

**PUHEÄÄNEN AKUSTISTEN OMINAISUUKSIEN IKÄMUUTOKSET TERVEILLÄ
SUOMENKIELISILLÄ AIKUISILLA**

Sonja Toukola

Pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Henna Tamminen

Turun yliopisto

Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

Psykologian ja logopedian laitos

Logopedia

Syyskuu 2021

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos, yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

TOUKOLA, SONJA: Puheäänien akustisten ominaisuuksien ikämuutokset terveillä suomenkielisillä aikuisilla

Pro gradu -tutkielma, 50 s., 3 liites.

Logopedia

Syyskuu 2021

Tässä Pro gradu -tutkielmassa tutkittiin akustisen analyysin avulla äänen perustaajuudessa, voimakkuudessa, perustaajuuden ja amplitudin vaihtelussa sekä hälyssä ikääntymisen myötä tapahtuvia muutoksia terveillä 50-, 70- ja 80-vuotiailla naisilla ja miehillä. Aiheesta on tehty ulkomailla jo useita samankaltaisia tutkimuksia, mutta ikääntyvien ihmisten äänen muutoksia on tärkeää tutkia myös Suomessa, koska äänen akustisissa ominaisuuksissa voi olla kieli- ja kulttuurikohtaisia eroavaisuuksia.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 19 henkilöä: kuusi 50-vuotiasta, seitsemän 70-vuotiasta ja kuusi 80-vuotiasta. Tutkittavista 10 oli naisia ja 9 miehiä. Jokaiselta tutkittavalta kerättiin kaksi ääninäytettä, joista toisessa tutkittava luki tekstikatkelman ja toisessa tuotti noin viiden sekunnin ajan /a/-vokaalia pidennettynä. Tekstikatkelman lukemista ja vokaalifonaatiota käytettiin, koska ne ovat useissa tutkimuksissa vakiintuneet ääninäytteiden sisällöksi. Ääninäytteet analysoitiin Praat-tietokoneohjelmalla, ja tutkituille äänen ominaisuuksille laskettiin kummallekin sukupuolelle ikäryhmäkohtaiset keskiarvot. Tilastollisilla analyyseilla vertailtiin tutkittujen äänen ominaisuuksien eroja sukupuolten välillä, sekä ikäryhmien välisiä eroja sukupuolten sisällä.

Tutkimuksen päätuloksena oli, että kaikissa tutkituissa äänen ominaisuuksissa tapahtui muutoksia ikääntymisen myötä. Perustaajuus laski naisilla ikääntymisen myötä, kun taas miehillä se nousi. Äänen voimakkuus oli vanhimmilla ikäryhmillä aavistuksen suurempi nuorimpaan ikäryhmään verrattuna, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Naisilla sekä perustaajuuden vaihtelu (*jitter*) että amplitudin vaihtelu (*shimmer*) lisääntyivät iän myötä. Miehillä jitterin ja shimmerin lisääntyminen iän myötä ei ollut systemaattista, sillä molempia ominaisuuksia oli eniten 70-vuotiailla. Sukupuolten väliset erot jitterissä ja shimmerissä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Hälyn määrä lisääntyi siitä kertovien parametrien (NHR ja HNR) perusteella naisilla systemaattisesti iän myötä, kun taas miehillä eniten hälyä havaittiin 80-vuotiailla ja vähiten 70-vuotiailla. Ero sukupuolten välillä ei ollut merkitsevä.

Suurin osa tutkimuksen tuloksista oli linjassa ulkomailla tehtyjen tutkimusten kanssa, eli suomalaisilla henkilöillä voidaan todeta tapahtuvan samankaltaisia äänen ikämuutoksia kuin ulkomaisilla henkilöillä. Muutamia eroavaisuuksia kuitenkin oli, mikä saattoi johtua tutkimusmetodologisista tekijöistä, kuten erilaisista tutkimusympäristöistä, äänityslaitteistoista ja akustiseen analyysiin käytetyistä tietokoneohjelmista. Vaikka pienen otoskoon vuoksi tutkimuksen tuloksia ei voida sellaisenaan yleistää koskemaan koko populaatiota, niitä voidaan pitää suuntaa-antavina ja hyödyntää esimerkiksi puheterapeutin kliinisessä työssä mahdollisia äänihäiriöitä arvioitaessa.

Asiasanat: puheääni, ikääntyminen, akustinen analyysi

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Ääni ilmiönä	2
1.1.1 Äänen perustaajuus	4
1.1.2 Äänen voimakkuus	5
1.1.3 Äänisignaalissa esiintyvät vaihtelut	5
1.1.4 Äänisignaalissa esiintyvä häly	7
1.2 Äänen tavanomaiset ikämuutokset	8
1.3 Äänen tutkimusmenetelmät	12
1.3.1 Aistinvarainen arviointi	12
1.3.2 Instrumentaalinen arviointi	13
1.3.3 Akustinen analyysi	14
2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	17
3 MENETELMÄT	18
3.1 Tutkittavat	18
3.2 Tutkimuksen kulku	19
3.3 Aineiston analysointi	20
3.4 Tutkimuksen eettisyys	22
4 TULOKSET	23
4.1 Perustaajuus	24
4.2 Äänen voimakkuus	26
4.3 Perturbaatio	27
4.4 Häly	30
5 POHDINTA	32
5.1 Tutkimustulosten tarkastelu	32
5.1.1 Perustaajuuden muutokset	32
5.1.2 Äänen voimakkuuden muutokset	34
5.1.3 Perturbaation muutokset	35
5.1.4 Hälyn muutokset	37
5.2 Tutkimuksen luotettavuus	39
5.3 Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset	40
LÄHTEET	42
LIITTEET	51

1 JOHDANTO

Kuten muualla maailmassa, myös Suomessa iäkkäiden henkilöiden osuus väestössä kasvaa jatkuvasti (Suomen virallinen tilasto, 2020). Ikääntyminen aiheuttaa muutoksia ihmisen psyykkisessä, sosiaalisessa ja fyysisessä toimintakyvyssä (Pohjolainen, 2008; Ramig ym., 2001; Schneider ym., 2011). Näin ollen myös ääni ja sen tuottaminen muuttuvat. Ääni on ihmisten välisen kommunikoinnin peruspilari, jonka avulla välitämme muille ihmisille tietoa ajatuksistamme, tunteistamme ja asenteistamme (Titze, 2000). Tämän vuoksi ääneen ilmaantuvat ikämuutokset voivat heikentää niin sosiaalista, fyysistä kuin emotionaalistakin toimintakykyä (Etter ym., 2019).

Pahimmillaan ääniongelmat voivat aiheuttaa yksilölle haittaa sosiaalisen vetäytymisen ja jopa mielenterveysongelmien muodossa, mikä heikentää yksilön elämänlaatua (Rapoport ym., 2018). Yhteiskunnan tasolla ääniongelmat ja niistä seuraavat sairaspöissaolot, mielenterveysongelmat ja muut liitännäisongelmat puolestaan aiheuttavat kuluja, jotka olisi mahdollista välttää, jos ääniongelmiin tunnistaminen olisi helpompaa. Näiden syiden vuoksi on tärkeää tutkia äänessä tapahtuvia muutoksia ja kerätä ikäspesifiä dataa ihmisten äänen ominaisuuksista (Goy ym., 2013). Ikäryhmille tyypillisiin viitearvoihin vertaamalla voidaan erottaa poikkeavat tapaukset ja mahdolliset äänihäiriöt joukosta paremmin. Varhaisen puuttumisen avulla minimoidaan äänihäiriöiden yksilölle ja yhteiskunnalle aiheuttamat haitat ja kulut.

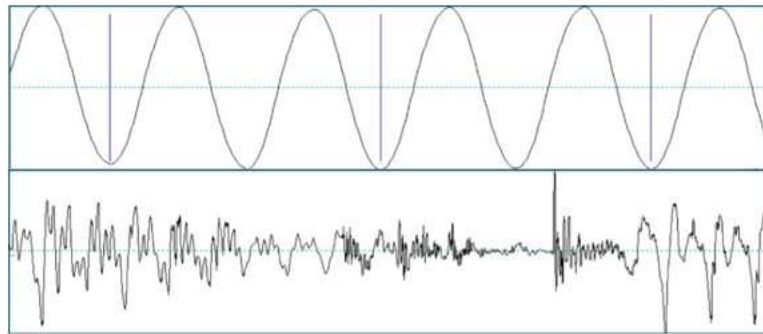
Tässä Pro gradu -tutkielmassa kartoitetaan akustisen analyysin avulla, millaisia keski-ikäistä vanhempien, terveiden ihmisten keskeiset puheäänien ominaisuudet ovat ja miten nämä ominaisuudet eroavat sukupuolten ja tutkimukseen valittujen ikäryhmien välillä. Keskeiset äänen ominaisuudet tarkoittavat tässä tutkimuksessa äänen perustaajuutta, äänen voimakkuutta, äänisignaalin tapahtuvia epäsäännöllisiä vaihteluita sekä äänisignaalin kohinaan liittyviä suhdelukuja, koska nämä ominaisuudet olivat kirjallisuuskatsauksena toteutetun kandidaatintutkielmani perusteella eniten tutkittuja äänen ominaisuuksia (Toukola, 2020). Vastaavanlaisia tutkimuksia on tehty ulkomailla melko paljon, mutta aihetta on tärkeä tutkia suomalaisillakin henkilöillä, koska eri kielet ja kulttuuritaustat saattavat vaikuttaa eri tavoilla puheäänien ominaisuuksiin (Watt, 2014). Esimerkiksi Leinin ja kumppaneiden (2008) tutkimuksessa mitatut perustaajuuden arvot suomalaisilla 18–30-vuotiailla henkilöillä olivat hieman matalampia kuin ulkomailla

tehdyissä tutkimuksissa saman ikäisillä henkilöillä (esim. Goy ym., 2013; Spazzapan ym., 2018).

1.1 Ääni ilmiönä

Ääni on jostakin äänilähteestä peräisin olevaa, väliaineessa etenevää ilman aaltomaista värähtelyä, jossa ilman paine vaihtelee hyvin nopeasti (Raimo & Ojala, 2009). Ilman paineen vaihteluissa vuorottelevat ilman puristuminen kasaan ja tiettyyn suuntaan tapahtuva liike, jotka saavat aikaan äänisignaalin aaltomaisen muodon (Johnson, 2012). Ihminen havaitsee äänen, kun ääniaalto saapuu korvakäytävään ja sen värähtely saa korvakäytävän päässä olevan tärykalvon värähtelemään (Young, 2007). Tärykalvon liike etenee kuuloluiden eli vasaran, alasimen ja jalustimen kautta sisäkorvaan (Leppäluoto ym., 2015). Nesteiden täyttämässä sisäkorvassa nesteen liikkeet ärsyttävät kuuloreseptorisoluja, joiden kautta kuuloaistimus välittyy kuulorataa pitkin kuuloaivokuorelle prosessoitavaksi (Young, 2007).

Kaikki äänet voidaan jakaa periodisiin ja epäperiodisiin ääniin (Johnson, 2012). Periodisissa äänissä ilmanpaineen minimi- ja maksimiarvot vaihtelevat säännönmukaisina, identtisinä intervaleina, mikä mahdollistaa sävelkorkeuden kuulemisen (Laukkanen & Leino, 1999). Yksinkertaisimmillaan periodinen ääni voi olla yksitaajuuksinen siniääni, joka kuulostaa vihellykseltä tai ujellukselta riippuen sen taajuudesta (Vainio ym., 2009). Periodinen ääni voi myös olla kompleksinen, jolloin ääni muodostuu vähintään kahdesta erilaisesta siniäänestä (Johnson, 2012). Esimerkiksi ihmisen kurkunpäässä sijaitsevien äänihuulten värähtelyn aikaansaama ääni on periodista, kompleksista ääntä (Laukkanen & Leino, 1999). Epäperiodiset äänet ovat aina kompleksisia eikä niillä ole säännöllisesti toistuvaa aaltomuotoa (Johnson, 2012). Tämä johtuu siitä, että epäperiodisissa äänissä ilmanpaineen vaihtelu on epäsäännöllistä (Laukkanen & Leino, 1999). Ihmisäänessä epäperiodista ainesta ilmenee ilmapurran puristuessa ääniväylässä esiintyvän kapeikon läpi tai ääniteissä, joissa ilmapurra katkeaa kokonaan hetkellisesti (Richard & D'Alessandro, 1996). Periodisen ja epäperiodisen äänisignaalin eroa havainnollistetaan Kuvassa 1.



Kuva 1. Periodinen äänisignaali (yllä) ja epäperiodinen äänisignaali (alla)

Ihmisiäni syntyy, kun kurkunpäässä sijaitsevat äänihuulet värähtelevät keuhkoista ulos virtaavan ilman seurauksena (Laukkanen & Leino, 1999). Tätä ilmapinnan avulla tapahtuvaa, kuuluvan äänen synnyttämistä kurkunpäässä voidaan kutsua myös fonaatioksi (Aulanko, 2009; Esling, 2015). Ääniteitä, joiden aikana tapahtuu äänihuulivärähtelyä, kutsutaan soinnillisiksi, ja niitä ovat esimerkiksi suomen kielen vokaalit sekä jotkin konsonantit, kuten /m/ ja /d/ (Wiik, 1998). Äänitteet voivat myös olla soinnittomia. Niissä ilmapirta kulkeutuu ääniväylään syntyneen kapeikon läpi aiheuttaen hälyä, kuten ääniteissä /f, h, s/, tai katkeaa kokonaan, kuten ääniteissä /p, k, t/ (Aulanko, 2009; Wiik, 1998). Keuhkoista ulospäin virtaavan ilman seurauksena syntyvä fonaatio on yleisin tapa tuottaa ääntä, mutta sen lisäksi ääntä on mahdollista tuottaa sisäänhengitysilmailla eli ingressiivisesti (Esling, 2015). Riippumatta äänen tuottotavasta, syntyvää fonaatiota voidaan muunnella tahdonalaisesti esimerkiksi muuttamalla äänihuulten pituutta ja jänteyttä tai säätelemällä artikulaatioelinten eli kielen, huulten ja kitapurjeen asentoja (Laukkanen & Leino, 1999).

Jokaisella äänellä – myös ihmisäänellä – on kolme perusominaisuutta: korkeus, voimakkuus ja laatu. Jos näitä ominaisuuksia tarkastellaan mitattavina fysiikan ilmiöinä, vastaavat ominaisuudet ovat taajuus, paine ja spektri, eli äänen taajuuksien jakautuminen. (Raimo & Ojala, 2009.) Lisäksi äänellä on aina jokin kesto ajassa (Vainio ym., 2009). Nämä ominaisuudet vaihtelevat puheessa muun muassa puhujan yksilöllisten piirteiden sekä sosiaalisen kontekstin ja ympäristön vaatimusten mukaan. Puhujan yksilöllisistä piirteistä äänen perusominaisuuksiin vaikuttavat esimerkiksi ikä, sukupuoli ja mahdolliset äänen tuottoon vaikuttavat sairaudet (esim. Juvas & Sovijärvi, 2011; Laukkanen & Leino, 1999). Sosiaalisen kontekstin vaikutukset äänen perusominaisuuksiin tulevat esiin monenlaisissa tilanteissa. Esimerkiksi Laukkasen ja

Leinon (1999) mukaan puheäänien korkeuden muuntelua käytetään sosiaalisesta asemasta viestimisessä. Tämä tuli esille Leongómezin ja kumppaneidenkin (2017) tutkimuksessa, jossa korkeammassa sosiaalisessa asemassa olevat henkilöt puhuivat voimakkaammalla ja matalammalla äänellä keskustellessaan sellaisten henkilöiden kanssa, jotka olivat alemmassa sosiaalisessa asemassa. Puheen korkeutta, tauotusta ja rytmiä muunnellaan huomattavasti myös pienille lapsille suunnatussa hoivapuheessa (Arola & Paavola, 2009). Tavanomainen ympäristön asettama vaatimus äänen perusominaisuuksille on se, että meluisassa ympäristössä äänen painetta täytyy kasvattaa kuuluvamman äänen tuottamiseksi (Howell, 2011). Ääntä voimistaessa myös äänen korkeus saattaa nousta (Laukkanen & Leino, 1999). Pitkään jatkuvana yksilölle epätyypillisen äänen voimakkuuden ja korkeuden käyttäminen voi puolestaan johtaa äänen laadun muutoksiin, jotka voivat ilmetä esimerkiksi äänen käheytenä ja karheutena (Juvas & Sovijärvi, 2011).

1.1.1 Äänen perustaajuus

Äänen perustaajuudella (F_0) tarkoitetaan äänihuulten värähtelymäärää sekunnissa ja sen mittayksikkönä käytetään hertsiä (Hz) (Aronson & Bless, 2009, s. 142). Aistinvaraisesti perustaajuus havaitaan äänen sävelkorkeutena (Baken & Orlikoff, 2010). Keskimäärin perustaajuus on naisilla noin 200 Hz ja miehillä noin 100 Hz (esim. Spazzapan ym., 2018; Xue & Deliyski, 2001).

