

Miten itse tuotetun puheen havaitsemista ja sen
metakognitiota voidaan mitata? –
signaalidetektio teoria puheen havaitsemisen
tutkimisen välineenä

Emilia Soini

Pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Henry Railo

Turun yliopisto

Psykologian ja logopedian laitos

Logopedia

30.6.2023

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on esitellä ja testata, miten signaalidetektioiteoriaa voidaan hyödyntää mittaamaan itse tuotetun puheen havaitsemista ja sen metakognitiota. Signaalidetektioiteoriassa havaitsemista tarkastellaan tilastollisena päätöksentekona, ja sitä soveltamalla pystytään tutkimaan puheentuoton havaintoprosesseja erillään vastausvinoumista. Puheen havaitsemisen metakognitiolla viitataan tässä tutkimuksessa henkilön kykyyn tunnistaa oikein puheensa kuulopalautteessa havaitsemiaan virheitä. Päätutkimuskysymyksenä oli, miten puheentuottoa ja omassa kuulopalautteessa tapahtuvien virheiden havaitsemista voidaan kokeellisesti tutkia hyödyntämällä signaalidetektioiteoriaa ja oman puheen kuulopalautteeseen tehtyjä keinotekoisia äänenkorkeuden muutoksia eli perturbaatioita. Lisäksi tarkasteltiin, korreloivatko henkilön kyvyt havaita itse tuotettua puhetta ja arvioida sitä positiivisesti musiikin harrastuneisuuden kanssa. Tutkimusaineisto koostui 21 korkeakouluopiskelijasta, ja tutkimukseen sisältyi kaksi erillistä mittauskertaa.

Tutkittavien tehtävänä oli kokeen aikana ääntää toistuvasti pitkää /u/-äännettä mikrofoniiin. He kuulivat oman äänensä samanaikaisesti kuulokkeista, ja jokaisen äännön aikana tutkittavan kuulopalautteen äänenkorkeutta keinotekoisesti muokattiin. Äänenkorkeudessa tapahtuvien muutosten suuruus määriteltiin ennen testaamista portaikkoasetelmaa hyödyntäen erikseen sekä ylös että alaspäin suunnatuille muutoksille. Äännön jälkeen koehenkilö vastasi ensin havaitsemista käsittelevään kysymykseen ja sen jälkeen arvioi, miten varma oli vastauksestaan. Tämän lisäksi tutkittavat täyttivät ennen kokeen alkua musiikin harrastuneisuutta kartoittavan kyselyn.

Koeasetelma ei toiminut täysin odotusten mukaisesti. Tavoitteena oli säätää perturbaation havaittavuus kaikille tutkittaville samantasoiseksi, mutta vastaustarkkuudessa havaittiin suurta vaihtelua tutkittavien välillä. Tutkittavat eivät myöskään osanneet ryhmätasolla arvioida vastaustensa varmuutta. Koeasetelman test-retest-reliabiliteetti oli kuitenkin puheen kuulopalautteeseen aiheutettujen virheiden erottelukyvyn ja metakognitiivista kyvykkyyttä mittaavan M_{ratio} :n osalta kohtalaisen hyvä. Tutkittavat, joilla oli kokemusta musiikin harrastamisesta, tunnistivat pienempiä muutoksia puheensa kuulopalautteessa.

Tämä on ensimmäinen yritys tutkia itse tuotetun puheen havaitsemista, ja vaikka koeasetelma ei kaikilta osin toiminut odotusten mukaisesti, tutkimustulokset ovat rohkaisevia. Muokkaamalla koeasetelmaa tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan kehittää entistä toimivampi mittari itse tuotetun puheen havaitsemisen ja sen metakognitiivisen arvioinnin tutkimiseen. Ilmiön tutkiminen on ensiarvoisen tärkeää logopedian alalle, sillä tutkimustiedon avulla voidaan lisätä ymmärrystä oman puheen ei-patologisten havaintoprosessien toiminnasta ja kehittää uusia arviointi- ja kuntoutusmenetelmiä asiakasryhmille, joilla puheen kuulopalautteen käsittely ja oman puheen säätely on poikkeavaa.

Asiasanat: itse tuotettu puhe, puheen havaitseminen, metakognitio, signaalidetektioiteoria, perturbaatio, kuulopalaute

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	1
1.1 Puheentuotto.....	2
1.1.1 Puheentuoton palautejärjestelmien toiminta.....	4
1.2 Itse tuotetun puheen havaitseminen	5
1.3 Musiikkiharrastuksen vaikutus itse tuotetun äänen havaitsemiseen	6
1.4 Signaalidetektio teoria.....	7
1.4.1 Tyypin 1 signaalidetektio teoria	7
1.4.2 Tyypin 2 signaalidetektio teoria	10
1.5 Metakognition mittaaminen signaalidetektio teoriaa soveltamalla	11
1.6 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset.....	12
2 MENETELMÄT	13
2.1 Osallistujat.....	13
2.2 Laitteisto.....	13
2.3 Kokeen kulku	14
2.4 Tutkimuksen eettisyys.....	16
2.5 Analyysit	17
3 TULOKSET	18
3.1 Test-retest-reliabiliteetti	20
3.2 Vastausvarmuus suhteessa vastaustarkkuuteen.....	21
3.3 Musiikin harrastuneisuuden vaikutus	22
4 POHDINTA	24
4.1 Test-retest-reliabiliteetti	24
4.2 Musiikin harrastuneisuuden vaikutus suoriutumiseen	26
4.4 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset	27
4.4.1 Otoksen ominaisuudet	28
4.4.2 Koeasetelma.....	29
4.4.3 Metakognition mittaaminen.....	30
4.5 Jatkotutkimusehdotuksia	31
4.6 Lopuksi.....	33
LÄHTEET.....	34

1 JOHDANTO

Puheentuoton motorisen kontrollin toiminta on kiinnostanut tutkijoita jo vuosikymmenten ajan, mutta ihmisen kykyä havaita omaa puhettaan ja korjata siinä esiintyviä virheitä on tutkittu vain vähän. Myös tietoisesta havaitsemisesta merkitys osana puheentuottoa on edelleen epäselvä. Puheentuoton motorisen kontrollin oletetaan ainakin osittain olevan automaattinen ja tietoisesta havainnon ulkopuolella toimiva prosessi, sillä puheessa virheellisesti tuotettua äännettä korjataan usein tietoisuuden ulkopuolella (Hafke ym., 2008; Keough ym., 2013). On kuitenkin tilanteita – esimerkiksi uutta äännettä opitellessa tai melodiaa laulaessa – joissa oman ääntämisen ja äänentuoton tietoisesta havainnoinnin ja muuttamisen havaintojen perusteella voidaan olettaa olevan välttämätöntä (Schmidt, 1990). Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on tarkastella, miten henkilön itse tuotetun puheen havaitsemis- ja metakognitiokykyä voidaan tutkia hyödyntämällä signaalidetektio teoriaa.

Tourvillen ja Guentherin (2011) puheentuottoa havainnollistavan DIVA-mallin mukaan puheviestin säätelystä vastaavat palaute- ja syötekytkentäjärjestelmät, joiden toimintaa on tutkittu muokkaamalla puheen kuulopalautteen eri ominaisuuksia. Näissä tutkimuksissa tutkijoiden mielenkiinnon kohteena ovat olleet kuulopalautteeseen aiheutettujen muutosten, perturbaatioiden, aikaansaamat korjaavat puhevasteet, joilla tutkittavat pyrkivät korjaamaan puheessaan havaitsemia virheitä. Puheen ja siinä esiintyvien virheiden havaitsemiseen liittyy yksilöllisiä eroja (Franken ym., 2017), joiden vaikutusta puheen motoriseen kontrolliin on tutkittu niin ikään perturbaatiotutkimusten avulla (Alemi ym., 2020; Martin ym., 2018). Tähän mennessä ilmestyneissä perturbaatiotutkimuksissa ei kuitenkaan ole tarkasteltu, miten henkilön havainto omasta puheestaan vaikuttaa korjaavan puhevasteen rakentumiseen kuulopalautteessa havaitun virheen perusteella.

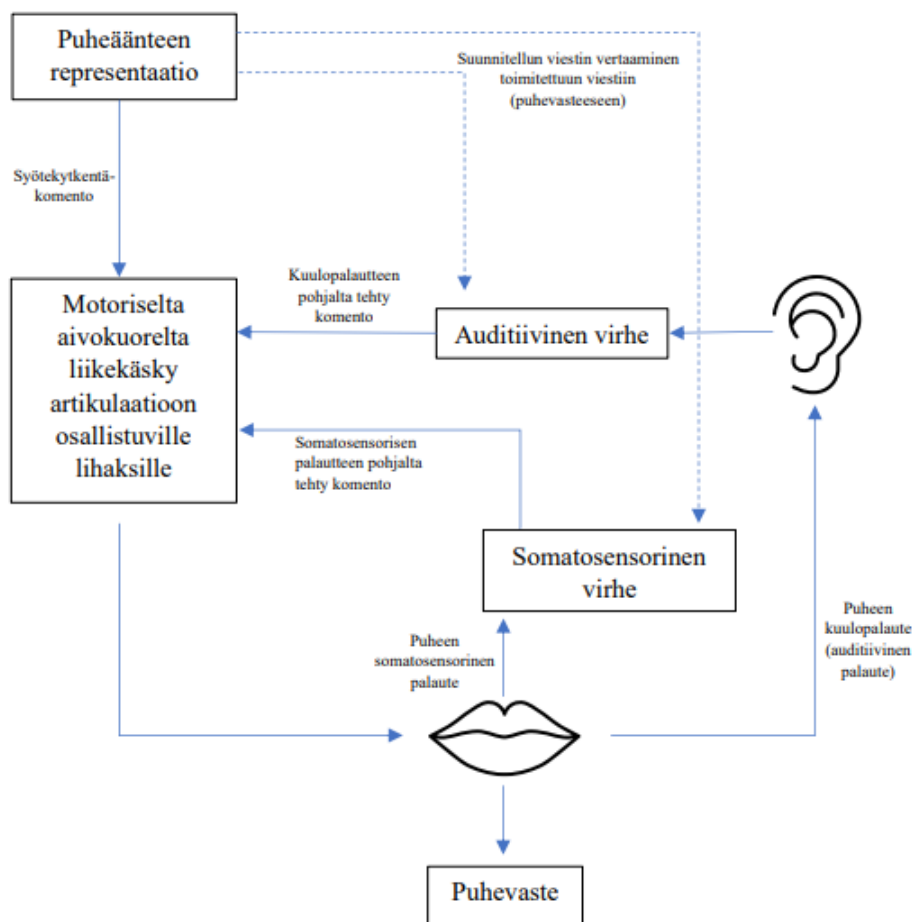
Havaitsemisen tutkimiseen voidaan hyödyntää signaalidetektio teoriaa (Green & Swets, 1966; Macmillan & Creelman, 2004), jossa havaitsemista tarkastellaan tilastollisena päätöksentekona. Signaalidetektio teorian avulla on jo pitkään tutkittu ulkoisten ärsykkeiden havaitsemista, mutta sitä ei ole aiemmin hyödynnetty itse tuotetun puheen havaitsemisen tutkimiseen ääntämisen aikana. Metakognitiivinen kyvykkyys määrittää yksilön taidoksi arvioida omaa kognitiivista suoriutumistaan (Fleming & Lau, 2014). Vaikka metakognition tarkastelu ilmiönä on lisääntynyt viime vuosina, itse tuotetun puheen metakognitiota ei ole tutkittu. Tämän tutkimuksen tavoitteena on esitellä, miten itse tuotetun puheen havaitsemisen ja korjaamisen taustamekanismeja voidaan tutkia signaalidetektio teorian avulla.

Tutkimustieto aiheesta on erityisen merkityksellistä logopedian alalle, sillä monen puhehäiriön, esimerkiksi änkytyksen (Iimura ym., 2019) ja Parkinsonin taudissa esiintyvän hypofonian (Ho ym.,

2000; Kwan & Whitehill, 2011), taustalla on arveltu olevan juuri poikkeava puheen kuulopalautteen käsittely ja oman puheen säätely. Syitä poikkeavan prosessoinnin taustalla on perusteltua tarkastella paitsi tuoreen tutkimustiedon, myös uusien hoito- ja kompensatiokeinojen kehittämiseksi ja jo olemassa olevien kuntoutustapojen vaikuttavuuden perustelemiseksi.

1.1 Puheentuotto

Puheen tuottaminen on monimutkainen prosessi (Levelt, 1992), jota ihminen säätää sekä automaattisesti että tahdonalaisesti (Postma, 2000). Sen toimintamekanismeja on jo vuosikymmenten ajan pyritty kuvaamaan ja selittämään erilaisten mallien avulla. Kuva 1 esittää yksinkertaistetun version puheen motorista kontrollia kuvaavasta DIVA-mallista (*Directions Into Velocities of Articulators*) (Tourville & Guenther, 2011). Malli perustuu palautejärjestelmien toimintaan ja sensomotoriseen integraatioon osana puheentuottoa. Se kuvaa puheentuoton hermostollista perustaa motorisen, somatosensorisen ja kuuloaivokuoren yhteistoiminnan osalta. DIVA-mallin mukaan puheentuotto muodostuu syötekytkentä- (*feedforward*) ja palautejärjestelmistä, joiden avulla omaa puhetta monitoroidaan ja säädellään. Puheentuoton komentoketjuja eli suunniteltuja viestejä säädellään kahden eri palautejärjestelmän avulla; somatosensorinen vastaa puhekomentojen onnistuneesta toteutumisesta ja auditiivinen havaitsee poikkeamat jo tuotetuissa puhevasteissa. Jos suunniteltu ja toimitettu viesti ovat keskenään ristiriitaisia, pyritään puhevastetta näiden palautejärjestelmien pohjalta korjaamaan niin, että se vastaa mahdollisimman hyvin alun perin suunniteltua viestiä.



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaaviokuva Tourvillen ja Guentherin (2011) puheentuoton motorista kontrollia kuvaavasta DIVA-mallista. Se esittää viestien suunnittelusta ja korjaamisesta vastaavien syötekytkentä- ja palautejärjestelmien yhteistoimintaa sekä havainnollistaa, miten palautejärjestelmien kautta saatavaa tietoa käsitellään, päivitetään ja uudelleenohjataan tarvittaessa korjaaviksi puhevasteiksi. Katkoviivat kaaviossa kuvaavat suunnitellun viestin vertaamista puhevasteeseen tilanteissa, joissa siinä havaitaan virhe.

Kuulopalautejärjestelmän merkitystä oman puheen säätelyssä tutkitaan perturbaatiotutkimusten avulla. Perturbaatiotutkimuksissa koehenkilön tuottaman puheen kuulopalauteen ominaisuuksia, kuten äänenvoimakkuutta tai formanttitaajuutta, kokeellisesti muokataan vokalisaation eli ääntämisen aikana, minkä jälkeen tarkastellaan aiheutettujen muutosten vaikutuksia ääntämiseen. Tarkoituksena on selvittää, miten henkilö reagoi suunnitellun viestin ja puhunnon ollessa kuulopalauteen perusteella yhteensopimattomat.

1.1.1 Puheentuoton palautejärjestelmien toiminta

Toistaiseksi perturbaatiotutkimukset ovat keskittyneet tutkimaan yksinomaan puheentuoton säätelyä ja sen palautejärjestelmien toimintaa. Olisi kuitenkin tärkeää ymmärtää, mikä ihmisen oman puhehavainnon merkitys on palautejärjestelmien toiminnassa niissä tilanteissa, joissa palautejärjestelmät havaitsevat puhevasteessa korjaamista vaativan virheen. Tietoisuuden merkityksestä puheentuotossa on esitetty erilaisia hypoteeseja, mutta aihetta ei ole toistaiseksi juurikaan tutkittu.

On vielä epäselvää, onko tietoinen puhehavainto osa palautejärjestelmää, ja vaikuttaako se sensomotorisen palautteen pohjalta tehtyihin korjaaviin puhevasteisiin. Puheen palautejärjestelmien arvellaan toimivan pääosin tietoisuuden ulkopuolella (Franken ym., 2018; Hafke ym., 2008; Keough ym., 2013), mutta viimeaikaiset tutkimustulokset viittaavat myös tietoisin havainnon vaikuttavan oman puheen ja ääntämisen säätelyyn (Scheerer & Jones, 2018). Palautejärjestelmien ohjaaman virheiden korjaamisen ajatellaan puheentuoton aikana olevan niin automatisoitunutta, ettei henkilön oma havainto puheessa tapahtuneista virheistä merkittävästi vaikuttaisi palautejärjestelmien toimintaan. Käsitystä palautejärjestelmän automaattisuudesta tukee sen nopea kyky korjata ääntämistä ilman tietoista päätöksentekoa (Burnett ym., 1998; Chen ym., 2007; Guenther & Vladusich, 2012; Korzyukov ym., 2012). Tutkimuksissa on havaittu korjaavien puhevasteiden tapahtuvan hyvin nopeasti, n. 75–150ms viiveellä perturbaatiosta.

