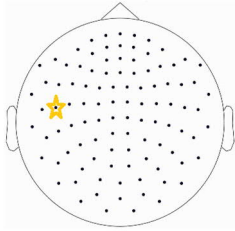
Seuraavassa kuviossa (kuvio 5) on nähtävissä vastausten antamiseen kuluneen reaktioajan keskiarvoistettu muutos. Lila piste kuvaa ensimmäisen tutkimuspäivän viimeistä tehtäväblokkia, ja sininen toisen tutkimuspäivän ensimmäistä tehtäväblokkia. Reaktioajan muutos päivien välillä on tilastollisesti merkitsevä, mikä osoittaa yönaikaisten muistijälkien vahvistumisen ja oppimisen syventymisen tapahtuneen.



**Kuvio 5** | Reaktioajan muutos yön yli. Lila piste on kuvaamassa ensimmäisen tutkimuspäivän viimeisen tehtäväblokin, ja sininen piste toisen tutkimuspäivän ensimmäisen tehtäväblokin reaktioaikoja.

#### 4.2.2 Aivojen tasolla havaittavat vaikutukset

Kuvassa 9 on nähtävillä kongruenssiefekti toisena tutkimuspäivänä, jolloin oppimisen oletetaan syventyneen. Sininen viiva kuvastaa yhden kanavan (MEG024X) aivovasteita ei-yhteensopiville ärsykepareille ja punainen samaisen kanavan taltioimaa vastetta yhteensopiville ärsykepareille. Vihreä viiva kuvaa kontrolliärsykkeen aiheuttamia tapahtumia. Tehtävän suorittamisen päätösvaiheessa kongruenssiefektin muutos on havaittavissa. Voimakkaimmat vasteet aiheuttivat inkongruentit ärsykeparit, ja pienimmät kongruentit ärsykeparit. Kontrolliärsyke aiheutti eroavaisuuksia verrattuna edelliseen päivään. T-testin osoittaman tuloksen mukaan kongruenssiefektissä on havaittavissa muutosta ( $t=1.940$ ,  $p=0.063$ ).



**Kuva 9** | Kongruenssiefekti toisena päivänä mitattuna. Vihreä kuvaa kontrolliärsykkeen, sininen inkongruenttin ja punainen kongruenttin ärsykeparin aiheuttamia aiovasteita. (Kuva. Xu, Weiyong, 2019)

### 4.3 Kielellisen työmuistin yhteys tehtävässä suoriutumiseen

Kolmas tutkimusongelma tarkasteli kognitiivisten taitojen suhdetta tehtävässä suoriutumisen kanssa. Huomion kohteena olivat epäsanantoistotesti, numerosarjat sekä kontrollitehtävänä kuutiotehtävä. Käyttäytymisen tason muuttujat korreloivat MEG-aineiston muuttujien kanssa joiltain osin. Tarkastelun kohteena olleet kognitiivisten taitojen testit eivät osoittaneet käyttäytymisen eikä aivojen tason oppimista indikoivien tekijöiden kanssa yhteyttä.

Taulukossa 2 on esitettyä käyttämäni oppimista indikoivat käyttäytymisen ja aivotason muuttujat ja niiden väliset korrelaatio-suhteet. Vaakasarakkeilla on listattuna käyttäytymisen tason muuttujat, joita olivat vastausten oikeellisuus, oppimisnopeus, reaktioajan erotus ensimmäisenä päivänä, reaktioajan muutos päivien välillä sekä kokonaisreaktioaika. Pystysarakkeet muodostuvat aivotasolla mitatuista kongruenssiefekteistä. Ensimmäisen tutkimuspäivän alussa mitattu

aivotason kongruenssiefekti osoitti tilastollisesti merkitsevää yhteyttä käyttäytymisen tason reaktioaikojen muutosten kanssa seuraavanlaisesti. Mitä suurempi kongruenssiefekti oli, sitä suuremmat olivat reaktioaikojen erotukset ensimmäisenä päivänä sekä päivien välillä. Kokonaisreaktioaika pieneni kongruenssiefektin suurentuessa.

**Taulukko 2** | Käyttäytymisen tason ja MEG- aineiston muuttujien väliset korrelaatio suhteet. Korrelaatio oli merkitsevä käyttäytymisen tason reaktioajassa tapahtuvien muutosten ja ennen oppimista mitatun kongruenssiefektin välillä.

	Kongruenssiefekti alussa	Kongruenssiefekti lopussa	Kongruenssiefekti 2. tutkimuspäivä
Vastausten oikeellisuus	-,017	-,138	,192
Oppimismisnopeus	-,020	,090	-,248
Reaktioajan erotus 1.päivä	<b>,395*</b>	,147	-,151
Reaktioajan muutos päivien välillä	<b>,374*</b>	,142	,032
Kokonaisreaktioaika	<b>-,533**</b>	-,211	-,014

Huom: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ : korrelaatio merkitsevä tasolla 0,05, kun \*; ja merkitsevä tasolla 0,01, kun \*\*

Seuraavassa taulukossa (taulukko 3) on nähtävissä kognitiivisten taitojen ja kaikkien oppimista indikoivien muuttujien väliset korrelaatio suhteet. Vaakasarakkeessa on esitettyä ensin käyttäytymisen tason muuttujat ja lopuksi aivotasolla mitatut kongruenssiefektit. Kognitiivisia taitoja mitanneet tehtävät (epäsanantoistotesti, numerosarjat, kuutiotehtävä) muodostavat pystysarakkeet. Epäsanantoistotestiä ja numerosarjoja käytettiin kielellisen työmuistin mittaamiseen, kun kuutiotehtävät mittasivat avaruudellista päättelykykyä.

Pohjautuen aiempiin tuloksiin kielellisen työmuistin ja vieraan kielen taitojen yhteydestä (Papagno ja Vallar, 1995; French, 2003; Kormos ja Sáfár, 2008; Miettinen, 2010) oletuksena oli, että kielellisen työmuistin mittarit korreloisivat tutkimustehtävässä suoriutumisen kanssa. Kuutiotehtävissä suoriutumisen odotettiin tukevan oletusta, että tutkimustehtävä edellyttäisi nimenomaan kielellistä työmuistia. Korrelaatioanalyysin perusteella kielellisen työmuistin ja kirjain-äänneyhteyksien oppimisella ei ole havaittavissa tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

**Taulukko 3** | Tutkimustehtävässä suoriutumisen kanssa korreloivat kognitiiviset taidot

Oppimisen indeksi	Epäsantoistotesti	Numerosarjat	Kuutiotehtävä
Vastausten oikeellisuus	-,197	,322	,178
Oppimisko nopeus	,341	-,108	-,181
Reaktioajan erotus 1.päivä	,058	-,140	-,198
Reaktioajan muutos yön yli	-,228	-,120	-,164
Kokonaisreaktioaika	,200	-,018	,114
Kongruenttiefekti alussa	,001	,043	,088
Kongruenttiefekti lopussa	,259	,103	,071
Kongruenttiefekti päivä 2	,094	,077	,237



## 5 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten kirjainten ja puheäänteiden välisten yhteyksien harjoittelu ja oppiminen ilmenevät sekä käyttäytymisen että aivojen tasoilla ja millainen on kielellisen työmuistin rooli tehtävässä suoriutumisessa. Käyttäytymisen tasolla vastausten oikeellisuus kasvoi ja vastausten antamiseen kulunut reaktioaika laski ensimmäisenä ja toisena tutkimuspäivänä tehtävän ja oppimisen edetessä. Merkittävin muutos reaktioajassa tapahtui ensimmäisen ja toisen päivän välillä. Aivotasolla kongruenssiefekti voimistui merkitsevästi oppimisen myötä ensimmäisenä päivänä. Toisen päivän kongruenssiefektin suuruus verrattuna edellisen päivän efektiin näytti muutosta, mutta tilastollisesti merkitsevää tulosta ei ollut todennettavissa. Kognitiivisten taitojen ja tehtävässä suoriutumisen välillä ei oletuksen vastaisesti havaittu merkitsevää korrelaatiota.

