

**Itse tuotetun äänen taajuuden muutokset havaitaan  
herkemmin äänen tuoton kuin äänitteeltä kuuntelun aikana**

Anna Salonen ja Mirella Tuomisto

Pro gradu –tutkielma

Ohjaaja: Henry Railo

Turun yliopisto

Psykologian ja logopedian laitos

Logopedia

Tammikuu, 2024

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos / Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

SALONEN, ANNA & TUOMISTO, MIRELLA: Itse tuotetun äänen taajuuden muutokset havaitaan herkemmin äänen tuoton kuin äänitteeltä kuuntelun aikana

Pro gradu -tutkielma, 30 s.

Logopedia

Tammikuu, 2024

Puheen tuoton säätely ja auditiivinen palautejärjestelmä ovat jo pitkään olleet tutkijoiden kiinnostuksen kohteina. Puheen tuoton säätelyn nähdään olevan automaattista ja pitkälti tiedostamatonta, mutta myös tahdonalaista säätelyä tarvitaan esimerkiksi uutta kieltä opetellessa. Aiemmissa tutkimuksissa on huomattu, että ihminen havaitsee jo hyvin pieniä äänen taajuuden muutoksia itse tuottamassaan puheessa. Epäselvää on vielä miten muutosten havaitseminen eroaa puheen tuoton ja puheen kuuntelun aikana. Aiempaa tutkimusta ei juurikaan ole, mutta vähäisten tulosten sekä puheen tuoton DIVA-mallin toiminnan perusteella voidaan olettaa, että muutosten havaitseminen olisi tarkempaa ääntämisen aikana.

Tämän Pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli tarkastella koehenkilöiden kykyä havaita äänenkorkeuden muutos itsetuotetussa puheessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin koehenkilöiden herkkyyttä havaita auditiivisesta palautteesta muutos puheäänien perustaajuudessa (F0). Tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita varsinkin siitä, miten kyky havaita muutos äänenkorkeudessa eroaa äänen tuoton aikana verrattuna tilanteeseen, jossa oma ääni kuullaan nauhoitteelta. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, onko koehenkilön musiikkiharrastuksella yhteyttä herkkyyteen havaita äänenkorkeuden muutos kuulopalautteessaan. Tutkimuksen aineisto kerättiin keväällä 2023.

Tutkimuksessa tarkasteltiin 61 19-66-vuotiaasta koehenkilöä. Koe jaettiin kahteen osaan, josta ensimmäisellä kerralla koehenkilöiden tehtävänä oli ääntää mikrofoniin 200 kertaa /u/ omalla puheen perustaajuudellaan (F0). Koehenkilöiden kuulokkeiden kautta reaaliajassa kuulemaan ääntöön tehtiin laitteistolla 200 ms pituinen äänen taajuuden muutos. Perturbaatioiden suuruudet vaihtelivat tehtävästä riippuen 5-65 sentin välillä. Koehenkilöiden tehtävänä oli ilmoittaa, kumman osion aikana he kuulivat perturbaation jokaisen äännön aikana. Toisella kerralla koehenkilöiden tuli kuunnella äänitteeltä itse tuottamansa äännöt ja valita jälleen missä kohtaa he havaitsivat perturbaation.

Koehenkilöiden todettiin havaitsevan muutokset itsetuotetussa äänessä herkemmin puheen tuoton aikana kuin tilanteessa, jossa omaa ääntä kuullaan nauhalta. Soitto- tai lauluharrastuksella, musiikin opinnoilla ja intervallien kuulonvaraisella erottelukokemuksella ei havaittu olevan yhteyttä herkkyyteen havaita muutoksia itsetuotetussa äänessä äänentuoton tai kuuntelun aikana. Jatkossa koeasetelmalla voidaan selvittää perturbaatioiden tunnistamista suhteessa ikään ja sukupuoleen, sekä tutkia kognitiivisen tason ja muistisairauksien vaikutusta perturbaatioiden havaitsemiseen. Musikaalisuuden vaikutusta diskriminaatioon voisi paremmin selvittää valitsemalla koehenkilöiksi musiikinopiskelijoita ja itseään epämusikaalisena pitäviä.

**Asiasanat:** puheentuotto, äänentuotto, havaitseminen, perturbaatio, kuulopalaute, auditiivinen palaute, äänen taajuus, äänenkorkeus

## Sisällysluettelo

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Johdanto .....                                                                   | 1  |
| 1.1 Puheen tuotto ja palautejärjestelmä.....                                       | 2  |
| 1.2 Itse tuotetun puheen havaitseminen .....                                       | 4  |
| 1.3 Itse tuotetun puheen havaitseminen Parkinsonin taudissa .....                  | 5  |
| 1.4 Musiikkitaustan vaikutus puheen havaitsemiseen .....                           | 6  |
| 1.5 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset.....                               | 8  |
| 2 Menetelmät.....                                                                  | 10 |
| 2.1 Koehenkilöt.....                                                               | 10 |
| 2.2 Laitteisto.....                                                                | 10 |
| 2.3 Materiaali .....                                                               | 11 |
| 2.5 Aineiston analysointi.....                                                     | 14 |
| 2.6 Tutkimuksen eettisyys.....                                                     | 15 |
| 3 Tulokset.....                                                                    | 16 |
| 3.1 Perturbaatioiden havaitseminen äänen tuoton ja äänitteen kuuntelun aikana..... | 16 |
| 3.2 Musiikkitaustan vaikutus perturbaatioiden havaitsemiseen .....                 | 18 |
| 4 Pohdinta .....                                                                   | 22 |
| 4.1 Tuloksista .....                                                               | 22 |
| 4.2 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset .....                                     | 24 |
| 4.2.1 Koehenkilöt, otoskoko ja tutkimusasetelma .....                              | 24 |
| 4.2.2 Musikaalisuuden mittaaminen .....                                            | 25 |
| 4.3 Jatkotutkimusehdotukset .....                                                  | 26 |
| 4.4 Lopuksi.....                                                                   | 26 |
| Lähteet.....                                                                       | 27 |

# 1 Johdanto

Puheen tuoton motorista säätelyä ja puheen palautteen auditiivista järjestelmää on tutkittu jo kymmeniä vuosia. Auditiivinen palautejärjestelmä havainnoi puheen toteutumista suunnitellusti. Jos tuotettu puhe ei vastaa suunnitelmaa, puhetta muokataan kuulopalautteen perusteella. Puheen tuoton säätelyn nähdään olevan automaattista ja pitkälti tiedostamatonta, mutta esimerkiksi uutta kieltä opiskellessa tuotettujen äänteiden toteutumista tulee havainnoida myös tahdonalaisesti. Jos puheen tuoton säätely on pääasiassa automaattista, on mahdollista, ettei virheitä kuulopalautteessa edes tarvitse havaita tarkasti. Saattaa olla, että äännössä tapahtuvien pienten virheiden havainnointi tietoisesti heikentäisi mahdollisuutta havaita ulkoa tulevia ärsykeitä, joihin ei mahdollisesti reagoitaisi automaattisesti. Tourvillen ja Guentherin (2011) puheentuoton DIVA-mallin mukaan puheen tuottoa ohjailee kaksi järjestelmää; syötejärjestelmä ja palautteeseen perustuva järjestelmä. Vähäisen tutkimuksen vuoksi on vielä epäselvää miten virheitä kuulopalautteessa havainnoidaan ja miten tämä ennustaa herkkyyttä korjata ääntöä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan yksilöiden eroja havaita äänen perustaajuuden (F0) keinotekoinen muutos eli perturbaatio auditiivisessa palautteessa. Yksi tapa tarkastella kykyä havaita muutoksia omassa äännössä, on verrata koehenkilöiden kykyä tunnistaa perturbaatio oman äännön aikana ja silloin kun hän kuulee samat muutokset omasta äännöstä tallennetussa äänitteessä. Selkeä tieteellinen näyttö puuttuu siitä, miten kuulopalautteessa tapahtuvien muutosten havaitseminen eroaa puheen tuoton ja sen kuuntelun aikana.

Olimme myös kiinnostuneita siitä, onko musiikin harrastamisella yhteys herkkyyteen havaita muutoksia kuulopalautteessa. Musiikin harjoittelu ja musikaalisuus tutkitusti vaikuttavat kognitiivisiin taitoihin (Linnavalli, 2022), kykyyn havainnoida muutoksia kuullussa äänenkorkeudessa (Hausen, 2012, Korzyukov ym., 2012; Moreno ym., 2009) ja sävelkorkeudessa (Habibi ym., 2016), sekä tarkkuuteen muokata omaa ääntöä motorisen kontrollin avulla (Zarate ym., 2010). Musiikin vaikutuksia itse tuotetun puheen ja äännön aikaiseen kontrolliin on tutkittu vain vähän, joten tarkastelimme onko musiikkitaustalla vaikutusta kykyyn havaita perturbaatioita itse tuotetussa äänessä äänentuoton aikana.

Puheen tuoton ja siihen vaikuttavan kuulopalautejärjestelmän ymmärtäminen ja tutkiminen on logopedian alalle tärkeää, sillä tietoa voidaan hyödyntää kliinisessä työssä hoidon ja kompensatiokeinojen kehittämisessä, sekä jo käytössä olevien menetelmien perustelemiseksi tieteellisellä näytöllä. Puheentuoton ja kuulopalautteen poikkeavan käsittelyn ja säätelyn arvellaan

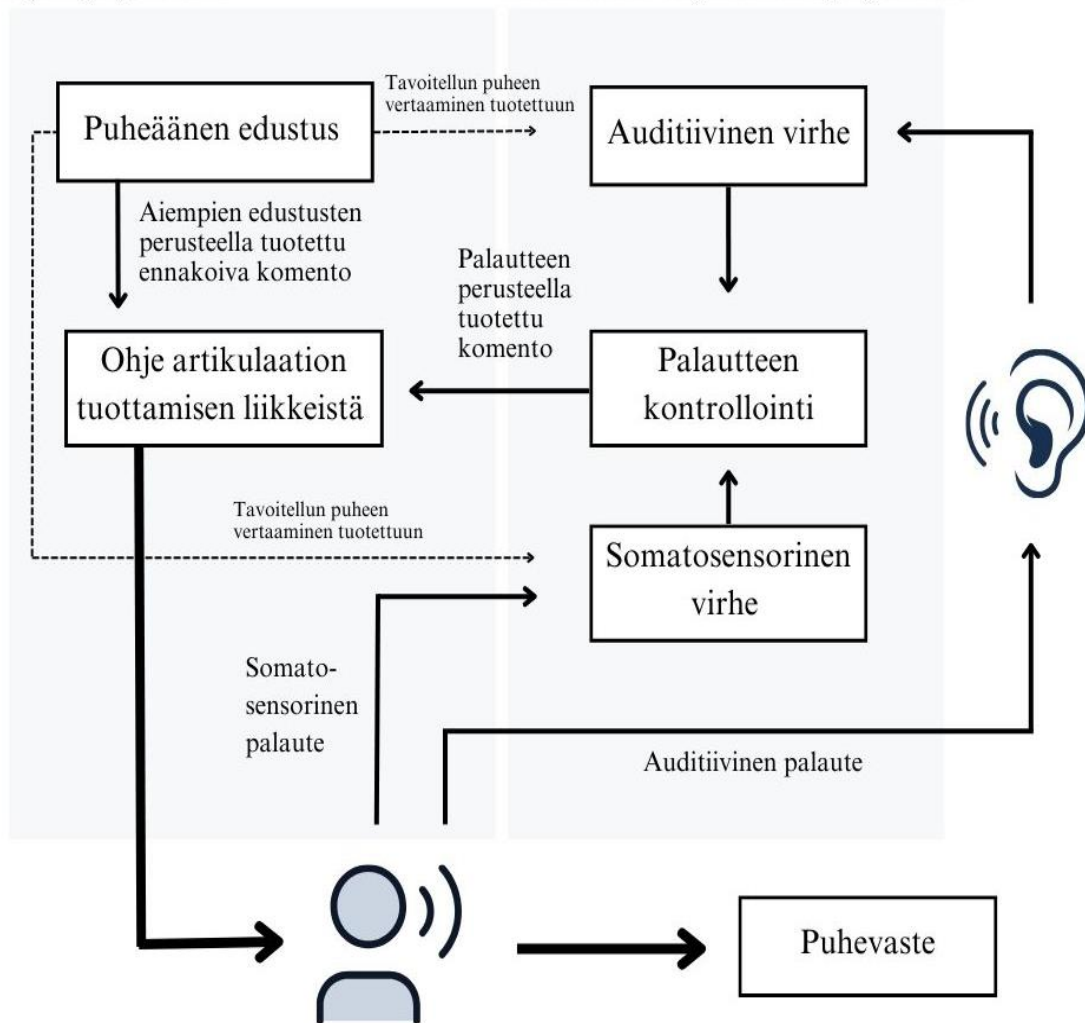
olevan taustalla esimerkiksi Parkinsonin taudin hypokineettisessä dysartriassa (Ho ym, 2008). Lisäksi puhemotorisen kontrollin FAF-menetelmää (*frequency altered feedback*), jossa koehenkilön kuulemaa omaa ääntä muokataan äänentaajuuden suhteen, on käytetty onnistuneesti änkytyksen kuntoutuksessa (Stuart ym., 2008; Lincoln, Packman, & Onslow, 2006). Tämä pro gradu –tutkielma on osa Henry Railon tutkimusprojektia ”Oman puheen metakognitiivinen arviointi Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä ihmisillä: Interventiotutkimus”, jossa tutkitaan miten terveet ja Parkinsonin tautia sairastavat henkilöt havaitsevat itse tuottamaansa puheääntä ja miten erot kyvyssä havaita omaa puheääntään vaikuttavat puheen tuottoon.

