

**MUSIIKILLISEN HARJAANTUNEISUUDEN VAIKUTUS AIVOJEN  
PLASTISIIN MUUTOKSIIN**

Tommi Kuivamäki  
Kandidaatintutkielma  
Musiikkitiede  
Jyväskylän yliopisto  
Kevätlukukausi 2021

# JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

<b>Tiedekunta</b> Humanistis-yhteiskuntatieteellinen tiedekunta	<b>Laitos</b> Musiikin, taiteen ja kulttuurin tutkimuksen laitos
<b>Tekijä</b> Tommi Kuivamäki	
<b>Työn nimi</b> Musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutus aivojen plastisiin muutoksiin	
<b>Oppiaine</b> Musiikkitiede	<b>Työn laji</b> Kandidaatintutkielma
<b>Aika</b> 23.4.2021	<b>Sivumäärä</b> 22 sivua + lähteet
<b>Tiivistelmä</b> <p>Musiikillinen harjaantuneisuus instrumentin opiskelun muodossa saatetaan usein nähdä myönteisessä valossa esimerkiksi yksilön hyvinvoinnin ja kognitiivisten kykyjen kannalta. Aina ei ole kuitenkaan selvää, löytyykö näille oletetuksille tukea musiikin aivotutkimuksesta. Tutkimalla instrumentin harjoittelusta seuraavia muutoksia aivoissa voidaan saada syvempää ymmärrystä mahdollisista toimintakykyyn ja kognitiivisiin toimintoihin liittyvistä edistyksistä muusikoilla. Tämän tutkielman tavoitteena on ollut koota yhteen keskeistä tutkimustietoa musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksista aivojen plastisuuteen eli muutoksiin niiden rakenteessa ja toiminnallisuudessa. Tutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena, jonka vuoksi tutkimusten seulontavaiheessa on kiinnitetty erityistä huomiota aineiston sisäänotto- ja poissulkukriteeristöön.</p> <p>Läpikäymäni tutkimusaineiston pohjalta voidaan osoittaa instrumentin harjoittelun yhteys aivojen plastisiin muutoksiin yhdessä käyttäytymisen tasolla tapahtuvien muutosten, kuten edistyneen auditiivisen prosessoinnin kanssa. Rakenteen ja toiminnallisuuden muutoksia tapahtuu musiikillisen harjaantuneisuuden seurauksena lukuisissa eri aivokuoren osissa käsittäen useamman eri aistimodalityettin alueita sekä syvemmissä aivorakenteissa, kuten aivorungossa. Plastisten muutosten poikkeuksellinen laaja-alaisuus voi osaksi selittyä musiikin multisensorisella ja laajalti aivoja aktivoivalla luonteella, ja esimerkiksi soittoharrastuksen aloittamisella ja harjoituksen määrällä voi olla vaikutusta näihin prosesseihin. Instrumentin harjoittelulla aivoja muokkaavana kokemuksena näyttäisi olevan yhteyksiä myös kokonaisvaltaisempaan, ei-musiikilliseen prosessointiin. Lisäksi saavutettu tutkimustieto ilmiöstä voi tarjota soveltamisnäkyymiä hoito- ja opetustyöhön. Jatkotutkimusten tulisi kiinnittää aiempaa enemmän huomiota tiettyihin seikkoihin, kuten musiikillisen harjoituksen tarkemmin määriteltävään ominaislaatuun aivojen plastisuuteen mahdollisesti vaikuttavana tekijänä.</p>	
<b>Asiasanat – musiikillinen harjaantuneisuus, aivot, plastisuus, muusikot, ei-muusikot</b>	
<b>Säilytyspaikka</b> Jyväskylän yliopisto	
<b>Muita tietoja</b>	

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>3</b>
2.1	Systemaattinen kirjallisuuskatsaus menetelmänä .....	3
2.2	Aineisto ja aineistonkeruumenetelmä .....	3
2.3	Aineiston seulontakriteerit .....	4
<b>3</b>	<b>Musiikillisesta harjaantuneisuudesta juontavat plastiset muutokset aivoissa .....</b>	<b>6</b>
3.1	Rakenteelliset muutokset aivoissa .....	6
3.2	Toiminnalliset muutokset aivoissa.....	8
3.3	Siirtovaikutus ja plastisiteetti musiikillisen prosessoinnin ulkopuolella.....	13
3.4	Tutkimustiedon merkitys hoito- ja opetustyön näkökulmista .....	16
<b>4</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>18</b>
4.1	Tiivistelmä keskeisimmistä tuloksista .....	18
4.2	Tutkimuksen rajoitteet ja kritiikki .....	20
	<b>Lähteet.....</b>	<b>23</b>

# 1 JOHDANTO

Musiikin harrastamista pidetään tyypillisesti hyvin kehittävänä toimintana, jolla on myönteisiä vaikutuksia esimerkiksi toimintakykyyn ja hyvinvointiin. Monet ovat voineet kuulla musiikin harjoittamisen suojaavan muistisairauksilta tai vaikuttavan jopa yleisesti älykkyyteen. On totta, että musiikin harrastaminen aktivoi monipuolisesti aivoja: muusikon täytyy soittaessaan kyetä prosessoimaan samanaikaisesti tietoa useammilla eri aistialueilla, kuten kuuloalueilla ja motorisilla alueilla, ja tämän lisäksi pyrkiä esimerkiksi ilmaisemaan eri tunnetiloja musiikillisesti. Ei ole kuitenkaan selvää, mille väitteille musiikin vaikutuksista löytyy tukea neurotieteellisestä tutkimuksesta. Musiikin aivotutkimuksen avulla voidaan saada tietoa musiikillisesta harjaantuneisuudesta juontuvien käyttäytymisen tasolla ilmenevien muutosten hermostollisesta perustasta, mikä voi auttaa ymmärtämään ilmiötä aivojen muovautumisesta kokemuksen seurauksena kokonaisvaltaisemmin.

Aivojen merkittävä kyky muokkautua musiikillisen harjaantumisen seurauksena on ilmiönä hyvin kompleksi, ja siitä saadaan jatkuvasti uutta tietoa aivokuvantamismenetelmien kehittyessä sekä tarkasteltaessa ilmiötä uusista näkökulmista. Ilmiön tutkiminen on tärkeää, sillä se mahdollistaa tieteellisesti merkittävien löydösten tekemisen musiikin harjoittamisen suhteesta aivojen rakenteelliseen ja toiminnalliseen kehitykseen sekä aivojen muokkautumiskyvystä laajemmin. Saavutettu tutkimustieto auttaa ymmärtämään instrumentin oppimisen ominaislaatua aivoja muokkaavana kokemuksena, ja tämän lisäksi tutkimustuloksia voidaan soveltaa esimerkiksi osana musiikkiavusteisia hoitomenetelmiä sekä opetustyötä.

Musiikillisen harjaantuneisuuden yhteyttä aivojen plastisuuteen on tutkittu viime vuosikymmeninä hyvin paljon ja aihepiirin tieteellisistä julkaisuista on koottu lukuisia eri kirjallisuuskatsauksia (esim. Herholz & Zatorre, 2012; Zuk & Gaab, 2018). Aihepiiri on suuresta suosiosta ja tutkimuksen määrästä huolimatta avoin uusille tieteellisille löydöille ilmiön kompleksin luonteen vuoksi. Käsittelen tutkielmassani aivojen plastisiteettia mahdollisimman monipuolisesti kokoamalla yhteen keskeistä tutkimustietoa musiikillisen harjaantuneisuuden yhteydestä aivojen rakenteeseen ja toimintaan. Pyrin lisäksi huomioimaan tutkimuksissa mahdollisesti raportoidut behavioraaliset eli käyttäytymisen tason muutokset

muusikoilla, mikä täydentää aivokuvantamisesta saatuja tuloksia. Lopuksi käsittelen vielä aihepiirin kannalta keskeisiä soveltavia näkökulmia ja jatkotutkimustarpeita.

Teoreettisena viitekehyksenä työlleni hyödynnän etenkin psykologian ja neurotieteiden piirissä vallitsevaa käsitystä aivojen plastisiteetista tai plastisuudesta. Yleisesti hyväksytty määritelmä aivojen plastisuudesta pitää sisällään aivojen kyvyn muokkautua ja järjestäytyä uudelleen rakenteensa ja toiminnallisuutensa suhteen ympäristön ja kokemuksen vaikutuksesta (Herholz & Zatorre, 2012; Wan & Schlaug, 2010). Plastisiteettiin vaikuttavana kokemuksena musiikillisella harjaantuneisuudella (*musical training*) viitataan laajasti instrumentin soittokokemukseen.

## **2 TUTKIMUSASETELMA**

Tutkielmani pyrkimyksenä on kartoittaa, mitä musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksesta aivojen plastisiin muutoksiin voidaan todeta vallitsevan neurotieteellisen tutkimuskirjallisuuden valossa. Pyrin vastaamaan tutkielmassani seuraavaan kahteen tutkimuskysymykseen:

1. Miten musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutus ilmenee aivojen rakenteessa ja toiminnassa?
2. Mitä soveltamisnäkyviä ja jatkotutkimustarpeita aiheeseen liittyvä tutkimuskirjallisuus tarjoaa?

### **2.1 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus menetelmänä**

Toteutan tutkielmani systemaattisen kirjallisuuskatsauksen muodossa. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on kirjallisuuskatsauksen tyyppi, jonka tarkoituksena on esittää paras mahdollinen tutkimustieto tutkittavasta aiheesta, arvioida tietoa kriittisesti ja koota tietoa yhteen luoden vastauksen johonkin tarkasti määriteltyyn tutkimuskysymykseen (Boland, Cherry, & Dickson 2017, 2). Systemaattinen kirjallisuuskatsaus soveltuu myös hyvin tutkimustulosten johdonmukaisuuden arviointiin ja voi mahdollisesti toimia suunnannäyttäjänä uusille tutkimuksille (Salminen 2011, 9). Kyseinen katsaustyyppi soveltuu menetelmänä valitsemaani aiheeseen, sillä pyrin tutkielmassani vastaamaan selkeästi määriteltyyn tutkimuskysymykseen, noudatan aineiston valinnassa ja seulonnassa järjestelmällisyyttä sekä tarkastelen kokoamaani aineistoa kriittisesti.