Toisaalta ihminen kykenee tavallisesti tietoisesti arvioimaan omaa puhetapaansa, joten voidaan olettaa myös tietoisuuden vaikuttavan jollakin tavoin kykyyn säädellä omaa puhetta. Oman puheen laadun ja sisällön arvioinnin merkitys osana puheentuottoa tai ääntämistä on kuitenkin vielä epäselvä, sillä aihetta ei ole tutkittu. Ihmisten välillä on havaittu olevan eroja siinä, miten hyvin he pystyvät havaitsemaan virheitä omassa puheessaan (Franken ym., 2017). Mikäli oman puheen tietoisin havainnoinnin havaitaan olevan osa puheentuoton kontrollia, näiden erojen pitäisi näkyä muun muassa ihmisten tavassa korjata ääntämistään. Perturbaatiotutkimusten yhteydessä ei ole aiemmin tarkasteltu, ennustavatko eroavaisuudet henkilöiden kyvyssä havaita omaa ääntään sitä, miten he muuttavat ääntämistään perturbaatioiden seurauksena. On myös hyvä huomioida, ettei perturbaatiotutkimusten tulosten perusteella voida vetää suoraa johtopäätöksiä puheen palautejärjestelmien toiminnasta, sillä niiden tulokset antavat viitteitä puhevasteiden porrastuneisuudesta; perturbaatioiden jälkeiset, korjaavat puhevasteet vaikuttaisivat jakautuvan selkeästi kahteen komponenttiin, aikaiseen ja myöhäiseen (Burnett ym., 1998; Hain ym., 2000). Aikainen komponentti saattaa vastata niin kutsutusta automaattisesta vasteesta ja myöhäinen vaste

olla seurausta tietoisesta havaitsemisen ja päätöksenteosta. Aiempi tutkimustieto on kuitenkin toistaiseksi liian vähäistä johtopäätösten tekemiseen.

1.2 Itse tuotetun puheen havaitseminen

Tämän tutkimuksen mielenkiinnon kohteena on henkilön oman eli itse tuotetun puheen havaitseminen. Siinä, missä ulkoisten ääniärsykkeiden havaitsemista, esimerkiksi äänten erottelun yhteyttä kielellisiin häiriöihin (mm. Hämäläinen ym., 2013; Richards & Goswami, 2015) tai melun vaikutusta puheäänteiden havaitsemiseen (mm. Cooke, 2005), on tutkittu paljon, itse tuotetun puheen havaitsemista ääntämisen aikana ei ole tutkittu juuri lainkaan, ja tutkimustulokset aiheesta ovat ristiriitaisia (Alemi ym., 2020; Martin ym., 2018). Tämä on huomattava puute logopedian alan tutkimustiedossa, sillä puhehäiriöiden taustamekanismien ja -syiden ymmärtäminen todennäköisesti loisi pohjaa uusille, alan kannalta merkittävälle tutkimuskysymyksille ja edesauttaisi arviointikeinojen ja kuntoutusmuotojen kehittämistä. Itse tuotetun puheen havaitsemisen tutkiminen ei ole tärkeää pelkästään erilaisten häiriöryhmien arviointi- ja kuntoutuskeinojen kehittämiseksi vaan logopedialla tieteenalana olisi ensiarvoisen merkityksellistä olla ymmärrystä myös siitä, miten omaan puheeseen liittyvät ei-patologiset havaintoprosessit toimivat, sillä ne muodostavat perustan monelle kliinisessä työssä esiintyvälle, kuntoutettavalle ilmiölle ja voivat auttaa puheterapeuttia ymmärtämään asiakkaansa tilannetta aiempaa paremmin.

Esimerkiksi Parkinsonin taudille ominaisten motoristen puheoireiden lisäksi monilla sairastuneilla esiintyy puheäänien hiljenemistä eli hypofoniaa. Sen ajatellaan olevan seurausta poikkeavasta kyvystä prosessoida kuulopalautetta tai yhdistää audio-motoristen aistijärjestelmien tietoa (Brajot ym., 2016; Ho ym., 1999). On tavanomaista, etteivät Parkinsonin tautia sairastavat henkilöt täysin tunnista oman puheäänensä hiljaisuutta (Fox & Ramig, 1997; Kwan & Whitehill, 2011), vaan saattavat kokea oman puheäänensä tavallista voimakkaammaksi, vaikka se todellisuudessa olisi heikentynyt. Yleinen tulkinta on, että ilmiötä selittäisi Parkinsonin taudin oirekuvalle tyypillinen poikkeava kuulopalautteen prosessointi. Tällöin suunniteltu ja tuotettu viesti ovat ristiriidassa keskenään, mutta ääntä tuottava henkilö ei itse havaitse ristiriitaa. Oman puheäänien havaitsemiseen oletetaan siis Parkinsonin tautia sairastavilla liittyvän havaintovinoumaa, joka saattaisi selittää hypofoniaa ja muita sairauden myötä esiintyviä puheoireita. Tutkimustulokset ovat osoittaneet Parkinson-potilaiden kuitenkin pystyvän havaitsemaan oikein oman puheäänensä voimakkuuden, mikäli he kuulevat sen jälkikäteen nauhoitteelta, mikä tukee väitettä puheen palautejärjestelmien toiminnan häiriintymisestä juuri itse tuotetun puheen aikana (Brajot ym., 2016; Fox ym., 2002). Parkinsonin taudin puheoireisiin

paljon käytetty puheterapiamuoto SPEAK OUT![®] pyrkii oman puhettavan tiedostamista parantamalla poistamaan esiintyvää havaintovinoumaa ja näin ollen korjaamaan muun muassa hypofoniaa (ks. Behrman ym., 2020). Koska itse tuotetun äänen havaitsemista Parkinsonin taudissa ei kuitenkaan toistaiseksi ole tutkittu, olisi tarpeen kehittää menetelmä, jolla itse tuotetun äänen havaitsemista voidaan mitata.

1.3 Musiikkiharrastuksen vaikutus itse tuotetun äänen havaitsemiseen

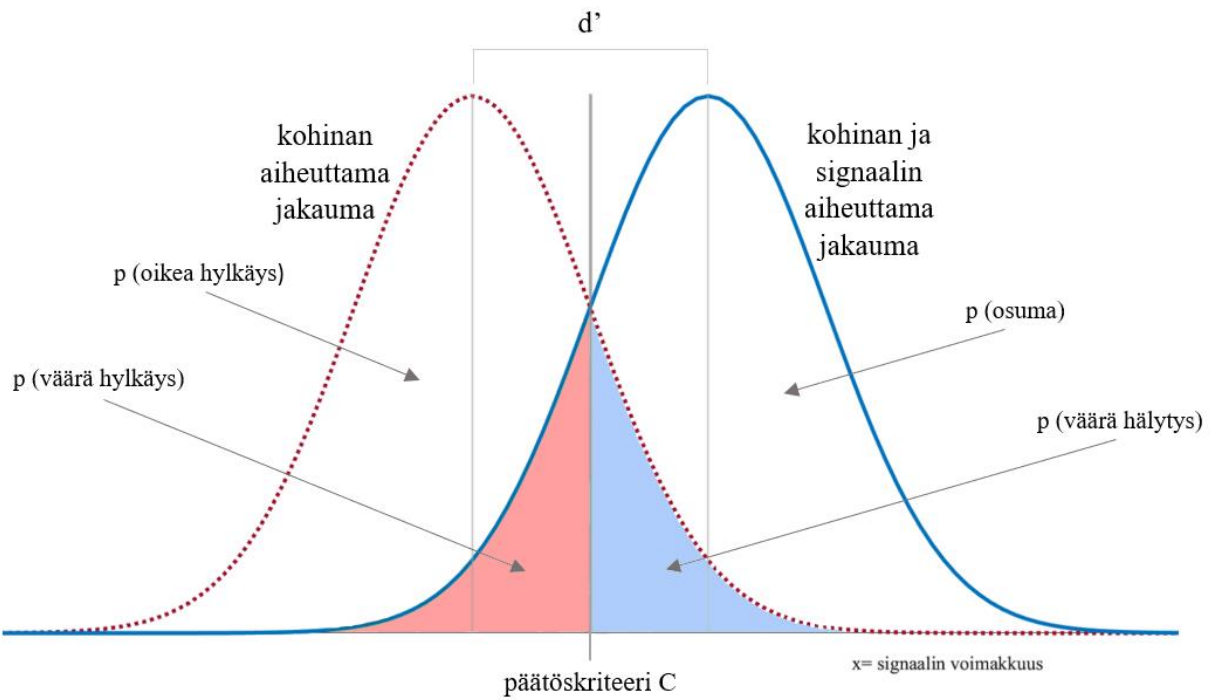
Tämän tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena on kehittää koeasetelmaa itse tuotetun puheen ja sen metakognition tutkimiseen ja tarkastella sen toimivuutta. Sen lisäksi haluttiin myös alustavasti selvittää, minkälaiset tekijät saattaisivat selittää yksilöllisiä eroja kuulopalautteen havaitsemisessa. Tämän vuoksi yhdeksi tutkimuskysymykseksi muodostui, parantaako musiikin harrastuneisuus henkilön havaintokykyä. Vaikka puhuminen ja laulaminen ovat toimintoina hyvin samankaltaisia, laulamiseen vaaditaan usein tarkempaa äänenkorkeuden havaitsemista ja puhe-elimistön motorista säätelyä (Zatorre & Baum, 2012). Musiikin harrastamisen on havaittu parantavan auditiivista havaintokykyä (Kishon-Rabin ym., 2001; Spiegel & Watson, 1984), ja aiemmissa perturbaatiotutkimuksissa on muun muassa havaittu musiikkia harrastaneiden ihmisten kuulopalautejärjestelmän toimivan tavanomaista nopeammin (Korzyukov ym., 2012), ja heidän äänensä motorisen kontrollin olevan tarkempi (Zarate ym., 2010; Zarate & Zatorre, 2008). Musiikin havaintokykyä parantava vaikutus pohjaa vahvasti kokemuksen kautta oppimiselle (Kishon-Rabin ym., 2001; Kraus & Chandrasekaran, 2010; Musacchia ym., 2007), ja tutkimuksen hypoteesi on, että musiikin intervallien erottelukyky olisi parempi niillä tutkittavilla, jotka ovat jo harjoitelleet musiikkiharrastuksensa myötä kokeessa mitattua asiaa. Esimerkiksi viulun soitto perustuu tarkkaan sävelkorvaan, sillä soittajan on kuulonvaraisesti osattava paikantaa oikeat sävelet oikeilla paikoilla kaikupohjassa ja otelaudalla. Aiemmat perturbaatiotutkimukset eivät ole tarkastelleet itse tuotetun puheen havaitsemista, vaan ne ovat tutkineet pääasiassa äänen motorista kontrollia. Tutkimusten perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että pitkäkestoinen musiikin harjoittelu muovaisi tapaa, jolla ihminen prosessoi sekä somatosensorista että kuulopalautea (Banai ym., 2012; Bidelman ym., 2011). Tämän vuoksi myös tässä tutkimuksessa oletetaan, että erot havaintokyvyssä saattaisivat selittää eroja puheen ja äänen motorisessa kontrollissa.

1.4 Signaalidetektio teoria

Käyttäytymistieteissä havaintokykyä tutkitaan usein tarkastelemalla, miten hyvin henkilö suoriutuu havaintotehtävässä. Tehtävästä suoriutumiseen vaikuttavat kuitenkin yksilön havaintokyvyn lisäksi muun muassa vastausvinoumat. Signaalidetektio teoria (Green & Swets, 1966; Macmillan & Creelman, 2004) mahdollistaa havaintoprosessien tarkastelun, sillä sen avulla voidaan erotella, miten tietyn henkilön tehtävästä suoriutumiseen vaikuttaa hänen havaitsemisherkkyytensä (*sensitivity*), kun vastausvinoumat (*response bias*) on otettu huomioon. Logopedian alan tutkimuksissa signaalidetektio teoriaa kuitenkin harvemmin sovelletaan. Tämän tutkielman päätavoitteena on tarkastella, miten signaalidetektio teoriaa soveltamalla pystytään tutkimaan yksittäisen henkilön kykyä havaita virheitä omassa kuulopalautteessaan.

1.4.1 Tyypin 1 signaalidetektio teoria

Kun halutaan tutkia puheentuoton havaitsemisprosesseja signaalidetektio teoriaa hyödyntäen, tarkastellaan ensin tyypin 1 havaitsemista eli sitä, miten hyvin tutkittava pystyy erottamaan virheet omassa kuulopalautteessaan. Signaalidetektio teorian keskiössä on kohinan eli ulkomaailmassa tai hermostossa esiintyvän hälyn havainnointikykyä heikentävä vaikutus. Signaalidetektio teorian perusperiaate on, että havaitsemiseen liittyy ärsykeinformaation lisäksi aina myös kohinaa. Tyypin 1 havaitsemisella tarkoitetaan havainnoitsijan kykyä määritellä oikein tilanteet, joissa signaali esiintyi (ts. kuulopalautteessa oli virhe) ja tilanteet, joissa signaalia ei esiintynyt (ts. kuulopalautetta ei muokattu). Kun havaintotapahtumaa tarkastellaan signaalidetektio teorian valossa, voidaan havaintomateriaalista muodostaa kaksi jakaumaa, jotka on esitetty Kuvassa 2. Toinen koostuu kohinasta ja toiseen jakaumaan sisältyy kohinan lisäksi myös signaali (eli kuulopalautteessa ollut virhe). Signaalidetektio teoria tutkii havaintoprosesseja tilastollisena päätöksentekona (Salmela ym., 2006), ja jakaumat kuvaavat tutkittavan todennäköisyyttä antaa tiettyjä vastauksia.



Kuva 2. Tyypin 1 signaalidetektioiteorian vastausten todennäköisyysjakaumat.

Tyypin 1 tehtävissä on neljä mahdollista vastausvaihtoehtoa, jotka on esitetty Taulukossa 1 ja Kuvassa 2. Tilanteissa, joissa signaali esiintyy, tutkittavan vastaus voi olla joko osuma, mikäli tämä vastaa havainneensa signaalin tai vastaavasti väärä hylkäys, jos tutkittava ei ilmoita havainneensa signaalia tilanteessa, jossa se todellisuudessa on esiintynyt. Ei signaalia -tilanteissa vastausvaihtoehdot ovat oikea hylkäys silloin, kun tutkittava ilmoittaa, ettei ole havainnut signaalia ja väärä hälytys silloin, kun tutkittava ilmoittaa havainneensa signaalin, vaikka todellisuudessa on esiintynyt vain kohinaa.

Taulukko 1. Vastausten luokittelu tyypin 1 signaalidetektioiteorian mukaan

Tyypin 1 vastaus	Signaali	Ei signaalia
Havaittu signaali	Tyypin 1 osuma	Tyypin 1 väärä hälytys (false alarm)
Ei havaittua signaalia	Tyypin 1 väärä hylkäys	Tyypin 1 oikea hylkäys

Henkilön vastaukseen tehtävässä vaikuttaa aina tutkittavan määrittelemä subjektiivinen kriteeri (C). Kriteeri ilmaisee, millä perusteella tutkittava luokittelee havaintoarvoja signaaleiksi ja kohinaksi; kaikki tutkittavan määrittelemän kriteeriarvon ylittävät havaintoarvot luokitellaan signaaleiksi ja

kaikki sen alle jäävät kohinaksi. Kriteeri määrittelee sekä osumien (ks. Taulukko 1) ja väärin hälytysten että oikeiden ja väärin hylkäysten välisen suhteen. Sen määritelmä on aina subjektiivinen, ja se tulisi huomioida vastauksia tarkastellessa. Tilanteesta ja henkilöstä riippuen kriteeri voi olla konservatiivinen tai liberaali. Konservatiivisen kriteerin asettanut henkilö tarvitsee vahvaa näyttöä signaalista vastatakseen havainneensa sen, kun taas liberaalin kriteerin asettanut henkilö tekee havaintopäätöksiä heikommalla määrällä havaittua signaalia. Nämä vastausvinoumat ovat riippumattomia henkilön kyvystä havaita signaali. Kun tarkastellaan signaalidetektioiteorian avulla havaitsemista perturbaatiotutkimuksissa, puheen kuulopalautteeseen tehtyä perturbaatiota voidaan pitää signaalina. Kokeen aikana tutkittavan on määriteltävä itselleen kriteeri, jonka perusteella hän tekee päätöksen siitä, havaitseeko kuulopalautteessaan perturbaation vai ei. Jos tutkittavan määrittelemä kriteeri ylittyy, hän vastaa havainneensa perturbaation, ja mikäli signaalin vahvuus ei ylitä kriteeriarvoa, hän vastaa, ettei havainnut muutosta puheensa kuulopalautteessa.