### **1.1 Puheen tuotto ja palautejärjestelmä**

Puheen tuotto on monimutkainen prosessi, johon osallistuu useita eri aivoalueita. Näiden aivoalueiden yhteistyötä on pyritty kuvaamaan erilaisten mallien avulla. Kuvassa 1 esitetään Tourvillen ja Guentherin (2011) kehittämän puheen tuoton DIVA-mallin (*Directions Into Velocities of Articulators*) rakenne ja toiminta pelkistetyksi. DIVA-malli on laskennallinen neuroanatominen malli, joka kuvaa puheen tuottoon osallistuvien aivoalueiden toimintaa puheen tuoton aikana. Mallin mukaan puheen tuottoa ohjailee kaksi järjestelmää; syötejärjestelmä (*feedforward control subsystem*) ja palautteeseen perustuva järjestelmä (*feedback control subsystem*). Puheen tuottoa säädellään sekä tahdonalaisesti (Scheerer & Jones, 2018) että automaattisesti (Hafke ym., 2018). Puheen tuoton tahdonalaista säätelyä käytetään muun muassa laulaessa ja uutta kieltä opetellessa. Näkemystä automaattisesta säätelystä tukee kuitenkin useiden tutkimusten havainnot korjaavien puhevasteiden nopeudesta (Burnett ym., 1997; Chen ym., 2007; Guenther & Vladusich, 2012). DIVA-mallin mukaan palautejärjestelmä havainnoi ja säätelee somatosensorisen ja auditiviisen palautteen perusteella automaattisesti puhevastetta. Palautteet vaikuttavat syötejärjestelmän komentoihin, joiden mukaan puheen tuotossa käytettäville lihaksille välitetään ohje äänteiden tuottamiseen tarvittavista toiminnoista puhevasteen muodostamiseksi.

## Syötejärjestelmä

## Palautteeseen perustuva järjestelmä



Kuva 1 Tourvillen ja Guentherin (2011) kehittämän puheentuoton DIVA-mallin (*Directions Into Velocities of Articulators*) rakenne ja toiminta pelkistetyesti.

Puhemotorinen säätely on riippuvaista sensorisesta palautteesta. Puhuja tarkkailee tiedostamattaan tuottamaansa ääntä auditorisen ja sensomotorisen palautteen perusteella varmistaakseen puheen selkeyden ja yhtenäisyyden, jotta viesti välittyy kuulijalle puhujan suunnitteleamalla tavalla. Jos äänen ominaisuudet eivät toteudu odotetusti, puhuja muokkaa automaattisesti äänen korkeutta ja voimakkuutta. Ilmiötä on tutkittu FAF-menetelmällä (*frequency altered feedback*), jossa koehenkilön kuulemaa omaa ääntä muokataan äänentaajuuden suhteen. Aiemmat tutkimukset osoittavat, että kuulopalautteen äänentaajuutta nostettaessa tai laskettaessa, koehenkilö nostaa tai laskee omaa äänen perustaajuuttaan (F0). Tutkimusten välillä on ristiriitaa sen suhteen muuttaako koehenkilö perustaajuutta samansuuntaisesti vai erisuuntaisesti perturbaation kanssa. Burnett ym.

(1997) ja Hafke (2008) havaitsivat tutkimuksessaan koehenkilöiden kompensoivan ääntä perturbaatiosta päinvastaiseen suuntaan kun taas Scheererin ja Jonesin (2018) tutkimuksessa koehenkilöt muuttivat ääntään perturbaation mukaiseen suuntaan.

FAF-menetelmää hyödynnetään logopedian alalla myös kliinisessä työssä. Menetelmää on käytetty onnistuneesti muun muassa änkytyksen kuntoutuksessa (Stuart ym., 2008; Lincoln, Packman, & Onslow, 2006). Stuartin ym. (2008) tutkimuksessa FAF-menetelmän käyttö vaikutti positiivisesti änkyttävien henkilöiden puheeseen vähentämällä änkytystapahtumien osuutta ja lyhentäen hoidon jälkeisen änkytyksen kestoa sekä änkytyksen kokonaisaikaa ääneen lukemisen aikana. Menetelmän käytöllä oli hyötyä kaikkiin änkytystyyppeihin; sanan tai sen osan toistoon, pidennyksiin sekä äänteen pysähdyksiin. FAF-menetelmän käyttö änkytyksen hoidossa perustuu puheen tuoton palautejärjestelmän mekanismien häiritsemiseen.

## **1.2 Itse tuotetun puheen havaitseminen**

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin itse tuotetun äänen havainnointia äännön sekä pelkän äännön kuuntelun aikana. Itse tuotetun äänen prosessointi puheen tuoton aikana eroaa merkittävästi pelkästään kuullun äänen prosessoinnista (Schneider & Mooney, 2018). Kuuloaivokuoren aktivaatio on vähäisempää äänen tuoton kuin sen kuuntelun aikana (Houde et al. 2002; Numminen & Curio 1999). Tätä on perusteltu sillä, että kuulojärjestelmä käsittelee sekä ympäristön että omien liikkeiden tuottamia ääniä ja motoriset viestit vaimentavat omien liikkeiden tuottamien äänien neuraalisia vasteita tehostaen herkkyyttä havaita ympäristöstä tulevia ääniä (Wang & Eliades, 2008).

Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli tarkastella FAF-menetelmän avulla minkä suuruisia perturbaatioita eli äänen taajuuteen keinotekoisesti tehtyjä muutoksia koehenkilöt havaitsevat itse tuottamassaan äänessä äänentuoton aikana. Aiemmissa tutkimuksissa koehenkilöt ovat havainneet pienimmillään 15–21 sentin kokoisia perturbaatioita (Scheerer & Jones, 2018; Hafke, 2008). Sata senttiä vastaa yhtä puolisävelaskelta. Aiemmissa tutkimuksissa tarkasteltiin lisäksi koehenkilöiden herkkyyttä reagoida perturbaatioon muuttamalla tiedostamattaan tuottamansa äänen taajuutta. Puhemotorinen säätely on erittäin herkkä kuulopalautteessa tapahtuville muutoksille. Koehenkilöt reagoivat muuttamalla tuotetun äänen taajuutta pienimmillään jopa 9-10 sentin kokosiin perturbaatioihin (Scheerer & Jones, 2018; Hafke, 2008). Hafken (2008) sekä Scheererin ja Jonesin (2018) tutkimusten perusteella voidaan päätellä, että puhemotorinen palautejärjestelmä reagoi

herkästi jo hyvin pieniin perturbaatioihin. Scheerer ja Jones (2018) tarkastelivat lisäksi miten perturbaatioiden havaitseminen eroaa äännön aikana verrattuna tilanteeseen, jossa koehenkilöt kuulevat omat ääntönsä nauhalta ja havaitsivat perturbaatioiden tunnistamisen olevan herkempää äänen tuoton aikana. Scheererin ja Jonesin tutkimuksen lisäksi aihetta ei ole juurikaan tarkasteltu, eikä vastaavaa tutkimusasetelmaa löydy aiemmista tutkimuksista.

Puheen havaitsemisen kaksoisreittiteorian mukaan havaitsemisen ajatellaan jakautuvan kahteen eri järjestelmään; motoriseen puhejärjestelmään ja leksikaalis-käsitteelliseen järjestelmään (Hickok, 2012). Motorinen puhejärjestelmä vastaa puheen tuottoon tarvittavista liikkeiden edustuksista ja leksikaalis-käsitteellinen järjestelmä havaittujen sanojen merkityksellisistä edustuksista. Kaksoisreittiteorian perusteella on vielä epäselvää, miten puheen nonverbaaliset ominaisuudet kuten äänenkorkeus havaitaan. Scheererin & Jonesin (2018) ja Hafken (2008) tutkimusten perusteella puheen havaitsemisen motorisen järjestelmän voidaan ajatella olevan herkempi havaitsemaan FAF-menetelmällä esitetyt perturbaatiot kuin havaintoihin perustuvan järjestelmän. Motorisen järjestelmän ajatellaan havaitsevan virhe tuotetussa äänessä ja tuottavan automaattisia korjauksia ääntämiseen. Epäselvää on vielä, mikä tehtävä kuulopalautteen pohjalta tapahtuvalla virheiden havaitsemisella on. Ei tiedetä, miksi virheet havaitaan herkästi, jos motorinen järjestelmä kuitenkin toimii automaattisesti ja tiedostamatta.

### **1.3 Itse tuotetun puheen havaitseminen Parkinsonin taudissa**

Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että Parkinsonin tautia sairastavilla on vaikeuksia havainnoida itse tuotettua puhetta (Ho ym., 2008). Parkinsonin tauti on etenevä liikehäiriösairaus, joka vaikuttaa motoriseen järjestelmään aiheuttaen tyypillisesti lepovapinaa, lihasten jäykkyyttä ja liikkeiden hidastumista. Motoriset oireet ilmenevät myös kasvojen ja suun alueella aiheuttaen ilmeettömyyttä, nielemisvaikeuksia ja puheen tuoton häiriöitä (Fereshtehnejad ym., 2017). Parkinsonin tautiin liittyvät puheentuoton vaikeudet, kuten artikulaatioliikkeiden heikentyminen, monotoninen ja hypotoninen äänenvoimakkuus sekä poikkeava puhenopeus luokitellaan tyypillisesti hypokineettiseksi dysartriaksi (Miller, 2017). Potilaat eivät usein ole tietoisia äänentuottoon liittyvistä oireistaan (Kwan & Whitehill, 2011).

Tautiin ei ole liitetty heikentynyttä kykyä havainnoida ulkoisia ääniä, joten äänenvoimakkuuden poikkeavuuden tunnistamisen vaikeuden ajatellaan liittyvän vain itse tuotettuun ääneen (Adams & Dromey, 2000). Pyydettyäessä koehenkilöitä arvioimaan itse tuottamaansa puhetta äänitteeltä,

Parkinsonin tautia sairastavat arvioivat äänenvoimakkuutensa merkittävästi suuremmaksi kuin terveet koehenkilöt (Ho ym., 2000.). Tutkimusten välillä on ristiriitaa sen suhteen, miten Parkinsonia sairastavat kompensoivat tuottamansa puheen äänenkorkeuden muutoksia. Tautia sairastavat tuottavat joko terveitä koehenkilöitä pienemmän (Mollaei ym., 2013) tai suuremman (Liu ym., 2012) taajuuden korjauksen. Joissakin tutkimuksissa puolestaan ei ole havaittu eroa kompensaatiotasossa terveiden ja Parkinsonin tautia sairastavien välillä (Kiran & Larson 2001).

