

TAMPEREEN YLIOPISTO

Neutraalista tekstiluennasta mitatun keskimääräisen
perustaajuuden vaihtelu mittauskertojen välillä
puolen vuoden seurantatutkimus

Pro gradu –tutkielma
Puhetekniikka ja vokologia
Puheen ja äänen tutkimuksen
laboratorio
Kasvatustieteiden yksikkö
Tampereen yliopisto
Anne Väisänen
Marraskuu 2014

Tampereen yliopisto

Kasvatustieteiden yksikkö

VÄISÄNEN ANNE; Neutraalista tekstiluennasta mitatun keskimääräisen perustaajuuden vaihtelu mittauskertojen välillä – puolen vuoden seurantatutkimus

Pro gradu –tutkielma 68 s.

Puhetekniikka ja vokologia

Marraskuu 2014

Tarkoitus: Puheentutkimuksessa perustaajuuden mittaaminen on yksi käytetyimmistä tutkimusmenetelmistä. Perustaajuuden on todettu muuttuvan mittauskertojen välillä useista syistä, kuten äänen kuormituksesta tai lämmittelystä johtuen. Tämä tutkielma tarkasteli neutraalista luennasta mitatun keskimääräisen perustaajuuden (F_0) muutoksia puolen vuoden seurantatutkimuksena. Tarkoituksena oli selvittää, miten paljon vaihtelua mittauskertojen välillä esiintyy ja miten suurta vaihtelua voidaan pitää ns. normaalina mittauskertojen välisenä vaihteluna.

Menetelmät: 6 osallistujalta (4 naista ja 2 miestä) nauhoitettiin viikoittain neutraalia tekstiluentaa. Näytteistä mitattiin F_0 :n keskiarvo, mediaani ja keskihajonta. Nauhoituksia järjestettiin puolen vuoden ajan loppusyksystä loppukevääseen viikon välein aamupäivisin mahdollisuuksien mukaan aina samaan aikaan vuorokaudesta. Viikoittaisella taustakyselyllä selvitettiin esimerkiksi heräämisajan, tupakoinnin tai koettujen äänioireiden vaikutuksia. Äänitysten yhteydessä kirjattiin ylös kellonaika ja ilmankosteusprosentti.

Tulokset: Nauhoitusjakson aikana keskimääräinen perustaajuus vaihteli jopa yli 20 Hz yksilötasolla. Keskimääräinen luentakertojen välinen vaihtelu oli naisilla noin 5,9 Hz ja miehillä 7,9 Hz. Etenkin nauhoitusajalla, koetuilla äänioireilla ja sairaudella (esim. flunssa) näytti olevan merkitys keskimääräiseen perustaajuuteen. Perustaajuus oli sitä korkeampi, mitä myöhemmin äänitys järjestettiin. Naisilla sairaana olo laski keskimääräistä perustaajuutta ja miehillä nosti. Ilmankosteus, heräämisaika, valveillaoloaika, ääniharjoitukset tai tupakointi eivät korreloineet keskimääräisen perustaajuuden kanssa. Verrattain kokemattoman äänenkäyttäjän tulokset erosivat jonkin verran kokeneiden äänenkäyttäjien tuloksista.

Johtopäätökset: Vaihtelu pysyi keskimäärin suhteellisen samansuuruisena koko nauhoitusjakson ajan. Yksilötasolla muutokset olivat kuitenkin huomattavia, minkä vuoksi puheentutkimuksissa useampi mittauskerta on tarpeen. Aiemmat tutkimukset huomioiden normaalina mittauskertojen välisenä keskimääräisen perustaajuuden vaihteluna voitaneen pitää naisilla jopa 5 Hz ja miehillä 4 Hz. Tarkemmat tutkimukset suuremmalla osallistujamäärällä ovat tarpeen, jotta voitaisiin selvittää tarkemmin esimerkiksi äänenharjoittamisen merkityksiä perustaajuuden vaihteluissa pitkällä aikavälillä.

Asiasanat: *Pitkäaikaisvaihtelu, vuorokausirytm*

Average fundamental frequency variation between the measurements of neutral text reading – A half-year follow-up study

Abstract

Purpose: The fundamental frequency (F_0) is one of the most widely used methods in voice research. It has been found to change between the measurements for several reasons, such as vocal loading of vocal-warm up. This study focused on average F_0 variation between weekly measurements of neutral reading during a six-month follow-up time. The purpose was to determine how much variation occurs between the measurements and what can, thus, be regarded as a normal variation between the repeated measurements of the parameter.

Methods: 6 participants (4 women and 3 men). Neutral text reading samples were recorded on a weekly basis. F_0 mean, median and standard deviation were measured. Recordings were made every week (at the same time of day if possible) in the pre-noon for half a year from the late autumn to the late spring. Weekly questionnaires surveyed the effects of e.g. waking-up-time, smoking or vocal symptoms on F_0 variation. In addition, the time of recording and humidity percentage were registered during the recordings.

Results: The average F_0 ranged more than 20 Hz individually during the recordings. It ranged between the measurements approximately 5,9 Hz for women and 7,9 Hz for men. Recording time, vocal symptoms and illness (flu) had an effect on variation. F_0 tended to get higher during the day. Having been ill tended to lower it for women and rise for men. Humidity, waking-up-time, time being awake, vocal exercising or smoking did not correlate with the fundamental frequency. Results of a relatively less-experienced voice user were somewhat different from those of more experienced voice users.

Conclusions: The variation in F_0 remained relatively at the same level for the entire recording period. At the individual level, however, the changes were notable, which is why multiple measurement times are needed in voice research. When previous studies are taken into account, it seems that normal variation of average fundamental frequency between the repeated measurements can be expected to be ca 5 Hz in women and 4 Hz in men. More detailed studies for a larger number of participants are needed in order to find out e.g. the effects of voice training on fundamental frequency variation between the measurements.

Key words: *Circadian rhythm, long-term variation*

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	1
2	KIRJALLISUUS	2
2.1	PUHEKORKEUS	2
2.1.1	<i>Äänen perustaaajuuden fysiologiaa</i>	2
2.1.2	<i>Puhekorkeus kuulohavaintona</i>	4
2.2	PERUSTAAJUUS	5
2.2.1	<i>Perustaaajuuden mittaaminen</i>	5
2.2.2	<i>Perustaaajuuden keskilukuja</i>	9
2.3	PERUSTAAJUUS JA ÄÄNIERGONOMIA	12
2.3.1	<i>Ääniharjoitusten vaikutukset</i>	13
2.3.2	<i>Äänenrasitus</i>	14
2.3.3	<i>Ilmankosteus</i>	17
2.3.4	<i>Nautintoaineet</i>	18
2.4	LYHYT- JA PITKÄAIKAISSEURANTA	20
2.4.1	<i>Perustaaajuuden vaihtelu päivän aikana</i>	21
2.4.2	<i>Perustaaajuuden pitkäaikaisvaihtelu</i>	24
3	TUTKIMUSKYSYMYKSET	28
4	TUTKIMUSMENETELMÄT JA OSALLISTUJAT	29
4.1	OSALLISTUJAT.....	29
4.2	NAUHOITUKSET	29
4.3	ANALYYSIT	30
5	TULOKSET	32
5.1	PUOLEN VUODEN SEURANTAJAKSO.....	32
5.2	VIIDEN VIIKON SEURANTAJAKSOT	42
5.3	TAUSTAKYSELY.....	45
6	POHDINTA	50
6.1	PERUSTAAJUUDEN VAIHTELUT PUOLEN VUODEN AIKANA	50
6.2	PERUSTAAJUUDEN VAIHTELUT VIIDEN VIIKON AJANJAKSOINA	54
6.3	TAUSTAKYSELYN MUUTTUJIIEN VAIKUTUS PERUSTAAJUUTEEN.....	56
6.4	TUTKIMUKSEN ARVIOINTIA.....	59

7 JOHTOPÄÄTÖKSET	61
LÄHTEET	62

1 Johdanto

Ihmisiään synnystä kysyttäessä voi toisinaan törmätä seuraavaan ajatukseen: ”ääni syntyy puhumalla”. Ääni ja puhe ovat luonnollinen osa elämäämme ja siihen kuuluvaa viestintää. Normaalissa arkielämässä sen tuottamista ei tarvitse useinkaan sen erityisemmin pohtia. Kuitenkin teemme koko ajan useita päätelmiä muista ihmisistä heidän äänensä perusteella. Yksi kenties selkeimmin havaittavissa oleva äänen ominaisuus on puhekorkeus. Puhekorkeuden tai sävelkorkeuden aistiminen perustuu äänihuulten värähtelytaajuuden havaintoon. Akustisissa tutkimuksissa sävelkorkeutta mitataan perustaajuutena. Se onkin yksi keskeisin puheentutkimuksessa käytetty akustinen parametri. Sen vaihtelut liittyvät moniin eri asioihin, kuten sukupuoleen, ikään ja tunne-, vireys- tai terveydentilaan. Niiden lisäksi perustaajuus liittyy keskeisesti äänentuoton kuormittavuuteen, sillä äänihuuliin kohdistuva kuormitus kasvaa perustaajuuden noustessa. Toisaalta myös perustaajuuden on todettu nousevan lisääntyneen kuormituksen seurauksena. Optimaalisena puhekorkeusalueena voidaan pitää sellaista sävelkorkeusvaihtelualueutta, jossa puheentuotto ja äänen ominaisuuksien vaihtelut ovat vaivattomia ja kuuluvuuden kannalta edullista. Ei ole kuitenkaan olemassa yhtä oikeaa optimaalista sävelkorkeutta, vaan siihen vaikuttavat muun muassa käytetty puhevoimakkuus, puhujan yksilölliset ominaisuudet ja kulttuuri.

Neutraalista tekstiluennasta mitatun keskimääräisen perustaajuuden viikoittaisesta vaihteluista ei näyttäisi olevan tunnettuja raportoituja tutkimustuloksia. Tunnetut perustaajuuden seurantatutkimukset näyttäisivät liittyvän ennen/jälkeen-tutkimuksiin sekä mittausmenetelmien reliabiliteetin arvioimiseen. Joitakin johtopäätöksiä vaihteluiden suuruudesta on voitu tehdä näiden tutkimuksien kontrolliryhmien pohjalta. Kuitenkin suurimmassa osassa näistä tutkimuksista mittaukset on tehty vain kaksi kertaa; ennen ja jälkeen intervention. Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella muun muassa sitä, miten paljon neutraalin tekstiluennan perustaajuuden keskiarvo vaihtelee puolen vuoden aikana mittauskerrasta toiseen. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, ovatko vaihtelut sattumanvaraisia vai onko niissä havaittavissa säännöllisyyttä tai trendiä. Sukupuoli ja erilaisten taustatekijöiden, kuten ilmankosteuden ja nauhoitusajan vaikutukset on pyritty ottamaan huomioon viikoittaisen taustakyselyn muodossa.

2 Kirjallisuus

2.1 Puhekorkeus

Puhekorkeutta voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta. Jotta keskimääräistä puhekorkeutta ja siinä tapahtuvia muutoksia voidaan tulkita, on ensin erotettava siihen liittyvät eri näkökulmat toisistaan. Puheentuottoon liittyvä fysiologia, puheesta syntyvä kuulohavainto ja fysikaalisin keinoin mitattavat akustiset parametrit kuvailevat ihmisääntä eri tavoin. Seuraavissa alakappaleissa näistä näkökulmista perehdytään puhekorkeuden tuottamiseen ja siitä syntyvään sävelkorkeuden kuulohavaintoon.

2.1.1 Äänen perustajuuden fysiologiaa

Puheentuotto on monimutkainen prosessi, ja siihen liittyy monia ääntöelimistön osia ja niiden toimintoja. Nämä ääntöelimistön osiot voidaan pääsääntöisesti lajitella kuuluviksi hengityselimistöön, ääntö- sekä artikulaatiojärjestelmiin ja resonaattoreihin (Seikel *et al.* 2010, 26). Yksinkertaistetusti ääntöelimistön tehtävänä on saada puheentuoton aikana ilma virtaamaan ääntöelimistössä, jotta virtaus voidaan muuttaa äänihuulten avulla nopeiksi ilmanpaineen vaihteluiksi eli ääneksi. Tätä kurkunpäässä syntynyttä ääntä muovataan artikulaation ja resonanssin avulla äänneiksi. (Suomi *et al.* 2006, 22; Raphael *et al.* 2007, 105.) Tällä tavalla muodostuneesta äänestä voidaan havaita puhekorkeus ja –voimakkuus sekä äänenlaatu.

Puheen sävelkorkeutta säädellään kurkunpäässä äänihuulilla. Ne värähtelevät soinnillisia äänneitä tuottaessa, esimerkiksi vokaaliäännön aikana. Äänihuulivärähdys alkaa siitä, kun äänihuulet lähentyvät riittävästi toisiaan kohti. Siitä seurannut äänihuulten alapuolisen ilmanpaineen kasvu pakottaa äänihuulet loitontumaan toisistaan, jolloin ilma pääsee jälleen virtaamaan. Äänihuulten väliin jäävää kapeikkoa kutsutaan yleisesti äänirakoiksi. Virtauksen kiihtymisen ja paineen pienenemisen vuoksi äänihuulet pyrkivät lähentymään ja äänirako jälleen kaventumaan. Äänihuulten palatessa yhteen virtaus katkeaa ja koko prosessi alkaa jälleen alusta. Äännön aikana äänirako siis avautuu ja

sulkeutuu uudelleen ja uudelleen. (Ks. esim. Laukkanen & Leino 2001, 35–38.) Sävelkorkeus määrittyy pääsääntöisesti sen mukaan, miten nopeasti äänihuulet värähtelevät.

Yleisesti ottaen perustaajuuteen vaikuttavat äännön tai puheen aikana tapahtuvat muutokset ääntöelimistön toiminnassa. Esimerkiksi jo pelkästään ääniraon alapuolista painetta kasvattamalla voidaan nostaa perustaajuutta jonkin verran (Titze 2000, 232–233; Laukkanen & Leino 2001, 42; Raphael *et al.* 2007, 80). Sinällään pelkkä paineen lisäys ei ole kovin tehokas tapa. Perustaajuuteen voidaan vaikuttaa äänihuulten pituuden, paksuuden ja jäykkyyden muutoksilla. Pidentämällä ja jäykistämällä äänihuulia perustaajuus nousee, lyhentämällä ja löyhentämällä laskee. Etenkin äänihuulten jäykkyydellä ja värähtelyyn osallistuvalla massalla on merkitystä, sillä pienempi ja jännittyneempi kappale aiheuttaa nopeampaa värähtelyä kuin raskaampi kappale. (Titze 2000, 213–215; Laukkanen & Leino 2001, 42–44; Raphael *et al.* 2007, 86.) Sävelkorkeus vaihtelee puhuessa kielen intonaation (sävelkulku) mukaisesti, jotta esimerkiksi eri lausemuodot voidaan erottaa toisistaan (Titze 2000, 211; Suomi *et al.* 2006, 137).

Keskimääräiseen perustaajuuteen vaikuttavat iän tuomat fysiologiset muutokset, hormonaaliset tekijät sekä sukupuolierot. Merkittävimmät muutokset puheäännessä tapahtuvat lapsuudessa, murrosiässä ja myöhemmin aikuisiässä (Titze 2000, 196). Erityisesti äänihuulten koolla ja kurkunpään rakenteella on merkitystä (Titze 1989), vaikka hormonimuutokset aiheuttavatkin muutoksia etenkin murros- ja vanhuusiässä (Abitbol *et al.* 1999). Vastasyntyneen kurkunpää on kooltaan suurin piirtein kolmannes siitä, mitä se on aikuisiässä (Aronson & Bless 2009, 10). Puheen keskimääräinen perustaajuus laskee kasvukehityksen myötä, kun äänihuulet pitenevät ja kurkunpää kasvaa. Perustaajuus jatkaa tasaista laskuaan aina murrosiän alkuun saakka, minkä jälkeen miesten keskimääräisen perustaajuuden lasku on suurempaa kuin naisilla. Äänihuulet saavuttavat lopullisen kokonsa murrosiän lopussa. (Stathopoulos *et al.* 2011; Titze 1989; Aronson & Bless 2009, 14–17.) Murrosiän jälkeen naisilla on yleensä korkeampi puheääni kuin miehillä, sillä aikuisilla miehillä on fysiologisesti suuremmat äänihuulet kuin naisilla. (Titze 1989; Aronson & Bless 2009, 14–17.)

Naisten ja miesten kehon hormonaaliset muutokset murrosiässä ja sen jälkeen ovat erilaisia. Murrosiän muutokset johtuvat naisilla munasarjojen tuottamista sukupuolihormoneista ja miehillä testosteronituotannon lisääntymisestä. Naisilla murrosiässä alkava kuukautiskierto kestää noin 28 vuorokautta, jonka aikana muun muassa estrogeenin määrä kehossa vaihtelee. Murrosikä kestää kokonaisuudessaan keskimäärin 2–6 vuotta. (Haug *et al.* 2009, 483, 503.) Kuitenkin tuona aikana äänenmurroksen puhkeamisesta sen loppuun kuluu aikaa vain keskimäärin 3–6 kuukautta (Aronson & Bless 2009, 18). Puhekorkeuden on todettu muuttuvan vielä murrosiän jälkeen aikuisiässä sekä miehillä että naisilla. Keskimäärin puheen perustaajuus jatkaa laskuaan vielä pitkälle aikuisiässä. Vaikka naisilla lasku ei ole kokonaisuudessaan yhtä suurta kuin miehillä, on naisilla todettu laskun

jatkuvan vuosissa hieman pidempään (Aronson & Bless 2009 16–17; Stathopoulos *et al.* 2011). Keskimääräisen perustaajuuden muutokset jatkuvat siis koko ihmisiän ajan.

Murrosiässä tapahtuvien muutosten lisäksi myös vanhuudessa tapahtuvat keskimääräisen perustaajuuden muutokset ovat naisilla ja miehillä hieman erilaiset. Stathopoulos *et al.* (2011) havaitsivat tutkimuksessaan, että miehillä keskimääräinen perustaajuus laskee tasaisesti noin 50 ikävuoteen saakka, minkä jälkeen perustaajuus nousi. Naisilla puolestaan keskimääräinen perustaajuus jatkoi laskuaan noin 60 ikävuoteen saakka, mutta nousi hieman 80 ikävuoden jälkeen. Myös muissa tutkimuksissa on saatu samansuuntaisia tuloksia etenkin miesten osalta. Naisilla keskimääräisen perustaajuuden on todettu joko pysyvän suhteellisen samana tai jatkavan edelleen laskuaan vanhuudessa. (Pegoraro Krook 1988; Ma & Love 2010; da Silva *et al.* 2011; Nishio *et al.* 2011.) Naisilla muutokset aikuisiällä johtuvat osittain vaihdevuosista ja niiden tuomista hormonaalisista muutoksista (Abitbol *et al.* 1999; Pontes *et al.* 2005). Vaihdevuosien myötä munasarjojen toiminta heikkenee, jolloin myös sukupuolihormonien tuotanto vähenee. Myös miehillä testosteronituotanto vähenee, mutta muutos ei ole yhtä suuri kuin naisilla. (Haug *et al.* 2009, 505–506.)

2.1.2 Puhekorkeus kuulohavaintona

Puhekorkeuden aistiminen perustuu äänihuulilla tuotetun lähdeäänien perustaajuuden värähtelynopeuteen. Normaalissa puheäänessä sävelkorkeus vaihtelee puhutun kielen intonaatio- ja painotussääntöjen mukaisesti, ja intonaation vaihtelulla lausetasolla ilmennetään useimmiten sitä, onko puhuttu lause väite tai kysymys. Useimmissa kielissä korkeampi sävelkorkeustaso lauseen alussa liitetään kysymyslauseisiin. Etenkin suomen kielessä korkea intonaatio (lausuman alussa) mielletään kysymyslauseisiin ja kyllä/ei-kysymyksiin. Kieliopillisen funktion lisäksi intonaatio heijastaa kieli-kohtaisesti esimerkiksi puhujan persoonaa, asenteita ja sitä, onko kyseessä ehdotus vai käsky. (Suomi *et al.* 2006, 137, 139–140, 240–242.) Sävelkorkeus voi vaihdella myös kielen intonaatiosta poikkeavalla tavalla, jos henkilö esimerkiksi haluaa tarkoituksellisesti painottaa jotain tiettyä sanaa tai kohtaa puheessaan. Lisäksi joissakin tapauksissa puheäänien eri ominaisuudet voivat muuttua tahattomasti. Esimerkiksi ääntä voimistaessa sävelkorkeudella on tapana nousta, ellei sitä pyritä tarkoituksellisesti pitämään matalampana. (Baken & Orlikoff 2000, 169, 173, 192; Rantala 2000, 25–26; Raphael *et al.* 2007, 80.)

Normaali spontaani puhe voi vaihdella 80:stä 500:aan hertsiin. Terve ja normaalikuuloinen ihminen pystyy aistimaan äänivärähtelyjä kuitenkin paljon laajemmin, noin 20:stä 20000:een hertsiin. (Raphael *et al.* 2007, 44.) Myös tätä matalampia värähdyksiä on mahdollista kuulla, mutta ne muistuttavat lähinnä erillisiä poksahduksia. Puheäänestä havaittu keskimääräinen sävelkorkeus viit-

taa usein siihen sävelkorkeuteen, jota henkilö useimmiten käyttää puheensa aikana. Sävelkorkeuden vaihteluiden määrä tai laajuus puheessa puolestaan viittaa siihen, havaitaanko puhe vivahteikkaana vai monotonisena. (Biemans 2000, 33.) Normaalissa puheäännessä sävelkorkeuden vaihtelut ovat yleensä selkeitä. Muutokset äänenlaadussa voivat kuitenkin vaikuttaa havaittuun sävelkorkeuteen. Vuotoisessa äännössä, jossa äänirako jää normaalia avonaisemmaksi, sävelkorkeuden havainto voi olla epämääräinen. Puristeisessa äännössä, jossa äänirako sulkeutuu kokonaan ja voimakkaasti, sävelkorkeus voidaan kuulla korkeampana kuin normaalissa äännössä. (Suomi *et al.* 2006, 39–40.)

Yksilön käyttämän puhekorkeuden ja luonteenpiirteiden välille on yritetty löytää joitakin yhteyksiä stereotypia- ja mielikuvatutkimuksissa. On esimerkiksi pystytty havaitsemaan, että kuulija saattaa yhdistää tavallista useammin positiivisia mielikuvia korkeaäänisiin naisiin ja matalalta puhuviin miehiin. (Biemans 2000, 38.) Stereotypiatutkimuksissa on kulttuurisia eroja, mutta niiden tarkempi selventäminen ei ole tämän tutkielman kannalta oleellista. Puheääni saattaa herättää kuulijassa mielikuvia myös erilaisista tunnetiloista (emootioista) kuten vihasta, ilosta, surusta tai innostumisesta. Tunteiden ilmaiseminen voi antaa vihjeitä puhujan kokemasta tilanteesta. Innostus ja viha ovat tunteita, jotka liittyvät psykofysiologiseen kiihkoutumiseen (engl. *arousal*) ja suurempaan lihasten aktivoitumiseen. Niillä on taipumusta nostaa etenkin puhevoimakkuutta ja –korkeutta. Vähäinen psykofysiologinen kiihkoutuminen liitetään puolestaan usein esimerkiksi suruun, jossa puhekorkeus laskee. (Laukkanen *et al.* 1996; Waaramaa *et al.* 2010.) Tunteiden ilmaisemiseen ja tunnistamiseen liittyy puhekorkeuden lisäksi myös muita puheen piirteitä, kuten äänenlaatu, tempo, tauotukset ja rytmi.