### **2.2 Aineisto ja aineistonkeruumenetelmä**

Käytän tutkielmani aineistonkeruumenetelmänä systemaattista aineistonhakua. Hakuprosessini on lähtenyt liikkeelle alustavasta tiedonhausta ja tutkimussuunnitelman luomisesta, joiden pohjalta olen muotoillut tutkimuskysymykseni. Tutkimussuunnitelman tärkeyttä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa ei voi ylikorostaa: sen kirjoittaminen auttaa suunnittelemaan, miten lähestyä tutkimuskysymyksiä ja vastata niihin (Boland ym. 2017, 9). Tutkimuskysymysten tarkentuessa olen keskittynyt valitsemaan käyttööni aiheeni kannalta sopivimmat tietokannat ja rajaamaan käytettävät hakutermit. Olen arvioinut tietokantoja sillä

perusteella, että aiheeseen liittyvää vertaisarvioitua tutkimuskirjallisuutta on runsaasti saatavilla. Käyttämäni tietokannat ovat alustavasti olleet JYKDOK, EBSCO ja Google Scholar. Olen tehnyt alustavia hakuja kyseisistä tietokannoista tähdellä (\*) katkaistuilla hakusanoilla, jotta haku huomioisi eri sanojen taivutusmuodot ja ei sulkisi potentiaalisesti merkittävää tutkimuskirjallisuutta pois hakutuloksista. Toteutin lopullisen aineistonhakuni käyttäen laajalti aihepiiriini liittyviä julkaisuja sisältävää JYKDOK-tietokantaa käyttäen seuraavia hakusanoja: music\*, neuroplastic\*, train\*, musician\*, nonmusician\*. Kyseinen haku tuotti 275 hakutulosta. Näistä hakutuloksista 59 tutkimusartikkelia läpäisi asettamani seulontakriteerit aineistolle, joten sisällytin ne tutkielmaani varsinaisessa käsittelyosassa tapahtuvaa analyysiä varten (lopullinen aineisto tarkistettu 11.1.2021). Seuraavaksi kuvaan tarkemmin aineistonhankintaani ohjanneen kriteeristön tutkimukselle.

### **2.3 Aineiston seulontakriteerit**

Olen kerännyt tarkasteltavaksi tutkimusartikkelit, joiden tiivistelmän perusteella artikkelin voidaan katsoa lukeutuvan käsittelemäni aihepiiriin pariin. Valitsemieni tutkimusten on täytynyt olla metodologisesti valideja, eli niissä on käytetty neurotieteille ominaista empiiristä lähestymistapaa tutkittavaan ilmiöön. Tämä tarkoittaa sitä, että aivojen plastisuutta on tutkittu ja mitattu aivokuvantamismenetelmin. Näin ollen käsittelemieni tutkimusten tulokset keskustelevat keskenään, vertautuvat toisiinsa ja niitä on mielekästä koota yhteen ja tarkastella kriittisesti. Tutkimuksia yhdistävinä tekijöinä yhtenevä tieteenfilosofinen lähestymistapa käsiteltävään ilmiöön, teoreettinen viitekehys sekä metodologia lisäävät tulosten luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta. Tutkimuskirjallisuuden on täytynyt lukeutua neurotieteiden piiriin, jotta käsitykset tutkittavasta ilmiöstä (kokemukseen pohjaavasta aivojen plastisuudesta) ovat yhteneviä eri tutkimusten välillä. Kaikissa viittaamissani tutkimuksissa teoria aivojen kokemuseräisestä muokkautumiskyvystä on toiminut lähtökohtana tutkimukselle, jolloin ilmiötä on voitu havainnoida ja mitata empiirisesti, määrällisesti ja mahdollisimman objektiivisesti. Tutkimuksen validiteetin lisäämiseksi aivokuvantamista on täytynyt tehdä vertailevasti sekä musiikillisesti kokeneilla henkilöillä että henkilöillä ilman musiikillista kokemusta, jotta tietoa on saatu nimenomaan musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksesta aivojen muutoksiin. Olen käyttänyt lähdeaineistona vain suomen- tai englanninkielisiä tutkimuksia, jotta tekemäni havainnot ovat kielitaitoni huomioiden tarkkoja ja perusteltuja. Sisällytän tutkielmaani vain vertaisarvioituja tutkimuksia

mahdollisimman luotettavan tutkimustiedon saavuttamiseksi. Alla on vielä kuvattuna määrittelemäni sisäänotto- ja poissulkukriteerit aineistolle.

Aineiston sisäänottokriteerit:

- Edustaa perinteistä tutkimusartikkelia, eikä esimerkiksi kirjallisuuskatsausta tai mielipidekirjoitusta
- Tutkimus, jossa aivojen rakenteen ja toiminnallisuuden tutkimisessa on käytetty vähintään yhtä aivokuvantamismenetelmää
- Musiikillista harjaantuneisuutta on kontrolloitu vertaamalla jonkin instrumentin parissa harjaantuneita koehenkilöitä musiikillisesti kokemattomiin koehenkilöihin
- Englannin- tai suomenkielinen tutkimus
- Vertaisarvioitu tutkimus

Aineiston poissulkukriteerit:

- Ei edusta perinteistä tutkimusartikkelia, vaan esimerkiksi kirjallisuuskatsausta tai mielipidekirjoitusta
- Tutkimus, jossa aivojen rakenteen ja toiminnallisuuden tutkimisessa ei olla käytetty mitään aivokuvantamismenetelmää
- Musiikillista harjaantuneisuutta ei olla kontrolloitu vertaamalla jonkin instrumentin parissa harjaantuneita koehenkilöitä musiikillisesti kokemattomiin koehenkilöihin
- Muu kuin englannin- tai suomenkielinen tutkimus
- Ei-vertaisarvioitu tutkimus



### **3 MUSIIKILLISESTA HARJAANTUNEISUUDESTA JUONTAVAT PLASTISET MUUTOKSET AIVOISSA**

Laaja joukko tutkimuksia viestii muusikoiden ja ei-muusikoiden välisistä eroavaisuuksista koskien aivojen plastisuutta. Käsittelen näitä aivojen rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia keskittyen ensiksi ylemmille kortikaalisille alueille, jonka jälkeen siirryn aivojen alemmille tasoille, subkortikaalisille alueille. On hyvä kuitenkin huomioida, että aivojen kortikaaliset ja subkortikaaliset osat toimivat kiinteässä vuorovaikutuksessa keskenään. Aivojen toiminta on laajalti kokonaisvaltaista enemmän kuin erikoistunutta käsittäen lukuisia eri aivojen osia ja näiden välistä kommunikaatiota niin musiikillisessa, kuin muussakin prosessoinnissa.

#### **3.1 Rakenteelliset muutokset aivoissa**

Instrumentin opiskelun on lukuisissa tutkimuksissa havaittu olevan yhteydessä aivojen struktuurallisiin eli rakenteellisiin muutoksiin. Rakenteelliset muutokset näkyvät musiikillisen prosessoinnin kannalta olennaisten aivoalueiden harmaan sekä valkean aineen määrässä. Harmaan aineen määrän on tietyillä aivoalueilla havaittu kasvavan asteittain sitä mukaa, mitä kauemman aikaa soittoharrastus on kestänyt. Harmaan aineen tiheyden asteittaista kasvua musiikillisen harjaantuneisuuden seurauksena on havaittu aivojen motorisilla, auditiivisilla, visuaalisilla ja kognitiiviseen prosessointiin liittyvillä alueilla (James ym., 2014), joissa musiikillinen prosessointi pääasiassa tapahtuu. Harmaan aineen asteittaista vähenemistä on sen sijaan havaittu muusikoiden somomotorisilla alueilla, jotka näyttäisivät olevan yhteydessä enemmän automatisoituneisiin motorisiin toimintoihin (James ym., 2014). Ei voida kuitenkaan yleistää, että kaikkien muusikoiden somatosensoriset representaatioalueet harjoitettuun instrumenttiin liittyen ilmentäisivät vähäisemmän harmaan aineen trendiä näillä alueilla. Puhallinsoittajien primääristä somatosensorista aivokuorta tutkimalla on havaittu, että heillä kortikaaliset alueet ovat selvästi paksumpia huuliin liittyvillä alueilla, mutta selvästi ohuempia kieleen liittyvillä alueilla ei-muusikoihin verrattuna (Choi, Sung, Hong, Chung, & Ogawa, 2015).

Kuten somomotorisilla alueilla, kovatasoisilla muusikoilla on havaittu harmaan aineen vähenemistä myös oikean aivopuoliskon auditiivis-motorisesta prosessoinnista vastaavilla alueilla (Vaquero ym., 2016). Harmaan aineen määrän väheneminen musisoinnin kannalta

näin keskeisissä osissa on ilmiönä mielenkiintoinen, ja sen on arveltu olevan yhteydessä hermosolujen erikoistumiseen ja tehostuneeseen toimintaan (Vaquero ym., 2016). Tällöin määrällisesti vähemmän hermosoluja osallistuu tiettyyn kovasti harjoitettuun toimintoon, kuten sormien hienomotorisiin toimintoihin soittaessa. Tämä selittäisi eroja harrastajien ja kovatasoisten ammattimuusikoiden välillä, sillä jälkimmäiset ovat tyypillisesti harjoittaneet hienomotorisia taitojaan pidemmälle.

Primäärisellä kuuloaivokuorella sijaitsevasta Heschlin aivopoimusta on löydetty asteittaista harmaan aineen määrän kasvua. Etenkin oikealla aivopuoliskolla Heschlin aivopoimun takana sijaitsevilta posterolateraalisisilta alueilta on löydetty suurempia harmaan aineen keskittymiä muusikoilla (Bermudez, Lerch, Evans, & Zatorre, 2009). Muusikoille ominaisen tehostuneen melodioiden erottelukyvyn yhteydestä aivokuoren paksuuteen oikeassa ylemmässä temporaalisessa poimussa (STG) on saatu myös viitteitä (Karpati, Giacosa, Foster, Penhune, & Hyde, 2018). Myös muusikoiden keskinäiset erot tiettyjen aivoalueiden paksuuden suhteen ovat mahdollisia: absoluuttisen sävelkorvan omaavien muusikoiden aivokuoren osat etenkin sävelten nimeämisen kannalta tärkeillä frontaalialueilla näyttäisivät olevan selvästi ohuempia, kuin muusikoilla vailla absoluuttista sävelkorvaa (Bermudez ym., 2009).