Tyypin 1 vastausten jakaumat ovat aina osittain päällekkäisiä. Kohinasta koostuva todennäköisyysjakauma kuvaa, millä todennäköisyydellä tutkittava antaa asettamallaan kriteerillä oikean vastauksen ("ei signaalia") tilanteissa, joissa signaalia ei esiinny. Signaalista ja kohinasta koostuva jakauma kuvaa tutkittavan vastaustodennäköisyyttä tilanteisiin, joissa signaali on ollut havaittavissa, ja tutkittava on vastannut havainneensa sen. Kuva 2 havainnollistaa jakaumien suhteutumista toisiinsa. Jakaumien avulla voidaan tarkemmin päätellä, kuinka helposti *havaittava* signaali on ollut koehenkilölle. Mitä kauempana jakaumat ovat toisistaan (suhteessa hajontaan), sitä selkeämpi ero signaalin ja kohinan välillä on koetilanteessa ollut. Signaalin havaittavuutta ilmaistaan erottavuusindeksillä d' . Se voidaan laskea seuraavanlaisesti:

$$d' = z(\text{osumien määrä}) - z(\text{väärin hälytysten määrä})$$

Vastausten todennäköisyysarvo muutetaan z -arvoksi. Mitä helpommin havaittava signaali on ollut, sitä suurempi on erottavuusindeksi. Erottavuusindeksin muodostaa signaalin sisäisen kohinan määrä (eli jakaumien hajonta) sekä signaalin intensiteetti (eli jakaumien etäisyys toisistaan). Se ilmaisee signaalin ja kohinan keskiarvojen erotuksen jaettuna yhteisellä hajonnalla. Positiiviset d' -arvot tarkoittavat, että signaalin ja kohinan välillä on havaittu ero. Mitä suurempi d' :n arvo on, sitä paremmin tutkittavan on erotellut signaalin ja kohinan toisistaan. Mikäli d' on negatiivinen, erottelukykyä signaalin ja kohinan välillä ei ole ja signaali on ollut vaikea erottaa kohinasta. Negatiivinen d' voi olla merkki myös siitä, että signaalin ja kohinan välillä on ollut käänteinen suhde. Tällöin signaali näyttäytyy tutkittavalle samanlaisena tai huonommin erottavana kuin kohina.

Erottavuusindeksi on objektiivinen tapa mitata signaalien havaittavuutta, sillä se ei ole riippuvainen henkilön subjektiivisista vastauskriteereistä.

1.4.2 Tyypin 2 signaalidetektio teoria

Signaalidetektio teorian alkuperäinen käyttötarkoitus oli puhdas havaintotapahtumien tarkastelu, mutta viime vuosina sitä on sovellettu myös metakognition tutkimiseen (Maniscalco & Lau, 2012, 2014). Metakognitiolla tarkoitetaan kansantajuisesti kykyä tietää, mitä tietää. Se on kyky arvioida ja kontrolloida omia kognitiivisia prosessejaan (Rouault ym., 2018), ja on toiminnanohjauksen kannalta välttämätöntä (Fernandez-Duque ym., 2000) Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kehittää koeasetelma, jonka avulla voidaan mitata henkilön kykyä metakognitiivisesti arvioida virhettä kuulopalautteessaan. Metakognitiivista suoriutumista voidaan mitata tyypin 2 tehtävillä. Signaalidetektio teorian soveltaminen mahdollistaa metakognition osuuden tutkimisen osana havaintoprosesseja. Sen suurimpia etuja suhteessa muihin tyypin 2 sensitiivisyyttä mittaaviin mittareihin (esim. ϕ = vastauksen tarkkuuden ja vastausvarmuuden välinen korrelaatio) on, että sitä hyödyntämällä pystytään huomioimaan vastausvirheet.

Metakognitiota mittaavissa, signaalidetektio teoriaa soveltavissa tutkimuksissa koe rakentuu klassisen koeasetelman päälle niin, että tyypin 1 tehtävän lisäksi tutkittava suorittaa myös tyypin 2 tehtävän, joka mittaa, kuinka hyvin henkilön oma kokemus virheiden havaitsemisesta vastaa todellisuutta. Metakognitiivisia kykyjä mittaavissa perturbaatiotutkimuksissa tyypin 1 kysymys käsittelee perturbaation havaitsemista ja tyypin 2 kysymys sitä, kuinka varma tutkittava on antamansa vastauksen oikeellisuudesta. Siinä, missä tyypin 1 vastaus edellyttää ainoastaan signaalien havaitsemista, tyypin 2 tehtävään vastaaminen edellyttää signaalien lisäksi myös tyypin 1 vastauksen hyödyntämistä. Kuten tyypin 1 tehtävässä, myös tyypin 2 tehtävässä mahdollisia vastausvaihtoehtoja on yksinkertaisimmillaan neljä riippuen siitä, kuinka oikein ja millaisella vastausvarmuudella tutkittava vastaa. Vastausvaihtoehdot on esitetty Taulukossa 2.

Taulukko 2. *Vastausten luokittelu tyypin 2 signaalidetektio teorian mukaan*

Tyypin 1 vastaus	Korkea vastausvarmuus	Matala vastausvarmuus
Oikea	Tyypin 2 osuma	Tyypin 2 väärä hylkäys
Virheellinen	Tyypin 2 väärä hälytys	Tyypin 2 oikea hylkäys

Myös tyypin 2 vastauksiin voi liittyä vastausharhoja. Metakognitiivinen vastausvinouma (*metacognitive bias*) osoittaa, kuinka konservatiivisia tai liberaaleja havainnoitsijan tyypin 2 vastaukset ovat suhteessa siihen, miten he suoriutuvat tehtävässä eli miten heidän subjektiivinen kokemuksensa tyypin 1 tehtävässä suoriutumisessa vaikuttaa heidän tyypin 2 tehtävässä antamiinsa vastauksiin. Tutkittavat saattavat käyttää vastausskaalaa eri tavalla, ja saada keskenään erilaisia tuloksia siitä huolimatta, että heidän metakognitiivinen kyvykkyytensä olisi yhtenevä. Tämän vuoksi tyypin 2 vastaukset voivat olla hyvin erilaisia tutkittavien välillä, vaikka sekä metakognitiivinen kyvykkyys että suoriutuminen tyypin 1 tehtävässä olisi ollut sama (Fleming & Lau, 2014). Juuri tästä syystä vastausvinoumien vaikutusten huomioiminen ja mahdollisuuksien mukaan eliminoiminen tutkimustuloksia tarkastellessa on tärkeää, jotta päästään tutkimaan puhtaammin metakognitiivista kyvykkyyttä ilman siihen mahdollisesti vaikuttaneita häiriömuuttujia.

1.5 Metakognition mittaaminen signaalidetektioiteoriaa soveltamalla

Maniscalcon ja Laun (2012) kehittämä mittari, meta-d', mahdollistaa signaalidetektioiteorian hyödyntämisen metakognitiivisten arvioiden ja vastausvinoumien estimoimiseen. Sen etuna muihin tyypin 2 sensitiivisyyttä havainnollistaviin mittareihin on, että meta-d':n avulla pystytään minimoimaan tyypin 1 sensitiivisyyden ja vastausvinoumien vaikutus tyypin 2 sensitiivisyyteen eli metakognitiiviseen herkkyyteen. Meta-d':n voidaan käsittää sisältävän tiedon siitä, kuinka paljon signaalia on ollut saatavilla tyypin 2 tehtävän suorittamiseen. Meta-d' ja d' ilmaistaan samalla skaalalla, joten arvot ovat keskenään vertailukelpoisia. Meta-d' lasketaan d'-arvojen ja osumien todennäköisyysarvojen perusteella. Koska ajatellaan, että tyypin 2 vastauksen pohjatietona hyödynnetään tyypin 1 vastausta, meta-d':n arvon ei pitäisi olla suurempi kuin erottavuusindeksin (d'). Positiiviset meta-d':n arvot viittaavat hyvään metakognitiiviseen suoriutumiseen. Mitä suurempi meta-d'-arvo, sitä paremmin tutkittava on kyennyt arvioimaan omaa suoriutumistaan tehtävässä. Mikäli meta-d':n arvo on negatiivinen, tutkittava ei ole kyennyt metakognitiivisesti arvioimaan suoriutumistaan tehtävässä. Jos meta-d' ja d' olisivat keskenään yhtä suuret, olisi kyseessä niin kutsuttu ”metakognitiivisesti ideaali havainnoitsija”, joka kykenee hyödyntämään kaikkea tyypin 1 tehtävän tietoa tehdessään tyypin 2 tehtävää.

Tyypin 1 sensitiivisyys (d') ja vastausvinoumat vaikuttavat tyypin 2 tehtävän vastauksiin. Tämä vuoksi kaksi metakognitiivisilta taidoiltaan identtistä henkilöä voivat saada eri tulokset tyypin 2 tehtävässä pelkästään sen perusteella, että heidän suoriutumisensa tyypin 1 tehtävässä on ollut erilaista (Fleming & Lau, 2014). Siksi on mielekäästä tarkastella metakognitiivista sensitiivisyyttä

sekä absoluuttisena että suhteellisena (*relative type 2 sensitivity*). Ne arvioivat metakognitiivisen suoriutumisen eri osa-alueita. Absoluuttinen tyypin 2 sensitiivisyys ilmaisee, kuinka hyvin havainnoitsija kykenee erottelemaan omat oikeat ja väärät vastauksensa toisistaan, ja suhteellinen tyypin 2 sensitiivisyys kuvaa metakognitiivista herkkyyttä tarkemmin erillään muista tekijöistä. Tutkimalla kuinka hyvin tyypin 2 käytös on suhteessa tyypin 1 käytökseen, saadaan tutkittua metakognitiivista herkkyyttä ilman siihen mahdollisesti vaikuttavia muita tekijöitä kuten tyypin 1 vastauksia. Suhteellisen tyypin 2 sensitiivisyyden laskemiseksi on kehitetty M_{ratio} , jonka kaava on seuraavanlainen:

$$M_{\text{ratio}} = \frac{\text{meta-}d'}{d'}$$

Käytännössä M_{ratio} kertoo, kuinka paljon tyypin 1 tehtävästä saadusta informaatiosta (d') henkilö pystyy hyödyntämään tehdessään tyypin 2 (eli meta- d') päätöstä. Tämän perusteella voidaan määritellä, että meta- d' :n arvon tulisi olla ≤ 1 .

1.6 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Hyödyntämällä perturbaatioparadigmaa osana tyypin 1 tehtävää voidaan mitata henkilöiden kykyä havaita virheitä puheensa kuulopalautteessa. Tyypin 2 tehtävän avulla saadaan tietoa itse tuotetun puheen metakognitiivisesta arvioinnista eli siitä, miten hyvin henkilön oma kokemus virheiden havaitsemisesta vastaa todellisuutta. Tämä pro gradu -tutkielma on osa Suomen Akatemian rahoittamaa ”Oman puheen metakognitiivinen arviointi Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä ihmisillä” -tutkimusprojektia. Tavoitteena on kehittää asetelma, jonka avulla voidaan mitata kuulopalautteessa esiintyvien virheiden havaitsemista. Tutkimuksen tarkoituksena on koeasetelman pilotoinnin lisäksi arvioida, miten sitä voitaisiin tulevissa tutkimuksissa kehittää. Koska tarkoituksena on myös arvioida mittaustulosten reliabiliteettia, tutkimuksen aineistonkeruu toteutettiin kullakin koehenkilöllä kahdella eri mittauskerralla.

Tutkimuskysymyksiksi muodostuivat:

- 1) Miten puheentuottoa ja oman kuulopalautteen tyypin 1 ja 2 havaitsemista voidaan kokeellisesti tutkia hyödyntämällä perturbaatioparadigmaa ja signaalidetektioiteoriaa?

- 2) Korreloiko musiikin harrastuneisuus positiivisesti tyyppin 1 ja tyyppin 2 havaitsemiskyvyn kanssa?

Hypoteesina on, että musiikkia harrastaneiden tutkittavien kyky tunnistaa muutoksia puheensa kuulopalautteessa olisi parempi kuin tutkittavien, joilla ei ole aiempaa kokemusta musiikin harrastamisesta. Musiikkia harrastaneiden tutkittavien oletetaan myös tunnistavan kooltaan pienempiä perturbaatioita.

2 MENETELMÄT

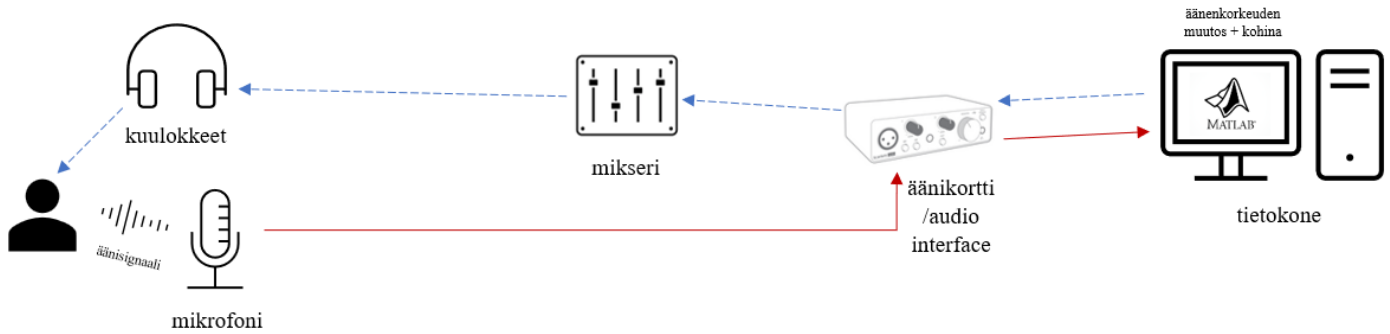
2.1 Osallistujat

Tutkimukseen osallistui 21 neurologisesti tervettä, suomea äidinkielenään puhuvaa korkeakouluopiskelijaa (23.68 ± 2.63 vuotta, 81 % naisia). Poissulkukriteereinä pidettiin kuuloon, puheeseen tai ääneen vaikuttavia sairauksia tai häiriöitä sekä kurkunpään ja nielun sairauksia. Tieto perustuu koehenkilöiden suulliseen tiedonantoon ennen tutkimuksen alkua. Tutkittavat hankittiin mukavuusotannalla tutkijan lähipiiristä ja yliopiston vapaaehtoisen koehenkilöilmoittautumisen kautta. Tutkimukseen osallistuneet saivat osallistumisestaan joko rahallisen korvauksen tai kaksi tuntia Turun yliopiston psykologian pää- ja sivuaineopiskelijoiden opintoihin sisältyvää koehenkilösuoritusta.