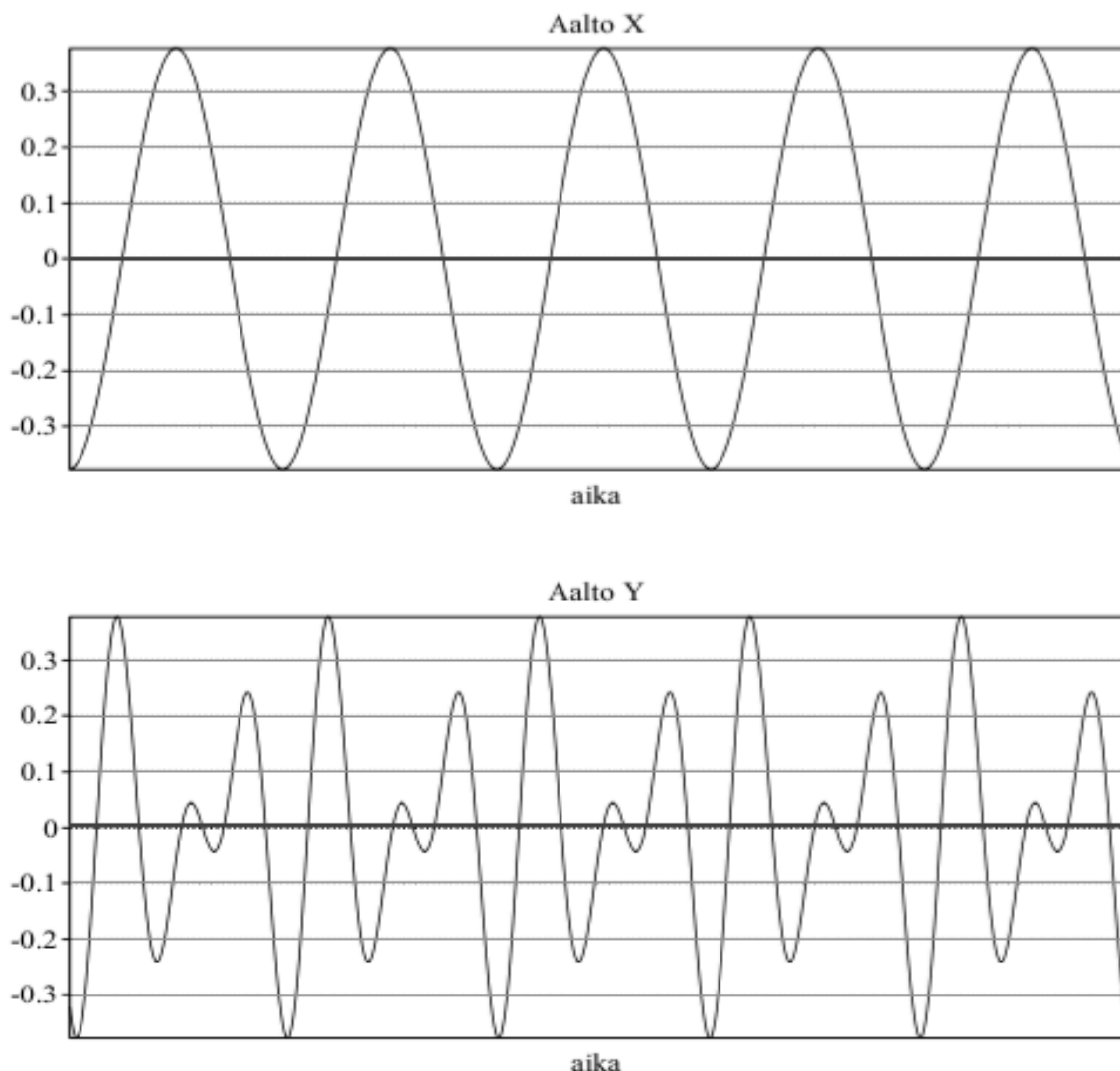
2.2 Perustaajuus

Puheentutkimuksessa ihmisääntä voidaan kuvata sekä fysiologisesta, perkeptuaalisesta että akustisesta näkökulmasta. Akustiset mittaukset antavat tutkijalle numeerisia vihjeitä siitä, mitä puheentuotossa mahdollisesti tapahtuu ja millaisena puhe voidaan kenties havaita. Seuraavissa alakapitoleissa käsitelläänkin perustaajuutta akustisesta näkökulmasta. Akustisia termejä ei pidä sekoittaa puhekorkeuden fysiologisiin piirteisiin tai kuulohavaintoon. Akustinen tutkimus keskittyy äänen fysikaalisiin ominaisuuksiin ja niiden suhde puheentuottoon tai –havaitsemiseen ei ole suora.

2.2.1 Perustaajuuden mittaaminen

Ääni on jonkin kappaleen värähdysliikkeen aiheuttamaa ilmanpaineen vaihtelua. Ihmisääni syntyy pääasiallisesti äänihuulivärähtelynä kurkunpäässä, mutta ääntä voidaan tuottaa myös ääntöväylän

muilla pehmeillä kudoksilla kuten huulilla tai kielellä. (Raphael *et al.* 2007, 105.) Akustisessa signaalissa ääni näyttää yksinkertaisimmillaan sinimuotoiselta värähtelyltä, jossa värähdyslaajuus (*amplitudi*) ja -kesto (*taajuus*) ovat säännöllisiä värähdysjaksosta (*periodi*) toiseen. Taajuus aistitaan sävelkorkeutena ja amplitudi äänen voimakkuutena. Kurkunpäässä äänihuulilla tuotettu ihmisääni sisältää kuitenkin hyvin monia taajuuskomponentteja. Se ei siis siten ole yksinkertaista sinimuotoista värähtelyä. (Baken & Orlikoff 2000, 146–147; Laukkanen & Leino 2001, 68–71; Suomi *et al.* 2006, 90; Raphael *et al.* 2007, 32–44.) Kompleksinen ääni koostuu useista siniäänikomponenteista. Se on joko periodista tai epäperiodista sen mukaan, ovatko siniäänikomponentit kerrannais-suhteessa toisiinsa. (Laukkanen & Leino 2001, 70-71). Kuvassa 1 on havainnollistettu yksinkertaisen siniaallon ja kompleksisen aallon ero.



Kuva 1: Aalto X kuvastaa yksinkertaista siniaaltoa, joka värähtelee 100 Hz:n taajuudella. Aalto Y puolestaan on kahdesta eri taajuudesta (100 ja 200 Hz) koostuva periodinen kompleksinen aalto. Kuva tehty Praat-ohjelmalla.

Epäperiodisessa kompleksisessa äänessä siniäänikomponentit eivät ole kerrannaissuhteessa toisiinsa (Laukkanen & Leino 2001, 71). Periodisen kompleksisen äänen siniäänikomponentit sen sijaan ovat kerrannaissuhteessa alimpaan osavärähtelyyn eli perustaajuuteen (Titze 2000, 131; Laukkanen & Leino 2001, 70; Raphael *et al.* 2007, 40–41). Se kuvaa koko kappaleen värähtelytaajuutta, kun taas osasävelet kappaleen osien värähtelyä (Laukkanen & Leino 2001, 70). Akustisissa mittauksissa äänihuulten värähtelytaajuutta kuvaakin perustaajuus (F_0 , engl. *fundamental frequency*). Sen yksikkönä käytetään useimmiten hertsiä (Hz), jossa yksi hertsi vastaa yhtä värähdystä sekunnissa. Mitä enemmän periodeja mahtuu sekuntiin, sitä suurempi on hertsimäärä. (Baken & Orlikoff 2000, 147–148; Biemans 2000, 33; Titze 2000, 97.) Perustaajuus on siis fysikaalinen mitattavissa oleva ilmiö, ja subjektiivinen kuulohavainto puhekorkeudesta perustuu äänihuulten värähtelynopeuteen ja siten perustaajuuteen.

Akustiset mittaukset antavat objektiivisia tuloksia äänen piirteistä. Numeeristen arvojen avulla voidaan todeta sellaisia muutoksia, joita ei välttämättä huomata subjektiivisesti kuuloaistimuksena. Perustaajuuden mittaaminen onkin yleistä puheentutkimuksessa, ja sitä pidetään käyttökelpoisena myös kliinisiin tutkimustarkoituksiin (Hirano 1989; Biemans 2000, 34; Behrman 2005). Perustaajuuden tulosarvojen vertaileminen keskiarvoihin voi antaa vihjeitä siitä, johtuuko esimerkiksi perkeptuaalisesti havaittu poikkeavuus äänessä erilaisesta perustaajuudesta vai kenties joistain muista poikkeavista parametreista. (Baken & Orlikoff 2000, 168.) Taajuusvaihteluita voidaan kuvata lineaaristen hertsiarvojen lisäksi myös musiikista tutulla sävelasteikolla oktaaveina ja puolissävelaskeleina. Logaritmisessa asteikossa oktaavi tarkoittaa taajuuden kaksinkertaistumista ja puolissävelaskel on oktaavin kahdestoistaosa. (Esim. Biemans 2000, 33.) Perustaajuuden keskiluvuista hertseinä ja puolissävelaskeleina on kerrottu lisää kappaleessa 2.2.2.

Normaalissa puheessa tai neutraalissa tekstiluennassa perustaajuus vaihtelee kielen intonaation ja painotusten mukaisesti, kuten jo aiemmin todettiin. Puheentutkimuksen kannalta onkin mielenkiintoista mitata etenkin keskimääräistä (engl. *average*) perustaajuutta ja sen vaihtelua (engl. *variability*). Kenties käytetyin keskiluku perustaajuuden mittaamisessa on keskiarvo (engl. *mean F_0*). Se on mitattujen taajuusarvojen summa jaettuna taajuuksien lukumäärällä. Keskiarvon lisäksi voidaan mitata mediaani (engl. *median F_0*), joka on joko nousevassa tai laskevassa järjestyksessä olevien taajuusarvojen keskimäinen arvo. (Baken & Orlikoff 2000, 196.) Perustaajuuden vaihtelu voidaan ilmaista joko vaihteluvälinä (engl. *F_0 range*) tai keskihajontana (engl. *F_0 standard deviation*). Vaihteluväli lasketaan perustaajuusarvojen maksimin ja minimin erotuksena. Keskihajonta kertoo taajuusarvojen ryhmittymisestä keskiarvon ympärille. (Baken & Orlikoff 2000, 171–172; Biemans 2000, 35.)

Perustaajuutta mitataan erilaisista ääni- tai puhenäytteistä kuten vokaaliäänöstä, spontaanista puheesta ja luennasta. Perustaajuuden mittaamista sovelletaan myös äänen hälypitoisuuden ja perturbaation tutkimisessa. Ne voivat kertoa esimerkiksi äänen käheydestä tai muusta äänentuottoon liittyvästä ongelmasta (esim. Laukkanen & Leino 2001, 178–179). Se, millaisesta näytteestä mittaukset tehdään, vaihtelee sen mukaan, millaisista äänen akustisista parametreista ollaan kiinnostuneita. Hälypitoisuutta ja perturbaatiota voidaan helposti tarkastella vokaalinäytteestä. Luentanäyte ja spontaani puhe sen sijaan voivat olla hyviä puhenäytteitä keskimääräisen perustaajuuden ja sen vaihtelun tutkimisessa. (Aronson & Bless 2009, 143.) Pidemmässä puhutuissa näytteissä on intonaatiosta johtuvaa suurempaa sävelkorkeuden vaihtelua kuin lyhyessä vokaaliäänössä. Akustisten mittausten ohella puheääntä voidaan tutkia myös perkeptuaalisesti eli kuunteluanalyysina. Perustaajuuden tutkimustuloksia vertaillen olisi syytä ottaa huomioon mahdolliset vertailtavuuteen liittyvät tutkimukselliset taustatekijät. Erot tutkimustuloksissa voivat johtua muun muassa erilaisista tutkimusmenetelmistä ja –näkökulmista, koehenkilöiden taustoista tai kieli- ja kulttuurieroista. Perustaajuuden mittaustuloksiin on todettu vaikuttavan esimerkiksi se, onko tulos saatu neutraalista tekstiluennasta vai spontaanista puheesta. Spontaanin puheen keskimääräisen perustaajuuden on todettu joissakin tutkimuksissa olevan matalampi kuin neutraalin luennan (mm. Britto & Doyle 1990; Zraick *et al.* 2000; Baker *et al.* 2008), mutta myös päinvastaisia tuloksia on esitetty (Lindström *et al.* 2010).

Vertailevuuden vuoksi etenkin pitkäaikaisseurannoissa ja ennen/jälkeen–tutkimusasetelmissä voi olla hyödyllisempää käyttää luettua neutraalia tekstiä tutkimusmateriaalina, sillä luentanäyte on sisällöltään samanlaista nauhoituskerrasta toiseen. Valmis teksti ei myöskään vaadi niin paljon ajatustyötä kuin jatkuva spontaanin puheen tuottaminen, mikä saattaa edesauttaa koehenkilöä esimerkiksi rytmittämään hengitystauot puheeseensa helpommin. (Wang *et al.* 2010.) Lisäksi neutraalin tekstiluennan voidaan olettaa heijastavan enemmän puheen eri ominaisuuksien vaihteluita ja myös niissä ilmeneviä ongelmia. Yksi tällainen ongelma voi olla esimerkiksi epäoptimaalinen puhekorkeus. Normaali puheääni tuotetaan yleensä modaalirekisterissä, jossa äänirako sulkeutuu tiiviisti ja koko pituudeltaan. Optimaalinen sävelkorkeusalue, jolloin puheentuotto on kaikin puolin vaivattominta, voidaan sijoittaa modaalirekisterin keskivaiheille. Epäoptimaalinen puhekorkeus voi aiheuttaa esimerkiksi vaikeuksia tuottaa matalinta mahdollista ääntä. Se on narinaa lukuun ottamatta henkilön matalinta äänihuulilla tuotettua ääntä. Epäoptimaalisuuteen liittyy lisäksi äänen väsymisen ja äänihuulten kudosaaurioiden riski. Äänihuulten värähtelytaajuuden kasvun myötä äänirako sulkeutuu useammin ja voimakkaammin. Normaalisessa puheäännessä keskimääräinen perustaajuus on noin kuusi puolissävelaskelta matalimmasta mahdollisesta äänestä. (Laukkanen & Leino 2001, 46, 54,

108–109, 149–150.) Matalin mahdollinen ääni ja optimaalinen puhekorkeus ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä, jolloin niihin liittyvien tarkkojen keskilukujen arvioiminen on hankalaa.

2.2.2 Perustaajuuden keskilukuja

Suurelta osallistujajoukolta mitatut keskiarvotulokset ovat hyvin suuntaa antavia. Suuri osallistujajoukko häivyttää pientä joukkoa paremmin osallistujien yksilöllisten ominaisuuksien vaikutuksia keskiarvotuloksiin. Taulukoissa 1 ja 2 (s. 10–11) on listattu perustaajuuden raportoituja mittaustuloksia aiemmista tutkimuksista. Naisilta mitatut tulokset on esitelty taulukossa 1 ja taulukossa 2 on vastaavat tulokset miesten osalta. Esitetyt tulokset ovat perustaajuuden keskiarvoja ja niiden keskihajontoja. Taulukoihin on pyritty keräämään sellaisia mittaustuloksia, jotka on saatu aikuisten osallistujien tekstiluennasta habituaaliselta korkeudelta ja voimakkuudelta. Siten ne olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia tämän tutkielman tarkoitusperien kanssa. Suurin osa taulukoiden tutkimuksista keskittyivät noin 20–50-vuotiaiden äänenkäyttöön. Tulosten raportoimistavan mukaan taulukoihin on pyritty jaottelemaan tulokset ikäryhmittäin.

Taulukko 1: Raportoituja mittaustuloksia täysi-ikäisten naisten luennan keskimääräisestä perustaaajuudesta. Lkm = osallistujien lukumäärä. Iän ilmoitetut tulokset ovat joko osallistujien ilmoitettujen ikien vaihteluväli tai keskiarvo. Keskiarvotuloksen keskihajonta on ilmoitettu sekä hertseinä että puolisävelaskeleina.

Tutkimusryhmä	Lkm	Kieli	Ikä	F0 (Hz)	F0 sd (Hz)	F0 sd (psa)
Lass & Brown 1978	15	amerikanenglanti	21	197	18	1,5
Pegoraro Krook 1988	35		20–29	196	26	2,2
	100	ruotsi	30–39	195	19	1,6
	83		40–49	190	20	1,7
Britto & Doyle 1990	20	kanadanenglanti	24	199	11	0,9
Brown <i>et al.</i> 1991	20		20–35	192	21	2,0
	10	amerikanenglanti	40–50	195	35	3,4
Leino <i>et al.</i> 2008	189	suomi	26	194	17	1,5
Ma & Love 2010	12		20–32	197	16	1,4
	11	englanti	70	171	15	1,5
Da Silva <i>et al.</i> 2011	30		20–35	203	25	2,0
	30	portugali	60–82	189	18	1,6

Taulukossa 1 esitettyjen tutkimustulosten perusteella naisten keskimääräinen perustaaajuus tekstiluennassa näyttäisi vaihtelevan noin 171 ja 203 Hz:n välillä keskiarvon ollessa noin 193 Hz. Keskihajonta on noin 20 Hz / 1,8 puolisävelaskelta.

Taulukko 2: Raportoituja mittaustuloksia täysi-ikäisten miesten luennan keskimääräisestä perustaajuudesta. Lkm = osallistujien lukumäärä. Iän ilmoitetut tulokset ovat joko osallistujien ilmoitettujen ikien vaihteluväli tai keskiarvo. Keskiarvotuloksen keskihajonta on ilmoitettu sekä hertseinä että puolisisävelaskeleina.

Tutkimusryhmä	Lkm	Kieli	Ikä	F0 (Hz)	F0 sd (Hz)	F0 sd (psa)
Lass & Brown 1978	15	amerikanenglanti	21	120	17	2,3
Pegoraro Krook 1988	7		20–29	112	8	1,2
	20	ruotsi	30–39	110	12	1,8
	12		40–49	108	14	2,1
Britto & Doyle 1990	20	kanadanenglanti	25	115	20	2,8
Brown <i>et al.</i> 1991	15	amerikanenglanti	20–35	118	17	2,6
	15		40–50	100	14	2,6
Pegoraro Krook & Castro 1994	150	portugali	17–30	135	18	2,2
Leino <i>et al.</i> 2008	63	suomi	23	110	15	2,2
Ma & Love 2010	11	englanti	20–32	114	12	1,7
	12		70	115	19	2,6

Kuten taulukon 2 tuloksista voi päätellä, näyttäisi miesten keskimääräinen perustaajuus olevan vajaa 100 Hz matalampi kuin naisilla. Miesten keskimääräinen perustaajuus on noin 114 Hz, ja se vaihtelee noin 100 ja 135 Hz:n välillä. Perustaajuuden keskihajonta on noin 15 Hz / 2,2 puolisisävelaskelta. Naisilla perustaajuuden keskihajonta on taulukoiden tulosten mukaan hieman suurempi hertseinä, mutta pienempi puolisisävelaskeleina. Kuten jo aikaisemmin todettiin, hertsi on lineaarinen arvo ja puolisisävelaskel logaritminen. Logaritmisien puolisisävelasteikon avulla on mahdollista normalisoida nais- ja miespuhujien tuottamien hertsiarvojen erot vertailukelpoisiksi keskenään (Suomi *et*

al. 2006, 146). Oktaavi on taajuuden kaksinkertaistuminen ja puolisävelaskel sen kahdestoistaosa. Samankokoinen intervalli sävelaskeleina on siten hertsimäärältään erisuuruinen sen mukaan, millä taajuusalueella intervalli tapahtuu. (Biemans 2000, 33–35; Moore 2007, 479–480.) Esimerkiksi pianosteikolla C:n ja c:n välinen taajuusero on noin 65 Hz, mutta oktaavia korkeammalta mitatun c:n c¹:n välinen taajuusero on noin 131 Hz (Laukkanen & Leino 2001, 55). Naisten perustaajuuden keskiarvon keskihajonta voi siis olla miesten vastaavaa tulosta pienempi puolisävelaskeleina mitattuna, koska sävelaskeleiden väliset taajuuserot ovat suuremmat korkeammalla taajuusalueella.

Taulukoihin 1 ja 2 koottujen tutkimusten perusteella voi olla mahdollista havaita joitakin kulttuurisia tai kielellisiä eroja keskimääräisessä perustaajuudessa, vaikka erot eivät olleetkaan kovin selkeitä tai suuria. Kielellisten erojen sijasta useissa taulukoiden 1 ja 2 esitetyissä tutkimuksissa on selkeämmin havaittavissa ikääntymisen vaikutukset perustaajuuteen. Jaoteltuna karkeasti tulokset kolmeen eri ikäryhmään saadaan tulosten keskiarvoiksi 17–39-vuotiaille naisille noin 197 Hz ja miehille 118 Hz. Hieman heistä vanhemmilla, eli 40–50-vuotiailla naisilla keskimääräinen perustaajuus olisi noin 193 Hz ja miehillä 104 Hz. Yli 50-vuotiailla naisilla keskimääräinen perustaajuus on matalampi kuin nuoremmilla ikäryhmillä, noin 180 Hz. Yli 50-vuotiaiden miesten osalta taulukossa 2 oli vain yksi tutkimus. Sen mukaan miesten perustaajuus nousisi vanhuudessa noin 115 Hz:n paikkeille. Kokonaisuudessaan nuoremmilla näyttäisi olevan keskimäärin hieman korkeampi keskimääräinen perustaajuus kuin vanhemmilla ikäryhmillä.

2.3 Perustaajuus ja ääniergonomia

Ergonomia on ihmisen toiminnan mukauttamista hyvinvoinnin ja suorituskyvyn parantamiseksi. Sen tarkoituksena on sopeuttaa työ sekä työvälineet ja –ympäristö vastaamaan yksilön tarpeita sekä parantaa terveyttä, hyvinvointia ja tehokasta toimintaa. Salan *et al.* (2011, 10) oppaassa on määritelty ääniergonomian tarkoittavan hyvän äänen tuoton ja puhumisen mahdollisuuksien parantavia toimenpiteitä. Se pyrkii ehkäisemään äänihäiriöiden aiheuttamaa haittaa vaikuttamalla sekä puhujaan että puhumisympäristöön. Heidän mukaansa ääniergonomian tavoitteena on (ääntöelimistön vaatimukset huomioimalla) saada aikaan mahdollisimman hyvä ääntöelimistön toimintakyky. Ääniergonomiasta voi olla puhujalle apua sekä normaaleissa arkitilanteissa että äänellisesti haastavissa työympäristöissä. Ääniergonomiaan liittyvää äänikoulutusta ja –harjoituksia onkin tutkittu ammatillisten äänenkäyttäjien työympäristöissä. Ammatillisia äänenkäyttäjää ovat sellaiset työntekijät, jotka ovat riippuvaisia erityisestä äänenkäytöstä ensisijaisena työvälineenään (Titze *et al.* 1997). Äänityöntekijöiden äänenlaadun tulee lisäksi olla vähintään hyvä ja kestävä (Sala *et al.* 2011, 58).

”Hyvään ääneen” liittyy tarkoituksenmukaisuus, joka puolestaan voidaan jakaa perkeptuaaliseen, kommunikatiiviseen ja fysiologiseen näkökulmaan. Perkeptuaalisesti se tarkoittaa puhetta, joka on vaivattomasti kuultavissa ja jossa sanoista saa hyvin selvän. Kommunikatiivinen liittyy puheen ilmaisevuuteen ja sen parametrien vaihteluihin, kuten sävelkorkeuden ja puhevoimakkuuden vaihteluiden suhteuttamiseen puheen sisältöön. Fysiologinen tarkoituksenmukaisuus tarkoittaa puheentuoton taloudellisuuden periaatetta. Taloudellisessa puheentuotossa on pyrkimys tuottaa kuuluva ja ilmaisukykyinen ääni vähäisellä lihastyöllä ja limakalvokudoksen kuormituksella. (Laukkanen & Leino 2001, 14–15.) Äänihäiriöitä voivat aiheuttaa sekä yksilölliset tekijät että ympäristötekijät. Salan *et al.* (2011, 19) mukaan yksilöllisiä tekijöitä ovat muun muassa äänenkäyttö- ja elämäntavoista johtuvat tekijät sekä äänenkäyttötaito. Ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi huono ilmanlaatu ja työluonteesta johtuva pitkään jatkunut yhtäjaksoinen puhuminen. Seuraavissa alakappaleissa onkin käsitelty joidenkin yksilöllisten ja ympäristöön liittyvien tekijöiden vaikutuksia ääneen ja puheeseen tarkemmin.

2.3.1 Ääniharjoitusten vaikutukset

Äänenharjoittelu liittyy yleensä jonkin tavoiteltavan äänellisen piirteen omaksumiseen. Äänen lämmittely puolestaan voi edesauttaa esimerkiksi valmistautumaan äänellisesti vaativaan tehtävään. Harjoittelun ja lämmittelyn vaikutuksista äänenkäyttöön onkin julkaistu monia tutkimuksia. Tutkimusasetelmat vaihtelevat eri äänenkäyttäjryhmistä eri harjoitusmetodeihin. Pääsääntöisesti äänenharjoitukseen ja -koulutukseen liittyvät tutkimukset osoittavat äänenlämmittelyllä ja -harjoittelulla olevan positiivisia vaikutuksia äänenkäyttöön niin akustisesti kuin perkeptuaalisesti mitattuna. Todettujen vaikutusten vuoksi puheentutkimisessa olisikin hyvä ottaa huomioon näiden asioiden vaikutus osallistujien äänenkäyttöön. Siten esimerkiksi äänen lämpenemiseen liittyvät äänelliset muutokset voitaisiin ottaa paremmin huomioon tutkimuksia suunniteltaessa ja tuloksia tulkittaessa.

Äänen lämpenemisen myötä äänen- ja puheentuotossa tapahtuu erilaisia muutoksia fysiologisesti, akustisesti sekä perkeptuaalisesti. Fysiologisesta näkökulmasta katsoen äänen lämmitessä ääntötapa muuttuu hieman kiinteämpään tai puristeisempaan suuntaan. Muutos kiinteämpään ääntötapaan voi johtua esimerkiksi äänihuulten limakalvojen viskoelastisista muutoksista. (Vintturi *et al.* 2001.) Muuten puristeinen ääntötapa viittaa tiiviimpään äänihuulisulkeumaan äännön aikana (esim. Verdolini *et al.* 1998). Akustisesta näkökulmasta äänen lämmittely ja ääniharjoitukset nostavat etenkin perustaaajuutta (Mendes *et al.* 2003; Laukkanen *et al.* 2004b; Ilomäki *et al.* 2008; Bele *et al.* 2010). Äänen lämmittelyn onkin todettu laajentavan äänialaa erityisesti lauluäänessä. Kuitenkaan lauluharjoittelulla ei ole todettu olevan vastaavanlaisia vaikutuksia puheääneen. (Mendes *et al.*

2003; Mendes *et al.* 2004.) Perkeptuaalisesti arvioiden äänen on todettu olevan harjoittelun ja lämmittelyn jälkeen kiinteämpi, soinnikkaampi ja parempi (esim. Laukkanen *et al.* 2004b; Ilomäki *et al.* 2008).

Äänen lämmittelyn myötä tapahtuvat muutokset eivät ole aivan yksiselitteisiä ja yleistettävissä olevia. Äänen laadun kuulonvarainen havainto sekä akustisten parametrien muutokset eivät ole täysin yhteneväisiä, sillä äänen lämpenemiseen liittyy monia yhtäaikaista akustisia muutoksia yksilökohtaisesti (Laukkanen *et al.* 2004b; Bele *et al.* 2010). Äänen lämpenemistä ei siis voida perustella esimerkiksi pelkästään perustaajuuden nousulla, koska samansuuntaisia tuloksia on saatu myös äänenrasituksen yhteydessä (esim. Laukkanen *et al.* 2004a; Ilomäki *et al.* 2008). Lisäksi perustaajuuden nousun on todettu korreloivan puhevoimakkuuden kanssa (esim. Raphael *et al.* 2007, 80), joten äänenlämmittelyyn liittyvissä tutkimuksissa tulisi ottaa huomioon myös voimakkuuden nousu harjoittelun tai kuormituksen jälkeen. Myös tietyt ympäristötekijät voivat vaikuttaa äänen lämmittelyn aikana. Esimerkiksi matalan ilmankosteuden on todettu lisäävän äänen puristeisuutta (Vintturi *et al.* 2001). Ilmankosteuden vaikutuksista on kerrottu lisää kappaleessa 2.3.3.