Aivokurkiaisien on havaittu olevan muusikoilla rakenteeltaan suurempi, kuin ei-muusikoilla. Etummaisien aivokurkiaisien merkittävästi suurempi koko näyttäisi juontuvan varhaisessa vaiheessa, alle kouluikäisenä aloitetusta musiikkiharrastuksesta (Schlaug ym., 2009). Merkittäviä koon muutoksia aivokurkiaisessa havaittiin pienillä lapsilla noin 2,5 vuoden kuluttua soittoharrastuksen aloittamisesta (Schlaug ym., 2009). Aivokurkiaisien rooli musiikillisessa prosessoinnissa voidaan nähdä merkittävänä, sillä se yhdistää aivojen vasemman ja oikean puoliskon toisiinsa. Ottaen huomioon aivojen laajamittaisen aktivoitumisen musisoinnin aikana, on aivopuoliskojen välinen tehokas kommunikaatio välttämätöntä. Myös muistin toiminnan kannalta olennaisessa hippokampusessa harmaan aineen määrän on mitattu olevan merkittävästi korkeampi muusikoilla, kuin ei-muusikoilla (Groussard ym., 2010; Vaquero ym., 2016). Tämän lisäksi musiikillinen harjaantuneisuus voi ilmetä myös aivokuorukan, amygdalan ja talamuksen harmaan aineen määrän kasvuna (Vaquero ym., 2016).

Muusikoilla näyttäisi olevan valkean aineen verkostoissa tehostuneempaa konnektiivisuutta ja toiminnallisuutta niin motorisilla ja visuaalisilla, kuin emotionaaliseen ja kielelliseen (Elmer,

Hänggi, & Jäncke, 2016) prosessointiin liittyvillä alueilla (Li ym., 2014). Valkean aineen yhdistyneisyys näyttäisi lisääntyneen muusikoiden vasemman ja oikean kuuloaivokuorella sijaitsevan planum temporalen välillä (Elmer ym., 2016). Varhain aloitetun ja pitkäkestoisen musiikillisen harjaantuneisuuden yhteydestä on saatu viitteitä vähäisempään harmaan ja valkean aineen määrään pikkuaivoissa rytmiin ja ajoittamiseen liittyvissä pikkuaivojen osissa (Baer ym., 2015). Vertaamalla valkean aineen diffuusiokykyä sensomotorisilla alueilla muusikoilla ja tanssijoilla, on näiden kahden ryhmän välillä havaittu jopa päinvastaisia valkean aineen rakenteita (Giacosa, Karpati, Foster, Penhune, & Hyde, 2016). Valkean aineen diffuusiokyky oli suurempaa tanssijoiden sensomotorisilla alueilla viestien moninaisista aivoalueiden välisistä yhteyksistä, kun taas muusikoilla oli näillä alueilla vähäisempää valkean aineen diffuusiokykyä ja enemmän koherenssia valkean aineen yhteyksissä (Giacosa ym., 2016).

### **3.2 Toiminnalliset muutokset aivoissa**

Musiikillinen harjaantuneisuus näyttäisi vaikuttavan hyvin monipuolisesti aivojen toiminnallisuuteen. Toiminnallisen yhdistyneisyyden (*functional connectivity*) on havaittu merkittävästi lisääntyneen muusikoiden multi-sensorisilla aivokuoren osilla käsittäen muun muassa kuulo- sekä motorisia alueita (Luo ym., 2012). Muusikoiden toiminnallisen yhdistyneisyyden on havaittu tehostuneen eri kortikaalisten aivoalueiden välillä (Paraskevopoulos, Chalas, & Bamidis, 2017; Paraskevopoulos, Kraneburg, Cornelia Herholz, Bamidis, & Pantev, 2015), mikä viestii muusikoiden tehostuneesta multisensorisesta prosessoinnista ei-muusikoihin verrattuna. Kuuloaivokuorta, jonka osien tehokas yhdistyneisyys näyttäisi vaikuttavan merkittävästi muusikoiden aivojen toiminnalliseen plastisiteettiin kokonaisuudessaan (Luo ym., 2012), voidaan pitää keskeisenä aivojen osana multisensorisen integraation kannalta. Instrumenttia harjoittavan muusikon täytyy prosessoida kuuloinformaation lisäksi aisti-informaatiota tyypillisesti motoriselta, somatosensoriselta ja visuaaliselta aivokuorelta musisoinnin aikana. Huomionarvoista on, että auditiivisen ja sensomotorisen yhdistyneisyyden tehostumista kuuloaivokuorella on havaittu muusikoiden lisäksi vain kaksi viikkoa soittoharjoitusta saaneilla, musiikillisesti kokemattomilla koehenkilöillä (Lappe, Trainor, Herholz, & Pantev, 2011). Vastaavaa kuuloaivokuoren toiminnan tehostumista ei sen sijaan havaittu vain kuunteluharjoituksia tehneellä kontrolliryhmällä (Lappe ym., 2011), minkä voi nähdä osoituksena instrumentin opetteluun ja

sitä kautta multisensorisen integraation vaikutuksesta aivojen kortikaaliseen plastisuuteen lyhyelläkin ajanjaksolla.

Muusikoiden keskivertoa kehittyneempää multisensorista prosessointia on todettu myös tutkimalla aivojen aktiivisuutta audiovisuaalisen prosessoinnin aikana. Visuaalisten ja auditiivisten ärsykkeiden keskinäisen synkronian aikana on muusikoiden temporaalilohkolla havaittu suurempaa aktiivisuutta, kun taas ärsykkeiden epäsynkronian aikana aktiivisuus on lisääntynyt pikkuaivoissa ei-muusikoita enemmän (Lu, Paraskevopoulos, Herholz, Kuchenbuch, & Pantev, 2014). Audio-visuomotorisesta prosessoinnista ja sen instrumenttispesifisyydestä on saatu tietoa tutkimalla viulistien ja klarinetistien kortikaalista aktiivisuutta samalla, kun he katsovat videoita heidän oman sekä heille vieraan instrumentin soitosta. Kun muusikoille esitettiin kuvan ja äänen suhteen epäsynkronista videota, heillä ilmeni N400 ERP-aktiivisuutta käsittäen multimodaalisia motorisia alueita vain, jos kyseessä oli heidän oma instrumenttinsa (Mado Proverbio, Calbi, Manfredi, & Zani, 2014). N400-vastetta on tutkittu paljon visuaaliseen ja kielelliseen prosessointiin liittyvissä tutkimuksissa, joissa sen on havaittu ilmentävän erilaisten semanttisten sääntöjen rikkomista (*semantic violation*). Lisäksi on tutkittu, että muusikot ovat nopeampia ja tarkempia lukuisten äänellisten ärsykkeiden ja yksittäisen visuaalisen ärsykkeen samanaikaisessa prosessoinnissa, ja he kokevat vähemmän audiovisuaalista illuusiota ei-muusikoihin verrattuna (Bidelman, 2016).

Muusikoiden ja ei-muusikoiden erot oikean ja vasemman aivopuoliskon aktiivisuudessa ovat tulleet myös ilmi tutkimuksissa. Muusikoiden motoriset ja visuaaliset alueet näyttäisivät olevan vasemman ja oikean aivopuoliskon suhteen toiminnallisesti symmetrisempiä (*interhemispheric functional symmetry*) musiikin kuuntelun aikana (Burunat ym., 2015). Kosketinsoittajilla tämä symmetrisyys näyttäytyy vielä voimistuneempana verrattuna jousisoittajiin (Burunat ym., 2015). Kortikaalisten alueiden toiminnalliset muutokset musiikillisen harjaantuneisuuden seurauksena näyttäisivät tapahtuvan suurimmaksi osaksi oikealla aivopuoliskolla, mutta muun muassa harjoitetulla instrumentilla on vaikutusta tähän. Pianisteilla on havaittu toiminnallista yhdistyneisyyttä enemmän vasemmalla aivopuoliskolla, kun taas vastaavasti ei-muusikoilla, joillain puhaltajilla ja jousisoittajilla oikealla aivopuoliskolla (Elmer, Albrecht, Valizadeh, François, & Rodríguez-Fornells, 2018). Toisaalta sorminäppäryyttä vaativan reaktiotehtävän aikana myös pianistien motoristen alueiden on havaittu aktivoituvan enemmän oikealla aivopuoliskolla verrattuna vasempaan

(Landau & D'Esposito 2006), joten aivopuoliskojen symmetriaan näyttäisi vaikuttavan merkittävästi kulloinkin käsillä oleva tehtävä tai sen puute. Oikean ylemmän temporaalisen poimun aktiivisuudessa on havaittu merkittäviä eroja muusikoiden ja ei-muusikoiden välillä musiikin tonaalisten ja rytmisten tekijöiden havaitsemisen aikana (Saari, Burunat, Brattico, & Toiviainen, 2018).

Oikean ja vasemman aivopuoliskon aktiivisuuden lisäksi muusikoiden aivoja on tutkittu siitä näkökulmasta, miten aisti-informaatio siirtyy aivojen syvemmistä osista kortikaalisille alueille (*bottom-up processing*) ja vastaavasti miten tiedon prosessointi suuntautuu kortikaalisilta alueilta aivojen syvempiin osiin (*top-down processing*). Aivojen syvemmistä osista kortikaalisille alueille suuntautuva prosessi viittaa varhaiseen aisti-informaation koodaamiseen, kun taas kortikaalisilta alueilta aivojen syvempiin osiin suuntautuva prosessointi liittyy mm. työmuistin toimintaan esimerkkinä kognitiivisista prosesseista (Noesselt, Shah, & Jäncke, 2003, mainittu lähteessä Liang ym., 2016). Tutkijat ovat ehdottaneet, että muusikoilla saattaa olla tehostunutta toiminnallisuutta näiden molempien prosessointimekanismien suhteen (kts. Liang ym., 2016; Zhang, Peng, Chen, & Hu, 2015). Muusikoiden tehostuneesta ylhäältä alas suuntautuneesta prosessoinnista on saatu viitteitä tutkimalla etenkin kortikaalisia kuuloalueita (esim. Baumann, Meyer, & Jäncke, 2008; Paraskevopoulos ym., 2017). Osoituksena edistyneemmästä ylhäältä alaspäin suuntautuneesta prosessoinnista toimivat esimerkiksi valikoitua tarkkaavuutta ilmentävät ERP-komponentit, joita on havaittu vain muusikoilla (Baumann ym., 2008).