FAF-menetelmää käytettäessä Parkinsonin tautia sairastavat reagoivat perturbaatioihin terveitä koehenkilöitä suuremmalla äänen taajuuden muutoksella (Mollaei ym., 2019). Parkinson potilaat näyttävät myös havaitsevan perturbaatiot terveitä koehenkilöitä herkemmin äänen tuoton aikana, kun taas äänitteen kuuntelun aikana potilaat havaitsevat perturbaatiot verrokkeja huonommin. (Mollaei ym., 2019). Saattaa olla, että Parkinsonin tautia sairastavat korjaavat ääntöään korostetusti, sillä heidän kuulopalautteensa on herkempi havaitsemaan äänessä tapahtuvat virheet puheen tuoton aikana.

#### **1.4 Musiikkitaustan vaikutus puheen havaitsemiseen**

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ensisijaisesti henkilöiden kykyä havaita muutos äänenkorkeudessa, ja sitä miten se eroaa, kun ääni kuullaan tuoton aikana tai kuunneltaessa ääntä myöhemmin nauhoitteelta. Lisäksi tutkittiin koehenkilön musiikkitaustan vaikutusta näihin kykyihin. Aiempaan tutkimukseen perustuen oli epäselvää, ennustaako musiikkitausta herkkyyttä havaita äänenkorkeuden muutoksia äännössä.

Puheen ja musiikin prosessointi perustuvat kuulonvaraiseen havainnointiin ja sitä käsitellään aivotasolla osin yhteisillä alueilla (Peretz, 2015). Musiikki ja puhe aktivoivat samoja alueita aivojen kuuloalueelta (Rogalsky ym., 2011). Molempien käsittelyssä tarvitaan oikean sävelkorkeuden tuottamiseen ja havainnointiin samoja rakenteita ja mekanismeja sisäkorvan kuuloelimestä aivoihin ja ääntöväylään. Toisaalta Zatorre ja Baum (2012) ehdottavat sävelkorkeuden havainnoinnin ja prosessoinnin eroavan puheen ja musiikin välillä. Heidän mukaansa äänen prosessointi muodostuu kahden erillisen väylän kautta, joista toinen on karkeampaa, suuripiirteisempää analysointia varten ja toinen hienompaa ja tarkempaa analysointia varten, joista jälkimmäistä käytetään pelkästään musiikin työstämiseen.

Musikaalisuudelle ei ole yhtä tiettyä universaalista määritelmää. Musikaalisuutta voidaan kuitenkin tarkastella atomistisesta ja hahmopsykologiaan pohjautuvasta näkökulmasta. Musikaalisuus koostuu atomistisen käsityksen mukaan kyvystä tunnistaa äänen korkeutta, kestoja, voimakkuutta ja värejä. Hahmopsykologiaan pohjautuvan käsityksen mukaan musikaalisuus muodostuu pikemminkin moniulotteisena kokonaisuutena, jossa osa-alueiden piirteet riippuvat toisistaan. (Karma, 1989, Kolehmainen, 2010) Musikaalisuutta ja musiikin havaitsemista voidaan mitata erilaisilla mittareilla, esimerkiksi Kai Karman reseptiivisellä musikaalisuustestillä (Karma, 1993), tai musiikin havaitsemista mittaavalla Montreal Battery of Evaluation of Amusia -testillä, jolla voidaan mitata musiikin havainnointia asteikon, kontuurin, intervallien, rytmin, metriikan ja musiikillisen muistin osalta (MBEA; Peretz ym., 2003).

Musiikkiharrastuksen vaikutusta erilaisiin kognitiivisiin taitoihin on tutkittu jonkin verran. Sen on havaittu vahvistavan esimerkiksi erilaisia kielitaidon osa-alueita, kuten äännetietoisuutta, prosodian havaitsemista ja sanavaraston laajuutta (Linnavalli, 2022). Jo alle kahden vuoden musiikin opiskelu lapsuudessa voi hienosäätää kuulonvaraisen prosessoinnin kykyjä, kuten sävelkorkeuden havaitsemista (Habibi ym., 2016) ja jo puolen vuoden musiikkiopetus lapsen lähtötasosta riippumatta vahvistaa aivokuoren vasteita melodioissa ja lauseissa esiintyville äänenkorkeusmuutoksille (Moreno ym., 2009). On myös havaittu muusikoiden havaitsevan tarkemmin sävelkorkeuden muutoksia puheen prosodiikassa kuin henkilöiden, jotka eivät ole harjoitelleet musiikkia (Sares ym., 2018). Koehenkilöiden suoriutumisen MBEA-testissä huomattiin korreloivan puheen prosodian ja äänenkorkeuden muutosten havaitsemisen kanssa (Hausen, 2012). Korzyukovin ja kumppaneiden (2012) tutkimuksessa koehenkilöt, joilla todettiin paremmat musiikin havainnointikyvyt MBEA -testin avulla, käsittelivät muutokset kuulopalautteessaan muita nopeammin. Laulajia ja ei-laulajia verrattaessa äänen motorinen kontrolli oli laulajilla tarkempi (Zarate ym., 2010).

Tutkimuksessa, jossa koehenkilöt harjoittelivat kuulopalautteen avulla äännön muuttamista, havaittiin muutoksia äänenkorkeuden muuntelussa ja tapahtumasidonnaisessa herätepotentiaalissa jo neljän päivän harjoittelun jälkeen (Patel, 2023). Jonesin ja Keoughn (2008) tutkimuksessa verrattiin laulajien ja ei-laulajien muutoksia äänenkorkeudessa, kun äännön aikana F0-perustaajuutta muutettiin kuulopalautteessa matalammaksi. Tällöin laulajat kompensoivat ääntöään vähemmän suhteessa ei-laulajiin. Lyhyen altistuksen jälkeen molemmat ryhmät tuottivat ääntä kuullen oman äänensä muuttamattomana, jolloin laulajien F0-taajuus oli merkittävästi korkeampi kuin aiempien koetehtävien aikana. Natke ym. (2003) huomasivat kompensatoristen

vasteiden olevat suurempia laulaessa (66 senttiä), kuin puhetta tuottaessa (47 senttiä). Laulaminen saattaa vaatia puheen tuottoa enemmän valppautta kuulopalautteen analysoinnissa. Toisaalta Mürben ja kumppaneiden (2004) tutkimuksessa verrattiin laulunopiskelijoiden äänenkorkeuden kontrolloinnin kykyjä ennen ja jälkeen kolmen vuoden koulutuksen, jolloin eroja ei juurikaan huomattu. Toisaalta tätä voi selittää ammatilliseen laulukouluun hakevien aiempi musikaalinen kokemus, jolloin lähtötilanteessa musiikkia oli todennäköisesti harjoiteltu jo aiemmin.

Aiemmassa Turun yliopiston Pro gradu -tutkielmassa havaittiin musiikkiharrastuksen ja etenkin aiemman kokemuksen intervallien erottelusta parantavan virheiden havaitsemista oman äännön aikana, jolloin musiikkia harrastaneet koehenkilöt havaitsivat pienempiä äänenkorkeuseroja, kuin ne, joilla aiempaa kokemusta intervallien erottelusta ei ollut. Intervalleja harjoitelleilla koehenkilöillä perturbaatioiden aiheuttaman ääntövasteen taajuudessa havaittiin myös pienempää hajontaa kuin verrokeilla. Tämän tutkimuksen otoskoko oli melko pieni, joten tulokset ovat suuntaa antavia. Musiikkiharrastuksen vaikutus ei näyttäytynyt merkitseväenä tarkasteltaessa tutkimuksen varsinaista tutkimuskysymystä itse tuotetun puheen havaitsemisen ja sen metakognition osalta. (Soini, 2023)

### **1.5 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset**

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella koehenkilöiden herkkyyttä havaita äänen taajuuden muutos itse tuotetussa äännössä sekä äännön tuoton että äännön nauhoitteelta kuuntelun aikana. Tutkimuksessa tarkastellaan koehenkilöiden välisiä eroja herkkyydessä havainnoida auditiivisesta palautteesta perturbaatio puheäänien perustaajuudessa (F0). Tavoitteena oli selvittää, miten kyky havainnoida muutos äänenkorkeudessa eroaa ääntämisen aikana verrattuna tilanteeseen, jossa osallistujat kuuntelevat äänitettä omasta ääntämisestään. DIVA-mallin mukaan äännössä tapahtunut virhe havaitaan vertaamalla kuulopalautteen avulla tuotettua ja tarkoitettua ääntä. Tallennettua ääntä havainnoidessa käsitellään pelkästään toteutunutta ääntä, jolloin oma ääntö ei samanaikaisesti vaikuta prosessointiin. DIVA-mallin pohjalta oletuksena on, että perturbaatioiden havaitseminen on tarkempaa ääntämisen aikana. Scheererin ja Jonesin (2018) tulokset tukevat tätä hypoteesia. Tarkastelimme myös, ennustaako musikaalinen tausta herkkyyttä havaita perturbaatiot. Hypoteesina on, että pidempi musiikki- ja lauluharrastus ennustaisi parempaa erottelukykyä. Tutkimuksen aineisto kerättiin keväällä 2023.

Tämän tutkimuksen tutkimuskysymykset olivat:

- 1) Havaitaanko itsetuotettuun ääntöön keinotekoisesti muokattu äänen taajuuden muutos herkemmin ääntämisen aikana verrattuna tilanteeseen, jossa koehenkilö kuulee oman äännön äänitteeltä?
- 2) Vaikuttaako musiikin harrastaminen tai opiskelu herkkyyteen havaita äänen taajuuden muutos itsetuotetussa äännössä?

## 2 Menetelmät

### 2.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöt olivat suomea sujuvasti käyttäviä aikuisia. Tutkimukseen osallistui 65 henkilöä, joista tarkasteltavaksi päätyi yhteensä 61. Koehenkilöt olivat iältään 19–66-vuotiaita. Koehenkilöiden keski-ikä oli 28,6 vuotta (SD 11,4). Tutkimuksessa oli mukana 49 naista ja 12 miestä. Tutkittavat rekrytoitiin Turun yliopiston psykologian ja logopedian opiskelijoiden joukosta, sekä tutkijoiden lähipiiristä. Koehenkilöt saivat tutkimukseen osallistumisesta rahallisen korvauksen tai opintoihin liittyvän koehenkilösuoritusmerkinnän.

Koehenkilöiden sisäänottokriteerit olivat seuraavat: 1) normaali kuulo, 2) normaali tai normaaliksi korjattu näkö, 3) äidinkieli suomi (yksi- tai monikielinen), 4) ei puheeseen tai ääneen vaikuttavia sairauksia tai häiriöitä, 5) ei kurkunpään tai nielun sairauksia ja 6) ei neurologisia sairauksia tai häiriöitä. Koehenkilöiden kuulo mitattiin normaalin kuulon varmistamiseksi. Suomessa käytetään EU-työryhmän laatimaa kuulovikojen määrittelyä, joka perustuu paremman korvan ääneskynnysten keskiarvoon (Jauhiainen ym., 2008). Ääneskynnykset mitataan erikseen taajuuksilla 500, 1 000, 2 000 ja 4 000 Hz ja näistä lasketaan keskiarvo. Normaalikuuloisilla keskiarvo on alle 20db. Tämä kriteeri toteutui kaikilla koehenkilöillä.

### 2.2 Laitteisto

Koehenkilöiden tuottamat äännöt nauhoitettiin Audio -Technica kardioidi kondensaattorimikrofonilla. Koehenkilöt tuottivat äänen noin 2–3 senttimetrin päässä mikrofoniasta. Mikrofonin oli yhdistettynä ulkoiseen MOTU-äänikorttiliitintään (Microbook IIc). Koehenkilöille annettu auditorinen palaute tuotettiin Beyerdynamic-kuulokkeista (DT 770 M 80 ohm) noin 75–80 dB äänenvoimakkuudella.