Ääniharjoittelulla on todettu olevan pitkäaikaisia vaikutuksia äänenkäyttöön. Leinon ja Kärkäisen (1995) tutkimuksessa kahdeksan kuukautta kestäneen äänenharjoittelun vaikutukset olivat havaittavissa vielä kaksi vuotta harjoitusjakson jälkeen, tosin hieman heikompina. Puheentutkimuksessa ääniharjoittelun suhteen kokeneiden äänenkäyttäjien tulokset saattavatkin siis olla erilaisia muiden osallistujien tuloksiin verrattuna. Kokeneet äänenkäyttäjät ja äänikoulutukseen osallistuneet osaavat ehkäpä tunnistaa rasituksesta johtuvia muutoksia omasta äänestään ja siten kompensoida rasitusta muuttamalla äänenkäyttötapaansa. Esimerkiksi Laukkasen *et al.* (2004a) tutkimuksessa kokeneiden äänenkäyttäjien keskimääräinen perustaajuus pysyi koko rasitustestin ajan matalampana verrattuna kokemattomiin äänenkäyttäjiin.

2.3.2 Äänenrasitus

Hyvin toimiva ääni on välttämätön työkalu ääntä kuormittavissa ammateissa. On arvioitu, että noin 5–10 % Yhdysvaltojen työvoimasta on äänenkäytöllisesti raskaassa äänityössä (Titze *et al.* 1997). Suomessa vuonna 1994 tehdyn selvityksen mukaan runsaasti puhumista edellyttävissä ammateissa työskentelee 36 prosenttia koko työvoimasta (Laukkanen & Leino 2001, 233). Näiden raskaassa ääniammateissa työskentelevien työkykyä uhkaavat ammatilliset äänihäiriöt ovatkin suhteellisen yleisiä. Äänityöntekijät, kuten opettajat ja puhelinmyyjät, saattavat kokea verbaalisen viestinnän olevan lähes mahdotonta ilman hyvin toimivaa ja kestäväää ääntä. Äänihäiriöt voivat vaikeuttaa työntekoa ääniammateissa, aiheuttaa epämukavuutta ja lisätä psykososiaalista stressiä. (Titze *et al.* 1997;

Vilkman 2004.) Yhdysvalloissa tehdyn selvityksen mukaan yli puolet opettajista (49 % vastaajista) ilmoitti kokeneensa jossain vaiheessa työuraansa, ettei heidän äänensä toiminut kunnolla tai kuulostanut normaalilta. He kokivat kyseisten äänioireiden häirinneen vuorovaikutusta työpaikalla. Naiset ilmoittivat kokeneensa äänioireita useammin kuin miehet. Suomessa äänihäiriöihin liittyvään kyselyyn vastanneista 124 opettajasta 28 prosenttia ilmoitti kärsivänsä äänioireista usein tai kerran viikossa. Vähiten oireita ilmeni niillä opettajilla, jotka olivat saaneet äänenkäyttöön liittyvää koulutusta. (Ilomäki *et al.* 2005.)

Äänen väsyminen on subjektiivinen kokemus, joka viittaa usein äänenkäytön negatiivisiin tuntemuksiin (Vilkman 2004). Se onkin yksi yleinen toiminnallinen äänihäiriö, joka ilmenee usein muiden äänioireiden yhteydessä. Pitkäaikaisen kuormituksen kuten pitkään jatkuneen puhumisen jälkeen ääni saattaa tuntua väsyneeltä ja äänentuotto työläältä (mm. Stemple *et al.* 1995; Eustace *et al.* 1996; Laukkanen *et al.* 2004a). Solomonin ja DiMattian (2000) mukaan voimakkuudeltaan hiljaisimman ja perustaaajuudeltaan korkean äänen tuottoon tarvitaan pitkäaikaisen kuormituksen jälkeen suhteessa suurempaa ilmanpainetta äänihuulivärähdyksen aikaansaamiseksi. Kurkunpäässä voi väsymyksen lisäksi ilmetä erilaisia tuntemuksia kuten kipua tai kutitusta (Stemple *et al.* 1995; Laukkanen *et al.* 2004a). Oireet ja niiden kuvailu ovat kuitenkin hyvin subjektiivisia, minkä vuoksi tarvitaan tutkimustietoa äänenrasituksen fysiologisista, akustisista ja perseptuaalisista muutoksista.

Krooninen kurkunpään väsymys voi johtua monenlaisista patofysiologisista mekanismeista (Stemple *et al.* 1995). Äänen väsymisen fysiologisia oireita on tutkittu muun muassa videostroboskopiitutkimuksissa, jossa tarkkaillaan äänihuulten limakalvojen liikkeitä äännön aikana. Näitä todettuja kurkunpään fysiologisia oireita kuormituksen jälkeen ovat muun muassa muutokset ääniraon muodossa (Stemple *et al.* 1995; Eustace *et al.* 1996; Mann *et al.* 1999), punoitus, turvotus sekä epä säännöllinen värähtelynopeus ja värähtelyliikkeen laajuus (Mann *et al.* 1999). Yiun ja Chan (2003) mukaan kurkunpään väsymisestä seurannut korkeimpien sävelien tuottamisen vaikeus saattoi johtua muutoksista lihasten joustavuudessa, pituudessa ja koossa. Kuulonvaraisesti havaittavissa olevia rasituksen oireita ovat mm. voimakkuuden ja kirkkauden väheneminen (Laukkanen & Leino 2001, 105). Rasituksen yhteydessä äänenlaadun on todettu muuttuvan puristeisemmaksi ja perustaaajuuden nousevan (Vilkman 2004). Joissain tutkimuksissa on tosin havaittu joitakin eroja sukupuolten välillä äänen rasitukseen liittyen. Naisilla rasitus on näkynyt etenkin äänen suurempana puristeisuutena, kun taas miehillä tulokset ovat olleet hieman epäselvempiä tai toisinaan viitanneet vuotoisuuteen (esim. Laukkanen & Kankare 2006).

Naiset ovat miehiä alttiimpia äänihäiriöille sukupuolesta johtuvien kurkunpään rakenteellisten erojen vuoksi. Äänihuuliin kohdistuva törmäyspaine on suurempi, kun sama kuorma kohdistuu pienemmälle pinta-alalle. Myös liikelaajuudella ja -taajuudella on merkitystä äänihuuliin kohdistuvaan

törmäyspaineeseen. (Titze 2000, 34, 51–52.) Naisilla rakenteellisesti pienemmässä kurkunpäässä äänihuulten liikelaajuus lienee pienempi kuin miehillä, mutta liiketaajuuden ollessa suurempi äänihuulet törmäävät toisiinsa useammin. Kappaleessa 2.2.2 esitettyjen taulukoiden 1 ja 2 (s. 10–11) mukaan naisten keskimääräinen perustaajuus olisi noin 193 Hz ja miesten 114 Hz. Tämä tarkoittaa sitä, että naisilla äänihuulet törmäävät toisiinsa melkein kaksinkertaisesti samassa aikayksikössä verrattuna miehiin. Lisäksi törmäyspaine kohdistuu pienempään pinta-alaan, sillä naisilla on pienemmät äänihuulet. Nämä rakenteelliset ja toiminnalliset erot näyttäisivätkin selittävän naisten ja miesten välisen eron ilmoitettujen äänioireiden määrän suhteen.

Ääniongelmiin voi toisinaan liittyä poikkeava perustaajuus. Puhujalle liian korkea tai matala puheääni lisää kurkunpään lihasten kuormitusta. Erityisesti liian korkeaan puheääneen voi liittyä äänen väsymistä ja äänihuulten kudovaurioita. (Laukkanen & Leino 2001, 108.) Kynnyspaine kasvaa perustaajuuden nousun myötä (Titze 2000, 112–113), jolloin korkeampi ääni on kuormittavampi äänentuoton kannalta. Lisäksi perustaajuuden nousuun liittyy äänihuulten värähtelyiden ja siten törmäysmäärän lisääntyminen. Perustaajuuden kuormittavuuteen liittyy Leinon (1999) mukaan myös äänentuottotapa. Korkeita säveliä on mahdollista tuottaa myös hyvin kevyesti, kun taas liian matalassa äänessä puolestaan puhuja saattaa kompensoida puuttuvaa voimaa tuottamalla ääntä puristeisesti. Epäoptimaalinen puhekorkeus saattaa kuulonvaraisesti havaittuna ilmetä sävelkorkeuden vaihtelukyvyyn ja äänen laadun heikentymisenä. (Laukkanen & Leino 2001, 108–110.)

Pelkkä akustisen arvon muutos keskimääräisessä perustaajuudessa ei välttämättä riitä kertomaan äänessä tapahtuneista muutoksista. Perustaajuuden muutokset eivät aina liity äänenrasitukseen, vaan ne voivat viitata esimerkiksi äänen lämpenemisen (Vilkman *et al.* 1999) lisäksi myös stressiin (Aronson & Bless 2009, 170). Laukkasen *et al.* (2004a) kuormitustutkimuksessa perustaajuus nousi 45 minuuttia kestäneen luennan aikana. Heidän mukaansa perustaajuuden nousu voi johtua suuremmasta kurkunpään lihasten aktiivisuudesta kuormituksen aikana. Luennan viiden ensimmäisen minuutin aikana tapahtunut perustaajuuden lasku sen sijaan johtui todennäköisesti äänen lämpenemiseen liittyvistä akustisista ja fysiologisista muutoksista. Osallistujien tuli säilyttää sama puhevoimakkuus luennan aikana. Muissa kuormitustutkimuksissa perustaajuuden nousun on epäilty johtuvan kuormituksen aiheuttamien oireiden kompensoimisesta puhettavan muutoksilla (Vilkman *et al.* 1999; Vilkman 2004; Laukkanen *et al.* 2004a). Perustaajuuden muutokset eivät siis johdu aina selkeästi äänen lämpenemisestä tai rasituksesta. Koska molemmilla on selkeitä vaikutuksia puheääneen, tulisi ne ottaa huomioon perustaajuuden mittauksissa.

2.3.3 Ilmankosteus

Kehon nestetasapainon ylläpitämiseksi suositellaan riittävää veden juomista. Äänihuulten limakalvojen kuivumisen ehkäisemiseksi tulee myös huolehtia huoneilman riittävästä kosteudesta sekä kuivattavien aineiden välttämistä. Riittävä kosteus lisää limakalvojen notkeutta ja liikkuvuutta. Kuivuessaan limakalvot tarvitsevat suurempaa subglottaalista painetta äänihuulivärähtelyn aikaansaamiseksi, mikä voi johtaa erilaisiin ääniongelmiin. (Verdolini-Marston *et al.* 1990; Titze 2000, 114; Laukkanen & Leino 2001, 119; Sala *et al.* 2011, 25.) Tässä kappaleessa on pyritty käsittelemään ilmankosteuden vaikutuksia puheentuottoon. Limakalvoja kuivattavien nautintoaineiden vaikutuksista on kerrottu lisää kappaleessa 2.3.4.

Kosteuden vaikutuksia tutkittaessa on pyritty muun muassa säätelemään suhteellista ilmankosteutta, kudosten nestetasapainoa ja nesteiden nauttimista. Suuremman ilmankosteuden on todettu helpottavan puheentuottoa alentamalla kynnyspainetta (Verdolini-Marston *et al.* 1990; Verdolini *et al.* 1994). Vertailemalla kuivia ja kosteita olosuhteita voidaan tarkastella niiden vaikutusten eroja puheentuottoon liittyen. Kuivissa olosuhteissa (suhteellinen ilmankosteus n. 10–20 %) olleet osallistujat nauttivat nesteitä poistavaa lääkettä kaksi kertaa neljän tunnin aikana ja heille ei suositeltu veden nauttimista. Puolestaan kosteissa olosuhteissa (ilmankosteus n. 90 %) osallistujille annettiin limaa irrottavaa lääkettä kaksi kertaa neljän tunnin aikana ja he saivat nauttia vettä niin paljon kuin halusivat. Kuivissa oloissa kynnyspaine oli suurin ja kosteissa pienin. (Verdolini *et al.* 1994.) Riittäväällä ilmankosteudella voi siis olla ääntämistä helpottava vaikutus.

Suhteellisella ilmankosteudella on todettu olevan merkitystä etenkin sekä aamupäivällä mitattuihin akustisiin arvoihin että korkealta tuotettuihin ääniin. Hemlerin *et al.* (1997) tutkimuksessa kosteutettu huoneilma koettiin miellyttäväksi, kun taas kuivassa huoneilmassa olleet kokivat epämiellyttäviä tuntemuksia kurkunpäässä ja hengitysteissä. Vilkman *et al.* (1998) totesivat aamupäivällä mitatun voimakkaan puheen perustajuuden nousevan naisilla kuivassa huoneilmassa ja laskevan kosteassa. Miehillä tulokset olivat päinvastaisia. Heidän mukaansa muutokset perustajuudessa johtuivat todennäköisesti äänihuulten heikommasta viskoelastisuudesta kuivissa olosuhteissa. Viskoelastisella materiaalilla on sekä viskoosin että elastisen materiaalin ominaisuuksia. Elastisuus määrittää sen, miten täydellistä materiaalin palautuminen entiseen muotoonsa on, viskositeetti (nesteen sisäinen kitka) sen nopeuden. (Titze 2000, 35–36.) Kuivuus tai nestehukka saattaa jo muutamassa tunnissa lisätä äänihuulten kudosten viskositeettia sisäisesti, mikä näkyy kynnyspaineen kasvuna etenkin korkeita säveliä tuottaessa (Verdolini *et al.* 2002).

Suhteellisen ilmankosteuden lisäksi myös veden juonnilla on todettu joissakin tutkimuksissa positiivisia vaikutuksia äänenkäyttöön. Yiu ja Chan (2003) jaottelivat karaokelaulajia kahteen ryh-

mään: toinen ryhmä sai juoda vettä ja pitää pieniä taukoja laulamisen välillä, kun taas toinen ryhmä ei juonut vettä eikä pitänyt taukoja. Vettä juoneet laulajat pystyivät laulamaan huomattavasti pidempään kuin ne, jotka eivät juoneet vettä laisinkaan. Vettä juoneilla myös äänioireita ilmeni ajallisesti myöhemmin suhteessa toiseen ryhmään. Vettä juoneilla mieslaulajilla perustaajuus nousi kuormituksen myötä, kun taas niillä, jotka eivät juoneet vettä, perustaajuus laski. Naisten osalta perustaajuuden tulokset eivät olleet yhtä selkeitä. Vedenjuonnin yhteydessä pidetyillä tauoilla oli todennäköisesti myös jonkinasteista vaikutusta mittauksiksi. Solomonin ja DiMattian (2000) tutkimuksen mukaan pitkäaikaisen kuormituksen aiheuttamia oireita pystyi todennäköisesti viivästyttämään tai lieventämään nimenomaan veden juonnilla.

2.3.4 Nautintoaineet

Nautintoaineiden käyttäminen voi liittyä sosiaalisiin tilanteisiin tai fyysisen ja henkisen toimintakyvyn hetkelliseen parantamiseen. Näihin nautintoaineisiin voidaan lukea kuuluviksi muun muassa kofeiini, nikotiini ja alkoholi. Kofeiinin uskotaan yleisesti vaikuttavan puheääneneen sen diureettisen ominaisuuden vuoksi (esim. Akhtar *et al.* 1999; Laukkanen & Leino 2001, 119). Nikotiini puolestaan liittyy savukkeiden ja muiden vastaavien tupakkatuotteiden nauttimiseen, joka on erityisesti nautintotapana puheäänelle haitallinen. Nautintoaineista johtuva limakalvojen kuivuminen ja ärtyminen voivat olla haitallisia äänelle ja aiheuttaa esimerkiksi äänen laadun heikkenemistä (Laukkanen & Leino 2001, 119).

Kofeiinia sisältäviä aineita ovat muun muassa kahvi, tee ja jotkin virvoitusjuomat. Se onkin luultavasti nautituin farmakologisesti vaikuttava aine maailmassa (Nawrot *et al.* 2003). Keskushermostoa ja verenkiertoelimistöä stimuloivan vaikutuksen lisäksi se on myös diureetti (Akhtar *et al.* 1999), toisin sanoen kuivattava aine (Titze 2000, 348). Kohtuullisina määrinä nautittuna se voi yksilökohtaisesti lisätä virkeyttä ja parantaa suorituskykyä. Liiallinen nauttiminen voi aiheuttaa muun muassa unettomuutta, diureesia sekä häiriöitä sydämen ja ruoansulatuskanavan toiminnoissa. (Smith 2002; Nawrot *et al.* 2003.) Veren suurin kofeiinipitoisuus saavutetaan noin 1–1,5 tuntia nauttimisen jälkeen ja kofeiinin puoliintumisaikaan vaikuttavat monet tekijät, kuten sukupuoli, ikä, raskaus tai tupakointi (Nawrot *et al.* 2003). Yksi kupillinen kahvia sisältää noin 65–175 mg kofeiinia, tee noin 50 mg ja virvoitusjuomat 40–50 mg (Akhtar *et al.* 1999). Äänenkäytön kannalta erityisesti limakalvojen kuivuminen voi lisätä mekaanista rasitusta äänentuotossa, mikä kuuluu äänen laadun heikkenemisenä (Laukkanen & Leino 2001, 119).

Todisteita kofeiinin haitallisista vaikutuksista ääneen on vain vähän. Suositukset kofeiinin välttämiseksi etenkin äänityössä työskenteleville perustuvat useimmiten sen limakalvoja kuivatta-

vaan vaikutukseen. Vähäiset tulokset pienillä osallistujamäärillä osoittavat vaikutusten olevan yksilöllisiä. Selkeitä suuntaviivoja kofeiinin vaikutuksista ei näyttäisi olevan tämän tutkielman tekohelellä saatavilla. (Akhtar *et al.* 1999; Erickson-Levendoski & Sivasankar 2011.) Kuitenkin Akhtar *et al.* (1999) totesivat lisääntyntä epäsäännöllisyyttä perustaajuudessa kofeiinin nauttimisen myötä. Tällainen epäsäännöllisyys voi kuulostaa äänen laadun karheutena. Se viittaisikin heidän mukaansa siihen, että kofeiinilla voi olla haitallinen vaikutus ääneen ja äänihuulten toimintaan. Vaikutus oli havaittavissa vielä pari tuntia kofeiinin nauttimisen jälkeen.

Puheäänen on todettu muuttuvan jo suhteellisen lyhyenkin ajan sisällä tupakoinnin aloittamisesta sekä fysiologisella, akustisella että perkeptuaalisella tasolla. Jatkuva savun aiheuttama ärsytys äänihuulten epiteelikudoksissa voi aiheuttaa Titzen (2000, 354) mukaan kroonisen tulehduksen, jonka seurauksena äänihuulten kudosten muodossa, elastisuudessa ja viskositeetissa saattaa tapahtua muutoksia. Äänihuuliturvotus (ödeema) on yksi yleisin tupakoinnin aiheuttama oire kurkunpäässä (Gonzalez & Carpi 2004; Hamdan *et al.* 2010). Muita pitkäaikaisen tupakoinnin aiheuttamia fysiologisia muutoksia ovat kystat, polyypit sekä lisääntynyt ja paksuuntunut lima äänihuulissa (Hamdan *et al.* 2010). Paksuuntunutta limaa on havaittu jo puoli tuntia tupakkatuotteiden polttamisen jälkeen (Hamdan *et al.* 2011). Vincentin ja Gilbertin (2012) mukaan tupakoivilla naisilla oli havaittavissa jonkin verran muutoksia äänihuulivärähtelyssä verrattuna ei-tupakoiviin naisiin. Tupakoivilla äänihuuliperiodin aukiolovaihe oli verrattain lyhyempi ja äänihuulet olivat kontaktissa pidempään äännön aikana. Vincentin ja Gilbertin mukaan tällainen värähtely saattoi johtua äänihuulten epiteelikudoksen paksuuntumisesta tupakoinnin seurauksena. Guimarãesin ja Abbertonin (2005) mukaan tupakoivat henkilöt kärsivät lisäksi muita enemmän stressistä ja hengitysteiden terveysongelmista.

Tupakoinnin on todettu muuttavan erityisesti perustaajuutta. Tupakkatuotteita käyttävien perustaajuus on yleisesti todettu matalammaksi verrattuna ei-tupakoiviin henkilöihin (Verdonck-de Leeuw & Mahieu 2004; Gonzalez & Carpi 2004; Guimarães & Abberton 2005; Hamdan *et al.* 2011; Vincent & Gilbert 2012). Gonzalesin ja Carpin (2004) tutkimuksessa pitkään tupakoineilla naisilla perustaajuus vokaaliäännössä oli noin 14 Hz matalampi kuin ei-tupakoivilla naisilla. Tupakoivilla miehillä perustaajuus oli noin 6 Hz matalampi. Vuosissa pidempään (Verdonck-de Leeuw & Mahieu 2004; Vincent & Gilbert 2012) ja määrällisesti useammin (Gonzalez & Carpi 2004) tupakoivien perustaajuuden on todettu olevan matalampi verrattuna lyhyemmän aikaa ja vähemmän tupakoiviin henkilöihin. Muutokset perustaajuudessa voivat näkyä hyvinkin pian tupakoinnin jälkeen. Joitakin muutoksia on pystytty havaitsemaan jo puoli tuntia tupakoimisen jälkeen (Hamdan *et al.* 2011).

Jo aikaisemmin mainitun kahvin ohella myös joillakin lääkeaineilla ja alkoholilla voi olla vaikutuksia kurkunpään limakalvoihin. Esimerkiksi hengitysteiden avaamiseen tarkoitettu antihistamiini vähentää turvotusta pääasiallisesti kuivattamalla limakalvoja, mikä voi olla haitallinen äänihuulten pintakudoksille (Titze 2000, 349; Abaza *et al.* 2007). Turvotuksen hoitoon määrättävät diureetit puolestaan ovat virtsaneritystä lisääviä lääkeaineita, jotka estävät nesteen takaisinimeytymisen kudokseen (Haug *et al.* 2009, 459). Erityisesti äänityöntekijöiden tulisikin ottaa huomioon lääkeaineiden mahdolliset vaikutukset, sillä niiden aiheuttamat oireet voivat esiintyä missä tahansa lääkeshoidon vaiheessa normaaliannoksinakin (Abaza *et al.* 2007). Alkoholilla vaikuttaa kuivattavan vaikutuksensa ohella myös hermoteitse, jolloin sensoris-motorinen kontrolli heikkenee (Laukkanen & Leino 2001, 119). Esimerkiksi Baumeister *et al.* (2012) tutkivat alkoholin ja siitä seuranneen päihtymystilan vaikutuksia perustaaajuuteen. Heidän tutkimuksessaan valtaosalla osallistujista perustaaajuus nousi päihtymyksen seurauksena etenkin luennassa ja spontaanissa puheessa. Vaikka päihtyneen puhe erosi selvästi normaalista puheesta, olivat vaikutukset silti hyvin yksilöllisiä.

2.4 Lyhyt- ja pitkäaikaisseuranta

Keskimääräisen perustaaajuuden vaihtelua on seurattu eri tutkimuksissa erimittaisissa ajanjaksoissa, kuten vuorokauden, työpäivän ja lukukauden aikana. Lyhytaikaiseksi seurannaksi tässä tutkielmassa on määritelty päivän aikana tehdyt ja vuorokaudenaikaan liittyvät seurantamittaukset. Pitkäaikaisiin seurantatutkimuksiin on pyritty keräämään sellaista tutkimustietoa, joka on saatu kahden tai useamman päivän ajalta. Tämän tutkielman kannalta oleellisimpia pitkäaikaisseurantatutkimuksia ovat sellaiset tutkimukset, joiden mittauskertojen välissä on aikaa vähintään viikko ja korkeintaan hie- man alle vuosi.

Samoilta osallistujilta tehdyistä useista mittauksista voidaan tarkastella eri asioita eri näkökulmista. Yksi näkökulma on tarkastella mittauskertojen välistä vaihtelua osallistujittain (engl. *intrasubject variability*). Tällaisten johtopäätösten edellytyksenä kuitenkin on se, ettei osallistujien toimintaan ole pyritty vaikuttamaan mittauskertojen välissä. Lisäksi on huomioitava näiden mittaus- ten välillä mahdollisesti tapahtuva äänellinen kuormitus tai muut ääneen vaikuttavat asiat. Eri ajan- jaksoiden seurannan mittaustulosten erot voivat johtua monista eri asioista, joihin perehdytään tar- kemmin seuraavissa alakappaleissa.

2.4.1 Perustaajuuden vaihtelu päivän aikana

Vuorokausirytmiksi on noin 24 tunnin jakso, jonka aikana muun muassa ihmisen vireystila vaihtelee. Colquhounin (1971, 40, 100) mukaan ihmisen vuorokausi voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: nukkumis- ja valveillaolovaiheeseen. Tuosta ajasta valveillaoloaika on niin sanotusti aktiivisen vaiheen aikaa, jolloin kehon lämpötilassa, sykkeessä, verenpaineessa ja virtsan erittymisessä tapahtuu enemmän muutoksia suhteessa nukkumisvaiheeseen. Vuorokausirytmit vaihtelevat yksilöllisesti, mutta esimerkiksi suorituskykyyn liittyvissä tutkimuksissa on suorituskyvyn havaittu vaihtelevan huomattavasti ja systemaattisesti vuorokaudenajan mukaan.