Perustaajuuteen vaikuttavat monet tekijät. Syntyvä ääni on sitä korkeampi, mitä nopeammin äänihuulet värähtelevät. Tärkeitä tekijöitä äänen perustaajuuden taustalla ovat myös äänihuulten massa, pituus ja pingottuneisuus (Wiik, 1998). Mitä suurempi massa ja pituus äänihuulilla on, sitä matalampaa ääntä syntyy (Laukkanen & Leino, 1999). Tämän vuoksi esimerkiksi miehillä, joilla on yleensä pidemmät, massaltaan suuremmat ja vähemmän pingottuneet äänihuulet naisiin verrattuna, on matalampi äänen perustaajuus kuin naisilla (Aronson & Bless, 2009; Wiik, 1998). Perustaajuutta voidaan säädellä lisäämällä tai vähentämällä ilmapvirran voimakkuutta (Aulanko, 2009) tai muuttamalla äänihuulten pituutta, paksuutta ja pingottuneisuutta tiettyjen kurkunpään lihasten avulla (Laukkanen & Leino, 1999; Wiik, 1998). Tämä mahdollistaa puheessa havaittavan, vaihtelevan sävelkulun (Wiik, 1998).

1.1.2 Äänen voimakkuus

Äänen voimakkuus on kuulohavaintoon perustuva ilmiö (Laukkanen & Leino, 1999), jonka mittayksikkönä käytetään desibeliä (dB) (Baken & Orlikoff, 2010, s. 96). Nimenomaan kuulohavainnosta puhuttaessa voimakkuutta kuvataan joskus muillakin lähes samaa tarkoittavilla termeillä, kuten kuuluvuus ja äänekkyyys (Laukkanen & Leino, 1999; Titze, 2000). Jos taas puhutaan äänen voimakkuudesta mitattavana parametrina, käytetään termiä intensiteetti tai äänenpainetaso (SPL, *sound pressure level*) (Laukkanen & Leino, 1999). Intensiteetti kertoo, kuinka paljon energiaa siirtyy yhden aallon mukana tietyssä aikayksikössä (Titze, 2000). Äänenpainetason käyttäminen äänen voimakkuutta kuvattaessa on puolestaan perusteltua siksi, että äänen voimakkuus on vahvasti sidoksissa ilmanpaineessa tapahtuviin vaihteluihin (Laukkanen & Leino, 1999). Puheen voimakkuudessa on suurta yksilöllistä vaihtelua (Laukkanen & Leino, 1999), mutta keskimäärin puheen voimakkuus on noin 60–70 dB (esim. Goy ym., 2013; Leino ym., 2008).

Äänen voimakkuutta voidaan säädellä tahdonalaisesti äänihuulten alapuolisia, äänihuulitason tai äänihuulten yläpuolisia tekijöitä, kuten leuan ja huulien asentoa muuntelemalla (Titze, 2000). Finneganin ja kumppaneiden (2000) mukaan pääasiallinen mekanismi äänen voimistamisessa on uloshengitysilihasten avulla ilmanpaineen kasvattaminen keuhkoissa ja henkitorvessa niin, että myös äänihuulten alapuolinen ilmanpaine kasvaa. Äänihuulitasolla äänihuulilihas aktivoituu, minkä seurauksena äänihuulirako sulkeutuu tiiviimmin äänihuulten paksuuntuessa ja lähentyessä (Zhang, 2016). Lisäksi äänihuulten limakalvot löystyvät mahdollistaen laajemman ja nopeamman värähtelyliikkeen (Laukkanen & Leino, 1999). Zhangin (2016) mukaan äänen voimistamista edesauttaa myös äänihuulten yläpuolisten rakenteiden muodon muuttaminen, kuten suun avaaminen suuremmaksi. Tämä auttaa sovittamaan ääniraon ja suun ulkopuolisen tilan välistä vastusta, mikä parantaa äänen leviämistä suuremmalle alueelle suun ulkopuolella.

1.1.3 Äänisignaaliissa esiintyvät vaihtelut

Äänisignaalin aaltomuodossa tapahtuvia, hyvin nopeita ja epäsäännöllisiä häiriöitä ja vaihteluita kutsutaan perturbaatioksi (Farrús ym., 2007). Näitä pieniä häiriöitä ja

vaihteluita voi tapahtua joko äänisignaalin perustaaajuudessa (*jitter*) tai äänen amplitudissa eli värähtelylaajuudessa (*shimmer*) (Baken & Orlikoff, 2010). Jitteriä ja shimmeriä esiintyy äänisignaalissa aina jonkin verran eikä ihmisääntä ole mahdollista tuottaa täysin ilman perturbaatiota (Brockmann ym., 2011; Maryn ym., 2009; Titze, 2000). Niiden määrä äänessä voi kuitenkin lisääntyä ikääntymisen ja etenkin erilaisten äänihäiriöiden seurauksena (esim. Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Maryn ym., 2009; Spazzapan ym., 2018). Huomattavasti lisääntynyt perturbaation määrä äänessä voidaan havaita aistinvaraisesti äänen epätavallisenä käheytenä tai karheutena (Farrús ym., 2007).

Jitterin ja shimmerin taustalla on esimerkiksi neurologisia, biomekaanisia ja aerodynaamisia tekijöitä (Titze, 2000). Perturbaatiota aiheuttavia neurologisia tekijöitä ovat muutokset äänihuulivärähtelyyn osallistuvien motoristen yksiköiden määrässä ja tyypissä (Titze, 2000). Biomekaaniset tekijät puolestaan ovat äänihuulten massan tai kudosten rakenteen muutoksia (Baken & Orlikoff, 2010). Aerodynaamiset tekijät perturbaation taustalla ovat äänihuulten välisen ääniraon läpi kulkeutuvan ilmavirran suunnan muutoksia, jotka synnyttävät äänisignaalin tasaisuutta horjuttavaa turbulenssia (Titze, 2000).

Lukuisista tutkimuksista huolimatta jitterille ja shimmerille ei ole vielä pystytty esittämään yhtä selkeitä keskimääräisiä arvoja kuin äänen perustaaajuudelle ja voimakkuudelle. Syitä tutkimustulosten eroavaisuudelle on esitetty johdannon osassa 1.3.3 Akustinen analyysi. Taulukkoon 1 on koottu muutamia tutkimuksia, joissa on pyritty keräämään normatiivista dataa jitterin ja shimmerin arvoista. Taulukkoon on kerätty jitterin ja shimmerin arvoja niiltä ikäryhmiltä, jotka vastaavat suurin piirtein tähän Pro gradu -tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden ikäjakaumaa. Esimerkiksi Pessin ja kumppaneiden (2017) tutkimuksessa tutkittavat olivat yli 76-vuotiaita ja Xuen ja Deliyskin (2001) tutkimuksessa 70–80-vuotiaita. Kuten taulukosta näkyy, sukupuolten välillä on jonkin verran eroa sekä jitterin että shimmerin määrässä, vaikka kaikissa tutkimuksissa ero ei olekaan ollut merkitsevä.

Taulukko 1. *Aiempien tutkimusten tuloksia jitterin ja shimmerin arvoista*

Tutkimus	Tutkittavien ikä	Jitter (%)		Shimmer (%)	
		Naiset	Miehet	Naiset	Miehet
Goy ym. (2013)	63–86	0.47	0.48	2.78	4.17
Mezzedimi ym. (2017)	61–93	0.493	0.65	6.306	6.71
Pessin ym. (2017)	≥76	0.94	2.29	4.41	6.99
Xue & Deliyski (2001)	70–80	2.02	2.10	5.34	5.54

1.1.4 Äänisignaaliassa esiintyvä häly

Häly on periodisen äänihuulivärähtelyn muodostamasta äänestä poikkeavaa, epäperiodista kohinaa, jota on ihmisen tuottamassa äänessä aina jonkin verran (Laukkanen & Leino, 1999). Sen kuvaamiseen käytetään yleensä suhdelukuja, kuten harmonisuus-hällysuhdetta (*harmonics-to-noise ratio*, HNR) ja häly-harmonisuussuhdetta (*noise-to-harmonics ratio*, NHR). HNR kertoo äänisignaaliassa esiintyvän soinnillisen aineksen määrän suhteessa hälyyn (Ferrand, 2002). HNR saadaan jakamalla soinnillisen aineksen keskimääräinen amplitudin määrä hälyn keskimääräisellä amplitudin määrällä ja tulos ilmaistaan desibeleissä (Baken & Orlikoff, 2010, s. 282). NHR puolestaan kertoo hälyn ja soinnillisen aineksen keskimääräisen suhteen (Sellman, 2004). NHR saadaan jakamalla 1500–4500 Hz taajuisten hälykomponenttien keskimääräinen amplitudi 70–4500 Hz taajuisten soinnillisten komponenttien keskimääräisellä amplitudilla (Baken & Orlikoff, 2010; Gorris ym., 2020; Sellman, 2004).

Hälyä pidetään äänen laatuun liittyvänä piirteenä, sillä aistinvaraisesti se voidaan havaita äänen vuotoisuutena tai käheytenä (Laukkanen & Leino, 1999). Lisääntynyt hälyn määrä äänessä voi johtua äänihäiriön tai ikääntymisen aiheuttamista muutoksista äänentuottoelimistössä (Ferrand, 2002). Hälyn taustalla voi myös olla äänihuuliraon läpi virtaavaan ilmaan muodostuva turbulenssi (Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006).

Kuten jitterin ja shimmerin, myös HNR:n ja NHR:n arvoissa on jonkin verran vaihtelua eri tutkimusten välillä. Taulukossa 2 esitetään muutamien tutkimusten tuloksena saatuja arvoja kyseisille ominaisuuksille sellaisilta ikäryhmiltä, jotka ovat lähellä tämän tutkielman tutkittavien ikäjakaumaa. Esimerkiksi Gorrisin ja kumppaneiden (2020) tutkimuksessa tutkittavat olivat 51–70-vuotiaita ja Mezzedimin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa 61–93-vuotiaita. Etenkin HNR:n arvot vaihtelevat taulukkoon koottujen tutkimusten välillä melko paljon. Kaikissa HNR:ää mitanneissa tutkimuksissa sen arvot näyttäisivät kuitenkin olevan naisilla suuremmat kuin miehillä. NHR:n arvot puolestaan ovat miehillä suuremmat kuin naisilla, mutta osassa taulukkoon kootuista tutkimuksista ero ei ole kovinkaan suuri.

Taulukko 2. *Aiempien tutkimusten tuloksia HNR:n ja NHR:n arvoista*

Tutkimus	Tutkittavien ikä	HNR (dB)		NHR	
		Naiset	Miehet	Naiset	Miehet
Gorris ym. (2020)	51–70	20.371	18.564	0.014	0.023
Goy ym. (2013)	63–86	25.30	21.90	0.012	0.016
Mezzedimi ym. (2017)	61–93	16.001	15.669	0.041	0.053
Pessin ym. (2017)	≥76			0.15	0.16
Spazzapan ym. (2018)	50–59			0.14	0.16
Xue & Deliyski (2001)	70–80			0.20	0.18

1.2 Äänen tavanomaiset ikämuutokset

Ikääntyminen saa ihmiskehossa aikaan monia erilaisia muutoksia, jotka ilmenevät yleensä ihmisen psyykkisen, sosiaalisen ja fyysisen toimintakyvyn heikentymisenä (Ramig ym., 2001; Schneider ym., 2011). Fyysiseen toimintakykyyn vaikuttavia muutoksia ovat esimerkiksi verenkierto- ja hengityselimistön toiminnan heikentyminen sekä lihas- ja luumassan väheneminen ja nivelten liikkuvuuden aleneminen (Huttunen &

Vilkman, 2009; Pohjolainen, 2008). Nämä muutokset vaikuttavat myös äänen tuottamiseen ja äänen ominaisuuksiin, kuten perustaajuuteen, voimakkuuteen, äänisignaalin tapahtuviin vaihteluihin ja hälyn määrään (Huttunen & Vilkman, 2009).

Perustaajuuden on useissa tutkimuksissa todettu muuttuvan ikääntymisen seurauksena sekä naisilla että miehillä. Naisilla äänen perustaajuus madaltuu keski-ikästä alkaen (Huttunen & Vilkman, 2009). Tämä johtuu menopaussin aiheuttamista hormonaalisista muutoksista, jotka vaikuttavat etenkin testosteronin ja estrogeenin määrien välisiin suhteisiin (Awan, 2006). Hormonaalisten muutosten seurauksena äänihuulten limakalvojen tietyt kerrokset paksuuntuvat, mikä madaltaa perustaajuutta (Huttunen & Vilkman, 2009). Äänihuulissa tapahtuvat muutokset voivat myös vaikeuttaa perustaajuuden säätelyä puheessa (Morgan & Rastatter, 1986). Miehillä keski-ikänsä mukanaan tuomat hormonaaliset muutokset puolestaan saavat aikaan perustaajuuden nousumisen noin 50 ikävuodesta alkaen (Kasuya & Yoshida, 2017; Nishio & Niimi, 2008). Perustaajuuden nousumiseen miehillä saattaa vaikuttaa myös ääneen ilmaantuvan vuotoisuuden kompensointi, joka tapahtuu kurkunpään lihaksia jännittämällä, mikä samalla nostaa äänen korkeutta (Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Huttunen & Vilkman, 2009). Sukupuolesta riippumatta perustaajuuden muutoksia aiheuttaa lisäksi erityisesti kurkunpään lihasten ja äänihuulten lihaskudoksen rappeutuminen, mikä voi näkyä esimerkiksi äänihuulten kaareutumisenä (Johns ym., 2011).

Äänen voimakkuuden on joissakin tutkimuksissa todettu pysyvän lähes samana läpi elämän (esim. Mezzedimi ym., 2017). Jos ääni kuitenkin hiljenee ikääntymisen myötä, syynä on useimmiten keuhkojen toiminnan heikkeneminen, joka ilmenee vaikeutena kasvattaa äänihuulten alapuolista ilmanpainetta voimakkaamman äänen tuottamiseksi (Huttunen & Vilkman, 2009; Ramig ym., 2001). Lisäksi keuhkojen toiminnan heikkeneminen aiheuttaa hengityksen säätelyn ongelmia (Huttunen & Vilkman, 2009). Joissakin tutkimuksissa äänen voimakkuuden ja äänenpainetason on huomattu kasvavan ikääntymisen myötä (esim. Stathopoulos ym., 2011). Tämä voi olla seurausta heikkenevästä kuulosta. Ihmiset alkavat puhua muihin verrattuna voimakkaammalla äänellä, koska eivät kuule omaa ääntään riittävän hyvin, eivätkä siksi kykene säätämään äänen voimakkuutta keskusteluun sopivalle tasolle (Aronson & Bless, 2009; Huttunen & Vilkman, 2009; Zahnert, 2011).

Kuten perturbaation arvoista yleisesti, myöskään ikääntymisen myötä tapahtuvista perturbaation määrän muutoksista ei ole saatu täysin yhtenäisiä tutkimustuloksia. Useissa tutkimuksissa on todettu, että vanhemmilla ihmisillä on äänessään nuorempia enemmän perturbaatiota (esim. Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Schaeffer ym., 2015). Sukupuolten välillä on kuitenkin havaittu olevan joitakin eroja jitterin ja shimmerin määrissä. Esimerkiksi Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa ainoastaan shimmerin määrässä löytyi vain miehillä merkittävä ikäryhmien välinen ero niin, että vanhemmilla miehillä oli nuoriin verrattuna enemmän shimmeriä äänessään. Spazzapanin ja kollegoiden (2018) tutkimuksessa puolestaan havaittiin, että naisilla oli ikäryhmästä riippumatta äänessään enemmän jitteriä kuin miehillä, mutta jitterin määrä oli vanhoilla naisilla pienempi kuin nuorilla. Kuitenkin Awan (2006) raportoi, että vanhemmilla naisilla oli äänessään enemmän jitteriä kuin nuoremmilla. Ristiriitaisten tutkimustulosten taustalla voi olla suuri vaihtelevuus äänityslaitteistoissa ja -tiloissa (Leong ym., 2013). Yhtä mieltä aiemmissä tutkimuksissa ja kirjallisuudessa on kuitenkin oltu siitä, että ikääntyvillä ihmisillä perturbaation määrää äänessä lisää muun muassa äänihuulilihasten rappeutuminen ja sen aiheuttama epätasaisempi äänihuulivärähtely, äänihuulten kaareutuminen, epätäydellinen äänihuulisulku ja äänihuulten lähentämisen vaikeudet (esim. Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Rapoport ym., 2018; Rojas ym., 2020).

