



**TURUN
YLIOPISTO**

**"Musta tuntuu ihan kuin mä hallusinoisin!": Kuulopalautteeseen
ehdollistettujen virheiden vaikutus äänenkorkeuden kontrolliin**

Elli Peromaa ja Matleena Halla

Pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Henry Railo

Turun yliopisto

Psykologian ja logopedian laitos

Logopedia

28.1.2025

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Puhe on keskeinen osa ihmisen kommunikaatiota. Puheen säätely tapahtuu pitkälti automaattisesti muun muassa kuulopalautejärjestelmän avulla, mutta nykytiedon valossa tähän säätelyyn vaikuttavat automaattisen säätelyn lisäksi useat top down -tekijät, kuten tarkkaavuus ja työmuisti. Henkilön omien odotusten vaikutusta puheen prosessointiin ja säätelyyn ei ole kuitenkaan aiemmin tutkittu, minkä vuoksi otimme sen tämän tutkimuksen keskiöön.

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli tarkastella top down -prosessien merkitystä kuulopalautejärjestelmän toiminnassa. Tutkimme tätä koasetelmassa, jossa tavoitteena oli ehdollistaa henkilö havaitsemaan kuulopalautteessaan virhe, jota ei todellisuudessa ilmennyt. Ehdollistuminen tarkoittaa prosessia, jossa henkilö oppii yhdistämään ärsykeitä toisiinsa. Tässä tutkimuksessa ehdollistaminen toteutettiin esittämällä koehenkilölle toistuvasti visuaalinen ja auditiivinen ärsyke samanaikaisesti. Tavoitteenamme oli selvittää, kuinka nämä ehdollistetut virheet vaikuttavat henkilön ääntöön ja äännön motoriseen kontrolliin.

Tutkimukseen osallistui 59 koehenkilöä, jotka olivat iältään 19–43-vuotiaita. Kokeessa henkilön kuulopalautteen äänenkorkeutta nostettiin ylöspäin reaaliajassa hetkellisesti /u/-äännön aikana, samalla kun hän näki ruudulla visuaalisen ärsykkeen. Kaikissa trialeissa äänenkorkeutta ei kuitenkaan muokattu. Äännön jälkeen henkilön tuli arvioida, kuuliko hän äänessään muutoksen ja kuinka varma hän oli vastauksestaan. Koehenkilöt myös täyttivät suomennetun LSHS-E-kyselylomakkeen aistiharhataipumuksensa kartoittamiseksi.

Tutkimuksen perusteella koehenkilöt eivät ehdollistuneet havaitsemaan perturbaatioita, joita ei ilmennyt. Koehenkilöt kuitenkin havaitsivat omassa äänenkorkeudessaan tapahtunutta vaihtelua herkemmin kuin aiempien tutkimusten pohjalta olisi voinut odottaa. Tuloksen yllättävyyden vuoksi aihetta olisi syytä tutkia lisää. Jatkossa tutkimusta voitaisiin toteuttaa myös sellaisilla henkilöillä, joilla tiedetään olevan poikkeavuuksia kuulopalautejärjestelmän toiminnassa, kuten henkilöillä, joilla on psykoosisairauden tai Parkinsonin taudin diagnoosi. Tutkimus antaa viitteitä siitä, että top down -prosesseja ja ehdollistumista voitaisiin hyödyntää oman puheen tarkemmassa havaitsemisessa, mikä voisi luoda uusia mahdollisuuksia kuntoutukseen.

Asiasanat: puheentuotto, äänentuotto, havaitseminen, perturbaatio, äänenkorkeus, kuulopalaute, ehdollistuminen, auditiivinen palaute, auditiivinen hallusinaatio, top down -prosessit

Sisällysluettelo

1 Johdanto	1
1.1 Puheen tuottaminen ja palautejärjestelmä	2
1.2 Kuuloärsykkeiden prosessointi	5
1.3 Audittiiviset hallusinaatiot	6
1.4 Ehdollistuminen ja aiemmat tutkimukset	7
1.5 Perturbaatiotutkimukset	8
1.6 Tutkimuksen tarkoitus	10
2 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	11
3 Menetelmät	12
3.1 Koehenkilöt	12
3.2 Laitteisto ja lomakkeet	12
3.3 Koeasetelma	13
3.4 Kokeen kulku	14
3.5 Kokeen osiot	16
3.6 Tilastolliset analyysit	17
3.6.1 Ehdollistetut virheet	17
3.6.2 Ääntövasteet ja niiden muutokset kokeen edetessä	18
3.6.3 Kyselylomakkeen pisteet ja raportoidut hallusinaatiot	18
3.7 Tutkimuksen eettisyys	19
4 Tulokset	20
4.1 Ehdollistetut virheet henkilön kuulopalautteessa	20
4.2 Ehdollistettujen virheiden vaikutus henkilön äänenkorkeuteen	21
4.3 LSHS-E-pisteiden yhteys ehdollistettujen virheiden määrään ja vastausvarmuuteen	22
5 Pohdinta	24
5.1 Tulosten kuvaus ja arviointi	24
5.2 Menetelmän vahvuudet ja kehittämiskohteet	26
5.3 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuskohteet	28
Lähteet	30
Liitteet	37

1 Johdanto

Puheen motorista kontrollia sekä puheen tuottamisen palautejärjestelmiä on tutkittu jo pitkään niin terveiden ihmisten (Tourville ym., 2008) kuin esimerkiksi Parkinsonin tautia sairastavien (Kwan & Whitehill, 2011; Smith & Caplan, 2018) osalta. Oman puheen ja äännön monitorointi on välttämätöntä puheen normaalin akustisen rakenteen ylläpitämiseksi ja häiriöt auditiivisen palautejärjestelmän toiminnassa voivat johtaa muutoksiin äänentuotossa (Eliades & Wang, 2003). Äännönaikaisen auditiivisen prosessoinnin ymmärtäminen on keskeistä sekä kuulojärjestelmän että puheentuoton mekanismien ymmärtämiseksi (Steven & Wang, 2003). Vielä on epäselvää, millä kaikella on vaikutusta tähän prosessointiin, minkä vuoksi me otamme tarkastelumme henkilön omien odotusten ja sitä kautta ehdollistamisen mahdolliset vaikutukset.

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on selvittää, millainen merkitys top down -prosesseilla on kuulopalautejärjestelmän toiminnassa. Tutkimme tätä klassisen ehdollistumisen avulla koeasetelmassa, jossa henkilö ehdollistetaan havaitsemaan kuulopalautteessaan virhe, jota ei todellisuudessa ilmene. Tavoitteenamme on myös selvittää, kuinka nämä ehdollistetut virheet vaikuttavat henkilön ääntöön ja äännön motoriseen kontrolliin.

Useat tutkimukset ovat osoittaneet kuulopalautteen muokkaamisen vaikuttavan henkilön puheentuottoon. Esimerkiksi viivästynyt kuulopalaute voi aiheuttaa änkytyksenkaltaista puheen sujumattomuutta henkilöillä, jotka eivät änkytä (Malloy ym., 2022; Yates, 1963). Toisaalta henkilöillä, jotka änkyttävät, kuulopalautteen keinotekoinen muokkaaminen voi helpottaa änkytysoireita änkytyksen tason ollessa vaikea (Fiorin ym., 2021). Kuulopalautteen keinotekoisesta muokkaamisesta on havaittu parantavan puheen ymmärrettävyyttä myös Parkinsonin taudin potilaille (Kaipa ym., 2023). Kuulopalautejärjestelmän häiriöitä tiedetään esiintyvän änkytyksen lisäksi esimerkiksi afasiassa (Behroozmand ym., 2022) ja psykoosisairauksissa (Ford & Mathalon, 2004). Kuulopalautejärjestelmällä voi siis olla merkittävä rooli monen puheeseen vaikuttavan häiriön synnyssä ja sen toiminta tulisi huomioida niiden kuntoutuksessa. Aihetta koskevaa tutkimusta tarvitaan enemmän tiedon lisäämiseksi sekä arviointi- ja kuntoutuskeinojen kehittämiseksi.

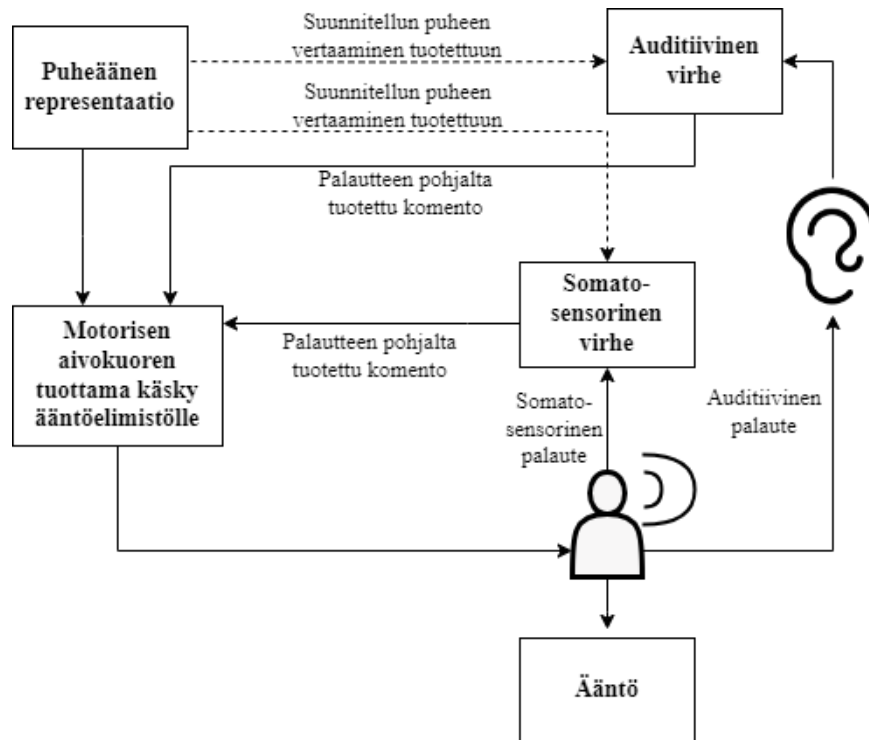
1.1 Puheen tuottaminen ja palautejärjestelmä

Puhe on keskeinen osa ihmisen kommunikaatiota sen toimiessa olennaisena informaatioväylänä. Jotta puheen tuottaminen olisi sujuvaa, täytyy ihmisen pystyä monitoroimaan sitä somatosensorisen ja auditiivisen informaation avulla (Tourville & Guenther, 2011). Tämä säätely tapahtuu sekä automaattisesti että tahdonalaisesti (Postma, 2000). Ihmisen puheentuotto on kuitenkin harvoin täydellistä, vaan puheessa ilmenee paljon vaihtelua, kuten tahattomia äänenkorkeuden muutoksia ja äännön taukoja (Cohen ym., 2019). Terveet puhujat kuitenkin korjaavat puheentuottoaan automaattisesti (Tourville ym., 2008). Kuulopalaute ja sen muokkaamista koskevalla tutkimuksella voisi olla klinisiä soveltamiskohteita logopedian alalla, minkä vuoksi tutkimusta tarvitaan enemmän.

Yksi tunnetuimmista puheentuoton motorista kontrollia kuvaavista malleista on DIVA-malli (*Directions Into Velocities of Articulators*) (Tourville & Guenther, 2011). Laajemmassa muodossaan malli tarjoaa eksplisiittisen kuvauksen puheen omaksumiseen ja tuottamiseen osallistuvien aivoalueiden välisestä vuorovaikutuksesta. DIVA-malli perustuu integroituihin syötekytkentä- (*feedforward*) sekä palautejärjestelmiin (*feedback*), joiden avulla puheen havainnointi ja säätely on mahdollista (Tourville & Guenther, 2011). Mallin mukaan puheentuotosta vastaavat ennakoivia käskyjä antava syötekytkentäjärjestelmä sekä kaksi eri palautejärjestelmää, somatosensorinen sekä auditiivinen järjestelmä. Somatosensorinen palautejärjestelmä vastaa tuottamisen aikaisten virheiden havainnoinnista, kun taas auditiivinen eli kuulopalaute vastaa jo puhutun puheen virheiden havainnoinnista. Nämä palautejärjestelmät välittävät tietoa puheesta takaisin syötekytkentäjärjestelmälle, joka motorisen aivokuoren välityksellä muokkaa liikekäskyä ääntöön osallistuville lihaksille saamansa palautteen perusteella. Kuvassa 1 on havainnollistettu yksinkertaistetusti DIVA-malli.

Kuva 1

Kaaviokuva, joka esittää pelkistetysti Tourvillen ja Guentherin (2011) DIVA-mallin (*Directions Into Velocities of Articulators*) syötekytkentä- ja palautejärjestelmien rakenteen ja toimintamallin. Katkoviivoilla kuvataan suunnitellun puheen vertaamista tuotettuun puheeseen tilanteissa, joissa puhevasteessa havaitaan virhe.



Nykyisessä muodossaan DIVA-malli muodostaa yhtenäisen selityksen useille puheen tuottamiseen liittyville ilmiöille ja tarjoaa teoreettisen viitekehyksen puheen tuottamista koskeville tutkimuksille (Tourville ym., 2008). Mallin avulla on mahdollista hahmottaa esimerkiksi millä mekanismeilla puheessa tapahtunut virhe, kuten satunnainen äänenkorkeuden muutos, vaikuttaa motorisen aivokuoren lähettämään käskyyn ääntöelimistölle. Malli tarjoaa myös neuroanatomisen kuvauksen puheen omaksumiseen ja tuottamiseen osallistuvien aivoalueiden verkostosta (Tourville & Guenther, 2011).

Motorisen aivokuoren lisäksi monet muut aivoalueet ovat tärkeässä roolissa puheen prosessoinnissa ja monitoroinnissa. Tutkimustulosten perusteella kuuloaivokuorella on merkittävä rooli puheen prosessoinnissa (Curio ym., 2000; Ford & Mathalon, 2004). Puhumisen aiheuttama suppressio (*speaking-induced suppression, SIS*) on ilmiö, jonka mukaan henkilön itse tuottamat äänet saavat kuuloaivokuorella aikaan pienemmän neurofysiologisen vasteen kuin vastaavat ulkoisesti tuotetut äänet (Whitford, 2019). SIS on yksi esimerkki itsesuppressiosta eli sensorisesta vaimenemisesta. Tällä viitataan ilmiöön, jossa

itse tuotetut ärsykkeet tuntuvat vähemmän korostuneilta ja herättävät pienemmän neurofysiologisen vasteen kuin identtiset ulkoisesti tuotetut ärsykkeet (Hughes ym., 2013). Puheen aiheuttamaa suppressiota on selitetty sillä, että kuulojärjestelmä käsittelee sekä ympäristön että henkilön itse tuottamia ääniä ja motoriset liikekäskyt vaimentavat henkilön tuottamien äänien neuraalisia vasteita tehostaen kykyä havaita ympäristöstä tulevia ääniä (V. Békésy, 1949).