Puheentutkimuksissa vuorokausirytmien havainnoiminen keskittyy pääsääntöisesti valveillaoloaikaan ja päivän aikana tapahtuviin muutoksiin. Näissä tutkimuksissa perustaajuuden on todettu vaihtelevan päivän aikana siten, että keskimääräinen perustaajuus on hieman matalampi aamupäivällä verrattuna iltapäivään (mm. Bouhuys *et al.* 1990; Artkoski *et al.* 2002). Taulukossa 3 (s. 22) on esitetty eri tutkimuksien mittaustuloksia keskimääräisen perustaajuuden vaihteluista päivän aikana. Tämän tutkielman kannalta taulukkoon on pyritty keräämään sellaisia tutkimustuloksia, jotka on saatu kontrolliryhmiltä ja mahdollisimman normaaliäänisiltä osallistujilta. Siten kootut tulokset edustaisivat niin sanotusti normaaleja tilanteita, joissa osallistujien toimintaan ei ole pyritty vaikuttamaan. Normaaliäänisillä osallistujilla tarkoitetaan sellaisia osallistujia, joilla ei ole todettuja poikkeavuuksia ääntöväylässä tai joilla on lähtökohtaisesti ilmennyt vähemmän äänioireita. Esimerkiksi Laukkasen ja Kankareen (2006) tutkimuksesta poimittiin sellaisten osallistujien tulokset, jotka olivat kokeneet vain vähäisesti ääniongelmia. Schneider-Stickler *et al.* (2012) käyttivät tutkimuksen kohteena olleen osallistujaryhmän ohella kontrolliryhmää, joka ei saanut visuaalista palautetta äänenkäytöstään tutkimusjakson aikana. Taulukkoon on otettu kyseisen kontrolliryhmän tulokset.

Taulukko 3: Perustaajuuden muutokset päivän aikana. Vertailussa aamupäivän ja iltapäivän / illan aikana mitatut arvot. S = sukupuoli, M = miehet, N = naiset, Lkm = osallistujien lukumäärä, 0 = muutos < 0, - = ei mitattuja arvoja.

Tutkimusryhmä	Mittausajankohdat	S	Lkm	F0 (Hz) ap	F0 (Hz) ip	Muutos (Hz / psa)	Muu huom.
Artkoski <i>et al.</i> 2002	Ensimmäinen ennen klo 10. Seuraava klo 14–17 välillä.	M	10	102	102	0 / 0	Kuormituksen välttämisen mittausten välillä
		N	11	178	180	+ 2 / 0,2	
Rantala <i>et al.</i> 2002	Työpäivän ensimmäinen ja viimeinen oppitunti. Väliin jäävä aika keskimäärin 5 tuntia.	M	-	-	-	-	Mittauksen kohteena olleiden opetustuntien välissä myös muita oppitunteja.
		N	33	232	241	+ 9 / 0,7	
Laukkanen & Kankare 2006	Ennen ja jälkeen työpäivän. Väliin jäävä aika keskimäärin 6 tuntia.	M	12	101	113	+ 12 / 1,9	Ääntä kuormittavin työpäivä.
		N	-	-	-	-	
Laukkanen <i>et al.</i> 2008	Ensimmäinen noin klo 7:30. Seuraava noin klo 16.	M	-	-	-	-	Ennen ja jälkeen normaalin (ääntä kuormittavan) työpäivän.
		N	77	191	196	+ 5 / 0,5	
Hunter & Titze 2010	Vertailussa klo 9–15 ja 16–22 välisiltä ajoilta tehdyt mittaukset.	M	12	129	129	0 / 0	Keskiarvot laskettu usealta päivältä ja päivän aikana useita mittauksia.
		N	45	215	226	+ 11 / 0,9	
Schneider-Stickler <i>et al.</i> 2012	Työvuoron alussa ja lopussa. Työvuoron pituus noin 8 tuntia.	M	16	105	115	+ 10 / 1,6	Ensimmäinen mittaus tunnin sisällä työvuoron alusta. Toinen mittaus työvuoron lopussa.
		N	21	193	193	0 / 0	

Kuten taulukossa 3 esitetyistä tutkimustuloksista on havaittavissa, näyttäisi keskimääräinen perustaajuus päivän aikana pääsääntöisesti nousevan. Naisilla ero aamupäivän ja iltapäivän lukemien välillä on keskimäärin 5 Hz ja miehillä 6 Hz. Puolisävelaskeleina se tarkoittaa naisilla noin 0,5 puolisävelaskelta ja miehillä noin 0,9 puolisävelaskelta. Näiden tutkimusten ohella myös Bouhoys *et al.* (1990) totesivat perustaajuuden muuttuvan päivän aikana. Nämä muutokset toistuivat kaavamaisina päivästä toiseen, vaikka osallistujien unen määrää oli rajoitettu. Heidän mukaan perustaajuus oli selkeästi matalampi aamulla ja aamupäivällä, jonka aikana se nousi tasaisesti aina noin klo 13 saak-

ka. Sen jälkeen perustaajuus laski hieman klo 16:een asti, minkä jälkeen se nousi jälleen iltaa kohti. Noin klo 19:n jälkeen perustaajuus pysyi suhteellisen tasaisena. Jokaisen henkilön vuorokausirytmiksi on kuitenkin hyvin yksilöllinen ja siten keskimääräisen perustaajuuden muutokset voivat olla joillakin suurempia kuin toisilla. Lisäksi työpäivään liittyvä äänellinen kuormitus ei välttämättä ole päivästä toiseen samanlaista, vaan jotkut työpäivät voivat sisältää enemmän äänenkäytöllisesti haastavia tehtäviä.

Työpäivään liittyvissä puheentutkimuksissa on tutkittu sellaisten osallistujien äänenkäyttöä, jotka työskentelevät äänellisesti haastavissa työympäristöissä, kuten opettajia ja puhelinpalvelutyöntekijöitä. Heidän työnkuvaansa kuuluu yleensä olennaisena osana puhuminen pitkään tai pitkissä ajanjaksoissa. Tällaisissa tutkimuksissa voi toisinaan olla haastavaa kuvailla sitä, mikä osa muutoksista johtuu äänen kuormittumisesta, työympäristöstä (esim. ergonominen työasento, taustamete-li) tai ihmisen luonnollisesta vuorokausirytmistä. Artkoski *et al.* (2002) pyrkivätkin selvittämään perustaajuuden muutoksia työpäivän aikana siten, että osallistujat yrittivät välttää äänellistä kuormitusta nauhoitusten välillä. Perustaajuus oli pääsääntöisesti korkeampi iltapäivällä, vaikka muutos olikin pieni. Perustaajuuden muutokset ja muiden akustisten parametrien vaihtelut voivat heidän mukaansa viitata suurempaan psykofysiologiseen aktiivisuuteen. Ääntöelimistö voi esimerkiksi reagoida stressihormoneihin, joiden määrän kasvu iltapäivällä on voinut osaltaan vaikuttaa äänen-tuottoon.

Puhelinpalvelutyöntekijöiden äänenkäyttö eroaa jonkin verran opettajien ammatillisesta äänenkäytöstä. Heillä ei esimerkiksi ole lähtökohtaisesti samanlaista tarvetta nostaa puhevoimakkuutta kuin opettajilla. Vaikka puhelinpalvelutyöntekijöiden työ onkin keskustelunomaista asiakkaan kanssa, joutuvat he silti opettajien lailla puhumaan pitkiä ajanjaksoja kerrallaan. Schneider-Sticklerin *et al.* (2012) tutkimuksessa puhelinpalvelutyöntekijät ilmoittivat vastaavansa noin 100–300 puhelua ja heidän arvioitiin puhuvan 212 minuuttia päivässä. Tutkittaessa heidän ammatillista äänenkäyttöään ilmeni, että tutkimuksen alussa kontrolliryhmän naisilla keskimääräinen perustaajuus pysyi suhteellisen samana, kun taas miehillä perustaajuus nousi työpäivän aikana. Neljän viikon jälkeen uudelleen mitattaessa myös naisilla keskimääräinen perustaajuus nousi työpäivän päätteeksi. Kontrolliryhmän ohella myös varsinaisen koeryhmän osallistujien perustaajuus nousi päivän päätteeksi lukuun ottamatta miesten jälkimittauksia. Näiden muutosten arvioitiin johtuneen etenkin kontrolliryhmällä työn aiheuttamasta äänellisestä rasituksesta.

Opettajien äänenkäyttöön liittyvissä tutkimuksissa työpäivän keskimääräisenä pituutena on pidetty noin 5–6 tuntia (Rantala *et al.* 2002; Laukkanen & Kankare 2006) ja opetustunnin pituutena 35–45 minuuttia (Rantala *et al.* 2002). Etenkin perustaajuuden on todettu olevan korkeampi viimeisen opetustunnin aikana ja työpäivän jälkeen, vaikka myös muita akustisia muutoksia on pystytty

havaitsemaan (Rantala *et al.* 2002; Laukkanen & Kankare 2006; Laukkanen *et al.* 2008; Hunter & Titze 2010). Subjektiiivisena kokemuksena äänen väsyminen on yksi raportoiduista työpäivän aikana ilmenneistä äänioireista (mm. Laukkanen *et al.* 2008). Perustaajuuden nousun on oletettu johtuvan vuorokausirytmistä, äänen lämpenemisestä tai äänen rasittumisesta (Rantala *et al.* 2002). Myös voimakkuuden nostamisesta aiheutuvat muutokset ääntöelimistön toiminnassa ovat omiaan nostamaan perustaajuutta, kuten on jo aiemmin todettu.

Työhön liittyvä äänenkäyttö voi olla hyvin erilaista verrattuna työn ulkopuolella tuotettuun ääneen. Hunter ja Titze (2010) selvittivät opettajien työhön liittyviä äänenkäyttöllisiä vaatimuksia vertailemalla ammatillista ja ei-ammattillista äänenkäyttöä. Heidän mukaansa opettajat puhuivat työssään korkeammalta ja voimakkaammin. Lisäksi ääntöaika oli noin 30 % kokonaisajasta ja kaksi kertaa suurempi kuin ei-ammattillisessa äänenkäytössä. Vuorokausirytmiksi mukaili muiden tutkimusten tuloksia siten, että perustaajuus oli hieman korkeampi iltapäivällä sekä työpäivinä että myös muina päivinä. Vuorokausirytmieissä oli hieman eroja naisten ja miesten välillä. Naisilla perustaajuus nousi aamupäivällä, laski hieman työpäivän loppuun ja nousi jälleen illalla. Miehillä sen sijaan perustaajuus jatkoi nousuaan pitkin päivää. Naiset puhuivat yleisesti enemmän ja käyttivät keskimäärin seitsemän prosenttia enemmän sanoja päivän aikana kuin miehet. Vaikka ammatillisen ja ei-ammattillisen äänenkäytön välillä on eroja, näyttäisi myös vuorokausirytmillä olevan vaikutusta äänenkäyttöön ja perustaajuuteen.

2.4.2 Perustaajuuden pitkäaikaisvaihtelu

Pitkäaikaisvaihteluun liittyvillä seurantatutkimuksilla tarkoitetaan tässä tutkielmassa useana päivänä ja ajallisesti pitkällä aikavälillä mitattua äänen akustisten parametrien vaihtelua. Tällaiset seurannat puheentutkimuksessa liittyvät esimerkiksi ennen/jälkeen-tutkimuksiin, joissa arvioidaan jonkin harjoitusmenetelmän tehokkuutta äänenkäytön kannalta (esim. Bele *et al.* 2010). Kontrolliryhmien tuloksista voidaan tarkastella mittauskerrasta toiseen tapahtuvaa vaihtelua. Näitä saman tehtävän toistossa ilmeneviä vaihteluita keskimääräisessä perustaajuudessa on koottu taulukkoon 4 (s. 25).

Taulukko 4: Perustaajuuden muutokset pitkällä mittauskertojen aikavälillä. *S* = sukupuoli, *M* = miehet, *N* = naiset, *Lkm* = osallistujien lukumäärä, - = ei mitattuja arvoja.

Tutkimusryhmä	Mittausten välinen aika	S	Lkm	F0 (Hz) alussa	F0 (Hz) lopussa	Muutos (Hz / psa)	Muu huom.
Lee et al. 1999	28 päivää	M	-	-	-	-	Tarkastelussa mittauskertojen välinen vaihtelu. Kontrolloitiin voimakkuutta, mutta ei sävelkorkeutta. Mittaukset samaan aikaan vuorokaudesta.
		N	20	241	254	+ 13 / 0,9	
Rouvinen 2007	Talvi - kesä	M	-	-	-	-	Vuodenaikoihin liittyvän vaihtelun tarkasteleminen.
		N	7	168	172	+ 4 / 0,4	
Ilomäki <i>et al.</i> 2008	Syyslukukausi	M	-	-	-	-	Interventio. Kontrolliryhmä osallistui äänihygienialuennolle tutkimuksen alussa.
		N	30	191	196	+ 5 / 0,5	
Bele et al. 2010	3 viikkoa	M	4	123	125	+ 2 / 0,3	Interventio. Kontrolliryhmä osallistui äänihygienialuennolle tutkimuksen alussa.
		N	5	210	213	+ 3 / 0,3	
Schneider-Stickler <i>et al.</i> 2012	4 viikkoa	M	16	105	103	- 2 / 0,3	Kontrolliryhmä. Alussa koulutus ääniohjelman käyttöön. Käyttivät ohjelmaa, mutta eivät saaneet sen tarjoamaa reaaliaikaista palautetta äänenkäytöstä.
		N	21	193	189	- 4 / 0,4	

Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, vaihtelee perustaajuus saman tutkimuksen eri päivinä tehtyjen mittausten välillä. Lähes kaikissa taulukkoon kootuissa tutkimuksissa perustaajuus oli noussut mittauskertojen välillä. Ainoastaan Schneider-Stickler *et al.* (2012) ilmoittivat tutkimuksessaan perustaajuuden laskeneen. Vaikka ero ei ollut suuri, oli se silti tilastollisesti merkitsevä. Taulukossa huomioitiin Schneider-Sticklerin *et al.* tutkimuksesta työpäivän alussa mitatut arvot, jotta työpäivään liittyvä äänellinen kuormitus voitaisiin sulkea pois tulkinnoista.

On syytä ottaa huomioon, että missään näistä taulukon 4 tutkimuksista ei ollut kahta useampaa mittauskertaa. Vain kahdessa näistä tutkimuksista oli ilmoitettu mittausten ajankohta vuodenaikoina. Vuodenaikaan liittyviä kokoavia johtopäätöksiä näistä kahdesta tutkimuksesta ei voida tehdä, sillä kyseessä on eri vuodenaikat. Rouvinen (2007) tutki kandidaatintutkielmassaan talvella ja kesällä mitatun keskimääräisen perustaajuuden eroja. Hänen tutkielmassaan perustaajuuden keskiarvo oli suurempi kesällä, mutta perustaajuuden keskihajonta oli suurempi talvella. Talvella mitatut perustaajuuden arvot olivat osallistujien välillä tasaisempia verrattuna kesällä mitattuihin arvioihin. Vuorokausirytmillä voi olla omat vaikutuksensa suurempaan vaihteluun kesän mittauksissa, sillä kesän mittausten ajankohdassa oli hieman enemmän vaihtelua verrattuna talveen. Rouvisen mukaan vuodenaikaan liittyvillä lämpötilan ja ilmankosteuden vaihteluilla saattoi olla vaikutus perustaajuuteen. Näitä ominaisuuksia ei kuitenkaan pyritty kontrolloimaan nauhoitustilanteessa, joten niistä ei voida tehdä tarkentavia johtopäätöksiä.

Taulukon 4 eri tutkimuksissa mittauskertojen väliin jäävä aika vaihteli huomattavasti. Lyhimmillään väliin jäävä aika oli kolme viikkoa ja pisimmillään mittausten välillä oli useita kuukausia. Keskimääräinen perustaajuus vaihteli näissä tutkimuksissa mittauskertojen välillä noin 1,3 Hz (0,1 psa), jos ei oteta huomioon Lee *et al.* (1999) tutkimusta. Heidän tutkimuksessaan perustaajuus oli jälkimmäisellä mittauskerralla 13 Hz korkeampi siinä tapauksessa, kun ainoastaan äännön voimakkuus pyrittiin pitämään samana mittauskertojen välillä. Muissa saman tutkimuksen osallistujaryhmissä sävelkorkeutta kontrolloidessa perustaajuus nousi mittauskertojen välillä huomattavasti vähemmän, vain 1–2 Hz. Taulukon 4 tutkimuksista ainoastaan Lee *et al.* pyrkivät kontrolloimaan puheen eri parametreja äänitysten aikana. Bough *et al.* (1996) selvittivät akustisten parametrien vakautta vokaaliäännössä mittauskertojen välillä. Heidän tutkimuksessaan perustaajuus pysyi suhteellisen samana samalla mittauskerralla mitatuissa eri näytteissä. Vaikka perustaajuuden tulokset olivat samansuuntaisia 15 eri päivänä tehdyissä mittauksissa, oli niiden välillä hieman enemmän hajontaa. Viiden ensimmäisen päivän korrelaatiokerroin oli 0,985, seuraavien viiden päivän 0,987 ja viiden viimeisen päivän 0,990. Vastaavasti saman päivän 15 mittauksen korrelaatiokerroin oli 0,999. Perustaajuuden vaihtelut eivät näyttäisi siten olevan kovin suuria. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että sekä Leen *et al.* että Bough'n *et al.* tutkimuksissa nauhoitettiin vokaaliääntöä. Mutta vaikka taulukon 4 muissa tutkimuksissa mittaukset tehtiin tekstiluennasta, ei niissäkään esiinny kovin suurta vaihtelua.

Ilomäki, Laukkanen, Leppänen ja Vilkmän (2008) tutkivat puheen akustisten parametrien muutoksia syyslukukauden aikana. Heidän tutkimuksessaan käytetty kontrolliryhmä osallistui lukukauden alussa äänihygienialuennolle, mutta muuten he eivät saaneet lukukauden aikana ääneen liittyvää koulutusta. Vaikka kontrolliryhmän osallistujien keskimääräinen perustaajuus nousi, ei tulos

ollut tilastollisesti merkitsevä. Perustaajuuden nousun ohella osallistujat kokivat lukukauden lopussa ääntövaikeuksia ja kurkun väsymistä. Tutkijoiden mukaan kontrolliryhmä koki enemmän äänioireita kuin ne, jotka kävivät ohjatuissa ääniharjoituksissa lukukauden aikana. Äänessä tapahtuneet muutokset etenkin kontrolliryhmässä johtunevat ammatillisen äänenkäytön kuormittavuudesta syyslukukauden aikana, sillä tutkittavat osallistujat olivat opettajia. Saman suuntaisia tuloksia äänihygienialuennon suhteen saivat myös Bele *et al.* (2010). Heidän tutkimuksessaan käytetyn kontrolliryhmän osallistujat kävivät äänihygienialuennolla tutkimuksen alussa. Kolmen viikon jälkeen keskimääräinen perustaajuus oli noussut. Huomioitavaa on, että etenkin naisilla myös puhevoimakkuus nousi jälkimittauksissa. Näiden tutkimusten seuranta-ajat olivat kuitenkin suhteessa hyvin erilaiset. Äänihygienialuentojen ja loppumittausten väliin jäävät erimittaiset ajanjaksot voivat vaikuttaa havaintoihin luennoista seuranneisiin välittömiin vaikutuksiin äänenkäytössä.

Tietyillä taustatekijöillä voi olla merkitystä eri päivinä tehdyissä mittauksissa. Etenkin vokaaliäännessä perustaajuuden on todettu vaihtelevan mittauskertojen välillä, ellei sitä pyritä erityisesti kontrolloimaan (Lee *et al.* 1999). Leong *et al.* (2013) pyrkivät olosuhteiden standardisoimiseksi kontrolloimaan ainoastaan mittausajankohtaa siten, että mittaukset järjestettäisiin samaan aikaan vuorokaudesta (± 2 tuntia). Tutkimuspäiviä järjestettiin kuukauden aikana kymmenen siten, että mittauksia ei tehty osallistujan ollessa sairas. Heidän mukaansa luennasta mitattu keskimääräinen perustaajuus vaihteli mittauskerrasta toiseen, jolloin se olisikin vain kohtuullisen reliabeli tutkimusmitta. Osallistujat olivat normaaliäänisiä ja perusterveitä, jolloin äänioireiden vaikutus tulosten epätasaisuuteen pystyttiin sulkemaan pois. Bough *et al.* (1996) puolestaan havaitsivat osallistujien keskimääräisen perustaajuuden olevan vokaaliäännessä matalampi, jos osallistujat kokivat olevansa energisempiä, virkeämpiä ja mielialaltaan positiivisempia. Kuitenkaan lämpötilalla, ilmankosteudella, unen määrällä tai edellisestä ruokailusta kuluneella ajalla ei näyttänyt olleen heidän tutkimuksessaan vaikutusta perustaajuuteen.

Kuten näistä lyhyt- ja pitkäaikaisseurannoista voidaan päätellä, voi keskimääräinen perustaajuusarvo vaihdella mittauskerrasta toiseen erinäisistä syistä. Vaikka useissa tutkimuksissa nämä erot mittauskertojen välillä eivät aina olisikaan kovin suuria, olivat ne silti joissakin tapauksissa tilastollisesti merkitseviä. Sopivaa perustaajuuden mittauskertojen määrää etenkin klinisiin tutkimuksiin ei näiden tutkimusten valossa olla esitetty. Neutraalin tekstiluennon useat ja tiheään tahtiin toistuvat akustisten parametrien mittaukset voivat kertoa siitä, miten paljon keskimääräinen perustaajuus vaihtelee mittauskertojen välillä. Erinäiset taustatekijät, kuten äänen lämmittely, ilmankosteus ja mittausajankohta, olisi syytä ottaa huomioon. Siten esimerkiksi yksilöllisestä vuorokausirytmistä tai ilmankosteuden muutoksista johtuvat erot voitaisiin paremmin erottaa todellisesta mittausten toistokertojen välisistä vaihtelusta.

3 Tutkimuskysymykset

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on tarkastella tekstiluennasta mitattavan keskimääräisen perustaajuuden vaihtelua puolen vuoden seurantatutkimuksena. Tutkimuksen vähäisen osallistujamäärän vuoksi tulokset eivät ole etenkin sukupuolittain yleistettävissä olevia, mutta ne voivat olla suuntaa-antavia. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten paljon keskimääräinen perustaajuus vaihtelee eri tekstiluentakerroilla puolen vuoden aikana?
2. Ovatko keskimääräisen perustaajuuden vaihtelut sattumanvaraisia vai onko niissä havaittavissa säännöllisyyttä tai trendiä?
3. Ovatko keskimääräisen perustaajuuden vaihtelut erilaisia nauhoitusjakson alussa tai lopussa?
4. Millainen vaikutus sukupuolella, taustakyselyn muuttujilla tai ilmankosteudella on keskimääräisen perustaajuuden vaihteluihin?

4 Tutkimusmenetelmät ja osallistujat

4.1 Osallistujat

Tutkimukseen osallistui yhteensä kuusi henkilöä; neljä naista ja kaksi miestä. Nauhoitusten alettua he olivat iältään 22–51-vuotiaita (naisten iän keskiarvo 29,8 ja mediaani 23,0, miesten iän keskiarvo ja mediaani 25,5). Kaltevaa naisten ikäjakaumaa selittää se, että kolme heistä oli 22-vuotiaita ja vain yksi selkeästi muita vanhempi. Kenelläkään osallistujista ei ollut todettu poikkeavuuksia kurkunpäässä tai ääntöelimistössä. Osallistujat olivat kokeneita äänenkäyttäjiä toista miesosallistujaa lukuun ottamatta. Kyseinen henkilö kuvaili ennen tutkimuksen alkua omaa äänenkäyttöään normaalisti. Kokeneiksi äänenkäyttäjiksi laskettiin sellaiset henkilöt, jotka olivat viime vuosina saaneet koulutusta äänenkäyttöön liittyen tai joilla oli kokemusta äänenkäytön opettamisesta. Kolme naisosallistujaa ilmoitti tupakoivansa satunnaisesti.

4.2 Nauhoitukset

Nauhoitusten ajankohdaksi valikoitui puolen vuoden ajanjakso vuoden 2011 marraskuun ensimmäisestä viikosta alkaen ja loppuen vuoden 2012 huhtikuun viimeiseen viikkoon. Nauhoituksia tehtiin loppujen lopuksi 26 viikon ajan. Kuitenkaan yhtenä viikkona nauhoituksia ei voitu järjestää osallistujien henkilökohtaisten syiden takia. Osallistujilta nauhoitettiin noina viikkoina tekstiluentaa heidän tavanomaiselta puhekorkeudeltaan ja -voimakkuudeltaan. Nauhoitukset pyrittiin tekemään mahdollisuuksien mukaan aina samana viikonpäivänä ja samaan kellonaikaan. Nauhoitustilanteen yhteydessä osallistujilta kysyttiin seuraavia taustatietoja:

- Oletko käyttänyt tupakkatuotteita nauhoituspäivänä tai edeltävänä päivänä?
- Oletko ollut kipeänä nauhoituskertojen välissä?
- Oletko kokenut äänioireita nauhoitusten välissä tai lähipäivinä? Millaisia?
- Oletko lämmitellyt ääntäsi tai tehnyt ääniharjoituksia nauhoituspäivänä?
- Moneltako heräsit nauhoituspäivän aamuna?