Tutkimustuloksissa on ollut vaihtelevuutta myös hälyn määrään liittyen. Esimerkiksi Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa HNR:n tai NHR:n arvoissa ei ollut merkittävää ikäryhmien välistä eroa. Tästä poikkeavia tuloksia sai tutkimuksissaan Ferrand (2002), jonka havaintojen perusteella hälyn määrä lisääntyi ikääntymisen myötä vain naisilla. Schaefferin ja kollegojen tutkimuksessa (2015) puolestaan sekä iäkkäillä naisilla että miehillä oli merkittävästi enemmän hälyä äänessään nuorempiin verrokkeihin verrattuna. Vanhemmilla ihmisillä hälyn määrää äänessä lisää esimerkiksi epätäydellinen äänihuulisulku, joka saa aikaan sen, että äänihuulten välistä virtaa tahattomasti ilmaa ulos aiheuttaen vuotoiselta kuulostavan äänen (Aronson & Bless, 2009; Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006). Erityisesti miehillä vuotoisuutta aiheuttaa myös äänihuulten kaareutuminen (Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006). Hälystä kertova äänen käheys voi puolestaan johtua muun muassa epätäydellisen äänihuulisulun aiheuttamasta turbulenssista ja äänihuulilihasten rappeutumisen aiheuttamasta epätasaisesta äänihuulivärähtelystä (Rojas ym., 2020).

Perturbaation ja hälyn suurempaan määrään iäkkäillä ihmisillä voi olla syynä myös lääkitys (Ferrand, 2002; Huttunen & Vilkmán, 2009). Itsensä terveiksikin kokevista vanhuksista monet käyttävät säännöllisesti yhtä tai useampaa lääkettä, joista etenkin antihistamiinit, limakalvoja supistavat dekonstantit, diureetit ja verenpainetaudin hoitoon käytettävät lääkkeet voivat aiheuttaa haittavaikutuksia äänentuottoelimistössä (Ferrand, 2002; Pitkälä ym., 2005). Nemrin ja kollegojen (2018) tutkimuksen perusteella yleisimmät lääkkeiden käytöstä johtuvat äänentuottoon vaikuttavat ongelmat olivat ääntöväylän kuivuus, äänen käheys, katkeilu, väsyminen ja heikkous, rykiminen ja hengenahdistus. Ääntöväylän kuivuus muuttaa äänihuulivärähtelyä epätasaisemmaksi, mikä saa aikaan perturbaatiota, joka voidaan havaita äänen käheytenä (Zou ym., 2019). Äänen väsyminen ja heikkous voidaan puolestaan havaita äänessä lisääntyneenä hälyn määränä (Laukkanen & Leino, 1999).

Ikääntymisen aiheuttamat muutokset äänessä voivat vaikuttaa yksilöiden elämänlaatuun. Esimerkiksi Verdonck-de Leeuw & Mahieu (2004) havaitsivat pitkittäistutkimuksessaan, että viiden vuoden aikana tapahtuneet äänen muutokset heikensivät 51–81-vuotiaiden tutkittavien psykososiaalista toimintakykyä päivittäisissä tilanteissa. Myös Plank ja kumppanit (2011) löysivät tutkimuksessaan kohtalaisen yhteyden ikääntymisen myötä ilmenneiden äänen muutosten ja heikenneen elämänlaadun välillä. Äänen toimimattomuus voi aiheuttaa emotionaalista stressiä, joka voi puolestaan johtaa sosiaalisten tilanteiden välttelyyn, yksinäisyyteen ja mielenterveysongelmiin, kuten masennukseen (Merrill ym., 2011; Plank ym., 2011; Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004).

On kuitenkin useita keinoja, joilla voidaan edesauttaa äänen säilymistä hyvänä vanhuudessa. Riittävä nesteiden juominen ja hengitysilman kosteus vaikuttavat äänihuulten limakalvojen kimmoisuuteen ja voivat näin ollen parantaa äänihuulten värähtelyominaisuuksia (Huttunen & Vilkmán, 2009; Juvas & Sovijärvi, 2011; Kaneko, 2017). Päihteiden, kuten alkoholin ja tupakan käyttämisestä on suotavaa välttää, koska ne ärsyttävät erityisesti äänihuulten limakalvoja lisäten äänihäiriön riskiä (Laukkanen & Leino, 1999; Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). Myös ruokavaliolla on merkitystä. Tasapainoinen ja terveellinen ruokavalio, jossa vältetään refluksia aiheuttavia ruoka-aineita, edistää äänen pysymistä hyvänä (Huttunen & Vilkmán, 2009; Kaneko, 2017). Ääneen vaikuttavien lääkkeiden annostuksia voidaan pienentää tai mahdollisuuksien

mukaan lopettaa käyttö kokonaan, mikäli lääkäri on todennut lääkemäärän vähentämisen turvalliseksi (Kost & Sataloff, 2018). Joskus myös erilaisista ääniharjoituksista ja ääniterapiasta voi olla apua. Ikääntyneiden ihmisten kohdalla on kuitenkin muistettava, että äänielimistön lihakset rappeutuvat harjoituksista huolimatta, joten harjoitusten tulisi äänihuulisulun vahvistamisen sijaan kehittää äänihuulten värähtelyä tehokkaammaksi (Kaneko, 2017).

1.3 Äänen tutkimusmenetelmät

Äänen ominaisuuksia voidaan tutkia monilla eri tavoilla. Eri menetelmien avulla saadaan erilaista informaatiota äänen tuotosta, joten tutkimusmenetelmä kannattaa valita sen mukaan, mikä on tutkimuksen tavoite. Vain yhden tutkimusmenetelmän hyödyntäminen ei aina riitä, vaan usein tutkimiseen käytetään useita menetelmiä. Eri menetelmiä hyödyntämällä voidaan saada toisiaan täydentävää informaatiota ja laajempi käsitys tutkittavan henkilön äänestä. Seuraavissa alaluvuissa esitellään muutamia tutkimusmenetelmiä, jotka ovat yleisesti käytössä äänen tutkimuksessa niin kliinisessä työssä kuin tieteellisiä tutkimuksia tehtäessä (Aronson & Bless, 2009; Juvas & Sovijärvi, 2011).

1.3.1 Aistinvarainen arviointi

Tyypillisesti äänen arviointi alkaa kuulonvaraisella arvioinnilla. Jo pelkän kuuloaistin avulla saadaan tietoa äänen prosodisista piirteistä, kuten sävelkorkeudesta, tauoista ja äänen vaihtelevuudesta. Aistinvaraisella arvioinnilla voidaan erottaa mahdollisen äänihäiriön oireet, kuten käheys ja vuotoisuus. (Juvas & Sovijärvi, 2011.) Usein aistinvaraisessa arvioinnissa käytetään subjektiivista arviointia yhdenmukaistavia menetelmiä, kuten GRBAS-asteikkoa tai The Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V) -menetelmää. Hiranon (1981) kehittämän GRBAS-asteikon avulla arvioidaan äänen laadullisia piirteitä: kokonaisvaltaista äänihäiriön astetta (*G, grade*), karheutta (*R, rough*), vuotoisuutta (*B, breathy*), voimattomuutta (*A, asthenic*) ja puristeisuutta (*S, strained*). Jokainen ominaisuus arvioidaan asteikolla 0–3. (Gadepalli ym., 2017.) CAPE-V-menetelmällä arvioitavat äänen piirteet ovat hyvin samanlaiset, kuin mitä GRBAS-asteikolla arvioidaan: äänen kokonaisvaltainen laatu, karheus,

vuotoisuus, puristeisuus, äänen korkeus ja voimakkuus. Piirteitä arvioidaan 100 mm pituisella VAS-janalla (*visual analog scale*), johon merkitään, kuinka paljon kutakin piirrettä on äänessä. (Kempster ym., 2009.) Vaikka aistinvaraisen arvioinnin kautta saadaan tärkeää tietoa etenkin äänen laadullisista piirteistä, se ei kuitenkaan anna tarkkaa tietoa äänielimistön toiminnasta.

1.3.2 Instrumentaalinen arviointi

Kun halutaan tutkia tarkemmin äänielimistön rakenteita ja toimintaa, voidaan käyttää jotakin instrumentaalista menetelmää. Yksinkertaisimmillaan ääniväylän rakenteita ja kudosten kuntoa voidaan tarkastella kurkkupeilin avulla, mutta äänihuulivärähtelyn arvioiminen on mahdotonta, sillä se on liian nopeaa peilillä nähtäväksi (Aronson & Bless, 2009; Laukkanen & Leino, 1999). Tarkempaa informaatiota äänihuulten ja niitä ympäröivien kurkunpään rakenteiden toiminnasta voidaan saada esimerkiksi kurkunpään videoendoskopiolla tai videostroboskopiolla.

Videoendoskopiatuskimuksessa jäykkä tai taipuisa tähystin viedään suun tai nenän kautta nieluun (Aronson & Bless, 2009). Tähystimen päässä oleva valo heijastuu takaisinpäin mahdollistaen näkymän kurkunpään (Sapienza & Hoffman Ruddy, 2016). Videoendoskopiolla voidaan arvioida kurkunpään rakenteita ja kurkunpään äänihuulivärähtelyyn liittymättömiä toimintoja, kuten äänihuulten loitonusta ja lähennystä sekä äänihuulten alapuolisten rakenteiden aktiivisuutta ääntämisen aikana (Patel ym., 2018). Videostroboskopiolla voidaan puolestaan tarkastella nimenomaan äänihuulivärähtelyyn liittyviä äänihuulten toimintoja, kuten värähtelyn säännöllisyyttä, symmetrisyyttä, amplitudia ja äänihuulten pintakerroksen aaltomaista värähtelyä (Aronson & Bless, 2009; Laukkanen & Leino, 1999; Sapienza & Hoffman Ruddy, 2016). Menetelmä perustuu skoopin päässä olevan valonlähteen aikaansaamaan optiseen illuusion, jonka vuoksi äänihuulivärähtely näyttää hitaammalta ja mahdollisten poikkeavuuksien havaitseminen helpottuu (Aronson & Bless, 2009; Patel ym., 2018). Instrumentaaliset tutkimustilanteet on suotavaa äänittää, jotta tutkimustilanteesta esiin nousseisiin asioihin voidaan muistin virkistämiseksi palata myöhemmin ja analysoida äänen akustisia piirteitä tarkemmin (Patel ym., 2018; Stemple & Hapner, 2014).

1.3.3 Akustinen analyysi

Kun halutaan tutkia äänisignaalin akustisia piirteitä, voidaan hyödyntää akustista analyysia, jonka avulla voidaan täydentää muilla menetelmillä kerättyä informaatiota (Sellman, 2004). Ennen varsinaista analyysia äänisignaali äänitetään mikrofonin ja äänityslaitteen avulla (Laukkanen & Leino, 1999). Toukolan (2020) kirjallisuuskatsauksen perusteella tutkimuksissa käytettävät mikrofonit ovat yleensä joko jalallisia tai telineeseen kiinnitettyjä, tai sangallisia headset-mikrofoneja. Esimerkiksi Baken ja Orlikoff (2010) sekä Patel ja kollegat (2018) suosittelevat headset-mikrofonin käyttämistä, koska tällöin mikrofonin etäisyys suuhun pysyy vakiona. Headset-mikrofonin optimaalinen etäisyys suusta on noin 15 cm (Baken & Orlikoff, 2010). Jos kuitenkin käytetään jalallista tai telineeseen kiinnitettyä mikrofonia, se tulisi asettaa 30–40 cm päähän puhujan suusta, jotta vältetään puheessa esiintyvien, voimakkaiden ilmvirran purskahdusten ja huoneakustiikan vaikutuksilta (Baken & Orlikoff, 2010; Laukkanen & Leino, 1999).

Äänityslaitteena voidaan käyttää esimerkiksi erillistä nauhuria, tietokonetta tai nykyaikana jopa puhelinta (Vogel ym., 2014). Suositeltavaa olisi käyttää DAT-nauhuria (Digital Audio Tape) tai tietokonetta, jossa on hyvälaatuinen, sisäinen tai ulkoinen äänikortti (Baken & Orlikoff, 2010; Patel ym., 2018). Äänitutkimuksissa äänityslaitteiston laatuun kannattaa panostaa. Jos analysoitava ääni on huonolaatuista ja esimerkiksi tiettyjä taajuuksia on rajautunut pois äänityslaitteiston heikon laadun takia, myöskään akustisen analyysin tuloksia ei voida pitää luotettavina (Baken & Orlikoff, 2010; Vogel ym., 2014). Äänitteiden hyvän laadun takaamiseksi on äänityslaitteiston lisäksi kiinnitettävä huomiota tiedostojen tallennusmuotoon. Ääninäytteet kannattaa tallentaa .wav-tiedostomuodossa (Patel ym., 2018), sillä .wav-muodossa äänite pysyy parempilaatuisena verrattuna esimerkiksi .mp3-muotoisiin tiedostoihin, joista saattaa kadota informaatiota pakatumman tiedostokoon takia (Nugent, 2019).

Hyvistä äänityslaitteista ei ole juurikaan hyötyä, jos äänitysympäristö on meluisa tai siellä kaikuu liikaa. Esimerkiksi kellojen tikitys, ilmastoinnin äänet ja äänitystilan ulkopuolelta kantautuvat äänet voivat tuottaa äänitteeseen akustista analyysia häiritsevää ainesta (Laukkanen & Leino, 1999). Ihanteellista olisi käyttää äänieristettyä studiota (Baken & Orlikoff, 2010), mutta läheskään aina sellaista ei ole käytettävissä. Jos äänitys tehdään

tavallisessa huoneessa, siellä ei saisi olla kovia, kaikua aiheuttavia pintoja, vaan mielellään ääntä vaimentavia materiaaleja ja tekstiilejä (Laukkanen & Leino, 1999; Patel ym., 2018).

Äänityksen jälkeen seuraava vaihe on ääninäytteen akustinen analyysi, jonka tekemiseen tarkoitettuja tietokoneohjelmia on nykyään lukuisia. Vaikka suurin osa olemassa olevista analyysiohjelmissa tuottaa nykyaikana vertailukelpoisia tuloksia (esim. Burris ym., 2014; Rohrer ym., 2014), luotettavien tutkimustulosten takaamiseksi on hyvä käyttää sellaista ohjelmaa, jonka toimivuus on validoitu esimerkiksi muihin yleisesti käytössä oleviin ohjelmiin vertaamalla (Patel ym., 2018). Tällaisia analyysiohjelmia ovat Multi-Dimensional Voice Program (MDVP), Praat ja Computerized Speech Lab (CSL), jotka olivat Toukolan (2020) kirjallisuuskatsauksen perusteella eniten käytettyjä ohjelmia.

Analyysiohjelmien avulla saadaan tutkittaville äänen ominaisuuksilla numeerisia mitta-arvoja sekä erilaisia graafisia kuvia, kuten oskillogrammeja, spektrogrammeja ja fonetogrammeja (Juvas & Sovijärvi, 2011). Oskillogrammi on puheen aaltomuodon graafinen esitystapa, josta selviää äänen paineen vaihtelu tietyn ajanjakson aikana. Oskillogrammin avulla ei kuitenkaan voida erottaa eri ääniteitä toisistaan. (Laukkanen & Leino, 1999.) Eri ääniteiden erottelun kannalta parempi graafinen esitystapa on spektrogrammi, josta selviää äänen paine, aika sekä äänen eri taajuuksien jakautuminen eli spektri (Raimo & Ojala, 2009). Jos taas halutaan saada selville, kuinka hyvin henkilö tuottaa erilaisia sävelkorkeuksia ja voimakkuuksia, voidaan hyödyntää fonetogrammia, jossa äänenpainetason ääripäät esitetään perustaaajuuden funktiona (Camarrone ym., 2016).

Analyysiohjelmat saattavat tuottaa tutkittaville ominaisuuksille hieman erilaisia tuloksia (Awan & Scarpino, 2004; Burris ym., 2014). Esimerkiksi Awanin ja Scarpinon (2004) tutkimuksessa erojen taustalla pääteltiin olevan ohjelmien erilaiset algoritmit. Akustisten analyysien tarkkuuteen vaikuttavat merkittävästi myös äänityslaitteiston laatu, äänitysympäristö sekä puhujan ominaisuudet, kuten ikä ja sukupuoli (Awan & Scarpino, 2004; Deliyiski ym., 2005; Watt, 2014). Lisäksi akustista analyysia tehdessä on suositeltavaa kiinnittää huomiota käytettävän analyysiohjelman asetuksiin. Ihmiset käyttävät usein analyysiohjelmien oletusasetuksia, joita käyttämällä saadaan nykyaikana vertailukelpoista dataa (Burris ym., 2014). Esimerkiksi Awan ja Scarpino (2004) sekä

Burris ja kollegat (2014) suosittelevat kuitenkin erilaisten asetusten käyttämistä erilaisten henkilöiden kohdalla mahdollisimman optimaalisten tulosten saamiseksi.