Tutkielmani on tehty osana väitöskirjahanketta, jonka päätavoitteena on selvittää, mitä tapahtuu audiovisuaalisen oppimisen hetkellä. Kaksipäiväisen MEG-tutkimuksen lisäksi tutkimushenkilöt (N=30) suorittivat kognitiivisten taitojen testisarjan, joka mittasi mm. kielellisen työmuistin kapasiteettia. Tutkimustehtävä oli audiovisuaalisen oppimisen tehtävä, jossa esitettiin joko auditiivisia ja visuaalisia ärsykeitä yksinään tai ärsykeitä yhdistettyinä. Audiovisuaaliset ärsykeparit koostuivat joko keskenään yhteensopivista tai ei-yhteensopivista pareista. Kontrolliärsykkeenä toimivien ärsykeparien yhteensopivuus ei ollut opittavissa. Ärsykeparien yhteensopivuudet opittiin palautteen (kyllä, ei, en tiedä) perusteella. Kognitiivinen testisarja koostui kahdeksasta kognitiivisia taitoja mittaavasta tehtävästä, jotka arvioivat työmuistia ja tiedonkäsittelyä eri kulmista. Tässä tutkielmassa tarkastelin kielellisen työmuistin mittareina toimivia tehtäviä (numerosarjat ja epäsanantoistotesti) sekä avaruudellista päättelykykyä mittaavaa kuutiotehtävää.

## 5.1 Oppimisen tapahtumasta

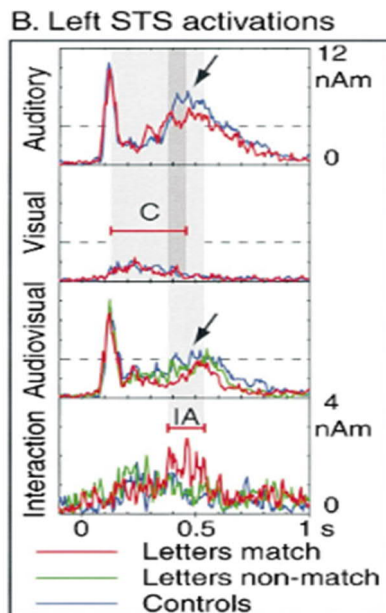
Ensimmäisenä tutkimuspäivänä tapahtui oletuksen mukaista oppimista molemmilla tarkastelun tasoilla. Käyttäytymisen tasolla vastausten oikeellisuus kasvoi ja reaktioaika laski tehtävän edetessä. Aivotasolla havaittava kongruenssiefekti selkiintyi ja voimistui harjoittelun alusta harjoittelun päättymiseen. Kongruenssiefektin muutos harjoittelun myötä oli tilastollisesti merkitsevä, minkä voisi tulkita olevan seurausta oppimisesta. Toisen päivän oppimistuloksissa oli havaittavissa hypoteesin mukaisia yönaikaisen muistijäljen vahvistumisen vaikutuksia. Tämä näyttäytyi käyttäytymisen tasolla vastausten oikeellisuuden stabiloitumisena sekä reaktioajan jyrkkänä notkahduksena ensimmäisen päivän viimeisen ja toisen päivän ensimmäisen tehtäväblokin välillä. Ensimmäisen ja toisen päivän kongruenssiefektien vertailun tuloksena oli havaittavissa suunta kohti tilastollisesti merkitsevää tulosta.

Tutkimukseni käyttäytymisen tason tulokset ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa. Käyttäytymisen tason suoritusta tarkastelleet tutkimukset ovat todenneet uuden oppimisen syventyvän yön aikana kielellisissä tehtävissä (esim. Ficca ym., 2000; Fenn ym., 2003). Suoriutumisen on osoitettu paranevan harjoittelun myötä, mutta täydentyvän ja vakiintuvan seuraavana päivänä unen seurauksena (Fenn ym., 2003). Fenn ja kollegat (2003) esittivät tutkimushenkilöille vaikeasti ymmärrettävää ja helposti virheisiin johtavaa synteettistä puhetta, jota heidän oli määrä oppia tunnistamaan. Tutkimustilanne koostui alkutestistä, harjoittelusta ja 12 tunnin levon jälkeisestä testauksesta. Puheen tunnistamisen oikeellisuus koheni ajan kuluessa, stabiloituen 12 tunnin unen jälkeen. Tutkimuksen mukaan uni on syventämässä muistijälkiä (muistin konsolidaatio) ja suojaamassa niitä häiriötekijöiltä kuin myös parantamassa ja korjaamassa muistia. (Fenn ym., 2003.)

Aiemmat audiovisuaalisen integraation tutkimukset ovat raportoineet audiovisuaalisen ärsykkeen yhdistymistä molemminpuolisilla temporaalisilla alueilla (ks esim Raij ym 2000; Van Atteveldt ym 2004; Blau ym., 2009). Ensimmäisenä kirjainten ja puheäänteiden välisiä yhteyksiä tarkastellut tutkimus (Raij ym, 2000) havaitsi vasemmanpuoleisella STS:n alueella audiovisuaalisen ärsykkeen vahvaa vuorovaikutusta 380-540 millisekunnin aikaikkunan kohdalla, josta se jatkoi

oikeanpuoleiselle STS:lle. Tutkimukseni tarkastelun kohteena ollut kongruenssiefekti oli mitattu vasemmanpuoleiselta STS:n seudulta n. 408-508 millisekunnin aikaikkunan kohdalla, mikä oli linjassa Raijn ja kollegoiden tutkimuksen kanssa. Efektit olivat paikoin linjassa, mutta erosivat suurilta osin inkongruentin ja kontrolliärsykkeiden aiheuttamien aivovasteiden kohdalla.

Edellä viitattu MEG-tutkimus (Raij ym., 2000) tutki tuttujen kirjain-puheäänneyhteyksien aivovasteita suomalaisilla koehenkilöillä. Audiovisuaaliset ärsykkeet koostuivat 20:stä suomenkielisestä kirjaimesta ja niitä vastaavista puheäänneistä. Kontrolliärsykkeinä käytettiin vastaava määrä merkityksettömiä merkkejä ja ääniä. Koehenkilöiden tehtävänä oli mahdollisimman nopeasti osoittaa tunnistavansa huomion kohteeksi määrättyt kirjaimet. Audiovisuaalisissa kohteissa sama kirjain esitettiin sekä auditiivisesti että visuaalisesti, ja niihin reagoitiin vain silloin, kun koehenkilö tunnisti nämä vastaavan toisiaan. Kuvassa 10 on (ylhäältä katsottuna kolmantena) esitettynä audiovisuaalisen ärsykkeen aiheuttamat aivovasteet vasemmalla STS:n alueella 380–540 millisekunnin aikaikkunan kohdalla samana päivänä, kun tehtävät on suoritettu. Punainen viiva kuvaa kongruentin ärsykeparin, vihreä inkongruentin ja sininen kontrolliärsykkeen aiheuttamia aivovasteita.