Koe toteutettiin Psychtoolbox-3:lla (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard & Pelli, 2007) MATLAB R2022a ohjelmalla (The MathWorks Inc.). Perturbaatiot toteutettiin käyttäen Audapter ohjelmistoa (Cai, Boucek, Ghosh, Guenther & Perkell, 2012). Jotta voitiin varmistaa, että ääntöihin tuotetut perturbaatiot eroavat ainoastaan äänenkorkeuden suhteen, auditorinen palaute välitettiin Audapterin kautta koko äännön aikana, mutta äänenkorkeuden muutos lisättiin ainoastaan perturbaatiojakson aikana. Ohjeet ja muu kokeeseen liittyvä visuaalinen ärsyke esitettiin harmaalla

taustalla keskellä 27 tuuman Dell LED-näyttöä (P2717H). Vastaukset kerättiin Cedrus vastausnäppäimistön kanssa (RB-740).

Koehenkilöiden kuulo tutkittiin Interacoustics AS608 -laitteen Hughson Westlake-testillä. Hughson Westlake on automaattinen puhdasääniaudiometrinen testi. Testi erottelee kuulokynnyksiä viiden desibelin välein. Koehenkilön tulee antaa kaksi oikeaa vastausta kolmesta kuulokynnystasolla.

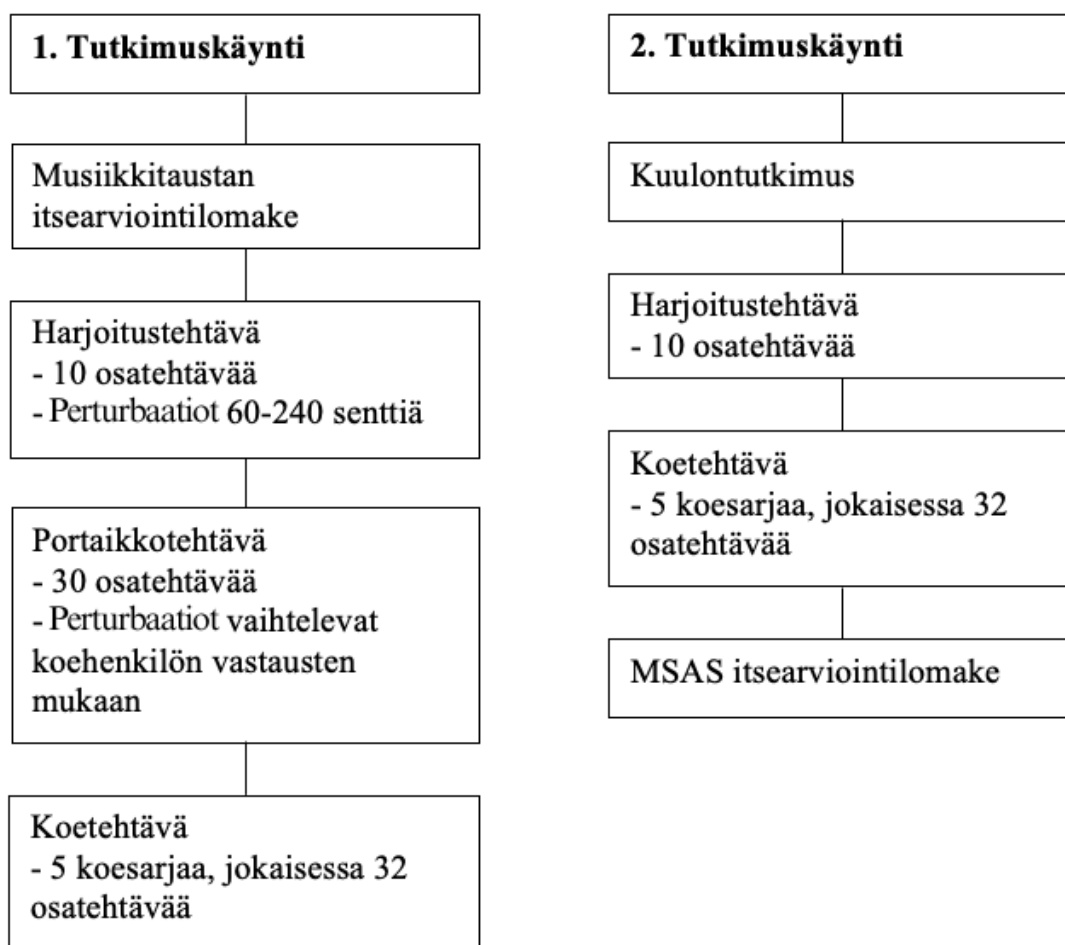
### **2.3 Materiaali**

Kokeen tarkoituksena oli selvittää (1) koehenkilön diskriminaatiokynnys, (2) miten hyvin koehenkilö tunnistaa eri kokoiset perturbaatiot itsetuottamassaan äänessä äännön aikana sekä (3) miten hyvin koehenkilö tunnistaa eri suuruiset perturbaatiot kuunnellessaan itsetuottamaansa ääntä äänitteeltä. Diskriminaatiokynnyksen selvittämiseen käytettiin adaptiivista portaikkomenetelmää, jossa ärsykkeen intensiteettiä säädellään koehenkilön vastausten perusteella (Watson, 2017). Portaikkotehtävässä oli kolmekymmentä osakoetta, joissa esitettyjen perturbaatioiden koot vaihtelivat koehenkilön vastausten perusteella. Jos koehenkilö vastasi, ettei havaitse muutosta, ohjelma kasvatti perturbaation kokoa. Jos taas koehenkilö havaitsi perturbaation, sen kokoa pienennettiin. Näin pystyttiin asettamaan jokaiselle koehenkilölle yksilöllinen diskriminaatiokynnys, joka kuvaa minkä kokoisen perturbaation koehenkilö havaitsee 75% tehtävistä. Portaikkotehtävässä perturbaatioita havaittiin itsetuotetusta äänestä äänen tuoton aikana.

Harjoittelu- ja koetehtävissä koehenkilöä pyydettiin tuottamaan /u/-äännettä neljän sekunnin ajan. Koehenkilön tuli tuottaa ääntö oman puheensa perustaajuudella ja -voimakkuudella (n. 70-75dB SPL). Koehenkilön oma ääni peitettiin kuulokkeista tulevalla vaaleanpunaisella kohinalla. Kuulokkeista esitettiin koehenkilölle tämän oma ääntö reaaliajassa. Koehenkilön äännön taajuuteen oli keinotekoisesti tehty 200 millisekunnin pituinen perturbaatio. Koehenkilöä ohjeistettiin aloittamaan ääntö, kun ruudulle ilmestyy lähtölaskennan jälkeen sana "NYT" ja lopettamaan ääntö, kun ruudulle ilmestyy sana "STOP". Äännön aikana ruudulle ilmestyi kirjain A 1,3 sekunnin ajaksi, jonka jälkeen ruudulle vaihtuu kirjain B 1,3 sekunnin ajaksi. A ja B osion välissä on 200 millisekunnin pituinen tauko. Äännön jälkeen koehenkilöä pyydettiin valitsemaan esiintyikö perturbaatio osion A vai B aikana. Kokeen toisessa vaiheessa koehenkilön tuli toimia samalla tavalla kuin ensimmäisessä tehtävässä, mutta äännön sijaan koehenkilön tuli kuunnella

äänitettä omista ensimmäisen koevaiheen äännöistään. Äänitteet esitettiin samassa järjestyksessä kuin ne oli ensimmäisessä koevaiheessa tehty.

Koehenkilön tuli jokaisen tehtävän aikana myös määrittää kuinka varmaksi hän kokee vastauksensa. Vastaus molempiin kysymyksiin annettiin samanaikaisesti painamalla yhtä painiketta Cedrus-vastausnäppäimistöltä, jolla oli yhteensä kuusi painiketta. A osion painikkeita vastaavat vastausvaihtoehdot esitettiin näytöllä punaisella: (1) varma, (2) melko varma, (3) epävarma ja B osan vastausvaihtoehdot sinisellä: (4) epävarma, (5) melko varma, (6) varma.



*Kuva 2 Tutkimuksen kulku.*

Koehenkilöt tutkittiin Turun yliopiston tiloissa helmi-maaliskuussa 2023. Kokeet suorittivat tämän Pro gradu- tutkimuksen kirjoittajat sekä Sanni Pulkkinen ja Ilona Tuokko. Koe toteutettiin hiljaisessa tilassa, jossa paikalla oli tutkittavan lisäksi yksi tutkija. Tutkimuksen kulku on esitetty

kuvassa 2. Koe jaettiin kahteen suorituskertaan, joiden välillä oli 4-8 päivää. Kumpikin tutkimuskerta kesti noin 60 minuuttia. Jokaiselle tutkittavalle kerrottiin selkeät ohjeet tutkimuksen etenemisestä ennen tutkimusta. Koehenkilöille annettiin tutkimustiedote ja heiltä pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta. Ensimmäisellä tutkimuskäynnillä tutkittavat täyttivät itsearviointilomakkeen, jolla kartoitettiin koehenkilön musiikillista taustaa. Toisella tutkimuskäynnillä tutkittavat täyttivät metakognitiivisia taitoja arvioivan itsearviointilomakkeen Metacognition Self Assessment Scale, MSAS (Pedone ym., 2017).

Ensimmäisellä tutkimuskäynnillä koehenkilö suoritti harjoitustehtävän ja portaikkotehtävän sekä itse koetehtävän, johon kuului viisi tehtäväsarjaa. Harjoitusosion tarkoituksena oli varmistaa, että koehenkilö on ymmärtänyt tehtävän ohjeistuksen ja tietää millainen kokeessa tapahtuva perturbaatio on. Harjoitusosio koostui kymmenestä osatehtävästä, joiden aikana koehenkilö tuotti /u/-äännettä ja arvioi, havaitsiko hän perturbaation A vai B osiossa. Harjoitusosiossa perturbaation koko oli ensimmäisessä osatehtävässä 240 senttiä ja pieneni 20 sentin verran jokaisessa osatehtävässä. Harjoituksen viimeisessä osatehtävässä perturbaation koko oli 60 senttiä. Harjoitustehtävässä koehenkilö sai välittömästi jokaisen koetehtävän jälkeen palautteen, jossa kerrottiin menikö vastaus oikein vai väärin. Portaikkotehtävässä ja koetehtävässä palautetta ei annettu. Portaikkotehtävän tarkoituksena oli selvittää portaikkomenetelmän avulla koehenkilön diskriminaatiokyky havaita perturbaatio omassa äännessään. Diskriminaatiokyky määriteltiin pisteenä, jossa koehenkilö vastaa oikein 75% tehtävistä. Portaikkotehtävä koostui 30:sta osatehtävästä, joiden aikana koehenkilö tuotti /u/-äännettä ja arvioi, havaitsiko hän perturbaation osiossa A vai B. Koetehtävä koostui viidestä koesarjasta, joissa kussakin oli 32 osatehtävää. Koesarjojen osatehtävien perturbaatiot olivat suuruudeltaan kaikille koehenkilöille 5, 25, 45 ja 65 senttiä. Jokaista perturbaation suuruutta esiintyi koesarjan osatehtävissä satunnaisessa järjestyksessä kahdeksan kertaa.

Tutkimuksen toinen käynti toteutettiin noin viikon kuluttua ensimmäisestä kerrasta. Toisella tutkimuskäynnillä tehtiin koetehtävä, joka sisälsi viisi koesarjaa. Lisäksi toisella käynnillä tehtiin kuulotutkimus. Koetehtävässä koehenkilöille esitettiin äänitteet ensimmäisen tutkimuskerran viidestä koesarjasta. Ääniraidat sisälsivät ensimmäisessä kokeessa esitetyt äännöt, joihin oli lisätty keinotekoiset perturbaatiot. Koehenkilön tehtävänä oli valita havaitsiko hän perturbaation kuulopalautteessa A vai B osiossa. Kuulotutkimus tehtiin Hughson Westlake -testillä. Siinä koehenkilölle esitetään kuulokkeista ääneksiä vasempaan ja oikeaan korvaan. Koehenkilön tehtävänä on painaa vastauspainiketta aina äänksen kuultuaan. Automaattinen testi nostaa

äänksen voimakkuutta 10dB koehenkilön havaittua äänen ja laskee sitä 5dB, kun koehenkilö ei havaitse ääntä.