Akustinen analyysi on oiva menetelmä puheen ja äänen tutkimiseen, koska sen avulla saadaan aistinvaraista arviointia tarkempaa, objektiivista informaatiota äänen ominaisuuksista (Aronson & Bless, 2009; Lovato ym., 2016). Erityisesti kliinisessä työssä on kuitenkin pidettävä mielessä, ettei akustinen analyysi voi olla ainoa tutkimuskeino, sillä esimerkiksi akustisen analyysin antamien arvojen perusteella käheäksi luokiteltavan äänen taustalla ei välttämättä ole patologista syytä (Sellman, 2004). Akustisella analyysillä tutkimusmenetelmänä on kuitenkin muita vahvuuksia. Akustista analyysia tehtäessä ei puututa tutkittavien koskemattomuuteen, joten tutkimus voi olla tutkittaville kokemuksena mukavampi vaikkapa instrumentaaliseen tutkimukseen verrattuna, ja tutkijan kannalta tutkimus on vaivattomampi toteuttaa (Aronson & Bless, 2009; Sellman, 2004). Analyyseista saatavien numeeristen arvojen ja graafisten kuvien avulla on myös kätevää havainnollistaa ja dokumentoida esimerkiksi ääniterapian vaikutuksia äänen ominaisuuksiin (Laukkanen & Leino, 1999; Lovato ym., 2016; Nemr ym., 2005). Akustiseen analyysiin käytettäviä tietokoneohjelmia on nykyään useita, minkä ansiosta tutkija voi helposti valita omille taidoille ja tutkimuksen tavoitteisiin sopivan ohjelman.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tässä Pro gradu -tutkielmassa on tarkoitus selvittää 70- ja 80-vuotiaiden, terveiden naisten ja miesten äänen ominaisuuksia akustisen analyysin avulla. Verrokkiryhmänä toimivat 50-vuotiaat. Tutkittavia äänen ominaisuuksia ovat perustaajuus, äänen voimakkuus, jitter ja shimmer sekä häly-harmonisuussuhde ja harmonisuus-hälysuhde. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Millaisia ovat keski-ikäistä vanhempien ihmisten äänen keskeiset ominaisuudet verrattuna keski-ikäisiin?
2. Miten äänen keskeiset ominaisuudet eroavat keski-ikäistä vanhempien ikäryhmien välillä?

Aiempien Suomessa ja ulkomailla tehtyjen tutkimusten perusteella hypoteesit ovat seuraavat:

1. 70- ja 80-vuotiailla naisilla äänen perustaajuus on matalampi kuin verrokkiryhmällä, ja miehillä vastaavasti korkeampi. 70-vuotiaiden naisten perustaajuus on hieman matalampi kuin 80-vuotiailla naisilla, mutta miesten kohdalla näiden ikäryhmien välillä ei löydy merkitsevää eroa.
2. Äänen voimakkuus ei eroa merkitsevästi 70- ja 80-vuotiaiden välillä, mutta on verrokkiryhmään verrattuna hiljaisempi. Sukupuolten välillä ei ole eroa.
3. Jitterin, shimmerin ja hälyn määrät äänessä kasvavat iän myötä niin, että verrokkiryhmällä näitä piirteitä on havaittavissa vähiten ja 80-vuotiailla eniten. Sukupuolten välillä ei ole eroa.

3 MENETELMÄT

Tämä tutkimus toteutettiin poikittaistutkimuksena, jossa tarkasteltiin iän vaikutusta tiettyihin akustisiin äänen ominaisuuksiin vertailemalla kolmen ikäryhmän keskimääräisiä tuloksia toisiinsa. Aineisto koostui äänitetyistä puhe- ja fonaationäyhteistä sekä esitietolomakkeen avulla kerätyistä tiedoista. Aineisto kerättiin 19.12.2020–6.1.2021. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan tarkemmin tutkimukseen osallistuneista henkilöistä, tutkimuksen kulusta, aineiston analysoinnista sekä tutkimuksen eettisyydestä.

3.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui yhteensä 19 henkilöä, jotka rekrytoitiin vallitsevan koronavirus-tilanteen vuoksi tutkijan lähisukulaisten ja tuttavien joukosta Etelä-Karjalasta ja Etelä-Pohjanmaalta. Myös tutkittavien pienehkö määrä johtui koronavirus-tilanteesta. Tutkittavat muodostivat kolme ryhmää: varsinaiset tutkittavat eli 70- ja 80-vuotiaat sekä verrokkiryhmänä 50-vuotiaat. Tutkittavien tarkempi ikä- ja sukupuolijakauma on esitetty Taulukossa 3. Kaikki tutkittavat olivat yksikielisiä, äidinkieleltään suomenkielisiä. Poissulkukriteerinä tutkittavilla ei saanut olla äänentuottoon vaikuttavia perussairauksia tai koronavirukseen liittyvien varotoimien mukaisesti flunssan oireita tutkimuspäivänä tai sitä edeltäneinä 10 päivänä.

Taulukko 3. *Tutkimukseen osallistuneiden ikä- ja sukupuolijakauma*

Ikäryhmä	Naiset			Miehet		
	n	M	Jakauma	n	M	Jakauma
50	3	53	49–58	3	56	56–58
70	4	72.8	71–74	3	73	71–75
80	3	86.3	84–89	3	81.3	81–82

Kaikki tutkittavat täyttivät ennen tutkimuksen aloittamista suostumuslomakkeen (Liite 1) ja esitietolomakkeen (Liite 2). Esitietolomakkeella kerättiin tietoa tutkittavien terveydentilasta ja mahdollisista äänentuottoon vaikuttavista tekijöistä. Tutkittavista

kukaan ei ilmoittanut tupakoivansa. Tutkimukseen osallistuneista miehistä neljällä oli diagnosoitu kuulovamma, joka liittyi asepalvelukseen tai aiempaan työympäristöön. Diagnosoitua äänihäiriötä ei ollut yhdelläkään tutkittavalla. Terveystilansa tutkittavat arvioivat viisiportaisella asteikolla (erinomainen, hyvä, tyydyttävä, tavanomaista heikompi, huono) ja suurin osa tutkittavista arvioi terveystilansa olevan hyvä. Kooste esitietolomakkeen avulla kerätyistä tiedoista on esitetty Taulukossa 4.

Taulukko 4. *Esitietolomakkeista saadut tiedot äänen tuottoon vaikuttavista tekijöistä*

Ikäryhmä	Naiset			Miehet		
	50 (n=3)	70 (n=4)	80 (n=3)	50 (n=3)	70 (n=3)	80 (n=3)
Ei tupakoi	3	4	3	3	3	3
Diagnosoitu kuulovamma	0	0	0	1	0	3
Diagnosoitu äänihäiriö	0	0	0	0	0	0
Terveystila						
erinomainen				1		1
hyvä	3	4		2	3	2
tyydyttävä			3			

3.2 Tutkimuksen kulku

Tutkittavia informoitiin tutkimuksen sisällöstä alustavasti etukäteen jo rekrytointivaiheessa. Tutkimustilanteessa ennen äänitysten aloittamista tutkittaville annettiin luettavaksi tutkimustiedote, josta he saivat tarkempaa tietoa tutkimuksen etenemisestä ja oikeuksistaan koehenkilöinä. Tutkimustiedotteen yhteydessä tutkittavilta kerättiin kirjallinen suostumus tutkimukseen. Lisäksi koehenkilöt täyttivät esitietolomakkeen.

Äänitykset tehtiin tutkittavien kodeissa, koska ikänsä puolesta koronaviruksen riskiryhmään kuuluvien henkilöiden matkustaminen erilliseen äänitysstudioon olisi voinut altistaa heidät koronavirukselle. Tutkittavien kodit olivat hyvin erilaisia, mutta kaikki äänitykset pyrittiin tekemään mahdollisimman kaiuttomissa tiloissa, joissa oli vaimentavia elementtejä, kuten mattoja, verhoja ja kirjahyllyjä. Ennen äänitysten

aloittamista koehenkilöille annettiin tulostetulla paperilla Pohjantuuli ja aurinko - tekstikatkelma (Liite 3), johon he saivat tutustua hetken aikaa ennen varsinaisen puhenäytteen antamista. Tekstiin tutustumisella pyrittiin takaamaan tekstin mahdollisimman sujuva lukeminen äänitystilanteessa. Tämän jälkeen tutkittaville kerrattiin vielä tehtävien järjestys. Ensin äänitettiin tekstikatkelman lukeminen, minkä jälkeen äänitettiin noin viiden sekunnin pituinen fonaationäyte /a/-vokaalista. Fonaationäytteeseen valittiin /a/-äänne, koska se on esimerkiksi Toukolan (2020) kirjallisuuskatsauksen sekä Laukkasen ja Leinon (1999) mukaan vakiintunut useissa tutkimuksissa analysoitavaksi äänneeksi. Tutkittavia ohjeistettiin lukemaan teksti ja tuottamaan /a/-vokaali normaalilla, itselleen vaivattomalla puheäänellä. Kokonaisuudessaan tutkimustilanne kesti jokaisen tutkittavan kohdalla noin 10 minuuttia.

Näytteiden äänittämisessä käytettiin Beyerdynamic MMX 300 -kuulokemikrofonia, ulkoista Asus Xonar U3 -äänikorttia ja HP 240 G7 -tietokonetta. Mikrofonit asetettiin muun muassa Bakenin ja Orlikoffin (2010) suositusten mukaisesti noin 15 cm päähän tutkittavien suusta. Äänitysohjelmana käytettiin Audacity-äänieditointiohjelmaa. Audacityn oletusasetusten mukaisesti äänitteiden näytteenottotaajuus oli 44,1 kHz ja resoluutio 32 bittiä. Äänitteet nimettiin tutkittavien anonymiteetin varmistamiseksi koodinimikkeillä. Tiedostot tallennettiin .wav-tiedostomuodossa ulkoiselle kovalevylle.

Vallitsevan koronavirustilanteen vuoksi äänitystilanteissa tehtiin muutamia varotoimenpiteitä. Mikrofonit suunnattiin tutkittavien suusta hieman yläviistoon suusta lentävien pisararoiskeiden välttämiseksi. Kuulokkeet puhdistettiin desinfiointipyyhkeillä niiden koehenkilöiden välillä, jotka eivät asu samassa taloudessa tai ole päivittäin tekemisissä keskenään. Lisäksi tutkija piti kertakäyttöisiä suojakäsineitä ja kasvomaskia niissä äänitystilanteissa, joissa tutkittavat eivät olleet tutkijan perheenjäseniä tai lähisukulaisia.

3.3 Aineiston analysointi

Ennen akustista analyysia ääninäytteistä editoitiin tarvittaessa alusta tai lopusta pois sellaiset kohdat, joissa kuului esimerkiksi tutkijan puhetta tai tutkittavan rykäisyä.

Akustinen analyysi tehtiin Praat-tietokoneohjelmalla (versio 6.1.29; Boersma & Weenink, 2020), joka oli Toukolan (2020) kirjallisuuskatsauksen perusteella yksi käytetyimmistä akustiseen analyysiin tarkoitetuista ohjelmista. Analysoitavat ominaisuudet olivat:

1. Keskimääräinen perustaajuus tekstikatkelman lukemisesta ja /a/-vokaalin ääntämisestä (Hz).
2. Keskimääräinen äänen voimakkuus (dB).
3. Jitt% eli perustaajuuden vaihtelu peräkkäisten periodien välillä (%).
4. JittRAP eli suhteellinen perturbaation keskiarvo.
5. Shim% eli amplitudin vaihtelu peräkkäisten periodien välillä (%).
6. ShimdB eli amplitudin vaihtelun voimakkuus peräkkäisten periodien välillä (dB).
7. Keskimääräinen NHR eli hälyn määrä jaettuna soinnillisen aineksen määrällä.
8. Keskimääräinen HNR eli soinnillisen aineksen määrä jaettuna hälyn määrällä (dB).

Tekstikatkelman lukemisesta analysoitiin ainoastaan perustaajuus, koska Bakenin ja Orlikoffin (2010) mukaan muiden akustisten parametrien mittaaminen jatkuvasta puheesta ei anna välttämättä tarpeeksi luotettavaa tulosta. Muut ominaisuudet analysoitiin /a/-äänteen fonaationäyhteistä. Fonaationäytteiden keskeltä valittiin oskillogrammin perusteella tasaisin yhden sekunnin pituinen jakso, josta analysoitiin äänen voimakkuus sekä Voice report -toiminnon avulla muut tutkittavat ominaisuudet. Praat-manuaalin (Boersma, 2019) mukaisesti perustaajuuden analysoinnissa käytettiin 75–500 Hz taajuutta, paitsi matalimmissa miesäänissä, joissa taajuusanalyysin asetukset vaihdettiin ohjelman suositusten mukaisesti 75–300 hertsiin.

Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics-ohjelmistolla (versio 25.0). Aineiston pienen koon vuoksi normaalijakautuneisuutta ei voitu olettaa, joten normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilk-testillä. Aineisto oli normaalijakautunut kaikkien akustisten ominaisuuksien kohdalla lukuun ottamatta perustaajuuden vaihtelua peräkkäisten periodien välillä (Jitt%) miehillä sekä NHR:ää naisilla ja miehillä. Normaalijakautuneen aineiston analysoinnissa käytettiin monen muuttujan varianssianalyysia (MANOVA). MANOVA valikoitui käytettäväksi testiksi, koska sillä

voidaan selvittää yhden tai useamman riippumattoman muuttujan vaikutusta useampaan kuin yhteen riippuvaan muuttajaan (Metsämuuronen, 2008), ja tässä tutkimuksessa haluttiin vertailla tutkittujen äänen ominaisuuksien eroja sukupuolten välillä sekä ikäryhmien välisiä eroja sukupuolten sisällä. Ei-normaalijakautuneen aineiston kohdalla aineistoa vertailtiin sukupuolten sisällä Kruskal-Wallis -testillä.

3.4 Tutkimuksen eettisyys

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Turun yliopiston Fonetikan ja Learning, Age & Bilingualism -laboratorion (LAB-lab) kanssa, joten Turun yliopiston eettisen toimikunnan edellä mainitulle laboratoriolle myöntämä eettinen tutkimuslupa kattoi myös tämän tutkimuksen. Tutkimuksessa ei puututtu tutkittavien koskemattomuuteen. Tutkittavat saivat tietoa tutkimuksesta tutkimustiedotteesta (Liite 1) ja heillä oli mahdollisuus esittää tutkijalle lisäkysymyksiä. Tutkittavia informoitiin heidän oikeuksistaan tutkimuksen aikana sekä suullisesti että kirjallisesti. Lisäksi ennen äänitteiden keräämistä tutkittavilta kerättiin kirjallinen suostumus tutkimukseen. Kerättyjä äänitiedostoja säilytettiin tietoturvallisesti erillisellä kovalevyllä, ja kaikki aineistot nimettiin niin, että koehenkilöiden anonymiteetti säilyi.

4 TULOKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa akustisen analyysin avulla äänen keskeisissä piirteissä tapahtuvia ikämuutoksia terveillä, suomenkielisillä henkilöillä. Tutkimuksessa vertailtiin eri ikäryhmien tietyille äänen ominaisuuksille saatuja arvoja. Seuraavissa alaluvuissa tutkimuksen tulokset esitetään hypoteesien järjestystä mukaillen niin, että jokaisessa alaluvussa käsitellään yhteen tai kahteen äänen ominaisuuteen liittyviä tuloksia.

Normaalijakautuneen aineiston analysointiin käytettiin monen muuttujan varianssianalyysia (MANOVA). Sukupuolten välisiä eroja tutkittaessa riippumattomat muuttujat olivat sukupuoli ja ikäryhmä, ja riippuvat muuttujat puolestaan perustaaajuus luku-äynteestä ja vokaalin ääntämisestä, äänen voimakkuus, Jitt%, JittRAP, Shim%, ShimdB ja HNR. Sukupuolten sisällä ikäryhmiä vertailtaessa riippumaton muuttuja oli ikäryhmä. Naisilla riippuvat muuttujat olivat perustaaajuus luku-äynteestä ja vokaalin ääntämisestä, äänen voimakkuus, Jitt%, JittRAP, Shim%, ShimdB ja HNR. Miehillä riippuvat muuttujat olivat samat kuin naisilla lukuun ottamatta Jitt%:a, joka analysoitiin ei-parametrisella testillä.

Ei-normaalijakautunut aineisto, eli miesten Jitt% ja molempien sukupuolten NHR, analysoitiin Kruskal-Wallis -testillä. Kun analysoitiin Jitt%:n eroja miesten ikäryhmien välillä, ryhmittelevänä muuttujana oli ikäryhmä ja tarkasteltavana muuttujana Jitt%. Koska NHR:n aineisto oli molemmilla sukupuolilla ei-normaalijakautunut, voitiin sukupuolia verrata tässä samalla testillä. Ryhmittelevänä muuttujana oli tällöin sukupuoli ja tarkasteltavana muuttujana NHR. Kun taas verrattiin sukupuolten sisällä NHR:n eroja ikäryhmien välillä, ryhmittelevä muuttuja oli ikäryhmä ja tarkasteltava muuttuja NHR.