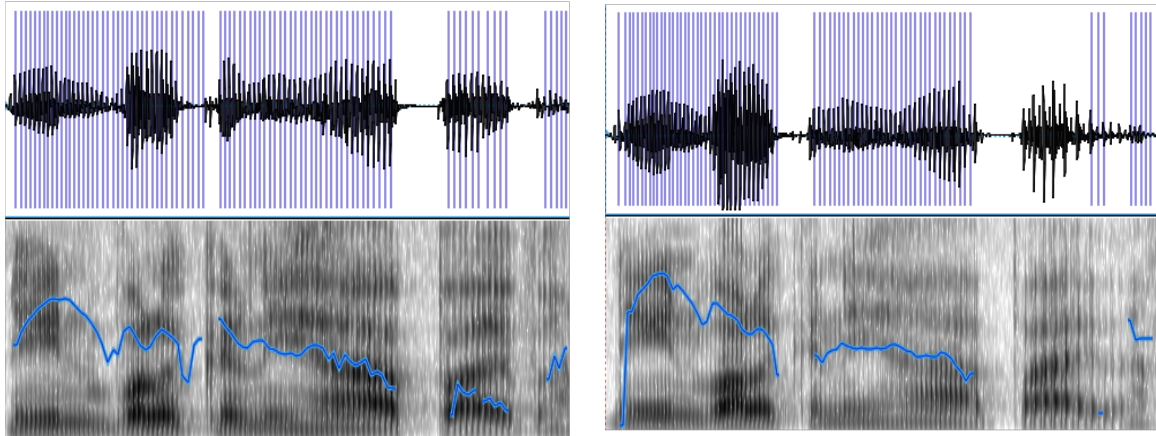
Nauhoitusten edellytyksenä oli, ettei osallistujia ollut ehtinyt kuormittamaan ääntään ennen nauhoituksia. Nauhoituskerta jätettiin välistä, jos osallistuja oli sairaana tai muuten estynyt henkilökohtaisten syiden vuoksi osallistumaan. Nauhoitusten välissä koetut äänioireet tai muu sairastelu pyrittiin ottamaan huomioon taustakyselyssä. Nauhoitukset järjestettiin päivän aikana siten, että osallistujat olivat ehtineet olla hereillä ennen nauhoitusta vähintään puolesta tunnista korkeintaan viiteen tuntiin. Tärkeämpää oli kuitenkin se, että nauhoitukset järjestettiin yksilökohtaisesti aina mahdollisimman samaan aikaan vuorokaudesta. Analysoitavien näytteiden lopullinen määrä oli yhteensä 119.

Nauhoituksissa käytettiin neliraitatallenninta (Zoom H4n), pääpantamikrofonia (AKG HC577L) sekä ilmankosteusmittaria (Fischer). Pääpantamikrofoni asetettiin kuuden (6) cm päähän osallistujan huuliosta, suulinjasta sivulle. Ilmankosteusmittari kalibroitiin aina uuden nauhoitusviikon alussa pitämällä sitä märän pyyhkeen sisällä jääkaapissa noin tunnin ajan. Jos ilmankosteusmittarin lukema ei ollut kalibroinnin jälkeen 100 %, asetettiin siihen oikea lukema manuaalisesti.

Nauhoitukset toteutettiin kahdessa paikassa. Yksi mies ja kolme naista kävivät nauhoituksissa Tampereen yliopiston puheentutkimuksen laboratorion äänivaimennetussa nauhoitushuoneessa, joka oli pinta-alaltaan noin 8,4 m². Yhden miehen ja yhden naisen nauhoitukset tehtiin asuinhuoneiston noin 15,0 m²:n huoneessa, koska he olivat estyneet osallistumaan viikoittain nauhoituksiin puheentutkimuksen laboratoriossa.

4.3 Analyysit

Luantänäytteiden analyysit tehtiin Paul Boersman ja David Weeninkin puheanalyysiohjelmalla Praat (versio 5.3.01). Näytteistä mitattiin F₀:n mediaani, keskiarvo ja keskihajonta hertseinä. Valittuna automaattisena perustaajuusanalyysimenetelmänä oli autokorrelaatio. Taajuusrajat asetettiin naisille ja miehille erikseen ja niiden luotettavuus tarkistettiin yksilökohtaisesti spektristä. Naisten taajuusrajoiksi asetettiin 140–270 Hz ja miesten 70–140 Hz. Saadut perustaajuuden arvot muutettiin myöhemmin puolisävelaskeliksi. Kuvassa 2 (s. 31) on kaksi esimerkkiä perustaajuusanalyysistä.



Kuva 2: Saman osallistujan kahden eri luentanäytteen perustaajuusanalyysit lauseesta ”niin valkeni hääpäivä”. Ensimmäisessä kuvassa perustaajuusanalyysi on saatu koko lauseesta. Toisessa kuvassa perustaajuusanalyysi ei ole ottanut huomioon kokonaan sanaa ”päivä”. Kyseisessä kohdassa ilmeni lähemmässä tarkastelussa narinaa.

Tulosten tarkemman tarkastelun helpottamiseksi koko nauhoitusajanjakso jaoteltiin viiden viikon sykleihin. Nämä viikkosyklit voisivat kuvastaa kuukausittaista keskimääräistä vaihtelua yksittäisiä tuloksia paremmin. Kuukausien mukaisessa jaottelussa koettiin ongelmalliseksi se, että kuukauden vaihtuminen kesken nauhoitusviikon olisi jakanut samalla viikolla tehdyt nauhoitukset kahdelle eri kuukaudelle. Siten yhden kuukauden aikana tietynä päivänä tehtyjä nauhoituksia olisi saattanut olla enemmän tai vähemmän kuin muina päivinä tehtyjä nauhoituksia. Tulokset käsiteltiin Microsoft Excel 2011 –ohjelmalla, jolla tulosarvot koottiin taulukoihin ja kuvaajiin. Myös tilastotaulukot tehtiin samaisella ohjelmalla.

5 Tulokset

Tuloksia on tarkasteltu seuraavissa alakappaleissa siten, että ensin tarkastelun kohteena on koko puolen vuoden ajanjakso ja jokaisen osallistujan yksittäiset viikkotulokset. Toisessa alakappaleessa tuloksia käsitellään viiden viikon keskiarvosykleinä ja kolmannessa kappaleessa on selvitetty taustakyselyn muuttujien vaikutuksia perustaajuuteen (F_0).

5.1 Puolen vuoden seurantajakso

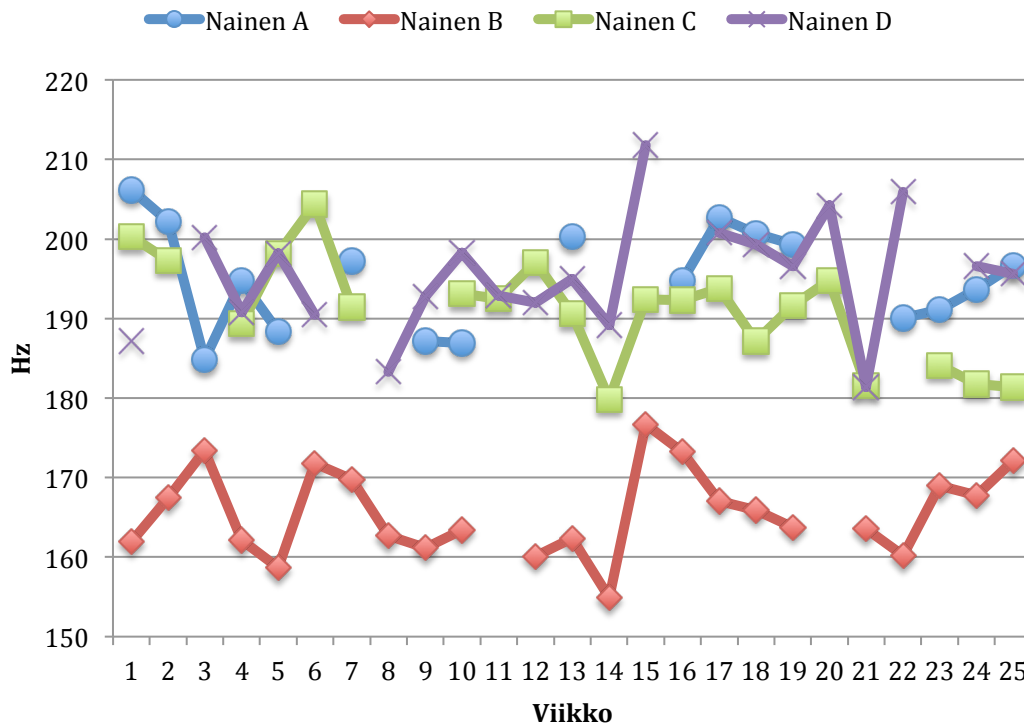
Naisilla F_0 :n mediaani koko nauhoitusjaksolta oli 182,5 Hz, keskiarvo 185,9 Hz ja luennan keskihaajonta 27,2 Hz. Naisten perustaajuuden keskilukujen viikkotulokset on koottu taulukkoon 5 (s. 33). Miesten vastaavia tuloksia käsitellään taulukosta 6 (s. 37) lähtien.

Taulukko 5: Naisten F_0 :n keskiluvut viikoittaisesta tekstiluennasta. VS = 5 viikon viikkosykli, Vk = nauhoitusviikko, - = ei mitattua arvoa. **Lihavoidulla** merkityt arvot ovat osallistujien korkeimmat tulosarvot ja alle viivatut matalimmat.

VS	Vk	F0 med				F0 ka				F0 sd			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	1	202,7	158,9	195,2	183,4	206,2	162,0	200,3	187,2	25,6	25,3	30,6	<u>26,9</u>
	2	199,5	164,1	191,4	-	202,2	167,4	197,3	-	21,4	27,6	28,7	-
	3	<u>181,7</u>	169,7	-	197,7	<u>184,8</u>	173,4	-	200,2	19,6	28,2	-	29,3
	4	191,6	158,8	184,4	190,4	194,7	162,1	189,3	190,8	22,0	25,9	23,6	36,2
	5	185,5	155,3	193,5	195,4	188,4	158,7	198,2	198,2	18,7	27,0	24,8	35,3
2	6	-	165,8	199,7	192,3	-	171,8	204,4	190,5	-	30,8	30,9	40,6
	7	196,1	157,5	187,2	-	197,2	169,8	191,4	-	20,2	40,4	25,2	-
	8	-	155,9	-	182,9	-	162,7	-	183,3	-	26,9	-	33,6
	9	184,3	155,3	-	193,9	187,2	161,2	-	192,8	<u>16,2</u>	29,3	-	36,1
	10	185,1	156,4	187,4	197,0	186,9	163,4	193,1	198,3	19,7	29,3	24,0	27,9
3	11	-	-	186,7	193,7	-	-	192,5	192,9	-	-	28,5	38,1
	12	-	156,4	192,9	189,8	-	160,1	197,1	192,0	-	26,4	24,1	31,3
	13	198,6	157,1	189,3	191,9	200,3	162,4	190,6	195,0	20,6	27,1	26,4	35,4
	14	-	<u>152,7</u>	<u>177,7</u>	194,3	-	<u>154,9</u>	<u>179,8</u>	189,1	-	34,3	28,4	29,2
	15	-	171,8	188,4	207,5	-	176,7	192,4	211,8	-	29,5	25,7	36,0
4	16	193,3	166,8	189,1	-	194,7	173,2	192,3	-	19,5	30,4	25,3	-
	17	199,0	160,9	189,9	199,7	202,7	167,0	193,8	200,8	19,5	27,9	23,6	35,5
	18	198,1	160,6	185,3	196,1	200,7	165,9	187,2	199,3	19,7	<u>25,0</u>	25,6	30,2
	19	195,6	154,6	189,7	192,2	199,3	163,7	191,7	196,6	20,7	30,0	22,4	27,8
	20	-	-	190,8	198,4	-	-	194,8	204,2	-	-	26,3	28,9
5	21	-	159,5	179,9	<u>182,6</u>	-	163,6	181,5	<u>181,4</u>	-	26,9	25,8	35,0
	22	186,7	156,5	-	200,7	190,1	160,2	-	205,9	20,8	25,7	-	29,1
	23	188,8	165,5	179,3	-	191,1	169,0	184,1	-	21,4	26,4	21,6	-
	24	190,8	162,9	179,5	194,8	193,7	167,8	181,8	196,6	23,0	27,0	22,3	34,8
	25	194,1	167,6	178,1	192,7	196,7	172,1	181,4	195,6	21,6	28,1	<u>22,2</u>	30,1
KA		192,4	160,5	187,4	193,7	195,1	165,6	191,2	195,4	20,6	28,5	25,5	32,7

Nainen B:llä oli muihin naisosallistujiin verraten matalampi ääni. Kun nainen B:n tulokset jätetään huomiotta, on kolmen muun naisosallistujan yhteenlasketun F_0 :n keskiarvo noin 193,8 Hz. Keskimääräinen F_0 muuttui järjestyksessään toisella mittauskerralla keskimäärin 2,9 Hz verrattuna ensimmäiseen mittauskertaan. Ensimmäisten kolmen viikon aikana vaihtelua oli noin 5,3 Hz ja neljän viikon aikana 5,9 Hz. Kaikilla naisosallistujilla F_0 :n suurin keskihajonta luennassa ilmeni seitsemän

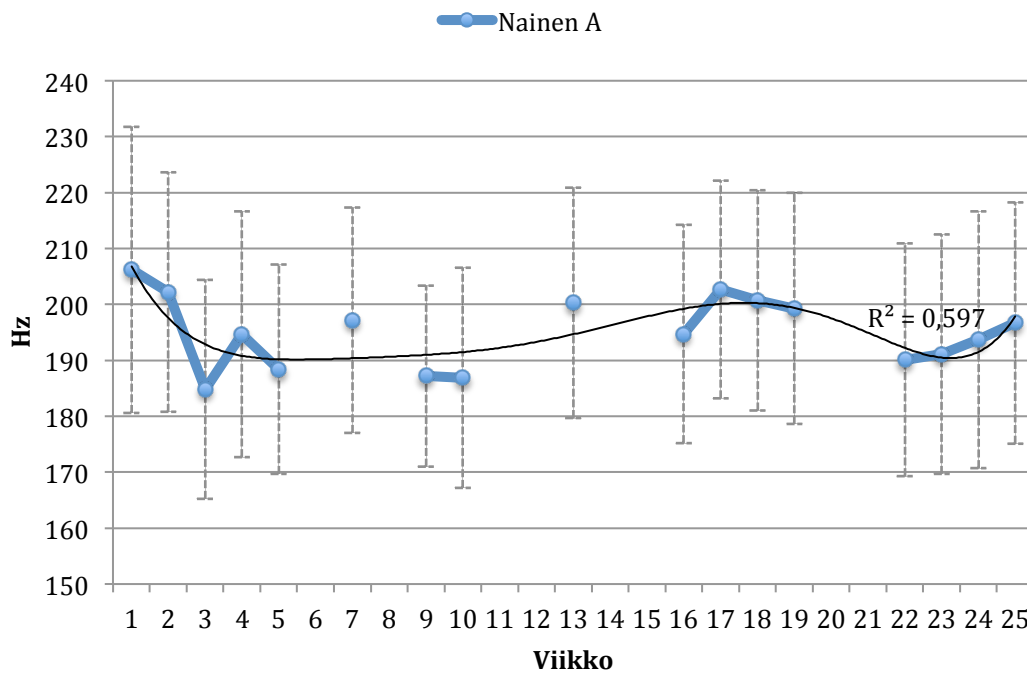
ensimmäisen viikon aikana. Keskiarvon ja mediaanin suurimmat arvot sijoittuivat kolmen ensimmäisen viikkosyklin ajalle (viikot 1–15) ja matalimmat tulokset hajanaistemmin koko puolen vuoden nauhoitusjakson ajalle. Mediaanin ja keskiarvon ääriarvot sijoittuivat osallistujittain aina samalle nauhoitusviikolle. Naisten viikoittainen F_0 :n tulosarvojen vaihtelu on havainnollistettu kuvaajassa 1.



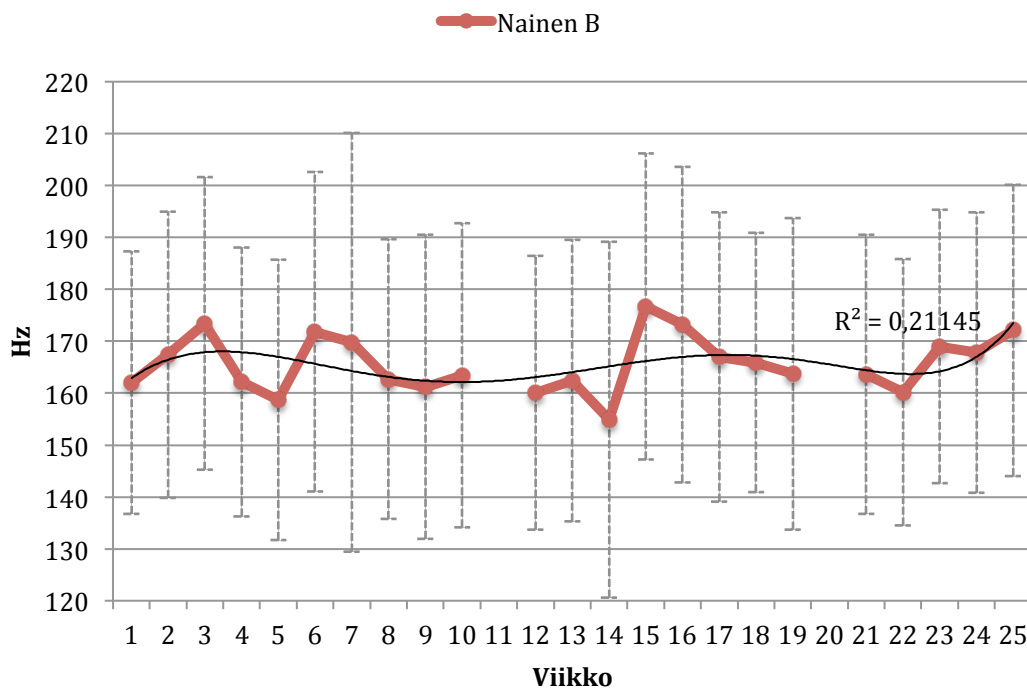
Kuvaaja 1: Kaikkien naisosallistujien F_0 :n keskiarvon muutokset viikoittain.

Naisilla keskimääräinen F_0 vaihteli luentakertojen välillä noin 5,9 Hz. Nainen A:lla luentanäytteen välinen keskihajonta oli 6,3 Hz, nainen B:llä 5,5 Hz, nainen C:llä 6,7 ja nainen D:llä 7,3 Hz. Alkua ja loppua vertaillen nauhoitusjakson alkupuoliskolla luennan keskimääräinen F_0 oli 185,5 Hz ja luennan keskihajonta keskimäärin 27,8 Hz. Vastaavasti nauhoitusjakson lopussa F_0 oli 186,1 Hz ja keskihajonta 26,6 Hz. Keskimäärin F_0 vaihteli alussa 5,7 Hz ja lopussa 6,3 Hz.

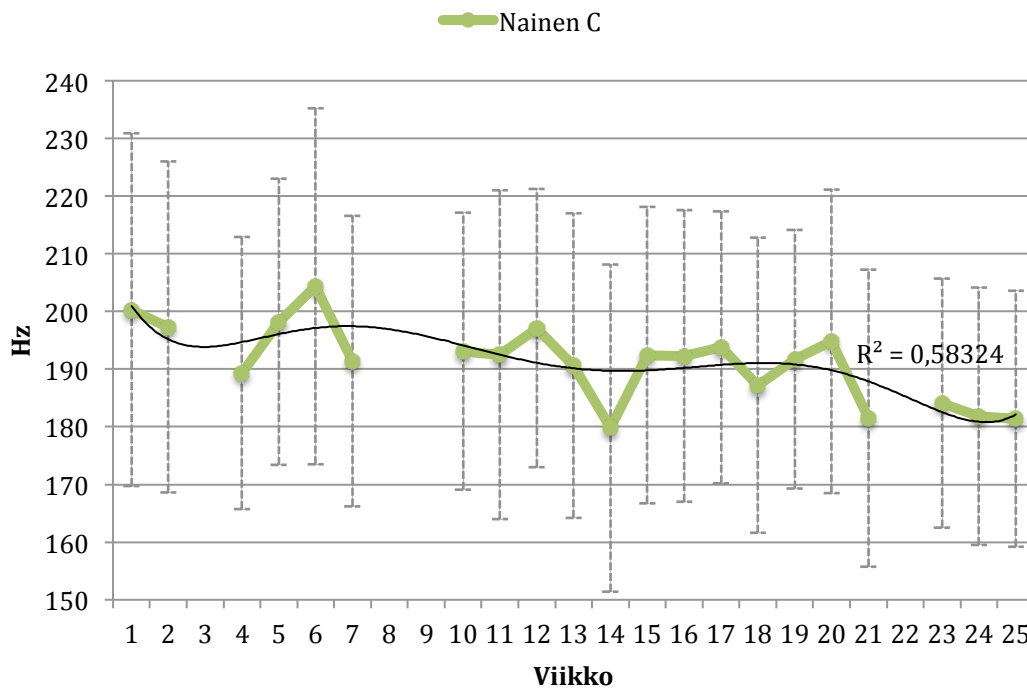
F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan viikoittaiset muutokset naisosallistujittain on nähtävissä tarkemmin kuvaajissa 2–5. Trendiviiva kuvaa F_0 :n keskiarvon muutosta nauhoitusjakson aikana.



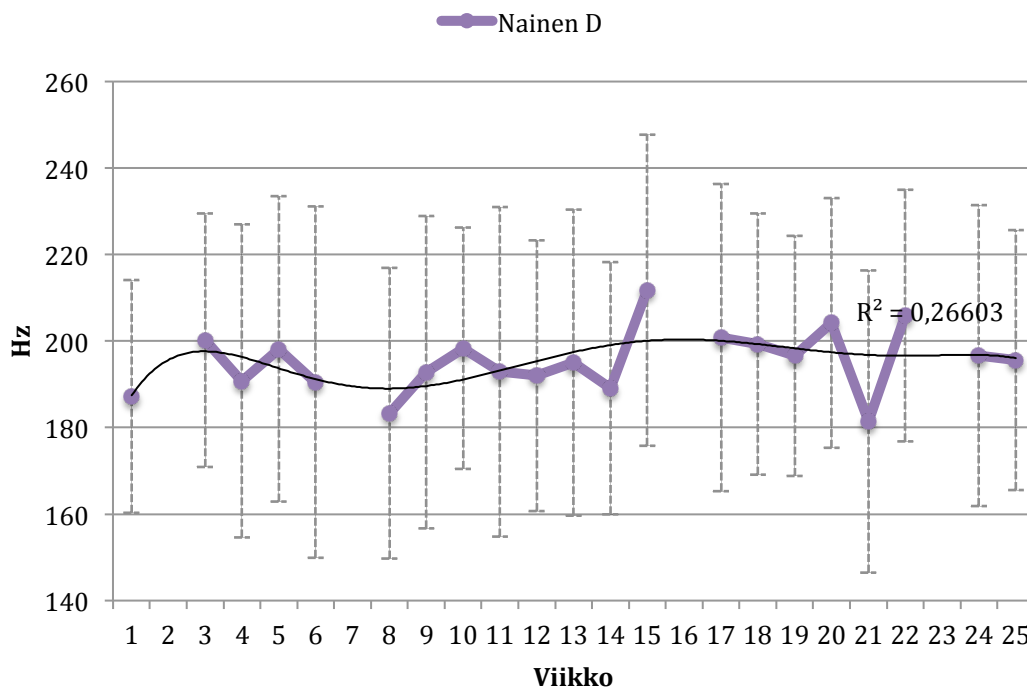
Kuvaaja 2: Nainen A:n F0:n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.



Kuvaaja 3: Nainen B:n F0:n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.



Kuvaaja 4: Nainen C:n F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.



Kuvaaja 5: Nainen D:n F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.

Naisosallistujilla tulosarvojen trendi on jokseenkin aaltomainen. Vain kahdella naisosallistujalla trendiviivan korrelaatiokerroin on suurempi kuin 0,5. F_0 :n keskiarvojen vaihteluväli eli ero mata-

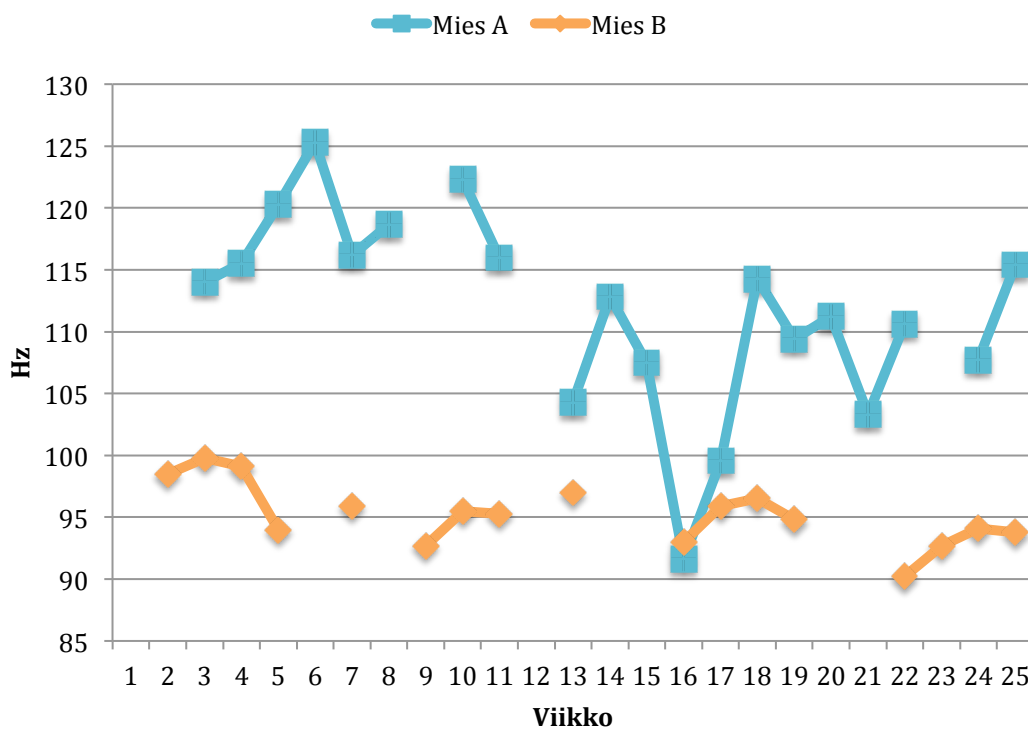
limman ja korkeimman välillä eri luentakerroilla oli naisilla noin 24,6 Hz. Nainen A:lla vaihteluväli oli noin 21,4 Hz, nainen B:llä 21,8 Hz, nainen C:llä 24,6 Hz ja nainen D:llä 30,4 Hz.