## 2.5 Aineiston analysointi

Tutkimusdata siivottiin ennen analyysijä. Tutkimukseen osallistui yhteensä 65 koehenkilöä. Kaksi koehenkilöistä oli englanninkielisiä. Heidät jätettiin tutkimuksen sisäänottokriteerien mukaisesti analyysien ulkopuolelle. Tämän jälkeen tarkasteltiin portaikkomenetelmällä mitattuja diskriminaatiokynnyksiä (threshold -arvot). Kahdella koehenkilöllä havaittiin poikkeava arvo ( $>2$ ), joten heitä ei sisällytetty analyysiin. Lopulliseen otokseen valikoitui yhteensä 61 tutkittavaa.

Tutkimuksen ensimmäinen tutkimuskysymys tarkastelee havaitaanko kuulopalautteessa esiintyvä äänenkorkeuden muutos paremmin ääntämisen aikana verrattuna kuuntelutilanteeseen, jossa oma ääntö kuunnellaan nauhoitteelta. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen riippuvana muuttujana on kokeessa mitattu vastaustarkkuus havaita perturbaatio eli äänenkorkeuden muutos kuulopalautteessa. Riippumattomia muuttujia ovat (1) perturbaation koko ja (2) koetilanne eli itsetuotettu ääntö verrattuna äännön kuunteluun nauhoitteelta.

Tutkimuksen toinen tutkimuskysymys tarkastelee vaikuttaako koehenkilön musikaalinen tausta herkkyyteen havaita äänenkorkeuden muutos kuulopalautteessa. Toisen tutkimuskysymyksen muuttujina tarkastellaan (1) koehenkilön diskriminaatiokynnystä sekä koehenkilön itsearvioima kokemus (2) laulamisesta, (3) instrumentin soittamisesta, (4) musiikin teorian opiskelusta ja (5) musiikin intervallien kuulonvaraisesta erottelusta. Ensimmäinen musiikkitaustaa koskeva kysymys "Harrastatko laulamista?" arvioitiin asteikolla 0-4 (0=en laula juuri koskaan, 1=laulan itsekseni silloin tällöin, 2=laulan, mutta en ole harjoitellut sitä systemaattisesti, 3=laulan ja olen harjoitellut laulamista, mutta lauluharrastukseni on tällä hetkellä tauolla, 4=laulan säännöllisesti ja olen harjoitellut laulamista). Myös toinen kysymys "Soitatko jotain ?" arvioitiin asteikolla 0-4 (0=en soita juuri koskaan, 1=soitan silloin tällöin, 2=soitan, mutta en ole harjoitellut sitä systemaattisesti, 3=soitan ja olen harjoitellut soittamista, mutta en soita tällä hetkellä esim. bändissä, 4= olen harjoitellut soittamista ja soitan säännöllisesti esim. bändissä). Kahteen viimeiseen kysymykseen "Oletko opiskellut musiikin teoriaa/musiikin perusopinnot?" ja "Oletko aiemmin harjoitellut musiikin eri intervallien erottamista toisistaan kuulonvaraisesti joko itsenäisesti tai musiikin teoriaa opiskellessasi?" vastattiin joko "kyllä" tai "ei".

Tutkimuksen tulokset analysoitiin IBM SPSS Statistics -ohjelman versiota 29.0.0.0 (241) käyttäen. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen analyysit toteutettiin toistomittausten 2 (koetilanne: ääntö/kuuntelu) x 4 (perturbaation koko: 5/25/45/65 senttiä) varianssianalyysillä (ANOVA). Havaitut yhdysvaikutukset analysoitiin parittaisilla t-testeillä. Yhdysvaikutusten purkamisen rajana pidettiin  $p < .1$ . Toinen tutkimuskysymys analysoitiin tarkastelemalla muuttujien välisiä Spearmanin korrelaatiokertoimia.

## **2.6 Tutkimuksen eettisyys**

Tässä pro gradu –tutkielmassa käytetty aineiston on osa Henry Railon MetaSpeech-projektia. Projektilla on puoltava lausunto Varsinais-Suomen hyvinvointialueen eettiseltä toimikunnalta. Pro gradu –tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt olivat täysi-ikäisiä, heille annettiin ennen tutkimusta tutkimustiedote, jossa käytiin läpi tutkimuksen kulku lyhyesti, tutkimuksen taustaa ja mahdollisia hyötyjä, tutkimusmenettelyt, palkkio, tietosuoja, henkilötietojen käsittely, sekä tutkimuksen luvat ja rahoitus. Lisäksi heille kerrottiin, että tutkimuksen osallistuminen on vapaaehtoista ja osallistumisen saa keskeyttää kaikissa tutkimuksen vaiheissa. Tämän jälkeen koehenkilöiltä pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta.

Tutkimuksessa kerättiin aineistoa, joka koostuu tutkimuskäyntien aikana suoritetuista tehtävistä ja koehenkilöiden täyttämistä lomakkeista. Aineisto on ainoastaan tutkimusryhmän käytettävissä ja sitä säilytetään Turun yliopiston tiloissa. Henkilötiedot kerättiin vain suostumuslomakkeeseen. Tämän jälkeen koehenkilöille luotiin oma anonymi koehenkilönumero. Koehenkilöitä ei voida tunnistaa tutkimukseen liittyvistä tuloksista, selvityksistä tai julkaisuista. Aineistoa käytetään osana tutkimusprojektia, jonka tulokset tullaan raportoimaan kansainvälisessä julkaisussa.

Koehenkilöitä pyydettiin henkilökohtaisesti osallistumaan kokeeseen ja osallistuminen oli täysin vapaaehtoista. Koehenkilöt saivat tutkimukseen osallistumisesta halutessaan rahallisen korvauksen. Jokaiselta tutkimukseen osallistuneelta koehenkilöltä mitattiin kuulo automaattiaudiometrillä ja he saivat halutessaan tietää kuulokynnyksensä. Muuten tutkimuksesta ei ollut suoraa hyötyä koehenkilöille.

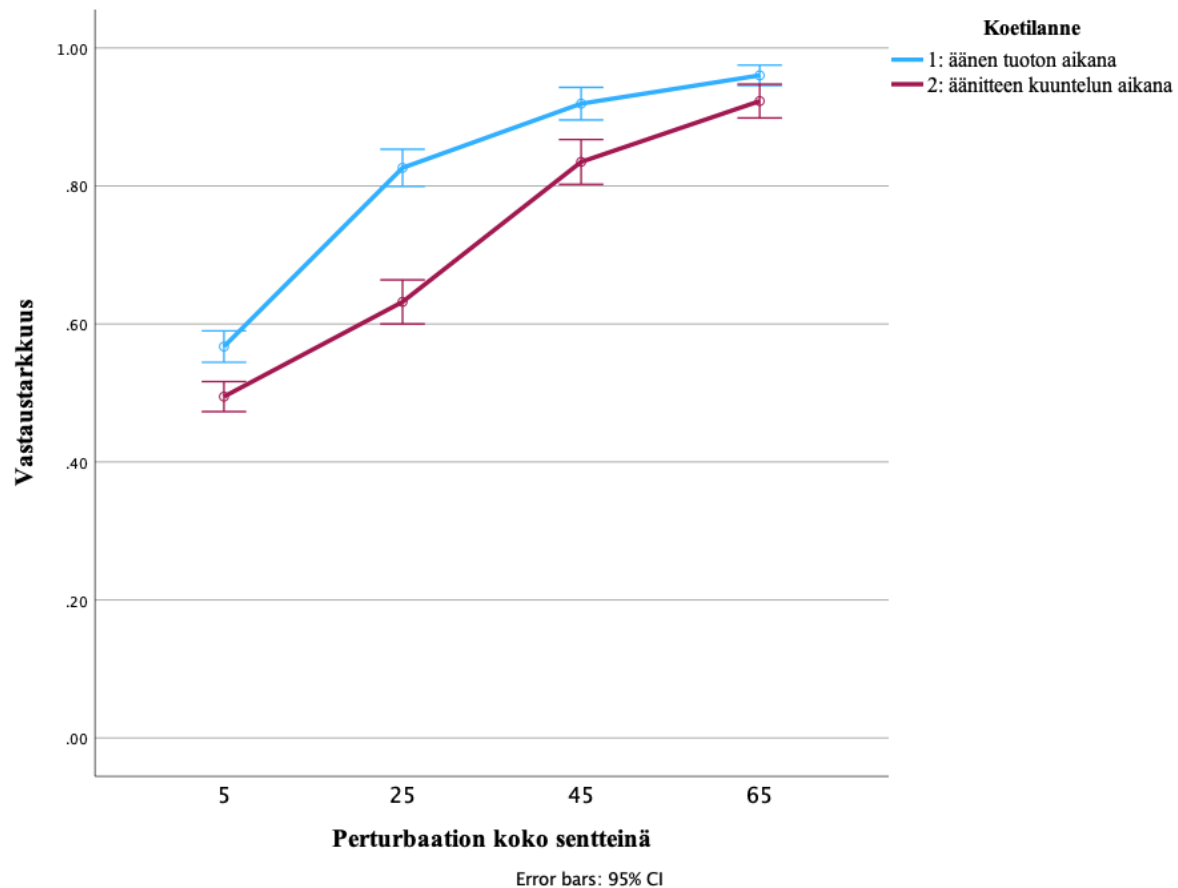
### 3 Tulokset

#### 3.1 Perturbaatioiden havaitseminen äänen tuoton ja äänitteen kuuntelun aikana

Kaksi koehenkilöä jätettiin pois analyyseista huomattavan korkean diskriminaatiokynnyksen vuoksi (>200 senttiä) ja lopulliseen tarkasteluun päätyi 61 koehenkilöä. Tarkasteluun päätyneen aineiston diskriminaatiokynnysten vaihteluväli oli 7.23-85.78 senttiä ja keskiarvo 27.18 senttiä (SD 14.31 senttiä). Myös kahdella muulla koehenkilöllä havaittiin diskriminaatiokynnyksen suhteen poikkeava arvo, mutta heidät sisällytettiin analyyseihin, sillä sisäänottokriteeriksi oli määritelty alle 200 sentin arvo.

Koehenkilöiden vastaustarkkuus laskettiin molemmissa koetilanteissa jokaisella neljällä eri perturbaation koolla. Vastaustarkkuuksien jakaumat on esitetty kuvassa 3. Ensimmäisessä koetilanteessa, jossa koehenkilöt arvioivat perturbaatioiden esiintymistä oman äännön aikana, perturbaatioiden ollessa 5 sentin suuruisia, vastaustarkkuuden vaihteluväli oli 0.4-0.75 ja keskiarvo 0.57 (SD 0.09). Perturbaation ollessa 25 senttiä vastaustarkkuuden vaihteluväli oli 0.58-1 ja keskiarvo 0.83 (SD 0.11), 45 senttiä vaihteluväli oli 0.55-1 ja keskiarvo 0.92 (SD 0.09) ja 65 senttiä vaihteluväli oli 0.73-1 ja keskiarvo 0.96 (SD 0.06). Toisessa koeasetelmassa, jossa koehenkilöt arvioivat perturbaatioiden esiintymistä kuunnellessaan omaa ääntöään tallenteelta, perturbaatioiden ollessa 5 sentin suuruisia, vastaustarkkuuden vaihteluväli oli 0.33-0.65 ja keskiarvo 0.49 (SD 0.09). Perturbaation ollessa 25 senttiä vastaustarkkuuden vaihteluväli oli 0.43-0.98 ja keskiarvo 0.63 (SD 0.12), 45 senttiä vaihteluväli oli 0.48-1 ja keskiarvo 0.83 (SD 0.13) ja 65 senttiä vaihteluväli oli 0.68-1 ja keskiarvo 0.92 (SD 0.10).

Koetilanteen ja perturbaatioiden koon päävaikutuksia sekä niiden yhdysvaikutusta tarkasteltiin 2 (koetilanne: ääntö/kuuntelu) x 4 (perturbaation koko: 5/25/45/65 senttiä) toistettujen mittausten varianssianalyysillä. Koetilanteiden välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero,  $F(1.00) = 90.56$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .60$ . Perturbaatioiden koon ja yhdysvaikutuksen osalta sfäärisyysehto ei toteutunut, joten käytettiin Greenhouse-Geisser korjauskerrointa vapausasteisiin. Eri kokoisten perturbaatioiden välillä oli havaittavissa tilastollisesti merkitsevä ero,  $F(2.32) = 547.55$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .90$ . Lisäksi koetilanteen ja perturbaation koon yhdysvaikutus oli merkitsevä,  $F(2.20) = 30.76$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .34$ .