**Kuva 10** | Kolmas ikkuna kuvaa audiovisuaalisen ärsykkeen aiheuttamia aivovasteita vasemmanpuoleisella STS:n alueella. Kuvassa on eroteltuna kongruentin (punainen), inkongruentin (vihreä) ja kontrolliärsykkeen (sininen) aiheuttamat aivovasteet tuttujen kirjain-äänneyhteyksien prosessoinnin hetkellä. (Raij ym., 2000)

Vertailtaessa edellä esitettyjä audiovisuaalisia aiovasteita tutkimukseni kongruenssiefektiin ensimmäisen tutkimuspäivän lopulla, on kongruenttien ärsykeparin aiheuttamissa aiovasteissa havaittavissa yhteneväisyyksiä siten, että yhteensopivat kirjain-äänneparit aiheuttivat ei-yhteensopivia pienempiä aiovasteita. Tutkimuksessani ärsykeparien aiheuttamien aiovasteiden suunta on päinvastainen harjoittelun alkuvaiheessa: kongruentit assosiaatiot aiheuttivat voimakkaammat aiovasteet kuin inkongruentit ärsykeparit. Mistä tämä voisi johtua, pohdin seuraavan passiivista audiovisuaalista tutkimustehtävää käyttäneen fMRI-tutkimuksen avulla.

Blau kollegoineen (2009) havaitsi, että dysleksian omaavien ja tyypillisesti lukevien aikuisten aiovasteet erosivat aivojen superioorisilla temporaalialueilla. Blau kollegoineen muistuttaa, että kongruenssiefekti on osoitus onnistuneesta kirjain-äänne-integraatiosta. Kongruenssiefekti ei ole havaittavissa, mikäli auditiiviset ja visuaaliset syötteet eivät ole integroituneet oikein. He jatkavat, että kongruenssiefektin voimakkuuden vaihtelu kielisi sitä, että jo opittujen audiovisuaalisten assosiaatioiden prosessoinnissa on läsnä toiminnalliset muutokset. Inkongruenttien ärsykeparin aiheuttaessa pienempiä aiovasteita (vrt kuva 10 ja 8 inkongruenttien ärsykeparin aiheuttamat aiovasteet), voisi nähdä liittyvän siihen, että ne eivät ole äidinkielessä tunnistettu olemassa oleviksi pareiksi. (Blau ym. 2009.)

Raijn ja kollegoiden tutkimus käsitti tutkimushenkilöiden äidinkielelle pohjautuvan tehtävän, eli verrattuna kongruentteihin ärsykepareihin, inkongruentteja ärsykepareja ei ole assosioitu mihinkään oppimisen kautta. Vastaavat aiovasteet tuloksissamme ovat huomattavasti korkeammat kuin kongruenttien ärsykeparin aiheuttamat vasteet (ks. kuva 8), mikä taas viestii siitä, että assosiaatiot ovat uusia ja näin niiden prosessointi on kuormittavaa. Ennen harjoittelua inkongruenttien vasteet ovat pienemmät kuin kongruenttien, mikä voisi selittyä tarkkaavaisuuden suuntaamiseen (Desimone ym., 1995) liittyvällä relevantin informaation priorisoinnilla siten, että harjoittelun alkuvaiheessa huomio keskittyy yhteensopiviin yhteyksiin.

Ennalta tuntemattomien kirjainten ja puheäänteiden välisten assosiaatioiden harjoittelujakson sisältäneen tutkimuksen tulokset ovat myös tukemassa sitä, että bilateraalinen STG ja STS liittyisivät kriittisesti poikkimodaaliseen, kirjainten ja puheäänteiden integraatioon. Kyseisen fMRI-tutkimuksen tarkastelun kohteena ei ollut kirjainten ja puheäänteiden yhdistyminen, vaan

audiovisuaalisten ärsykkeiden aiheuttamien aktivaatioiden erot eri aivoalueilla. Tulokset ovat kuitenkin linjassa integraation tutkimuksen kanssa. Oman äidinkielen ärsyke aiheutti suurempaa aktivaatiota STS:n alueella kuin uudet, tutkimustehtävässä opetettavat assosiaatiot. Jo opittujen kirjainten ja äänteiden välisten vastaavuuksien aiheuttaman voimakkaamman aktivaation STS:n alueella he ehdottavat refleктоivan onnistuneen audiovisuaalisen integraation tapahtumaa. (Hashimoto ja Sakai 2004.)

Tuloksissamme toisena tutkimuspäivänä mitatun pienentyneen kongruenssieffektin voisi tulkita olevan viittaamassa yönaikaisen muistijäljen konsolidaation tapahtumaan, eli oletettuun oppimisen syventymiseen. Tällöin assosiaatioiden oppiminen olisi muuttunut kohti automatisoituneempaa luonnetta, jonka Blomert (2011) selvensi mm. lukutaidon kehittymisen edellytykseksi (Blomert, 2011). Tiedonkäsittelyn näkökulmasta katsottuna, eri audiovisuaaliseen oppimiseen liittyvien tilanteiden myötä tapahtuvat muutokset aktivaatioissa voisivat tarkoittaa sitä, että oppimisprosessi on käynnissä. Kun kirjainten ja puheäänteiden välisiä yhteyksiä opetellaan, aktivaatio kasvaa. Kun ärsykkeiden väliset vastaavuudet opitaan, aktivaatio laskee tietynlaisen automatisoituneen taidon myötä.

Kiinnostavan aspektin lisää ensimmäisen päivän kongruenssieffektin suhde käyttäytymisen tason aineistoon. Korrelaatioanalyysi osoitti merkitsevän yhteyden nimenomaan ennen oppimista mitatun kongruenssieffektin ja käyttäytymisen tasolla mitattavan reaktioajan muutosten kanssa. Korrelaatio osoitti, että mitä suurempi kongruenssieffekti, sitä pienempi oli kahden tutkimuspäivän keskiarvoistettu reaktioaika. Tästä heräsi kysymys, että voisiko ensikohtaamisestamme uuden materiaalin kanssa ennustaa, miten tulemme tehtävässä menestymään?

## **5.2 Kielellisen työmuistin osuus**

Kielellisen työmuistin yhteys tehtävässä suoriutumiseen ei ollut linjassa hypoteesin kanssa. Oletus oli, että epäsanantoistotestin ja numerosarjojen mittareilla määritetty kielellisen työmuistin kapasiteetti korreloisi tutkimustehtävässä suoriutumisen kanssa. Korrelaatioanalyysi ei osoittanut näiden välillä tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Kuitenkin L2-aidot, joita oletin

tutkimustehtävämme myös heijastelevan, on yhdistetty kielellisen työmuistin laatuun useissa tutkimuksissa (mm. Papagno ja Vallar, 1995; French, 2003; Kormos ja Sáfár, 2008 ja Miettinen, 2010), joissa on käytetty samoja työmuistin mittareita.