4.1 Perustaajuus

Perustaajuuden eroavaisuudet tutkittujen ikäryhmien välillä on esitetty Taulukossa 5. Naisten perustaajuudessa ei ollut suurta eroa ikäryhmien välillä tekstikatkelman lukemisesta mitatussa perustaajuudessa, kun vertailtiin taulukkoon koottuja ikäryhmien keskiarvoja. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .994$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .958$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .914$) välillä. Naisilla /a/-vokaalin ääntämisestä mitatussa perustaajuudessa oli taulukoituja keskiarvoja tarkastelemalla huomattavissa suurempi ikäryhmien välinen ero kuin tekstikatkelman lukemisesta mitatussa perustaajuudessa. Tässäkään erot eivät olleet merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .961$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .603$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .718$) välillä. Molemmissa tehtävissä 50-vuotiailla naisilla oli korkein äänen perustaajuus ja 80-vuotiailla matalin.

Taulukko 5. Perustaajuuden (Hz) eroavaisuudet ikäryhmien välillä

	Naiset			Miehet		
	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat
F₀ lukunäyte	183	184	179	118	134	165
kh	(12.055)	(17.795)	(16.823)	(20.300)	(18.248)	(18.583)
95 % lv	[152.72, 212.61]	[155.68, 212.32]	[137.21, 220.79]	[67.58, 168.42]	[88.67, 179.33]	[118.50, 210.83]
F₀ /a/-vok.	191	184	161	106	120	152
kh	(35.679)	(18.157)	(53.873)	(28.746)	(8.737)	(48.003)
95 % lv	[102.37, 279.63]	[154.61, 212.39]	[27.50, 295.16]	[34.92, 177.74]	[98.63, 142.04]	[33.09, 271.58]

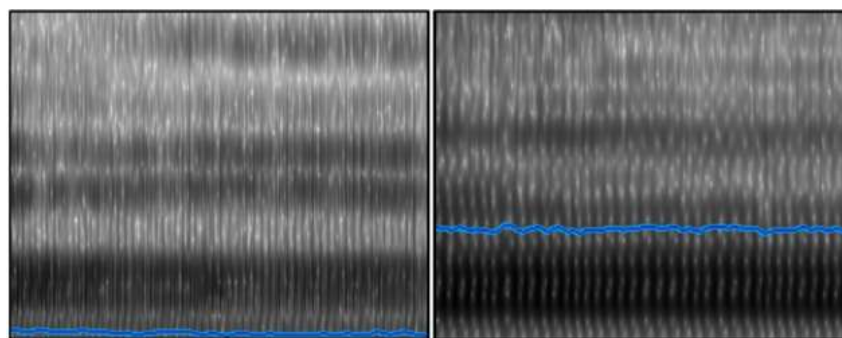
F₀ = perustaajuus; kh = keskihajonta; lv = luottamusväli

Miehillä ikäryhmien väliset erot perustaajuudessa olivat naisiin verrattuna selkeämmät sekä tekstikatkelman lukemisesta että /a/-vokaalin ääntämisestä mitatuissa perustaajuuksissa, kun tarkasteltiin Taulukossa 5 esitettyjä ikäryhmien keskiarvoja. Ikäryhmien keskiarvojen perusteella miesten perustaajuus nousi huomattavasti ikääntymisen myötä siten, että 50-vuotiailla miehillä oli matalin perustaajuus ja 80-vuotiailla korkein. Tilastollisen tarkastelun valossa tekstin lukemisesta mitatussa

perustaajuudessa ikäryhmien väliset erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .588$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .055$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .200$) välillä. Myöskään /a/-vokaalin ääntämisestä mitatussa perustaajuudessa erot eivät olleet merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .863$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .272$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .496$) välillä.

Sekä lukemisesta että /a/-vokaalin ääntämisestä mitattujen perustaajuuksien keskiarvoja vertailemalla voitiin todeta, että naisilla perustaajuuden erot ikäryhmien välillä olivat pienemmät kuin miehillä. Myös tilastollisessa tarkastelussa löytyi merkitsevä naisten ja miesten välinen ero sekä lukemisesta ($F(1,13) = 28.307, p < .001, \eta_p^2 = .685$) että /a/-vokaalin ääntämisestä ($F(1,13) = 10.590, p = .006, \eta_p^2 = .449$) mitatussa perustaajuudessa.

Vaikka tilastollisten analyysien perusteella ikäryhmien väliset erot eivät olleet kummallakaan sukupuolella merkitseviä, eri-ikäisten tutkittavien eroavaisuuksia oli mahdollista havaita Taulukossa 5 esitettyjen keskiarvojen lisäksi spektrogrammeja vertailemalla. Kuvassa 2 havainnollistetaan 50- ja 80-vuotiaan miehen perustaajuuden eroja /a/-fonaationäytteistä rajattujen spektrogrammien avulla. Spektrogrammeissa näkyvä sininen viiva kuvaa perustaajuutta, eli 80-vuotiaan miehen perustaajuus on huomattavasti korkeampi kuin 50-vuotiaan. 50-vuotiaan miehen perustaajuus on noin 80 Hz ja 80-vuotiaan noin 200 Hz.



Kuva 2. Eroavaisuudet 50-vuotiaan miehen (vas.) ja 80-vuotiaan miehen (oik.) äänen perustaajuudessa

4.2 Äänen voimakkuus

Ikäryhmien väliset erot /a/-vokaalin ääntämisestä mitatussa äänen voimakkuudessa on kuvattu Taulukossa 6. Naisista 70-vuotiailla oli suurin äänen voimakkuus ja 50-vuotiailla pienin, kun tarkasteltiin ikäryhmien taulukoituja keskiarvoja. Naisilla ikäryhmien väliset erot äänen voimakkuudessa eivät olleet keskiarvojen perusteella kovin suuria. Ikäryhmien väliset erot eivät olleet myöskään tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .542$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .958$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .712$) välillä.

Naisten äänen voimakkuuden tuloksien tapaan miehistä 70-vuotiailla oli suurin äänen voimakkuus ja 50-vuotiailla pienin. Nämä miesten ikäryhmien erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .458$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .899$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .066$) välillä. Huomionarvoista on se, että miesten pienin äänen voimakkuus oli voimakkaampi kuin naisten suurin äänen voimakkuus. Kokonaisuutena miehillä oli siis voimakkaampi ääni kuin naisilla.

Miehillä äänen voimakkuuden erot ikäryhmien välillä olivat ikäryhmien keskiarvojen perusteella suuremmat kuin naisilla. Naisten ja miesten välinen ero äänen voimakkuudessa oli myös tilastollisesti merkitsevä ($F(1,13) = 6.407, p = .025, \eta_p^2 = .330$).

Taulukko 6. Äänen voimakkuuden (dB) eroavaisuudet ikäryhmien välillä

	Naiset			Miehet		
	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat
Voimak.	51.3	56.3	52.7	57.7	65.3	60.3
kh	(8.622)	(4.924)	(2.887)	(4.041)	(5.508)	(10.786)
95 % lv	[29.92, 72.75]	[48.41, 64.09]	[45.50, 59.84]	[47.63, 67.71]	[51.65, 79.01]	[33.54, 87.13]

kh = keskihajonta; lv = luottamusväli

4.3 Perturbaatio

Jitteriin ja shimmeriin liittyvät tulokset on esitetty Taulukossa 7. Taulukossa esitettyjen naisten ikäryhmien keskiarvojen perusteella perustaajuuden vaihtelu peräkkäisten periodien välillä (Jitt%) oli suurinta 80-vuotiailla ja pienintä 50-vuotiailla eli naisilla Jitt% kasvoi ikääntymisen myötä. Tilastollisessa tarkastelussa löytyi merkitsevä ero, kun verrattiin kaikkia ikäryhmiä keskenään ($F(2,7) = 12.058$, $p = .005$, $\eta_p^2 = .775$). Jatkovertailussa (Tukey HSD) ero ei ollut merkitsevä 50- ja 70-vuotiaiden välillä ($p = .985$), mutta merkitsevä ero Jitt%:ssa löytyi 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .009$) sekä 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .008$) välillä. Suhteellisen perturbaation keskiarvon (JittRAP) tulokset mukailivat Jitt%-tuloksia sekä keskiarvoja vertailtaessa että tilastollisen analyysin perusteella. Kun verrattiin tilastollisesti kaikkia ikäryhmiä keskenään, ikäryhmien välinen ero oli merkitsevä ($F(2,7) = 8.803$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = .716$). Jatkovertailun (Tukey HSD) perusteella ikäryhmien välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä 50- ja 70-vuotiaiden välillä ($p = .970$), kun taas 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .019$) sekä 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .019$) välillä ero oli merkitsevä.

Miehillä Jitt% oli ikäryhmien keskiarvojen vertailun perusteella suurin 70-vuotiailla ja pienin 50-vuotiailla. Tilastollisen tarkastelun perusteella Jitt% ei eronnut merkitsevästi miesten ikäryhmien välillä ($p = .957$). JittRAP-tulokset eivät miehillä mukailleet Jitt%-tuloksia, sillä keskiarvojen vertailussa tuli ilmi, että suurin JittRAP-keskiarvo oli 50-vuotiailla ja pienin 70-vuotiailla. Tilastollisten analyysien perusteella JittRAP ei eronnut merkitsevästi 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .687$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .957$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .840$) välillä.

50- ja 70-vuotiailla miehillä Jitt% oli ikäryhmien keskiarvojen perusteella suurempi kuin saman ikäisillä naisilla eli näissä ikäryhmissä miehillä oli enemmän perustaajuuden vaihtelua kuin naisilla. Kuitenkin 80-vuotiailla naisilla Jitt% oli huomattavasti suurempi kuin 80-vuotiailla miehillä. 80-vuotiaiden naisten Jitt% oli myös suurempi kuin miehistä suurimman arvon saaneilla 70-vuotiailla eli kaikista tutkimukseen osallistuneista ryhmistä eniten perustaajuuden vaihtelua oli 80-vuotiailla naisilla. Tilastollisen analyysin perusteella naisten ja miesten väliset erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä Jitt%:n ($p = .568$) tai JittRAP:n ($p = .158$) kohdalla.

Taulukko 7. Perturbaation vaihtelu eri ikäryhmien välillä

	Naiset			Miehet		
	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat
Jitt%	0.371	0.402	1.217	0.612	0.955	0.877
kh	(0.204)	(0.169)	(0.352)	(0.287)	(0.979)	(0.889)
95 % lv	[-.137, .879]	[.132, .672]	[.341, 2.094]	[-.101, 1.327]	[-1.478, 3.388]	[-1.331, 2.086]
JittRAP	0.209	0.237	0.673	0.314	0.199	0.276
kh	(0.131)	(0.108)	(0.221)	(0.217)	(0.056)	(0.177)
95 % lv	[-.117, .535]	[.065, .409]	[.122, 1.224]	[-.226, .854]	[.060, .337]	[-.165, .716]
Shim%	2.321	3.464	5.983	3.849	3.459	5.409
kh	(0.064)	(1.497)	(2.513)	(0.306)	(1.711)	(3.466)
95 % lv	[-.321, 4.963]	[1.081, 5.847]	[-.262, 12.226]	[3.091, 4.609]	[-.791, 7.710]	[-3.200, 14.019]
ShimdB	0.203	0.313	0.561	0.337	0.219	0.485
kh	(0.093)	(0.153)	(0.199)	(0.025)	(0.231)	(0.322)
95 % lv	[-.028, .436]	[.068, .558]	[.064, 1.058]	[-.276, .398]	[-.355, .792]	[-.314, 1.290]

kh = keskihajonta; lv = luottamusväli

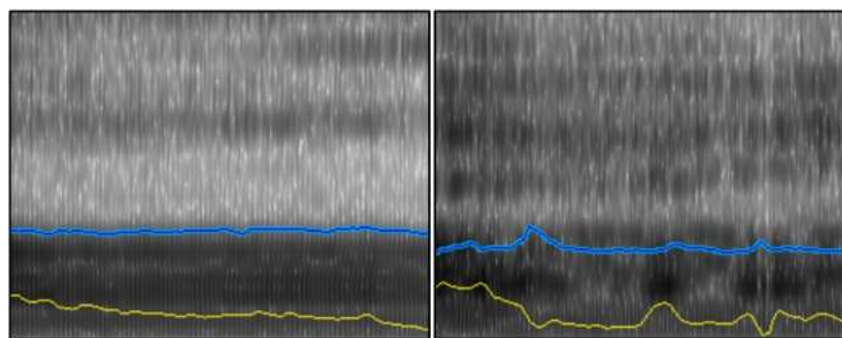
Amplitudin vaihtelu peräkkäisten periodien välillä (Shim%) lisääntyi naisilla Taulukossa 7 esitettyjen ikäryhmien keskiarvojen perusteella systemaattisesti iän myötä, eli naisista pienin Shim% oli 50-vuotiailla ja suurin 80-vuotiailla. Tilastollisten analyysien perusteella erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .685$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .086$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .215$) välillä. Amplitudin vaihtelun voimakkuuden (ShimdB) tulokset vastasivat naisilla Shim% -tuloksia eli 50-vuotiailla vaihtelun voimakkuus oli pienintä ja 80-vuotiailla suurinta. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .642$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .059$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .215$) välillä.

Miehillä pienin Shim% oli keskiarvojen mukaan 70-vuotiailla ja suurin 80-vuotiailla. Ikäryhmien erot eivät olleet tilastollisen tarkastelun valossa merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .975$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .686$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .566$) välillä. Kuten naisilla, myös miehillä ShimdB-tulokset vastasivat Shim%-tuloksia keskiarvojen tarkastelun perusteella eli vaihtelun voimakkuus oli suurinta 80-vuotiailla ja pienintä 70-vuotiailla. Erot ikäryhmien välillä eivät tässäkään olleet tilastollisesti

merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .808$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .721$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .387$) välillä.

Ikäryhmien keskiarvoja tarkasteltaessa naisten ja miesten välillä ei ollut juurikaan eroa Shim%:n arvoissa 70- ja 80-vuotiailla, mutta 50-vuotiailla miehillä Shim% oli selvästi suurempi kuin saman ikäisillä naisilla. Amplitudin vaihtelun voimakkuuden (ShimdB) tulokset vastasivat Shim% -tuloksia. 80-vuotiailla naisilla vaihtelu oli voimakkainta ja 80-vuotiailla miehillä toiseksi voimakkainta. Seuraavaksi voimakkainta vaihtelu oli 50-vuotiailla miehillä ja 70-vuotiailla naisilla. Pienintä vaihtelu oli 70-vuotiailla miehillä ja 50-vuotiailla naisilla. Tilastollisen analyysin perusteella naisten ja miesten väliset erot eivät olleet merkitseviä Shim%:n ($p = .736$) tai ShimdB:n ($p = .895$) kohdalla.

Perturbaation erot eri-ikäisten tutkittavien välillä olivat useissa tapauksissa havaittavissa myös spektrogrammeja vertailemalla. Kuvassa 3 havainnollistetaan tätä vaihtelua vertaamalla kahden eri tutkittavan /a/-fonaationäytteistä rajattuja spektrogrammeja. Vasemmanpuoleinen spektrogrammi on rajattu 50-vuotiaan naisen näytteestä ja oikeanpuoleinen 80-vuotiaan naisen näytteestä. Sininen viiva kuvaa perustaajuutta ja keltainen äänen voimakkuutta. Kuten kuvasta on nähtävissä, 80-vuotiaan naisen spektrogrammissa sekä perustaajuus että äänen voimakkuus ovat huomattavasti epätasaisemmat kuin 50-vuotiaalla naisella. Tämä tarkoittaa sitä, että 80-vuotiaalla naisella on äänessään enemmän jitteriä ja shimmeriä kuin 50-vuotiaalla naisella.



Kuva 3. Perustaajuuden ja äänen voimakkuuden vaihtelu 50-vuotiaalla naisella (vas.) ja 80-vuotiaalla naisella (oik.)

4.4 Häly

Hälystä kertovien NHR:n ja HNR:n arvojen eroja ikäryhmien välillä kuvataan Taulukossa 8. Taulukoitujen NHR:n keskiarvojen mukaan 50-vuotiailla naisilla oli äänessään vähiten hälyä ja 80-vuotiailla eniten. Tilastollisen tarkastelun perusteella naisten ikäryhmien välinen ero ei kuitenkaan ollut merkitsevä ($p = .052$). Naisten HNR:n keskiarvojen tarkastelu antoi samanlaisen tuloksen kuin NHR:n kohdalla, eli 50-vuotiailla naisilla oli vähiten hälyinen ääni ja 80-vuotiailla hälyä oli vastaavasti eniten. Erot HNR:n arvoissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70-vuotiaiden ($p = .923$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .112$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .151$) välillä.

Miehillä NHR:n keskiarvojen perusteella vähiten hälyä oli 70-vuotiailla ja eniten 80-vuotiailla. Miesten ikäryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p = .733$). Kuten naisilla, myös miehillä HNR:n tulokset myötäilivät NHR:n tuloksia ikäryhmien keskiarvoja tarkasteltaessa. Miehillä HNR:n arvojen ikäryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä 50- ja 70 vuotiaiden ($p = .941$), 50- ja 80-vuotiaiden ($p = .836$) tai 70- ja 80-vuotiaiden ($p = .653$) välillä.