Muusikoiden kuuloaivokuorta tutkimalla on havaittu, että musiikissa käytettävien asteikkojen sävelten representaatiot ovat heillä suurempia suhteessa siniääniin verrattuna (Baumann ym., 2008). Tämän lisäksi muusikoiden aivokuori näyttäisi aktivoituvan enemmän musiikillisten sävelten, mutta joidenkin ERP-komponenttien osalta myös siniäänten havaitsemisen aikana ei-muusikoihin verrattuna (Baumann ym., 2008; Shahin, Bosnyak, Trainor, & Roberts, 2003). Muusikoiden voisi siis katsoa prosessoivan yleisesti auditiivisia ärsykyksiä tehostuneemmin musiikillisten ärsykkeiden lisäksi. Vaikka aivojen plastisuus liitetään tyypillisesti pitkän ajanjakson muutoksiin esimerkiksi vuosikausia kestäneen musiikillisen harjaantuneisuuden seurauksena, on muusikoiden kortikaalista aktiivisuutta mittaamalla saatu tietoa myös hyvin lyhyellä ajanjaksolla tapahtuvista toiminnallisuuden muutoksista. Havainnoimalla aivoaktiivisuutta kuuntelemiseen perustuvan oppimistehtävän aikana on saatu viitteitä muusikoiden tehostuneesta keskittymiskyvystä auditiivisia ärsykyksiä prosessoitaessa sekä

auditiivisten poikkeavuuksien tehostuneesta erottelukyvystä ei-muusikoihin verrattuna (Seppänen, Pesonen, & Tervaniemi, 2012). Muusikoiden suurempi herkkyys tunnistaa ja erottaa äänen taajuudessa tapahtuvia muutoksia näyttäisi heijastuvan aivoissa mm. ACC:n (*acoustic change complex*) ominaislaadussa, joka on eräs EEG-responssien tyypeistä (Liang ym., 2016).

ERP-komponentteja havainnoimalla musiikillisille ärsykeille altistumisen aikana on saatu vaihtelevia tuloksia riippuen siitä, kuinka keskittyneessä tilassa koehenkilöt ovat olleet. Eräissä kuuntelukokeissa äänen eri piirteisiin kohdistettu valikoiva tarkkaavuus heijastui ERP-komponenteissa ainoastaan muusikoilla (Baumann ym., 2008). Muusikoita ja ei-muusikoita verrattaessa on havaittu, että poikkeavasta aistiärsykkeestä syntyvä poikkeavuusnegatiivisuusvaste (MMN) ja tarkkaavuuteen liittyvä P3a ERP-komponenttien tyyppinä eivät eronneet näiden kahden ryhmän kesken passiivisen kuuntelun aikana, mutta keskittyneen kuuntelun aikana muusikoiden P3 ja N2b -komponentit olivat voimakkaampia suhteessa ei-muusikoihin äänenkorkeuden muutoksia havainnoidessa (Tervaniemi, Just, Koelsch, Widmann, & Schröger, 2005). Vastaavia havaintoja on tehty tutkittaessa muusikoiden ERP-komponentteja sävelkorkeuden muutosten kuulemisen aikana, jolloin keskittymisen puute näytti olevan yhteydessä MMN-vasteen ja P3a:n puuttumiseen edistyneestä sävelkorkeuksien erottelukyvystä huolimatta (Arndt, Schlemmer, & van der Meer, 2020). Vaikka muusikot siis erottavat äänenkorkeuden muutokset keskimäärin ei-muusikoita paremmalla tarkkuudella (Arndt ym., 2020; Tervaniemi ym., 2005), tarkkaavuuden suuntaamisella näyttäisi olevan oleellinen vaikutus ERP-komponenttien esiintyvyyteen ja eroavaisuuksiin näiden kahden ryhmän välillä. Kyseisten tutkimusten voisi nähdä siis tukevan vallitsevaa konsensusta muusikoiden tehostuneesta *top-down*-prosessoinnista.

Musiikillisiin syntakseihin liittyvää kompleksia auditiivista prosessointia on tutkittu myös seuraamalla aivosähkökäyrän muutoksia. Muusikoiden voimakkaampi kortikaalinen reagointi näyttäisi kohdistuvan etenkin musiikillisesti epäkonventionaalisiin sointuihin, kuten dissonoiviin ja epävireisiin sointuihin, mutta ei esimerkiksi mollisointuihin (Pallesen ym., 2015). Muusikot näyttäisivät suoriutuvan rytmisten muutosten tunnistamisessa ei-muusikoita paremmin, ja tämä näkyy myös varhaisempana sekä voimakkaampana reaktiona muusikoiden ERP-komponentti P3:ssa ei-muusikoihin verrattuna (Ungan ym., 2013). Kansanmusiikkiin erikoistuneilla ammattimuusikoilla on havaittu suurempi MMN-vaste ei-muusikoihin

verrattuna epävireisiä säveliä kuunneltaessa (Tervaniemi, Huotilainen, & Brattico, 2014). Kansanmuusikoiden suurempi herkkyys koski huomattavimmin äänenkorkeuden muutoksia rytmisten muutosten sijaan, mikä syventää ymmärrystä harjoittelun laadun ja plastisuuden suhteesta: voi olla, että sävelkorkeuteen liittyvät tekijät ovat kansanmusiikissa poikkeuksellisen tärkeässä roolissa muun muassa nuottikirjoituksen puuttumisen ja muistinvaraisen musisoinnin myötä (Tervaniemi ym., 2014). Harjoitettuun musiikkityyliin tai -genreen liittyvää plastisuutta on todennettu myös muusikkoryhmien kesken. Verratessa ammattikseen soittavia jazz- sekä klassisia muusikoita ei-muusikoihin ja harrastelijamuusikoihin, on havaittu seuraavaa: kummankin ammattimuusikkoryhmän MMN-vaste oli voimakkaampi suhteessa ei-muusikoihin glissandon kuulemisen aikana, mutta tämän lisäksi ainoastaan jazzmuusikoiden MMN-vaste oli muita ryhmiä voimakkaampi äänenkorkeuteen, äänen intensiteettiin sekä äänenväriin liittyvien musiikillisten poikkeamien ilmetessä (Kliuchko ym., 2019).

Muusikoiden herkkyys poikkeavalle akustiselle informaatiolle näkyy kortikaalisten reaktioiden voimakkuuden lisäksi nopeudessa etenkin vasemmalla aivopuoliskolla (Kuchenbuch, Paraskevopoulos, Herholz, & Pantev, 2012). Ei-muusikoilla MMN-vasteet keskittyvät enemmän oikealle aivopuoliskolle ja ovat riippuvaisempia äänellisten poikkeavuuksien huomattavuudesta (*saliency*), kun taas muusikoilla MMN-vasteet näyttäisivät säilyvän voimakkuudeltaan samantasoisina myös vähemmän huomattavien poikkeavuuksien havaitsemisessa (Kuchenbuch, Paraskevopoulos, Herholz, & Pantev, 2013).

Muusikoiden erilaisesta kortikaalisesta aktiivisuudesta suhteessa ei-muusikoihin on saatu tietoa myös mikrotonaalisten intervallien prosessointia tutkimalla. Ei-muusikoiden ERP-komponenttien on havaittu olevan hyvin yhteneväisiä toisiinsa nähden niin länsimaisesta tonaalisesta asteikosta muodostettujen dissonoivien intervallien, kuin mikrotonaalisten intervallien kohdalla, jotka eivät kuulu länsimaiseen tonaaliseen asteikkoon (Bailes, Dean, & Broughton, 2015). Muusikoiden ERP-komponenteissa havaittiin sen sijaan eroja dissonoivien ja mikrotonaalisten intervallien välillä, mikä viestii muusikoiden tehostuneesta kyvystä erottaa mikrotonaaliset intervallit tonaalisista (Bailes ym., 2015). Ainoastaan duuri- ja mollisoinnuista koostuneen kuuntelukokeen aikana huomattiin, että vain muusikoiden P3-komponentissa näkyi huomattavaa aktiivisuutta molliasteikon säveliä kuullessa (Halpern, Martin, & Reed, 2008). Reagointi duurin sijaan ainoastaan molliin on sikäli mielenkiintoinen, että se antaa viitteitä duurin oletusarvoisesta asemasta suhteessa molliin (Halpern ym., 2008).

Aivokuoren lisäksi myös syvemmissä aivojen osissa on havaittu plastisuutta muusikoilla. Syvemmistä aivojen osista talamuksen (Tanaka & Kirino, 2017) sekä aivosaaressa (Gujing ym., 2019; Luo ym., 2014; Zamorano, Cifre, Montoya, Riquelme, & Kleber, 2017) toiminnallisen yhdistyneisyyden (*resting-state functional connectivity*) kortikaalisten alueiden kanssa on havaittu olevan tehostuneempaa muusikoilla. Olennaisten ärsykkeiden tunnistamiseen erikoistunut hermoverkko (*saliency network*), joka käsittää alueita aivosaaressa ja kortikaalisilta alueilta on kehittyneempi muusikoilla Luon ym. (2014) tutkimuksen mukaan. Aivosaaressa tehostuneen toiminnallisen yhdistyneisyyden edistävää vaikutuksesta empatiaan liittyviin prosesseihin on saatu myös viitteitä muusikoilla (Gujing ym., 2019). Vaikka toiminnallinen yhdistyneisyys olisi tehostuneempaa muusikoilla syvempien aivojen osien ja kortikaalisten alueiden välillä, se voi paikoitellen näkyä myös yhteyksien vähäisempänä määränä: naismuusikkoja tutkittaessa on havaittu, että muun muassa aivokuorukan ja kortikaalisten alueiden välinen hermoverkosto on tavanomaista pienempi ja selektiivisempi (Tanaka & Kirino, 2016).

### 3.3 Siirtovaikutus ja plastisiteetti musiikillisen prosessoinnin ulkopuolella

Musiikillisen harjaantuneisuuden mahdollinen vaikutus myös muihin, kuin ensisijaisesti musiikillisen prosessoinnin kannalta keskeisiin aivojen osiin on saanut musiikin aivotutkimuksen kentällä huomiota. Jos musiikillisesta harjaantuneisuudesta juontuvat plastiset muutokset aivoissa vaikuttavat myös ei-musiikillisiin kognitiivisiin kykyihin, voidaan puhua siirtovaikutuksesta. Muusikoilla havaitun toiminnallisen yhdistyneisyyden tehostumisen motorisilla ja multisensorisilla aivokuoren osilla ilman varsinaista musiikillista ärsykettä tai toimintaa (kts. Luo ym., 2012) voidaan nähdä ilmentävän musiikillisen prosessoinnin ulkopuolelle ulottuvaa toiminnallista plastisiteettia. Lisääntynyt aktiivisuus muusikoiden kuuloaivokuorella sinääniä prosessoidessa (Baumann ym., 2008) sekä ei-musiikillisen audiovisuaalisen prosessoinnin tehostuminen muusikoilla (Bidelman, 2016; Lu ym., 2014) viestivät myös siirtovaikutuksesta. Yleisesti ottaen kauaskantoiset kognitiiviset siirtovaikutukset ovat harvinaisia, joskin siirtovaikutusta voi ilmetä toisilleen läheisten kognitiivisten kykyjen välillä, kuten edellä mainituissa tapauksissa. Muusikon näkökulmasta ns. lähisiirtovaikutusta voi ilmetä vaikkapa uuden instrumentin opettelussa, mutta sen sijaan esimerkiksi kielelliset kyvyt toimivat hyvänä esimerkkinä asteen etäisemmästä kyvystä



suhteessa musiikillisiin kykyihin. Musiikillisen ja kielellisen prosessoinnin suhdetta onkin tutkittu huomattavan paljon musiikin aivotutkimuksen saralla.