Aiemmissa, tämän yhteyden osoittavissa tutkimuksissa, L2-kielen taitoja on tarkasteltu eri kielellisiä taitoja mittaavien tehtävien avulla, mikä voisi osaltaan selittää eriäviä tuloksia. Tarkastelun kohteena ovat olleet mm. sanaston laajuus, luetun- ja kuullun ymmärtäminen, lauseenmuodostus ja verbimuodot. Edellä mainitut taidot vaativat monimutkaisempia tiedonkäsittelyn vaiheita, jolloin työmuistin osuus voi olla suuremmassa roolissa, kuin käyttämässämme audiovisuaalisessa tutkimustehtävässä. Tutkimuksemme huomion kohteena oli edellä mainittujen taitojen esivaiheiksikin tulkittavat tasot, kirjaimen ja äänteen yhdistymiseen liittyvät tapahtumat. Oppimistilanne käsitti vain kuusi opittavaa audiovisuaalista assosiaatiota, jolloin työmuistin resurssit eivät olleet koetuksella niin, että korrelaatio olisi tullut näkyviin. Ratkaisevaksi mietinnän aiheeksi muodostuukin, miten tutkimusasetelmassa on arvioitu kielitaitoa ja oppimista, ja miten ne mittavat käytännön osaamista.

Yksi huomionarvoinen tekijä voisi olla myös se, että aineistomme koostui jo tietyn kognitiivisten taitojen seulan läpäisseistä yliopisto-opiskelijoista, jolloin hajonta ko. taidoissa saattaa olla tästä syystä jo lähtökohtaisesti pienempi, kuin normaaliväestön kesken. Lisäksi oppimismuutosta kuvannut muuttaja ei ollut erityisen tarkka, sillä se oli määritelty yhden blokin (n.3min) tarkkuudella. Näin koehenkilöiden välille, jotka oppivat blokin alussa tai blokin lopussa, ei muodostunut eroa. Tällöin mahdollinen yhteys oppimismuutoksen ja kielellisen työmuistin välillä ei ollut havaittavissa.

Myös epäsanantoistotehtävän kielivalinnalla saattaa olla merkitystä kielellisen työmuistin arvioinnissa (Miettinen, 2010: 168-169). Eri kielten fonotakteja noudattavat epäsanantoistotehtävät voisivat antaa kiinnostavaa lisäinformaatioita kielellisen prosessoinnin ulottuvuuksista. Onkin ehdotettu, että vieraskielinen epäsanantoistotesti kuvaisi spesifimpää kielellistä taitoa, kun vastaava äidinkielelle rakennettu tehtävä reflektoisi kielellisen työmuistin toimintaa yleisemmällä tasolla (Miettinen, 2010: 157). Täten olisi kiinnostavaa tarkastella, miten vieraskielinen epäsanantoistotesti olisi yhteydessä vieraan kielen oppimiseen liittyviin

ulottuvuuksiin tutkielmani mukaisessa tilanteessa. Kiinnostavaa olisi myös, millaisia audiovisuaaliseen oppimiseen liittyviä tapahtumia olisi havaittavissa tilanteessa, jossa tutkimustehtävän molemmat ärsykkeet koostuvat vieraskielisestä, tutkimushenkilöille ennalta tuntemattomasta materiaalista.

### **5.3 Lopuksi**

Tutkimukseni tukee vasemmanpuoleisen temporaalialueen merkitystä vieraskielisten kirjainten ja äidinkielen puheäänteiden välisten assosiaatioiden erottelussa ja oppimisessa. Tämän lisäksi niin käyttäytymisen kuin aivojen tasolla havaitut tulokset osoittivat yön aikaisen muistijäljen vahvistumisen merkitystä oppimistulokseen. Kielellisen työmuistin osuus tutkimustehtävässä suoriutumisessa ei ollut todennettavissa, mikä nostaa pohdintaan seuraavanlaisia jatkotutkimuksen kannalta kiinnostavia aiheita.

Hashimoto ja Sakai (2004) nostavat tutkimuksessaan PO:n ja PITG:n alueiden merkityksen uusien kirjain-äänneyhteyksien oppimisessa. Jonides kollegoineen (1998) on aiemmin ehdottanut, että PO olisi osa verbaalisen työmuistin hermoverkkoa (Jonedis ym., 1998). Olisiko suoriutuminen kielellistä työmuistia vaativissa tehtävissä yhteydessä edellä mainittujen alueiden aktivaatioihin työntekijöiden kontekstissa? Lisäksi olisi kiinnostavaa, milloin PO:n ja PITG:n alueiden aktivaatiot laimenevat, ts. milloin uusi tieto omaksutaan niin, että se siirtyy tuttujen assosiaatioiden prosessoinnin alueille. Tämä edellyttäisi pitkittäistutkimusta, jossa olisi mahdollista seurata vieraan kielen oppimiseen liittyviä pitkäaikaisia vaikutuksia.

Lisäksi tutkimukseni tarjoaa tietoa audiovisuaaliseen oppimiseen yleisesti liittyvistä prosesseista, jolloin se voi toimia relevanttina inspiraation lähteenä yleisen kielentutkimuksen suunnalle, joka tarkastelee kielitaitoa aistihavaintoja hyödyntävänä, multimodaalisena kykynä.

***Kiitos!***

*Lämmin kiitos ohjaajalleni Hannele Dufvalle avoimuudesta ja miellyttävästä ohjausotteesta.*

*Kiitos toiselle ohjaajalleni Jarmo Hämäläiselle asiantuntevasta läsnäolosta ja joustavuudesta.*

*Kiitos Weiyong Xu avuliaisuudesta ja inspiroivista keskusteluista. Kiitos perheelleni, että asiat sujuivat.*

***Jyväskylässä, 10. heinäkuuta 2019***

***Aino Sorsa***



# KIRJALLISUUS

Amedi, A., von Kriegstein, K., van Atteveldt, N. M., Beauchamp, M. S. & Naumer, M. J. (2005). Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. *Experimental Brain Research*, 166(3-4), 559-571.

Atkinson, R. C., ja Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. Teoksessa Spence, K. W., ja Spence, J. T. (toim.), *The psychology of learning and motivation 2* (89-195). New York: Academic Press.

Baars, B.J. & Gage, N.M. (toim.). (2010). *Cognition, Brain, and Consciousness. Introduction to Cognitive Neuroscience*. (Toinen painos). Elsevier Academic Press.

Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.

Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.

Baddeley, A.D., Gathercole, S.E. & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review* 105, 158–73.

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences* 4, 417–423.

Baddeley, A. (2003). Working Memory and Language: an overview. *Journal of Communication Disorders* 36(3), 189-208.

Beauchamp, M.S., Lee, K.E., Argall, B.D. & Martin, A. (2004). Integration of Auditory and Visual Information about Objects in Superior Temporal Sulcus. *Neuron* 41, 809-823.

Blomert, L. (2011). The neural signature of orthographic–phonological binding in successful and failing reading development. *NeuroImage* 57(3), 695-703.