Taulukko 8. *NHR:n ja HNR:n (dB) erot ikäryhmien välillä*

	Naiset			Miehet		
	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat	50-vuotiaat	70-vuotiaat	80-vuotiaat
NHR	0.013	0.020	0.125	0.033	0.016	0.110
kh	(0.014)	(0.025)	(0.053)	(0.030)	(0.011)	(0.130)
95 % lv	[-.022, .048]	[-.020, .061]	[-.007, .257]	[-.042, 1.110]	[-.012, .044]	[-.215, .435]
HNR	21.285	19.940	12.428	18.209	19.938	15.203
kh	(5.098)	(4.970)	(3.320)	(3.967)	(2.902)	(9.853)
95 % lv	[8.620, 33.950]	[12.031, 27.850]	[4.182, 20.674]	[8.354, 28.064]	[12.729, 27.148]	[-9.273, 39.680]

kh = keskihajonta; lv = luottamusväli

NHR:n ja HNR:n keskiarvojen mukaan eniten hälyä ilmeni 80-vuotiaiden naisten ja miesten äänissä. Tässä ikäryhmässä naisilla oli havaittavissa enemmän hälyä kuin miehillä. 70-vuotiailla naisilla ja miehillä hälyn määrä oli lähes sama. Vähiten hälyä oli 50-vuotiailla, joista naisilla hälyn määrä oli pienempi kuin miehillä. Tilastollisen tarkastelun perusteella naisten ja miesten väliset erot eivät olleet merkitseviä NHR:n ($p = .870$) tai HNR:n ($p = .969$) kohdalla.

5 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, kuinka ikääntyminen vaikuttaa tiettyihin äänen akustisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa luku- ja fonaationäytteistä mitattuja arvoja vertailtiin sekä taulukoihin koottuja ikäryhmien keskiarvoja tarkastelemalla että tilastollisin menetelmin. Tutkimuksen tulokset mukailivat hypoteeseja ja tulosten perusteella voidaankin todeta, että kaikissa tutkituissa ominaisuuksissa tapahtuu muutoksia ikääntymisen myötä. Joidenkin ominaisuuksien kohdalla muutokset eivät kuitenkaan olleet kovinkaan suuria tai tulokset eivät olleet linjassa aiemmin tehtyjen tutkimusten tulosten kanssa. Se, että tässä tutkimuksessa saatiin esille vain vähän tilastollisesti merkitseviä tuloksia, voi johtua tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden pienestä määrästä, joka mahdollisesti vaikutti muun muassa tilastollisten analyysien tarkkuuteen. Tämän tutkimuksen ja aiempien tutkimusten tulosten välisiin eroihin on puolestaan useita syitä, kuten esimerkiksi erilaiset äänitysvälineet ja -ympäristöt sekä akustiseen analyysiin käytetyt ohjelmat. Vaikka tutkimuksen tuloksia ei voida pienen otoskoon vuoksi sellaisenaan yleistää koskemaan koko populaatiota, tutkimuksesta saatiin suuntaa-antavaa tietoa terveiden, ikääntyvien ihmisten äänen muutoksista. Tutkimusta voidaan hyödyntää pohjana myös tulevaisuudessa tehtäville tutkimuksille.

5.1 Tutkimustulosten tarkastelu

Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan tämän tutkimuksen päätulokset jokaisesta tutkitusta äänen ominaisuudesta. Lisäksi pohditaan syitä saaduille tuloksille sekä vertaillaan tämän tutkimuksen tuloksia muiden vastaavanlaisten tutkimusten tuloksiin.

5.1.1 Perustaajuuden muutokset

Tässä tutkimuksessa perustaajuuteen liittyvät tulokset vastasivat melko hyvin aiemmissä tutkimuksissa saatuja tuloksia. Tutkimuksessa havaittiin, että naisten perustaajuus laskee ikääntymisen myötä, kun taas miehillä muutos oli päinvastainen. Vastaavia tuloksia tutkimuksissaan ovat saaneet muun muassa Pessin tutkimusryhmineen (2017), Nishio ja Niimi (2008) sekä Goy ja kumppanit (2013). Yksi tämän tutkimuksen hypoteeseista oli, että naisilla äänen korkeus alkaisi 80 ikävuoden tienoilla vähitellen taas nousta niin, että

80-vuotiailla naisilla perustaajuus olisi hieman korkeampi kuin 70-vuotiailla, mikä on todettu esimerkiksi Morganin ja Rastatterin (1986) tutkimuksessa. Hypoteesin vastaisesti 80-vuotiailla naisilla oli kuitenkin hieman matalampi perustaajuus kuin 70-vuotiailla, mikä toisaalta vastaa esimerkiksi Nishion ja Niimin (2008) tutkimustuloksia. Naisten perustaajuuden madaltuminen vielä 70 ikävuodenkin jälkeen voi kertoa siitä, että perustaajuutta madaltavat hormonaaliset muutokset ja äänihuulissa tapahtuvat muutokset jatkuvat vielä pitkään menopaussin jälkeen (Awan, 2006; Nishio & Niimi, 2008).

Miesten perustaajuuteen liittyen hypoteesina oli, että 70- ja 80-vuotiailla miehillä olisi korkeampi perustaajuus kuin 50-vuotiailla, mutta näiden vanhimpien ikäryhmien ero perustaajuudessa ei olisi huomattava. Hypoteesi perustui esimerkiksi Nishion ja Niimin (2008) tutkimukseen, jossa miesten perustaajuus nousi ikäänymisen myötä, mutta ikäryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Hypoteesi toteutui tässä tutkielmassa osittain. 70- ja 80-vuotiailla oli selvästi korkeampi perustaajuus kuin 50-vuotiailla. Hypoteesin vastaisesti myös 70- ja 80-vuotiaiden välillä oli kuitenkin taulukoituja ikäryhmien keskiarvoja vertaamalla selkeä ero. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei tässä tutkimuksessa löytynyt minkään ikäryhmien väliltä. Se, että tilastollisia merkitsevyyksiä ei löytynyt, vaikka keskiarvoja vertaamalla ikäryhmien erot olivat selkeät, voi johtua yksinkertaisesti siitä, että tilastolliseen merkitsevyyteen olisi tarvittu suurempi otanta.

Perustaajuudessa voi olla jonkin verran eroja eri maista kotoisin olevien ihmisten välillä erilaisista kulttuureista johtuen (Watt, 2014). Esimerkiksi Laukkasen ja Leinon (1999) mukaan suomalaiset suosivat matalampaa perustaajuutta kuin esimerkiksi englantilaiset, mikä voi johtua siitä, että suomalaisessa kulttuurissa matalampi perustaajuus yhdistetään pätevyteen, vakuuttavuuteen ja valta-asemaan. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu, että tutkittavien perustaajuus olisi kaikissa tutkituissa ikäryhmissä huomattavasti matalampi kuin ulkomailla tehdyissä tutkimuksissa. 50-vuotiaiden naisten perustaajuus oli noin 20 Hz korkeampi kuin Awanin (2006) tutkimuksessa, jossa koehenkilöt olivat englanninkielisiä. Nishion ja Niimin (2008) Japanissa tehtyyn tutkimukseen verrattuna 50-vuotiaiden naisten perustaajuus oli lähes sama. 70- ja 80-vuotiaiden naisten perustaajuus oli hyvin lähellä niitä arvoja, jotka Morgan ja Rastatter (1986) saivat englanninkielisillä koehenkilöillä tekemässään tutkimuksessa. Myös Nishion ja Niimin (2008) tutkimuksessa 70- ja 80-vuotiaiden perustaajuus oli lähellä

tämän tutkimuksen tuloksia. 50-vuotiaiden miesten perustaaajuus oli tässä tutkimuksessa noin 20 Hz matalampi ja 70-vuotiaiden lähes sama kuin mitä Nishio ja Niimi (2008) raportoivat. 80-vuotiaiden miesten perustaaajuus oli puolestaan lähes 30 Hz korkeampi kuin Nishion ja Niimin (2008) tutkimuksessa. Toisaalta 80-vuotiaiden miesten perustaaajuus oli melko samalla tasolla kuin Stahtopoulosin ja kumppaneiden (2011) englanninkielisillä koehenkilöillä. Näiden tulosten pohjalta ei ole mahdollista vetää johtopäätöstä siitä, että suomalaisilla olisi ainakaan englannin- ja japaninkielisiin verrattuna matalampi perustaaajuus, joten aihetta on syytä tutkia lisää suomenkielisillä koehenkilöillä.

5.1.2 Äänen voimakkuuden muutokset

Äänen voimakkuuteen liittyen hypoteesina oli, että 70- ja 80-vuotiaiden välillä ei olisi suurta eroa äänen voimakkuudessa, mutta verrokkiryhmään verrattuna näiden ikäryhmien äänen voimakkuus olisi pienempi. Hypoteesi perustui esimerkiksi Huttusen ja Vilkmänin (2009) näkemykseen, jonka mukaan ihmisen ääni hiljenee vanhuudessa äänen voimistamiseen tarvittavien lihasten rappeutumisen vuoksi. Hypoteesin mukaisesti 70- ja 80-vuotiaiden äänen voimakkuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää ikäryhmien välistä eroa, mikä oli tulos esimerkiksi Mezzedimin ja kollegojen (2017) tutkimuksessa. 70- ja 80-vuotiailla ei kuitenkaan ollut hiljaisempi äänen voimakkuus kuin 50-vuotiailla, vaan päinvastoin vanhempien ikäryhmien ääni oli sukupuolesta riippumatta hieman voimakkaampi kuin 50-vuotiailla. Tämä vastasi osittain esimerkiksi Stathopouloksen ja kumppaneiden (2011) havaintoja, joiden mukaan äänen voimakkuus nousi iän myötä, mutta toisin kuin tässä Pro gradu -tutkimuksessa, erot ikäryhmien välillä olivat tilastollisesti merkitseviä. Iän myötä voimistuva ääni voi johtua esimerkiksi kuulovammasta (Aronson & Bless, 2009; Zahnert, 2011), mutta tässä tutkimuksessa kyse oli todennäköisesti vain tutkittavien yksilöllisistä, äänenkäyttöön liittyvistä totumuksista ja sattumasta. Kahdella 80-vuotiaalla miehellä oli diagnosoitu kuulovamma, mutta kuulovamman vaikutusta äänen voimakkuuteen ei voitu tässä tutkimuksessa osoittaa, koska molemmilla henkilöillä oli tavanomainen äänen voimakkuus.

Kokonaisuutena kaikkien tässä tutkimuksessa tutkittujen ikäryhmien äänen voimakkuus oli melko normaali. Tässä tutkimuksessa saadut keskimääräiset äänen voimakkuudet olivat kuitenkin hieman alhaisemmat kuin esimerkiksi Mezzedimin ja kollegojen (2017)

tutkimuksessa. Äänen voimakkuus oli 70- ja 80-vuotiaita miehiä lukuun ottamatta kaikilla ryhmillä alle 60 dB, kun taas Mezzedimin ja kollegojen tutkimuksessa lähes saman ikäisten tutkittavien äänen voimakkuus oli sukupuolesta riippumatta yli 64 dB. Myös Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa tutkittavien ikäryhmien äänen voimakkuus oli huomattavasti suurempi kuin tämän tutkielman otoksessa, mutta syynä tälle erolle on se, että kyseisessä tutkimuksessa tutkittavia pyydettiin ääntämään /a/-vokaali tietyllä voimakkuudella, joka oli noin 75 dB. Tässä Pro gradu -tutkielmassa ei asetettu tutkittavien fonaatiolle tavoitevoimakkuutta, koska haluttiin tutkia nimenomaan sitä, millaisella voimakkuudella tutkittavat tuottavat fonaation, kun ohjeena oli tuottaa /a/-vokaali itselle luonnollisella ja vaivattomalla voimakkuudella. Se, että 70- ja 80-vuotiailla miehillä oli tässä tutkimuksessa hieman muita ryhmiä voimakkaampi ääni, voi johtua esimerkiksi tutkittavien suun asennosta. Suun avonaisemman asennon on todettu edesauttavan voimakkaamman äänen tuottamista, kun ääniraon ja suun ulkopuolisen tilan välinen vastus pienenee ja ääni pääsee leviämään laajemmalle alueelle suun ulkopuolella (Zhang, 2016).

5.1.3 Perturbaation muutokset

Kuten jitterin ja shimmerin tutkimustulokset yleensäkin, myös niiden ikämuutoksiin liittyvät tulokset ovat olleet eri tutkimuksissa hyvinkin erilaisia. Tästä syystä tämän tutkimuksen tulokset ovat vertailtavasta tutkimuksesta riippuen samankaltaisia tai hyvinkin eriäviä. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että naisten Jitt%- ja JittRAP-arvojen perusteella jitterin eli perustaajuuden vaihtelun määrä lisääntyy iän myötä, mikä vahvisti yhden tutkimuksen hypoteeseista. Tämä vastasi esimerkiksi Mezzedimin ja kollegoiden (2017) sekä Xuen ja Deliyskin (2001) tutkimustuloksia, joiden mukaan naisten ikäryhmien väliset erot olivat tilastollisesti merkitsevät, kuten tässäkin tutkimuksessa. Myös Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa jitterin määrän todettiin lisääntyvän naisilla ikääntymisen myötä, mutta ikäryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Täysin päinvastainen tulos saatiin puolestaan Pessin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa, jossa 60–75-vuotiailla naisilla havaittiin suurempi Jitt% kuin 76-vuotiailla ja sitä vanhemmilla. Syitä tutkimusten välisille eroavaisuuksille on esitelty myöhemmin tässä alaluvussa.

Miehillä jitterin määrän on todettu kasvavan iän myötä, ja muutamissa tutkimuksissa ikäryhmien välinen ero on ollut tilastollisestikin merkitsevä (Mezzedimi ym., 2017; Pessin ym., 2017; Xue & Deliyski, 2001). Tässä tutkimuksessa miesten jitterin määrään liittyvät tulokset olivat hieman poikkeavia. Suurin Jitt% oli 70-vuotiailla ja pienin 50-vuotiailla, kun taas JittRAP:n kohdalla suurimmat arvot olivat 50-vuotiailla ja pienimmät 70-vuotiailla.

Tässä tutkimuksessa saadut shimmeriin eli amplitudin vaihteluun liittyvät tulokset vastasivat suurimmaksi osaksi muiden vastaavanlaisten tutkimusten tuloksia. Naisilla Shim%:n ja ShimdB:n arvot olivat vanhemmilla ikäryhmillä suuremmat kuin verrokkiryhmällä, mutta ikäryhmien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Nämä tulokset olivat linjassa muun muassa Pessin ja kollegoiden (2017) sekä Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimustulosten kanssa. Miehillä shimmeriin liittyvät tulokset olivat jitterin tapaan hieman poikkeavat, sillä eniten shimmeriä oli 70-vuotiailla ja vähiten 80-vuotiailla. Tämä oli ristiriidassa esimerkiksi Xuen ja Deliyskin (2001) havaintojen kanssa, joiden mukaan shimmerin määrä kasvaa myös miehillä iän myötä.

Kokonaisuutena perturbaation ikäkehitykseen liittyvät tulokset olivat melko samankaltaiset kuin monissa aiemmissa tutkimuksissa eli sekä jitterin että shimmerin määrä äänessä kasvaa iän myötä. Ikääntymisen myötä tapahtuvan perturbaation määrän lisääntymisen taustalla voi olla muun muassa äänihuulilihasten ja muiden kurkunpään rakenteiden rappeutumisesta johtuva epätasaisempi äänihuulivärähtely, vaikeudet tuottaa täydellinen äänihuulisulku ja erityisesti miehillä äänihuulten kaarevoituminen (esim. Rapoport ym., 2018; Rojas ym., 2020). Tässä tutkimuksessa saadut jitterin ja shimmerin arvot olivat kuitenkin melko erilaisia verrattuna muihin tutkimuksiin. Esimerkiksi 70- ja 80-vuotiaiden miesten Jitt%:t olivat tässä tutkimuksessa 0.955 ja 0.877, kun taas Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa suurin piirtein saman ikäisten tutkittavien Jitt% oli 0.480 ja Pessin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa 2.290. Tässä tutkimuksessa naisten Shim% puolestaan oli 70-vuotiailla 3.464 ja 80-vuotiailla 5.983, kun taas Mezzedimin ja muiden (2017) tutkimuksessa yli 76-vuotiaiden naisten Shim% oli 6.306 ja Pessin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa 4.410.