2.2 Laitteisto

Tutkimus suoritettiin hiljaisessa huoneessa. Kuva 3 esittää äänisignaalin kulkua kokeen aikana. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt istuivat pöytätietokoneen äärellä ja heidän ääntään tallennettiin käyttäen Audio-Technica AT2035 -kondensaattorimikrofonia. Mikrofonin oli kokeen aikana noin viiden senttimetrin etäisyydellä tutkittavan suusta. Äänisignaali soitettiin takaisin koehenkilölle suljettuihin monitorikuulokkeisiin (Beyerdynamic DT 770 M 80 OHM), joissa on 35 desibelin passiivinen melunvaimennus. Kokeen aikana tapahtuvat äänenkorkeuden perturbaatiot ja kuulopalautteen taustalle miksattu vaaleanpunainen kohina yhdistettiin koehenkilön äänisignaaliin digitaalisesti MATLAB-ohjelmassa. Muutokset koehenkilön tuottaman äänisignaalin korkeuteen saatiin aikaan Audapter-ohjelmistolla (Cai ym., 2008; Tourville ym., 2013), ja ne koskivat koko äänisignaalin spektriä eli taajuusjakaumaa (ei pelkkää perustaajuutta, f_0). Ohjelmisto määritteli myös perturbaation viiveen ja keston vokalisoinnin aikana. Tutkija oli kokeen aikana koehenkilön kanssa samassa tilassa varmistaakseen, että koehenkilö tuottaa riittävän voimakasta puheääntä, jotta

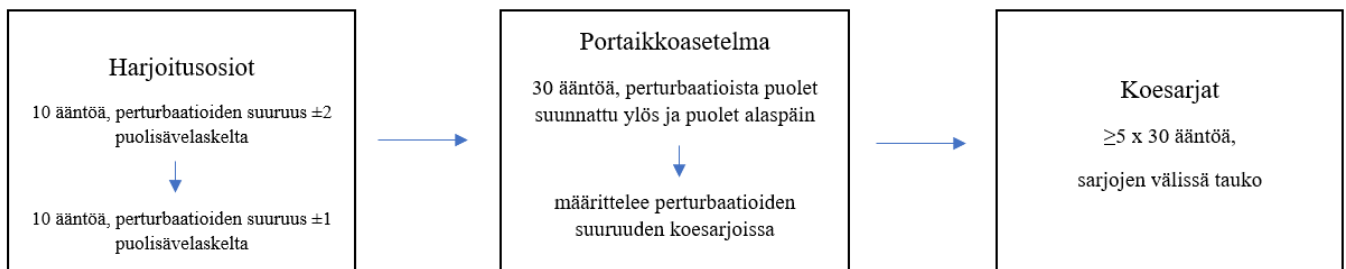
mikrofoni havaitsisi äänisignaalin ja ohjelma pystyisi muuttamaan sen korkeutta. MOTU Microbook IIc -äänikortin avulla analoginen audiosignaali muutettiin digitaaliseksi, mikä mahdollisti sen muokkaamisen tietokoneella. Äänikortti myös vahvisti äänisignaalin voimakkuutta.



Kuva 3. Kaaviokuva äänisignaalin kulusta kokeen aikana. Sininen katkoviiva kuvaa MATLABin muokkaamaa kuulopalautetta, jossa äänisignaalin korkeutta on muutettu, ja johon on lisätty kohinaa.

2.3 Kokeen kulku

Tutkimus koostui kahdesta mittauskerrasta, joiden välillä oli 2–9 vuorokautta. Yksi mittauskerta kesti noin tunnin. Tutkimuskäynnin rakenne on esitetty Kuvassa 4.



Kuva 4. Tutkimuskäyntien rakennetta havainnollistava kaaviokuva. Kaikissa osioissa tehtävänä oli ääntä tasaista /u/ -äännettä. Ensimmäisen ja toisen tutkimuskäynnin rakenne oli samanlainen.

Ensin tutkittava suoritti kaksi kymmenen /u/ -äännön harjoitusosiota, joilla varmistettiin tehtävänannon ymmärtäminen, ja joiden aikana tutkittava sai totutella kokeen aikana tapahtuviin äänenkorkeuden muutoksiin eli perturbaatioihin. Perturbaatiot harjoitusosioissa olivat suuruudeltaan ensin ± 2 puolisävelaskelta ja myöhemmin ± 1 puolisävelaskelta. Yksi puolisävelaskel vastaa $1/12$

oktaavia eli kahden peräkkäisen pianon koskettimen välistä etäisyyttä. Pieniä äänenkorkeudessa tapahtuvia eroja, mikrintervalleja, voidaan ilmaista myös sentteinä. Yksi puolisävelaskel vastaa 100 senttiä. Perturbaatiot harjoitusosiossa alkoivat 2.5 sekuntia ääntämisen alkamisesta ja kestivät aina äännön loppuun asti.

Harjoitusosioiden jälkeen tutkittava suoritti QUEST-portaikkoasetelmalla (Watson & Pelli, 1983) rakennetun kolmenkymmenen vokalisaation sarjan. Portaikkomenetelmä on mukautuva mittausmenetelmä, jossa signaalin voimakkuutta säädellään tutkittavan vastausten perusteella (Salmela ym., 2006). Signaalin voimakkuutta (tässä asetelmassa perturbaation suuruutta) pienennetään aina, kun tutkittava havaitsee sen ja vastaavasti kasvatetaan tilanteissa, joissa tutkittava ei havaitse sitä. Perturbaatioiden suuruus varsinaisessa kokeessa määräytyi portaikkoasetelman tulosten perusteella, ja sen avulla määriteltiin erilliset intensiteetit ylös ja alaspäin suunnatuille perturbaatioille. Portaikkoasetelman tavoitteena oli vakioda tyypin 1 suoriutuminen tutkittavien välillä, jotta metakognition tarkasteleminen olisi mahdollista. Sen tulosten perusteella pyrittiin siksi määrittämään jokaiselle tutkittavalle yksilöllinen 75 % erottavuuskynnys, jonka tarkoituksena oli tehdä tehtävästä kaikille koehenkilöille perturbaatioiden koosta riippumatta yhtä haastava. Tavoiteltu erottavuuskynnys merkitsee käytännössä, että koehenkilö saisi noin 75 % tyypin 1 tehtävän vastauksista oikein eli tunnistaisi vokalisaatioon tehdyn äänenkorkeuden muutoksen suunnan oikein. Koska perturbaatio säädettiin jokaiselle koehenkilölle yksilöllisesti, tyypin 1 suoriutumista ei voida tarkastella d':n avulla; erot d':ssa heijastavat osaltaan eroja perturbaatioiden koossa. Tämän vuoksi tarkasteltaessa ennustaako musiikin harrastuneisuus tyypin 1 havaitsemista, riippuvana muuttujana käytetään perturbaation kokoa (ts. 75 %:n erottavuuskynnystä). Portaikko tehtiin uudelleen toisen mittauskerran alussa, jotta mahdollinen tutkimuksen aikana tapahtunut harjaantuminen ei vaikuttaisi tuloksiin, vaan perturbaatioiden kuuleminen olisi tutkittavalle molemmilla mittauskerroilla yhtä haastavaa.

Koehenkilön tehtävänä kokeessa oli ääntää pitkää, tasaista /u/ -äännettä mikrofoniiin noin 3.5 sekunnin ajan. Mittauskerta koostui vähintään viidestä kolmenkymmenen äännön sarjasta. Suorituksen alussa ohjeiden lukemisen jälkeen tietokoneen näytölle ilmestyi lähtölaskenta, joka ilmaisi, milloin ääntäminen tulisi aloittaa. Lähtölaskennan numerot laskettiin neljästä alaspäin, ja jokainen numero näkyi näytöllä 0.5 sekuntia. Lähtölaskennan päätyttyä näytöllä näkyi teksti ”NYT”, jonka ilmestyttyä koehenkilöä ohjeistettiin aloittamaan ääntäminen. Koehenkilö kuuli samalla oman äänensä kuulokkeista. Äänisignaalin taustalle miksattiin hälyä, vaaleanpunaista kohinaa, jonka avulla pyrittiin vaimentamaan kuulokkeiden ulkopuolisia taustääniä. Jokaisen vokalisaation aikana kuulokkeista kuultavaa äänisignaalia muutettiin eli perturboitiin joko korkeammaksi tai

matalammaksi. Perturbaatio ohjelmoitiin alkamaan noin 2.5 sekuntia ääntämisen aloittamisen jälkeen. Perturbaation suunta määräytyi kokeen aikana sattumanvaraisesti, mutta sekä ylös että alaspäin suunnattuja perturbaatioita oli aina yhtä monta. Vokalisaation lopettamisen merkiksi näytöllä näkyi 0.6 sekunnin ajan ”STOP”-teksti, jonka jälkeen koehenkilön tehtävänä oli vastata kahteen näytölle ilmestyvään kysymykseen tietokoneen numeronäppäimillä. Ensimmäinen kysymys käsitteli äänisignaalin tapahtuneen muutoksen suuntaa (ylös vai alaspäin), ja toisessa kysymyksessä tutkittavaa pyydettiin arvioimaan, kuinka varma hän on siitä, että tunnisti muutoksen suunnan oikein. Ensimmäinen, perturbaation havaitsemista mittaavaa tyyppin 1 kysymys voidaan määritellä psykofysiikan termein ”yhden intervallin diskriminaatiotehtäväksi”, sillä koehenkilön oli kokeen aikana pakko vastata muutoksen tapahtuneen joko ylös tai alas. Jälkimmäinen, tyyppin 2 kysymys mittasi koehenkilön vastausvarmuutta ensimmäiseen kysymykseen eli muutoksen suunnan kuulemiseen oikein, ja siinä oli neliasteinen vastausskaala, jossa 0 tarkoitti täysin epävarmaa ja 3 täysin varmaa.

Tutkimukseen osallistumisen yhteydessä tutkittavilta kerättiin tiedot syntymäajasta, sukupuolesta ja kätisyydestä, ja heitä pyydettiin täyttämään musiikkitaustaa kartoittava lyhyt kyselylomake. Kyselylomakkeella selvitettiin, onko koehenkilöllä aiempaa kokemusta instrumentin soittamisesta, säännöllisestä laulamisesta, musiikin intervallien erottamisesta toisistaan tai laulamista moniäänisesti. Lomakkeella kysyttiin myös, onko tutkittava opiskellut musiikin teoriaa. Soitto- ja lauluharrastusta kartoittavat kysymykset oli skaalattu viisiasteiselle Likert-asteikolle, jossa 0 merkitsi, ettei tutkittava soita/laula juuri koskaan ja 4, että tämä on harjoitellut soittamista/laulamista ja tekee sitä säännöllisesti. Muut lomakkeen kysymykset olivat dikotomisia. Tutkittaville oli koko testauksen ajan tarjolla vettä.

2.4 Tutkimuksen eettisyys

Kokeen ohjeistus annettiin sekä suullisesti että kirjallisesti. Kaikki tutkittavat allekirjoittivat ennen tutkimuksen alkua kirjallisen suostumuksen, ja Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin eettinen toimikunta on antanut tutkimuksesta puoltavan lausunnon. Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista, ja tutkittavilla oli mahdollisuus missä tahansa tutkimuksen vaiheessa syytä ilmoittamatta keskeyttää suoritus ilman, että heille aiheutuu siitä seuraamuksia. Kerättyä aineistoa käsiteltiin luottamuksellisena, ja tutkimuslomakkeita säilytettiin lukollisessa kaapissa.

2.5 Analyysit

Tämän tutkimuksen aineisto analysoitiin MATLAB R2022b -ohjelman avulla. Aineistosta poistettiin analyysivaiheessa kolme koehenkilöä poikkeavien ja puuttuvien arvojen vuoksi. Poikkeavat arvot koehenkilöillä viittasivat portaikkoasetelman epäonnistumiseen ensimmäisellä mittauskerralla, ja lähemmässä tarkastelussa havaittiin kyseessä olleiden koehenkilöiden portaikkoasetelman tuloksista myös puuttuneen arvoja. Kahdella aineistosta poistetulla tutkittavalla poikkeavien muodostumisen syynä on hyvin todennäköisesti ollut se, ettei mikrofoni ole havainnut tutkittavan ääntä, eikä MATLAB ole tämän vuoksi voinut perturboida sitä. Yhdellä tutkittavalla ensimmäisen mittauskerran portaikkoasetelma oli sisältänyt eri määrän ylös ja alaspäin suunnattuja perturbaatioita, mikä tulostui mittaustuloksiin negatiivisena erottavuuskynnyksenä. Virheen taustalla oli tekninen ongelma kokeessa. Koska portaikkoasetelma sisälsi vain kolmekymmentä trialia, arvojen puuttuminen vaikutti merkittävästi kyseessä olleiden koehenkilöiden mittaustuloksiin ja niiden luotettavuuteen.

Aineisto koostuu kunkin tutkittavan molempien mittauskertojen testituloksista; perturbaatioiden koosta, vastaustarkkuudesta, vastausvarmuudesta, erottavuusindeksi d' :n arvoista, meta- d' :n arvoista, M_{ratio} :n arvoista ja vastauksista musiikkikyselyyn. Meta- d' ja d' estimoitiin Maniscalcon ja Laun (2012) julkaisun funktioiden avulla (Maniscalco, 2014). Tyypin 1 tehtävän vastaukset olivat mitta-asteikoltaan kategorisia, kun taas metakognitiivista arviointia mitannut tyypin 2 kysymyksen vastaus oli muuttujana Likert-asteikollinen. Musiikkikyselyn vastauksista instrumentin soittamista ja lauluharrastusta tarkastelleet muuttujat olivat Likert-asteikollisia. Musiikin teorian opiskelua sekä kokemusta intervallien erottelusta ja moniäänisesti laulamista mitanneet muuttujat olivat dikotomisista. Tässä tutkimuksessa analyyseistä rajattiin pois musiikin teoriaa tai moniäänisesti laulamista koskevat kysymykset. Intervallien erottelukyvyn katsotaan sisältävän tarkemmin tietoa mielenkiinnon kohteena olleesta muuttujasta (ts. auditiivisesta erottelukyvystä) kuin musiikin teorian opiskelun. Moniäänisesti laulaneita oli aineistossa niin vähän ($n=2$), ettei analyysien tekeminen olisi mielekästä.

Kyseessä on pilottitutkimus, jonka pääasiallinen tarkoitus on mitata koeasetelman toimivuutta. Sitä arvioidaan tarkastelemalla mielenkiinnon kohteena olevien muuttujien test-retest-reliabiliteettia. Vaikka pienen otoskoon vuoksi reliabiliteetin tarkka estimointi on mahdotonta, test-retest-reliabiliteetin tarkastelu antaa kuvan siitä, pystytäänkö asetelmalla mittaamaan ääntämisessä tapahtuvien virheiden havaitsemista. Koska aineisto oli pieni, eivätkä kaikki muuttujat olleet normaalisti jakautuneita (Shapiro Wilk $p < .05$), tämän tutkielman analyyseissä käytettiin epäparametrisiä testejä. Analyysien avulla arvioidaan koeasetelman reliabiliteettia ja tarkastellaan, onko yksilön musiikkikokemuksella vaikutusta siihen, miten muutoksia itse tuotetuissa puheäänteissä

havaitaan, ja miten tyypin 1 ja 2 tehtävissä suoriudutaan. Test-retest-reliabiliteettia tarkasteltiin vertaamalla ensimmäisen ja toisen mittauskerran tuloksia toisiinsa Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käyttäen ja sirontakuvioita tarkastellen.

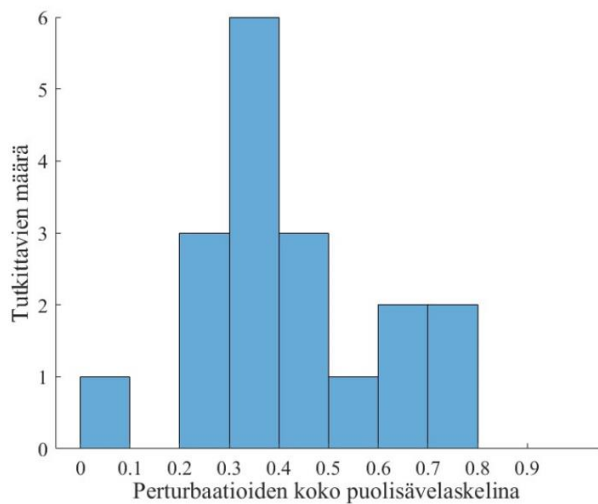
Musiikkikokemuksen vaikutusta tuloksiin tarkasteltiin niin ikään Spearmanin järjestyskorrelaatioilla. Koska useamman vertailun tekeminen kasvattaa väärän positiivisen tuloksen riskiä, tilastollisesti merkitseville p-arvoille tehtiin musiikkikyselyn tuloksia tarkasteltaessa Bonferroni-korjaus.

3 TULOKSET

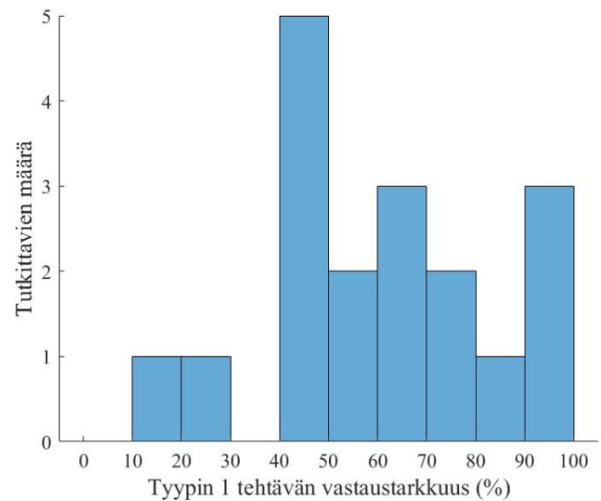
Kokeen alussa portaikkoasetelman avulla määriteltyjen perturbaatioiden koot on esitetty Kuvassa 5A. Se havainnollistaa, miten suuri ero perturbaation ja koehenkilön äänen perustaajuuden välillä on ollut. Perturbaatiot kokeessa vaihtelivat tutkittavien välillä kymmenestä kahdeksaankymmeneen senttiin eli ero oman äänen ja perturbaation välillä oli kaikilla tutkittavilla pienempi kuin puolisävelaskel. Keskimäärin perturbaatio oli suuruudeltaan 43 senttiä (± 18 senttiä).