Miehillä F_0 :n mediaani koko nauhoitusjaksolta oli 103,8 Hz, keskiarvo 104,2 Hz ja luennan keskihajonta 19,2 Hz. Miesten F_0 :n keskilukujen tulokset tekstiluennasta on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6: Miesten F_0 :n keskiluvut viikoittaisesta tekstiluennasta. VS = 5 viikon viikkosykli, Vk = nauhoitusviikko, - = ei mitattua arvoa. **Lihavoidulla** merkityt arvot ovat osallistujien korkeimmat tulosarvot ja alle-
viivatut matalimmat.

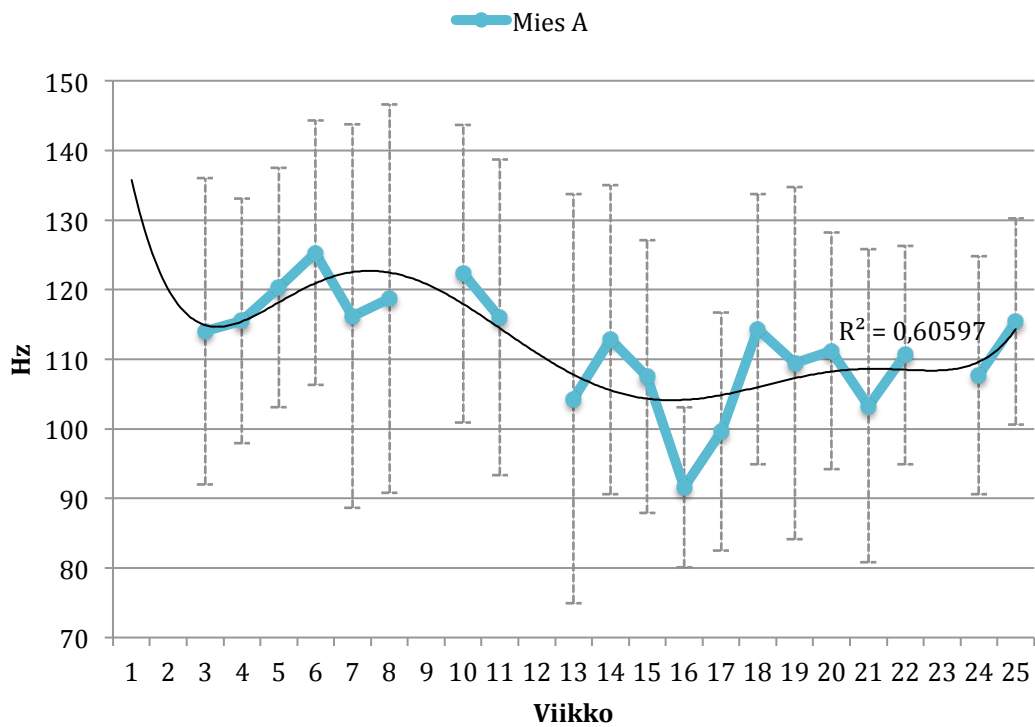
VS	Vk	F0 md		F0 ka		F0 sd	
		A	B	A	B	A	B
1	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	98,8	-	98,5	-	17,8
	3	113,1	99,4	114,0	99,8	22,0	17,3
	4	114,4	100,4	115,5	99,1	17,6	17,1
	5	117,6	94,8	120,3	94,0	17,2	<u>14,2</u>
2	6	122,9	-	125,3	-	19,0	-
	7	111,0	98,4	116,2	95,9	27,6	21,0
	8	113,2	-	118,7	-	27,9	-
	9	-	<u>92,7</u>	-	92,7	-	20,0
	10	119,7	94,5	122,3	95,5	21,4	17,5
3	11	114,8	95,9	116,0	95,3	22,7	20,8
	12	-	-	-	-	-	-
	13	105,8	98,4	104,3	97,0	29,4	20,9
	14	112,8	-	112,8	-	22,2	-
	15	107,1	-	107,5	-	19,6	-
4	16	<u>90,4</u>	95,5	<u>91,6</u>	93,0	<u>11,5</u>	17,7
	17	98,6	98,0	99,6	95,9	17,1	18,4
	18	112,4	97,3	114,3	96,5	19,4	16,4
	19	103,8	94,8	109,4	94,8	25,3	15,2
	20	110,2	-	111,2	-	17,0	-
5	21	104,0	-	103,3	-	22,5	-
	22	108,8	95,5	110,6	<u>90,2</u>	15,7	21,2
	23	-	94,7	-	92,7	-	17,2
	24	107,2	95,6	107,7	94,1	17,1	15,6
	25	113,5	95,0	115,4	93,8	14,8	15,7
KA		110,1	96,5	111,8	95,2	20,4	17,9

F_0 muuttui miehillä järjestyksessään toisella nauhoituskerralla keskimäärin 1,4 Hz verrattuna ensimmäiseen nauhoituskertaan. Ensimmäisten neljän viikon aikana vaihtelua oli noin 1,7 Hz. Mies A:lla F_0 :n keskihajonta luennassa oli suurinta nauhoitusten puolessa välin ja mies B:llä nauhoitusten alkupuoliskolla. Kuten naisosallistujilla myös miehillä kaikkien keskilukujen suurimmat tulosarvot sijoittuivat kolmelle ensimmäiselle viikkosyklille (viikot 3–13). Miesten F_0 :n keskiarvotulosten vaihteluväli oli noin 21,7 Hz. Mies A:lla sekä mediaanin että keskiarvon ääriarvot ilmenivät samalla nauhoitusviikolla. Mies B:llä ääriarvot sijoittuivat hajanaisemmin koko puolen vuoden nauhoitusjakson ajalle. Miesten luennan F_0 :n keskihajonta (19,2 Hz) oli 8 Hz pienempi kuin naisilla. Kuvajassa 6 on esitetty miesosallistujien perustaajuuden keskiarvon muutokset viikoittain.

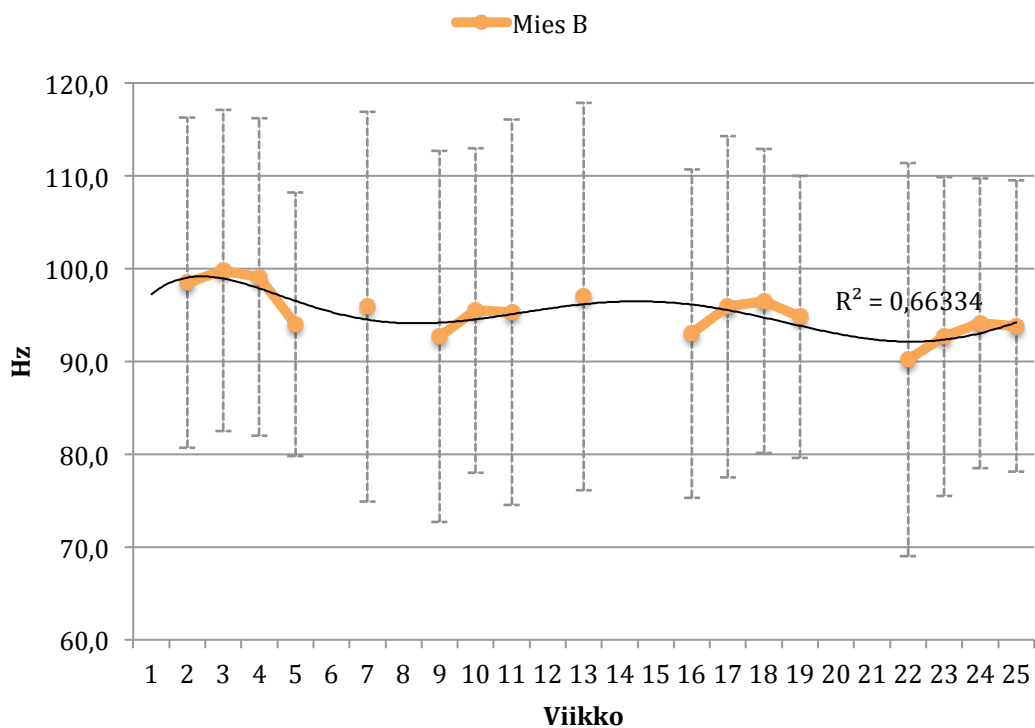


Kuvaaja 6: Molempien miesosallistujien perustaajuuden (Hz) keskiarvon muutokset viikoittain.

F_0 :n keskihajonta luentakertojen välillä oli Mies A:lla 8 Hz ja mies B:llä 2,5 Hz. Molemmat miehet huomioon ottaen F_0 :n keskihajonta oli luentakertojen välillä noin 7,9 Hz. Nauhoitusjakson alkupuolella keskimääräinen F_0 oli 107,4 Hz ja luennan keskihajonta noin 20,1 Hz. Nauhoitusjakson lopussa puolestaan keskimääräinen F_0 oli 101,8 Hz ja keskihajonta 17,9 Hz. Keskimäärin F_0 vaihteli alkupuolella luentakertojen välillä noin 3,2 Hz ja lopussa 4,5 Hz. F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan viikoittaisia muutoksia miesosallistujittain on havainnollistettu tarkemmin kuvaajissa 7 ja 8. Trendiviiva kuvaa F_0 :n keskiarvon muutoksen korrelaatiota nauhoitusjakson aikana.



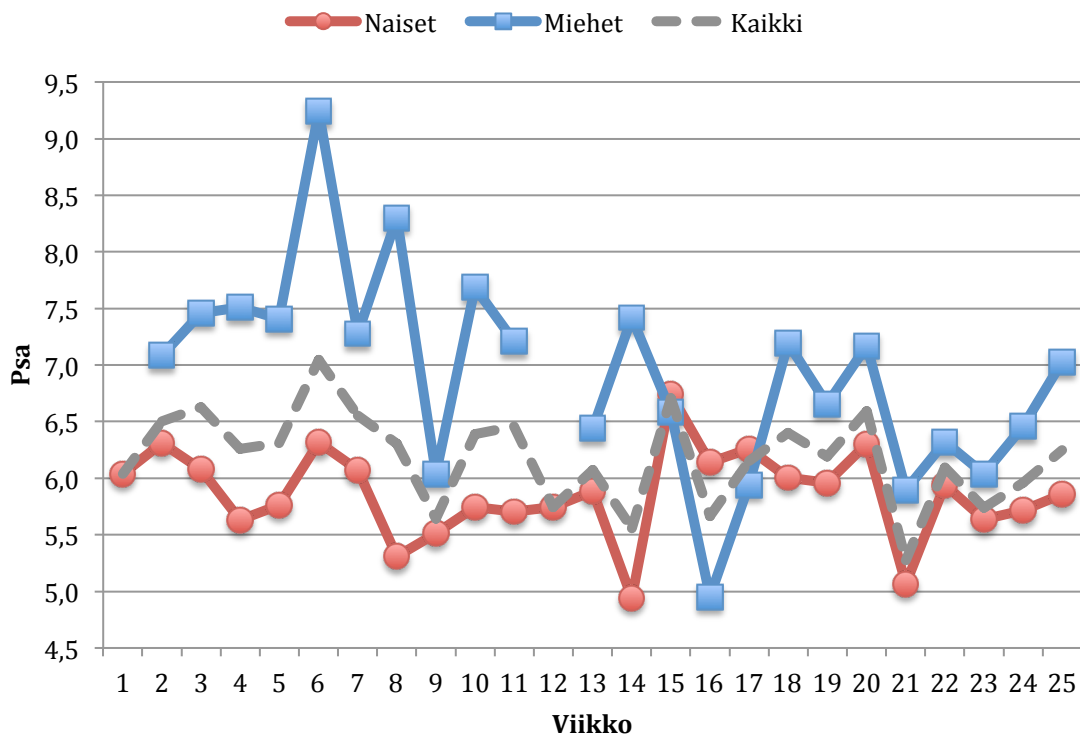
Kuvaaja 7: Mies A:n F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.



Kuvaaja 8: Mies B:n F_0 :n keskiarvon ja keskihajonnan muutokset viikoittain.

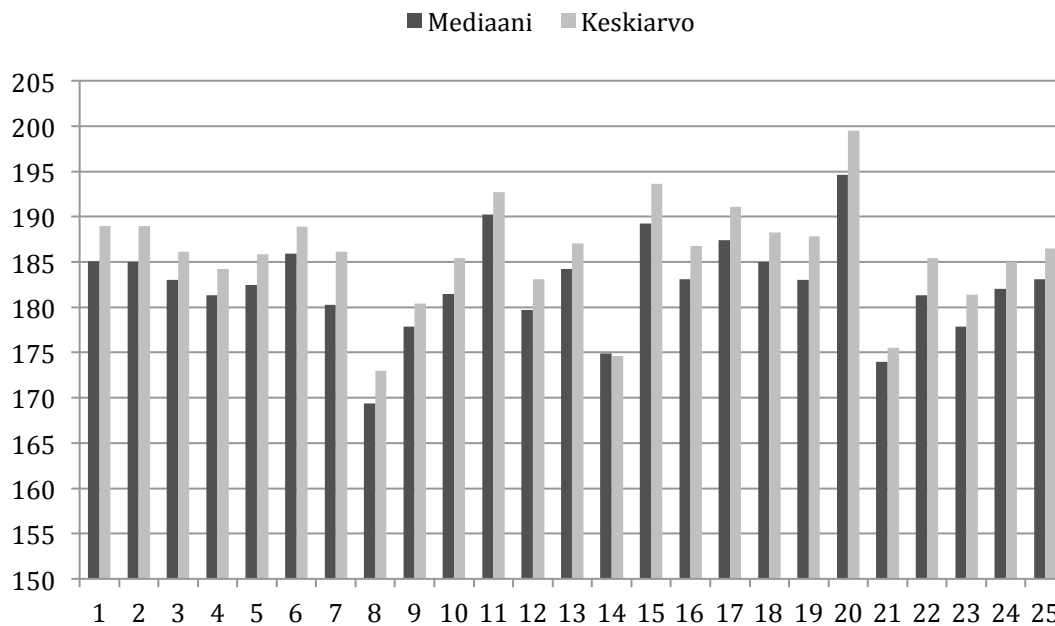
Molemmilla miesosallistujalla trendi on aaltomainen ja korrelaatiokerroin on suurempi kuin 0,6. Mies A:n eri luentakertojen välinen minimin ja maksimin ero oli 33,7 Hz. Mies B:n vaihteluväli oli kaikista osallistujista pienin: 9,6 Hz. Mies A:n F_0 :n keskihajonta luennassa oli keskimäärin 20,4 Hz ja mies B:llä vastaavasti 17,9 Hz.

Kaikkien osallistujien yhteenlasketun F_0 :n keskiarvon muutokset viikoittain on kuvattu puolissävelaskeleina koko nauhoitusjakson ajalta kuvaajassa 9.

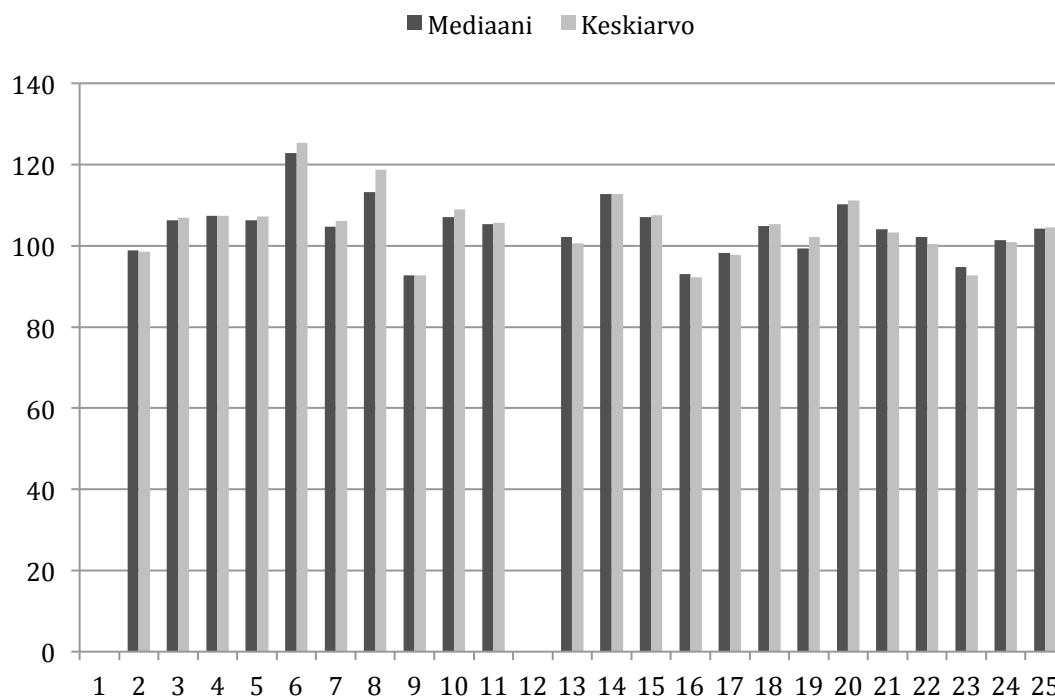


Kuvaaja 9: F_0 :n keskiarvon muutokset viikoittain puolissävelaskeleina.

F_0 :n keskihajonta puolissävelaskeleina eri mittauskertojen välillä oli naisilla 0,4 ja miehillä 0,9 puolissävelaskelta. Molemmat sukupuoli huomioon ottaen F_0 :n keskihajonta oli 0,4 puolissävelaskelta. Mitatun F_0 :n keskiarvon ja mediaanin tulosarvojen erot on kuvattu naisilta ja miehiltä kuvaajissa 10 ja 11.



Kuvaaja 10: Naisosallistujien F_0 :n viikkotulosten mediaanin ja keskiarvon vertailua.



Kuvaaja 11: Miesosallistujien F_0 :n viikkotulosten mediaanin ja keskiarvon vertailua.

F_0 :n mediaanin ja keskiarvon välinen ero ei näyttäisi olevan kovin suuri kummallakaan sukupuolella. Miehillä näiden kahden erot ovat keskimäärin pienempiä ja tasaisempia kuin naisilla. Naisilla mediaani on lähes poikkeuksetta matalampi kuin keskiarvo.

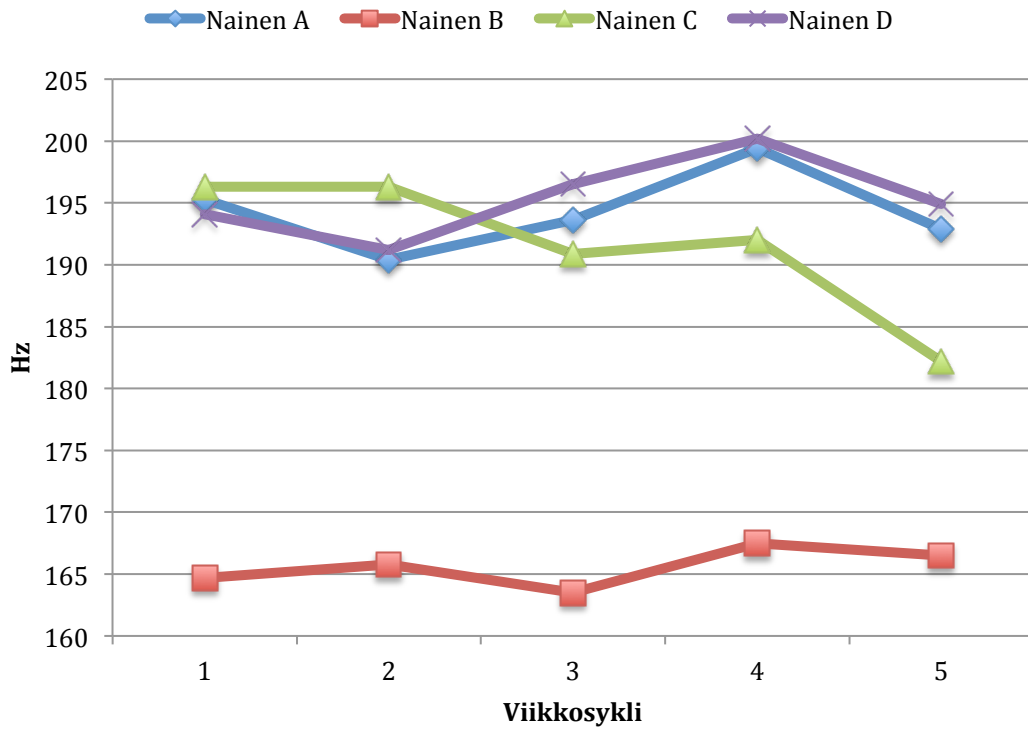
5.2 Viiden viikon seurantajaksot

Koko nauhoitusjakso jaettiin viiteen viikkosykliin siten, että yksi viikkosykli sisältää viisi nauhoitusviikkoa. Näistä viidestä nauhoitusviikosta laskettiin keskiarvot, jotka on esitetty osallistujittain taulukossa 7.

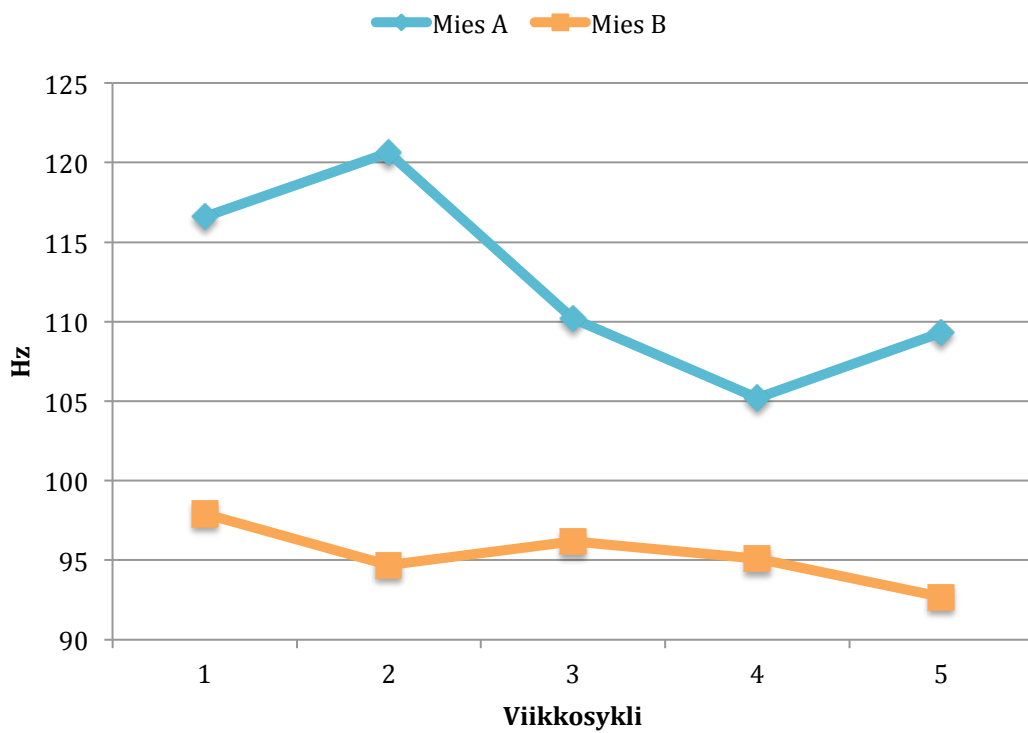
Taulukko 7: Naisten ja miesten F_0 :n viiden viikkosyklin keskiarvot. Luentakertojen väliset keskihajonnat ovat ilmoitettu suluihin. Viikot tarkoittavat nauhoitusviikkoja ja ilmoitetut tulosarvot ovat hertsejä (Hz). **Li-havoidulla** merkityt arvot kuvaavat osallistujien korkeimpia tulosarvoja ja **alleviivatut** matalimpia.