Täysin samoihin arvoihin ei tietenkään ole mahdollista päästä esimerkiksi sen vuoksi, että jo pelkästään koehenkilöiden määrät eroavat tutkimusten välillä vaikuttaen tuloksiin,

mutta eroihin löytyy myös muita selittäviä tekijöitä. Akustiseen analyysiin tarkoitetut tietokoneohjelmat tuottavat erilaisista algoritmeistaan johtuen hieman erilaisia tuloksia samoille parametreille (Burriss ym., 2014). Esimerkiksi Lovaton ja kumppaneiden (2016) sekä Marynin tutkimusryhmän (2009) tutkimuksissa tuli ilmi, että Praat pystyi erottamaan äänitteestä jitterin paljon herkemmin kuin Multi-Dimensional Voice Program. Praat tuotti näin ollen jitterille pienemmät arvot kuin MDVP. Tämä selittää osittain sen, miksi tässä tutkielmassa, jossa käytettiin Praatia, miesten Jitt% oli pienempi kuin esimerkiksi Pessin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa, jossa käytettiin MDVP:tä.

Äänitysvälineistöllä ja niiden asettelulla on myös merkittävä vaikutus akustisessa analyysissä saataviin arvoihin (Baken & Orlikoff, 2010; Brockmann ym., 2011; Watt, 2014). Tämän tutkimuksen tulosten sekä esimerkiksi Goyn ja kumppaneiden (2013) sekä Xuen ja Deliyskin (2001) tutkimustulosten eroavaisuuteen voi vaikuttaa eroavaisuudet mikrofoniin tyypissä ja etäisyydessä. Tässä tutkimuksessa käytettiin kuulokemikrofonia 15 cm päässä tutkittavan suusta, kun taas Goyn ja kumppaneiden tutkimuksessa kuulokemikrofoni oli vain 1,5 cm päässä tutkittavan suusta ja Xuen ja Deliyskin tutkimuksessa puolestaan käytettiin jalallista mikrofonia. Ei pidä myöskään unohtaa äänitysympäristön vaikutusta äänitteiden laatuun ja sitä kautta akustisen analyysin tuloksiin. Tässä tutkimuksessa analysoituja äänitteitä ei pystytty äänittämään äänieristetyssä ympäristössä, kuten esimerkiksi Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa tehtiin, joten vaihtelevien äänitysympäristöjen akustiikka on voinut vaikuttaa jitterin ja shimmerin tuloksiin.

5.1.4 Hälyn muutokset

Kuten jitteriin ja shimmeriin liittyvät tulokset, myös hälyyn liittyvät tulokset olivat osittain linjassa aiempien tutkimusten kanssa. Tässä tutkimuksessa havaittiin hypoteesin mukaisesti, että naisilla NHR:n ja HNR:n arvojen perusteella hälyn määrä äänessä lisääntyy iän myötä, vaikka ikäryhmien väliset erot eivät olleetkaan tilastollisesti merkitseviä. Samankaltaisia tuloksia ovat saaneet muun muassa Ferrand (2002), Gorriss kollegoineen (2020) sekä Mezzedimi ja kumppanit (2017). Heidän tutkimuksissaan hälyn määrä lisääntyi naisilla iän myötä. Tämän tutkimuksen tavoin Gorrissin ja kollegoiden (2020) tutkimuksessa ikäryhmien välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, kun taas

Ferrandin (2002) sekä Mezzedimin ja kumppaneiden (2017) tutkimuksissa ero nuorempiin verrokeihin oli merkitsevä.

Miesten hälyyn liittyvät tulokset olivat hieman poikkeavat aiempien tutkimusten tuloksista. Eniten hälyä havaittiin 80-vuotiailla, mikä tukee esimerkiksi Goyn ja kollegoiden (2013) sekä Mezzedimin ja kumppaneiden (2017) tutkimustuloksia, joiden mukaan vanhimmilla henkilöillä on enemmän hälyä äänessään kuin nuorilla. Tässä tutkimuksessa poikkeava ja hypoteesin vastainen tulos kuitenkin oli se, että vähiten hälyä oli 70-vuotiailla. Tämä oli toisaalta lähellä Gorrisin tutkimusryhmän (2020) tuloksia, joiden mukaan 61–70-vuotiailla oli hieman vähemmän hälyä äänessään kuin 51–60-vuotiailla.

Sukupuolten välistä, tilastollisesti merkitsevää eroa hälyn määrässä ei tullut esille, mikä poikkesi muun muassa Gorrisin tutkimusryhmän (2020) sekä Goyn ja kollegojen (2013) tuloksista, joiden mukaan miehillä oli hieman enemmän hälyä kuin naisilla. Kuitenkin esimerkiksi Stathopoulosin ja kumppaneiden (2011) tutkimuksessa havaittiin, että hälyn määrä oli suurempi naisilla. Tässä tutkimuksessa NHR:n ikäryhmäkohtaisia keskiarvoja vertaamalla naisten äänessä vaikuttaisi olevan hieman enemmän hälyä, mikä tukisi Stathopoulosin tutkimusryhmän tuloksia. Naisten suurempi hälyn määrä voi johtua muun muassa ikääntymiseen liittyvien hormonaalisten muutosten aiheuttamasta epätasaisemmasta äänihuulivärähtelystä, sekä naisilla yleisemmästä äänihuulien väliin jäävästä raosta, joka aiheuttaa ilmapirtaan turbulenssia ja sitä kautta enemmän hälyä (Ferrand, 2002; Stathopoulos ym., 2011). Miehillä hälyn määrää voi puolestaan lisätä ikääntymisen myötä tapahtuva äänihuulten kaarevoituminen (Gorham-Rowan & Lares-Gore, 2006).

Hälyyn liittyvien tulosten eroavaisuutta eri tutkimusten välillä selittävät melko samankaltaiset tekijät kuin jitterin ja shimmerin kohdalla. Mikrofonin tyyppi ja etäisyys suusta vaikuttavat suuresti siihen, kuinka vahvana äänen harmoniset komponentit kuuluvat verrattuna hälyyn (Patel ym., 2018). Esimerkiksi jos mikrofoni on jalallinen ja se sijoitetaan useiden kymmenien senttien päähän suusta, voi äänitteeseen tallentua enemmän äänen harmonisia osuuksia peittävää ympäristön hälyä, kuin jos mikrofoni olisi lähempänä ja etäisyys suuhun pysyisi vakiona. Ympäristön häly voi olla peräisin

esimerkiksi ilmastoinnista tai äänitystilan ulkopuolisesta liikenteestä (Laukkanen & Leino, 1999).

5.2 Tutkimuksen luotettavuus

Yksi tämän tutkimuksen tulosten yleistettävyyttä rajoittavista tekijöistä on tutkimuksen pieni otoskoko. Vallitsevan koronavirustilanteen vuoksi aineistoa ei ollut mahdollista lähteä keräämään esimerkiksi ikääntyneiden ihmisten harrastusryhmiin tai palvelukoteihin, vaan tutkittavat rekrytoitiin tutkijan sukulaisten ja tuttavien joukosta. Tämän vuoksi otanta ei ollut täysin satunnainen ja tutkittujen kokonaismäärä sekä ikäryhmien ikäjakauma jäivät melko suppeiksi. Esimerkiksi 70-vuotiaiden ryhmään kuuluvat tutkittavat olivat kaikki 71–75-vuotiaita, eli 76–79 vuotiaista ei saatu kerättyä ollenkaan aineistoa. 80-vuotiaiden ikäryhmässä miesten ikäjakauma jäi myös hyvin suppeaksi tutkittavien ollessa 81–82-vuotiaita. Toisaalta isommankin otoskoon kohdalla yli 80-vuotiaiden miesten rekrytoiminen olisi voinut olla hieman hankalaa miesten alhaisemman elinajanodotteen takia. Suomen virallisen tilaston (2019) mukaan miesten elinajanodote on alle 80-vuotta, joten yli 80-vuotiaiden, tutkimuksen sisäänottokriteerit täyttävien miesten löytäminen olisi todennäköisesti ollut naisiin verrattuna haastavampaa ilman koronapandemiaakin.

Pieni otoskoko on voinut vaikuttaa myös tilastollisten analyysien tarkkuuteen. Esimerkiksi Metsämuurosen (2008) mukaan monimuuttujamenetelmät, kuten MANOVA, eivät ole luotettavia, jos havaintoyksiköitä eli tutkittavia on alle viisi jokaista analysoitavaa parametria kohden. Tässä tutkielmassa käytettiin MANOVA:a, koska havaintoyksiköitä oli 19 jokaista analyysiin mukaan otettua parametria kohden. MANOVA on todettu tämän Pro gradu -tutkimuksen kaltaisissa tutkimusasetelmissä toimivaksi esimerkiksi Goyn ja kumppaneiden (2013) tutkimuksessa. Myös taulukoissa esitetyt ikäryhmien keskiarvot ovat saattaneet vääristyä hieman, koska pienessä aineistossa poikkeavat havainnot voivat korostua ja vaikuttaa laskutoimituksen lopputulokseen enemmän kuin suuressa aineistossa. Keskiarvot koettiin kuitenkin hyväksi ja selkeäksi tavaksi havainnollistaa ikäryhmien ja sukupuolten eroja.

Toinen tutkimustuloksiin vaikuttava tekijä on se, että äänitykset tehtiin tutkittavien kodeissa, jotka olivat akustiikaltaan melko erilaisia. Äänitykset pyrittiin tekemään mahdollisimman hiljaisissa ja kaiuttomissa tiloissa, mutta esimerkiksi asuntojen erilainen sisustus ja ilmanvaihtojärjestelmä saattoivat vaikuttaa muun muassa äänitteiden taustahälyn määrään. Äänitysympäristön äänet ovat voineet tässä tutkimuksessa vaikuttaa erityisesti perturbaation ja hälyn analyysituloksiin.

Tämän tutkimuksen vahvuutena on se, että tutkimuksessa käytettiin muualla kirjallisuudessa suositeltuja ja useissa aiemmissa tutkimuksissa toimiviksi todettuja käytänteitä. Kaikki tutkimuksen vaiheet, käytetyt laitteet, ohjelmistot ja niiden asetukset on raportoitu mahdollisimman tarkasti, mikä edesauttaa tutkimuksen toistettavuutta ja vertailtavuutta. Esimerkiksi Patelin ja kollegoiden (2018) sekä Bakenin ja Orlikoffin (2010) suositusten mukaisesti tutkimuksessa käytettiin hyvälaatuista kuulokemikrofonia, mikä takasi mikrofonin pysymisen samalla etäisyydellä tutkittavan suusta koko äänityksen ajan. Sekä äänityksessä että akustisessa analyysissä käytettiin laajasti käytössä olevia ja luotettaviksi todettuja ohjelmistoja ja ohjelmissa käytettiin niitä asetuksia, joita muualla kirjallisuudessa ja ohjelmien manuaaleissa on suositeltu. Lisäksi tutkittavien suorittamat tehtävät eli tekstikatkelman lukeminen ja /a/-vokaalin fonaatio ovat yleisesti suositeltuja ja käytössä olevia tehtäviä tutkimustilanteissa (esim. Leino ym., 2008; Patel ym., 2018; Spazzapan ym., 2018), joten niidenkin sopivuus tutkimuskäytössä on todistettu.

Tutkimuksen luotettavuutta lisää myös se, että tutkittavat olivat keskenään melko vertailukelpoisia. Kaikki tutkittavat olivat esitietolomakkeen perusteella ikäänsä nähden perusterveitä eikä kellekään ollut äänenkäyttöön vaikuttavia sairauksia. Kukaan tutkittavista ei tupakoinut, joten sillä ei voinut olla vaikutusta tutkittavien ääneen. Tutkittavat tulivat melko samankaltaisista lähtökohdista siinä mielessä, ettei suurin osa ollut saanut elämänsä aikana äänenkäyttöön liittyvää koulutusta tai harrastanut esimerkiksi laulua.

5.3 Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että sekä naisilla että miehillä on havaittavissa ikääntymisen aiheuttamia muutoksia äänessä. Tulokset olivat suurilta osin

linjassa aiempien tutkimusten kanssa, mutta muutamia poikkeuksiakin löytyi. Poikkeavia tuloksia selittävät etenkin tutkimusten väliset erot äänitysympäristöissä ja -laitteissa sekä käytetyissä analyysiohjelmissa. Vaikka tutkimuksen tuloksia ei voida sellaisenaan yleistää pienen otoskoon takia, tutkimuksessa saatuja akustisten parametrien arvoja voidaan esimerkiksi kliinisessä puheterapeutin työssä käyttää suuntaa antavina arvoina tietyn ikäisiä asiakkaita tutkittaessa. Lisäksi tutkimusta voidaan käyttää apuna uusien tutkimusasetelmien suunnittelussa.

Äänessä tapahtuviin ikämuutoksiin liittyviä tutkimuksia on Suomessa tehty tähän päivään mennessä hyvin vähän. Tutkimusta on tehtävä lisää, koska keski-ikäisten ja sitä vanhempien ihmisten osuus väestössä on kasvussa ja ikääntyvien ihmisten kasvava määrä luo tarpeen vanhuuden äänenkäyttöön liittyville palveluille, kuten äänen huoltamiseen liittyvälle ohjaukselle ja ääniterapialle. Tässä tutkimuksessa saatiin tietoa terveiden ikääntyvien ihmisten äänessä tapahtuvista muutoksista ja siitä, kuinka tiettyjen akustisten parametrien arvot muuttuvat ikääntymisen myötä. Koska tutkimuksen pienen otoskoon vuoksi tuloksia ei voida yleistää koskemaan koko populaatiota, tutkimus olisi kannattavaa toistaa suuremmalla otoskoolla. Tulevissa tutkimuksissa on myös huomioitava tutkittavien ikäjakauma niin, että tutkittaviin ikäryhmiin rekrytoidaan mahdollisimman laajasti eri-ikäisiä henkilöitä. Äänen ikämuutoksia olisi mahdollista tutkia myös pitkittäistutkimuksena, jossa seurattaisiin samojen henkilöiden äänen muutoksia useamman vuoden ajan.

Otoskoon lisäksi tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä kiinnittää huomiota äänitysympäristöön, käytettäviin äänityslaitteisiin ja ohjelmistoihin. Vaikka nykyhetkeen mennessä on julkaistu jo useita erilaisia äänen tutkimusprotokolleihin liittyviä suosituksia, tulisi tutkimuskäytänteitä edelleen yhtenäistää. Yhdenmukaiset käytänteet helpottavat tulevaisuudessa tehtävien tutkimusten suunnittelua ja parantavat tutkimustulosten keskinäistä vertailtavuutta.

LÄHTEET

- Arola, L. & Paavola, L. (2009). Äidin sensitiivisyys ja hoivapuheen perustaaajuuden vaihtelu – Yhteydet lapsen varhaisen kielen ja puheen kehitykseen. *Puhe ja kieli*, 29(3), 145–162.
- Aronson, A. E. & Bless, D. M. (2009). *Clinical Voice Disorders* (4. painos). Thieme.
- Aulanko, R. (2009). Puheen tuottomekanismi. Teoksessa O. Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A. Klippi & M. Vainio (Toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (1.-2. painos, s. 136–148). Otavan Kirjapaino.
- Awan, S. N. (2006). The aging female voice: Acoustic and respiratory data. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 20(2–3), 171–180. <https://doi.org/10.1080/02699200400026918>
- Awan, S. N. & Scarpino, S. E. (2004). *Measures of Vocal F0 from Continuous Speech Samples: An Interprogram Comparison*. 28(3), 122–131.
- Baken, R. J. & Orlikoff, R. F. (2010). *Clinical measurement of speech and voice* (2. painos). Delmar Cengage Learning.
- Boersma, P. (2019). *Praat-manual: Intro 4.1 Configuring the pitch contour*. https://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/Intro_4_2__Configuring_the_pitch_contour.html
- Boersma, P. & Weenink, D. (2020). *Praat: doing phonetics by computer (tietokoneohjelma)*. Versio 6.1.29. <http://www.praat.org/>
- Brockmann, M., Drinnan, M. J., Storck, C. & Carding, P. N. (2011). Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: The relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *Journal of Voice*, 25(1), 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.07.002>
- Burris, C., Vorperian, H. K., Fourakis, M., Kent, R. D. & Bolta, D. M. (2014). Quantitative and descriptive comparison of four acoustic analysis systems: Vowel measurements. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(1), 26–45. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0103\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0103))

- Camarrone, F., Ivanova, A., Decoster, W., De Jong, F. & Van Hulle, M. M. (2016). Stable voice clusters identified when using the maximum versus minimum intensity curve in the phonetogram. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 67(5), 259–266. <https://doi.org/10.1159/000442000>
- Deliyski, D. D., Shaw, H. S. & Evans, M. K. (2005). Adverse effects of environmental noise on acoustic voice quality measurements. *Journal of Voice*, 19(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.07.003>
- Esling, J. (2015). Voice and Phonation. Teoksessa M. J. Jones & R.-A. Knight (Toim.), *Phonetics* (s. 110–125). Bloomsbury Publishing Plc. <https://doi.org/10.5040/9781472541895.ch-007>
- Etter, N. M., Hapner, E. R., Barkmeier-Kraemer, J. M., Gartner-Schmidt, J. L., Dressler, E. V. & Stemple, J. C. (2019). Aging Voice Index (AVI): Reliability and Validity of a Voice Quality of Life Scale for Older Adults. *Journal of Voice*, 33(5), 807.e7-807.e12. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.04.006>
- Farrús, M., Hernando, J. & Ejarque, P. (2007). Jitter and shimmer measurements for speaker recognition. *Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH*, 2, 1153–1156.
- Ferrand, C. T. (2002). Harmonics-to-noise ratio: An index of vocal aging. *Journal of Voice*, 16(4), 480–487. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(02\)00123-6](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(02)00123-6)
- Finnegan, E. M., Luschei, E. S. & Hoffman, H. T. (2000). Modulations in Respiratory and Laryngeal Activity Associated With Changes in Vocal Intensity During Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 934–950. <https://doi.org/https://doi-org.ezproxy.utu.fi/10.1044/jslhr.4304.934>
- Gadepalli, C., Jalalinajafabadi, F., Xie, Z., Cheetham, B. M. G. & Homer, J. J. (2017). Voice Quality Assessment by Simulating GRBAS Scoring. *Proceedings - UKSim-AMSS 11th European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation, EMS 2017*, 107–111. <https://doi.org/10.1109/EMS.2017.29>
- Gorham-Rowan, M. M. & Laures-Gore, J. (2006). Acoustic-perceptual correlates of voice quality in elderly men and women. *Journal of Communication Disorders*, 39(3),

171–184. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2005.11.005>

Gorris, C., Ricci Maccarini, A., Vanoni, F., Poggioli, M., Vaschetto, R., Garzaro, M. & Aluffi Valletti, P. (2020). Acoustic Analysis of Normal Voice Patterns in Italian Adults by Using Praat. *Journal of Voice*, 34(6), 961.e9-961.e18. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.04.016>

Goy, H., Fernandes, D. N., Pichora-Fuller, M. K., & Van Lieshout, P. (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545–555. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.03.002>

Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice*. Springer-Verlag.