Tutkimuksissa on havaittu kuuloaivokuoren aktivaation vähenevän puheen tuottamisen aikana (esim. Wise ym., 1999). Kuuloaivokuoren aktivaation on havaittu olevan vielä heikompaa henkilön kuullessa oman äänensä nauhoitettuna, eikä reaaliajassa (Curio ym., 2000; Numminen ym., 1999). Kuuloaivokuoren aktiivisuus on siis suurempaa henkilön tuottaessa puhetta samanaikaisesti kun hän kuulee sen. Aivokuoren suppressiota ilmenee lisäksi sisäisen puheen osalta, eli kuuloaivokuoren vasteet henkilön sisäiseen puheeseen ovat pienempiä kuin ulkoiseen ääneen (Ford & Mathalon, 2004).

Aina henkilön ääntäessä ei kuitenkaan tapahdu kuuloaivokuoren aktiivisuuden suppressiota. Changin ja kumppaneiden (2013) mukaan auditivisen kuulopalautteen ollessa ristiriidassa motorisen liikekäskyn kanssa oma ääntö voi lisätä kuuloaivokuoren aktiivisuuden voimakkuutta. Ilmiötä kutsutaan puheen häiriövasteen voimistumiseksi (*speech perturbation-response enhancement*, SPRE) (Chang ym., 2013). Omassa tutkimuksessaan Chang ja kumppanit (2013) havaitsivat, että tällaisen ristiriidan syntyessä ääntöä kompensoitiin sitä enemmän, mitä suurempaa kuuloaivokuoren aktiivisuuden kasvu oli. Ristiriita syötekytkentä- ja palautejärjestelmien välittämän informaation välillä voi siis suoraan näkyä puheen tuotossa, jos DIVA-mallissakin kuvattu motorisen aivokuoren tuottama liikekäsky on ristiriidassa sen kanssa, mitä henkilö kuulee ääntävänsä.

Syötekytkentä- ja palautejärjestelmien sekä puheen aikaisten aivokuoren aktiivisuuden muutosten ymmärtäminen on tärkeää, jotta erilaisten puheeseen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen on mahdollista. Esimerkiksi Parkinsonin taudin sekä psykoosisairauksien yhteydessä on havaittu heikentynyttä kykyä havaita virheitä omassa äännössä (Johns ym., 2001; Kwan & Whitehill, 2011). Taustalla saattaa siis vaikuttaa heikentynyt toiminta kuulopalautejärjestelmässä, jonka tarkasteluun tämäkin tutkimus keskittyy. Puheen prosesseihin ja puheen virheettömyyteen vaikuttavat ilmiöt voivat kertoa sairauden taustalla olevista prosesseista, mitkä voivat puolestaan lisätä tietoa sairauksien synnystä, riskitekijöistä tai kuntoutuksen kohdentamisesta.

1.2 Kuuloärsykkeiden prosessointi

Klassisissa aistitiedon käsittelyä koskevissa teorioissa aivojen toiminnan on nähty olevan puhtaasti ärsykkeisiin perustuvaa (Malcolm & Gibson, 1951). Ärsykkeisiin reagointi tapahtuisi siten niin sanotusti alhaalta ylöspäin (*bottom up*) ja havainnot tapahtuisivat puhtaasti yhdistelemällä aistisyötteen antamia piirteitä (Engel ym., 2001). Perinteisesti esimerkiksi kuulemisprosessia on tutkittu ikään kuin kuulojärjestelmä toimisi suorana tiedonsiirtokanavana korvasta aivoihin, jolloin kuuleminen olisi pelkästään riippuvaista äänen voimakkuudesta eri taajuusalueilla (Hari & Salenius, 1999). Puheen tuottamiseen ja havaitsemiseen liittyvät ilmiöt eivät kuitenkaan noudata yksinkertaista ärsykkeen ja vasteen välistä suhdetta, vaan prosessit ovat monimutkaisia ja mukautuvia. Changin ja kumppaneiden (2013) tutkimus puheen häiriövasteen voimistumisesta korostaa, että kuuloaivokuoren aktiivisuus voi lisääntyä ristiriitatilanteissa, jolloin havainto ja liikekäsky eivät täysin vastaa toisiaan. Tämä ilmiö siis haastaa perinteisiä näkemyksiä, joiden mukaan aistimukset rakentuisivat vain alhaalta ylöspäin.

Nykytiedon valossa aivot ymmärretään enemmän aktiivisena, adaptiivisena järjestelmänä, jossa havaitsemista ohjaavat esimerkiksi aiempiin kokemuksiin perustuvat odotukset. Tämä ilmiö on niin sanotusti ylhäältä alaspäin etenevää prosessointia ja tässä tutkielmassa käytämme siitä sen englanninkielistä käsitettä *top down* -prosessointi, koska sille ei ole vakiintunutta suomenkielistä vastinetta. *Top down* -prosessoinnin hyödyntäminen mahdollistaa aistitiedon nopeamman käsittelyn (O’Callaghan ym., 2017) ja sen vaikutuksen määrän oletetaan olevan vaihteleva. Kun saatu aistitieto on jollakin tapaa heikentynyt, vääristynyt tai monitulkintainen, *top down* -prosessien kautta luodut odotukset vaikuttavat aistitiedon tulkinnassa enemmän kuin aistitiedon ollessa selkeää (De Boer ym., 2019).

Top down -prosesseilla on tärkeä rooli puheen havaitsemisessa. Henkilön odotuksilla ja kokemuksilla on suuri rooli esimerkiksi vääristyneen tai voimakkaalla korostuksella puhutun puheen ymmärtämisessä (Davis & Johnsrude, 2007). Kognitiiviset odotukset siis osittain määräävät sen, mitä kuulemme. Nämä ylhäältä alaspäin suuntautuvat odotukset nopeuttavat huomattavasti prosessointia ja lisäävät siten kommunikaation tehokkuutta, koska aktivoimme jo valmiiksi sanat, jotka odotamme kuulevamme (O’Callaghan ym., 2017). Tällaisen nopean prosessoinnin haittapuolena on kuitenkin sen virhealttius tilanteissa, joissa nämä odotukset eivät täyty (De Boer ym., 2019). *Top down* -prosessit saattavat siis vaikuttaa auditiivisen informaation prosessointiin ja kuulopalautejärjestelmän toimintaan. Nopea prosessointi ja sen

myötä kasvanut virhealttius voi myös johtaa tilanteeseen, jossa henkilö havaitsee jotakin, mitä ei todellisuudessa ole ilmennyt.

1.3 Auditiiviset hallusinaatiot

Top down - ja bottom up -prosessoinnin epätasapainon on nähty vaikuttavan erilaisten havaitsemisen häiriöiden, kuten aistiharhojen taustalla. Skitsofreniapotilaiden hallusinaatioiden taustalla olevia mekanismeja käsittelevien tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että näiden aistiharhojen taustalla saattaa olla top down - ja bottom up -prosessoinnin välinen epätasapaino (Aleman ym., 2003; Dima ym., 2010). Näistä aistiharhoista yleisimpiä ovat auditiiviset hallusinaatiot (Baethge ym., 2005).

Auditiiviset hallusinaatiot ovat äänihavaintoja ilman ulkoista vaikutusta (Anthony, 2004). Tällöin henkilö kokee hereillä ollessaan havaitsevansa ulkoisen äänen, kuten puhetta, jota ei todellisuudessa ole esiintynyt, mutta jonka todellisuuden tuntu on riittävä muistuttamaan todenmukaista havaintoa (Anthony, 2004). Auditiivisia hallusinaatioita on tyypillisesti tutkittu psykiatristen häiriöiden, kuten skitsofrenian yhteydessä, sillä auditiiviset hallusinaatiot kuuluvat häiriön yleisimpiin oireisiin (Baethge ym., 2005; Oorschot ym., 2012). Aistiharjoja esiintyy kuitenkin myös henkilöillä, joilla ei ole psykiatrista tai neurologista häiriötä ja niiden raportoitu esiintyvyys väestössä on tutkimuksesta riippuen 3–10 % (Dhossche ym., 2002; Majer ym., 2018; Scott ym., 2009). Auditiivisia hallusinaatioita pidetäänkin nykyään ilmiönä, jotka vaihtelevat terveiden henkilöiden satunnaisista kokemuksista psykoosisairauksien keskeisiin ja toistuviin oireisiin (Majer ym., 2018). Terveellä väestöllä aistiharjoja esiintyy kuitenkin harvemmin ja ne ovat sisällöltään tyypillisesti neutraalimpia (De Boer ym., 2022; Johns ym., 2014).

Tarkkaa neurologista mekanismeja auditiivisten hallusinaatioiden synnylle ei ole vielä löydetty (Boksa, 2009; Hare, 2021). Useissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu heikentyneitä SIS:n arvoja henkilöillä, joilla on jonkin psykoosisairauden diagnoosi (Ford ym., 2013; Mathalon ym., 2019). Tämä heikentynyt suppressio omaa puhetta kohtaan voisi toimia osaselityksenä hallusinaatioiden synnylle (Whitford, 2019). Hallusinaatioiden synnyn yhtenä selityksenä pidetäänkin aivokuoren suppression epätyypillistä aktiivisuutta ulkoiselle äänelle, henkilön omalle äänelle ja henkilön sisäiselle puheelle, jolloin henkilön tulkinta kustakin näistä voi sekoittua (Whitford, 2019).

1.4 Ehdollistuminen ja aiemmat tutkimukset

Aistiharhojen aiheuttamista ehdollistamisen avulla on tutkittu jo vuosikymmenten ajan (Ellson, 1941; Kot & Serper, 2002). Klassinen ehdollistuminen on oppimisprosessi, jossa ehdollistamaton ärsyke opitaan yhdistämään ehdollistettuun ärsykkeeseen ja ehdollistamattoman ärsykkeen aiheuttama reaktio toteutuu myös ehdollistetun ärsykkeen yhteydessä ilman ehdollistamatonta ärsykettä (Skvortsova ym., 2019). Todennäköisesti tunnetuin esimerkki tästä on Pavlovin koirakoe (Pavlov, 1927). Kokeellisissa tutkimuksissa on saatu aikaan kuuloharjoja, kun ääni eli ehdollistamaton ärsyke ja valo eli ehdollistettu ärsyke on yhdistetty toistuvasti, kunnes pelkkä valo on saanut koehenkilöt kuulemaan äänen, vaikkei sitä enää esitetty (Powers ym., 2017). Tämä kuuloaistiin ehdollistuva ilmiö raportoitiin ensimmäisen kerran jo yli 80 vuotta sitten (Ellson, 1941). Henkilöt, joilla ilmenee säännöllisesti auditiivisia hallusinaatioita, voivat olla alttiimpia tälle vaikutukselle (Kot & Serper, 2002; Powers ym., 2017). On siis mahdollista, että henkilöt, joilla ilmenee usein aistiharjoja, ovat herkempiä top down -prosessien vaikutuksille, mikä mahdollistaisi myös herkemmän ehdollistumisen. Tietääksemme ilmiötä ei kuitenkaan toistaiseksi ole testattu itse tuotettua ääntä hyödyntäen.

Aiemmissä tutkimuksissa on pystytty tuottamaan auditiivisia hallusinaatioita ehdollistamalla koehenkilöt odottamaan tietynlaista ärsykettä (Kot & Serper, 2002; Mak ym., 2023; Powers ym., 2017). Tutkimuksemme koe on suunniteltu Powersin ja kumppaneiden (2017) tutkimuksen pohjalta. Kyseisessä tutkimuksessa koehenkilöt jaettiin neljään ryhmään sen mukaan, kokivatko he päivittäisiä auditiivisia hallusinaatioita ja oliko heillä diagnosoitu jokin psykoosisairaus. Tutkimuksessa koehenkilöt pyrittiin ehdollistamaan kuulemaan auditiivinen ärsyke aina visuaalisen ärsykkeen yhteydessä. Auditiivisena ärsykkeenä kokeessa toimi taustakohinasta erottuva 1000 hertsin (Hz) korkuinen äänimerkki, ja visuaalisena ärsykkeenä muutoin mustalle ruudulle ilmestyvä mustavalkoinen ruutukuvio. Koehenkilöiden tehtävänä oli vastata, havaitsivatko he esitetyn äänimerkin ja kuinka varmoja he olivat vastauksestaan.

Powersin ja kumppaneiden (2017) koe muodostui kahdestatoista kolmenkymmenen trialin kierroksesta, joissa visuaalisen ärsykkeen esittämistä jatkettiin, mutta auditiivisen ärsykkeen taajuutta laskettiin vähitellen alle koehenkilöiden kuulokynnyksen. Tutkimuksen tulosten mukaan päivittäisiä aistiharjoja kokevat koehenkilöt raportoivat todennäköisemmin kuulleensa auditiivisen ärsykkeen silloinkin, kun sitä ei todellisuudessa ollut esitetty, eli nämä koehenkilöt mahdollisesti ehdollistuivat herkemmin. Tutkimuksessa havaittiin myös yhteys

korkeamman hallusinaatioherkkyyden ja mahdollisen ehdollistumisen sekä vastausvarmuuden välillä.

Klassista ehdollistumista on tutkittu jo kauan, mutta keskiössä ovat olleet pääosin ulkoiset ärsykkeet. Meidän tutkimuksessamme olemme kiinnostuneita siitä, onko koehenkilö mahdollista ehdollistaa sisäiseen ärsykkeeseen eli tässä tapauksessa oman äänen muutokselle. Powersin ja kumppaneiden (2017) tutkimuksessa odotus äänimerkistä visuaalisen ärsykkeen yhteydessä sai koehenkilöt havaitsemaan äänen, jota ei todellisuudessa esiintynyt. Tämä viittaa siihen, että nämä top down -odotukset vaikuttavat siihen, miten me havainnoimme ympäristöä. Tutkimuksessamme pyrimme selvittämään, vaikuttaako top down -prosessointi näin voimakkaasti myös kuulopalautejärjestelmän toimintaan ja mikä merkitys tällä olisi puheentuotolle.