Kuva 3 Vastaustarkkuuksien keskiarvot ensimmäisessä ja toisessa koetilanteessa perturbaatioiden ollessa 5, 25, 45 ja 65 sentin suuruisia. Virhejanat ovat 95% luottamusvälejä (CI).

Jatkovertailut suoritettiin parittaisilla t-testeillä jokaiselle perturbaation koolle eri koetilanteissa. Jatkovertailut osoittivat, että jokaisella perturbaation koolla (5, 25, 45 ja 65 senttiä), ero vastaustarkkuudessa koetilanteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä. Perturbaation koon ollessa 5 senttiä vastaustarkkuus oli 0.07 yksikköä korkeampi, 95% CI = [0.05,0.10],  $p < .001$ ,  $d = 0.83$ , perturbaation koon ollessa 25 senttiä 0.19 yksikköä korkeampi, 95% CI = [0.16,0.23],  $p < .001$ ,  $d = 1.68$ , perturbaation koon ollessa 45 senttiä 0.08 yksikköä korkeampi, 95% CI = [0.05,0.12],  $p < .001$ ,  $d = .76$  ja perturbaation koon ollessa 65 senttiä vastaustarkkuus oli 0.04 yksikköä korkeampi, 95% CI = [0.01,0.06],  $p = .004$ ,  $d = 0.47$ , äännön tuoton kuin äännön nauhoitteelta kuuntelun aikana. Suurin ero koetilanteiden välillä vastaustarkkuudessa oli perturbaation ollessa 25 senttiä.

### 3.2 Musiikkitaustan vaikutus pertubaatioiden havaitsemiseen

Taulukoissa 1-4 on esitetty koehenkilöiden musiikkitaustaa kartoittavan kyselyn frekvenssit. Suurimmalla osalla tutkimukseen osallistuneista ei ollut musiikkiharrastusta. Yli puolet ei ollut opiskellut musiikin teoriaa, harjoitellut intervallien erottelua kuulonvaraisesti tai soittanut juuri koskaan. Yli puolet vastaajista ei laulanut juuri koskaan tai lauloi itseksensä silloin tällöin.

*Taulukko 1 Musiikkikyselyn kysymyksen "Oletko opiskellut musiikin teoriaa/musiikin perusopinnot?" vastausten jakauma.*

|       | Frekvenssi | Osuus (%) |
|-------|------------|-----------|
| ei    | 46         | 75.4      |
| kyllä | 15         | 24.6      |

*Taulukko 2 Musiikkikyselyn kysymyksen "Oletko aiemmin harjoitellut musiikin eri intervallien erottamista toisistaan kuulonvaraisesti joko itsenäisesti tai musiikin teoriaa opiskellessasi?" vastausten jakauma.*

|       | Frekvenssi | Osuus (%) |
|-------|------------|-----------|
| ei    | 47         | 77.0      |
| kyllä | 14         | 23.0      |

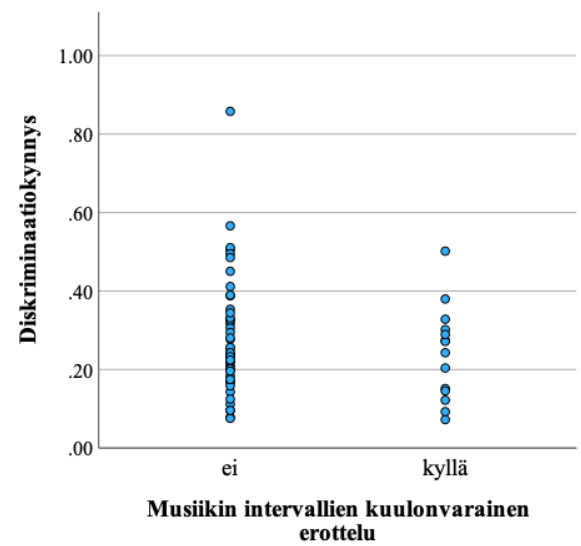
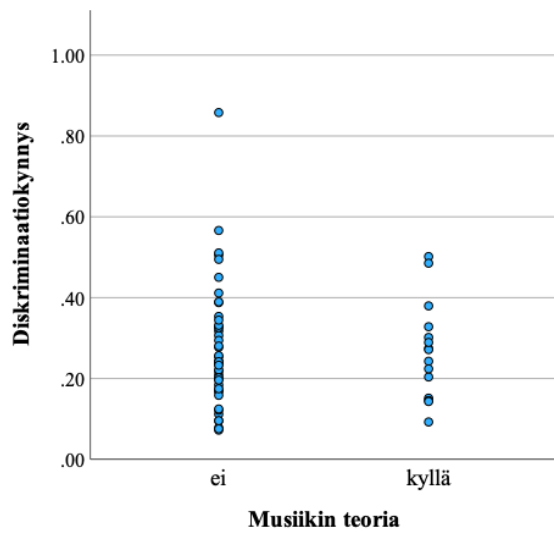
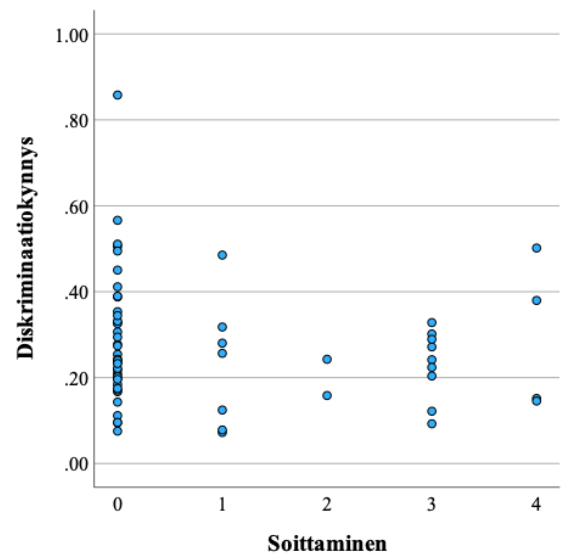
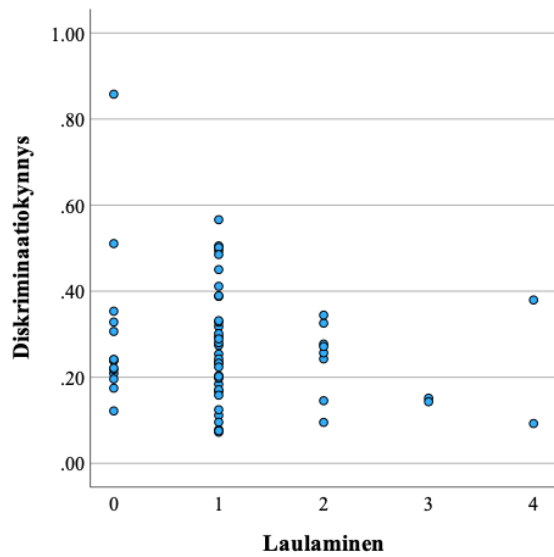
*Taulukko 3 Musiikkikyselyn kysymyksen "Harrastatko laulamista?" vastausten jakauma.*

|                                                                                              | Frekvenssi | Osuus (%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| "En laula juuri koskaan"                                                                     | 14         | 23        |
| "Laulan itsekseni silloin tällöin"                                                           | 35         | 57.4      |
| "Laulan, mutta en ole harjoitellut sitä systemaattisesti"                                    | 8          | 13.1      |
| "Laulan ja olen harjoitellut laulamista, mutta lauluharrastukseni on tällä hetkellä tauolla" | 2          | 3.3       |
| "Laulan säännöllisesti ja olen harjoitellut laulamista"                                      | 2          | 3.3       |

*Taulukko 4 Musiikkikyselyn kysymyksen "Soitatko jotain instrumenttiä?" vastausten jakauma.*

|                                                                                        | Frekvenssi | Osuus (%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| "En soita juuri koskaan"                                                               | 39         | 63.9      |
| "Soitan silloin tällöin"                                                               | 7          | 11.5      |
| "Soitan, mutta en ole harjoitellut sitä systemaattisesti"                              | 2          | 3.3       |
| "Soitan ja olen harrastanut soittamista, mutta en soita tällä hetkellä esim. bändissä" | 9          | 14.8      |
| "Olen harjoitellut soittamista ja soitan säännöllisesti esim. bändissä"                | 4          | 6.6       |

Kuvassa 4 on esitetty musiikkitaustaa mittaavien muuttujien sirontamatriisit suhteessa koehenkilöiden diskriminaatiokynnyksiin. Diskriminaatiokynnyksen ei havaittu korreloivan tilastollisesti merkitsevästi laulamistaustan,  $r(61) = -.11$ ,  $p = .40$ , soittamistaustan,  $r(61) = -.13$ ,  $p = .33$ , musiikin teorian opiskelun,  $r(61) = .02$ ,  $p = .90$ , eikä musiikin intervallien erottelukokemuksen,  $r(61) = -.09$ ,  $p = .47$  kanssa. Diskriminaatiokynnyksellä ei siis ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota minkään musiikkitaustaa mittaavan kysymyksen kanssa. Diskriminaatiokynnyksen lisäksi vastauksarkkuus yhdessäkään koetilanteessa ei korreloinut merkitsevästi minkään musiikkitaustaa mittaavan muuttujan kanssa. Korrelaatiot on esitetty taulukossa 5. Korrelaatioiden p-arvot ovat monivertailukorjaamattomia.



Kuva 4. Musiikkitaustaa mittaavien muuttujien sirontamatriisit suhteessa koehenkilöiden diskriminaatiokynnnyksiin.

*Taulukko 5 Musiikkitaustaa mittaavien kysymysten korrelaatiokertoimet suhteessa diskriminaatiokynnyksiin ja vastaustarkkuuksiin.*

|                           |                    | Laulaminen | Soittaminen | Musiikin teoria | Intervallien erottelu |
|---------------------------|--------------------|------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Diskriminaatio-<br>kynnys | Korrelaatiokerroin | -.175      | -.113       | -.012           | -.118                 |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .177       | .386        | .929            | .365                  |
| K1, P5                    | Korrelaatiokerroin | .085       | .116        | .029            | .236                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .514       | .374        | .826            | .067                  |
| K1, P25                   | Korrelaatiokerroin | -.005      | -.071       | -.089           | .143                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .968       | .585        | .496            | .272                  |
| K1, P45                   | Korrelaatiokerroin | .025       | -.019       | -.110           | .098                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .849       | .887        | .399            | .451                  |
| K1, P65                   | Korrelaatiokerroin | .011       | .031        | -.052           | .089                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .933       | .813        | .690            | .494                  |
| K2, P5                    | Korrelaatiokerroin | .027       | .027        | -.122           | .023                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .838       | .837        | .349            | .861                  |
| K2, P25                   | Korrelaatiokerroin | -.124      | .058        | .052            | .127                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .341       | .654        | .688            | .330                  |
| K2, P45                   | Korrelaatiokerroin | -.009      | .019        | .084            | .167                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .942       | .887        | .519            | .199                  |
| K2, P65                   | Korrelaatiokerroin | -.047      | .094        | .163            | .156                  |
|                           | <i>P-arvo</i>      | .717       | .472        | .209            | .231                  |

\*\* p < .01, \* p < .05

(K1 = koetilanne, jossa koehenkilö tunnistaa perturbaatioita äännön aikana, K2 = koetilanne, jossa koehenkilö tunnistaa perturbaatioita ääniteltä, P5 = perturbaatioiden koko on 5 senttiä, P25 = perturbaatioiden koko on 25 senttiä, P45 = perturbaatioiden koko on 45 senttiä, P65 = perturbaatioiden koko on 65 senttiä, Laulaminen = koehenkilön arvio omasta lauluharrastuksesta asteikolla 1-5, Soittaminen = koehenkilön arvio omasta soittoharrastuksesta asteikolla 1-5, Musiikin teoria = onko koehenkilö opiskellut musiikin teoriaa, Intervallien erottelu = onko koehenkilö harjoitellut intervallien kuulonvaraista erottelua).