Kuukausi	Viikot	Nainen A	Nainen B	Nainen C	Nainen D	Naiset kaikki	Miehet kaikki	Mies A	Mies B
Lokak. - Marrask.	1 – 5	195,3 (9,0)	164,7 (5,8)	196,3 (4,8)	194,1 (6,1)	186,7 (6,4)	105,9 (3,0)	116,6 (3,3)	97,9 (2,6)
Jouluk. - Tammik.	6 – 10	<u>190,4</u> (5,9)	165,8 (4,7)	196,3 (7,1)	<u>191,2</u> (6,2)	183,6 (6,0)	109,5 (2,9)	120,6 (4,0)	94,7 (1,7)
Tammik. - Helmik.	11 – 15	193,6 (-)	<u>163,5</u> (9,3)	190,9 (6,4)	196,5 (9,0)	185,8 (8,2)	105,5 (3,2)	110,2 (5,2)	96,2 (1,2)
Helmik. - Maalisk.	16 – 20	199,4 (3,4)	167,5 (4,1)	192,0 (2,9)	200,2 (3,2)	189,9 (3,4)	<u>100,7</u> (5,5)	<u>105,2</u> (9,4)	95,1 (1,5)
Maalisk. - Huhtik.	21 – 25	192,9 (3,0)	166,5 (4,7)	<u>182,2</u> (1,3)	194,9 (10,1)	<u>183,1</u> (4,8)	101,0 (3,4)	109,3 (5,1)	<u>92,7</u> (1,8)

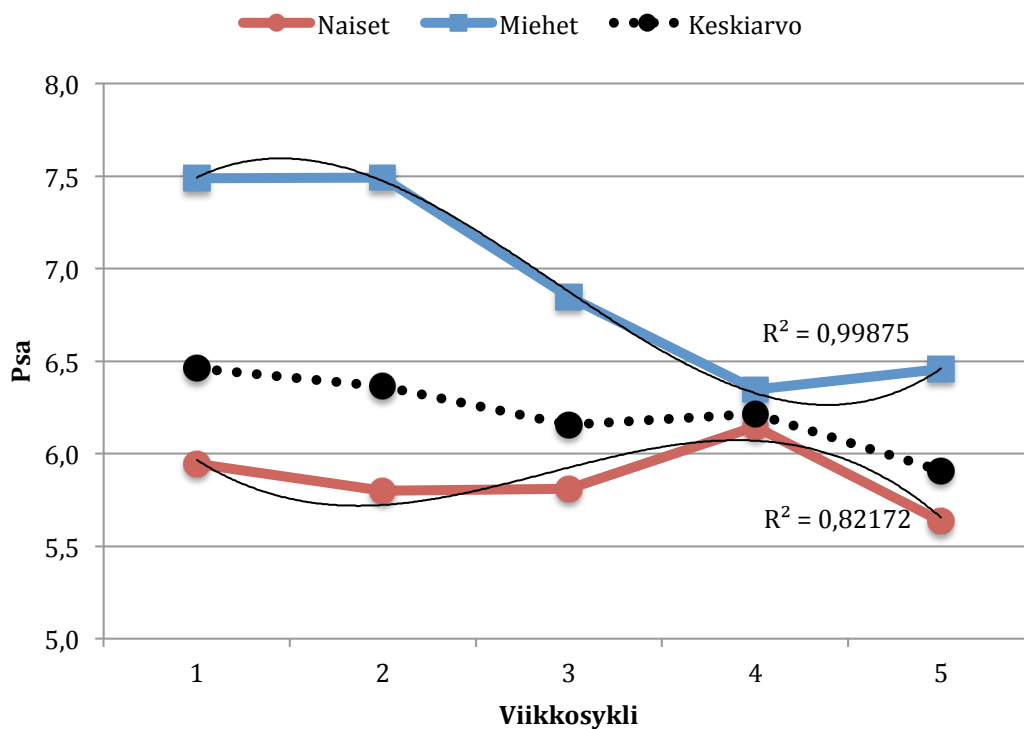
Miehillä korkeimmat viikkosyklien keskiarvot sijoittuvat nauhoitusten alkupuolelle ja matalimmat loppupuolelle. Kolmella naisosallistujalla korkein keskiarvo sijoittuu toiseksi viimeiselle viikkosykliin. Naisilla pienimmät keskihajonnat sijoittuivat nauhoitusten loppupuolelle. Keskihajonta oli keskimäärin suurinta nauhoitusten keskivaiheilla tai hieman sen jälkeen. F_0 :n keskiarvon vaihtelua viikkosykliittäin on kuvattu hertseinä kuvaajissa 12 ja 13 sekä puolisävelaskeleina kuvaajassa 14.



Kuvaaja 12: F_0 :n viiden viikkosyklin keskiarvojen muutokset naisilla.



Kuvaaja 13: F_0 :n viiden viikkosyklin keskiarvojen muutokset miehillä.



Kuvaaja 14: F_0 :n viiden viikkosyklin mukaisten keskiarvojen muutokset puolisävelaskelina naisilla ja miehillä. Musta viiva kuvaa naisten ja miesten yhdistettyjen tulosten keskiarvoa.

Naisilla keskimääräinen F_0 vaihteli eri viikkosyklillä noin 2,7 Hz ja miehillä 3,7 Hz. Puolisävelaskelina mitattuna viiden viikkosyklin keskihajonta naisilla 0,2 puolisävelaskelta ja miehillä 0,5 puolisävelaskelta. Kaikki osallistujat huomioiden keskimääräinen F_0 vaihteli eri viikkosyklillä noin 0,5 puolisävelaskelta. Naisten osalta F_0 keskiarvo oli korkeimmillaan neljännen viikkosyklin kohdalla (nauhoitusviikoista viikot 16–20). Neljännen viikkosyklin aikaan miesten F_0 keskiarvo oli puolestaan matalimmillaan.

5.3 Taustakysely

Taulukossa 8 on koottu taustatietojen ja taustakyselyn muuttujien korrelaatio F_0 :n keskiarvon muutoksiin. Nauhoituspäivien taustatietoihin kuuluivat nauhoitustilan ilmankosteus ja nauhoitusaika. Taustakyselyssä osallistujien tuli ilmoittaa heräämisaikansa nauhoituspäivänä sekä se olivatko he tehneet ääniharjoituksia, tupakoineet tai olleet kipeinä ennen nauhoituksia tai olivatko he kokeneet äänihäiriöitä nauhoitusten välillä. Valveillaoloaika on laskettu heräämisajan ja nauhoitusajan erotuksena puolen tunnin tarkkuudella.

Taulukko 8: Taustatietojen ja -kyselyn muuttujien korrelaatio F_0 :n keskiarvon muutoksiin nauhoitusajanjakson aikana. H-aika = heräämisaika, N-aika = nauhoitusaika, V-aika = valveillaoloaika.

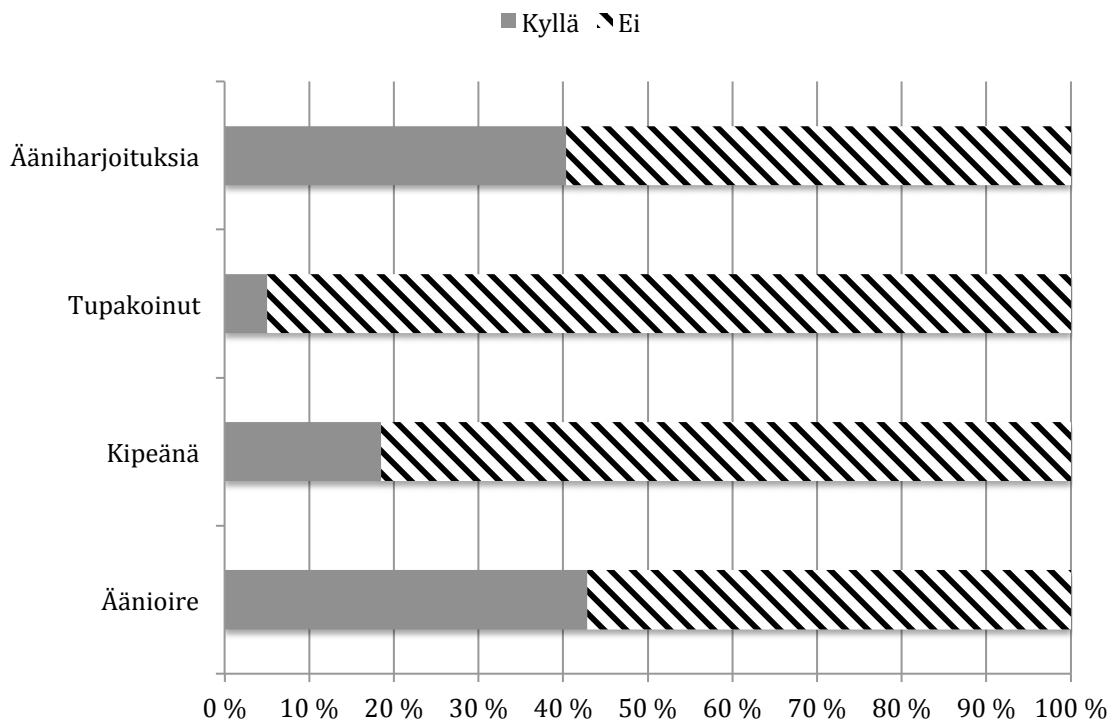
Osallistuja	Ilmankosteus	H-aika	N-aika	V-aika	Ääniharjoituksia	Tupakoinut	Kipeänä	Äänioire
Nainen A			0,489	0,614			-0,380	
Nainen B								
Nainen C			0,439				-0,464	
Nainen D			0,388					
Mies A							0,594	0,336
Mies B	0,505	0,344	0,360					-0,399

Taustakyselyn muuttujista F_0 :n keskiarvoihin vaikutti eniten nauhoitusaika. Se korreloi positiivisesti neljän osallistujan F_0 :n tulosarvojen kanssa. Nauhoitusaika vaihteli nauhoituskertojen välillä noin 1,4 tuntia. Osallistujittain ero aikaisimman ja myöhäisimmän nauhoitusajan välillä oli keskimäärin 3,3 tuntia, mutta nauhoitusaika ei muuttunut koskaan yli neljällä tunnilla. Tavallisimmin nauhoitukset tehtiin noin klo 11. Heräämisen ja nauhoitusten väliin jäi aikaa keskimäärin 2 tuntia ja 15 minuuttia. Nauhoitusajan vaikutusta keskimääräiseen F_0 :an on tarkasteltu vielä erikseen tunneittain taulukossa 9. Toiseksi eniten F_0 :an vaikutti kipeys tai kipeänä olo, joka korreloi kolmen osallistujan tulosten kanssa. Osallistujien kesken taustakyselyn muuttujat korreloivat eniten mies B:n tulosten kanssa.

Taulukko 9: Eri vuorokaudenaikana saatujen mittaustulosten vertailu. Mitattujen F_0 :n tulosarvojen keskiarvo / keskihajonta hertseinä (Hz). Suluissa näytteiden määrä (kpl). - = ei laskettua keskihajontaa.

Nauhoitusaika	Nainen A	Nainen B	Nainen C	Nainen D	Mies A	Mies B
7 – 9	188,7 / 2,1 (2)					92,7 / 2,6 (3)
9 – 11	194,3 / 6,4 (10)	163,6 / - (1)	180,7 / 1,2 (2)	181,4 / - (1)	112,1 / 9,0 (10)	95,6 / 2,2 (11)
11 – 13	199,4 / 4,7 (5)	165,7 / 5,6 (22)	192,3 / 6,7 (15)	195,5 / 6,3 (15)	111,6 / 7,4 (10)	96,3 / 2,7 (3)
13 – 14			192,2 / 2,0 (4)	197,8 / 8,3 (5)		

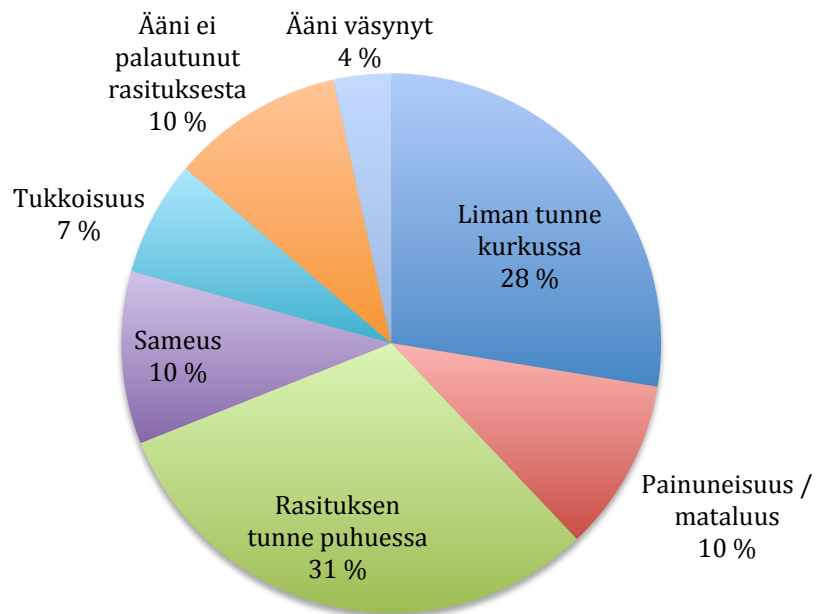
Kuten taulukossa 9 on nähtävillä, on keskimääräinen F_0 ollut pääsääntöisesti korkeampi silloin, mitä myöhemmin nauhoitukset on tehty vuorokaudenaikaan nähden. F_0 muuttui eri nauhoitusaikoina noin 4,1 Hz. Tulosten hajonta oli keskimäärin suurinta klo 11–13 välillä tehdyissä nauhoituksissa. Ääniharjoitusten, tupakoinnin, kipeyden tai äänioireiden ilmeneminen koko nauhoitusjaksolta kaikilta nauhoituskerroilta on esitetty kuvaajassa 15.



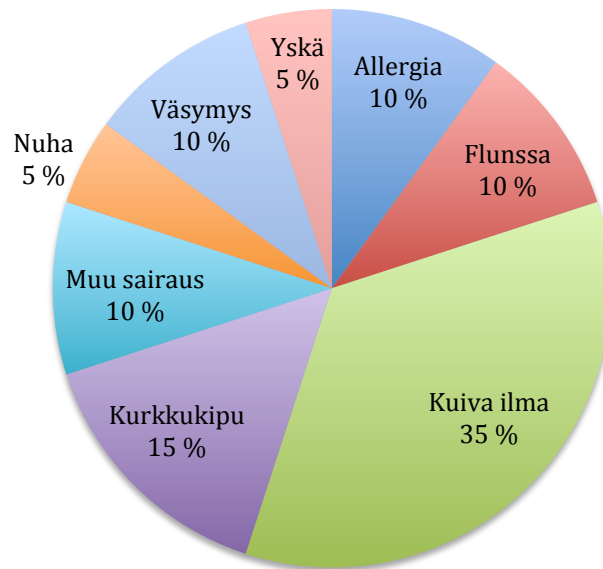
Kuvaaja 15: Taustakyselyssä kartoitettujen ääniharjoitusten, tupakoinnin, kipeyden ja äänioireiden määrä koko puolen vuoden nauhoitusjaksolta.

Taustakyselyn mukaan osallistujat ilmoittivat nauhoitusten yhteydessä eniten kokeneensa äänioireita ja tehneensä ääniharjoituksia nauhoitusjakson aikana. Näistä kahdesta muuttujasta vain äänioireet korreloivat (taulukko 8) kahden osallistujan keskimääräisen F_0 :n tulosten kanssa. Vaikka sairaana oloa ilmoitettiin vähemmän kuin äänioireita, korreloi se useamman osallistujan perustajuustulosten kanssa. Tupakointia ilmeni vain vähän. Se ei korreloinut yhdenkään osallistujan tulosten kanssa.

Osallistujat saivat nauhoitusviikkojen aikana ilmoittaa vapaamuotoisesti taustakyselyssä erilaisia äänenkäyttöön liittyviä oireita tai ongelmia. Nämä ilmoitukset on jaoteltu kahteen eri ryhmään sen mukaan, liittyivätkö ne pääsääntöisesti äänioireisiin vai muuhun ääneen mahdollisesti vaikuttavaan oireeseen tai asiaan. Näiden oireiden jakaumat on havainnollistettu ympyrädiagrammeina kuvaajissa 16 ja 17.



Kuvaaja 16: Nauhoitusten aikana ilmoitettujen äänioireiden jakauma.



Kuvaaja 17: Nauhoitusten aikana ilmoitettujen muiden oireiden jakauma.

Osallistujien ilmoittamista äänioireista yleisimmät olivat liman ja rasituksen tuntemukset. Seuraavaksi yleisimmät olivat äänen painuneisuus tai mataluus, sameus tai äänen palautumiseen liittyvät ongelmat. Muiden oireiden osalta yleisimpiä olivat kuiva ilma ja kurkkukipu. Seuraavina tulivat flunssan, allergian, muun sairauden tai väsymyksen oireet.

Taulukkoon 10 on koottu taustakyselyn muuttujien tulosten viiden viikkosyklin keskiarvot. Ääniharjoitusten, tupakoimisen, kipeyden ja äänioireiden suhteen osallistujat vastasivat joko ”kyllä” tai ”ei”. Eli mitä lähempänä kyseisten muuttujien tulosarvo on lukua 1, sitä enemmän osallistujat ovat vastanneet silloin ”kyllä”. Mitä lähempänä tulosarvo on lukua 2, sitä enemmän osallistujat ovat vastanneet ”ei”. Korkeimpia ja matalimpia arvoja ei ole korostettu erikseen silloin, jos samoja tulosarvoja oli useampi.

Taulukko 10: Taustakyselyn muuttujien tulokset viiden viikkosyklin keskiarvoina. H-aika = heräämisaika, N-aika = nauhoitusaika, V-aika = valveillaoloaika. **Lihavoidulla** merkityt arvot kuvaavat korkeimpia tulosarvoja ja alleviivatut matalimpia.

Viikkosykli	Ilmankosteus %	H-aika	N-aika	V-aika	Ääniharj.	Tupak.	Kipeänä	Äänioire	Nauh.yht.
1	40,1	8,8	11,3	2,5	1,6	2,0	1,7	1,7	25
2	30,8	9,2	11,0	<u>1,8</u>	1,6	2,0	1,7	1,6	22
3	<u>20,9</u>	<u>8,5</u>	<u>10,6</u>	2,1	1,7	2,0	1,9	<u>1,5</u>	22
4	28,0	8,8	11,0	2,3	1,7	<u>1,9</u>	1,8	1,6	26
5	34,7	8,7	11,0	2,3	1,6	2,0	1,9	1,6	25

Ilmankosteusprosentti oli matalimmillaan kolmannen viikkosyklin aikana. Samaan aikaan myös äänioireita ilmeni eniten, mutta vain hieman enemmän verrattuna muihin viikkosykleihin. Lisäksi osallistujat heräsivät ja kävivät nauhoituksissa kolmannen viikkosyklin aikana keskimäärin hieman aikaisemmin. Eniten nauhoituksia järjestettiin neljännen viikkosyklin aikana.

6 Pohdinta

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tarkastella tekstiluennasta mitatun keskimääräisen perustaajuuden vaihtelua eri luentakertojen välillä seurantatutkimuksena. Aihetta lähdettiin tarkastelemaan seuraavien tutkimuskysymysten kautta:

1. Miten paljon keskimääräinen perustaajuus vaihtelee eri tekstiluentakerroilla puolen vuoden aikana?
2. Ovatko keskimääräisen perustaajuuden vaihtelut sattumanvaraisia vai onko niissä havaittavissa säännöllisyyttä tai trendiä?
3. Ovatko keskimääräisen perustaajuuden vaihtelut erilaisia nauhoitusjakson alussa tai lopussa?
4. Millainen vaikutus sukupuolella, taustakyselyn muuttujilla tai ilmankosteudella on keskimääräisen perustaajuuden vaihteluihin?

Näitä kysymyksiä on tarkasteltu tulosten pohjalta seuraavissa alakappaleissa.

6.1 Perustaajuuden vaihtelut puolen vuoden aikana

Naisten perustaajuuden keskiarvo koko puolen vuoden nauhoitusjaksolta oli noin 186 Hz ja miehillä noin 104 Hz. Nämä saadut keskiarvot olivat hieman matalampia, kuin mitä aiemmissä tutkimuksissa on esitetty (kappale 2.2.2). On kuitenkin huomioitava, että osallistujista yhdellä naisella oli selkeästi muita naisia matalampi ääni. Kun tämän naisosallistujan tulosarvot jätetään huomioimatta keskiarvoa laskettaessa, tulee naisten yhteenlasketuksi perustaajuuden keskiarvoksi noin 194 Hz. Tämä tulos onkin siten lähempänä taulukon 1 (s. 10) arvojen yhteenlaskettua naisten perustaajuuden keskiarvoa. Yhden naisosallistujan poikkeava tulos muihin verrattuna saattaa tässä tutkielmassa johtua osallistujien ikäjakaumasta; matalaäänisin nainen oli myös kaikista osallistujista vanhin. Kappaleessa 2.2.2 laskettiin, että alle 39-vuotiailla aikuisilla naisilla perustaajuuden keskiarvo olisi noin 197 Hz, kun taas yli 50-vuotiailla noin 180 Hz. Tässä tutkielmassa saadut naisosallistujien perustaajuuden keskiarvotulokset näyttäisivätkin olevan samansuuntaisia aiempien ikään liittyvien tutki-

musten kanssa sen suhteen, että nuoremmilla osallistujilla on korkeampi puheääni. Miesosallistujien suhteen samanlaisia johtopäätöksiä ikääntymisen vaikutuksista ei voida tässä tutkielmassa tehdä vähäisen osallistujamäärän ja pienen keskinäisen ikäeron vuoksi. Ikääntymisen lisäksi tosin myös yksilöllinen ääniala ja ääniluokka ovat voineet vaikuttaa keskimääräisen perustaajuuden korkeuseroihin eri osallistujien välillä. Ääniala sijoittuu yksilöllisesti taajuusasteikolle ääniluokan mukaan riippuen ääniväylän ja äänihuulten koosta (Laukkanen & Leino 2001, 53).

Keskimääräinen perustaajuus vaihteli jonkin verran eri luentakertojen välillä. Naisilla vaihtelua oli noin 6 Hz ja miehillä noin 8 Hz. Puolisävelaskeleina mitattuna keskimääräinen perustaajuus vaihteli noin 0,4 puolisävelaskelta eri luentakerroilla. Tässä tutkielmassa ei ollut tarkoituksena kontrolloida osallistujien tuottamaa perustaajuutta luennan aikana, joten he saivat lukea tekstiä aina itselleen sopivalla korkeudella. Myös Leen *et al.* (1999) tutkimuksessa perustaajuuden tulosarvot vaihtelivat huomattavasti mittauskertojen välillä silloin, kun osallistujien tuottamaa perustaajuutta ei pyritty kontrolloimaan. Silloin kun perustaajuutta kontrolloitiin, oli heidän tutkimuksessaan perustaajuus muuttunut vain 1–2 Hz. Naisosallistujien kesken vaihtelut olivat tässä tutkielmassa likimäärin samansuuruisia, kun taas miesosallistujien kesken vaihteluiden määrässä oli huomattavampi ero. Toisella miesosallistujalla perustaajuus vaihteli kaikista osallistujista eniten, noin 8 Hz:n verran. Toisella miehistä puolestaan keskimääräinen perustaajuus pysyi suhteellisen samana luentakerasta toiseen, kun vaihtelua oli keskimäärin vain vajaa 3 Hz. Kuitenkaan luennan sisäinen perustaajuuden keskijointa ei poikkea kovin suuresti toisen miesosallistujan vastaavasta tuloksesta. Toisin sanoen, vaikka mittauskertojen välinen vaihtelu oli huomattavasti pienempää, ei se kuitenkaan näkynyt puheen monotonisuutena.

Yksi selitys tällaiselle ilmiölle, jossa osalla osallistujista vaihtelut ovat selkeästi laajalaisempia, saattaa liittyä osallistujien äänenkäyttökokemuksiin. Aiemmin on jo todettu, että äänenharjoittamisella voi olla pitkäaikaisia vaikutuksia äänenkäyttöön (Leino & Kärkkäinen 1995) ja että kokeneiden äänenkäyttäjien tulokset voivat erota muiden äänenkäytöllisesti kokemattomampien osallistujien tuloksista (Laukkanen *et al.* 2004a). Tässä tutkielmassa kokeneilla äänenkäyttäjillä keskimääräinen perustaajuus vaihteli mittauskertojen välillä suhteessa enemmän kuin yhdellä verrattain kokemattomammalla osallistujalla. Myös taustakyselyn tulosten perusteella kyseinen verrattain kokemattomampi äänenkäyttäjä eroaa hieman muista osallistujista. Hänellä keskimääräinen perustaajuus korreloi ilmankosteuden, heräämis- ja nauhoitusajan sekä ilmoitettujen äänioireiden kanssa. Muilla korrelaatiota esiintyi vaihtelevasti lähinnä nauhoitusajan tai sairaana olon suhteen. Voikin olla, että kokeneet äänenkäyttäjät vaihtelevat puhetapaansa herkemmin eri tilanteissa eri syiden vuoksi, mikä saattaa osittain selittää perustaajuuden suuremman vaihtelun mittauskertojen välillä. Lisäksi erilaisten asioiden kuten sairaana olon tai ilmankosteuden vaikutukset saattavat nä-

kyä herkemmin sellaisella osallistujalla, jolla tulokset ovat muutenkin hyvin tasaisia mittauskerrasta toiseen. Tasaisissa tuloksissa pienikin poikkeama voi näkyä selkeämmin kuin sellaisissa tuloksissa, joissa vaihteluita on luonnostaan enemmän. Osallistujien epätasaisen jakautumisen takia ei lopullisia johtopäätöksiä voida tehdä äänenkäyttökokemuksen vaikutuksista mittaustuloksiin. Taustakyselyn muuttujien kuten nauhoitusajan tai sairaana olemisen vaikutuksia perustaajuuteen käsitellään pohdinnoissa myöhemmin lisää.

Aiemmissa tutkimuksissa, joissa mittauksia on tehty useampana kuin yhtenä päivänä, ovat keskimääräisen perustaajuuden tulosarvot muuttuneet mittauskertojen välillä naisilla noin 4 Hz ja miehillä 2 Hz. Tässä tutkielmassa keskimääräinen vaihtelu oli aiempiin tutkimuksiin verrattuna hieman suurempaa silloin, kun otetaan huomioon kaikkien mittauskertojen välinen vaihtelu. Hieman ongelmalliseksi tällaisen vertailun tekee se, että aiemmissa tutkimuksissa mittauskertoja on ollut huomattavasti vähemmän. Kun otetaan vertailun vuoksi huomioon tässä tutkielmassa tehdyt kaksi ensimmäistä mittauskertaa, on naisilla keskimääräinen perustaajuus muuttunut noin 3 Hz ja miehillä hieman yli hertsin. Etenkin miehillä ero vain kahden ja useamman mittauskerran välillä näyttäisi olevan suuri. Tosin miehiä oli vain kaksi, jolloin osallistujien joiltakin viikoilta puuttuvat tulosarvot voivat vaikuttaa ryhmän keskiarvoon. Pitkäaikaisvertailu useammalta kuin kahdelta mittauskerralta näyttäisi osoittavan sen, että keskimääräinen perustaajuus voi vaihdella luonnostaan eri mittauskertojen välillä usean hertsin verran. Vaikka vuorokausirytmien ja rasituksen vaikutukset pyrittiin minimoimaan, vaikutti etenkin nauhoitusaika joidenkin osallistujien tuloksiin. Keskimääräisen perustaajuuden tutkimustuloksia arvioitaessa jääkin pohdittavaksi, millainen vaihtelu on normaalia mittauskertojen välistä tai vuorokausirytmien mukaista luonnollista vaihtelua. Myös tähän palataan pohdinnoissa hieman myöhemmin.