Musiikillisen ja kielellisen prosessoinnin on tutkittu osittain limittyvän aivoissa aktivoiden samoja aivorakenteita, joskin ne vaikuttaisivat toimivan osaksi myös itsenäisten ja toisistaan riippumattomien mekanismien varassa. Muusikoiden ja kaksikielisten ei-muusikoiden keskinäisessä vertailussa on näiden kahden ryhmän väliltä löytynyt toisistaan hyvin poikkeavia ERP-responsseja P2 ja N2 -komponenttien suhteen reaktionopeutta testaavan visuaalisen kokeen aikana siitä huolimatta, että molemmat ryhmät suoriutuivat testistä tasavertaisen hyvin (Moreno, Wodniecka, Tays, Alain, & Bialystok, 2014). Muusikoiden lisääntynyt valkean aineen konnektiivisuus kielellisen prosessoinnin kannalta keskeisen vasemman sekä oikean planum temporalen välillä näyttäisi heijastuvan kielellisissä kyvyissä, kuten parempana suoriutumisena puheen äänteiden kategorisoinnissa (Elmer ym., 2016).

Tutkimalla muusikoiden ERP-komponentteja laulettujen tavujen kuuntelun aikana on heiltä löydetty poikkeuksellista aktivaatiota suhteessa ei-muusikoihin, minkä voi nähdä viestivän musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksesta kielelliseen prosessointiin (François, Jaillet, Takerkart, & Schön, 2014). Koehenkilöiden opetellessa merkityksettömiä sanoja eli pseudosanoja havaittiin, että muusikot oppivat näitä ei-muusikoita paremmin (François ym., 2014). Pseudosanojen edistyneempi oppiminen on näyttäytynyt nopeampien vastausaikojen ja vähäisempien virheiden lisäksi N1- ja P2- komponenttien ajallisessa kestossa (Kühnis, Elmer, Meyer, & Jäncke, 2013) sekä vasemman aivopuoliskon verbaalisten alueiden toiminnallisen yhdistyneisyyden voimistumisessa (Elmer ym., 2018). ERP-komponenttien lisäksi muusikoiden tehostuneempi puheen prosessointi on ilmennyt myös eri aivoaaltojen, kuten gamma-aaltojen voimakkuudessa EEG-mittauksissa (Bidelman, 2017). Musiikillisella harjaantuneisuudella näyttäisi olevan vaikutusta kielelliseen oppimiseen lyhyelläkin ajanjaksolla: kouluikäisten lasten lukutaidon ja eri äänenkorkeuksien erottelukyvyn puheesta on huomattu edistyneen vain kuuden kuukauden mittaisen musiikillisen harjoituksen jälkeen, mitä todennettiin myös aivosähkökäyrän muutoksina (Moreno ym., 2009).

Tutkimalla musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutusta puheen sekä musiikillisten äänten prosessointiin aivojen kortikaalisilla alueilla on huomattu, että kun harjaantuneilla muusikoilla tämä prosessointi tapahtuu pääasiassa primäärisellä kuuloaivokuorella, ei-muusikoiden aivoissa prosessointia tapahtuu myös ei-musiikillisilla ja kielellisillä alueilla

(Bidelman & Walker, 2019). Muusikoiden on havaittu käyttävän ikään kuin pienempää aivokapasiteettia kielellisessä prosessoinnissa ei-muusikoihin verrattuna, mikä viestii kielellisen prosessoinnin tehostumisesta (Glushko, Steinhauer, DePriest, & Koelsch, 2016). Muusikoiden aivorunkoa ja kuuloaivokuorta tarkastellessa on havaittu, että nämä subkortikaaliset ja kortikaaliset osat toimivat tehostuneemmassa vuorovaikutuksessa keskenään samalla mahdollistaen paremman puheen havaitsemiskyvyn ei-muusikoihin verrattuna (Bidelman, Weiss, Moreno, & Alain, 2014).

On tutkittu, että muusikoiden kuuloaivokuoren voimakkaamman aktiivisuuden lisäksi puheen koodaus on vakaampaa aivorungossa verrattuna ei-muusikoihin (Bidelman ym., 2014; Parbery-Clark, Strait, & Kraus, 2011). Vuoden verran musiikinopetusta saaneilla kouluikäisillä lapsilla, jotka saivat myös instrumenttiharjoitusta on havaittu puheen nopeampaa ja vakaampaa prosessointia aivorungossa verrattuna lapsiin, jotka saivat musiikinopetusta ilman instrumenttiharjoitusta (Kraus ym., 2014). Keski-ikäisiä muusikoita tutkimalla on saatu viitteitä musiikillisen harrastuneisuuden yhteydestä tehostuneeseen puheen koodaukseen ja sitä kautta puheen ymmärtämiseen niin hiljaisessa, kuin meluisassa ympäristössä (Parbery-Clark, Anderson, Hittner, & Kraus, 2012). Toisaalta neuraalisen puheen koodauksen tehostumisen on ehdotettu myös olevan seurausta ensisijaisesti luontaisista kuuntelijan kyvyistä, eikä välttämättä musiikillisesta harjaantuneisuudesta (Mankel & Bidelman, 2018).

Kielellisten toimintojen lisäksi myös emotionaalista prosessointia voisi pitää mahdollisesti musiikin ulkopuolelle laajentuvana, kokonaisvaltaisempana toiminnallisuutena. Muun muassa motoristen alueiden, kuten täydentävän motorisen alueen sekä mielihyvän kokemukseen liittyvän nucleus accumbensin yhdistyneisyys musiikillisten emotioiden prosessointiin osallistuvien limbisten aivorakenteiden kanssa näyttäisi olevan tehostuneempaa muusikoilla (Alluri ym., 2015). Havainnot muusikoiden edistyneemmästä toiminnallisesta yhdistyneisyydestä emotionaaliseen prosessointiin liittyvillä alueilla vailla ulkoisia ärsykeitä (Luo ym., 2014) viestivät kokonaisvaltaisemmasta emotionaalisen prosessoinnin tehostumisesta. Aivosaaren tehostuneen toiminnallisen yhdistyneisyyden mahdollinen yhteys korkeampaan empatiakykyyn muusikoilla on myös mielenkiintoinen siirtovaikutuksen näkökulmasta (kts. Gujing ym., 2019). Kyseisen ilmiön voisi nähdä selittyvän ainakin osittain eläytymisen ja vuorovaikutteisuuden tärkeydellä soittamisessa: muusikon täytyy kyetä esimerkiksi näkemään asioita kanssamuusikoiden, säveltäjän ja yleisön näkökulmista

pyrkiessään ilmaisemaan erilaisia tunteita musiikillisesti. Muusikoiden kehittyneempi talamokortikaalinen yhdistyneisyys mielensisäisen kuvittelun (*mental imagery*) kannalta keskeisissä aivojen osissa (Tanaka & Kirino, 2017) viestii siitä, että mielensisäisellä kuvittelulla voisi olla keskeinen rooli musiikin harjoittamisessa. Muusikoiden erilainen ERP-aktiivisuus musiikillisia merkityksiä prosessoitaessa antaa viitteitä muusikkouden vaikutuksista myös ei-musiikillisiin, kuvallisiin (*iconic*) merkityksiin emotionaalisten merkitysten lisäksi (Cai, Huang, Luo, Huang, & Mo, 2015).

### 3.4 Tutkimustiedon merkitys hoito- ja opetustyön näkökulmista

Musiikillisella harjaantuneisuudella voidaan katsoa olevan monia aivojen toimintaa edistäviä vaikutuksia, minkä vuoksi musiikkiharrastus voi ennaltaehkäistä tiettyjä aivojen toiminnallisuuteen liittyviä alenemia esimerkiksi ikääntymisen myötä. Tästä esimerkkinä käy keski-ikäisten muusikoiden edistyneempi kyky ymmärtää puhetta sekä hiljaisessa että meluissa ympäristössä, mikä on yhteydessä aivorungon tehostuneeseen puheen koodaukseen (Parbery-Clark ym., 2012). Muusikoiden runsaampi harmaan aineen määrä ja toiminnallisuus vasemmassa hippokampuksessa voi myös viestiä kognitiivisten toimintojen, kuten muistin paremmasta säilymisestä vanhuudessa (Groussard ym., 2010). Näin ollen musiikin harrastaminen voisi kenties toimia yhtenä muistisairauksia ennaltaehkäisevänä tekijänä.

Vaikka musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutusta aivoihin tarkastellaan tutkimuskirjallisuudessa tyypillisimmin hyvin pitkäkestoisien, useita vuosia tai jopa vuosikymmeniä kestäneiden soitinopiskelun näkökulmasta, voi musiikki saada aikaan muutoksia aivoissa lyhyemmälläkin ajanjaksolla. Erityisesti musiikkiterapiassa voisi mahdollisesti hyödyntää lyhyemmän aikajänteen muutoksiin keskittynyttä tutkimustietoa aivojen kyvystä muokkautua harjoituksen seurauksena. Laajassa tutkimuksessa, jossa tutkittiin dysleksiasta, ADHD:sta ja ADD:sta kärsivien lasten kuuloaivokuorta, saatiin näyttöä instrumenttiharjoituksen positiivisesta vaikutuksesta aivopuoliskojen keskinäiseen toiminnalliseen synkroniaan: 3,5 vuotta kestänyt säännöllinen harjoittelu vähensi merkittävästi kuuloaivokuoren vasemman ja oikean puoliskon hajanaista aktivoitumista kaikilla kolmella ryhmällä (Serrallach ym., 2016). Myös CP-vammasta kärsivillä henkilöillä on vastaavasti toteutettu avustettua pianon opettelua 4 viikon ajan, mutta merkittäviä muutoksia aivotasolla ei kyetty havaitsemaan (Alves-Pinto ym., 2017). Luultavasti

tutkimustietoa tulisi kerätä pidemmän ajanjakson harjoittelusta, jotta konkreettisia muutoksia olisi havaittavissa (Alves-Pinto ym., 2017).