## 4 Pohdinta

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten koehenkilöt havaitsevat muutoksia itse tuottamansa äänen taajuudessa ja miten herkkyyys havaita muutoksia eroaa äänen tuoton aikana verrattuna äänen kuunteluun äänitteeltä. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, onko musiikin harrastuneisuudella vaikutusta tähän herkkyyteen. Tutkimuksen hypoteesina oli aiemman tutkimustiedon perusteella, että koehenkilöt havaitsevat muutokset paremmin äänen tuoton aikana kuin kuunnellessaan omaa ääntään äänitteeltä. Musiikin harrastuneisuuden oletettiin vaikuttavan niin, että koehenkilöt, jotka ovat harrastaneet tai opiskelleet musiikkia olisivat herkempiä havaitsemaan muutokset. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin 61 suomea puhuvan aikuisen tutkittavan manipuloituja /u/-vokaalin ääntöjä ja vastauksia siihen, milloin äännössä tapahtuu muutos. Lisäksi tarkasteltiin koehenkilöiden täyttämiä itsearviointilomakkeita, joissa he arvioivat omaa musiikkiharrastuneisuuttaan.

### 4.1 Tuloksista

Tutkimus tukee aiempaa käsitystä siitä, että puhemoottorin ohjausjärjestelmä on herkkä pienillekin kuulopalautteen muutoksille. Tutkimuksessa havaittiin koehenkilöiden havaitsevan äänten taajuuden muutos paremmin äänen tuoton aikana kuin tilanteessa, jossa koehenkilö kuulee äännön äänitteeltä. Vastaustarkkuus oli suurempi jokaisella perturbaation koolla äännön tuoton aikana kuin äänitteen kuuntelun aikana. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Tutkimuksessa tarkasteltiin diskriminaatiokynnyksen lisäksi koehenkilöiden herkkyyttä havaita eri suuruisia perturbaatioita. 5 sentin suuruisten perturbaatioiden vastaustarkkuuden keskiarvo oli 57% äännön aikana ja äänitteen kuuntelun aikana 49%. 5 sentin suuruisten perturbaatioiden kohdalla ei siis pystytty kuuntelutilanteessa tunnistamaan perturbaatioita, vaan vastaustarkkuus vastasi pitkälti arvaustodennäköisyyttä. Ääntämisen aikana perturbaatioita tunnistettiin enemmän. Vastaavasti 25 sentin perturbaatioiden vastaustarkkuuden keskiarvo äännön aikana oli 83% ja äänitteen kuuntelun aikana 63%. 45 sentin perturbaatioiden vastaustarkkuuden keskiarvo oli 92% äännön aikana ja 83% äänitteen kuuntelun aikana ja 65 sentin perturbaatioilla jo 96% äännön aikana ja 92% äänitteen kuuntelun aikana. 5 sentin suuruista perturbaatioista koehenkilöt havaitsivat siis keskimäärin noin puolet ja 65 sentin perturbaatioista lähes kaikki. Suurin ero havaittiin 25 sentin perturbaatioiden kohdalla. Perturbaatioiden tunnistamista samankaltaisella tutkimusasetelmalla, jossa koehenkilöiden tulee tunnistaa muutoksia itse tuottamastaan äänestä sekä äännön että äänitteen

kuuntelun aikana, ei juurikaan ole aiemmin tehty. Scheererin ja Jonesin (2018) tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia tämän tutkimuksen kanssa.

Tulos on odotetun mukainen, sillä äänen tuoton aikana käsitellään auditorisen palautteen lisäksi myös somatosensorista palautetta. FAF-menetelmää käytettäessä auditorisen ja somatosensorisen palautteen tuottama tieto on keskenään ristiriidassa perturbaation aikana, minkä on esitetty helpottavan virheiden havaitsemista äänen tuoton aikana (Lametti ym., 2012; Tremblay ym., 2003). Lisäksi puheliikkeitä suoritettaessa motorinen järjestelmä luo ennusteen, joka tuottaa odotuksen tulevasta somatosensorisesta palautteesta (Hickok, 2012). Perturbaation ollessa ristiriidassa odotuksen kanssa, sen havaitsemisen voidaan olettaa olevan helpompaa äänen tuoton aikana.

Kuuloaivokuoren aktivaation on todettu olevan vähäisempää äänen tuoton kuin äänen kuuntelun aikana (Houde et al. 2002; Numminen & Curio 1999). Kuulojärjestelmän käsitellessä samanaikaisesti sekä itse tuotettuja että ympäristöstä peräisin olevia ääniä, motoriset viestit tehostavat ympäristön äänien havaitsemista vaimentamalla omien liikkeiden tuottamia vasteita. On vielä epäselvää, miten kuulojärjestelmä havaitsee itse tuotetun äänen muutokset herkästi puheen tuoton aikana, vaikka se samanaikaisesti pyrkii havaitsemaan ulkoisia ääniä herkemmin kuin omaan puheen tuottoon liittyviä ääniä. Lisäksi puheen palautejärjestelmän ajatellaan toimivan pitkälti automaattisesti ja tiedostamatta (Hafke, 2008), joten tältä kannalta on yllättävää, että äänen taajuuden muutosten havaitseminen on tarkempaa äänen tuoton kuin kuuntelun aikana. On epäselvää, onko virheen havaitsemisella jokin muu tarkoitus kuin puheen tuoton kontrollointi.

Koehenkilöiden musiikkitaustaa, eli laulamis- ja soittamisharrastusta, musiikin teorian opiskelua ja musiikin intervallien erottelukokemusta verrattiin koehenkilöiden diskriminaatiokynnyksiin. Musiikkitaustaa verrattiin myös suhteessa molempien koetilanteiden jokaiseen perturbaation vastaustarkkuuteen. Taulukossa 5 kuvatussa analyysissä ei ole käytetty monivertailukorjausta. Koska mikään yhteys ei ollut merkitsevä korjaamattomana, ei monivertailukorjausta nähty tarpeelliseksi. Millään musiikkitaustaa mittaavalla kysymyksellä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä diskriminaatiokynnyksien tai vastaustarkkuuksien kanssa. Tulokset ovat yllättäviä. Aiemmassa pro gradu –tutkimusea havaittiin musiikin harrastuneisuudella olevan yhteys oman äännön aikaiseen virheiden havaitsemiseen (Soini, 2023), mutta tutkimuksessa otos oli selvästi meidän aineistoamme pienempi.

Koehenkilöistämme vain muutama raportoi harjoitelleensa laulamista systemaattisesti (n = 6) tai harjoittelevansa soittamista säännöllisesti (n = 13) (taulukot 3 ja 4). Tämän vuoksi voimakkaita johtopäätöksiä tutkimuksen perusteella ei voida tehdä. Tulokset eivät viitanneet juuri lainkaan siihen, että musiikkitaustalla ja kyvyllä havaita virheitä kuulopalautteessa olisi yhteys. Jos perturbaatioiden havaitseminen itse tuotetussa äännössä on vahvasti automaattista, ei opitulla musiikkiosaamisella olisi siihen vaikutusta. Toisaalta aiemmissa tutkimuksissa on havaittu musiikkitaustan olevan yhteydessä kykyyn tunnistaa sävelkorkeuden muutoksia puheen prosodiikassa (Sares ym., 2018) ja puheen prosodian ja äänenkorkeuden muutosten havaitsemisen kanssa (Hausen, 2012). Tutkimuksemme kaltaista koeasetelmaa emme kirjallisuudesta löytäneet. On mahdollista, että koehenkilöiden valikoimattomuus musiikkitaustan suhteen ei riittävästi tuonut esille musiikkiosaamisen ääripäitä, mikä laimensi vaikutuksen merkitsevyyttä. Aiempien tutkimusten ja intuition perusteella voitaisiin olettaa musikaalisten ihmisten havaitsevan perturbaatioita muita paremmin.

## **4.2 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset**

### ***4.2.1 Koehenkilöt, otoskoko ja tutkimusasetelma***

Tutkimukseen osallistui 65 koehenkilöä, joista 4 suljettiin pois tarkemmasta tarkastelusta. Otoskoko on muiden perturbaatiotutkimusten kanssa samaa suuruusluokkaa. Tarkastelluissa perturbaatiotutkimuksissa koehenkilöiden määrä on ollut 20-67 (Burnett ym., 1998; Chen ym., 2007; Natke ym., 2003; Patel, 2023; Scheerer & Jones, 2018). Koehenkilöiden vertailukelpoisuus pyrittiin varmistamaan sisäänottokriteereillä. Koehenkilöt olivat 19-65 -vuotiaita aikuisia. Ikäryhmä oli laaja, jolloin saatiin edustava otos aikuisväestöstä. Edellytyksenä tutkimukseen osallistumiselle oli se, että koehenkilöillä ei saanut olla todettuja kielen ja puheen häiriöitä, nielun ja kurkunpään sairauksia, neurologisia sairauksia tai puutoksia, eikä näöntarkkuuden puutoksia. Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää myös sitä, että kaikkien koehenkilöiden kuulo tutkittiin tutkimuskäyntien yhteydessä ja näin varmistettiin heidän olevan normaalikuuloisia. Koehenkilöistä suurin osa oli naisia, joten tutkimuksen perusteella ei voida luotettavasti vertailla miesten ja naisten välisiä eroja kyvyssä havaita virhe kuulopalautteen avulla. Jatkotutkimuksissa otannassa voisi lisätä miespuolisten tutkittavien osuutta ja sitä onko sukupuolella merkitys itse tuotetun tai pelkän kuunnellun äännön havaitsemisessa.

Tutkimuksen vahvuutena on koeasetelman yhtenäisyys. Tutkimukset tehtiin kontrolloidusti samassa tilassa Turun yliopistolla, joten kuunteluolosuhteet tutkittavien välillä olivat samanlaiset. Kaikille tutkittaville annettiin samat ohjeet ja harjoitustehtävä, jolla varmistettiin se, että koehenkilö tiesi mitä tutkimustilanteessa tuli tehdä. Tutkimuksen toistettavuutta ja vertailukelpoisuutta lisää tarkka raportointi tutkimuksen vaiheista, käytetystä laitteistosta ja ohjelmista asetuksineen. Tutkimushuone ei ollut äänieristetty, joten esimerkiksi käytävästä ja ilmastoinnista saattoi kuulua vaimeita ääniä ja taustahälyä, joiden vaikutusta tutkimustilanteeseen ja kuulon tutkimukseen ei voida poissulkea. Tutkimuksia tehtiin aamulla, päivällä ja illalla. Osa koehenkilöistä koki lähes tunnin ajan /u/-vokaalin tuottamisen 4 sekunnin jaksoissa äänelle rankaksi ja suullisesti kommentoivatkin, että mahdollisesti olisivat onnistuneet huomaamaan virheet paremmin äänestään, jos olisivat saaneet tehdä kokeen aamulla tuoreella äänellä sen sijaan, että tekivät sen puhuttuaan edeltävästi koko päivän töissä.

Lisäksi tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää pakkovalinta-asetelmaa (*two-interval forced-choice, 2IFC*). Kokeessa tutkittavalle esitetään perturbaatio jokaisessa tehtävässä ja tutkittavan on jokaisella kerralla valittava kummassa osiossa perturbaatio esiintyi. Riittävällä toistojen määrällä asetelma johtaa 50% tarkkuuteen tilanteessa, jossa tutkittava ei tunnista perturbaatioita. Näin voidaan kontrolloida koehenkilöiden eroa taipumuksessa vastata todennäköisemmin ”kyllä” tai ei”.