Tyypin 1 tehtävän vastaustarkkuus eli se, miten hyvin koehenkilöt koesarjojen aikana tunnistivat perturbaation suunnan oikein on esitetty Kuvassa 5B. Kokeen perturbaatioiden suuruudessa ei ollut suuria eroja tutkittavien välillä, mutta vastaustarkkuudet vaihtelivat tutkittavilla lähes nolasta sataan prosenttiin. Koeasetelman tavoitteena oli portaikon avulla löytää jokaiselle tutkittavalle 75 % erottavuuskynnys, jonka perusteella tyypin 1 tehtävän vastaustarkkuuden olisi pitänyt olla kaikilla tutkittavilla samankaltainen. Kuvasta 5B kuitenkin havaitaan, että tehtävä on ollut tutkittaville vaikeustasoltaan hyvin vaihteleva, ja suurin osa koehenkilöistä on havainnut oikein oletettua vähemmän perturbaatioita.

A)

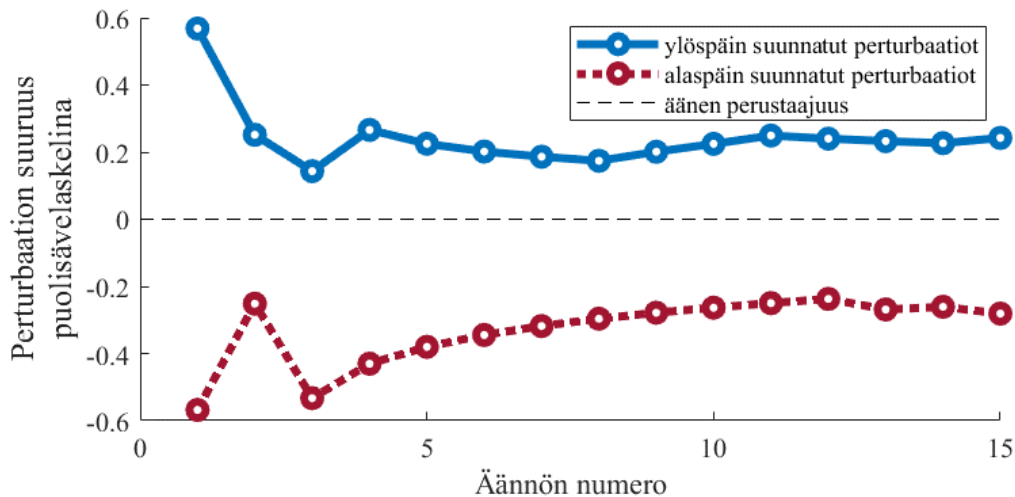


B)



Kuva 5. Histogrammi A) esittää portaikkoasetelman perusteella määriteltyjen perturbaatioiden kokojen jakautumista koehenkilöittäin. Histogrammi B) havainnollistaa, kuinka monta prosenttia vastauksista tutkittavat ovat saaneet oikein tyypin 1 tehtävässä.

Vaikka koasetelma ei erottavuuskynnysten tulosten perusteella vastannut odotuksia, portaikon voidaan yleisesti ottaen sanoa toimineen. Kuva 6 esittää erään tutkimushenkilön portaikkoasetelman tulokset ja havainnollistaa portaikkoasetelman toimintaa. Kuvasta voidaan havaita, miten asetelma hakee yksittäiselle koehenkilölle tämän erottavuuskykyä vastaavaa kynnysarvoa; se lähtee liikkeelle suuremmista eroista äänen perustaajuuden ja perturbaation välillä, pienentää perturbaation kokoa oikeiden vastausten myötä ja vastaavasti uudelleen kasvattaa sitä väärin vastausten jälkeen. Portaikkoasetelman onnistumista tarkasteltiin myös laadullisesti käymällä läpi kaikkien tutkittavien molempien mittauskertojen portaikkoarvot, ja analyyseista poissuljettujen tutkittavien portaikkoarvoja lukuun ottamatta ne olivat samankaltaisia kuin Kuvassa 6.

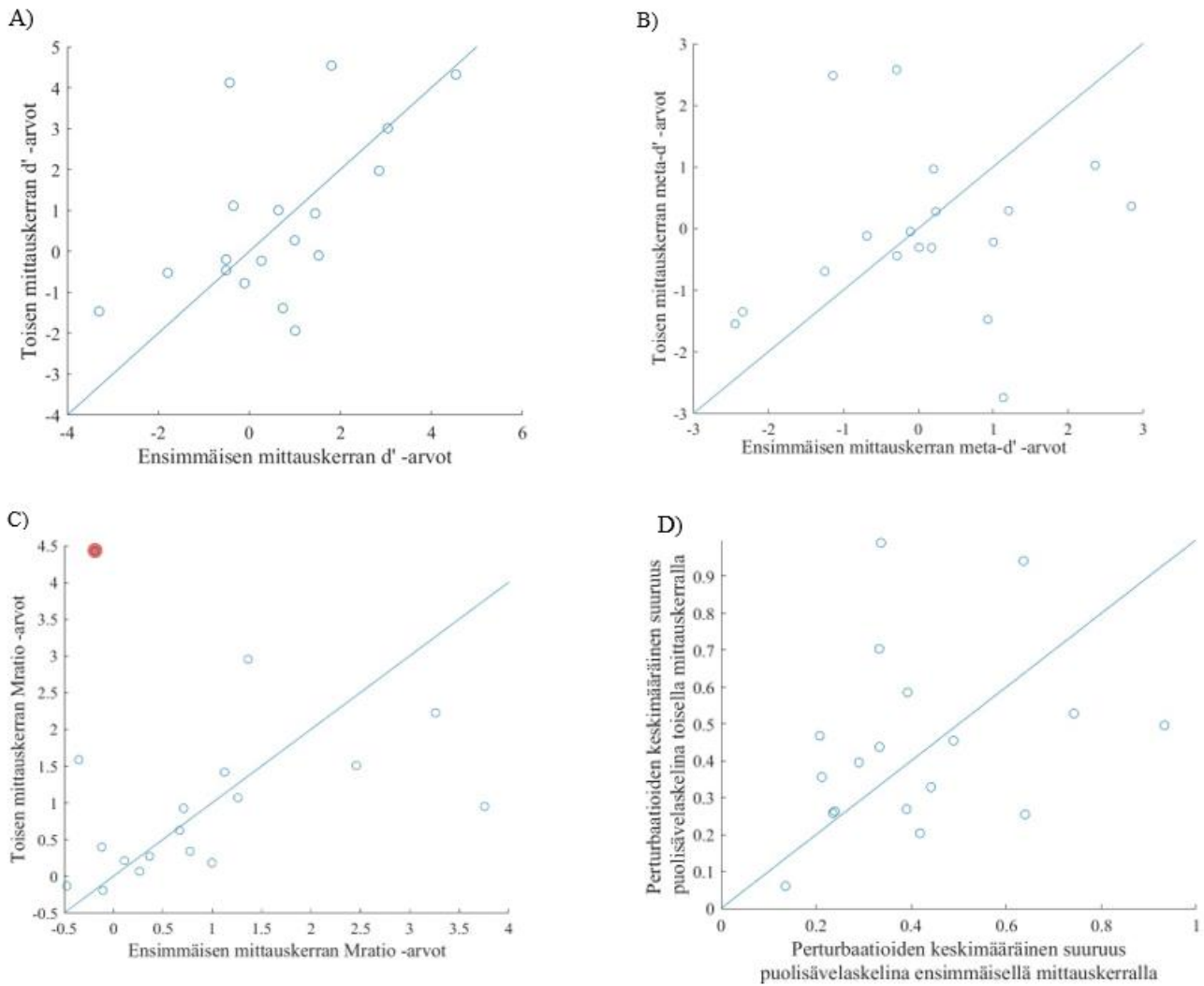


Kuva 6. Esimerkkikuva portaikkoasetelman tuloksista ja perturbaatioiden kokojen määräytymisestä tutkimuksessa. Se esittää erään tutkittavan portaikkoasetelman tulokset toisella mittauskerralla.

3.1 Test-retest-reliabiliteetti

Tyypin 1 vastaustarkkuus ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä korreloivat Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen perusteella kohtalaisesti ($\rho=.540$, $p=.023$). Kuva 7A esittää sirontamatriisiin mittauskertojen d' -arvoista. Suurimmalla osalla tutkittavista d' -arvot ovat positiivisia, mutta matriisista voidaan havaita kaksi selkeästi poikkeavaa, negatiivista arvoa, jotka viittaavat arvaustasoa heikompaan suoriutumiseen. Sirontakuviot 7B kuvaa ensimmäisen ja toisen mittauskerran meta- d' -arvoja. Tutkittavien suoriutuminen on meta- d' :n osalta ollut epätasaista, ja sirontakuviosta havaittavissa olevat negatiiviset arvot viittaavat tavallista heikompaan tyypin 2 erottelukykyyneen. Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella mitattiin myös mittauskertojen välisen meta- d' -arvojen välistä yhteyttä. Tulokset korreloivat keskenään heikosti, eikä p -arvo ollut tilastollisesti merkitsevä ($\rho=.247$, $p=.322$). Myös M_{ratio} :n (vakioitu d' :n suuruuteen) mittauskertojen tulosten välistä yhteyttä tutkittiin korrelaatioita tarkastelemalla. M_{ratio} :n arvot ovat yhtä poikkeavaa arvoa lukuun ottamatta jakautuneet melko tasaisesti. Kaikkien tutkittavien arvot eivät olleet positiivisia. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran tulokset korreloivat keskenään heikosti, mutta tulos ei yltänyt tilastollisesti merkitsevälle tasolle ($\rho=.391$, $p=.110$). Sirontakuviot 7C on punaisella merkitty poikkeava arvo, joka on lähes kolme keskihajontaa ensimmäisen mittauskerran M_{ratio} :n arvojen keskiarvoa suurempi, ja tämän perusteella poistettiin analyysistä. Poikkeavan arvon poistamisen jälkeen korrelaatiot M_{ratio} :n arvoille mittauskertojen välillä laskettiin uudelleen. Tulokset osoittivat ensimmäisen ja toisen mittauskerran M_{ratio} :n arvojen välillä olevan melko voimakas tilastollisesti merkitsevä lineaarinen yhteys ($\rho=.653$, $p=.002$). Perturbaatioiden koot on laskettu ylös

ja alaspäin suunnattujen perturbaatioiden keskiarvoina kullekin mittauskerralle. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran perturbaatioiden kokojen välillä havaittiin heikko korrelaatio, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($\rho=.294, p=.235$). Kuva 7D esittää sirontamatriisin perturbaatioiden kokojen yhteydestä mittauskertojen välillä.

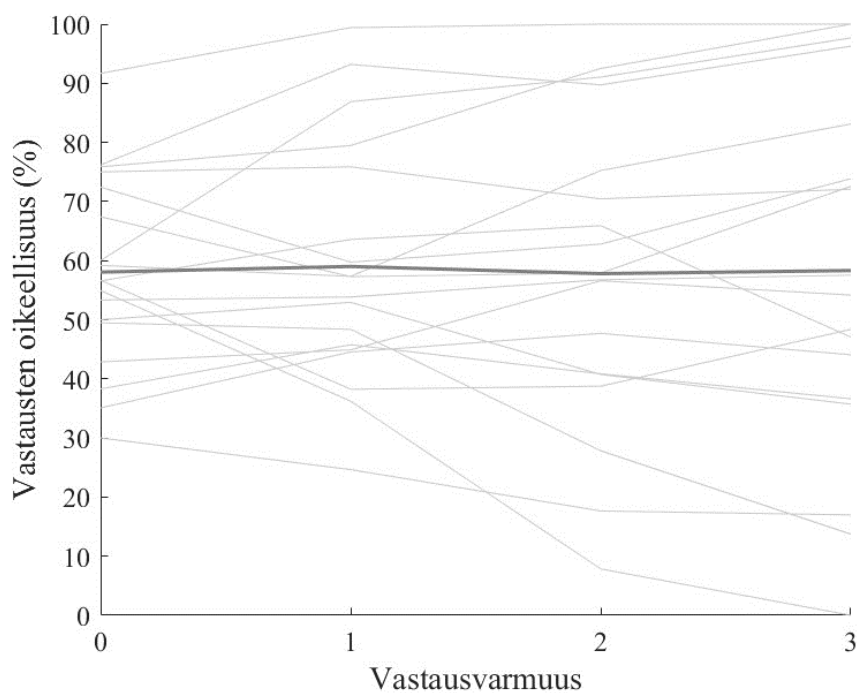


Kuva 7. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran väliset sirontamatriisit d' :n, $meta-d'$:n ja M_{ratio} :n arvoista sekä perturbaatioiden suuruudesta. Punainen piste C) -matriisissa kuvaa poikkeavaa arvoa, joka poistettiin analyysistä.

3.2 Vastausvarmuus suhteessa vastaustarkkuuteen

Kuva 8 havainnollistaa tutkittavien vastausvarmuutta ja -tarkkuutta kokeen aikana. X-akselilla on esitettyä vastausvarmuutta kuvaava skaala, joista 0 kuvasi täysin epävarmaa ja 3 täysin varmaa vastausta perturbaation suunnan havaitsemiseen oikein. Koeasetelman tavoitteena oli saada näkyviin

nouseva trendi, jossa vastausvarmuus olisi suoraan verrannollinen vastaustarkkuuteen eli vastausten oikeellisuuteen. Tämä osoittaisi, että osallistujat kykenisivät metakognitiivisesti arvioimaan vastauksiaan; mitä varmempia he ovat vastauksestaan, sitä parempi on vastausten oikeellisuusprosentti. Otoskeskiarvo osoittaa vastausten olleen metakognitiivisesta arviosta riippumatta samankaltaisia, ja vain harvan tutkittavan tuloksissa on havaittavissa selkeästi nouseva trendi. Muutamilla tutkittavilla trendi on päinvastainen. Mitä varmempia he ovat vastauksistaan olleet, sen heikompi vastaustarkkuus on ollut.



Kuva 8. Vastausvarmuutta ja vastausten oikeellisuutta kuvaava viivadiagrammi. Voimakas viiva kuvaa otoskeskiarvoa.

3.3 Musiikin harrastuneisuuden vaikutus

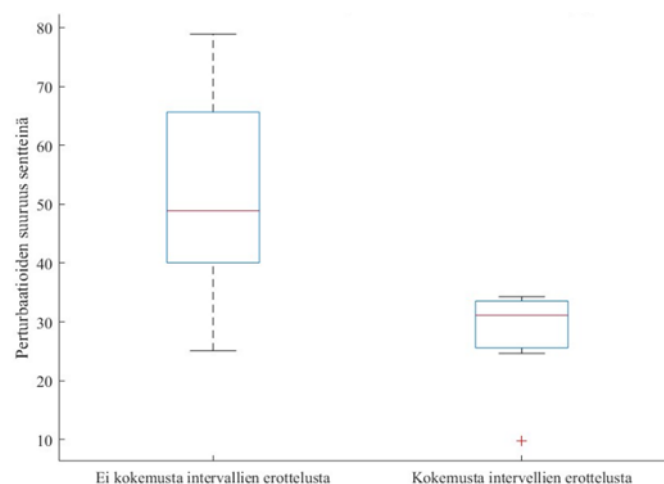
Taulukossa 3 on esitetty tutkimuksen mittaustulosten ja musiikkikyselyn vastausten välisiä Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimia. Analyyseissä käytettiin mielenkiinnon kohteena olleiden muuttujien mittauskertojen välistä keskiarvoa. Perturbaatioiden suuruutta tarkasteltaessa tarkastellaan niiden keskimääräistä kokoa, joka koostuu sekä ylös että alaspäin suunnattujen perturbaatioiden yhteenlasketuista arvoista molemmilta mittauskerroilta. Perturbaatioiden koon ja intervallien erottelukokemuksen välillä havaittiin vahva, tilastollisesti merkitsevä negatiivinen

korrelaatio ($p=-.736$, $p=.006$). Kuva 9 havainnollistaa intervallien erottelukokemuksen vaikutusta perturbaatioiden suuruuteen tyyppin 1 tehtävässä. Intervalleja aiemmin erotelleiden tutkittavien ($n=7$) perturbaatiot olivat suuruudeltaan keskimäärin 30 senttiä, kun taas henkilöillä, joilla ei ollut kokemusta intervallien erottelusta ($n=11$) perturbaatiot olivat suuruudeltaan noin 50 senttiä. Perturbaation koko korreloi negatiivisesti, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi, myös laulu- ($p=.080$, korjaamaton) ja soittokokemuksen ($p=.100$, korjaamaton) kanssa. Tuloksissa oli havaittavissa myös heikot korrelaatiot laulukokemuksen ja meta-d':n ($p=.144$, korjaamaton) sekä M_{ratio} :n ($p=.204$, korjaamaton) välillä, mutta nekään eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 3. Musiikkikyselyn ja mittaustulosten väliset korrelaatiot

	perturbaatioiden koko	d'	meta-d'	M_{ratio}
kokemus laulamisesta	-0.424	-0.270	0.359	0.314
kokemus instrumentin soittamisesta	-0.400	0.129	0.334	-0.002
kokemus intervallien erottelusta	-0.736*	-0.077	0.275	0.055

*bonferroni-korjattu $p=.006$



Kuva 9. Intervallien erottelukokemuksen vaikutus perturbaatioiden suuruuteen tyyppin 1 tehtävässä. Punainen rasti kuvaa poikkeavaa arvoa.