Opetuksellinen lähestymistapa instrumentin opiskelun vaikutuksista aivojen plastisuuteen tarjoaa toisen keskeisen sovellutusalueen käsittelemääni ilmiöön, jota on varsin luontevaa käsitellä musiikinopetuksen tai yleisesti oppimisen näkökulmasta keskittyen aivojen kehitykseen ja muokkautumiseen osana oppimisprosessia. Kyseisestä näkökulmasta erityisen kiinnostavaa on plastisuuden tutkiminen pienillä lapsilla, joiden nopeaan tahtiin kehittyvät aivot käyvät läpi mittavampia rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia iäkkäämpiin ihmisiin verrattuna. Esimerkiksi 4-6-vuotiailla lapsilla on havaittu muutoksia kortikaalisessa aktiivisuudessa osoittaen suurempaa herkkyyttä viulunäänille sen jälkeen, kun he olivat saaneet Suzuki-menetelmään perustuvaa musiikinopetusta vuoden ajan (Fujioka, Ross, Kakigi, Pantev, & Trainor, 2006). Musiikillisella harjaantuneisuudella näyttäisi olevan yhteys lasten kielitaidon edistymiseen, mitä on todennettu kuusi kuukautta kestäneen musiikillisen harjoituksen jälkeen kouluikäisillä lapsilla (Moreno ym., 2009). Tämän lisäksi musiikkiharrastus lisäsi lasten kykyä erottaa eri äänenkorkeuksia puheesta, ja tällä saattaisi olla sovellutusmahdollisuuksia vieraan kielen opetuksessa (Moreno ym., 2009). Lupaavia tuloksia instrumentin opetteluun yhteydestä puheen tehostuneeseen prosessointiin aivoissa on saatu tutkimalla matalassa sosioekonomisessa asemassa olevien perheiden lapsia (Kraus ym., 2014). Tulokset ovat oppimisen kannalta merkittäviä siinä mielessä, että niillä voi olla yhteys myös kielitaidon edistymiseen lapsilla, joilla on tutkimusten mukaan suhteessa enemmän kielellisiä vaikeuksia muuhun väestöön nähden (Kraus ym., 2014).

Aikuisilla koehenkilöillä tehdyt tutkimukset antavat myös viitteitä nopean aivojen muokkautumiskyvyn ja oppimisen mahdollisuuksista soitonopetteluun avulla. Lappen ym. (2011) tutkimuksen mukaan vain kaksi viikkoa kestänyt pianonsoiton harjoittelu musiikillisesti kokemattomilla koehenkilöillä johti edistyneempään kuuloaivokuoren toiminnallisuuteen sekä oppimiseen verrattuna ainoastaan kuunteluharjoituksia tehneeseen kontrolliryhmään. Vaikka opetuskeskeiset näkökulmat kohdistuvat tyypillisimmin lapsiin ja nuoriin ikäluokkiin, musiikkiharrastuksella voidaan nähdä olevan positiivisia vaikutuksia aivotoiminnan tasolla läpi elämän.

## 4 YHTEENVETO

Läpikäymäni tutkimusaineisto osoittaa musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksen aivojen plastisiin muutoksiin. Vaikutuksen alaisina voidaan tutkimusten valossa pitää lukuisia eri aivojen osia, joissa on havaittavissa rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia. Laajamittainen ja kompleksi vaikutus aivojen plastisuuteen on selitettävissä osittain musiikin multimodaalisella prosessoinnilla aivoissa, jolloin eri aisti-informaatiosta vastaavat kortikaaliset osat aktivoituvat yhdessä syvempien aivojen osien kanssa instrumentin harjoittelun aikana. Tämä voi johtaa aivojen rakenteellisiin ja toiminnallisiin muutoksiin eri tavoin riippuen muun muassa harjoittelun määrästä ja kestosta, aloitusiästä, instrumentin tyypistä sekä harjoitetusta musiikkityylistä.

### 4.1 Tiivistelmä keskeisimmistä tuloksista

Muusikoiden motorisilta, sensorisilta sekä kognitiivisen prosessoinnin kannalta keskeisiltä aivoalueilta on kyetty löytämään aivojen rakenteellisia muutoksia (James ym., 2014). Sensorisista osista etenkin kuuloaivokuorelta on löydetty harmaan aineen muutoksia muusikoilla (Bermudez ym., 2009; Karpati ym., 2018). Aivojen syvemmistä rakenteista merkittäviä muutoksia on löydetty aivokurkiaisesta (Schlaug ym., 2009), hippokampuksesta (Groussard ym., 2010) sekä emotionaaliseen prosessointiin (Elmer ym., 2016) osallistuvista osista. Tiettyjen aivoalueiden lisääntynyt harmaan aineen määrä tai valkean aineen konnektiivisuus ovat tyypillisesti yhteydessä suhteellisen pitkäkestoiseen ja useita vuosia kestäneeseen instrumentin harjoitteluun (esim. Bermudez ym., 2009; Li ym., 2014), mutta joillain alueilla on havaittu ilmiön suhteen myös negatiivista korrelaatiota. Harmaan aineen asteittaista vähenemistä on havaittu muusikoiden sensorimotorisilla aivoalueilla (James ym., 2014) sekä auditiivis-motoriseen prosessointiin osallistuvilla alueilla (Vaquero ym., 2016). Lisäksi sekä harmaan että valkean aineen määrän suhteen on löydetty negatiivista korrelaatiota muusikoiden pikkuaivoista (Baer ym., 2015).

Aivojen toiminnallisista muutoksista muusikoilla on tehty huomattavia määriä tutkimusta, ja muusikkouden vaikutukset aivojen toimintaan näkyvät monella tasolla kattaen lukuisia eri aivoalueita. Edistyneempää toiminnallisuutta on havaittu muusikoiden motorisella aivokuorella, kuuloaivokuorella sekä multisensorisen integraation kannalta keskeisissä osissa

(Luo ym., 2012). Audiovisuaalisen prosessoinnin tehostuminen (Bidelman, 2016; Lu ym., 2014; Mado Proverbio ym., 2014) on oivallinen esimerkki musiikillisen harjaantuneisuuden vaikutuksesta multisensoriseen prosessointiin. Muusikoiden aivot näyttäisivät olevan osaksi toiminnallisesti symmetrisempiä (Burunat ym., 2015) ja muusikot saattavat käyttää esimerkiksi valikoitua tarkkaavuutta ei-muusikoita tehokkaammin esimerkkinä *top-down* -tyyppisestä tiedon prosessoinnista (Baumann ym., 2008). Tutkimukset viestivät muusikoiden edistyneemmästä kyvystä tunnistaa ja erotella poikkeavuuksia äänellisten ärsykkeiden taajuudessa (Arndt ym., 2020; Liang ym., 2016; Tervaniemi ym., 2005) sekä rytmiin (Ungan ym., 2013) ja tonaaliseen harmoniaan (Bailes ym., 2015; Halpern ym., 2008; Pallesen ym., 2015) liittyvissä tekijöissä ei-muusikoihin verrattuna. Muusikoiden aivojen syvemmissä rakenteissa on havaittu myös lisääntyntä toiminnallisuutta sekä näiden subkortikaalisten alueiden voimakkaampaa yhdistyneisyyttä kortikaalisten alueiden kanssa (esim. Tanaka & Kirino, 2017; Zamorano ym., 2017).

Toiminnalliset muutokset muusikoiden aivoissa myös ei-musiikillisessa kontekstissa viestivät siirtovaikutuksesta (Baumann ym., 2008; Bidelman, 2016; Lu ym., 2014; Luo ym., 2012). Ei-musiikillisista kyvyistä etenkin muusikoiden kielellisten kykyjen on havaittu olevan tehostuneempia ei-muusikoihin verrattuna. Tehostunutta kykyä on todennettu kielellisen oppimisen ja kielellisen prosessoinnin yhteydessä muun muassa parempana lukutaidon edistymisenä (Moreno ym. 2009) ja nopeampana kielen äänneiden tunnistamisena (Bidelman 2017; Elmer ym. 2016). Muusikoiden ja ei-muusikoiden välisessä aivoaktiivisuudessa on havaittu eroja myös silloin, vaikka behavioraaliset tulokset olisivat olleet kielellisiä kykyjä testattaessa yhteneväisiä. Muusikot näyttäisivät prosessoivan kielellistä informaatiota tehostuneemmin (Bidelman ym., 2014; Glushko ym., 2016) samalla hyödyntäen enemmän musiikilliselle prosessoinnille ominaisia aivoalueita, kuten primääristä kuuloaivokuorta (Bidelman & Walker, 2019). Muusikoiden aivorungon tehostuneesta toiminnasta ja sen yhteydestä edistyneeseen kielelliseen prosessointiin on saatu viitteitä (Bidelman ym., 2014; Kraus ym., 2014; Parbery-Clark ym., 2011; Parbery-Clark ym., 2012). Tämän lisäksi muusikkoudella on mahdollinen vaikutus emotionaaliseen prosessointiin (Alluri ym., 2015; Luo ym., 2014), empatiakykyyn (Gujing ym., 2019) sekä mielensisäistä kuvittelua tai kuvallisia merkityksiä sisältäviin prosesseihin aivoissa (Cai ym., 2015; Tanaka & Kirino, 2017).

Aihepiiriä koskevalla tutkimustiedolla voidaan katsoa olevan mahdollisia sovellutusnäköymiä sekä kliinisessä hoitotyössä että opetustyössä. Musiikillisella harjaantuneisuudella voi olla mahdollisesti suojaava vaikutus ikääntymisen myötä tapahtuvaan kuulon ja puheentunnistuksen sekä muistin alenemaan (kts. Groussard ym., 2010; Parbery-Clark ym., 2012). Instrumentin opetteluun keskittyneet hoidolliset interventiot ovat osoittaneet myönteisiä muutoksia tutkittavien henkilöiden toiminnallisuudessa ja aivoaktiivisuudessa tietyillä erityisryhmillä (Serrallach ym., 2016), joskin merkittäviä muutoksia aivotasolla ei välttämättä tapahdu vain joidenkin viikkojen kuluttua (Alves-Pinto ym., 2017). Lasten instrumentinopiskelun on havaittu olevan yhteydessä omalle soittimen äänelle herkistymisen (Fujioka ym., 2006) lisäksi kielitaidon edistymiseen (Moreno ym., 2009), minkä voi nähdä viestivän musiikin pedagogisesta merkityksestä laajemminkin kouluympäristössä. Instrumentin harjoittelu voi vaikuttaa aivojen toiminnallisuuteen lyhyellä ajanjaksolla myös aikuisuudessa (Lappe ym., 2011). Opetustyötä ajatellen voi olla tärkeää erottaa musiikin tekeminen ja musiikin opiskelu toisistaan ja korostaa aktiivisten kokemusten merkitystä aivojen plastisuudelle ja oppimiselle (Kraus ym., 2014).