- Calvert, G.A., Campbell, R. & Brammer, M.J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *CurrBiol*, 10(11), 649-657.
- Campbell, R. (2008). The processing of audio–visual speech: empirical and neural bases. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 1001–1010.
- Castro-Caldas, A., Petersson, K.M., Reis, A., Stone-Elander, S. & Ingvar, M. (1998). The literate brain -- learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain* 121, 1053-1063.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A. & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain* 123(2), 291-307.
- Darvas, F., Pantazis, D., Kucukaltun-Yildirim, E. & Leahy, R. M. (2004). Mapping human brain function with MEG and EEG: Methods and validation. *Neuroimage* 23, 299.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences* 15(6), 254-262.
- Diekelmann, S. & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience* 11(2), 114-126.
- Engel, A.K., Fries, P. & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience* 2, 704-716.
- Fenn, K.M., Nusbaum, H.C. & Margoliash, D. (2003). Consolidation during sleep of perceptual learning of spoken language. *Nature* 425, 614-616.
- Ficca, G., Lombardo, P., Rossi, L. & Salzarulo, P. (2000). Morning recall of verbal materials depends on prior sleep organization. *Behav. Brain. Res.* 112, 159-163.
- French, L. (2003). Phonological working memory and L2 acquisition: a developmental study of Quebec francophone children learning English. Laval Québecin yliopisto. Kielten laitos. Väitöskirja.
- Froyen, D., Van Atteveldt, N., Bonte, M. & Blomert, L. (2008). Cross-modal enhancement of the MMN to speech-sounds indicates early and automatic integration of letters and speech-

sounds. *Neuroscience Letters*, 430(1), 23-28.

Geschwind, N. & Levitsky, W. (1968). Human Brain: Left-Right Asymmetries in Temporal Speech Region. *Science* 161(3837): 186-187.

Gernsbacher, M. A. (1994). *Handbook of Psycholinguistics*. San Diego, CA: Academic Press.

Gross, J., Baillet, S., Barnes, G. R., Henson, R. N., Hillebrand, A., Jensen, O., ..., & Schoffelen, J. (2013). Good practice for conducting and reporting MEG research. *NeuroImage* 65, 349-363.

Haegens, S., Cousijn, H., Wallis, G., Harrison, P. J. & Nobre, A. C. (2014). Inter- and intra-individual variability in alpha peak frequency. *NeuroImage* 92, 46-55.

Hansen, P. C., Kringelbach, M. L. & Salmelin, R. (toim.). (2010). *MEG: An introduction to methods*. New York: Oxford University Press.

Hashimoto, R. & Sakai, K.L. (2004). Learning Letters in Adulthood: Direct Visualization of Cortical Plasticity for Forming a New Link between Orthography and Phonology. *Neuron* 42, 311-322.

Hein, G. & Knight, R.T. (2008). Superior Temporal Sulcus-----It's My Area: Or Is it? *Journal of Cognitive Neuroscience* 20(12), 2125-2136.

Howard, M. A., Volkov, I. O., Mirsky, R., Garell, P. C., Noh, M. D., Granner, M. & Brugge, J. F. (2000). Auditory cortex on the human posterior superior temporal gyrus. *The Journal of Comparative Neurology* 416(1), 79-92.

Jonides, J., Schumacher, E.H., Smith, E.E., Koeppe, R.A., Awh, E., Reuter-Lorenz, P.A., Marshuetz, C. & Willis, C.R. (1998). The role of parietal cortex in verbal working memory. *J. Neurosci.* 18, 5026-5034

Jost, L., Eberhard-Moscicka, A., Frisch, C., Dellwo, V. & Maurer, U. (2014). Integration of spoken and written words in beginning readers: A topographic ERP study. *Brain Topography*, 27(6), 786-800.

Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Flöel, A., Ringelstein, E.-B. & Henningsen, H. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain* 123(12), 2512-2518.

- Kolb, B. & Wishaw, I.Q. (toim.). (2014). *An Introduction to brain and Behaviour*. (4.painos), 282-312. New York.
- Kormos, J. & Sáfár, A. (2008). Phonological short-term memory, working memory and foreign language performance in intensive language learning. *Bilingualism: Language and Cognition* 11(2), 261-271.
- Lieberman, I.Y., Shankweiler, J. & Liberman, A.M. (1989). The Alphabetic Principle and Learning to Read. *Phonology and Reading Disability: Solving the Reading Puzzle*.
- Mesgarani, M., Cheung, C., Johnson, K. & Chang, E.F. (2014). Phonetic feature encoding in human superior temporal gyrus. *Science* 343(6174), 1006-1010.
- Mierau, A., Klimesch, W. & Lefebvre, J. (2017). State-dependent alpha peak frequency shifts: Experimental evidence, potential mechanisms and functional implications. *Neuroscience* 360, 146-154.
- Miettinen, H. (2012). *Phonological working memory and L2 knowledge: Finnish children learning English*. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä Studies in Humanities 184. Väitöskirja.
- Nakamura, K., Honda, M., Okada, Hanakawa, T., Toma, K., Fukuyama, H., Konishi, J. & Shibasaki, H. (2000). Participation of the left posterior inferior temporal cortex in writing and mental recall of kanji orthography: A functional MRI study. *Brain* 123(5), 954-967.
- Norrix, L. W., Plante, E. & Vance, R. (2006). Auditory–visual speech integration by adults with and without language-learning disabilities. *Journal of Communication Disorders* 39(1), 22-36.
- Norrix, L. W., Plante, E., Vance, R. & Boliek, C. A. (2007). Auditory-visual integration for speech by children with and without specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 50(6), 1639-1651.
- Papagno, C. & Vallar, G. (1995). Verbal Short-term Memory and Vocabulary Learning in Polyglots. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 48(1), 98-107.
- Raij, T., Uutela, K. & Hari, R. (2000). Audiovisual integration of letters in the human brain. *Neuron*, 28(2), 617-625.

- Rapscsak, S.Z. & Beeson, P.M. (2004). The role of left posterior inferior temporal cortex in spelling. *Neurology* 62(12), 2221-2229.
- Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T. & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 7(8).
- Van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron* 43(2), 271-282.
- Van Atteveldt, N.M., Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. (2007). Top-down task effects overrule automatic multisensory responses to letter-sound pairs in auditory association cortex. *Neuroimage* 36, 1345-1360
- 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(1-2), 152-164.
- Wechsler, D., von Fiedant, K. ja Kalimo, E. (toim.). (1971). *Manual for the Wechsler adult intelligence scale*. Helsinki: Psykologien kustannus.
- Wright, T.M., Pelphrey, K.A., Allison, T., McKeown, M.J. & McCarthy, G. (2003). Polysensory Interactions along Lateral Temporal Regions Evoked by Audiovisual Speech. *Cerebral Cortex*, 13(10), 1034-1043.
- Xu, W., Kolozsvári, O. B., Monto, S. P. & Hämäläinen, J. A. (2018). Brain responses to letters and speech sounds and their correlations with cognitive skills related to reading in children. *Frontiers in Human Neuroscience* 12(304).
- Xu, W., Kolozsvári, O. B., Oostenveld, R., Leppänen, P. H. T. & Hämäläinen, J. A. (2019). Audiovisual processing of chinese characters elicits suppression and congruency effects in MEG. *Frontiers in Human Neuroscience* 13(18).

## **LIITTEET**

Liiteluettelo:

Liite 1 | Tutkielmassa käytetyt käsitteet ja lyhenteet aakkosjärjestyksessä

Liite 2 | Tutkimuksen proseduuri

Liite 3 | Tiedote tutkimuksesta

Liite 4 | Taustatietolomake

Liite 5 | Suostumus tutkimukseen

## **Liite 1: Tutkielmassa käytetyt käsitteet ja lyhenteet aakkosjärjestyksessä**

*Aivojen asymmetria.* Aivojen ominaisuus, joka tarkoittaa aivopuoliskojen eroavaisuuksia mm. muodossa, koossa ja toiminnoissa.