1.5 Perturbaatiotutkimukset

Kuulopalautteen muokkaamista äännön yhteydessä on tutkittu perturbaatiotutkimusten avulla (Bauer ym., 2006; Chen ym., 2007; Schenck ym., 2023). Perturbaatiolla viitataan kuulopalautteeseen tehtyyn keinotekoiseen virheeseen, joka tyypillisesti tehdään nostamalla tai laskemalla kuulopalautteen äänenvoimakkuutta tai äänenkorkeutta. Perturbaatiotutkimuksissa tarkastellaan, miten tämä kuulopalautteen muokkaaminen vaikuttaa puheeseen tai ääntöön, kun suunniteltu tuotos ja lopullinen tuotos ovat keskenään ristiriidassa (Chen ym., 2007). Tutkimuksissa hyödynnetään usein vokaalin pitkää ääntä, jonka aikana perturbaatio ilmenee (Chen ym., 2007).

Äänenkorkeuden odottamaton muutos vaikuttaa auditiiviseen palautejärjestelmään niin, ettei se vastaa enää motorista liikekäskyä ja sisäistä ennustetta tuotetusta äännöstä (Chang ym., 2013). Kyseessä on siis puheen häiriövasteen voimistuminen eli perturbaatio aiheuttaa aivokuoren aktiivisuudessa kasvun, johon henkilö tietoisesti tai tiedostamattaan reagoi (Chang ym., 2013). Tyypillisesti jos koehenkilö tuottaa ääntä ja hänen saamaansa kuulopalautetta muutetaan äänenkorkeudeltaan korkeammaksi tai matalammaksi, koehenkilö muuttaa omaa ääntään vastakkaiseen suuntaan (Alemi ym., 2020; Chang ym., 2013). On kuitenkin havaittu, että koehenkilö saattaa muuntaa ääntään perturbaation suuntaisesti, jos perturbaation suuntaa ei pystytä tunnistamaan tai syöte tulkitaan ulkopuolelta tulevaksi eikä itse tuotetuksi (Franken ym., 2018). Tutkimusten perusteella koehenkilöiden on havaittu huomaavan muutokset itsetuotetussa äänessä herkemmin puheen tuoton aikana kuin tilanteessa, jossa koehenkilölle

on soitettu omaa ääntä nauhalta, jolloin sensomotorisen informaation hyödyntäminen ei ole mahdollista (Salonen & Tuomisto, 2024).

Perturbaatiotutkimuksissa yleisenä menetelmänä toimii FAF-menetelmä (*frequency altered feedback*), jossa koehenkilön äännön perustaajuutta muokataan ja muokattu ääntö soitetaan koehenkilölle samanaikaisesti tämän tuottaessa ääntä (Stuart ym., 2008). FAF-menetelmän käyttöä on perturbaatiotutkimusten lisäksi tutkittu änkytyksen kuntoutuksessa ja menetelmästä on saatu myönteisiä tuloksia (Fiorin ym., 2021; Lincoln ym., 2010; Stuart ym., 2008). FAF-menetelmää hyödynnetään myös meidän tutkimuksessamme.

Eri perturbaatiotutkimuksissa on mitattu koehenkilöiden havainnointia erikokoisilla perturbaatioilla, joiden kokoa ilmaistaan tyypillisesti senteillä eli puolisävelaskeleen sadasosilla. Hafken (2008) mukaan alle 26 sentin perturbaatiot ovat havainnointikynnyksen alapuolella, eli liian pieniä koehenkilöiden havaittaviksi. Scheererin ja Jonesin (2014) tutkimuksessa koehenkilöt kuitenkin havaitsivat tietoisesti 15 sentin perturbaatioita ja kompensoivat ääntöään tiedostamattaan 10 sentin perturbaatioiden kohdalla. Myös Hillin ja Summersin (2007) tutkimuksessa juuri ja juuri havaittaviksi perturbaatioiksi todettiin 10 sentin perturbaatiot. Keoughin ja Jonesin (2009) tutkimuksessa laulajat pystyivät havainnoimaan jopa kuuden sentin kokoisia perturbaatioita ja kompensoivat ääntöään niiden mukaisesti.

Siihen, minkä kokoisia perturbaatioita ihmiset pystyvät havaitsemaan, näyttäisivät vaikuttavan siis useat eri tekijät ja mahdollisesti havaittavien perturbaatioiden koot vaihtelevat tutkimusten välillä. Kuulo- ja ääntöjärjestelmän on havaittu sopivan paremmin pienten kuin suurten perturbaatioiden kompensoimiseen (H. Liu & Larson, 2007). Subramaniamin ja kumppaneiden (2018) tutkimuksessa pienemmät perturbaatiot tuottivat suurempia todennäköisemmin kompensoivan vastineen, sillä niiden kohdalla henkilön odotusten ja audittiivisen palautteen ero oli pienempi ja voitiin tulkita itseaiheutetuksi ja luonnolliseen äänenvaihteluun sopivaksi.

Top down -prosessien vaikutusta perturbaatioiden havaitsemiseen ja niiden sensomotoriseen ääntövasteeseen on tutkittu muun muassa tarkoituksellisen tarkkaavuuden suuntaamisen sekä työmuistin osalta. Zhangin ja kumppaneiden (2024) tutkimuksen mukaan huomion kiinnittäminen perturbaatioihin voi parantaa niiden havaitsemista. Huomion kohdentaminen perturbaatioihin myös pienensi äännön kompensoivaa vastetta, eli paransi koehenkilöiden sensomotorista kontrollia (Zhang ym., 2024). Osassa vastaavista tutkimuksista tulokset ovat kuitenkin olleet ristiriitaisia. Liun ja kumppaneiden (2015) tutkimuksessa koehenkilöiden vasteet perturbaatioihin olivat suurempia silloin, kun heidän huomionsa oli kiinnitetty

perturbaatioihin visuaalisen ärsyksen sijasta. Suuremman työmuistikapasiteetin on havaittu olevan yhteydessä parempaan perturbaatioiden huomaamiseen sekä pienempään kompensoivaan vasteeseen (Guo ym., 2017).

Monet aiemmat perturbaatiotutkimukset ovat keskittyneet erottelemaan perturbaatioiden havaitsemiseen vaikuttavia tekijöitä, joita ovat esimerkiksi ikä ja musikaalisuus (Keough & Jones, 2009; Kishon-Rabin, ym., 2001; Li ym., 2018). Tutkimuksissa on myös tarkasteltu sitä, miten erisuuruiset perturbaatiot vaikuttavat ääntöön (H. Liu & Larson, 2007; Subramaniam ym., 2018). Perturbaatioiden kaltaisten bottom up -prosessien lisäksi uudemmissa tutkimuksissa on alettu kiinnittämään huomiota top down -prosessien, kuten työmuistin ja tarkkaavuuden vaikutuksiin (Guo ym., 2017; Zhang ym., 2024). Meidän tutkimuksemme pyrkii tuomaan lisätietoa juuri tästä top down -prosessien vaikutuksesta perturbaatioiden tietoiseen ja tiedostamattomaan havaitsemiseen, ja sen myötä laajemmin kuulopalautejärjestelmän toimintaan.

1.6 Tutkimuksen tarkoitus

Perturbaatiotutkimusten pohjalta tiedetään, että muutokset kuulopalautteessa vaikuttavat puheentuottoon. Siitä ei kuitenkaan ole tutkimustietoa, voiko kuulopalautteen muutoksen ennakoiminen saada henkilön havaitsemaan muutoksen kuulopalautteessaan ja muokkaamaan ääntöään, vaikkei tätä muutosta todellisuudessa tapahtuisikaan. Käytännössä kyseessä olisi siis ehdollistettu auditiivinen hallusinaatio, joka perustuu koehenkilön odotukselle muutoksesta kuulopalautteessa. Puheentuoton motorisen kontrollin on havaittu olevan ainakin osittain tiedostamaton prosessi, sillä virheellisesti tuotettua ääntä korjataan usein automaattisesti ja tiedostamatta (Hafke, 2008). On siis mahdollista, että ehdollistaminen tuottaisi muutoksen henkilön äännessä ilman, että henkilö sanoo havainneensa perturbaation.

Tietääksemme vastaavanlaista kuulopalautteeseen muokattujen virheiden ehdollistamiseen perustuvaa tutkimusta ei ole ennen toteutettu terveillä eikä psykoosisairauden diagnoosin saaneilla koehenkilöillä. Aikaisemman tutkimustiedon perusteella henkilöt, joilla on säännöllisesti ilmeneviä auditiivisia hallusinaatioita ovat alttiimpia ehdollistumiselle (Powers ym., 2017). Koska aistiharhat nähdään koko väestössä esiintyvänä jatkumona, tarkastelemme myös tämän tutkimuksen koehenkilöiden taipumusta kokea aistiharhoja. Tähän hyödynnämme Launayn ja Sladen (1981) lanseeraaman *Launay-Slade Hallucination Scale* -kyselyn laajennettua versiota *Launay-Slade Hallucination Scale Extended* (LSHS-E). Powers ja kumppanit (2017) käyttivät tutkimuksessaan vastaavanlaista kyselyä.

2 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tutkimuksessamme tarkastelemme sitä, onko ehdollistamisen avulla mahdollista saada koehenkilö havaitsemaan kuulopalautteessaan virhe silloin, kun sitä ei todellisuudessa ole ollut. Olemme myös kiinnostuneita siitä, kuinka nämä kuulopalautteeseen ehdollistetut virheet vaikuttavat äänen motoriseen kontrolliin. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että henkilöt, jotka todennäköisemmin kokevat aistiharhoja, ehdollistuvat hallusinaatioille muita helpommin. Tarkoituksenamme on selvittää, esiintyykö tätä ilmiötä myös mahdollisten omaan ääntöön ehdollistettujen hallusinaatioiden osalta.

Tutkimuskysymyksemme ovat:

1. Onko ehdollistamalla mahdollista saada henkilö havaitsemaan kuulopalautteessaan virheitä silloin kun niitä ei ole keinotekoisesti tuotettu?
2. Vaikuttavatko nämä kuulopalautteeseen ehdollistetut virheet äänenkorkeuden motoriseen kontrolliin ja jos vaikuttavat, niin miten?
3. Ennustaako suurempi kokonaispistemäärä LSHS-E-kyselyn vastauksissa voimakkaampaa ehdollistumista tai vastausvarmuutta ehdollistumisen yhteydessä?

Hypoteesimme ovat tutkimuskysymyksittäin:

1. Ehdollistumista kuulopalautteeseen muokatuille perturbaatioille tapahtuu, mikä näkyy kierrosten edetessä kuulopalautteeseen ehdollistettujen virheiden määrän kasvuna.
2. Koehenkilön ehdollistuessa virhelle kuulopalautteessaan hänen ääntönsä muuttuu perturbaatiolle vastakkaiseksi.
3. LSHS-E-kyselyllä mitattava korkeampi alttius aistiharhojen kokemiselle ennustaa suurempaa ehdollistumisen todennäköisyyttä ja vastausvarmuutta.

3 Menetelmät

3.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 63 koehenkilöä, joista 59 sisällytettiin lopulta mukaan analyysihin. Neljä koehenkilöä jätettiin analyysien ulkopuolelle, joko keskeyttämisen tai puuttuvien arvojen vuoksi. Tutkittavat olivat iältään 19–43-vuotiaita ja tutkittavien ikien keskiarvo oli noin 23 vuotta. Koehenkilöistä 51 oli naisia ja kahdeksan miehiä. Kaikki tutkittavat olivat korkeakouluopiskelijoita, joita rekrytoitiin pääosin Turun yliopiston psykologian ja logopedian laitoksen koehenkilöjärjestelmän (psykoehlot.utu.fi) sekä mukavuusotannan avulla. Tutkimuksen sisäänottokriteereinä oli, ettei tutkittavalla ollut kuuloon, puheeseen tai ääneen vaikuttavaa sairautta tai häiriötä, kurkunpään tai nielun sairautta eikä havaitsemiseen merkittävästi vaikuttavaa neurologista sairautta. Koehenkilöt saivat koehenkilöjärjestelmään suoritusmerkinnän, joka vastasi kokeeseen osallistumiseen kulunutta aikaa.

3.2 Laitteisto ja lomakkeet

Kokeet suoritettiin Turun yliopistolla erillisessä tutkimustilassa, jossa tutkija oli läsnä koko koetilanteen ajan. Laitteistoa ja koemateriaaleja säilytettiin tilassa ja tutkijat vastasivat niiden käytöstä.

Tutkittavan tuottama ääntö nauhoitettiin mikrofonilla (Audio Technica AT2035), joka oli kytketty MOTU-äänikorttiin. Tutkittavaa kehoitettiin ääntämään mahdollisimman läheltä mikrofonia. Tutkittava kuuli oman ääntönsä kuulokkeista (Beyerdynamic DT 770M 80ohm) omaa äänenvoimakkuuttaan vastaavalla voimakkuudellaan. Kuulokkeista kuuluvaan ääntöpalautteeseen oli lisätty taustakohinaa, jolla pyrittiin vähentämään muunlaisen auditiivisen palautteen vaikutusta tutkittavan vastauksiin. Taustakohinan voimakkuus oli 68 desibeliä. Kokeessa oli käytössä 27-tuumainen näyttö (Dell LED display) ja vastaamiseen käytettiin erillistä näppäimistöä (Cedrus response pad). Koe oli ohjelmoitu Psychtoolbox-3 sovellukseen (Brainard, 1997; Kleiner ym., 2007) osana MATLAB R2022a -ohjelmistoa (The MathWorks Inc.). Perturbaatioiden toteutukseen käytettiin Audapter-ohjelmistoa (Cai ym., 2008).

Koehenkilöt täyttivät tutkimuskäynnillä tutkijoiden toimesta suomen kielelle käännetyn LSHS-E-lomakkeen, jolla kartoitettiin koehenkilöiden taipumusta hallusinaatioiden kaltaisiin kokemuksiin. Vastaukset annettiin Webropol-kyselyn kautta, jossa kartoitettiin myös koehenkilön ikä, sukupuoli sekä musikaalinen tausta.