## **4.2 Tutkimuksen rajoitteet ja kritiikki**

Musiikillisen harjaantuneisuuden jonkinasteinen vaikutus aivojen plastisiteettiin on kiistaton, mutta aihepiirin tyypillisissä tutkimuksissa ei olla välttämättä pystytty kontrolloimaan laajaa joukkoa muuttujia, jotka voivat mahdollisesti toimia osatekijöinä plastisten muutosten synnyssä. Tällaisia ovat muun muassa synnynnäiset ominaisuudet, sosioekonominen asema ja muut ympäristötekijät, joita on nostettu esille jo aiemmissakin aihepiiristä tehdyissä katsauksissa (esim. Zuk & Gaab, 2018). Musiikillinen harjaantuneisuus siis vaikuttaa aivojen plastisiteettiin, mutta epäselvää lienee se, miten paljon yksinomaan harjaantuneisuus muovaa aivoja ja kuinka suuri rooli harjoituksen rinnalla toimivilla ja vaikeammin kontrolloitavilla muuttujilla on. Suurin osa aihepiiristä tehdyistä tutkimuksista edustaa poikittaistutkimuksia aikuisilla koehenkilöillä, ja lapsilla toteutettuja pitkittäistutkimuksia tarvittaisiin huomattavasti enemmän luotettavien johtopäätelmien tekemiseksi ilmiöstä (Zuk & Gaab, 2018).

Aihepiiriin liittyvä tutkimus on tieteenfilosofisessa mielessä hyvin yhteneväistä, mutta sovelletuissa aivokuvantamismenetelmissä esiintyy paljon vaihtelua eri tutkimusten välillä.

Tämä selittyy yksinkertaisesti sillä, että ei ole olemassa yhtä ja oikeaa tapaa kerätä dataa aivojen rakenteesta ja toiminnallisuudesta. Tutkijan täytyy miettiä etukäteen sitä, mikä olisi paras menetelmä käsiteltävän ilmiön tutkimiseen. Esimerkiksi kortikaalisen aktiivisuuden havainnoinnissa aivosähkökäyrän mittaaminen voi olla hyvin perusteltua, mutta EEG-pohjaiset menetelmät eivät sovellu niinkään aivojen rakenteellisten ominaisuuksien tutkimiseen. Ottaen huomioon niin musiikin, aivojen, kuin musiikin aivoperustaisen prosessoinnin kompleksisuuden, voi mittauksissa jäädä tutkittavan ilmiön kannalta oleellista tietoa havaitsematta siitäkin huolimatta, että tutkimuksessa käytettyjen aivokuvantamismenetelmien käyttö on ollut perusteltua.

Lisäksi tutkimusten valossa näyttäisi siltä, että monet itse musiikilliseen toimintaan liittyvät tekijät voisivat aiheuttaa merkittäviä eroja aivojen plastisuudessa muusikoiden välillä. Tutkimuksissa on tyypillisimmin keskitytty huomioimaan vain muusikoiden aloitusikä, harjoittelun kesto vuosina, harjoittelun intensiteetti, muusikkouden taso tai harjoitetun instrumentin tyyppi. Muusikoiden ja ei-muusikoiden määrittely voi vaihdella tutkimusten kesken melko runsaasti, ja esimerkiksi harjoitusvuosien mukaan muusikoiksi voidaan katsoa osassa tutkimuksia vain joitain vuosia kestänyt harjoittelu, kun taas osassa muusikkouden kriteerinä voidaan pitää lähemmäs kymmentä vuotta harjoittelua. Näillä seikoilla voi olla merkitystä tulosten tulkinnan kannalta, sillä tutkimusten mukaan muun muassa soittimen harjoittelun aloitusiällä ja harjoitusvuosilla on rooli tiettyjen plastisten muutosten ilmenemisessä.

Useissa tutkimuksissa mainitaan kyseinen musiikkisuuntaus tai genre, johon muusikko on erikoistunut, mutta harjoitetun instrumentin ja musiikkityylin vaikutukset aivojen plastisuuteen voivat jäädä tutkimusten valossa silti hyvin vaillinaisiksi. Enemmistössä tutkimuksista on tutkittu joko pianisteja tai jousisoittajia, kun taas esimerkiksi kielisoittajista, puhallinsoittajista ja perkussionisteista saatavaa tutkimustietoa on niukemmin saatavilla. Erot somatosensorisen aivokuoren representaatioalueilla sekä kuuloaivokuoren herkkyys oman soittimen äänelle ovat tyypillisiä eri instrumentteja harjoittavien muusikoiden välillä, mutta tämän lisäksi instrumenttikohtaisia eroja on havaittu muun muassa vasemman ja oikean aivopuoliskon toiminnallisuudessa (Burunat ym., 2015). Tietyn instrumentin harjoittaminen voisi kenties vaikuttaa aivojen plastisuuteen laajemmin, jolloin instrumenttispesifit muutokset aivoissa eivät rajoittuisi ainoastaan oman soittimen käsittelyyn ja kuunteluun.



Useissa tutkimuksissa koehenkilöinä toimivat muusikot ovat erikoistuneet klassiseen musiikkiin, mikä saattaa johtaa myös tiettyntyyppisiin tuloksiin. Esimerkiksi kansanmuusikoilla tehty tutkimus antaa viitteitä kansanmuusikoiden erilaisesta aivoaktiivisuudesta suhteessa vaikkapa jazzmuusikoihin (Tervaniemi ym., 2014). Tiettyyn musiikkityyliin suuntautuminen voi vaikuttaa merkittävästi siihen, mihin seikkoihin muusikko ohjaa tarkkaavuuttaan harjoitustilanteissa. Tulosten pohjalta herää kysymyksiä siitä, kuinka paljon esimerkiksi eri harjoittelumetodit yhdessä harjoitteluympäristön kanssa vaikuttavat aivojen plastisuuteen musiikkityylin lisäksi. Voi olla, että runsas yhteismusisointi muokkaa aivoja eri tavalla verrattuna yksilömusisointiin. Tämän lisäksi eri musiikkityylit voivat vaikuttaa siihen, mihin asioihin yhteismusisoinnissa tarkkaavaisuutta kiinnitetään ja millä eri osa-alueilla harjaannutaan. Jatkotutkimusten tulisi kiinnittää vielä aiempaa enemmän huomiota tämäntyyppisiin, suhteellisen helposti kontrolloitaviin muuttujiin vaikeammin kontrolloitavien muuttujien, kuten synnyntäisten ominaisuuksien lisäksi.

Olen käsitellyt tutkielmassani laajaa ja monimutkaista ilmiötä sekä pyrkinyt kokoamaan yhteen keskeistä tutkimustietoa siitä, miten musiikillinen harjaantuneisuus ilmenee aivojen rakenteessa ja toiminnallisuudessa. On syytä mainita, että tutkielmani laajuus huomioiden kirjallisuuskatsaukseni ei riitä kattamaan kaikkea aihepiiriin liittyvää tutkimusta. Tutkielmaani varten toteutetun aineistonhaun pohjalta kerätyistä artikkeleista valtaosa on keskittynyt aivojen toiminnallisiin muutoksiin, ja aivojen rakenteelliset muutokset ovat jääneet työssäni hieman vähemmälle tarkastelulle. Tutkielmani pohjalta voin kuitenkin osoittaa aihepiiriin liittyviä keskeisiä tutkimustuloksia ja niiden soveltamismahdollisuuksia, tarkastella aihepiirin keskeisiä tutkimuksia kriittisesti, sekä esittää jatkotutkimustarpeita aihepiiriä koskevalle tutkimukselle. Tutkielmani on toteutettu kirjallisuuskatsauksen muodossa teoreettisena tutkimuksena, joten tutkimuksen toteutustapaan, aineistonhankintaan, koehenkilöiden valintaan ja tulosten raportointiin liittyviä tutkimuseettisiä ongelmia ei kokeellisten tutkimusasetelmien mukaisesti ole. Kaikki käsittelyosassa läpikäymäni tutkimusartikkelit ovat läpäisseet vertaisarvioinnin. Tutkielmani on toteutettu noudattaen hyvää tieteellistä käytäntöä (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012).

## LÄHTEET

- Alluri, V., Brattico, E., Toiviainen, P., Burunat, I., Bogert, B., Numminen, J., & Kliuchko, M. (2015). *Musical Expertise Modulates Functional Connectivity of Limbic Regions During Continuous Music Listening*.
- Alves-Pinto, A., Ehrlich, S., Cheng, G., Turova, V., Blumenstein, T., & Lampe, R. (2017). Effects of short-term piano training on measures of finger tapping, somatosensory perception and motor-related brain activity in patients with cerebral palsy. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *13*, 2705–2718.
- Arndt, C., Schlemmer, K., & van der Meer, E. (2020). Same or different pitch? Effects of musical expertise, pitch difference, and auditory task on the pitch discrimination ability of musicians and non-musicians. *Experimental Brain Research*, *238*(1), 247–258.
- Baer, L. H., Park, M. T. M., Bailey, J. A., Chakravarty, M. M., Li, K. Z. H., & Penhune, V. B. (2015). Regional cerebellar volumes are related to early musical training and finger tapping performance. *NeuroImage*, *109*, 130–139.
- Bailes, F., Dean, R. T., & Broughton, M. C. (2015). How Different Are Our Perceptions of Equal-Tempered and Microtonal Intervals? A Behavioural and EEG Survey. *PLOS ONE*, *10*(8), e0135082.
- Baumann, S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2008). Enhancement of Auditory-evoked Potentials in Musicians Reflects an Influence of Expertise but not Selective Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(12), 2238–2249.
- Bermudez, P., Lerch, J. P., Evans, A. C., & Zatorre, R. J. (2009). Neuroanatomical correlates of musicianship as revealed by cortical thickness and voxel-based morphometry. *Cerebral Cortex*, *19*(7), 1583–1596.
- Bidelman, G. M. (2016). Musicians have enhanced audiovisual multisensory binding: experience-dependent effects in the double-flash illusion. *Experimental Brain Research*, *234*(10), 3037–3047.
- Bidelman, G. M. (2017). Amplified induced neural oscillatory activity predicts musicians' benefits in categorical speech perception. *Neuroscience*, *348*, 107–113.
- Bidelman, G. M., Weiss, M. W., Moreno, S., & Alain, C. (2014). Coordinated plasticity in