#### **4.2.2 Musikaalisuuden mittaaminen**

Koehenkilöiden musikaalista taustaa mitattiin lomakkeella, jossa henkilö itse sai arvioida omaa laulu- ja soittotaustaansa väittämien mukaan 0-4: (esimerkiksi "Soitatko jotain instrumenttiä?" 0=en soita juuri koskaan, 1=soitan silloin tällöin, 2=soitan, mutta en ole harjoitellut sitä systemaattisesti, 3=soitan ja olen harjoitellut soittamista, mutta en soita tällä hetkellä esim. bändissä, 4= olen harjoitellut soittamista ja soitan säännöllisesti esim. bändissä). Käyttämällämme asteikolla ja menetelmällä koehenkilön oma käsitys taidoistaan, sekä tämän hetkinen aktiivisuus soittamisessa ja laulamissa korostui. Mahdollinen pitkäkään edeltävä musiikkitausta ei käynyt välttämättä ilmi, jos musiikkiharrastus oli kokeen suorittamisen aikaan tauolla. Omaan arvioon perustuvassa mittarissa musikaalista taustaa olisi voinut mitata kysymällä, kuinka monta vuotta laulamista tai soittamista on harrastanut. Tällöin musiikkitausta perustuisi tarkempaan määreeseen, eikä tulkintaan ja yksilöllisiin kokemuksiin siitä, mikä on "silloin tällöin". Musikaalisuutta olisi voinut mitata omaan arvion perustuvan kyselyn lisäksi myös musikaalisuutta mittaavilla testeillä, kuten Korzyukovin ym. (2012) aiemmassa tutkimuksissa käytetyllä MBEA-testillä tai Kai Karman

(1993) reseptiivisellä musikaalisuustestillä, jota käytetään musiikkiopistojen, -oppilaitosten ja -lukioiden pääsykokeissa.

### **4.3 Jatkotutkimusehdotukset**

Perturbaatioiden tunnistaminen on vielä varsin vähän tunnettu aihe. Tämä avaa mahdollisuuden tutkia iän ja sukupuolen vaikutusta diskriminaatioon. Vanhempien terveiden koehenkilöiden itse tuotetun äänen havainnoinnin tutkiminen olisi eduksi myös Parkinsonin taudin tutkimukselle, sillä taudin oireet alkavat tavallisimmin 50–70 vuoden iässä (Atula, 2023). Kognitiivisen tason ja muistisairauksien yhteyttä perturbaatioiden tunnistamiseen ja sen rappeutumiseen voisi myös selvittää. Teoriassa tonaalisten kielten puhujilla voisi olla parempi kyky tunnistaa perturbaatioita kuin suomea äidinkielenään puhuvilla. Koeasetelmamme vuoksi musikaalisuuden ja sävelkorvan vaikutusta diskriminaatioon ei voitu lopullisesti arvioida. Paremmin tätä asiaa voisi tutkia valitsemalla koehenkilöiksi esimerkiksi musiikinopiskelijoita ja itseään epämusikaalisena pitäviä.

### **4.4 Lopuksi**

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että muutokset itse tuotetun äänen taajuudessa havaitaan herkemmin äänen tuoton aikana kuin tilanteessa, jossa itse tuotettua ääntä kuullaan äänitteeltä. Tässä tutkimuksessa musiikkitaustalla ei havaittu yhteyttä herkkyyteen havaita äänen taajuuden muutoksia itse tuotetussa puheessa.

## Lähteet

- Atula, S. (2023) *Parkinsonin Tauti* www.terveyskirjasto.fi. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim 08.02.2023
- Burnett, T. A., Senner, J. E., & Larson, C. R. (1997). Voice F0 responses to pitch-shifted auditory feedback: a preliminary study. *Journal of Voice*, 11(2), 202–211. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(97\)80079-3](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(97)80079-3)
- Chen, S. H., Liu, H., Xu, Y., & Larson, C. R. (2007). Voice F 0 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>
- Dromey, C., & Adams, S. (2000). Loudness perception and hypo- phonia in Parkinson disease. *Journal of Medical Speech- Language Pathology*, 8(4), 255–259. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.08.001>
- Fereshtehnejad, S-M., Skogar, Ö., & Lökk, J. (2017). Evolution of orofacial symptoms and disease progression in idiopathic Parkinson's disease: longitudinal data from the Jönköping Parkinson Registry. *Parkinson's Disease*, 2017, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/7802819>
- 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>
- Habibi, Assal, B. Rael Cahn, Antonio Damasio, ja Hanna Damasio. (2016) ”Neural correlates of accelerated auditory processing in children engaged in music training”. *Developmental Cognitive Neuroscience* 21 (2016): 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.04.003>.
- Hafke, H. S. (2008). Nonconscious control of fundamental voice frequency. *J. Acoust. Soc. Am.* 123, 273–278. <https://doi.org/10.1121/1.2817357>
- Hausen, M. (2012). *Musiikin ja prosodian yhteinen rytmi*. [pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto]. HELDA <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201210059348>
- Hickok, G. (2012). The cortical organization of speech processing: Feedback control and predictive coding the context of a dual-stream model. *Journal of Communication Disorders*, 45(6), 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.06.004>
- Ho, A. K., Bradshaw, J. L., & Iannsek, R. (2000). Volume perception in Parkinsonian speech. *Movement Disorders*, 15(6), 1125–1131. [https://doi.org/10.1002/1531-8257\(200011\)15:6%3C1125::AID-MDS1010%3E3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1531-8257(200011)15:6%3C1125::AID-MDS1010%3E3.0.CO;2-R)
- Ho, A.K., Bradshaw JL, Iannsek R. (2008). For better or worse: The effect of Levodopa on speech in Parkinson's disease. *Mov Disord* 23(4):574–80. <https://doi.org/10.1002/mds.21899>
- Houde, J. F., Nagarajan, S. S., Sekihara, K., & Merzenich, M. M. (2002). Modulation of the Auditory Cortex during Speech: An MEG Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1125–1138. <https://doi.org/10.1162/089892902760807140>
- Jauhiainen, T., Arlinger, S. (Stig), & Andersson, G. (2008). *Audiologia*. Helsinki: Duodecim.

- Jones, J. A., & Keough, D. (2008). Auditory-motor mapping for pitch control in singers and nonsingers. *Experimental Brain Research*, 190(3), 279–287. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1473-y>
- Karma, K. (1986). *Musiikkipsykologian perusteet*. Suomen Musiikkitieteellinen Seura.
- Karma, K. (1993). *Musikaalisuustesti*. Kai Karma.
- Kolehmainen, T. (2010). ”MITEN TÄÄ MUKA MITTAA MUSIKAALISUUTTA?” Vertaileva tutkimus Kai Karman musikaalisuustestistä ja jäljittelyyn perustuvasta musikaalisuustestistä. [kandidaatintutkielma, Jyväskylän yliopisto]. JYX-julkaisuarkisto HYPE [//urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201004141518](https://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201004141518)
- 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>
- Kiran, S., & Larson, C. R. (2001). Effect of Duration of Pitch-Shifted Feedback on Vocal Responses in Patients With Parkinson’s Disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(5), 975–987. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/076\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/076))
- Kwan, L. C., & Whitehill, T. L. (2011). Perception of Speech by Individuals with Parkinson’s Disease: A Review. *Parkinson’s Disease*, 2011, 389767–11. <https://doi.org/10.4061/2011/389767>
- Lametti, D. R., Nasir, S. M., & Ostry, D. J. (2012). Sensory preference in speech production revealed by simultaneous alteration of auditory and somatosensory feedback. *The Journal of Neuroscience*, 32(27), 9351–9358. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0404-12.2012>
- Lincoln, M., Packman, A., & Onslow, M. (2006). Altered auditory feedback and the treatment of stuttering: A review. *Journal of Fluency Disorders*, 31(2), 71–89. <https://doi.org/10.1016/j.jfludis.2006.04.001>
- Linnavalli, T., & Virtala, P. M. (2022). Musiikin oppimisen siirtovaikutuksia. In J. Louhivuori, S. Saarikallio, & P. Toiviainen (Eds.), *Musiikkipsykologia* (2.painos ed., pp. 323–346). Eino Roiha-säätiö.
- Liu, H., Wang, E. Q., Metman, L. V., & Larson, C. R. (2012). Vocal responses to perturbations in voice auditory feedback in individuals with Parkinson’s disease. *PloS One*, 7(3), e33629–e33629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033629>
- Miller, N. (2017). Communication changes in Parkinson’s disease. *Practical Neurology*, 17(4), 266–274. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2017-001635>
- Mollaei, F., Shiller, D. M., Baum, S. R., & Gracco, V. L. (2019). The Relationship Between Speech Perceptual Discrimination and Speech Production in Parkinson’s Disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(12), 4256–4268. <https://doi.org/10.1044/2019.JSLHR-S-18-0425>

- Mollaei, F., Shiller, D. M., & Gracco, V. L. (2013). Sensorimotor adaptation of speech in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 28(12), 1668–1674. <https://doi.org/10.1002/mds.25588>
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical Training Influences Linguistic Abilities in 8-Year-Old Children: More Evidence for Brain Plasticity. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. 1991)*, 19(3), 712–723. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn120>
- Mürbe, D., Pabst, F., Hofmann, G., & Sundberg, J. (2004). Effects of a professional solo singer education on auditory and kinesthetic feedback—a longitudinal study of singers' pitch control. *Journal of Voice*, 18(2), 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.05.001>
- Natke, U., Donath, T. M., & Kalveram, K. T. (2003). Control of voice fundamental frequency in speaking versus singing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(3), 1587–1593. <https://doi.org/10.1121/1.1543928>
- Numminen, J., & Curio, G. (1999). Differential effects of overt, covert and replayed speech on vowel-evoked responses of the human auditory cortex. *Neuroscience Letters*, 272(1), 29–32. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00573-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00573-X)
- Ostry, D. J., Tremblay, S., & Shiller, D. M. (2003). Somatosensory basis of speech production. *Nature (London)*, 423(6942), 866–869. <https://doi.org/10.1038/nature01710>
- Patel, S., Hebert, K., Korzyukov, O., & Larson, C. R. (2023). Effects of sensorimotor voice training on event-related potentials to pitch-shifted auditory feedback. *PloS One*, 18(1), e0269326–e0269326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269326>
- Peretz, I., Champod, A. S., & Hyde, K. (2003). Varieties of Musical Disorders: The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 58–75. <https://doi.org/10.1196/annals.1284.006>
- Peretz, I., Vuvan, D., Lagrois, M. É. ja Armony, J. L. (2015). Neural overlap in processing music and speech. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370, 20140090.
- Perkell, J. S. (2012). Movement goals and feedback and feedforward control mechanisms in speech production. *Journal of Neurolinguistics*, 25(5), 382–407. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.02.011>
- Railo, H., Nokelainen, N., Savolainen, S., & Kaasinen, V. (2020). Deficits in monitoring self-produced speech in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 131(9), 2140–2147. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.05.038>
- Rogalsky, C., Rong, F., Saberi, K., & Hickok, G. (2011). Functional anatomy of language and music perception: Temporal and structural factors investigated using functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 31(10), 3843–3852. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4515-10.2011>
- Sares, Anastasia & Foster, Nicholas & Allen, Kachina & Hyde, Krista. (2018). Pitch and Time Processing in Speech and Tones: The Effects of Musical Training and Attention. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 61, 1-14. [https://doi.org/10.1044/2017\\_jslhr-s-17-0207](https://doi.org/10.1044/2017_jslhr-s-17-0207)

- Soini, E. (2023). Miten itse tuotetun puheen havaitsemista ja sen metakognitiota voidaan mitata? : signaalidetektio teoria puheen havaitsemisen tutkimisen välineenä. [pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto]. UTUPub <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023080994405>
- 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>
- Schneider, D. M. & Mooney, R. (2018). How movement modulates hearing. *Annual Review of Neuroscience*, 41, 553–572. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031215>
- Stuart, A., Frazier, C. L., Kalinowski, J., & Vos, P. W. (2008). The Effect of Frequency Altered Feedback on Stuttering Duration and Type. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(4), 889–897. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/065\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/065))
- 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, X., & Eliades, S. J. (2008). Neural substrates of vocalization feedback monitoring in primate auditory cortex. *Nature*, 453(7198), 1102–1106. <https://doi.org/10.1038/nature06910>
- Watson, Andrew B. “QUEST: A General Multidimensional Bayesian Adaptive Psychometric Method.” *Journal of vision (Charlottesville, Va.)* 17.3 (2017): 1–27. Web.
- 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>
- Zatorre, R. J., & Baum, S. R. (2012). Musical melody and speech intonation: Singing a different tune. *PLoS Biology*, 10(7), 5-e1001372. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001372>