4 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa tarkoituksena oli esitellä ja pilottitutkimuksen avulla testata, miten puheentuottoa ja oman kuulopalautteen tyyppin 1 ja 2 havaitsemista voidaan kokeellisesti tutkia hyödyntämällä perturbaatioparadigmaa ja signaalidetektioiteoriaa. Koeasetelman reliabiliteettia estimoitiin kahden mittauskerran avulla. Lisäksi tarkasteltiin, vaikuttaako aiempi kokemus musiikin harrastamisesta tyyppin 1 ja 2 tehtävässä suoriutumiseen. Musiikin harrastuneisuutta kartoittavan kyselyn korrelaatioanalyseissa muuttujien arvot laskettiin koko datan perusteella. Hypoteesina oli, että musiikkikokemusta omaavat henkilöt havaitsisivat herkemmin oman puheensa kuulopalautteessa tapahtuvat äänenkorkeuden muutokset ja tunnistaisivat muutoksen suunnan sellaisia henkilöitä paremmin, joilla ei ole aiempaa musiikkikokemusta.

Tulokset osoittavat tutkimuksen test-retest-reliabiliteetin olevan tyyppin 1 erottelukyvyn ja $M_{ratio:n}$ osalta kohtalaisen hyvä koeasetelmassa havaituista haasteista huolimatta. Vaikka otoskoko oli pieni, tulokset ovat rohkaisevia ja niiden perusteella käytettyä koeasetelmaa voidaan muokata aiempaa toimivammaksi. Musiikin harrastuneisuus ei ollut yhteydessä kokeessa suoriutumiseen, mutta intervallien erottelukokemuksen havaittiin vaikuttavan portaikkoasetelman avulla määriteltyjen perturbaatioiden suuruuteen; musiikin intervaleja aiemmin erotelleiden tutkittavien perturbaatiot olivat kokeessa huomattavasti pienempiä kuin niiden tutkittavien, joilla ei ollut kokemusta intervallien erottelusta. Pohdinnassa käsitellään ensin test-retest-reliabiliteettia ja musiikin harrastuneisuuden vaikutusta tutkimustuloksiin, ja siirrytään sitten tarkastelemaan tutkimuksen heikkouksia ja vahvuuksia. Lopuksi esitellään jatkotutkimusehdotuksia.

4.1 Test-retest-reliabiliteetti

Koeasetelman test-retest-reliabiliteetin havaittiin olevan kohtalaisen hyvä erottavuusindeksin (d') ja $M_{ratio:n}$ osalta. Vaikka tutkittavien vastauksetarkkuuksissa oli suurta vaihtelua, tulos osoittaa testin onnistuneen mittaamaan melko hyvin tyyppin 1 erottelukykä. Vastauksetarkkuuden vaihtelu saattaa johtua ainakin osittain portaikkoasetelmasta; se on todennäköisesti ollut liian lyhyt, ja määrittää tutkittavalle kokeeseen 75 % erottavuusindeksiin nähden liian pienet perturbaatioiden arvot. Jos asetelma olisi ollut pidempi, perturbaatiot olisivat todennäköisesti tasoittuneet vastaamaan paremmin tutkittavan todellista tasoa. Tuloksista havaittavissa oleva vastauksetarkkuuden vaihtelu nolasta sataan prosenttiin viittaa tässä kokeessa siihen, että portaikko määritteli joillekin tutkittaville aivan liian vaikean kokeen ja toisille niin helpon, että jokainen perturbaatio tunnistettiin aina oikein. Vastauksetarkkuuden vaihtelu oli kuitenkin niin suurta, ettei se todennäköisesti selity ainoastaan

portaikkoasetelman heikkoudella. Muutoin perturbaatiotkin olisivat olleet suurempia portaikossa tapahtuneiden virheiden vuoksi. Yksittäisten koehenkilöiden portaikkotulokset kuitenkin osoittavat, että portaikko stabiloitui melko hyvin (ks. Kuva 6). Portaikkoasetelma olisi siis voinut olla pidempi, mutta se ei yksinään olisi korjannut kokeessa ilmenneitä ongelmia. Vaikka portaikkoasetelman toiminta ei täysin vastannut odotuksia, ja sen epätavallisilla tuloksilla on ollut vaikutusta koko koeasetelman onnistumiseen, pääsääntöisesti itse portaikko toimi oletetulla tavalla. Portaikkoasetelman test-retest-reliabiliteetti oli kuitenkin melko heikko, mikä tarkoittaa, että suorituskertojen välillä sen tuloksissa ei havaittu pysyvyyttä. Huonoa test-retest-reliabiliteettia olisi voinut selittää harjaantumisefekti, mutta sirontakuvion 7D tarkastelu ei tue väitettä.

Tyypin 1 tehtävässä suoriutumisen eli d' :n arvojen test-retest-reliabiliteetti oli kohtalainen, mikä viittaa siihen, että koeasetelmalla pystyttiin melko onnistuneesti mittaamaan kuulopalautteeseen aiheutetun virheen havaitsemista ja tyypin 1 herkkyyttä. Erottavuusindeksi d' :n arvoista huomio kiinnittyy kahteen poikkeavaan, negatiiviseen arvoon (ks. Kuva 7A). Kyseiset tulokset tyypin 1 tehtävässä viittaavat siihen, että kuulopalautteessa on havaittu muutos, mutta sen suunnan oikea tunnistaminen ei ole onnistunut. Syitä vastausten systemaattiselle virheellisyydelle on mahdotonta tietää varmaksi, mutta esimerkiksi vastauspainikkeiden merkitysten toistuva päinvastainen tulkinta selittäisi vastausmallia. Toisaalta kokeen aikana vastausohjeet olivat luettavissa jokaisen sarjan alussa, minkä lisäksi ne oli tulostettu paperisena testitietokoneen viereen, joten ohjeiden tarkistaminen kokeen aikana olisi ollut mahdollista, mikäli kyse olisi ollut unohduksesta. Toinen mahdollinen selitys havaitulle ilmiölle on, että tutkittavien on perturbaatioiden havaitsemisesta huolimatta ollut hyvin vaikea tunnistaa, ovatko ne suunnattu ylös vai alaspäin. Kokeen perturbaatiot olivat kuitenkin kaikilla analyyseihin sisällytetyillä tutkittavilla pienempiä kuin yksi puolisävelaskel, joten erot äänenkorkeudessa ovat olleet niin pieniä, että niiden tarkempi analysoiminen havaitsemisen lisäksi on osoittautunut hyvin haastavaksi. Äänenkorkeuden perturbaation on kokeen aikana voinut tunnistaa äänisignaalin huojumisesta, mutta sen perusteella on saattanut olla vaikeaa tehdä päätös perturbaation suunnasta. Olisikin mielenkiintoista tietää, havaittaisiinko perturbaatioiden suunnan käänteistä vastaamista edelleen, mikäli niiden kokoa kasvatettaisiin.

Kuten Kuvasta 8 voidaan havaita, koeasetelma ei toiminut odotusten mukaisesti; näkyviin oli tarkoitus saada nouseva trendi, jossa vastausvarmuus lisääntyisi vastausten oikeellisuuden kasvaessa. Otokeskiarvo piirtää kuitenkin esiin lähes suoran viivan, mikä osoittaa, että vastausten oikeellisuus ei ole juurikaan vaikuttanut vastausvarmuuteen. Lisäksi otoksessa oli kaksi tutkittavaa, joilla vastausvarmuuden trendi on ollut nousevan sijaan laskeva. Nämä henkilöt ovat olleet vastauksistaan varmempia silloin, kun suoriutuminen on ollut heikointa.

M_{ratio} :n test-retest-reliabiliteetti oli poikkeavan arvon poistamisen jälkeen hyvä. Tästä huolimatta meta-d':n test-retest-reliabiliteetti oli kuitenkin heikko. Tämä johtunee siitä, että tyypin 1 suoriutuminen vaikuttaa vahvasti meta-d':n arvoihin, ja d':n arvoissa oli suurta vaihtelua. Guggenmos (2021) korostaa artikkelissaan, että epäonnistunut tyypin 1 vastausten vakioiminen pääsääntöisesti heikentää metakognitiota tarkastelevien tutkimusten reliabiliteettia. Metakognitiiviseen suoriutumiseen vaikuttaa myös tehtävän vaikeustaso (Fleming & Lau, 2014), ja koska koasetelmalla ei onnistuttu vakioimaan koehenkilöille tyypin 1 suoriutumiseen 75 % havaintokynnystä, vaikutus näkyy epäsuotuisasti myös tyypin 2 vastauksissa eli meta-d':n arvoissa. M_{ratio} :ta laskettaessa tyypin 1 vastauksia suhteutetaan tyypin 2 vastauksiin. Menetelmä pyrkii sulkemaan pois mahdollisimman paljon tutkittavien välisestä ja sisäisestä vaihtelusta ja kuvaamaan puhtaammin juuri metakognitiivisia kykyjä, minkä vuoksi tulokset ovat asetelman vastausten laajasta hajonnasta huolimatta lupaavia ja odotusten mukaisia.

Guggenmos (2021) kokosi artikkelissaan yhteen aiempien metakognitiota tyypin 1 ja 2 tehtävillä tutkineiden tutkimusten tuloksia ja tarkasteli niiden test-retest-reliabiliteettia. Hän havaitsi M_{ratio} :n test-retest-reliabiliteetin olevan $r \leq .6$ tilanteissa, joissa trialien määrä oli alle 400 (tämän tutkimuksen trialien $vv=150-270$, $ka=168.33$). Rahnevin (2023) tutkimustulokset ovat samansuuntaisia; test-retest-reliabiliteetti M_{ratio} :n osalta on ollut parhaimmillaan $r=.4$. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan tämän perusteella pitää lupaavina, sillä M_{ratio} :n test-retest-reliabiliteetti ylittää koasetelman ongelmista ja alhaisemmasta trialien määrästä huolimatta samalle tasolle kuin aiemmissa tutkimuksissa. Guggenmosin (2021) tutkimuksessa havaittiin M_{ratio} :n arvojen regularisoinnin esimerkiksi logaritmisoinnin avulla parantavan reliabiliteettia ja olevan suositeltavaa, mikäli otoskoko ei ole riittävän suuri. Tässä tutkimuksessa tulosten logaritmisointi ei M_{ratio} :n osalta kuitenkaan ollut mahdollista, sillä mittaustuloksissa oli negatiivisia arvoja.

4.2 Musiikin harrastuneisuuden vaikutus suoriutumiseen

Musiikin harrastuneisuus ei vaikuttanut olevan yhteydessä varsinaisessa kokeessa suoriutumiseen. Ennen kokeen alkua portaikkoasetelmalla määriteltyjen perturbaatioiden kokoihin musiikkikokemuksen – etenkin intervallien erottelun – sen sijaan havaittiin merkittävästi vaikuttavan. Kokemuksella musiikin intervallien erottelusta ja musiikin teorian opiskelulla havaittiin olevan vaikutusta siihen, minkä kokoisia perturbaatioita tutkittavat havaitsivat. Musiikin teorian opinnot ovat osa musiikin tutkinnon opiskelua, ja yleensä musiikin teorian opintoihin sisältyy myös intervallien erottelua (Opetushallitus, 2017). Hypoteesin mukaisesti tutkimustulokset vahvistavat käsitystä siitä,

että äänenkorkeudessa tapahtuvien erojen havaitsemisessa voi kehittyä harjoittelemalla (Kishon-Rabin ym., 2001; Spiegel & Watson, 1984). Tulokset ovat mielenkiintoisia ja uutuusarvoltaan merkittäviä, sillä vaikka musiikkikokemuksen vaikutuksia ulkoisten äänten havaitsemiseen on tutkittu runsaasti, aiemmissa tutkimuksissa ei ole tarkasteltu, parantaako se itse tuotettujen äänten havaitsemista ääntämisen aikana. Musiikin harrastuneisuus vaikuttaisi tämän tutkimuksen tulosten perusteella parantavan oman ääntämisen aikana tapahtuvien virheiden havaitsemista. Aiemmin intervaleja erotelleilla tutkittavilla oli kyky havaita keskimäärin pienempiä äänenkorkeuseroja kuin niillä, jotka eivät olleet aiemmin harjoitelleet intervallien erottelua. Hajonta oli myös huomattavasti pienempää intervaleja erotelleiden henkilöiden perturbaatioiden suuruudessa.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä havaittujen ilmiöiden esiintyvyydestä populaatiotasolla, mutta muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltaessa havaittiin mielenkiintoisia korrelaatioita, jotka saattaisivat isommalla otoskoolla olla voimakkaampia ja tilastollisesti merkitseviä; laulu- ja soittokokemus vaikuttaisi korreloivan metakognitiivisen kyvykkyyden kanssa. Korrelaatioita tarkasteltaessa havaittiin myös, että laulu- ja soittokokemuksen ja portaikkoasetelmalla määräytyvien perturbaatioiden kokojen välinen yhteys saattaisi suuremmalla otoskoolla näyttäytyä vahvempana. Hypoteesin mukaisesti musiikkikokemus todennäköisesti vaikuttaa positiivisesti havaintokykyyn; mitä enemmän tutkittavalla on ollut kokemusta laulamista ja soittamisesta, sitä pienempiä eroja puheensa äänenkorkeudessa he ovat portaikkoasetelman aikana havainneet. Vaikka korrelaatiot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, tulos on mielenkiintoinen ja se tulisi huomioida myös tulevia tutkimuksia suunniteltaessa. Tulosten tarkastelussa tulisi kuitenkin huomioida, että test-retest-reliabiliteettia estimoitiin kahden mittauskerran avulla, mutta musiikin harrastuneisuuden vaikutusta tarkasteltaessa analyyseissa käytettiin muuttujien keskiarvoja mittauskertojen välillä. Tämän vuoksi mittaustuloksia on musiikin harrastuneisuuden tarkastelussa ollut kaksinkertainen määrä test-retest-reliabiliteetin tarkasteluun käytettyihin arvoihin verrattuna, mikä on todennäköisesti nostanut musiikkianalyysien reliabiliteettia.

4.4 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset

Tämä tutkimus on ensimmäinen yritys tutkia itse tuotetun puheen havaitsemista ja sen metakognitiivista arviointia. Kyseessä on pilottitutkimus, jonka pääasiallinen tarkoitus oli testata koeasetelman toimivuutta ja testitulosten pysyvyyttä mittauspisteiden välillä. Koeasetelmaa on tarkoitus muokata tämän tutkimuksen toteuttamisesta saadun palautteen ja tulosten perusteella. Odotusten mukaisesti koeasetelmassa havaittiin kehitys- ja muutoskohteita, mutta heikkouksista

huolimatta tutkimuksen voidaan katsoa onnistuneen mittaamaan tyypin 1 erottelukykyä ja metakognitiivista arviointia, ja tulosten perusteella koeasetelmaa saadaan muovattua aiempaa käyttökelpoisemmaksi.

4.4.1 Otoksen ominaisuudet

Tutkimuksen suurimpia rajoitteita lienee pieni ja homogeeninen otos, josta jouduttiin vielä analyysivaiheessa jättämään kolme tutkittavaa pois. Myös otoksen sukupuolijakauman epätasaisuus on huomioitava tuloksia tarkasteltaessa; yli 80 % tutkittavista oli naisia, joten otos ei anna realistista kuvaa edustamastaan populaatiosta.