*Aivokuvantamismenetelmiä.*

- *MEG, eli magnetoenkefalografia.* Menetelmä mittaa aivotoimintaa suoraan: mittauskohdeena aivojen sähköisen toiminnan aiheuttamat heikot magneettikentät
- *fMRI, eli funktionaalinen magneettiresonanssikuvaus.* Menetelmän toiminta käyttää hyväksi aineenvaihdunnallisia muutoksia, kuten veren happipitoisuuden muutoksia.
- *EEG, eli elektroenkefalografia.* Menetelmä mittaa aivotoimintaa suoraan: tietoa aivojen sähköisestä toiminnasta pään pinnalle kiinnitettävien elektrodien kautta.
- *PET, eli positroniemissiotomografia.* Menetelmän toiminta perustuu verenkierron muutoksiin. Verenkiertoon pistetään radioaktiivista ainetta, jonka hajoamisen perusteella tehdään päätelmiä kiinnostuksen kohteena olevista aiheista.

*Audiovisuaalinen integraatio.* Kuulo- ja näköhavainnon yhdistyminen yhtenäiseksi havainnoksi.

*Fonologinen silmukka.* Työmuistin osa, joka vastaa kielellisen materiaalin lyhytkestoisesta säilyttämisestä ja prosessoinnista.

*Inkongruentti.* Käsite kuvaa audiovisuaalista ärsykeparia silloin, kun kirjain ja puheäänne eivät vastaa toisiaan, ja muodostavat ei-yhteensopivan parin. (Vrt. kongruentti)

*Kongruenssiefekti.* Kongruentin ja inkongruentin audiovisuaalisen ärsykeparin aiheuttamien aivovasteiden eroavaisuudet. (AVI-AVC)

*Kongruentti.* Käsite kuvaa audiovisuaalista ärsykeparia silloin, kun kirjain ja puheäänne vastaavat toisiaan ja muodostavat yhteensopivan parin.

*Muistin konsolidaatio.* Yön tai levon aikainen tapahtuma, jossa muistijälkien oletetaan stabiloituvan siten, että ne siirtyvät lyhytkestoisesta muistista pitkäkestoiseen muistiin.

*Transparentti kieli.* Kieli, jossa kirjain-äännevastaavuudet ovat kokonaan tai lähes 1:1. Esim. suomi ja tanska. (Vrt. ei transparentti kieli englantia)

*Työmuisti.* Lyhytkestoinen muistin muoto. Tämän työn tarkastelun kohteena työmuistin kielellisistä toiminnoista vastaava osio, *fonologinen silmukka*.



## Liite 2: Tutkimuksen proseduuri

<b>Active Learn: EXPERIMENTAL PROCEDURE SHEET</b>	
Participant IDs: AL____	date ____/____/20____
Researchers: _____	

Day 1: **1**\_\_\_\_

### EXPERIMENTS-----File Names

- Resting state (5min) -----Rest\_1XX
- AV\_Learn (3min\*12blocks+1min Prac+3min break=40 min) -----AVLearn\_1XX
- Break 10minutes, start Syllable\_Test Presentation in advance!
- Syllable\_Test (5.5min\*8 blocks=45min)-----SylTest\_1XX

### Checklist

- Use **AB** volume level, 100% Windows device volume
- Check cable connected correctly for earphone channels
- Ask the participants if they can hear sounds and if the sounds level **OK**
- Acquisition Setting: Use File > load setting > **Active\_Learn\_Setting**
- Digitize **landmarks** and **head shape** as accurately and as many (>100 points) as possible
- Empty Room recording**: 2-3 min before or after EXP (**Empty\_1XX**)

### Notes

Bad channels:

Day 2:

**2**\_\_

**EXPERIMENTS-----File Names**

- Resting state (**5min**) -----**Rest\_2XX**
- AV\_Learn (3min\*6 blocks+2 min break=**20 min**) -----**AVLearn\_2XX**
- AV\_Test (3.25min\*6 blocks=20 min) -----**AVTest\_2XX**
- Break 10minutes
- Semantic\_Learn (3min\*12 blocks=**40 min**) -----**SemLearn\_2XX**

**Checklist**

- Use **AB** volume level, 100% Windows device volume
- Check cable connected correctly for earphone channels
- Ask the participants if they can hear sounds and if the sounds level **OK**
- Acquisition Setting: Use File > load setting > **Active\_Learn\_Setting**
- Digitize **landmarks** and **head shape** as accurately and as many (>100 points) as possible
- Empty Room recording:** 2-3 min before or after EXP (**Empty\_2XX**)
  
- ASK** Participants after EXP how they did the **Semantic Learn** EXP (what kind of strategy)?

UB pairs:

LB pairs:

**Notes**

Bad channels:

## Liite 3: Tiedote tutkimuksesta

### Tiedote tutkimuksesta ”Kirjainten oppimisen aivomekanismit”

#### Tutkijoiden yhteystiedot

Vastuullinen tutkija: Jarmo Hämäläinen, FT, yliopistotutkija, Psykologian laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. 040 805 3490, [jarmo.a.hamalainen@jyu.fi](mailto:jarmo.a.hamalainen@jyu.fi)

#### Muut tutkijat:

Orsolya Kolozsvári, MA, Psykologian laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. 014 260 1211, [orsolya.b.kolozsvari@jyu.fi](mailto:orsolya.b.kolozsvari@jyu.fi)

Weiyong Xu, MSc, Psykologian laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. 014 260 1211, [weiyong.w.xu@jyu.fi](mailto:weiyong.w.xu@jyu.fi)

Suvi Karjalainen, PsM, Psykologian laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto

Aino Sorsa, FK, Kielten laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto

Ainomaija Laitinen, PsK, Psykologian laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. 0408054170, [ainomaija.a.laitinen@student.jyu.fi](mailto:ainomaija.a.laitinen@student.jyu.fi)

#### Tutkimuksen taustatiedot

Tutkimus tehdään Jyväskylän yliopiston MEG-laboratoriossa. Kyseessä on yksittäinen tutkimus, joka tehdään vuosien 2018 - 2019 aikana. Tutkimuksen rahoittaa Jyväskylän yliopiston Psykologian laitos ja Euroopan Unioni (ChildBrain- ja Predictable-projektit).

#### Tutkimuksen tausta ja tarkoitus

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kirjainten oppimisen hermostollisia mekanismeja MEG-menetelmää käyttäen. Tutkimukseen otetaan mukaan terveitä lapsia ja aikuisia.

Kirjainten oppimista on tutkittu paljon, mutta oppimisen aikaiset hermostolliset mekanismit ovat vielä selvittämättä. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään aivotutkimuksen keinoin, mitkä aivomekanismit ovat kirjainten oppimisen taustalla. Tutkimuksen tuloksia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää tehokkaampien opetuskeinojen kehittämiseen ja selvittämään esimerkiksi lukemaan oppimisen ongelmien taustalla olevia mekanismeja.

Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta on antanut tälle tutkimukselle puoltavan lausunnon. Eettisen toimikunnan tehtävänä on antaa lausuntoja suunniteltujen tutkimusten eettisestä hyväksyttävyydestä.

#### Vapaaehtoisuus

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Tutkittavilla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä tutkimuksesta ja keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa ilman, että siitä aiheutuu heille mitään seuraamuksia. Tutkimuksen järjestelyt ja tulosten raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tutkittavien henkilökohtaiset tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan, hänen vanhempiensa ja tutkijaryhmän käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Tutkittavilla on oikeus saada lisätietoa tutkimuksesta tutkijaryhmän jäseniltä missä vaiheessa tahansa.