3.3 Koeasetelma

Kokeessa käytetty koeasetelma oli pakkovalintatehtävä, jossa koehenkilön tehtävänä oli ääntää pitkää vokaalia /u/ kuullen samanaikaisesti oman ääntönsä kuulokkeista. Kokeen aikana koehenkilön kuulopalautteeseen muokattiin perturbaatioita satunnaisesti 1000, 1200 tai 1400 millisekuntia äännön aloittamisen jälkeen. Perturbaatiot toteutettiin nostamalla henkilön kuulemaa äänenkorkeutta hetkellisesti ylöspäin. Perturbaatiot olivat suuruudeltaan 65 senttiä (C), 40 senttiä, 25 senttiä tai 0.01 senttiä, joista viimeinen oli selkeästi alle havaintokynnyksen (Salonen & Tuomisto, 2024). Jos viimeisenä kuvatun tilanteen kuulopalaute olisi ollut muokkaamaton, kuulopalautteen akustinen laatu olisi näissä tilanteissa eronnut muista tilanteista merkittävästi. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa 0.01 sentin suuruista perturbaatiota käytettiin vastaamaan tilannetta, jossa perturbaatiota ei esitetty. Vaikeammin havaittavien, pienten perturbaatioiden suhteellinen osuus kasvoi kierrosten edetessä samalla kun suurten ja oletetusti helpommin havaittavien perturbaatioiden määrää vähennettiin.

Koe pilotoitiin kolmella koehenkilöllä, jotka hankittiin mukavuusotannalla. Ensimmäisen pilottikoehenkilön testaukseen osallistuivat molemmat tutkijat. Pilotointien aikana emme havainneet kokeessa merkittäviä muutoskohteita, joten emme muokanneet koetta pilotointien pohjalta. Otimme siis pilottikoehenkilöt suoraan osaksi otantaamme ja jatkoimme pilotointien jälkeen koehenkilöiden keräämiseen.

Tutkimuksemme koeasetelma perustui osittain aiemmin mainittuun Powersin ja kumppaneiden (2017) tutkimukseen, jossa koehenkilöitä pyrittiin ehdollistamaan havaitsemaan ulkoinen äänimerkki aina visuaalisen ärsykkeen yhteydessä. Koehenkilöiden tehtävänä oli vastata, havaitsivatko he esitetyn äänimerkin ja kuinka varmoja he olivat vastauksestaan. Kyseinen koe muodostui kahdestatoista kolmenkymmenen trialin kierroksesta, joissa visuaalisen ärsykkeen esittämistä jatkettiin, mutta auditiivisen ärsykkeen taajuutta laskettiin vähitellen alle koehenkilön kuulokynnyksen.

Meidän kokeessamme oli neljänlaisia tilanteita: koehenkilö havaitsi totuudenmukaisesti tapahtuneen perturbaation (*hit*), koehenkilö havaitsi virheellisesti perturbaation, vaikkei sellaista tapahtunut (*false alarm*), koehenkilö havaitsi virheellisesti, ettei perturbaatiota tapahtunut (*miss*) ja koehenkilö havaitsi totuudenmukaisesti, ettei perturbaatiota tapahtunut (*correct rejection*). Meidän tutkimuksemme kannalta keskeisiä tilanteita olivat *correct rejection* -tilanteet eli CR-tilanteet ja *false alarm* -tilanteet eli FA-tilanteet. Kuvassa 2 on havainnollistettu sekaannusmatriisin avulla kokeemme mahdolliset tilanteet.

Kuva 2

Sekaannusmatriisi siitä, onko koehenkilön ääntöön muokattu perturbaatio ja havaitseeko koehenkilö tämän.

		Muokattiinko kuulopalautteeseen perturbaatio?	
		Kyllä	Ei
Havaitseeko koehenkilö perturbaation?	Kyllä	Hit	False alarm (FA)
	Ei	Miss	Correct rejection (CR)

3.4 Kokeen kulku

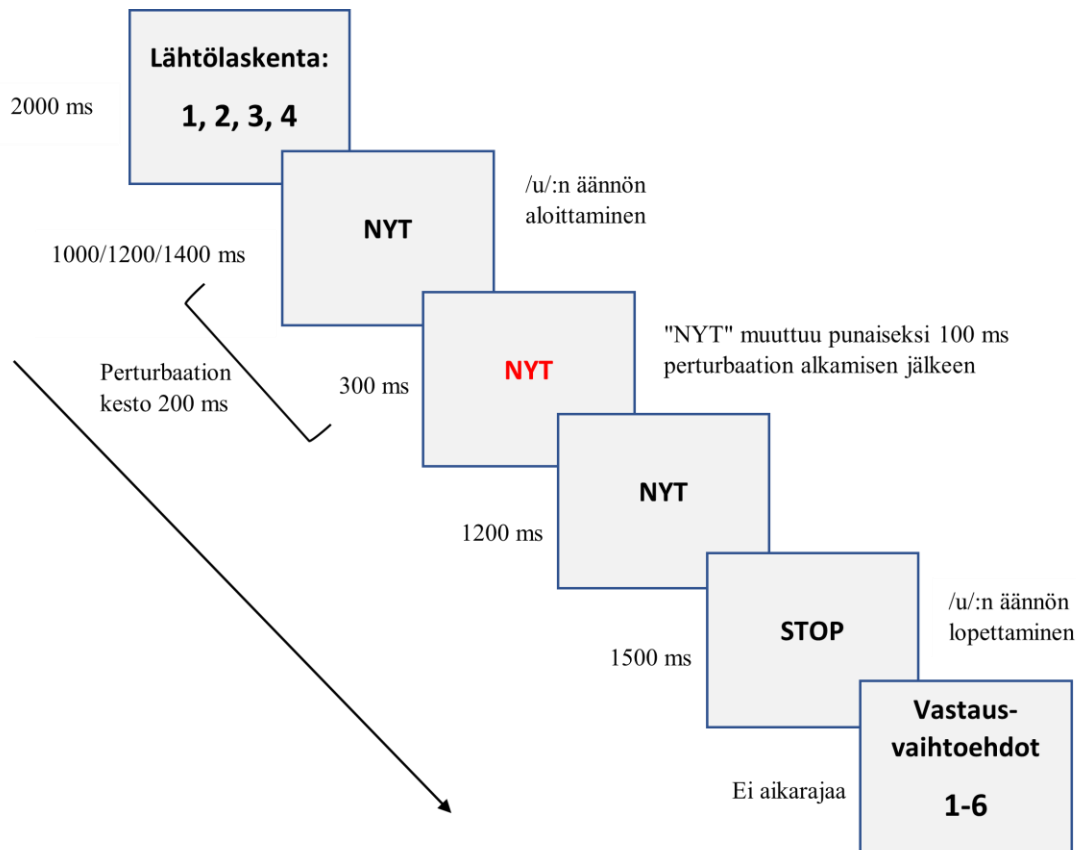
Tutkimuskäynti koostui harjoitusosiesta ja varsinaisesta koeosiesta. Ennen harjoitusosiota tutkija kävi koehenkilön kanssa suullisesti läpi kokeen ohjeistuksen ja antoi tälle luettavaksi tutkimustiedotteen ja täytettäväksi suostumuslomakkeen. Tämän jälkeen koehenkilö sai esittää kysymyksiä sekä lukea tietokoneen näytöltä vielä kirjallisen ohjeistuksen. Koetilanteessa koehenkilö tuotti mikrofoniin /u/-äännettä noin neljän sekunnin ajan kuullen samalla kuulokkeista oman äänensä sekä taustakohinan. Koehenkilöä ohjeistettiin aloittamaan ääntö nähdessään sanan NYT ja lopettamaan nähdessään sanan STOP.

Koe alkoi näytöllä näkyvästä 2000 millisekunnin mittaisesta lähtölaskennasta, jossa numerot yhdestä neljään näkyivät ruudulla laskevasti yksitellen. Tämän jälkeen näytöllä näkyvä ohjeistus NYT kesti satunnaisesti 1000, 1200 tai 1400 millisekuntia ennen sanan muuttumista punaiseksi, jotta perturbaation ajankohta ei olisi ennustettavissa. 100 millisekuntia ennen NYT-sanan muuttumista punaiseksi tapahtui perturbaatio, joka kesti 200 millisekuntia. NYT-sana näkyi punaisena 300 millisekunnin ajan, minkä jälkeen se palasi mustaksi 1200 millisekunnin ajaksi. 1500 millisekunnin mittaista STOP-ohjeistusta seurasi vastausvaihtoehtojen esittäminen. Vastaamiseen ei ollut aikarajaa. Perturbaation ja värinmuutoksen epäsynkronia

johtui siitä, että tutkijoiden testatessa koetta havaittiin, että samanaikainen perturbaatio ja värinmuutos vaikutti siltä kuin värinmuutos olisi tullut ennen perturbaatiota. Kokeen kulku on esitetty Kuvassa 3.

Kuva 3

Kuvassa esitetty yhden trialin eteneminen nuolen suuntaisesti. Vastauksen antamisen jälkeen alkoi seuraava uusi toisto lähtölaskennasta. Kunkin ärsykkeen kesto on esitetty millisekunteina.



Äännön jälkeen koehenkilön tehtävänä oli vastata, huomasiko hän äännössään muutoksen ja kuinka varma hän oli vastauksestaan. Vastaus annettiin näppäimistöllä, jonka vastausvaihtoehdot olivat 1, 2, 3, X, 4, 5 ja 6. Vaihtoehdot 1–3 merkitsivät sitä, ettei muutosta ollut havaittu ja vaihtoehdot 4–6 merkitsivät muutoksen havaitsemista. Vaihtoehto X ei ollut käytössä. Vaihtoehdot olivat vaihtoehdosta 1 vaihtoehtoon 6 seuraavat: “en huomannut, olen varma”, “en melko varmasti huomannut”, “en huomannut, mutta en ole lainkaan varma”, “huomasin, mutta en ole lainkaan varma”, “huomasin melko varmasti” ja “huomasin varmasti”. Emme kysyneet äännön muutoksen huomaamisesta ja vastausvarmuudesta kahdella erillisellä kysymyksellä, sillä yhdellä vastauksella mitattuna tulos voi olla reliabiliteetiltaan korkeampi

(Guggenmos, 2021). Vastausta annettaessa kirjallinen ohjeistus vastaamiseen oli aina näkyvillä.

3.5 Kokeen osiot

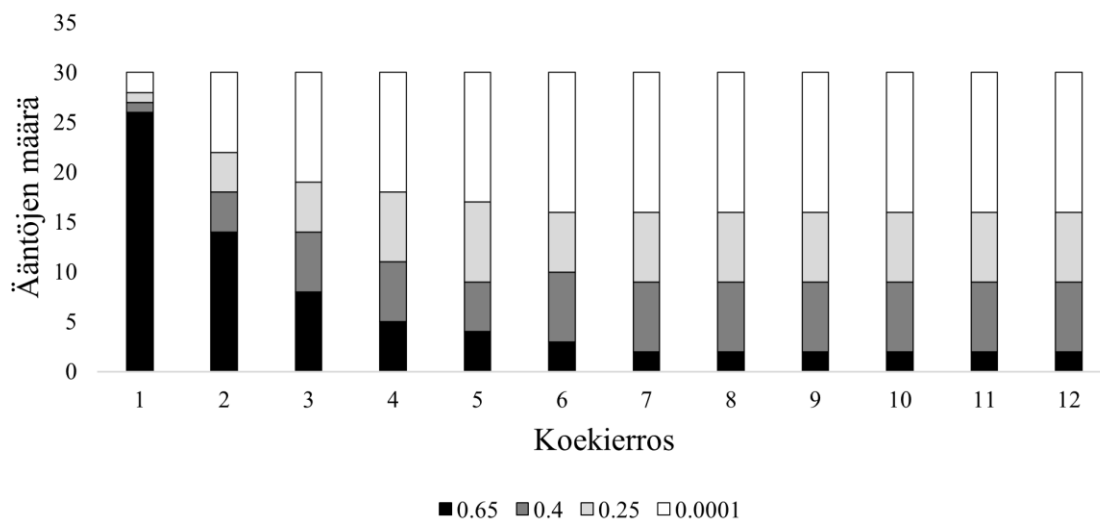
Kokeen alussa oleva harjoitusosio sisälsi kaksi kierrosta, joista ensimmäiseen sisältyi kahdeksan ja toiseen seitsemän ääntä. Ensimmäisellä harjoituskierröksellä perturbaatiot olivat 200 sentin, 150 sentin, 100 sentin, 80 sentin, 75 sentin, 65 sentin, 60 sentin ja 50 suuruisia ja toisella harjoituskierröksellä ne olivat 65 sentin, 60 sentin, 55 sentin, 50 sentin, 45 sentin, 40 sentin ja 35 sentin suuruisia, eli perturbaatioiden kokoa pienennettiin tasaisesti. Osio oli kaikilla koehenkilöillä samanlainen. Oletuksena oli, että perturbaatiot olisivat harjoituskierröksillä suhteellisen helposti havaittavissa, vaikka palautetta vastausten oikeellisuudesta ei annettu.

Harjoitusosion jälkeen koehenkilöt siirtyivät suorittamaan itse koevaihetta. Koe sisälsi kaksitoista kierrosta, joista jokaisessa oli 30 äännön toistoa. Koehenkilöitä kehoitettiin pitämään taukoja kierrosten välissä. Kokeen ohjeistus näkyi näytöllä aina ennen kierroksen alkua ja koehenkilö sai aloittaa uuden kierroksen kun oli itse valmis.

Koevaiheessa perturbaatioita oli neljän suuruisia: 65 senttiä, 40 senttiä, 25 senttiä ja 0.01 senttiä ja ne ilmenivät kierrosten sisällä satunnaisessa järjestyksessä. Koe eteni samoin kuin alkuperäinen Powersin ja kumppaneiden (2017) koe, eli helpommin havaittavien perturbaatioiden määrä oli ensimmäisillä kierroksilla suurempi ja pieneni kierrosten edetessä. Kuvassa 4 on esitetty erisuuruisten perturbaatioiden suhteelliset osuudet kierrosten edetessä. Seitsemännestä kierroksesta alkaen kaikkien perturbaatioiden osuudet pysyivät samana. Erisuuruisten perturbaatioiden määrät kussakin koekierröksessä on esitetty Taulukossa 1. Kahdentoista kierroksen jälkeen koehenkilö täytti sähköisesti taustatietokyselyn ja LSHS-E-lomakkeen, minkä jälkeen tutkimus päättyi. Tutkimuskäynnin kesto oli koehenkilöstä riippuen 1,5–2 tuntia.