Vastausstrategioiden syntymistä on haastavaa kontrolloida, mutta niiden vaikutusta kokeessa suoriutumiseen ei ole syytä vähätellä. Useampi tutkittava ilmaisi kokeen aikana tai sen jälkeen kehittäneensä kokeen aikana vastausstrategian tyypin 1 kysymyksille. Eräs tutkittava kertoi jatkaneensa ääntämistä hieman perturbaation loppumista pidemmälle, koska kuuli silloin paremmin, kumpaan suuntaan perturbaatio oli suunnattu. Muutama tutkittava sen sijaan kertoi vastanneensa aina samalla tavalla tilanteissa, joissa ei ollut varma perturbaation suunnasta. Muodostuneet vastausstrategiat ovat näin ollen merkittävä heikkous koeasetelman luotettavuudelle, ja näin pienessä otoksessa se on voinut vaikuttaa huomattavasti tutkimustuloksiin ja niiden perusteella tehtyihin johtopäätöksiin. Tulevissa tutkimuksissa vastausstrategioiden syntymistä voitaisiin ehkäistä muun muassa muovaamalla koeasetelmaa niin, etteivät perturbaatiot kestäisi ääntämisen loppuun vaan olisivat kestoltaan huomattavasti lyhyempiä. Lyhyitä, yllättäviä perturbaatioita on käytetty tutkimuksissa onnistuneesti (mm. Burnett ym., 1998; Huang ym., 2016).

Ongelmaksi sekä portaikkoasetelman että itse kokeen osalta saattaa muodostua tutkittavien väsyminen tehtävään; kyseessä on parhaimmillaan satoja toistoja sisältävä koe, joka ei ole erityisen stimuloiva. Tarkkaavuuden tason on havaittu vaikuttavan puheen poikkeavaan kuulopalautteeseen reagointiin (Hu ym., 2015; Liu ym., 2015). Siksi tutkittavien mielenkiinnon, tarkkaavuuden ja motivaation ylläpitäminen mittauskertojen aikana on asia, johon tulisi tulevissa tutkimuksissa kiinnittää paremmin huomiota – varsinkin, jos trialien määrää nostetaan. Tässä tutkimuksessa tutkittavien tarkkaavuutta pyrittiin pitämään yllä keskustelemalla heidän kanssaan tehtäväsarjojen välillä ja rohkaisemalla taukojen pitämiseen, mikäli tutkittava koki niille tarvetta.

Tulevissa tätä koeasetelmaa hyödyntävissä tutkimuksissa voisi olla perusteltua kontrolloida myös tutkittavien äänenvoimakkuutta äännön aikana. Osa tämän tutkimuksen puuttuvista arvoista johtui oletettavasti ääntöjen riittämättömästä äänenvoimakkuudesta, minkä vuoksi niitä ei havaittu, eikä

niiden perturbointi näin ollen onnistunut. Tutkimustilanne on saattanut olla joillekin tutkittaville vaivaannuttava, ja se on voinut vaikuttaa heidän äänenvoimakkuuteensa kokeen aikana. Tutkija oli koko ajan samassa tilassa tutkittavan kanssa, mikä on saattanut aiheuttaa painetta suoriutumiseen. Toisaalta syy tutkijan läsnäoloon koetilanteessa oli juuri riittävän äänenvoimakkuuden varmistaminen. Kontrolluomalla äänenvoimakkuutta myös kokeellisesti voitaisiin varmistaa, että tutkittava ääntää aina riittävän lujaa, jotta puuttuvia arvoja ei pääsisi sen vuoksi tulevaisuudessa tutkimuksissa muodostumaan.

4.4.2 Koeasetelma

Koeasetelman vahvuutena voidaan ongelmallisuudestaan huolimatta pitää portaikkoasetelman hyödyntämistä osana testiprotokollaa; se on todettu olevan toimiva keino vakioida tyyppin 1 suoriutumistaso tutkittavien välillä metakognitiota mittaavissa tutkimuksissa (Guggenmos, 2021). Vaikka erottavuuskynnyksen vakioiminen portaikkoasetelman avulla ei kokeessa ollut onnistunut, oli portaikon toiminta muuten odotusten mukaista, ja sen käyttö osana koeasetelmaa on perusteltua. Portaikkoasetelman kestoa tulisi tulevaisuudessa tutkimuksissa kuitenkin muokata. Tässä tutkimuksessa käytetty kolmenkymmenen äännön portaikko on lyhyt ja hyvin herkkä poikkeaville arvoille. Tulevaisuudessa tutkimuksissa pidemmällä portaikkoasetelmalla voitaisiin toimivammin vakioida tutkittaville tavoitteiden mukainen erottavuuskynnys, mikä puolestaan parantaisi tutkimuksen reliabiliteettia. Tutkimuksissa, joissa on tutkittu äänenkorkeuden muutosten havaitsemista, korostetaan tehtävän harjoittelun tärkeyttä ennen varsinaisia mittauksia (Kishon-Rabin ym., 2001). Tässä tutkimuksessa harjoitteluosuus oli vain kahdenkymmenen trialin mittainen, ja tutkittavien kuulopalautteeseen tehdyt muutokset huomattavasti suurempia kuin varsinaisessa kokeessa esiintyvät perturbaatiot. Tämä on saattanut vaikuttaa tutkimustuloksiin, ja tulevaisuudessa tutkimuksissa tulisi harkita sekä harjoitteluosuuden pidentämistä että sen perturbaatioiden pienentämistä.

Guggenmos (2021) kritisoi tutkimusartikkelissaan metakognitiota mittaavia tutkimuksia liian alhaisesta trialien määrästä. Artikkelin mukaan trialien määrä on liian alhainen luotettavan test-retest-reliabiliteetin arvioimiseen. Kritiikki osuu myös tähän tutkimukseen, joskin tämän tutkimuksen tulokset ovat Guggenmosin (2021) johtopäätöksistä huolimatta lupaavia; pienempikin määrä suoritettavia trialeita saattaa riittää luotettavan tutkimustuloksen saamiseksi. Tutkimustulos tulisi kuitenkin tulevaisuudessa tutkimuksissa varmistaa tarkastelemalla ilmiötä suuremmalla otoskoolla. Guggenmosin (2021) tutkimuksessaan käyttämä trialimäärä ei myöskään ole suoraan sovellettavissa itse tuotettua puhetta tarkasteleviin tutkimuksiin. Hänen artikkelissaan tutkittiin eri tehtäviä ja aistimodaliteetteja, ja vastaava määrä trialeita ei oman puheen havaitsemisen metakognitiota

mittaavissa tutkimuksissa olisi ainakaan näin toteutettuna mielekäs. Toistuvat, pitkät äännöt rasittavat tutkittavien ääntöelimistöä ja laskisivat todennäköisesti tutkimukseen osallistumisen mielekkyyttä. Koska Guggenmosin (2021) artikkelissa havaittiin M_{ratio} :n arvojen nousevan, mitä enemmän trialeita kokeeseen sisältyi, ja mitä parempi tyyppin 1 suoriutuminen on ollut, tulisi tulevaisuudessa tutkimuksissa kokeen pituuteen ja vaikeustasoon kiinnittää huomiota. Ensiarvoisen tärkeää olisi kuitenkin ensin luoda toimiva portaikkoasetelma, sillä sen vaikutus kaikkiin mielenkiinnon kohteena olevien muuttujien arvoihin on huomattava.

Musiikin harrastuneisuutta kartoittavan kyselyn täyttämisaikajako tulisi tulevaisuudessa harkita uudelleen. Nyt kysely täytettiin ensimmäisen tutkimuskerran aluksi, mikä on saattanut vaikuttaa ihmisten suhtautumiseen tutkimukseen ja sen vaikeustasoon aiheuttaen näin riskin vastausvinoumien kehittymiseen. Sellaiset ihmiset, joilla on musiikkikokemusta, ovat saattaneet olla kyselyn täyttämisen jälkeen tavallista itsevarmempia, kun taas kyselyn täyttämällä on saattanut olla päinvastainen vaikutus henkilölle, joka on lomakkeella vastannut, ettei hänellä ole lainkaan musiikkikokemusta. Vaikka signaalidetektioteorian avulla kriteerin vaikutusta pyritään minimoimaan, sitä ei voida sulkea kokonaan pois. Tämä on tärkeä asia huomioida tuloksia tarkasteltaessa, sillä kriteeriarvon muutos ei kuvaa muutosta havaitsemiskyvyssä vaan kertoo vastaustyylin muuttumisesta.

Tämän tutkimuksen aineistossa oli tutkittavia, joiden tulosten perusteella on syytä epäillä, että on mahdollista huomata ero äänenkorkeudessa kykenemättä määrittelemään, onko se ollut itse tuotettua ääntä korkeampi vai matalampi. Onkin siksi aiheellista kyseenalaistaa tutkimuksen validiteettia näiltä osin ja pohtia, mittasiko koeasetelma tyyppin 1 havaitsemista parhaalla mahdollisella tavalla. Tulevaisuudessa tutkimuksissa asetelmaa voisi siksi olla hedelmällistä kehittää niin, että tutkittavien ei välttämättä tarvitsisi enää tunnistaa muutoksen suuntaa oikein vaan pelkästään muutoksen havaitseminen riittäisi. Tällaisissa tehtävissä voitaisiin esimerkiksi esittää tutkittaville kaksi tilannetta, joissa toisessa tutkittavan ääntä perturboidaan, ja tämän tehtävänä on tunnistaa, kummassa äännössä perturbaatio tapahtui.

4.4.3 Metakognitionin mittaaminen

Metakognitionin puhdas mittaaminen on haasteellista (Fleming & Lau, 2014; Xue ym., 2021). Yksi suurimmista haasteista on tyyppin 1 vastausten vaikutusten erottaminen metakognitiivisista kyvyistä. Ilman tyyppin 1 vastauksia, tyyppin 2 tehtävään vastaaminen on kuitenkin mahdotonta. Tämän tutkimuksen tuloksia tarkastellessa on hyvä muistaa, ettei Maniscalcon ja Laun (2012; 2014)

kehittämä mittari, meta-d', ole täydellinen, vaikka se onnistuu monia muita menetelmiä paremmin minimoimaan tyypin 1 vastausten vaikutusta tuloksiin (Guggenmos, 2021; Xue ym., 2021). Koska tyypin 1 vastausten vaikutuksia ei täysin voida poissulkea, olisi tulevissa tutkimuksissa tärkeää pyrkiä onnistuneesti vakioimaan kaikille tutkittaville yhtenevä tyypin 1 havaintokynnys.

On vielä epäselvää, yleistyykö metakognitiivinen kyvykkyys tehtävien ja aistimodaliteettien välillä, ja tutkimustieto aiheesta on ollut ristiriitaista (Baird ym., 2013; Fitzgerald ym., 2017; McCurdy ym., 2013; Samaha & Postle, 2017; Song ym., 2011). Viimeaikaisissa tutkimuksissa on tarkasteltu koeasetelman vaikutusta mittaustuloksiin ja havaittu, että tehtävätyypillä on merkitystä tulosten yleistettävyyteen (Guggenmos, 2021; Lee ym., 2018). Lee ja kumppanit (2018) havaitsivat psykofyysinen tehtävätyypin ”kahden vaihtoehdon pakkovalinta” (*2AFC, two-alternative-forced choice*) toimivan muita käytettyjä mittaamenetelmiä parempana metakognition mittarina. Sitä pidetään tarkempana mittarina kuin tässä kokeessa käytettyä yhden intervallin diskriminaatiotehtävää, sillä se minimoi vastauskriteerin vaikutuksen tuloksiin. Kyse ei niinkään ole siitä, että tässä tutkimuksessa käytetty tehtävätyyppi olisi huono, mutta metakognition mittaamiseen meta-d':n avulla 2AFC-koeasetelman on todettu olevan soveltuvim (Maniscalco & Lau, 2014). Koetta rakentaessa myös vastauksen antamistapaan tulisi kiinnittää huomiota; tämän tutkimuksen koeasetelmassa tyypin 1 ja 2 kysymyksiin vastattiin erillisinä kysymyksinä, mutta Guggenmos (2021) havaitsi sen heikentävän M_{ratio} :n test-retest-reliabiliteettia merkittävästi verrattuna tilanteeseen, jossa vastaukset annetaan samaan aikaan ($r=.83$ vs. $r=.51$).

M_{ratio} vaikuttaisi kuitenkin tulosten perusteella varsin onnistuneesti mittaavan metakognitiivista kyvykkyyttä, ja sitä voisi tulevissa tutkimuksissa vastedeskin hyödyntää. Jo tämän, koeasetelman kannalta joltain osin epäonnistuneen, kokeen tulokset tukevat väitettä; vaikka tyypin 1 tehtävän vastauksissa eli d':n arvoissa oli paljon hajontaa, joka näkyi myös meta-d':n tuloksissa, M_{ratio} :n arvot olivat rohkaisevia. Näiden perusteella voidaan varovasti olettaa M_{ratio} :n toimivan Maniscalcon ja Laun (2012) hypoteesin mukaan ja tarkastelevan puhtaammin juuri metakognitiota ilman havaintokyvyn vaikutusta tuloksiin.

4.5 Jatkotutkimusehdotuksia

Tämän pilottitutkimuksen myötä on saatu rohkaisevia tuloksia koeasetelman soveltumisesta itse tuotetun puheen havaitsemisen ja sen metakognition tutkimiseen. Tulevissa tutkimuksissa tulisi kuitenkin edellä mainittujen kehityskohteiden huomioimisen lisäksi myös huomattavasti kasvattaa otoskokoa. Aihetta käsittelevän tutkimustiedon puute on valtaisa, joten logopedian alan

tutkimustiedon ja puheterapeuttien ammattiosaamisen kartuttamiseksi aihetta olisi tärkeää tutkia enemmän.

Tämä pro gradu -tutkielma tehtiin osana tutkimusprojektia, jonka tavoitteena on selvittää, miten Parkinsonin tautia sairastavat henkilöt havaitsevat itsetuotettua puhetta, ja miten prosessi on häiriintynyt suhteessa ei-patologiseen itse tuotetun puheen havaitsemiseen. Tulevaisuudessa olisikin perusteltua tarkastella, vaikuttaako Parkinsonin tautiin liitetty puheen havaintovinouma puheeseen, ja auttaisiko havaintovinouman korjaaminen voimistamaan Parkinson-potilaiden puheäänän voimakkuutta. Tutkimusnäytön lisääminen voisi parantaa jo olemassa olevien, samaa periaatetta hyödyntävien, kuntoutusmuotojen kuten LSVT LOUD[®]:n (Ramig ym., 2018) ja SPEAK OUT![®] -terapian (Behrman ym., 2020) vaikuttavuutta, ja parantaa tieteeseen perustuvien kuntoutuskeinojen yleistymistä osaksi puheterapiakäytäntöjä.

Koska intervallien erottelukokemus vaikutti ennustavan parempaa äänenkorkeuden muutosten havaitsemiskykyä tutkittavilla, olisi mielenkiintoista tutkia, onko havainto yleistettävissä myös suurempaan populaatioon. Tulevaisuutta ajatellen olisi myös kiinnostavaa tarkastella, vaikuttaako Parkinsonin taudissa esiintyvien puheoireiden esiintymiseen heidän musikaalinen taustansa – toimiiko kokemus musiikin harrastamisesta eräänlaisena puskurina puheoireiden ilmenemiselle, ja säilyykö heidän kykynsä säädellä ja havaita itse tuottamaansa puhetta keskimääräistä kauemmin. Musiikin harrastuneisuuden vaikutusta itse tuotetun puheen havaitsemiseen voitaisiin tarkastella myös terveessä väestössä. Tutkimustulokset antavat viitteitä siitä, että kuulopalautejärjestelmän toiminta olisi musikaalisilla ihmisillä nopeampaa kuin sellaisilla ihmisillä, joilla ei juurikaan ole musiikkikokemusta (Korzyukov, 2012). Musiikin harrastuneisuudella on havaittu olevan vaikutusta paitsi kykyyn tunnistaa eroja äänenkorkeudessa (Micheyl ym., 2006), myös aivojen rakenteisiin (Musacchia ym., 2007), ja varsinkin laulukokemuksen on havaittu parantavan äänentuoton sensorimotorista kontrollia (Wang ym., 2019). Jos musiikin harrastuneisuudella saadaan aikaan selkeitä eroja aistijärjestelmien toiminnassa, tulisi sen soveltamista kuntoutukseen harkita aiempaa laajemmin.