#### Tutkimuksen kulku ja aikataulu

Tutkimukseen sisältyy kaksi tutkimuskäyntiä. Käynnit ovat Jyväskylän yliopiston yleisissä laboratoriotiloissa kognitiivisten taitojen testaamista ja MEG-mittaamista varten (Kärki-rakennus,

Mattilanniemi 6). Tutkimukset aloitetaan syksyllä 2018. Aikaa tutkimukseen kuluu ensimmäisellä ja toisella käynnillä vajaa 2 tuntia. Tutkimuskäynti aloitetaan taustatietojen kyselyllä, jolla varmistetaan tutkittavan soveltuvuus aivotutkimukseen.

#### Kognitiivisten taitojen mittaaminen

Tutkimuskäynneillä mitataan yleisistä kognitiivisista taidoista kielellistä muistia, avaruudellista hahmottamista ja muita kielellisiä taitoja, sekä luku- ja kirjoitustaitoa.

#### Mitä MEG-tutkimus on?

Magnetoencefalografia (MEG) on aivojen sähköisen toiminnan mittaamenetelmä, joka perustuu aivotoiminnan aiheuttamien heikkojen magneettikenttien mittaamiseen pään pinnalta. MEG-mittaus suoritetaan pään ympärille asetettavan kypäränmallisen laitteen avulla. Menetelmällä saadaan ajallisesti tarkkaa tietoa sähköisestä aivojen toiminnasta. MEG on yleisesti aivotutkimuksessa käytetty menetelmä, jonka ei ole todettu aiheuttavan mitään vaaraa tai haittaa tutkittavalle. Kirjeen liitteenä on erillinen lapsille suunnattu esite MEG-mittauksista.

*Mittauksen kulku.* Mittauksiin tulee saapua ilman meikkiä ja hiustuotteita niiden sisältämien metallisten ainesosien vuoksi. Korut ja lävistyksiset kannattaa myös jättää kotiin. Jos sinulla on ahtaanpaikankammo tai paniikkihäiriö, ilmoita siitä tutkijalle.

Ennen mittauksen aloitusta kerromme tarkemmin tutkimuskäynnin kulusta ja esittelemme mittaushuoneen ja -laitteen. Tämän jälkeen allekirjoitetaan suostumuslomake mittauksiin. Mittausta varten saatte saa käyttöönnne metallittomat vaatteet, jos sinulla ei sellaisia ole. Metallia sisältävät vaatteet ja asusteet (esim. farkut, rintaliivit, vyö, kello, korut, hiussoljet ja kolikot) jätetään pukuhuoneeseen.

Ennen mittauksia kasvojen ja pään alueelle kiinnitetään teipillä muutamia antureita, joiden avulla mitataan silmien liikettä ja pään paikkaa mittauskypärän sisällä. Mittauksen aikana istutaan tuolissa pää kypäränmallisen laitteen alla. Laite on sijoitettu magneettisesti suojattuun huoneeseen, johon on puhe- ja näköyhteys videokameran välityksellä. Mittauksen aikana on hyvä olla mahdollisimman paikallaan, mutta sen lomassa pidetään taukoja.

Tutkimus alkaa aivojen lepoaktiivisuuden mittaamisella tutkittavan istuessa tuolissa ensin rentona 2 minuuttia silmät auki ja toiset 2 minuuttia silmät kiinni. Tämän jälkeen alkaa varsinaisen koe, jossa kuunnellaan ääniteitä ja katsotaan kirjaimia. Mittausaika yhteensä noin 60 minuuttia, mutta taukoja pidetään noin 10 minuutin välein tai useammin tutkittavan niin tahtoessa.

#### **Onko osallistumisesta jotain haittaa tai hyötyä?**

Tutkimukseen osallistumiseen ei liity erityisiä riskejä eikä siitä ole tutkittavalle välitöntä hyötyä. MEG on passiivinen mittaamenetelmä ja se on turvallinen ja kivuton. Tutkimuksissa ei käytetä lääkkeitä, radioaktiivisia aineita eikä minkäänlaista säteilyä. Tutkimuksen haitat liittyvät mahdolliseen asennon epämukavuuteen mittauksen aikana. Kaikilla mittaajilla on asianmukainen koulutus menetelmien käytöstä. Tutkimukseen osallistumalla voi olla mukana selvittämässä aivojen toiminnan mekanismeja.

Tutkimuksessa emme etsi kliinisesti poikkeavaa aivotoimintaa, eikä tutkijoita ole koulutettu sellaista havaitsemaan. Jos kuitenkin havaitsemme poikkeavaa aivotoimintaa (esimerkiksi epilepsiaan liittyvää toimintaa), MEG-aineisto tullaan näyttämään erikoislääkärille. Jos erikoislääkäri varmistaa poikkeavan löydöksen, olemme siitä Teihin yhteydessä.

#### **Tutkittavien soveltuvuus tutkimuksiin**

Etsimme tähän tutkimukseen 7 - 9 -vuotiaita terveitä lapsia ja aikuisia. Tutkimukseen voi osallistua tutkimukseen, jos ei ole neurologisia tai psykiatrisia häiriöitä, muita oppimisvaikeuksia, pysyviä pään vammoja, keskushermostoon vaikuttavia lääkkeitä, kuulon alenemaa tai ahtaanpaikankammosa. Kehossa olevat metallit (esimerkiksi hammasraudat) ovat esteenä tutkimukseen osallistumiselle, koska ne voivat aiheuttaa häiriötä MEG-mittaukseen. Jotkut hiusvärit, ripsien ja kulmien kestovärit, tatuoinnit sekä kynsilakka voivat myös aiheuttaa magneettista häiriötä. MEG-mittaukset suorittavat henkilöt selvittävät soveltuvuuden mittauksiin.

#### **Tietojen luottamuksellisuus, säilytys ja tietosuojat**

Tutkimus toteutetaan hyvää eettistä ja tieteellistä käytäntöä noudattaen. Tutkittavien oikeudet ja turvallisuus ovat ensisijaisia asioita. Kerättyä tietoa ja tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti henkilötietolain edellyttämällä tavalla. Tutkijat sitoutuvat luottamuksellisen tiedon käsittelyyn ja ehdottomaan vaitiolovelvollisuuteen. Tulosten tallentamisen jälkeen aineiston jatkokäsittely tapahtuu koodien perusteella, joten yksittäisiä tutkittavia ei enää voida tunnistaa. Jatkokäsittely tapahtuu pääosin Jyväskylän yliopistolla Suomessa. Myös tutkimusraporteissa tulokset julkaistaan ainoastaan siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Kaikki tutkimusmateriaali, joka sisältää tunnistetietoja, säilytetään erillisessä salasanoin suojatussa tiedostossa Jyväskylän yliopiston palvelimella. Tunnistetietoja ei luovuteta Psykologian laitoksen ulkopuolelle. Tunnistetietoja sisältävät paperit hävitetään vuoden kuluttua aineiston keräämisestä. Myös muu tutkimusmateriaali, joka ei sisällä tunnistetietoja, säilytetään salasanoin suojatulla Jyväskylän yliopiston palvelimella. Anonymisoitu tutkimusaineisto tullaan jakamaan avoimen tieteen käytäntöjen mukaisesti kansainvälisellä tieteellisten aineistojen jakamiseen erikoistuneella palvelimella, josta se on vapaasti kaikkien saatavilla.