Kuva 4

Kuvaajassa esitetty neljän suuruisten perturbaatioiden (65, 40, 25 ja 0.01 senttiä) osuus jokaisen koekierroksen trialeista.



3.6 Tilastolliset analyysit

Tutkimukseen osallistui 63 koehenkilöä, joista poistettiin ennen lopullisia analyysejä neljä koehenkilöä. Yksi koehenkilö keskeytti osallistumisen tutkimuksen aikana. Kahden koehenkilön dataa ei saatu ajettua ulos käytetystä ohjelmasta, minkä vuoksi heitä ei voitu sisällyttää analyyseihin. Yhden koehenkilön ääntövasteet poikkesivat useamman keskihajonnan verran ääntövasteiden keskiarvosta, minkä vuoksi koehenkilö päädyttiin sulkemaan pois. Analyysimenetelminä käytettiin toistettujen mittausten varianssianalyysia, parittaisia t-testejä sekä faktorianalyysia.

Aineisto analysoitiin käyttämällä IBM SPSS Statistics 29 -ohjelmistoa. Tilastollisen merkitsevyyden rajana analyyseissa pidettiin $p = .05$. Aineiston normaalisuusjakamaa tarkasteltiin aina Kolmogorov-Smirnovin avulla. Keskeisen raja-arvolauseeseen nojaten käytimme analyyseissa parametrisiä testejä silloinkin, kun aineisto ei ollut normaalisti jakautunut. Greenhouse–Geisser-korjauskerrointa käytettiin vapausasteisiin aina silloin, kun sfäärisyysoletus ei totetunut Mauchlyn testin perusteella. T-testien tulosten raportoinnissa käytettiin aina Bonferroni-korjattuja arvoja.

3.6.1 Ehdollistetut virheet

Tutkimuksen ensimmäinen tutkimuskysymys käsittelee ehdollistettujen virheiden ilmenemistä koehenkilön kuulopalautteessa. Jos ehdollistumista tapahtui, sen tulisi näkyä ehdollistettujen

virheiden eli FA-tilanteiden suhteellisen osuuden kasvuna kierrosten edetessä. Näitä ehdollistettuja virheitä mitattiin tekemällä eri kierroksille toistettujen mittausten varianssianalyysi ja tarkastelemalla, onko eri kierrosten välillä eroa. Tämän jälkeen verrattiin FA-tilanteiden suhteellisia osuuksia parittaisilla t-testeillä kokeen alussa, puolivälissä ja lopussa, eli kierroksilla 1, 6 ja 12. Kaikkia kahtatoista koekierrosta ei päädytty vertailemaan keskenään liiallisen monivertailun välttämiseksi. Riippuvana muuttujana toimi kierroksen FA-tilanteiden määrä, riippumattomana muuttujana se, mikä kierros oli kyseessä.

3.6.2 Ääntövasteet ja niiden muutokset kokeen edetessä

Tutkimuksen toinen tutkimuskysymys tarkastelee, kuinka kuulopalautteeseen mahdollisesti ehdollistetut virheet vaikuttavat koehenkilöiden äänenkorkeuden motoriseen kontrolliin. Koehenkilöiden äänenkorkeuden motorista kontrollia tarkasteltiin eri tilanteiden ääntövasteiden avulla. Koehenkilöiden ääntövasteiden äänenkorkeuksia verrattiin FA- ja CR-tilanteissa toistettujen mittausten t-testin avulla. Näitä tilanteita verrattiin neljässä eri aikaikkunassa: ennen mahdollista perturbaatiota (-300–(-164) ms), mahdollisen perturbaation aikana (-100–200 ms), mahdollisen perturbaation jälkeen (300–500 ms) sekä toisen aikaikkunan alusta kolmannen aikaikkunan loppuun. Aikaikkunat olivat kaikilla koehenkilöillä samat. Tarkoituksena oli selvittää, onko koehenkilöiden äänenkorkeuksissa eroja eri tilanteiden välillä ja millä aikaikkunoilla. Aikaikkunat valittiin sen perusteella, missä kohdissa FA- ja CR-tilanteiden välillä ilmeni kuvaajan perusteella suurin ero. Myös tässä monivertailu olisi ollut ongelmana, jos vertailuja olisi lähdetty tekemään tiheämmin. Tutkimuskysymyksen riippuvana muuttujana oli ääntövasteiden äänenkorkeuksien keskiarvot eri aikaikkunoissa. Riippumattomana muuttujana oli kokeen kaksi eri tilannetta: FA- ja CR-tilanne.

3.6.3 Kyselylomakkeen pisteet ja raportoidut hallusinaatiot

Kolmas tutkimuskysymys tarkastelee LSHS-E-kyselylomakkeen pistemäärää ja sen yhteyttä ehdollistettujen virheiden määrään sekä korkeampaan vastausvarmuuteen FA-tilanteiden kohdalla. LSHS-E-pisteiden yhteyttä raportoituihin ehdollistettuihin virheisiin tutkittiin tarkastelemalla näiden välistä korrelaatiota. Riippuvana muuttujana toimi FA-tilanteiden lukumäärä sekä koehenkilöiden vastausvarmuus FA-tilanteiden kohdalla. Riippumattomana muuttujana toimi se, oliko kyseessä FA- vai CR-tilanne. Aiemman tutkimuksen (Larøi & Van Der Linden, 2005) perusteella LSHS-E-kyselyyn pyrittiin toteuttamaan konfirmatorinen faktorianalyysi, jolla tarkasteltiin tarkemmin tiettyjen itemien yhteyttä ehdollistettuihin virheisiin sekä kyselyn faktorirakenteen toistuvuutta tämän tutkimuksen aineistossa.

3.7 Tutkimuksen eettisyys

Tutkimus toteutettiin osana Suomen Akatemian rahoittamaa tutkimusprojektia “Oman puheen metakognitiivinen arviointi Parkinsonin tautia sairastavilla ja neurologisesti terveillä ihmisillä: Interventiotutkimus”. Tutkimusprojekti on saanut Varsinais-Suomen hyvinvointialueen eettiseltä toimikunnalta puoltavan lausunnon.

Kokeeseen osallistuminen oli vapaaehtoista ja kokeen tekemisen sai keskeyttää milloin tahansa. Kokeen kulku ja kesto selostettiin koehenkilölle aina ennen kokeen alkua. Koehenkilö sai luettavakseen tutkimustiedotteen, jonka lukemisen jälkeen koehenkilöä pyydettiin täyttämään kaksi suostumuslomaketta, joista toinen arkistoitiin ja toinen luovutettiin tutkittavalle.

Koehenkilölle kerrottiin, että kokeeseen sisältyy joitakin ääntökertoja, joissa perturbaatiota ei ilmene. Koehenkilöä ohjeistettiin vastaamaan todenmukaisesti ja kuten tämä itse perturbaatioita havaitsi. Kokeen luonteen ja onnistumisen vuoksi oli olennaista, ettei koehenkilölle kerrottu todellista tutkimuskysymystä etukäteen, vaan ehdollistamisesta kerrottiin vasta kokeen tekemisen jälkeen.

Aineisto käsiteltiin koodattuna siten, ettei yksittäisiä koehenkilöitä voinut tunnistaa aineistosta. Testauksen jälkeen koehenkilöt täyttivät Webropol-kyselyn, jonka vastaukset tulivat ainoastaan tutkijoiden nähtäville ja jossa tunnistetiedoiksi kysyttiin ainoastaan ikää, sukupuolta ja koehenkilönumeroa. Tässä yhteydessä koehenkilöt täyttivät myös suomennetun LSHS-E-lomakkeen. Koehenkilöille ei kuitenkaan suoraan kerrottu, että kyselyllä kartoitettiin vastaajan taipumusta kokea hallusinaatioiden kaltaisia kokemuksia, sillä tämä olisi voinut vaikuttaa koehenkilöiden antamien vastausten totuudenmukaisuuteen.

Tutkimuksen toimeksiantajana ja tutkimusrekisterin ylläpitäjänä toimii Turun yliopisto. Tutkimustiedotteessa koehenkilöille kerrottiin rekisterin sisällöstä ja mahdollisuudesta halutessaan tilata rekisteriseloste.

4 Tulokset

4.1 Ehdollistetut virheet henkilön kuulopalautteessa

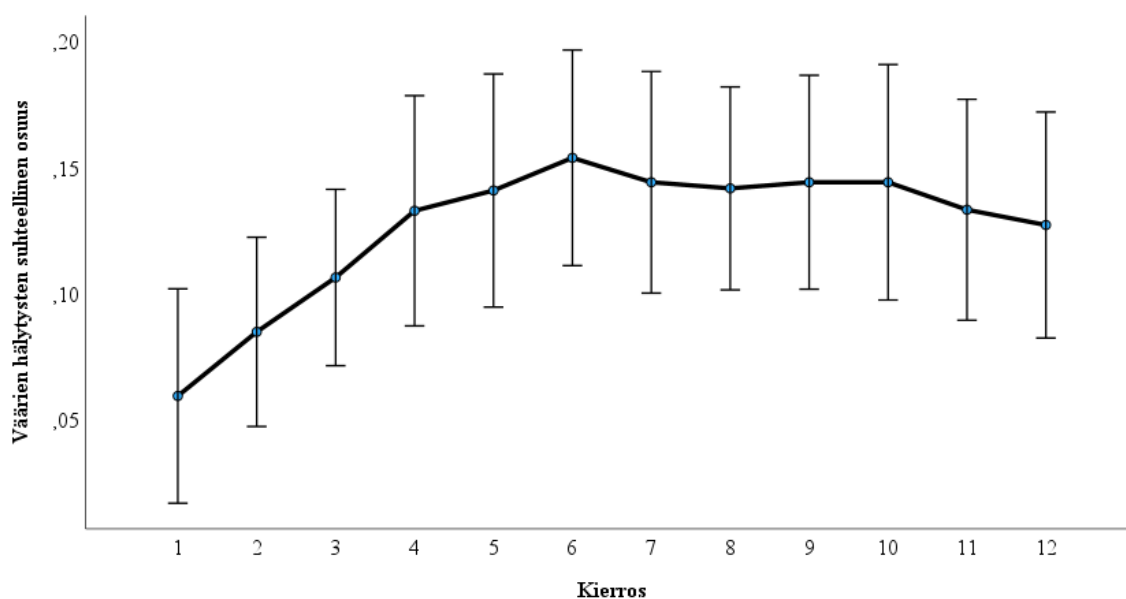
Ehdollistettujen virheiden mittaamiseksi tehtiin toistettujen mittausten varianssianalyysin, jotta näkisimme, onko eri koekierrosten välillä eroja FA-vastausten suhteellisessa määrässä. Mikään koekierroksista ei ollut normaalisti jakautunut. Eri koekierrosten välillä havaittiin ero FA-tilanteiden suhteellisessa määrässä keskiuurella efektikoolla, $F(5.81,336.95) = 4.14, p < .001, \eta_p^2 = .07$. Kuvassa 5 on esitetty FA-tilanteiden suhteellinen osuus koekierroksittain.

Tilanteiden välisiä jatkovertailuja lähdettiin toteuttamaan parittaisten t-testien avulla, jotka kaikki Bonferroni-korjattiin. Vertailuun valittiin ne kierrokset, jotka kuvaajan perusteella poikkesivat eniten keskenään. Tilanteiden väliset jatkovertailut osoittivat, että kierroksella 6 FA-tilanteiden määrä kasvoi 9.4 % verrattuna kierrokseen 1, $t(58) = 3.03, p = .012, d = .40$.

Kierrosten 12 ja 1 välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, kuten ei myöskään kierrosten 12 ja 6 välillä. Kierroksella 12 FA-tilanteiden määrä kasvoi 6.8 % verrattuna kierrokseen 1, $t(58) = 2.12, p = .114, d = .28$. Kierroksella 12 FA-tilanteiden määrä väheni 2.7 % verrattuna kierrokseen 6, $t(58) = -1.45, p = .456, d = .19$. Näiden kierrosten välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Kuva 5

Kuvassa esitetty FA-tilanteiden suhteellinen osuus jokaisella koekierroksella. Luvut esitetty havaittujen arvojen keskiarvoina. Arvoille esitetty 95 % luottamusväli.



4.2 Ehdollistettujen virheiden vaikutus henkilön äänenkorkeuteen

Kuvassa 6 on havainnollistettu koehenkilöiden ääntövasteiden äänenkorkeuksien keskiarvoja kolmessa eri tilanteessa. Ensimmäisessä tilanteessa eli CR-tilanteessa kuulopalautteeseen ei tule perturbaatiota, eikä koehenkilö myöskään sellaista havaitse. Toisessa tilanteessa, eli FA-tilanteessa, ei tule perturbaatiota, mutta koehenkilö havaitsee sellaisen. Kolmannessa tilanteessa eli perturbaatiotilanteessa kuulopalautteeseen tulee perturbaatio, jonka koehenkilö huomaa ja madaltaa ääntöään luonnollisena reaktiona perturbaatioon. Tutkimuksemme kannalta olennaisinta oli keskittyä FA- ja CR-tilanteisiin ja vertailla näiden eroja.