Metakognitiivisten kykyjen mittaamiseen tähän mennessä käytettyjä menetelmiä on kritisoitu siitä, että ne eivät huomioi vastausvarmuudessa mahdollisesti esiintyviä vääristymiä. Ensimmäiset metakognitiivisen tiedon prosessointia mallintamaan kehitetyt mallit (Boundy-Singer ym., 2023; Shekhar & Rahnev, 2021) ovat pyrkineet korjaamaan asian, ja ne esittelevät kaksi uutta metakognitiivisia kykyjä kuvailevaa parametriä: meta-noise:n (Shekhar & Rahnev, 2021) ja meta-uncertainty:n (Boundy-Singer ym., 2023). Toistaiseksi yksikään metakognitiota mittaava menetelmä ei kuitenkaan ole osoittautunut paremmaksi kuin ”kultaisen standardin” aseman vakiinnuttanut M_{ratio}

(Rahnev, 2023). Tulevissa tutkimuksissa tulisi kuitenkin pyrkiä M_{ratio} :n lisäksi hyödyntämään myös näitä uusia menetelmiä, jotta pystyttäisiin mittaamaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ja puhtaasti juuri metakognitiivista kapasiteettia.

4.6 Lopuksi

Tutkimuksen tavoitteena oli esitellä ja testata koeasetelmaa, jonka avulla voitaisiin kokeellisesti ja signaalidetektioiteoriaa hyödyntäen tutkia puheentuottoa ja oman kuulopalautteen tyyppin 1 ja 2 havaitsemista. Vaikka otoskoko oli pieni, tutkimuksen test-retest-reliabiliteetti oli monelta osin kohtalaisen hyvä, ja koeasetelmaa pystytään tämän tutkimuksen tulosten perusteella muovaamaan aiempaa toimivammaksi. Itse tuotetun puheen havaitsemisen tarkempi tutkiminen on tärkeää, sillä tutkimustieto aiheesta voisi paitsi parantaa ymmärrystä puheterapeuttien asiakasryhmillä esiintyvien häiriöiden taustasyistä, myös toimia pohjana uusien arviointi- ja kuntoutusmenetelmien kehitykselle. Logopedia on nuori tieteenala, ja tarve alaan liittyvälle tieteelliselle tutkimukselle on kiistaton. Tätä koeasetelmaa kehittämällä ja soveltamalla voidaan saada uutta tietoa sekä puheen palautejärjestelmien normaalista toiminnasta itse tuotetun puheen aikana että siihen vaikuttavista tekijöistä ja patologioista, jotka aiheuttavat sen toiminnan häiriintymistä.

LÄHTEET

- Alemi, R., Lehmann, A., & Deroche, M. L. (2020). Adaptation to pitch-altered feedback is independent of one's own voice pitch sensitivity. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–20. <http://doi.org/10.1038/s41598-020-73932-1>
- Baird, B., Smallwood, J., Gorgolewski, K. J., & Margulies, D. S. (2013). Medial and lateral networks in anterior prefrontal cortex support metacognitive ability for memory and perception. *Journal of Neuroscience*, *33*(42), 16657–16665. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0786-13.2013>
- Banai, K., Fisher, S., & Ganot, R. (2012). The effects of context and musical training on auditory temporal-interval discrimination. *Hearing research*, *284*(1–2), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2011.12.002>
- Behrman, A., Cody, J., Elandary, S., Flom, P., & Chitnis, S. (2020). The effect of SPEAK OUT! and the LOUD crowd on dysarthria due to Parkinson's disease. *American journal of speech-language pathology*, *29*(3), 1448–1465. https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-19-00024
- Bidelman, G. M., Krishnan, A., & Gandour, J. T. (2011). Enhanced brainstem encoding predicts musicians' perceptual advantages with pitch. *European Journal of Neuroscience*, *33*(3), 530–538. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2010.07527.x>
- Boundy-Singer, Z. M., Ziemba, C. M., & Goris, R. L. T. (2023). Confidence reflects a noisy decision reliability estimate. *Nature Human Behaviour*, *7*(1), 142–154. <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01464-x>
- Brajot, F. X., Shiller, D. M., & Gracco, V. L. (2016). Autophonic loudness perception in Parkinson's disease. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *139*(3), 1364–1371. <https://doi.org/10.1121/1.4944569>
- Burnett, T. A., Freedland, M. B., Larson, C. R., & Hain, T. C. (1998). Voice F0 responses to manipulations in pitch feedback. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *103*(6), 3153–3161. <https://doi.org/10.1121/1.423073>
- Cai, S., Boucek, M., Ghosh, S. S., Guenther, F. H., & Perkell, J. S. (2008). A system for online

dynamic perturbation of formant frequencies and results from perturbation of the Mandarin triphthong /iau/. In Proceedings of the 8th Intl. Seminar on Speech Production, Strasbourg, France, Dec. 8–12, 2008. 65–68.

- Chen, S. H., Liu, H., Xu, Y., & Larson, C. R. (2007). Voice F₀ responses to pitch-shifted voice feedback during English speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *121*(2), 1157–1163. <https://doi.org/10.1121/1.2404624>
- Cooke, M. (2006). A glimpsing model of speech perception in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *119*(3), 1562–1573. <https://doi.org/10.1121/1.2166600>
- Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. I. (2000). Executive attention and metacognitive regulation. *Consciousness and Cognition*, *9*(2), 288–307. <https://doi.org/10.1006/ccog.2000.0447>
- Fitzgerald, L. M., Arvaneh, M., & Dockree, P. M. (2017). Domain-specific and domain-general processes underlying metacognitive judgments. *Consciousness and Cognition*, *49*, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.01.011>
- Fleming, S. M. & Lau, H. (2014). How to measure metacognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1–9. <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2014.00443>
- Fox, C. M. & Ramig, L. O. (1997). Vocal sound pressure level and self-perception of speech and voice in men and women with idiopathic Parkinson disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *6*(2), 85–94. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0602.85>
- Fox, C. M., Morrison, C. E., Ramig, L. O., & Sapir, S. (2002). Current perspectives on the Lee Silverman voice treatment (LSVT) for individuals with idiopathic Parkinson disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *11*(2), 111–123. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2002/012\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2002/012))
- Franken, M. K., Acheson, D. J., McQueen, J. M., Eisner, F., & Hagoort, P. (2017). Individual variability as a window on production-perception interactions in speech motor control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *142*(4), 2007. <https://doi.org/10.1121/1.5006899>
- Franken, M. K., Eisner, F., Acheson, D. J., McQueen, J. M., Hagoort, P., & Schoffelen, J. M. (2018).

- Self-monitoring in the cerebral cortex: Neural responses to small pitch shifts in auditory feedback during speech production. *NeuroImage*, 179, 326–336. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.06.061>
- Green, D. M. & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*, 1, 1969–2012. New York: Wiley.
- Guenther, F. H. & Vladusich, T. (2012). A neural theory of speech acquisition and production. *Journal of neurolinguistics*, 25(5), 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2009.08.006>
- Guggenmos, M. (2021). Measuring metacognitive performance: type 1 performance dependence and test-retest reliability. *Neuroscience of consciousness*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1093/nc/niab040>
- Hain, T. C., Burnett, T. A., Kiran, S., Larson, C. R., Singh, S., & Kenney, M. K. (2000). Instructing subjects to make a voluntary response reveals the presence of two components to the audio-vocal reflex. *Experimental Brain Research*, 130, 133–141. <https://doi.org/10.1007/s002219900237>
- Hafke, H. Z. (2008). Nonconscious control of fundamental voice frequency. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 273–278. <https://doi.org/10.1121/1.2817357>
- Ho, A. K., Bradshaw, J. L., & Ianssek, R. (2000). Volume perception in parkinsonian speech. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 15(6), 1125–1131. [https://doi.org/10.1002/1531-8257\(200011\)15:6<1125::aid-mds1010>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/1531-8257(200011)15:6<1125::aid-mds1010>3.0.co;2-r)
- Ho, A. K., Bradshaw, J. L., Ianssek, R., & Alfredson, R. (1999). Speech volume regulation in Parkinson's disease: effects of implicit cues and explicit instructions. *Neuropsychologia*, 37(13), 1453–1460. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00067-6)
- Hu, H., Liu, Y., Guo, Z., Li, W., Liu, P., Chen, S., & Liu, H. (2015). Attention modulates cortical processing of pitch feedback errors in voice control. *Scientific Reports*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep07812>
- Huang, X., Chen, X., Yan, N., Jones, J. A., Wang, E. Q., Chen, L., Guo, Z., Li, W., Liu, P., & Liu,

- H. (2016). The impact of Parkinson's disease on the cortical mechanisms that support auditory– motor integration for voice control. *Human Brain Mapping, 37*(12), 4248–4261. <https://doi.org/10.1002/hbm.23306>
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., & Leppänen, P. H. (2013). Basic auditory processing deficits in dyslexia: systematic review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of learning disabilities, 46*(5), 413–427. <https://doi.org/10.1177/0022219411436213>
- Iimura, D., Asakura, N., Sasaoka, T., & Inui, T. (2019). Abnormal sensorimotor integration in adults who stutter: A behavioral study by adaptation of delayed auditory feedback. *Frontiers in Psychology, 10*, 2440. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02440>
- Keough, D., Hawco, C., & Jones, J. A. (2013). Auditory-motor adaptation to frequency-altered auditory feedback occurs when participants ignore feedback. *BMC neuroscience, 14*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-25>
- Kishon-Rabin, L., Amir, O., Vexler, Y., & Zaltz, Y. (2001). Pitch discrimination: Are professional musicians better than non-musicians? *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology, 12*(2), 125–144. <https://doi.org/10.1515/jbcpp.2001.12.2.125>
- Korzyukov, O., Karvelis, L., Behroozmand, R., & Larson, C. R. (2012). ERP correlates of auditory processing during automatic correction of unexpected perturbations in voice auditory feedback. *International Journal of Psychophysiology, 83*(1), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.10.006>
- Kraus, N. & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature reviews neuroscience, 11*(8), 599–605. <https://doi.org/10.1038/nrn2882>
- Kwan, L. C. & Whitehill, T. L. (2011). Perception of speech by individuals with Parkinson's disease: a review. *Parkinson's Disease, 2011*. <https://doi.org/10.4061/2011/389767>
- Lee, A. L., Ruby, E., Giles, N., & Lau, H. (2018). Cross-domain association in metacognitive efficiency depends on first-order task types. *Frontiers in Psychology, 9*, 2464. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02464>
- Levelt, W. J. (1992). Accessing words in speech production: Stages, processes and representations. *Cognition, 42*(1–3), 1–22. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90038-J](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90038-J)

- Liu, Y., Hu, H., Jones, J. A., Guo, Z., Li, W., Chen, X., Liu, P., & Liu, H. (2015). Selective and divided attention modulates auditory–vocal integration in the processing of pitch feedback errors. *European journal of neuroscience*, *42*(3), 1895–1904. <https://doi.org/10.1111/ejn.12949>
- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (2004). *Detection theory: A user's guide*. Psychology press.
- Maniscalco, B. (2014). Type 2 signal detection theory analysis using meta-d'. Haettu 2.5.2023 osoitteesta <http://www.columbia.edu/~bsm2105/type2sdt/>
- Maniscalco, B. & Lau, H. (2012). A signal detection theoretic approach for estimating metacognitive sensitivity from confidence ratings. *Consciousness and cognition*, *21*(1), 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.09.021>
- Maniscalco, B. & Lau, H. (2014). Signal detection theory analysis of type 1 and type 2 data: meta-d', response-specific meta-d', and the unequal variance SDT model. *The cognitive neuroscience of metacognition*, 25–66. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45190-4_3
- Martin, C. D., Niziolek, C. A., Duñabeitia, J. A., Perez, A., Hernandez, D., Carreiras, M., & Houde, J. F. (2018). Online adaptation to altered auditory feedback is predicted by auditory acuity and not by domain-general executive control resources. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*(91), <http://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00091>
- McCurdy, L. Y., Maniscalco, B., Metcalfe, J., Liu, K. Y., De Lange, F. P., & Lau, H. (2013). Anatomical coupling between distinct metacognitive systems for memory and visual perception. *Journal of Neuroscience*, *33*(5), 1897–1906. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1890-12.2013>
- Micheyl, C., Delhommeau, K., Perrot, X., & Oxenham, A. J. (2006). Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination. *Hearing research*, *219*(1–2), 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2006.05.004>
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(40), 15894–15898. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701498104>
- Opetushallitus. (2017). *Musiikki taiteen perusopetuksessa (2017–)*. (Haettu 15.5.2023). <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/musiikki-taiteen-perusopetuksessa-2017>

- Postma, A. (2000). Detection of errors during speech production: A review of speech monitoring models. *Cognition*, 77(2), 97–132. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00090-1)
- Ramig, L. O., Halpern, A., Spielman, J., Fox, C., & Freeman, K. (2018). Speech treatment in Parkinson's disease: Randomized controlled trial (RCT). *Movement Disorders*, 33(11), 1777–1791. <https://doi.org/10.1002/mds.27460>
- Rahnev, D. (2023). Measuring metacognition: A comprehensive assessment of current methods. <https://doi.org/10.31234/osf.io/waz9h>
- Richards, S. & Goswami, U. (2015). Auditory processing in specific language impairment (SLI): Relations with the perception of lexical and phrasal stress. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(4), 1292–1305. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-L-13-0306
- Rouault, M., McWilliams, A., Allen, M. G., & Fleming, S. M. (2018). Human metacognition across domains: insights from individual differences and neuroimaging. *Personality neuroscience*, 1, e17. <https://doi.org/10.1017/pen.2018.16>
- Salmela, V., Kurki, I., & Laurinen, P. (2006). Psykofysiikka. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo, (toim.), *Mieli ja aivot* (s. 33–42). Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus, Turun yliopisto.
- Samaha, J. & Postle, B. R. (2017). Correlated individual differences suggest a common mechanism underlying metacognition in visual perception and visual short-term memory. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1867), <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2035>
- Scheerer, N. E. & Jones, J. A. (2018). Detecting our own vocal errors: An event-related study of the thresholds for perceiving and compensating for vocal pitch errors. *Neuropsychologia*, 114, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.12.007>
- Schmidt, R. W. (1990). The role of consciousness in second language learning1. *Applied linguistics*, 11(2), 129–158. <https://doi.org/10.1093/applin/11.2.129>
- Shekhar, M. & Rahnev, D. (2021). The nature of metacognitive inefficiency in perceptual decision making. *Psychological Review*, 128(1), 45–70. <https://doi.org/10.1037/rev0000249>
- Spiegel, M. F. & Watson, C. S. (1984). Performance on frequency-discrimination tasks by musicians

- and nonmusicians. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(6), 1690–1695. <https://doi.org/10.1121/1.391605>
- Song, C., Kanai, R., Fleming, S. M., Weil, R. S., Schwarzkopf, D. S., & Rees, G. (2011). Relating inter-individual differences in metacognitive performance on different perceptual tasks. *Consciousness and cognition*, 20(4), 1787–1792. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.12.011>
- Tourville, J. A., Cai, S., & Guenther, F. H. (2013). Exploring auditory-motor interactions in normal and disordered speech. Proceedings of Meeting on Acoustics. 9:060180. Presented at the 165th Meeting of the Acoustical Society of America, Montreal, Quebec, Canada, June 2 – June 7, 2013. <https://doi.org/10.1121/1.4800684>
- Tourville, J. A. & Guenther, F. H. (2011). The DIVA model: A neural theory of speech acquisition and production. *Language and cognitive processes*, 26(7), 952–981. <https://doi.org/10.1080/01690960903498424>
- Wang, W., Wei, L., Chen, N., Jones, J. A., Gong, G., & Liu, H. (2019). Decreased gray-matter volume in insular cortex as a correlate of singers' enhanced sensorimotor control of vocal production. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 815. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00815>
- Watson, A. B. & Pelli, D. G. (1983). Quest: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, 33, 113–120. <https://doi.org/10.3758/BF03202828>
- Xue, K., Shekhar, M., & Rahnev, D. (2021). Examining the robustness of the relationship between metacognitive efficiency and metacognitive bias. *Consciousness and cognition*, 95, 103196. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103196>
- Zarate, J. M., Wood, S., & Zatorre, R. J. (2010). Neural networks involved in voluntary and involuntary vocal pitch regulation in experienced singers. *Neuropsychologia*, 48(2), 607–618. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.025>
- Zarate, J. M. & Zatorre, R. J. (2008). Experience-dependent neural substrates involved in vocal pitch regulation during singing. *NeuroImage*, 40(4), 1871–1887. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.01.026>
- Zatorre, R. J. & Baum, S. R. (2012). Musical melody and speech intonation: singing a different tune. *PLoS biology*, 10(7), e1001372. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001372>