#### **Tutkimustulosten käyttö**

Tämän tutkimuksen tuloksia julkaistaan kansainvälisissä tieteellisissä lehdissä ja kongresseissa ja osana tohtorin väitöskirjaa. On myös mahdollista, että tutkimuksessa kerätystä aineistosta tehdään pro gradu- tai kandidaatintutkimuksia. Tulokset julkaistaan tutkittavan yksilöllisyyttä kunnioittaen, siten ettei ketään yksittäistä henkilöä ole mahdollista tunnistaa julkaisuista tai esitelmistä. Aineistoa voidaan käyttää myös opetusmateriaalina, kuitenkin siten, että tutkittavaa ei voi aineistosta tunnistaa.

#### **Tutkittavien vakuutusurva**

Jyväskylän yliopiston henkilökunta ja toiminta on vakuutettu. Vakuutus sisältää potilasvakuutuksen, toiminnanvastuuvakuutuksen ja vapaaehtoisen tapaturmavakuutuksen.

Tutkimuksissa tutkittavat (koehenkilöt) on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syynt aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa ja niihin välittömästi liittyvillä matkoilla. Tapaturman lisäksi korvataan vakuutetun

erityisen ja yksittäisen voimanponnistuksen ja liikkeen välittömästi aiheuttama lihaksen tai jänteen venähdysvamma, johon on annettu lääkärihoitoa 14 vuorokauden kuluessa vammautumisesta. Korvausta maksetaan enintään kuuden viikon ajan venähdysvamman syntymisestä. Voimanponnistuksen ja liikkeen aiheuttaman venähdysvamman hoitokuluina ei korvata magneettitutkimusta eikä leikkaustoimenpiteitä.

Tapaturmien ja sairastapausten välittömään ensiapuun mittauksissa on varauduttu tutkimusyksikössä. Laboratoriossa on ensiapuvälineet ja varusteet, joiden käyttöön henkilökunta on perehtynyt. Tutkittavalla olisi hyvä olla oma henkilökohtainen tapaturma/sairaus- ja henkivakuutus, koska tutkimusprojekteja varten vakuutusyhtiöt eivät myönnä täysin kattavaa vakuutusturvaa esim. sairauskohtauksien varalta.

#### **Tutkimuksen kustannukset ja rahoitus**

Tutkimuskäynnit ovat tutkimukseen osallistuville ilmaisia. Korvaamme tutkimuskäynneistä koituvat matkakulut ja annamme kiitokseksi elokuvalipun ja/tai lahjakortin.

#### **Tutkimuspaikka ja tutkimuksen toteuttaja**

Tämän tutkimuksen toteuttavat Jyväskylän yliopiston tutkijat. Tutkimuksesta vastaa yliopistotutkija Jarmo Hämäläinen yhdessä ChildBrain ja Predictable projektien vastuullisen tutkijan Paavo Leppäsen kanssa. Tutkimuksen rekisterinpitäjä on Jyväskylän yliopisto ja Jarmo Hämäläinen vastaa tutkimuksen yhteydessä tapahtuvan henkilötietojen käsittelyn lainmukaisuudesta.

## Liite 4: Taustatietolomake



### TAUSTATIETOLOMAKE

Id \_\_\_\_\_ (tutkija täyttää)

**Pyydämme Teitä vastaamaan muutamiin taustatietokysymyksiin.**

1. Syntymäaika: _____			
2. Oletteko oikea-, vasen- vai molempi-kätinen?	<input type="checkbox"/> oikea	<input type="checkbox"/> vasen	<input type="checkbox"/> molempi
3. Äidinkieli/Äidinkielet:			
4. Onko teillä lääkärin tai terveydenhoitajan toteamaa kuulon heikkoutta tai kuulovammaa?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa
5. Onko teillä tai onko teillä aiemmin ollut lukemisen tai kirjoittamisen vaikeutta?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa
6. Esiintyykö suvussanne lukemisen tai kirjoittamisen vaikeutta?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa
7. Onko teillä tai onko teillä ollut asiantuntijan toteama kielenkehityksen viivästymä tai dysfasia/kielellinen erityishäiriö?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa
8. Onko teillä asiantuntijan toteama tarkkaavaisuushäiriö (ADHD), epilepsia, tai neurologinen sairaus?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa
9. Käytättekö keskushermostoon vaikuttavia lääkkeitä?	<input type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei tietoa

Arvioi vireystilasi tällä hetkellä:

Erittäin väsynyt      1      2      3      4      5      Erittäin pirteä

Arvioi vireystilasi mittauksen jälkeen

Erittäin väsynyt      1      2      3      4      5      Erittäin pirteä

Arvioi motivaatiosi oppimiseen mittauksen aikana

Matala motivaatio      1      2      3      4      5      Korkea motivaatio

**Mitä kieliä osaat ja kuinka kauan olet niitä opiskellut?**

**Pelaatko videopelejä? Kuinka monta tuntia viikossa? Voit halutessasi listata peligenrejä tai pelaamiesi pelien nimiä.**

**Harrastatko musiikkia (soittaminen, laulaminen...)? Kuinka kauan olet harrastanut?**



## Liite 5: Suostumus tutkimukseen

### SUOSTUMUS TUTKIMUKSEEN Kognitiiviset testit ja aivotoiminnan mittaus

Tutkimusprojektin nimi: **Kirjainten oppimisen aivomekanismit**

Tutkijan nimi: Jarmo Hämäläinen

Tutkimushenkilönumero: \_\_\_\_\_

Vastaa kaikkiin kohtiin. Mikäli kohtiin 1-5 tulee yksi tai useampia Ei-vastauksia, osallistuminen ei ole mahdollinen.

Kyllä    Ei

1. Olen perehtynyt tämän tutkimuksen tarkoitukseen ja sisältöön, tutkittaville aiheutuviin mahdollisiin haittoihin sekä tutkittavien oikeuksiin. Olen lukenut tutkittaville suunnatun tiedotteen tähän tutkimukseen liittyen ja minulla on ollut mahdollisuus kysyä lisätietoja.

--	--

Tiedot antoi \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 20\_\_\_\_

2. Tiedän, että osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista ja minulla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mittauksista ja keskeyttää testit ilman, että siitä aiheutuu mitään seuraamuksia. Tiedän, että minulla on myös oikeus vetää jo kerätty aineisto pois tutkimuksesta.

--	--

3. Suostun, että mahdollisen satunnaislöydöksen (esim. epilepsiaan viittaavan aivoaktiivisuuden) yhteydessä aineistoni saa näyttää erikoislääkärille, joka ottaa minuun tarvittaessa yhteyttä.

--	--

4. Suostun osallistumaan mittauksiin ja testauksiin annettujen ohjeiden mukaisesti. Tutkimustuloksia saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. julkaisuihin) ja opetukseen sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

--	--

5. Suostun, että kerättyä aineistoa voidaan jakaa avoimesti hyvän avoimen tieteen käytäntöjen mukaisesti. Aineisto voidaan jakaa vain sellaisessa muodossa, josta yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

--	--

Minuun saa olla yhteydessä muiden ChildBrain ja Predictable -osaprojektien tiimoilta

_____	_____	_____
Tutkittavan nimi	Allekirjoitus	Päivämäärä

_____	_____	_____
Tutkijan nimi	Allekirjoitus	Päivämäärä

*Tästä lomakkeesta on kaksi allekirjoitettua kappaletta. Yksi tutkittavalle ja yksi tutkijalle.*