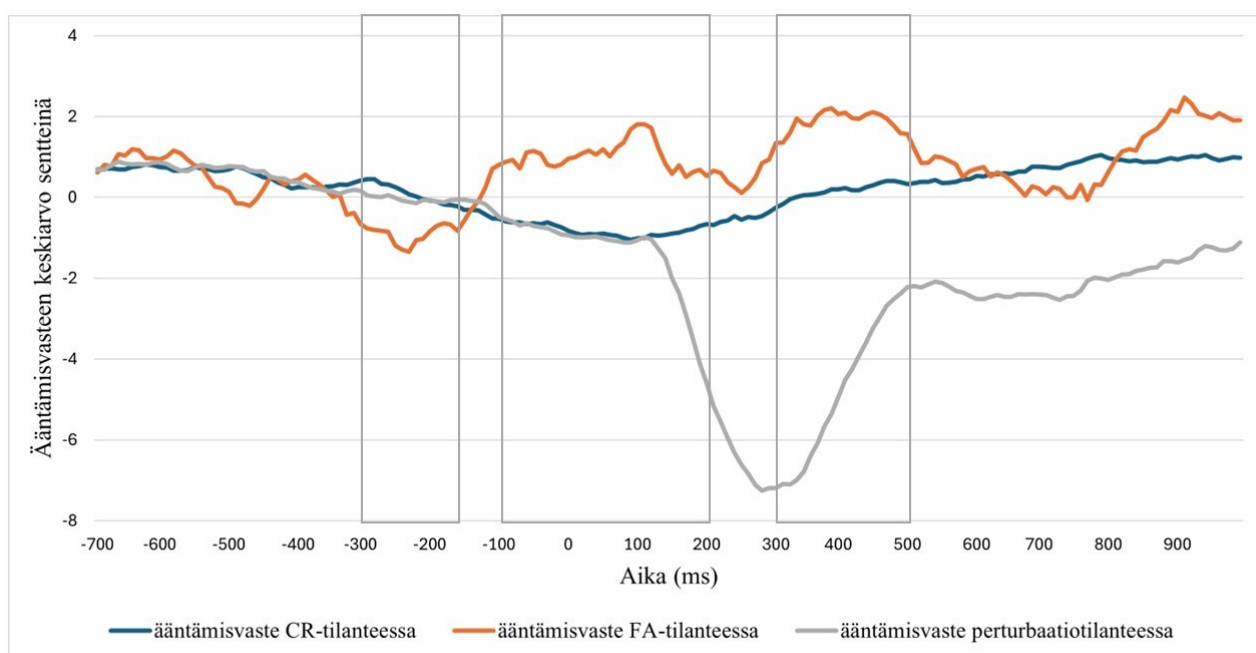
Tarkastelimme, vaikuttivatko henkilön kuulopalautteeseen ehdollistetut virheet henkilön äänenkorkeuteen. FA-aikaikkunoista -100–200 ms ($p = .200$), 300–500 ms ($p = .092$) ja -100–500 ms ($p = .200$) sekä CR-aikaikkuna -300–(-164) ms ($p = .200$) olivat normaalisti jakautuneita, toisin kuin muut aikaikkunat (Kolmogorov-Smirnov, $p < .005$). Vertasimme kunkin neljän aikaikkunan FA-ääntövasteiden äänenkorkeuksien keskiarvoja CR-ääntövasteiden äänenkorkeuksien keskiarvoihin parittaisten toistettujen t-testien avulla. Kaikissa tuloksissa käytettiin Bonferroni-korjauksia.

T-testin perusteella -300–(-164) ms aikaikkunassa koehenkilöt äänsivät 1.1 senttiä matalammalta FA-tilanteissa kuin CR-tilanteissa $t(58) = 2.61$, $p = .048$, $d = .34$. Aikaikkunassa -100–200 ms koehenkilöt äänsivät 1.8 senttiä korkeammalta FA-tilanteissa kuin CR-tilanteissa, $t(58) = -2.93$, $p = .02$, $d = .38$. Kahdessa muussa aikaikkunassa tilanteiden väliltä löydettiin ero, joka ei kuitenkaan kummassakaan aikaikkunassa ollut tilastollisesti merkitsevä Bonferroni-korjausten jälkeen. Aikaikkunassa 300–500 ms koehenkilöt äänsivät 1.7 senttiä korkeammalta FA- kuin CR-tilanteissa, $t(58) = -1.79$ $p = .316$, $d = .23$. Aikaikkunassa -100–500 ms koehenkilöt äänsivät 1.6 senttiä korkeammalta FA- kuin CR-tilanteissa, $t(58) = -2.31$, $p = .096$, $d = .30$.

Tulosten tulevaa tulkintaa varten päädyimme vielä tarkastelemaan, ilmenikö ensimmäisen aikaikkunan (-300–(-164) ms) sekä toisen aikaikkunan (-100–200 ms) välillä eroa FA-tilanteiden äänenkorkeuksien keskiarvoissa. Vertasimme näiden kahden aikaikkunan FA-ääntövasteiden keskiarvoja toisiinsa parittaisen t-testin avulla. T-testin perusteella koehenkilöt äänsivät toisessa aikaikkunassa 2.0 senttiä korkeammalta kuin ensimmäisessä aikaikkunassa, $t(58) = 2.13$, $p = .037$, $d = .28$.

Kuva 6

Kuvassa esitetty koehenkilöiden ääntövasteet kolmessa eri tilanteessa: CR-tilanteessa, FA-tilanteessa ja perturbaatiotilanteessa. Perturbaatiotilanteeseen yhdistetty kaikkien kolmen perturbaatiotilanteen ääntövasteet riippumatta siitä, havaitsiko henkilö perturbaatiota. Y-akselilla kuvattu koehenkilöiden keskimääräinen äänenkorkeuden muutos sentteinä. Laatikoissa ensimmäisen (-300–(-164) ms), toisen (-100–200 ms) ja kolmannen (300–500 ms) aikaikkunan kestot millisekunteina. 0 millisekuntia on kohta, jossa perturbaatio olisi ilmennyt. 100 millisekunnin kohdalla näytöllä ilmeni visuaalinen ärsyke.



4.3 LSHS-E-pisteiden yhteys ehdollistettujen virheiden määrään ja vastausvarmuuteen

Kolmantena tutkimuskysymyksenämme oli, ennustaako suurempi kokonaispistemäärä LSHS-E-lomakkeen vastauksissa voimakkaampaa ehdollistumista ja ilmeneekö voimakkaampi ehdollistuminen myös koehenkilöiden vastausvarmuudessa. Tarkastelimme LSHS-E-kyselyn faktorirakennetta, sillä aiemmassa tutkimuksessa kyselyn itemit on voitu jakaa viiteen faktoriin, joista yksi edustaa taipumusta auditiivisten hallusinaatioiden kokemiselle (Larøi & Van Der Linden, 2005). Oletimme, että etenkin nämä auditiivisia hallusinaatioita koskevat kysymykset olisivat yhteydessä ehdollistumiseen.

Teimme konfirmatorisen faktorianalyysin aiemman tutkimuksen faktorien pohjalta. Ekstraktointimenetelmäksi valittiin suurimman uskottavuuden menetelmä.

Rotaatiomenetelmäksi valittiin direct oblimin -rotaatio, sillä erityyppisiä hallusinaatioita kuvaavat faktorit todennäköisesti korreloisivat keskenään. Goodness-of-fit -testin perusteella faktoriratkaisu sopisi aineistoon $\chi^2(50) = 50.24$, $p = .464$. Testin itemit eivät kuitenkaan latautuneet viidelle faktorille, eikä testin faktorirakenne toteutunut kuten aiemmassa tutkimuksessa.

Koska aineistosta ei saatu muodostettua mielekästä faktorirakennetta, tarkastelimme koko LSHS-E-lomakkeen vastausten summapistemäärää. Tarkastelimme summapistemäärän ja FA-vastausten, eli mahdollisten ehdollistumisten lukumäärän välistä yhteyttä Spearmanin korrelaatiokertoimien avulla. Tarkastelimme myös lomakkeen summapistemäärän sekä FA-tilanteiden vastausvarmuuden välistä yhteyttä Spearmanin korrelaatiokertoimien avulla. LSHS-E-kyselyn vastausten summapistemäärä oli Kolmogorov-Smirnovin perusteella normaalisti jakautunut ($p = .066$). Myös FA-vastausvarmuus oli normaalisti jakautunut ($p = .200$). FA-tilanteiden kokonaismäärä ei ollut normaalisti jakautunut ($p < .001$).

LSHS-E-kyselyn pistemäärän ja FA-vastausten lukumäärän väliltä ei löydetty korrelaatiota, $r_s(59) = -0.003$, $p = .982$. Myöskään LSHS-E-kyselyn pistemäärän ja FA-vastausvarmuuden väliltä ei löydetty korrelaatiota, $r_s(59) = -0.12$, $p = .357$.

5 Pohdinta

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko henkilön kuulopalautteeseen mahdollista ehdollistaa virhe muokkaamalla koehenkilön kuulopalautetta. Lisäksi tarkastelimme, kuinka nämä ehdollistetut virheet vaikuttivat henkilön äänenkorkeuden motoriseen kontrolliin. Olimme myös kiinnostuneita siitä, onko henkilön taipumuksella kokea aistiharhoja yhteyttä ehdollistumiseen. Hypoteeseina oli, että ehdollistettujen virheiden määrä kasvaisi kokeen edetessä, mikä viittaisi koehenkilöiden ehdollistumiseen ja tällöin koehenkilöiden äänenkorkeus muuttuisi vastaavalla tavalla kuin todellisen perturbaation kohdalla. Lisäksi hypoteesina oli, että alttius aistiharhojen kokemiselle lisäisi ehdollistettujen virheiden määrää ja vastausvarmuutta niiden kohdalla.

Ensimmäisen hypoteesimme mukaisesti ehdollistettujen virheiden suhteellinen osuus kasvoi kierrosten edetessä. Toinen hypoteesimme ei kuitenkaan toteutunut, sillä koehenkilöiden äänenkorkeuden keskiarvon huomattiin FA-tilanteessa nousevan laskemisen sijaan. Kuvassa 6 havainnollistettu äänenkorkeuden vaihtelu viittaisi siihen, että tilanteissa, joissa koehenkilön olisi pitänyt ehdollistua hallusinoimaan perturbaatio, koehenkilö todellisuudessa havaitsikin oman äänenkorkeutensa ylöspäin suuntautuvan vaihtelun, luullen sitä perturbaatioksi. Yllättävää on se, että havaittu äänenkorkeuden muutos oli erittäin pieni ja huomattavasti alle sen, mitä aiempien tutkimusten perusteella on pidetty havaintokynnyksen rajana (Hafke, 2008; Hill & Summers, 2007; Keough & Jones, 2009; Scheerer & Jones, 2014). Koska koehenkilöt eivät ehdollistuneet hallusinoimaan perturbaatioita, myöskään kolmas hypoteesi ei toteutunut, eli aistiharhataipumuksen ja ehdollistumisen väliltä ei löydetty yhteyttä.

5.1 Tulosten kuvaus ja arviointi

Tutkimuksen tulosten perusteella ehdollistettujen virheiden suhteellinen osuus oli ensimmäisellä koekierroksella noin kuusi prosenttia, josta se Kuvan 5 perusteella näytti kasvavan tasaisesti kuudennelle koekierrokselle saakka noin 15 prosenttiin. Tämän jälkeen niiden osuus lähti lievään laskuun. On mahdollista, että kierroksia jatkettaessa efekti olisi kadonnut kokonaan. Vaikka ehdollistettujen virheiden osuus näytti kasvavan kokeen edetessä, henkilön hallusinaatiotaipumuksella ei vaikuttanut olevan yhteyttä tähän. LSHS-E-kyselyn pistemäärän ja ehdollistettujen virheiden määrän väliltä ei löydetty korrelaatiota. LSHS-E-pisteet eivät myöskään korreloineet FA-tilanteiden vastausvarmuuden kanssa. Suurempi LSHS-E-kyselyn kokonaispistemäärä ei siis ennustanut voimakkaampaa ehdollistumista tai FA-tilanteiden vastausvarmuutta.

Kuitenkin tarkasteltaessa henkilöiden ääntövasteita kokeen eri tilanteissa havaittiin, etteivät ääntövasteet ehdollistettujen virheiden kohdalla olleet ehdollistetulle perturbaatiolle vastakkaisia. Tämä oli jossain määrin hypoteesiamme vastaan, sillä aikaisempien tutkimustulosten perusteella olimme odottaneet koehenkilöiden äännön muuttuvan perturbaatiolle vastakkaiseen suuntaan eli madaltuvan (Hafke, 2008; Keough & Jones, 2009). Päinvastoin koehenkilöiden äänenkorkeus nousi keskimäärin 2.0 senttiä oletetun ehdollistetun virheen kohdalla. Vaikuttaisi siltä, että FA-tilanteissa koehenkilöiden äänenkorkeudessa oli enemmän vaihtelua, mikä johti siihen, että koehenkilöt luulivat omaa äänenkorkeutensa nousua perturbaatioksi.

Koska toinen hypoteesimme ei toteutunut eli koehenkilöt eivät ääntäneet FA-tilanteessa samalla tavalla kuin todellisessa perturbaatiotilanteessa, ehdollistumista perturbaatioille ei todennäköisesti tapahtunut. Vaikka ehdollistettujen virheiden määrä vaikutti kasvavan kierrosten edetessä, todellisuudessa kasvoikin se, kuinka useasti koehenkilö havaitsi virheitä omassa äännössään. Tutkimuksemme tulokset siis viittaavat siihen, ettei henkilöä voida ehdollistaa hallusinoimaan virhettä kuulopalautteeseensa.

Ehdollistaminen on kuitenkin laajasti tutkittu ilmiö, jolle on kertynyt vahvaa empiiristä näyttöä useiden vuosikymmenten ajalta (Ellson, 1941; Kot & Serper, 2002; Pavlov, 1927; Powers ym., 2017). Tämän perusteella olisi voinut olettaa, että myös meidän tutkimuksessamme koehenkilöt ehdollistuisivat hallusinaatioille. Aiemmissä tutkimuksissa ehdollistamista on toteutettu kuitenkin yksinomaan ulkoisilla ärsykeillä, jotka koehenkilö joko on tai ei ole havainnut. Tällöin tulkinta ärsykeen todellisuudesta on perustunut vain itse ulkoiseen ärsykeeseen eikä henkilöllä ole ollut muita menetelmiä varmistaa, esitettiinkö ärsyke todellisuudessa vai ei. Sen sijaan tilanteessa, jossa henkilön omaan ääntöön lisätään keinotekoinen perturbaatio, informaation tulkintaan vaikuttavat muutkin tekijät, kuten äännön aikainen somatosensorinen palaute. Tätä tukee havainto siitä, että perturbaatioiden havaitseminen on helpompaa äännön aikana, kun motorista informaatiota on mahdollista hyödyntää, kuin myöhemmin nauhoitetusta materiaalista (Salonen ja Tuomisto, 2024). Keinotekoinen perturbaatio on ristiriidassa motoriselta aivokuorelta tulevan ennusteen kanssa, mikä voi johtaa siihen, että henkilö tietoisesti tai tiedostamattaan havaitsee eron aiotun ja tuotetun äännön välillä. Tämä palautejärjestelmän toiminnan keskeinen piirre saattaa selittää, miksi ehdollistamisen seurauksena ei ilmennyt hallusinaatioita.