- brainstem and auditory cortex contributes to enhanced categorical speech perception in musicians. *European Journal of Neuroscience*, 40(4), 2662–2673.
- Bidelman, G., & Walker, B. (2019). Plasticity in auditory categorization is supported by differential engagement of the auditory-linguistic network. *BioRxiv*, 663799.
- Boland, A., Cherry, M. G., & Dickson, R. (2017). Doing a systematic review : a student's guide. *SAGE Publications*.
- Burunat, I., Brattico, E., Puoliväli, T., Ristaniemi, T., Sams, M., & Toiviainen, P. (2015). Action in Perception: Prominent Visuo-Motor Functional Symmetry in Musicians during Music Listening. *PLOS ONE*, 10(9), e0138238.
- Cai, L., Huang, P., Luo, Q., Huang, H., & Mo, L. (2015). Iconic meaning in music: An event-related potential study. *PLoS ONE*, 10(7).
- Choi, U. S., Sung, Y. W., Hong, S., Chung, J. Y., & Ogawa, S. (2015). Structural and functional plasticity specific to musical training with wind instruments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(OCTOBER).
- Elmer, S., Albrecht, J., Valizadeh, S. A., François, C., & Rodríguez-Fornells, A. (2018). Theta Coherence Asymmetry in the Dorsal Stream of Musicians Facilitates Word Learning. *Scientific Reports*, 8(1).
- Elmer, S., Hänggi, J., & Jäncke, L. (2016). Interhemispheric transcallosal connectivity between the left and right planum temporale predicts musicianship, performance in temporal speech processing, and functional specialization. *Brain Structure and Function*, 221(1), 331–344.
- François, C., Jaillet, F., Takerkart, S., & Schön, D. (2014). Faster Sound Stream Segmentation in Musicians than in Nonmusicians. *PLoS ONE*, 9(7), e101340.
- Fujioka, T., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C., & Trainor, L. J. (2006). One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain*, 129(10), 2593–2608.
- Giacosa, C., Karpati, F. J., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2016). Dance and music training have different effects on white matter diffusivity in sensorimotor pathways. *NeuroImage*, 135, 273–286.
- Glushko, A., Steinhauer, K., DePriest, J., & Koelsch, S. (2016). Neurophysiological correlates of musical and prosodic phrasing: Shared processing mechanisms and effects of musical expertise. *PLoS ONE*, 11(5).
- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., ... Platel, H. (2010). When Music and Long-Term Memory Interact: Effects of Musical Expertise on Functional and Structural Plasticity in the Hippocampus. *PLoS ONE*, 5(10), e13225.
- Gujing, L., Hui, H., Xin, L., Lirong, Z., Yutong, Y., Guofeng, Y., ... Dezhong, Y. (2019). Increased insular connectivity and enhanced empathic ability associated with

- dance/music training. *Neural Plasticity*, 2019.
- Halpern, A. R., Martin, J. S., & Reed, T. D. (2008). An ERP study of major-minor classification in melodies. *Music Perception*, 25(3), 181–191.
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76(3), 486–502.
- James, C. E., Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Hauert, C. A., Descloux, C., & Lazeyras, F. (2014). Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks. *Brain Structure and Function*, 219(1), 353–366.
- Karpati, F. J., Giacosa, C., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2018). Structural covariance analysis reveals differences between dancers and untrained controls. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12.
- Kliuchko, M., Brattico, E., Gold, B. P., Tervaniemi, M., Bogert, B., Toiviainen, P., & Vuust, P. (2019). Fractionating auditory priors: A neural dissociation between active and passive experience of musical sounds. *PLoS ONE*, 14(5).
- Kraus, N., Slater, J., Thompson, E. C., Hornickel, J., Strait, D. L., Nicol, T., & Whiteschwoch, T. (2014). Auditory learning through active engagement with sound: Biological impact of community music lessons in at-risk children. *Frontiers in Neuroscience*, 8(OCT).
- Kuchenbuch, A., Paraskevopoulos, E., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2012). Electromagnetic Correlates of Musical Expertise in Processing of Tone Patterns. *PLoS ONE*, 7(1), e30171.
- Kuchenbuch, A., Paraskevopoulos, E., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2013). Effects of musical training and event probabilities on encoding of complex tone patterns. *BMC Neuroscience*, 14.
- Kühnis, J., Elmer, S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). Musicianship boosts perceptual learning of pseudoword-chimeras: An electrophysiological approach. *Brain Topography*, 26(1), 110–125.
- Landau, S. & D'Esposito, M. (2006). Sequence learning in pianists and nonpianists: An fMRI study of motor expertise. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 6(3), 246–59.
- Lappe, C., Trainor, L. J., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2011). Cortical Plasticity Induced by Short-Term Multimodal Musical Rhythm Training. *PLoS ONE*, 6(6), e21493.
- Li, J., Luo, C., Peng, Y., Xie, Q., Gong, J., Dong, L., ... Yao, D. (2014). Probabilistic diffusion tractography reveals improvement of structural network in musicians. *PLoS ONE*, 9(8).
- Liang, C., Earl, B., Thompson, I., Whitaker, K., Cahn, S., Xiang, J., ... Zhang, F. (2016). Musicians Are Better than Non-musicians in Frequency Change Detection: Behavioral

- and Electrophysiological Evidence. *Frontiers in Neuroscience*, 10(OCT).
- Lu, Y., Paraskevopoulos, E., Herholz, S. C., Kuchenbuch, A., & Pantev, C. (2014). Temporal processing of audiovisual stimuli is enhanced in musicians: Evidence from Magnetoencephalography (MEG). *PLoS ONE*, 9(3).
- Luo, C., Guo, Z., Lai, Y., Liao, W., Liu, Q., Kendrick, K. M., ... Li, H. (2012). Musical Training Induces Functional Plasticity in Perceptual and Motor Networks: Insights from Resting-State fMRI. *PLoS ONE*, 7(5), e36568.
- Luo, C., Tu, S., Peng, Y., Gao, S., Li, J., Dong, L., ... Yao, D. (2014). *Long-Term Effects of Musical Training and Functional Plasticity in Salience System*.
- Mado Proverbio, A., Calbi, M., Manfredi, M., & Zani, A. (2014). Audio-visuomotor processing in the Musician's brain: An ERP study on professional violinists and clarinetists. *Scientific Reports*, 4.
- Mankel, K., & Bidelman, G. M. (2018). Inherent auditory skills rather than formal music training shape the neural encoding of speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(51), 13129–13134.
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: More evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19(3), 712–723.
- Moreno, S., Wodniecka, Z., Tays, W., Alain, C., & Bialystok, E. (2014). Inhibitory control in bilinguals and musicians: Event related potential (ERP) evidence for experience-specific effects. *PLoS ONE*, 9(4).
- Noesselt, T., Shah, N. J., & Jäncke, L. (2003). Top-down and bottom-up modulation of language related areas - An fMRI study. *BMC Neuroscience*, 4.
- Pallesen, K. J., Bailey, C. J., Brattico, E., Gjedde, A., Palva, J. M., & Palva, S. (2015). Experience drives synchronization: The phase and amplitude dynamics of neural oscillations to musical chords are differentially modulated by musical expertise. *PLoS ONE*, 10(8).
- Paraskevopoulos, E., Chalas, N., & Bamidis, P. (2017). Functional connectivity of the cortical network supporting statistical learning in musicians and non-musicians: An MEG study. *Scientific Reports*, 7(1).
- Paraskevopoulos, E., Kraneburg, A., Cornelia Herholz, S., Bamidis, P. D., & Pantev, C. (2015). *Musical expertise is related to altered functional connectivity during audiovisual integration*. 112(40), 12522–12527.
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., & Kraus, N. (2011). Context-dependent encoding in the auditory brainstem subserves enhanced speech-in-noise perception in musicians. *Neuropsychologia*, 49(12), 3338–3345.
- Parbery-Clark, Alexandra, Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2012). Musical experience

- strengthens the neural representation of sounds important for communication in middle-aged adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 4(OCT).
- Saari, P., Burunat, I., Brattico, E., & Toiviainen, P. (2018). Decoding Musical Training from Dynamic Processing of Musical Features in the Brain. *Scientific Reports*, 8(1), 708.
- Schlaug, G., Forgeard, M., Zhu, L., Norton, A., Norton, A., & Winner, E. (2009). Training-induced neuroplasticity in young children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 205–208.
- Seppänen, M., Pesonen, A.-K., & Tervaniemi, M. (2012). Music training enhances the rapid plasticity of P3a/P3b event-related brain potentials for unattended and attended target sounds. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(3), 600–612.
- Serrallach, B., Groß, C., Bernhofs, V., Engelmann, D., Benner, J., Gündert, N., ... Seither-Preisler, A. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, 10(JUL).
- Shahin, A., Bosnyak, D. J., Trainor, L. J., & Roberts, L. E. (2003). Enhancement of neuroplastic P2 and N1c auditory evoked potentials in musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(13), 5545–5552.
- Tanaka, S., & Kirino, E. (2016). Functional connectivity of the dorsal striatum in female musicians. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(APR2016), 1–9.
- Tanaka, S., & Kirino, E. (2017). Reorganization of the thalamocortical network in musicians. *Brain Research*, 1664, 48–54.
- Tervaniemi, M., Huotilainen, M., & Brattico, E. (2014). Melodic multi-feature paradigm reveals auditory profiles in music-sound encoding. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- Tervaniemi, M., Just, V., Koelsch, S., Widmann, A., & Schröger, E. (2005). Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: An event-related potential and behavioral study. *Experimental Brain Research*, 161(1), 1–10.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2012). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Haettu 22.4.2021 osoitteesta [https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK\\_ohje\\_2012.pdf](https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf)
- Ungan, P., Berki, T., Erbil, N., Yagcioglu, S., Yüksel, M., & Utkucal, R. (2013). Event-related potentials to changes of rhythmic unit: Differences between musicians and nonmusicians. *Neurological Sciences*, 34(1), 25–39.
- Vaquero, L., Hartmann, K., Ripollés, P., Rojo, N., Sierpowska, J., François, C., ... Altenmüller, E. (2016). Structural neuroplasticity in expert pianists depends on the age of musical training onset. *NeuroImage*, 126, 106–119.
- Wan, C. Y., & Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *Neuroscientist*, 16(5), 566–577.

- Zamorano, A. M., Cifre, I., Montoya, P., Riquelme, I., & Kleber, B. (2017). Insula-based networks in professional musicians: Evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Human Brain Mapping, 38*(10), 4834–4849.
- Zhang, L., Peng, W., Chen, J., & Hu, L. (2015). Electrophysiological evidences demonstrating differences in brain functions between nonmusicians and musicians. *Scientific Reports, 5*.
- Zuk, J., & Gaab, N. (2018). Evaluating predisposition and training in shaping the musician's brain: the need for a developmental perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1423*(1), 40–50.