Howell, P. (2011). *Effect of Speaking Environment on Speech Production and Perception*. 11(1), 51–57. <https://doi.org/10.1618/jhes.11.51.Effect>

Huttunen, K. & Vilkmann, E. (2009). Puhe vanhuudessa. Teoksessa O. Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A. Klippi & M. Vainio (Toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (1.-2. painos, s. 129–134). Otavan Kirjapaino.

Johns, M. M., Arviso, L. C. & Ramadan, F. (2011). Challenges and opportunities in the management of the aging voice. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 145(1), 1–6. <https://doi.org/10.1177/0194599811404640>

Johnson, K. (2012). *Acoustic and Auditory Phonetics* (3. painos). Wiley-Blackwell.

Juvas, A. & Sovijärvi, S. (2011). Äänihäiriöt. Teoksessa K. Launonen & A.-M. Korpijaakko-Huuhka (Toim.), *Kommunikoinnin häiriöt: Syitä, ilmenemismuotoja ja kuntoutuksen perusteita* (s. 203–224). Gaudeamus.

Kaneko, M. (2017). Voice Therapy for the Elderly. Teoksessa K. Makiyama & S. Hirano (Toim.), *Aging Voice* (s. 83–93). Springer.

Kasuya, H. & Yoshida, H. (2017). Age-Related Changes in the Human Voice. Teoksessa K. Makiyama & S. Hirano (Toim.), *Aging Voice* (s. 27–36). Springer.

Kempster, G. B., Gerratt, B. R., Abbott, K. V., Barkmeier-Kraemer, J. & Hillman, R. E. (2009). Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: Development of a

- standardized clinical protocol. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 18(2), 124–132. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/08-0017\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/08-0017))
- Kost, K. M. & Sataloff, R. T. (2018). Voice Disorders in the Elderly. *Clinics in Geriatric Medicine*, 34(2), 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2018.01.010>
- Laukkanen, A. M. & Leino, T. (1999). *Ihmeellinen ihmisääni*. Gaudeamus.
- Leino, T., Laukkanen, A. M., Ilomäki, I. & Mäki, E. (2008). Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 60(4), 199–209. <https://doi.org/10.1159/000133651>
- Leong, K., Hawkshaw, M. J., Dentchev, D., Gupta, R., Lurie, D. & Sataloff, R. T. (2013). Reliability of objective voice measures of normal speaking voices. *Journal of Voice*, 27(2), 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.07.005>
- Leongómez, J. D., Mileva, V. R., Littleb, A. C. & Roberts, S. C. (2017). Perceived differences in social status between speaker and listener affect the speaker's vocal characteristics. *PLoS ONE*, 12(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179407>
- Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lätti, S. (2015). *Anatomia ja fysiologia - Rakenteesta toimintaan* (S. P. Oy (toim.); 3.-5. painos).
- Lovato, A., De Colle, W., Giacomelli, L., Piacente, A., Righetto, L., Marioni, G. & de Filippis, C. (2016). Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) vs Praat for Assessing Euphonic Subjects: A Preliminary Study on the Gender-discriminating Power of Acoustic Analysis Software. *Journal of Voice*, 30(6), 765.e1-765.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.10.012>
- Maryn, Y., Corthals, P., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P. & Deliyski, D. (2009). Perturbation measures of voice: A comparative study between multi-dimensional voice program and praat. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 61(4), 217–226. <https://doi.org/10.1159/000227999>
- Merrill, R. M., Anderson, A. E. & Sloan, A. (2011). Quality of life indicators according to voice disorders and voice-related conditions. *Laryngoscope*, 121(9), 2004–2010. <https://doi.org/10.1002/lary.21895>

- Metsämuuronen, J. (2008). *Monimuuttujamenetelmien perusteet* (2. painos). International Methelp.
- Mezzedimi, C., Di Francesco, M., Livi, W., Spinosi, M. C. & De Felice, C. (2017). Objective Evaluation of Presbyphonia: Spectroacoustic Study on 142 Patients with Praat. *Journal of Voice*, 31(2), 257.e25-257.e32. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.05.022>
- Morgan, E. E. & Rastatter, M. (1986). Variability of Voice Fundamental Frequency in Elderly Female Speakers. *Perceptual and Motor Skills*, 215–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.2466/pms.1986.63.1.215>
- Nemr, K., Amar, A., Abrahão, M., de Almeida Leite, G. C., Köhle, J., Santos, A. de O. & Correa, L. A. C. (2005). Comparative analysis of perceptual evaluation, acoustic analysis and indirect laryngoscopy for vocal assessment of a population with vocal complaint. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 71(1), 13–17. [https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)31278-7](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)31278-7)
- Nemr, K., Di Carlos Silva, A., Rodrigues, D. de A. & Zenari, M. S. (2018). Medications and Adverse Voice Effects. *Journal of Voice*, 32(4), 515.e29-515.e39. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.07.009>
- Nishio, M. & Niimi, S. (2008). Changes in speaking fundamental frequency characteristics with aging. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 60(3), 120–127. <https://doi.org/10.1159/000118510>
- Nugent, J. (2019). *WAV or MP3: What's the Difference?* <https://www.audiobuzz.com/blog/wav-or-mp3-whats-the-difference/>
- Patel, R. R., Awan, S. N., Barkmeier-Kraemer, J., Courey, M., Deliyski, D., Eadie, T., Paul, D., Švec, J. G. & Hillman, R. (2018). Recommended Protocols for Instrumental Assessment of Voice: American Speech-Language-Hearing Association Expert Panel to Develop a Protocol for Instrumental Assessment of Vocal Function. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(3), 887–905. https://doi.org/https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0009
- Pessin, A. B. B., Tavares, E. L. M., Gramuglia, A. C. J., de Carvalho, L. R. & Martins,

- R. H. G. (2017). Voice and ageing: clinical, endoscopic and acoustic investigation. *Clinical Otolaryngology*, 42(2), 330–335. <https://doi.org/10.1111/coa.12725>
- Pitkälä, K., Hosia-randell, H., Raivio, M., Savikko, N. & Strandberg, T. (2005). Vanhuksen lääkehoidon karikoita. *Duodecim*, 122(12), 1503–1512.
- Plank, C., Schneider, S., Eysholdt, U., Schützenberger, A. & Rosanowski, F. (2011). Voice- and health-related quality of life in the elderly. *Journal of Voice*, 25(3), 265–268. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.11.002>
- Pohjolainen, P. (2008). *Liikuntaohjelmat ikäihmisten kotihoidossa*. <https://www.ikainstituutti.fi/content/uploads/2016/11/Rap-1-2008-Kiikun-Kaakun-PDF.pdf>
- Raimo, I. & Ojala, S. (2009). Akustiikkaa ja artikulaatiota eli miltä puhe näyttää. Teoksessa O. Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A. Klippi, & M. Vainio (Toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (ss. 174–182). Otavan Kirjapaino.
- Ramig, L. O., Gray, S., Baker, K., Corbin-Lewis, K., Buder, E., Luschei, E., Coon, H. & Smith, M. (2001). The aging voice: A review, treatment data and familial and genetic perspectives. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 53(5), 252–265. <https://doi.org/10.1159/000052680>
- Rapoport, S. K., Meiner, J. & Grant, N. (2018). Voice Changes in the Elderly. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 51(4), 759–768. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2018.03.012>
- Richard, G. & D'Alessandro, C. (1996). Analysis/synthesis and modification of the speech aperiodic component. *Speech Communication*, 19(3), 221–244. [https://doi.org/10.1016/0167-6393\(96\)00038-6](https://doi.org/10.1016/0167-6393(96)00038-6)
- Rohrer, J., Maturo, S., Hill, C., Bunting, G., Ballif, C. & Hartnick, C. (2014). Pediatric voice analysis comparison of 2 computerized analysis systems. *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 140(8), 742–745. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2014.1162>
- Rojas, S., Kefalianos, E. & Vogel, A. (2020). How Does Our Voice Change as We Age ?

Jslhr, 63(February).

- Sapienza, C. & Hoffman Ruddy, B. (2016). *Voice Disorders* (3. painos). Plural Publishing, Inc.
- Schaeffer, N., Knudsen, M. & Small, A. (2015). Multidimensional Voice Data on Participants With Perceptually Normal Voices From Ages 60 to 80: A Preliminary Acoustic Reference for the Elderly Population. *Journal of Voice*, 29(5), 631–637. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.10.003>
- Schneider, S., Plank, C., Eysholdt, U., Schützenberger, A. & Rosanowski, F. (2011). Voice function and voice-related quality of life in the elderly. *Gerontology*, 57(2), 109–114. <https://doi.org/10.1159/000314157>
- Sellman, J. (2004). Multi-Dimensional Voice Program TM äänihäiriöiden arvioinnissa. *Puhe ja kieli*, 24(1), 17–30.
- Spazzapan, E. A., Cardoso, V. M., Fabron, E. M. G., Berti, L. C., Brasolotto, A. G. & Marino, V. C. de C. (2018). Acoustic characteristics of healthy voices of adults: From young to middle age. *Codas*, 30(5), 1–7. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017225>
- Stathopoulos, E. T., Huber, J. E. & Sussman, J. E. (2011). Changes in Acoustic Characteristics of the Voice Across the Life Span: Measures From Individuals 4-93 Years of Age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54, 1011–1021.
- Stemple, J. C. & Hapner, E. R. (2014). Comments on Voice Evaluation. *Voice Therapy: Clinical Case Studies*, 2014, 13–26.
- Suomen virallinen tilasto. (2020). *Väestörakenne*. https://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_vaesto.html#Väestö ja väestöennuste ikäryhmittäin
- Suomen virallinen tilasto (SVT). (2019). *Vastasyntyneiden elinajanodote oli vuonna 2018 pojilla 78,9 ja tytöillä 84,3 vuotta*. https://www.stat.fi/til/kuol/2018/01/kuol_2018_01_2019-10-24_tie_001_fi.html
- Titze, I. R. (2000). *Principles of Voice Production* (2. painos). National Center of Voice

and Speech.

- Toukola, S. (2020). *Puheäänen tyypilliset ominaisuudet ja niiden tutkimusmenetelmät aikuisilla*. Kandidaatintutkielma. Turun yliopisto.
- Vainio, M., Palo, P., Aalto, D. & Laine, U. K. (2009). Lähde ja suodin - puheentuoton akustiikasta ja sen mallintamisesta. Teoksessa Olli Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A. Klippi & M. Vainio (Toim.), *Puhuva ihminen: puhetieteiden perusteet* (1.-2. painos, s. 161–173). Otavan Kirjapaino.
- Verdonck-de Leeuw, I. M. & Mahieu, H. F. (2004). Vocal aging and the impact on daily life: A longitudinal study. *Journal of Voice*, 18(2), 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.10.002>
- Vogel, A. P., Rosen, K. M., Morgan, A. T. & Reilly, S. (2014). Comparability of modern recording devices for speech analysis: Smartphone, landline, laptop, and hard disc recorder. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 66(6), 244–250. <https://doi.org/10.1159/000368227>
- Watt, D. (2014). Research Methods in Speech Acoustics. *The Bloomsbury Companion to Phonetics*, 79–97. <https://doi.org/10.5040/9781472541895.ch-005>
- Wiik, K. (1998). *Fonetiikan perusteet* (2. painos). WSOY.
- Xue, S. A. & Deliyski, D. (2001). Effects of aging on selected acoustic voice parameters: Preliminary normative data and educational implications. *Educational Gerontology*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/03601270151075561>
- Young, E. (2007). Physiological Acoustics. Teoksessa T. D. Rossing (Toim.), *Springer Handbook of Acoustics* (s. 429–457). Springer.
- Zahnert, T. (2011). Differenzialdiagnose der schwerhörigkeit. *Deutsches Arzteblatt*, 108(25), 433–444. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0433>
- Zhang, Z. (2016). Mechanics of human voice production and control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4), 2614–2635. <https://doi.org/10.1121/1.4964509>

Zou, Z. fei, Chen, W., Li, W. & Yuan, K. (2019). Impact of Vocal Fold Dehydration on Vocal Function and Its Treatment. *Current Medical Science*, 39(2), 310–316. <https://doi.org/10.1007/s11596-019-2036-0>

TUTKIMUSTIEDOTE

Hei!

Hienoa, että olet kiinnostunut tutkimukseeni osallistumisesta! Tutkimus, johon olet osallistumassa, liittyy pro gradu -tutkielmaani, jossa tutkin puheäänien tietyissä piirteisä tapahtuvia ikämuutoksia terveillä aikuisilla. Ohjaajanani toimii fonetiikan yliopisto-opettaja Henna Tamminen.

Tutkimustilanne on sinulle helppo: sinun tarvitsee vain lukea ennalta määritelty teksti tavallisella puheäänelläsi sekä ääntää a-vokaalia noin 5 sekunnin ajan. Nauhoitan puhenäytteet mikrofonin ja tietokoneen avulla ja myöhemmin tutkin puhenäytteistä tiettyjä äänen piirteitä akustisen analyysin avulla.

Tutkimukseen osallistuminen on täysin vapaaehtoista, ja sinulla on oikeus keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä tahansa sen vaiheessa. Kaikkia sinua koskevia tietoja käsitellään luottamuksellisesti, eikä niitä luovuteta eteenpäin kolmansille osapuolille. Sinua ei myöskään voida tunnistaa valmiista tutkimuksesta.

Jos sinulla herää tutkimukseen liittyviä kysymyksiä, voit laittaa ne minulle sähköpostitse osoitteeseen sktouk@utu.fi.

Yhteistyöstäsi kiittäen,

Sonja Toukola

SUOSTUMUS TUTKIMUKSEEN

Olen lukenut tutkimustiedotteen ja suostun tutkimukseen.

Päivämäärä ja paikka

Allekirjoitus ja nimenselvennys

ESITIIETOLOMAKE

PVM

Täytä alla olevat tiedot huolellisesti. Merkitse rastilla sopivin vaihtoehto tai kirjoita vastaus sille tarkoitettulle viivalle. Tietoja käsitellään luottamuksellisesti, eikä niitä luovuteta eteenpäin kolmansille osapuolille.

Nimi: _____

Sukupuoli: mies nainen muu

Ikä ja syntymäaika: _____

Tupakoitko? ei kyllä

Onko sinulla diagnosoitu kuulovamma? ei kyllä, milloin?

Onko sinulla diagnosoitu äänihäiriö? ei kyllä, milloin ja mikä syy?

Miten arvioisit terveydentilaasi tällä hetkellä? erinomainen
 hyvä
 tyydyttävä
 tavanomaista heikompi
 huono

Pohjantuuli ja aurinko väittelivät kummalla olisi enemmän voimaa, kun he samalla näkivät kulkijan, jolla oli yllään lämmin takki. Silloin he sopivat, että se on voimakkaampi, joka nopeammin saa kulkijan riisumaan takkinsa. Pohjantuuli alkoi puhaltaa niin että viuhui, mutta mitä kovemmin se puhalsi, sitä tiukemmin kääri mies takin ympärilleen, ja viimein tuuli luopui koko hommasta. Silloin alkoi aurinko loistaa lämpimästi, eikä aikaakaan, niin kulkija riisui manttelinsa. Niin oli tuulen pakko myöntää, että aurinko oli kuin olikin heistä vahvempi.