Vaikka ehdollistumista juuri hallusinaatioille ei tapahtunut, kokeemme tulokset viittaavat siihen, että jonkinlaista ehdollistumista kuitenkin tapahtui. Tutkimuksemme keskeisimpänä löydöksenä voidaankin pitää sitä, kuinka pieniä vaihteluita koehenkilöt havaitsivat äännössään. Äänenkorkeuden vaihtelut, jotka ensin tulkittiin ehdollistettujen virheiden aiheuttamiksi, olivat keskimäärin 1.7 sentin suuruisia, kun aiemmissa tutkimuksissa havaintokynnyksen alarajana on pidetty 6–26 sentin suuruisia perturbaatioita (Hafke, 2008; Hill & Summers, 2007; Keough & Jones, 2009; Scheerer & Jones, 2014). On siis mahdollista, että top down -prosessointi eli tässä tutkimuksessa koehenkilön odotus pian ilmenevästä perturbaatiosta madalsi tätä havaintokynnystä ja helpotti äänenkorkeuden muutosten huomaamista osalla koehenkilöistä. Toisin sanoen, vaikka top down -prosessointi ei riittänyt tuottamaan ehdollistumista hallusinaatioille, se auttoi koehenkilöitä havaitsemaan tarkemmin omia äänenkorkeuden muutoksiaan. Tällä voisi olla laajempia sovellutuskohteita logopediseen kuntoutukseen. Jos henkilöllä on esimerkiksi haasteita oman äänenvoimakkuutensa havainnoinnissa, voisiko hänen tarkkaavuuttaan tai odotuksiaan ohjaamalla helpottaa tätä havainnointia?

5.2 Menetelmän vahvuudet ja kehittämiskohteet

Tutkimukseemme osallistui 63 koehenkilöä, joista 59 sisällytettiin analyysiin. Otokoko vastaa aiempia saman tutkimusprojektin tutkimusten otoskokoja (Heikkilä & Paajanen, 2023; Salonen & Tuomisto, 2024) ja on jopa suurempi kuin monissa aiemmissa perturbaatiotutkimuksissa (Hafke, 2008; Keough & Jones, 2009; Scheerer & Jones, 2014; Subramaniam ym., 2018). Koehenkilöistä suurin osa oli kuitenkin alle 30-vuotiaita naispuolisia korkeakouluopiskelijoita, mikä rajoittaa tulosten yleistettävyyttä.

Myös itse kokeeseen liittyi rajoitteita. Kokeessa näytöllä esitetyn sanan värinmuutos tapahtui eri aikaan kuin perturbaatio, mikä on voinut osaltaan heikentää ehdollistamisen vaikutusta. Ärsykkeiden eriaikaisella esittämisellä pyrittiin korjaamaan kokeen testaamisvaiheessa esille tullutta havaintoa, jonka mukaan ärsykkeiden esittämisen samanaikaisuus vaikutti siltä, kuin värinmuutos olisi tullut ennen perturbaatiota. Jälkikäteen tarkasteltuna kokeen loogisuuden kannalta olisi voinut olla toimivampaa, että värinmuutos olisi esitetty hieman ennen perturbaatiota, jolloin se olisi ennustanut paremmin pian esitettävää ärsykettä.

Kokeen vahvuutena voidaan pitää suurta toistojen määrää. Kokeessamme koehenkilö äänsi yhteensä 360 ääntä. Toisaalta suuri toistomäärä ja yksinkertainen koasetelma tekivät kokeesta suhteellisen pitkän, mikä saattoi osalla koehenkilöistä vaikeuttaa kokeeseen keskittymistä ja lisätä kokeen rasittavuutta. Testaukseen ei saisi kulua liikaa aikaa, sillä pitkät

testaukset altistavat tarkkaavuuden herpaantumiselle, mikä osaltaan vaikuttaa heikentävästi testin reliabiliteettiin (Aleci, 2021). Kokeeseen osallistumisen aikana osa koehenkilöistä ilmaisi jatkuvan äänten toistamisen tuntuvan kuormittavalta ja osalla oli haasteita ylläpitää tarpeeksi kuuluvaa äänenvoimakkuutta koko tutkimuksen ajan. Koehenkilöiden äänenvoimakkuutta tai etäisyyttä mikrofonista ei vakioitu, minkä vuoksi eri koehenkilöt saattoivat kuulla kuulopalautteensa eri voimakkuudella. Jatkotutkimuksissa tämä olisi hyvä huomioida mittaamalla koehenkilön ääntä esimerkiksi desibelimitarin avulla sekä asettamalla mikrofoni tietyn määritellyn etäisyyden päähän koehenkilön kasvoista.

Koehenkilöiden subjektiivista kokemusta perturbaatioiden suuruudesta ei mitattu, mutta useat koehenkilöt mainitsivat pienimpien perturbaatioiden havaitsemisen ja erottamisen oman äänenkorkeutensa luontaisesta vaihtelusta tuntuvan haastavalta. Osa koehenkilöistä myös mainitsi kokeen aikana subjektiivisen kokemuksen hallusinoinnista tuomalla ilmi vaikeuden erottaa, oliko heidän kuulemansa perturbaatio todellinen vai ei. Eräs koehenkilö jopa totesi kokeen aikana: "Musta tuntuu ihan kuin mä hallusinoisin!" Osassa aiemmista tutkimuksista perturbaatioiden koot on määritelty koehenkilöiden havaintokynnyksen mukaisesti ennen kokeen alkua, mikä pidentää kokeen kestoa. Meidän tutkimuksessamme tätä ei tehty jo valmiiksi suuren toistomäärän vuoksi. Koska perturbaatioiden suuruutta ei määritelty jokaiselle koehenkilölle yksilöidysti, ovat perturbaatiot voineet olla osalle koehenkilöistä liian helposti ja osalle liian vaikeasti havaittavissa.

LSHS-E-kyselyn toimivuuteen tässä tutkimuksessa saattoivat vaikuttaa monet tekijät, kuten käyttämämme itse suomennettu versio kyselystä. Koska suomentamaamme versiota ei ole standardisoitu, emme voi tietää, vaikuttiko suomentaminen kyselyn luotettavuuteen. Faktorianalyysin toimivuutta saattoi heikentää otoskokomme, vastausten välisten variaatioiden vähäisyys sekä itemien välinen korrelaatio. Faktorianalyysin heikentynyt toimivuus voi selittää, miksei vastausten ja hallusinaatiotaipumuksen väliltä löydetty yhteyttä. On myös mahdollista, ettei LSHS-E-kyselyllä mitattava hallusinaatiotaipumus välttämättä ennusta juuri omaan kuulopalautteeseen muokatuille virheille ehdollistumista. Toistaiseksi on myös epäselvää, vaikuttavatko hallusinointiin samat mekanismit terveillä ja psykoosisairautta sairastavilla henkilöillä (Boksa, 2009). Otantamme saattoi sopia huonosti aistiharhataipumuksen mittaamiseen tällä kyselyllä, koska koehenkilöissämme ei ollut henkilöitä, joilla olisi diagnosoitu psykoosisairaus.

Kokeemme on ensimmäinen, jossa tutkitaan omaan ääntöön tuotetuille virheille ehdollistumista, mikä voidaan nähdä tutkimuksemme vahvuudeksi. Vaikka tutkimuksemme perustui Powersin ja kumppaneiden (2017) asetelmaan, meidän tutkimuksemme keskittyi omaan kuulopalautteeseen tuotettuihin ja ehdollistettuihin virheisiin. Aiemmin monet perturbaatiotutkimukset ovat keskittyneet erottelemaan erinäisiä yksilötekijöitä, jotka vaikuttavat perturbaatioiden havaitsemiseen (Keough & Jones, 2009; Li ym., 2018). Top down -prosesseihin keskittyneissä tutkimuksissa keskiössä ovat olleet tarkkaavuuden ja työmuistin vaikutukset (Guo ym., 2017; Y. Liu ym., 2015; Zhang ym., 2024). Koska aiempaa samankaltaista tutkimusta odotusten vaikutuksista perturbaatioiden havaitsemiseen ja ääntövasteisiin ei ole tehty, on meidän tutkimuksemme pohjalta mahdollista tuottaa uusia ja tarkempia jatkotutkimuskohteita aiheen ympäriltä.

5.3 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuskohteet

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkastelimme top down -prosessien vaikutusta kuulopalautejärjestelmän toimintaan sekä äänenkorkeuden motoriseen kontrolliin. Lisäksi tarkastelimme aistiharha-alttiuden vaikutusta keinotekoisille kuulopalautteen virheille ehdollistumiseen. Puheen tuottoon vaikuttavien top down -prosessien ymmärtäminen tarjoaa merkittäviä lähtökohtia uusien teoreettisten näkökulmien kehittämiseksi sekä kliinisten menetelmien edistämiseksi. Tämä voisi auttaa kohdentamaan diagnosointia ja kuntoutusta erilaisissa kommunikaatiovaikeuksissa, koska näillä prosesseilla tiedetään olevan vaikutusta äännön sensomotoriseen kontrolliin ja havainnointiin, minkä meidänkin tutkimuksemme osoitti. Kuitenkaan useissa puheen tuottoa kuvaavissa malleissa, kuten DIVA-mallissa, näitä top down -tekijöitä ei olla nostettu esiin, jolloin niiden vaikutukset puheen tuottoon ja havaitsemiseen voivat jäädä huomiotta.

Vaikka tutkimuksessamme koehenkilöt eivät ehdollistuneet hallusinaatioille, ei tämän yksittäisen tutkimuksen pohjalta voida suoraan todeta, etteikö kuulopalautteen virheisiin ehdollistuminen olisi mahdollista. Tutkimuksemme ei esimerkiksi juurikaan osallistunut aistiharhoille taipuvaisia henkilöitä, jotka Powersin ja kumppaneiden (2017) mukaan ehdollistuvat muita herkemmin. Tutkimus olisi siis hyvä toisintaa sellaisilla henkilöillä, joilla on LSHS-E-kyselyllä mitattuna korkea taipumus kokea aistiharjoja. On mahdollista, että aistiharhoille alttiimmat henkilöt ehdollistuisivat kuulopalautteen virheille, jolloin saataisiin myös tarkempaa tietoa aistiharhataipumuksen vaikutuksista ehdollistumiseen.

Kiinnostavana jatkotutkimuskohteena voisi olla kokeemme toisintaminen sellaisilla henkilöillä, joiden kuulopalautejärjestelmässä tai puheentuotossa tiedetään olevan poikkeavuuksia. Tutkimus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi henkilöillä, jotka änkyttävät tai joilla on Parkinsonin taudin diagnoosi, jolloin heidän suoriutumistaan voisi verrata muuhun väestöön. Tulevaisuuden tutkimuksissa aivokuvantamismenetelmiä, kuten EEG:tä hyödyntämällä voisi olla mahdollista saada tietoa siitä, miten ehdollistuminen äänenkorkeuden muutoksille näkyy aivokuorella.

Tutkimuksemme tulokset viittaavat siihen, että vaikka koehenkilöitä ei ollut mahdollista ehdollistaa hallusinoimaan virheitä kuulopalautteessaan, koehenkilöt herkistyivät havaitsemaan hyvin pieniä äänenkorkeuden vaihteluita omassa äännessään. Aihetta olisi tarpeen tutkia lisää, sillä koehenkilöiden havaitsemat muutokset äänenkorkeudessa olivat huomattavasti pienempiä kuin mitä ihmisten on uskottu kykenevän havaitsemaan. Tämä jättää auki kysymyksen siitä, onko koehenkilöiden kykyä havaita muutoksia äännessään mahdollista parantaa pysyvästi. Jos näin olisi, voisi ehdollistamisen avulla olla mahdollista parantaa oman äänen havainnointia ja hallintaa sellaisilla henkilöillä, joilla ilmenee siinä haasteita. Lisäämällä tutkimustietoa aiheesta olisi mahdollista etsiä keinoja hyödyntää top down -prosesseja nykyistä laajemmin myös puheterapiakuntoutuksessa.

Lähteet

- Aleci, C. (2021). *Measuring the Soul: Psychophysics for non-Psychophysicists*. EDP Sciences.
- Aleman, A., Böcker, K. B. E., Hijman, R., De Haan, E. H. F., & Kahn, R. S. (2003). Cognitive basis of hallucinations in schizophrenia: Role of top-down information processing. *Schizophrenia Research*, *64*(2–3), 175–185.
- Alemi, R., Lehmann, A., & Deroche, M. L. D. (2020). Adaptation to pitch-altered feedback is independent of one's own voice pitch sensitivity. *Scientific Reports*, *10*(1), 16860.
- Anthony, D. (2004). The cognitive neuropsychiatry of auditory verbal hallucinations: An overview. *Cognitive Neuropsychiatry*, *9*(1–2), 107–123.
- Baethge, C., Baldessarini, R. J., Freudenthal, K., Streeruwitz, A., Bauer, M., & Bschor, T. (2005). Hallucinations in bipolar disorder: Characteristics and comparison to unipolar depression and schizophrenia. *Bipolar Disorders*, *7*(2), 136–145.
- Bauer, J. J., Mittal, J., Larson, C. R., & Hain, T. C. (2006). Vocal responses to unanticipated perturbations in voice loudness feedback: An automatic mechanism for stabilizing voice amplitude. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *119*(4), 2363–2371.
- Behroozmand, R., Bonilha, L., Rorden, C., Hickok, G., & Fridriksson, J. (2022). Neural correlates of impaired vocal feedback control in post-stroke aphasia. *Neuroimage*, *250*, 118938.
- Boksa, P. (2009). On the neurobiology of hallucinations. *Journal of Psychiatry & Neuroscience: JPN*, *34*(4), 260–262.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*(4), 433–436.
- Cai, S., Boucek, M., Ghosh, S., Guenther, F., & Perkell, J. (2008). A System for Online Dynamic Perturbation of Formant Trajectories and Results from Perturbations of the Mandarin Triphthong /iau/. *Proceedings of the 8th International Seminar on Speech Production*, 65–68.
- Chang, E. F., Niziolek, C. A., Knight, R. T., Nagarajan, S. S., & Houde, J. F. (2013). Human cortical sensorimotor network underlying feedback control of vocal pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(7), 2653–2658.
- Chen, S. H., Liu, H., Xu, Y., & Larson, C. R. (2007). Voice F responses to pitch-shifted voice feedback during English speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *121*(2), 1157–1163.

- Cohen, M. L., Weatherford, S., & Nandakumar, R. (2019). How Normal Are “Normal” Errors of Language and Cognition? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *62*(5), 1468–1472.
- Curio, G., Neuloh, G., Numminen, J., Jousmäki, V., & Hari, R. (2000). Speaking modifies voice-evoked activity in the human auditory cortex. *Human Brain Mapping*, *9*(4), 183–191.
- Davis, M. H., & Johnsrude, I. S. (2007). Hearing speech sounds: Top-down influences on the interface between audition and speech perception. *Hearing Research*, *229*(1–2), 132–147.
- De Boer, J. N., Corona Hernández, H., Gerritse, F., Brederoo, S. G., Wijnen, F. N. K., & Sommer, I. E. (2022). Negative content in auditory verbal hallucinations: A natural language processing approach. *Cognitive Neuropsychiatry*, *27*(2–3), 139–149.
- De Boer, J. N., Linszen, M. M. J., de Vries, J., Schutte, M. J. L., Begemann, M. J. H., Heringa, S. M., Bohlken, M. M., Hugdahl, K., Aleman, A., Wijnen, F. N. K., & Sommer, I. E. C. (2019). Auditory hallucinations, top-down processing and language perception: A general population study. *Psychological Medicine*, *49*(16), 2772–2780.
- Dhossche, D., Ferdinand, R., Van Der Ende, J., Hofstra, M. B., & Verhulst, F. (2002). Diagnostic outcome of self-reported hallucinations in a community sample of adolescents. *Psychological Medicine*, *32*(4), 619–627.
- Dima, D., Dietrich, D. E., Dillo, W., & Emrich, H. M. (2010). Impaired top-down processes in schizophrenia: A DCM study of ERPs. *NeuroImage*, *52*(3), 824–832.
- Eliades, S. J., & Wang, X. (2003). Sensory-Motor Interaction in the Primate Auditory Cortex During Self-Initiated Vocalizations. *Journal of Neurophysiology*, *89*(4), 2194–2207.
- Ellson, D. G. (1941). Hallucinations produced by sensory conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, *28*(1), 1–20.
- Engel, A. K., Fries, P., & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(10), 704–716.
- Fiorin, M., Marconato, E., Palharini, T. A., Picoloto, L. A., Frizzo, A. C. F., Cardoso, A. C. V., & de Oliveira, C. M. C. (2021). Impact of auditory feedback alterations in

- individuals with stuttering. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 87(3), 247–254.
- Ford, J. M., & Mathalon, D. H. (2004). Electrophysiological evidence of corollary discharge dysfunction in schizophrenia during talking and thinking. *Journal of Psychiatric Research*, 38(1), 37–46.
- Ford, J. M., Mathalon, D. H., Roach, B. J., Keedy, S. K., Reilly, J. L., Gershon, E. S., & Sweeney, J. A. (2013). Neurophysiological Evidence of Corollary Discharge Function During Vocalization in Psychotic Patients and Their Nonpsychotic First-Degree Relatives. *Schizophrenia Bulletin*, 39(6), 1272–1280.
- Franken, M. K., Acheson, D. J., McQueen, J. M., Hagoort, P., & Eisner, F. (2018). Opposing and following responses in sensorimotor speech control: Why responses go both ways. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(4), 1458–1467.
- Guggenmos, M. (2021). Measuring metacognitive performance: Type 1 performance dependence and test-retest reliability. *Neuroscience of Consciousness*, 2021(1), niab040.
- Guo, Z., Wu, X., Li, W., Jones, J. A., Yan, N., Sheft, S., Liu, P., & Liu, H. (2017). Top-Down Modulation of Auditory-Motor Integration during Speech Production: The Role of Working Memory. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 37(43), 10323–10333.
- Hafke, H. Z. (2008). Nonconscious control of fundamental voice frequency. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 273–278.
- Hare, S. M. (2021). Hallucinations: A Functional Network Model of How Sensory Representations Become Selected for Conscious Awareness in Schizophrenia. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 733038.
- Hari, R., & Salenius, S. (1999). Aivotoiminnoista havaintoihin. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim*, 115(5).
- Heikkilä, R., & Paajanen, L. (2023). Metakognitiivinen kyky havaita virhe kuulopalautteessa: Tarkastelussa signaalidetektiteoriaan perustuva koeasetelma. Pro gradu - tutkielma. Turun yliopisto.
- Hill, T. J. W., & Summers, I. R. (2007). Discrimination of interval size in short tone sequences. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(4), 2376–2383.

- Hughes, G., Desantis, A., & Waszak, F. (2013). Mechanisms of intentional binding and sensory attenuation: The role of temporal prediction, temporal control, identity prediction, and motor prediction. *Psychological Bulletin*, *139*(1), 133–151.
- Johns, L. C., Kompus, K., Connell, M., Humpston, C., Lincoln, T. M., Longden, E., Preti, A., Alderson-Day, B., Badcock, J. C., Cella, M., Fernyhough, C., McCarthy-Jones, S., Peters, E., Raballo, A., Scott, J., Siddi, S., Sommer, I. E., & Larøi, F. (2014). Auditory Verbal Hallucinations in Persons With and Without a Need for Care. *Schizophrenia Bulletin*, *40*(Suppl_4), S255–S264.
- Johns, L. C., Rossell, S., Frith, C., Ahmad, F., Hemsley, D., Kuipers, E., & McGuire, P. K. (2001). Verbal self-monitoring and auditory verbal hallucinations in patients with schizophrenia. *Psychological Medicine*, *31*(4), 705–715.
- Kaipa, R., McLain, N., & Kaipa, R. M. (2023). Altered Auditory Feedback Improves Speech Intelligibility in Individuals Diagnosed with Parkinson’s Disease: A Pilot Study. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, *76*(5), 420–430.
- Keough, D., & Jones, J. A. (2009). The sensitivity of auditory-motor representations to subtle changes in auditory feedback while singing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(2), 837–846.
- 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.
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). What's new in psychtoolbox-3. *Perception*, *36*(14), 1–16.
- Kot, T., & Serper, M. (2002). Increased Susceptibility to Auditory Conditioning in Hallucinating Schizophrenic Patients: A Preliminary Investigation. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, *190*(5), 282–288.
- Kwan, L. C., & Whitehill, T. L. (2011). Perception of Speech by Individuals with Parkinson’s Disease: A Review. *Parkinson’s Disease*, *2011*, 1–11.
- Larøi, F., & Van Der Linden, M. (2005). Nonclinical Participants’ Reports of Hallucinatory Experiences. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, *37*(1), 33–43.
- Launay, G., & Slade, P. (1981). The measurement of hallucinatory predisposition in male and female prisoners. *Personality and Individual Differences*, *2*(3), 221–234.

- Li, J., Hu, H., Chen, N., Jones, J. A., Wu, D., Liu, P., & Liu, H. (2018). Aging and Sex Influence Cortical Auditory-Motor Integration for Speech Control. *Frontiers in Neuroscience, 12*, 749.
- Liu, H., & Larson, C. R. (2007). Effects of perturbation magnitude and voice F level on the pitch-shift reflex. *The Journal of the Acoustical Society of America, 122*(6), 3671–3677.
- 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.
- Maijer, K., Begemann, M. J. H., Palmen, S. J. M. C., Leucht, S., & Sommer, I. E. C. (2018). Auditory hallucinations across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Medicine, 48*(6), 879–888.
- Mak, O., Couth, S., Plack, C. J., Kotz, S. A., & Yao, B. (2023). Investigating the lateralisation of experimentally induced auditory verbal hallucinations. *Frontiers in Neuroscience, 17*, 1193402.
- Malcolm, N., & Gibson, J. J. (1951). The Perception of the Visual World. *The Philosophical Review, 60*(4), 594.
- Malloy, J. R., Nistal, D., Heyne, M., Tardif, M. C., & Bohland, J. W. (2022). Delayed Auditory Feedback Elicits Specific Patterns of Serial Order Errors in a Paced Syllable Sequence Production Task. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 65*(5), 1800–1821.
- Mathalon, D. H., Roach, B. J., Ferri, J. M., Loewy, R. L., Stuart, B. K., Perez, V. B., Trujillo, T. H., & Ford, J. M. (2019). Deficient auditory predictive coding during vocalization in the psychosis risk syndrome and in early illness schizophrenia: The final expanded sample. *Psychological Medicine, 49*(11), 1897–1904.
- Numminen, J., Salmelin, R., & Hari, R. (1999). Subject's own speech reduces reactivity of the human auditory cortex. *Neuroscience Letters, 265*(2), 119–122.
- O'Callaghan, C., Kveraga, K., Shine, J. M., Adams, R. B., & Bar, M. (2017). Predictions penetrate perception: Converging insights from brain, behaviour and disorder. *Consciousness and Cognition, 47*, 63–74.
- Oorschot, M., Lataster, T., Thewissen, V., Bentall, R., Delespaul, P., & Myin-Germeys, I. (2012). Temporal dynamics of visual and auditory hallucinations in psychosis. *Schizophrenia Research, 140*(1–3), 77–82.

- Pavlov, I. P. (1927). Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex. *Oxford Univ. Press*.
- Postma, A. (2000). Detection of errors during speech production: A review of speech monitoring models. *Cognition*, *77*(2), 97–132.
- Powers, A. R., Mathys, C., & Corlett, P. R. (2017). Pavlovian conditioning–induced hallucinations result from overweighting of perceptual priors. *Science*, *357*(6351), 596–600.
- Salonen, A., & Tuomisto, M. (2024). Itse tuotetun äänen taajuuden muutokset havaitaan herkemmin äänen tuoton kuin äänitteeltä kuuntelun aikana. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto.
- Scheerer, N. E., & Jones, J. A. (2014). The predictability of frequency-altered auditory feedback changes the weighting of feedback and feedforward input for speech motor control. *European Journal of Neuroscience*, *40*(12), 3793–3806.
- Schenck, A., Hilger, A. I., Levant, S., Kim, J. H., Lester-Smith, R. A., & Larson, C. (2023). The Effect of Pitch and Loudness Auditory Feedback Perturbations on Vocal Quality During Sustained Phonation. *Journal of Voice*, *37*(1), 37–47.
- Scott, J., Martin, G., Bor, W., Sawyer, M., Clark, J., & McGrath, J. (2009). The prevalence and correlates of hallucinations in Australian adolescents: Results from a national survey. *Schizophrenia Research*, *107*(2–3), 179–185.
- Skvortsova, A., Veldhuijzen, D. S., Kloosterman, I. E. M., Meijer, O. C., Van Middendorp, H., Pacheco-Lopez, G., & Evers, A. W. M. (2019). Conditioned hormonal responses: A systematic review in animals and humans. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *52*, 206–218.
- Smith, K. M., & Caplan, D. N. (2018). Communication impairment in Parkinson’s disease: Impact of motor and cognitive symptoms on speech and language. *Brain and Language*, *185*, 38–46.
- 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.
- Subramaniam, K., Kothare, H., Mizuiri, D., Nagarajan, S. S., & Houde, J. F. (2018). Reality Monitoring and Feedback Control of Speech Production Are Related Through Self-Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 82.

- 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.
- Tourville, J. A., Reilly, K. J., & Guenther, F. H. (2008). Neural mechanisms underlying auditory feedback control of speech. *NeuroImage*, 39(3), 1429–1443.
- V. Békésy, G. (1949). The Structure of the Middle Ear and the Hearing of One's Own Voice by Bone Conduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 21(3), 217–232.
- Whitford, T. J. (2019). Speaking-Induced Suppression of the Auditory Cortex in Humans and Its Relevance to Schizophrenia. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 4(9), 791–804.
- Wise, R., Greene, J., Büchel, C., & Scott, S. (1999). Brain regions involved in articulation. *The Lancet*, 353(9158), 1057–1061.
- Yates, A. J. (1963). Delayed auditory feedback. *Psychological Bulletin*, 60(3), 213–232.
- Zhang, Y., Sarmukadam, K., Wang, Y., & Behroozmand, R. (2024). Effects of attentional instructions on the behavioral and neural mechanisms of speech auditory feedback control. *Neuropsychologia*, 201, 108944.

Liitteet

Liite 1

Launay-Slade Hallucination Scale Extended -kyselyn tutkimusta varten suomennettu versio.

Itemi	0 = ei päde minuun	1 = ei juurikaan päde minuun	2 = saattaa päteä minuun	3 = pätee minuun
Joskus ajatukseni voivat tuntua niin todellisilta, että se pelottaa minua.				
Joskus ajatukseni tuntuvat yhtä todellisilta kuin oikeat tapahtumat elämässäni.				
Huolimatta siitä, kuinka paljon koitan keskittyä, työskentelyyn liittymättömät ajatukset hiipivät aina mieleeni.				
Olen joskus kuullut henkilön äänen, vaikka ketään muuta ei ole ollut paikalla.				
Haaveillessani kuulemani äänet ovat selkeitä ja selkeästi erotettavia.				
Kun haaveilen, haaveilemani ihmiset tuntuvat niin aidoilta, että joskus luulen niiden olevan todellisia.				
Haaveillessani voin kuulla haaveilemani äänen melkein yhtä selkeästi, kuin jos oikeasti kuulisin sen.				
Kuulen usein äänen puhuvan ajatuksiani ääneen.				
Minua on vaivannut äänten kuuleminen päässäni.				
Olen joskus nähnyt ihmisen kasvot edessäni, vaikka ketään ei ole ollut siinä.				
Joskus juuri ennen nukahtamista tai heti heräämisen jälkeen olen kokenut nähneeni, tunteneeni tai kuulleen jotakin, mitä ei oikeasti ollut tai olen tuntenut kosketuksen, vaikka ketään ei ole ollut siinä.				
Joskus juuri ennen nukahtamista tai heti heräämisen jälkeen olen tuntenut leijuvani tai putoavani tai irtautuvani hetkellisesti kehostani.				
Olen tietyissä tilanteissa tuntenut jo aiemmin menehtyneen henkilön läsnäolon.				
Olen joskus haistanut jonkun tietyn hajun, jota ei oikeasti ole.				

Olen tuntenut jonkun koskettaneen minua,
vaikka ketään ei ole ollut paikalla.

Olen joskus nähnyt esineen tai hahmon,
jota ei ole ollut paikalla.

Liite 2

Taulukossa on kuvattu erikokoisten perturbaatioiden määrät sen mukaan, miten niitä esiintyi milläkin kierroksella.

Kierroksen numero	65 sentin perturbaatioiden määrä	40 sentin perturbaatioiden määrä	25 sentin perturbaatioiden määrä	0.01 sentin perturbaatioiden määrä
1	26	1	1	2
2	14	4	4	8
3	8	6	5	11
4	5	6	7	12
5	4	5	8	13
6	3	7	6	14
7–12	2	7	7	14