Tämän tutkielman tulokset voivat antaa viitteitä esimerkiksi siitä, onko pari mittauskertaa riittävä määrä perustaajuuden tutkimisessa. Aiemmissa keskimääräistä perustaajuutta mittaavissa tutkimuksissa on käytetty yleensä vain paria mittauskertaa kuvaamaan perustaajuudessa tapahtuvia muutoksia. Kuitenkin esimerkiksi optimaalisen puhekorkeuden määrittämisen kannalta mittauskertojen vähäinen määrä voi olla ongelmallinen. Voidaanko optimaalista puhekorkeutta määritellä kovin tarkasti vain yhden mittauskerran perusteella, jos samalta henkilöltä mitatun keskimääräisen perustaajuuden tulokset voivat vaihdella useamman hertsin verran eri mittauskertojen välillä? Vaikka perustaajuus muuttui eri nauhoituskertojen välillä puolen vuoden aikana keskimäärin alle 5 Hz, oli perustaajuuden vaihteluväli huomattavan paljon suurempi; naisilla noin 25 Hz (2,3 psa) ja miehillä 22 Hz (3,6 psa). Kaiken kaikkiaan keskimääräinen perustaajuus saattoi siis muuttua puolen vuoden aikana yli 20 Hz:llä. Ensimmäisten viikkojen aikana naisilla keskimääräinen perustaajuus vaihteli jopa 5–6 Hz, kun taas miehillä vaihtelua oli vain 1–2 Hz. Naisilla näyttäisikin näiden tulos-

ten valossa olevan jo heti ensimmäisten mittauskertojen välillä miehiä enemmän vaihtelua perustajuuden tulosarvoissa. Tämä voi vaikeuttaa naisilla esimerkiksi optimaalisen puhekorkeuden määrittämistä tai eri interventiotutkimusten vaikutusten arviointia. Koska naisilla perustajuuden vaihtelua ilmeni noin viitisen hertsiä, voitaneen sitä pitää jonkinlaisena viitteellisenä tarkkuusarvona yksittäisiä tuloksia ja etenkin puhekorkeuden optimaalisuutta arvioitaessa. Miehillä vastaava noin 2 Hz:n vaihtelu voisi toimia samanlaisena viitelukuna. Jatkotutkimukset suuremmalla osallistujamäärällä ovat tarpeen.

Nauhoitusjakson alku- ja loppupuolta vertaillen voi olla mahdollista havaita tiettyjä pidempiaikaisia muutoksia mittaustuloksiin liittyen. Tässä tutkielmassa luentanäytteistä mitatut korkeimmat yksittäiset tulosarvot sijoittuivat sekä naisilla että miehillä pääpiirteissään nauhoitusjakson alku- tai keskivaiheille. Tästä huolimatta naisilla keskimääräinen perustajuus oli hieman matalampi ja nauhoituskertojen välinen vaihtelu tasaisempaa nauhoitusten alkupuolella. Sen sijaan luennan sisäinen perustajuuden vaihtelu oli keskimäärin suurempaa nauhoitusten alkupuolella. Naiset siis lukivat tekstiä nauhoitusjakson alkupuolella hieman matalammalta ja vivahteikkaammin, mutta samalla myös keskimäärin tasaisemmin samalta korkeudelta kuin loppupuolella. Miesosallistujat puolestaan puhuivat nauhoitusjakson alkupuolella keskimäärin korkeammalta, mutta naisten tapaan myös vivahteikkaammin ja keskimäärin tasaisemmin samalta keskikorkeudelta. Luentakertojen välisen keskimääräisen perustajuuden tulosarvojen hieman suurempi vaihtelu loppupuolella voi selittyä osittain sillä, että osallistujat lukivat tekstiä keskimäärin monotonisemmin ja aina hieman eri korkeudelta eri luentakerroilla. Ero alku- ja loppupuolen luentakertojen vaihteluiden välillä ei kuitenkaan ollut kovin suuri. Luennan perustajuusvaihtelun kaventuminen ja tasaisuus etenkin nauhoitusten loppupuolella voisi viitata jonkinlaiseen tottumiseen tai rutinoitumiseen nauhoitustilanteeseen liittyen. Osallistujien tuli lukea tekstiä neutraalisti, eli heidän ei oletettu tulkitsevan tekstiä millään tavalla. Voikin olla, että mitä tutummaksi osallistujat tulivat sekä tekstin että nauhoitustilanteen suhteen, vaikutti se heidän lukemiseensa kaventamalla korkeuden vaihtelua luennan aikana.

Keskimääräinen perustajuus vaihteli aaltomaisesti eri nauhoituskertojen välillä. Trendin korrelaatio oli kuitenkin vain melko kohtalaista ja vaihteluissa ei ollut havaittavissa suuria yhtäläisyyksiä osallistujien kesken. On vaikea arvioida, millainen vaihtelu on esimerkiksi voinut johtua hormonaalisista tekijöistä kuten naisilla kuukautiskierrosta. Yksi samansuuntainen kohoama trendissä oli kaikkien osallistujien kesken hieman nauhoitusjakson keskivaiheen jälkeen. Ajallisesti kyseinen jakso sijoittui helmikuun lopusta maaliskuun loppupuolelle. Sitä, onko lämpötilan tai vuodenaikojen vaihteluilla ollut tässä kohtaa merkitystä, on vaikea sanoa. Rouvinen (2007) ehdotti omassa tutkielmassaan, että tiettyyn vuodenaikaan liittyvien lämpötilan ja ilmakehän kosteuden vaihteluilla voisi olla jonkinlainen merkitys keskimääräisen perustajuuden muutoksissa. Ilmatieteenlaitoksen mu-

kaan nauhoitusjakson aikaan talvikuukausien keskilämpötila oli tavanomaista korkeampi lukuun ottamatta kylmää helmikuuta. Kuitenkin kyseisenä vuonna terminen kevät, jolloin vuorokauden keskilämpötila on 0 ja +10 asteen välillä, alkoi Etelä- ja Länsi-Suomessa jo osittain maaliskuun alussa. (”Kevätsään tilastot”, ”Talven 2011-2012 sää”. Ilmatieteenlaitoksen www-sivusto 2014.) Äänitystilanteessa kerätyn tiedon mukaan ilmankosteusprosentti oli matalimmillaan kolmannen viikkosyklin aikana eli kylmän helmikuun aikana juuri ennen trendin kohoumaa ja ennen termisen kevään alkua. Taustakyselyn mukaan osallistujat ilmoittivat kokeneensa kuivan ilman vaikuttaneen heidän äänenkäyttöönään äänioireista kysyttäessä. Kolmannen viikkosyklin aikana ilmeni myös hieman enemmän äänioireita, mutta ei kuitenkaan selkeästi enemmän kuin muiden viikkosykliden aikana. Voi siis olla, että termisen kevään alulla ja ehkä ilmankosteuden nousulla on voinut olla keskimääräistä perustaajuutta nostava vaikutus kylmän ja kuivan jakson jälkeen. Ilmankosteus ja keskimääräinen perustaajuus eivät kuitenkaan korreloineet keskenään muiden kuin yhden miesosallistujan kohdalla. Vuodenaikojen vaikutuksien arvioiminen vaatiikin tarkempia tutkimuksia, jotta niistä voitaisiin tehdä suurempia johtopäätöksiä.

6.2 Perustaajuuden vaihtelut viiden viikon ajanjaksoina

Viikkosykliden tarkoituksena oli kuvata keskimääräisen perustaajuuden muutoksia viiden nauhoitusviikon keskiarvoina ja siten myös ikään kuin kuukausittaisena vaihteluna. Todellinen kuukausittainen vertaileminen olisi ollut hankalampaa, sillä tietyllä nauhoitusviikolla tehdyt nauhoitukset olisivat saattaneet jakaantua kahdelle eri kuukaudelle. Viikkosyklit antavat siten paremman mahdollisuuden vertailla nimenomaan eri viikkoina tapahtuneita muutoksia. Ne voivat myös kuvastaa keskimääräisen perustaajuuden pidempiaikaisia muutoksia yksittäisiä viikkotuloksia paremmin. Naisilla perustaajuuden keskiarvojen erot eri viikkosykliden välillä olivat hieman tasaisempia kuin miehillä. Naisilla muutosta tapahtui keskimäärin vajaa 3 Hz ja miehillä vajaa 4 Hz. Puolisävelaskeleina se tarkoitti naisilla vain 0,2 ja miehillä 0,5 puolisävelaskeleen eroa. Pitkäaikaisvertailussa keskimääräisen perustaajuuden hajonnan tulokset olivat likimäärin samansuuruisia, kuin mitä yksittäisten viikkotulosten vertailussa tuli ilmi. Hajonnan suuruuden suhteellinen tasaisuus näyttäisi osoittavan sen, että keskimääräisessä perustaajuudessa ilmenee useimmiten suurin piirtein samansuuruisia vaihtelua huolimatta siitä, millainen aika nauhoitusjakson alkamisesta on kulunut.

Perustaajuuden keskiarvojen tulosarvot olivat naisilla korkeimmillaan ja miehillä matalimmillaan neljännen viikkosyklin aikana. Nämä keskiarvojen muutokset olivat sukupuolittain samansuuntaisia kaikilla naisilla ja miehillä. Lisäksi kyseisellä viikkosyklillä keskihajonta oli naisilla keskimäärin pienintä ja miehillä korkeinta. Neljäs viikkosykli sijoittuu ajallisesti suurin piirtein samoihin

aikoihin kuin jo aikaisemmin mainittu trendin kohouma helmi-maaliskuun paikkeilla. Taustakyselyn tuloksista ei suoraan paljastunut mitään sellaista poikkeavaa neljännen viikkosyklin kohdalla, mikä olisi voinut suoraan selittää kyseiseen aikaan tapahtuneet ilmiöt. Tämän vuoksi onkin tarkasteltava sitä, mitä on tapahtunut ennen kyseistä viikkosykliä tai sen jälkeen. Kahdella ensimmäisellä viikkosyklillä osallistujat ilmoittivat olleensa kipeinä useammin kuin muiden viikkosykliden aikana. Kipeänä olo vaikutti kahdella naisella perustaajuutta laskevasti ja yhdellä miehellä nostavasti. Kolmannella viikkosyklillä ilmankosteus oli matalimmillaan ja osallistujat ilmoittivat kokeensa hieman enemmän äänioireita. Äänioireiden yhteydessä osallistujat ilmoittivat selkeästi eniten rasituksen ja liman tunteesta sekä kuivan huoneilman koetuista vaikutuksista äänenkäyttöön. Aiemmissä tutkimuksissa on todettu matalamman ilmankosteuden lisäävän epämiellyttäviä tunteita kurkunpäässä ja hengitysteissä (esim. Hemler *et al.* 1997). Matalampi ilmankosteus voi selittää koettujen äänioireiden lievän lisääntymisen kolmannella viikkosyklillä. Nauhoituksia ei järjestetty, jos osallistuja koki olleensa kipeä. Nauhoituksia järjestettiin hieman vähemmän toisella ja kolmannella viikkosyklillä, mikä puolestaan voisi ainakin osittain viitata osallistujien kipeänä olon lisääntymiseen talvikuukausina. Voi siis olla, että pitkään jatkuneiden ääntä mahdollisesti kuormittavien tekijöiden väheneminen kolmannen viikkosyklin jälkeen on vaikuttanut naisilla keskimääräiseen perustaajuuteen nostavasti ja miehillä laskevasti.

Aiemmissä pitkäaikaisseurantatutkimuksissa, joissa mittauksen väliin on jäänyt aikaa useampi kuukausi, on keskimääräinen perustaajuus muuttunut kahden eri mittauskerran välillä noin 4–5 Hz (naisilla). Tässä tutkielmassa, jossa mittauskertoja oli useita, on vastaava pidempiaikainen muutos ollut keskimäärin hieman pienempää. Kuitenkin eri viikkosykliden keskiarvojen vaihteluväli oli naisilla melkein 7 Hz ja miehillä jopa melkein 9 Hz. Kun otetaan huomioon viikkotulosten ja viikkosykliden keskimääräisen perustaajuuden vaihteluiden lisäksi myös aiemmat tutkimustulokset, voidaan niiden perusteella tehdä jonkinlainen arvio ”normaalista” mittauskerrasta toiseen tapahtuvasta vaihtelusta. Näiden tulosten pohjalta todettakoon, että naisilla neutraalista tekstiluennasta mitatun keskimääräisen perustaajuuden luonnollinen mittauskertojen välinen vaihtelu näyttäisi olevan noin 4–5 Hz ja miehillä noin 4 Hz. Lisätutkimukset ovat kuitenkin tarpeen, jotta voidaan selvittää tarkemmin esimerkiksi äänenkäyttökokemusten merkitys perustaajuuden pitkäaikaisvaihteluissa. Lisäksi miesosallistujien vähäisen määrän vuoksi tuloksia voidaan pitää tässä vaiheessa vain viitteellisinä.

6.3 Taustakyselyn muuttujien vaikutus perustajuuteen

Nauhoitusten yhteydessä tehtävällä taustakyselyllä pyrittiin selvittämään erinäisten taustatekijöiden mahdollisia vaikutuksia keskimääräiseen perustajuuteen. Osanottajilta kysyttiin muun muassa sitä, moneltako he olivat heränneet nauhoituspäivänä, olivatko he olleet sairaana nauhoitusten välissä tai olivatko he kokeneet äänioireita nauhoitusjakson aikana. Osallistujien tuli välttää äänellistä kuormitusta ennen nauhoituksia ja heidän tuli ilmoittaa, jos he olivat tehneet mitään ääniharjoituksiin liittyvää nauhoitusaamuna. Koska kolme osallistujaa ilmoitti tupakoivansa satunnaisesti, päätettiin myös se huomioida viikoittaisessa taustakyselyssä. Lisäksi taustakyselyn yhteydessä kirjattiin ylös nauhoitushetken kellonaika ja ilmankosteusprosentti. Osallistujilla oli mahdollisuus kuvailla omin sanoin kokemiaan äänioireita. Varsinaisten äänioireiden lisäksi he kuvailivatkin useimmiten myös muita ääneen mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä kuten sairauden oireita tai koettua ilmanlaatua.

Viikoittaisessa kyselyssä osallistujat ilmoittivat eniten kaikista muuttujista kokeneensa äänioireita. Ilmoitetut oireet jaettiin kahteen eri kategoriaan: varsinaisiin äänioireisiin ja muihin, esimerkiksi sairauteen liittyviin oireisiin. Äänioireista yleisimmät olivat rasituksen tunne puhuessa ja liman tunne kurkussa. Muista oireista yleisimpiä olivat kuivan ilman koetut vaikutukset ja kurkkukipu. Vaikka matalammalla ilmankosteudella ei näyttänyt olleen suoranaisia vaikutuksia keskimääräiseen perustajuuteen, ovat osallistujat silti tunnistaneeet kuivan ilman epämiellyttäväksi ja sen mahdolliset vaikutukset heidän omaan äänenkäyttöönsä. Suuremmalla ilmankosteudella on todettu aiemmissa tutkimuksissa olevan äännön kynnyspainetta alentava ja ääntämistä helpottava vaikutus (Verdolini-Marston *et al.* 1990; Verdolini *et al.* 1994) ja matalampi ilmankosteus on yhdistetty epämiellyttäviin tuntemuksiin kurkunpäässä ja hengitysteissä (Hemler *et al.* 1997). Siten tämän tutkielman tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tutkimusten kanssa etenkin matalamman ilmankosteuden suhteen; osallistujat kokivat matalan ilmankosteuden epämiellyttäväksi ja samaan aikaan hieman enemmän äänioireita. Suuremmalla ilmankosteudella näytti olevan keskimääräistä perustajuutta nostava vaikutus vain yhden miesosallistujan kohdalla.

Ilmoitetut äänioireet näyttivät vaikuttavan kohtalaisesti miesosallistujien tuloksiin sekä nostamalla että laskemalla perustajuutta. Toisella miesosallistujalla äänioireiden ja sairaana olon ilmeneminen nosti keskimääräistä perustajuutta, kun taas toisella perustajuus laski äänioireiden yhteydessä. Aiemmissa tutkimuksissa on saatu selville, että äänenrasituksen yhteydessä äänenlaatu muuttuu puristeisemmaksi ja perustajuus nousee (esim. Rantala 2000, 87–88). Tosin miesten kohdalla äänenlaadun muutokset eivät ole aina olleet yhtä selkeitä (esim. Laukkanen & Kankare 2006). Äänen puristeisuus voi viitata kiinteämpään äänihuulisulkeumaan äännön aikana (esim. Verdolini *et al.* 1998), mutta äänenrasitukseen liittyy myös muita muutoksia kurkunpäässä, kuten äänihuulten

turvotusta, punoitusta sekä epäsäännöllisyyttä värähtelynopeudessa ja –laajuudessa (Mann *et al.* 1999). Ei ole täysin selvää, miksi äänioireilla on ollut erilainen vaikutus miesosallistujien kesken tai miksi sairaana olo on näkynyt naisten ja miesten välillä erilaisina perustajuuden muutoksina. Yksi vaikuttava tekijä miesten keskinäisessä erossa voi olla erot äänenkäyttökokemuksissa. Kokeneemalla äänenkäyttäjällä keskimääräinen perustajuus nousi sekä äänenrasituksen että sairaana olon yhteydessä, kun taas verrattain kokemattomalla osallistujalla perustajuus laski äänioireiden ilmetessä. Voi siis olla, että kokeneempi miesosallistuja on pyrkinyt kompensoimaan rasitusta muuttamalla äänentuottoaan tiiviimmäksi ja nostamalla keskimääräistä perustajuutta. Perustajuuden mataltuminen voisi puolestaan viitata päinvastaisiin äänenlaadun muutoksiin. Mutta koska tässä tutkimuksessa ei selvitetty tarkemmin äänenlaadun muutoksia tai muita kurkunpään fysiologisia muutoksia rasitukseen liittyen, jäävät nämä päätelmät vain arvailujen varaan. Kuitenkin tulevaisuudessa voi olla tarpeen selvittää osallistujien kokemia äänioireita ja sairaana oloa ennen mittauksia. Vaikka nauhoituksia ei järjestetty osallistujan ollessa sairaana, näytti silti olevan vaikutus keskimääräisen perustajuuden vaihteluihin.

Osallistujat näyttivät ilmoittaneen äänitysten alussa olleensa hieman useammin sairaana. Lisäksi äänitysten keskivaiheilla osallistujat ilmoittivat kokeneensa äänioireita hieman enemmän. Naisilla sairaana olo vaikutti keskimääräiseen perustajuuteen laskevasti ja yhdellä miehellä nostavasti. Kun otetaan vielä huomioon, että nauhoitusten alkupuolella naiset puhuivat keskimäärin hieman matalammalta ja miehet korkeammalta, voidaan tehdä seuraava oletus. Nauhoitusten alkupuolella pitkään jatkuneet sairauden ja äänioireiden tuntemukset johtivat siihen, että naisilla perustajuus oli keskimäärin heille tavallista matalampi ja miehillä korkeampi. Siten tällaisen pitkäaikaisen oireilun helpotuttua tapahtui perustajuudessa molemmilla sukupuolilla selkeä muutos: naisilla perustajuus nousi ja miehillä laski. Vaikka ilmankosteus olikin matalimmillaan silloin, kun osallistujat ilmoittivat kokeneensa eniten äänioireita, ei se silti korreloinut muiden kuin yhden miesosallistujan tulosten kohdalla. Se, miksi ilmankosteudella ei näyttänyt olevan suurta merkitystä, saattoi johtua siitä, että osallistujat viettivät vain vähän aikaa nauhoituksille järjestetyssä tilassa. Siten nauhoitustilan ilmankosteuden muutokset eivät välttämättä ehtineet vaikuttaa keskimääräiseen perustajuuteen merkitsevästi. Tosin voitaneen olettaa nauhoitustilan ilmankosteuden heijastavan sitä, millainen ilmankosteus on todennäköisesti ollut muissakin tiloissa. Osallistujat kuitenkin tunnistivat yleisesti kuivan ilman mahdollisesti vaikuttavan omaan ääneensä. Myöhemmissä tutkimuksissa voi olla hyödyllistä selvittää nauhoitustilan ilmankosteuden lisäksi esimerkiksi se, onko osallistujien työtiloissa tai kotona käytössä säännöllinen ilmankostutus.

Vuorokausirytmillä näytti olleen pieni merkitys keskimääräisen perustajuuden vaihteluihin mittauskertojen välillä, vaikka nauhoitusaikaa pyrittiin kontrolloimaan ja pitämään mahdollisuuksi-

en mukaan aina samana. Jopa neljällä osallistujalla kuudesta myöhäisempi nauhoitusaika korreloi positiivisesti keskimääräisen perustaajuuden kanssa. Kuitenkaan valveillaoloaika äänityspäivän aamuna ei vaikuttanut keskimääräiseen perustaajuuteen kuin vain yhdellä naisosallistujalla, mikä voisi siten viitata erityisesti vuorokausirytmien merkitykseen. Bouhuys *et al.* (1990) totesivat perustaajuuden muuttuvan vuorokauden aikana kaavamaisesti päivästä toiseen, vaikka heidän tutkimuksessaan osallistujien unen määrää oli rajoitettu. Nauhoitusaika vaihteli tässä tutkielmassa keskimäärin noin 3–3,5 tuntia ja nauhoitus järjestettiin useimmiten noin klo 11 aikaan. Kahdella osallistujalla, joiden kohdalla nauhoitusajalla ei näyttänyt olleen merkitystä, nauhoitusaika vaihteli vähemmän kuin muilla. Näiden tulosten valossa näyttäisikin siltä, että parin tunnin muutos nauhoitusajassa eri mittauskerroilla ei näyttäisi vaikuttavan keskimääräiseen perustaajuuteen merkitsevästi. Sen sijaan yli kolmen ja puolen tunnin muutos voi jo vaikuttaa hieman tulosarvoihin. Voitaneen lisäksi olettaa aikaisempien tutkimuksien pohjalta, että mitä enemmän nauhoitusaika vaihtelee eri mittauskertojen välillä, sitä suurempi merkitys sillä voi olla keskimääräiseen perustaajuuteen. Nauhoitusajan ja vuorokausirytmien vaikutukset olivat samansuuntaisia kuin mitä aiemmissa vuorokausirytmitutkimuksissa on saatu. Niissä on havaittu keskimääräisen perustaajuuden nousevan iltapäivää kohden. Toki osassa näistä tutkimuksissa on työpäivään liittyvällä äänellisellä kuormituksella voinut olla omat vaikutuksensa (esim. Rantala *et al.* 2002). Perustaajuuden on kuitenkin todettu nousevan aamupäivän ja iltapäivän välillä myös niissä tapauksissa, jolloin äänellistä kuormitusta on vältetty (Artkoski *et al.* 2002) tai mittaukset on tehty muulloin kuin työpäivinä (Hunter & Titze 2010). Colquhounin (1971, 40, 100) mukaan yksilöllisessä vuorokausirytmisissä valveillaoloaika on aktiivista aikaa, jolloin kehossa tapahtuu enemmän muutoksia verrattuna nukkumisvaiheeseen. Näitä muutoksia tapahtuu kehon lämpötilassa, sydämen sykkeessä, verenpaineessa ja niin edelleen. Keskimääräisen perustaajuuden vuorokaudenajan mukaisen nousun taustalla voi siis vaikuttaa vuorokausirytmien yksilölliset muutokset verenkierrossa ja vireystilassa. Koska muutosta tapahtui eri mittausaikojen välillä keskimäärin 4 Hz, olisi tulevaisuudessa hyvä huomioida myös vuorokausirytmien ja nauhoitusajan vaikutukset perustaajuuden muutoksiin.

Kolme osallistujaa ilmoitti tupakoineensa nauhoitusten aikana, mutta tupakoinnilla ei näyttänyt olleen vaikutusta heidän perustaajuuden tuloksiin. Vaikka osallistujat tekivät suhteellisen paljon ääniharjoituksia nauhoitusjakson aikana, ei niiden tekemisellä tai tekemättä jättämisellä myöskään näyttänyt olleen vaikutuksia tulosarvoihin. Myöhäisempi heräämisaika ja pidempi valveillaoloaika nostivat keskimääräistä perustaajuutta yhteensä vain kahdessa tapauksessa. Valveillaoloajan korrelaatiokerroin oli yhdellä naisosallistujalla suurempi kuin nauhoitusajan, jolloin sillä näytti olleen kyseisen osallistujan kohdalla hieman suurempi merkitys perustaajuuden muutoksissa. Heräämis- ja

valveillaoloajan vaikutuksia voi olla syytä tutkia tarkemmin tulevaisuudessa, jotta niiden tarkempi merkitys perustajuuden tuloksissa voidaan saada selville.

6.4 Tutkimuksen arviointia

Tämän tutkielman tulokset ovat vain suuntaa antavia osallistujien määrän takia. Etenkin miesten keskiarvotuloksissa muutamilta viikoilta puuttuvien tulosarvojen merkitys on suuri. Tämän vuoksi miesten keskiarvotuloksia on syytä tarkastella varauksella. Tietyissä tapauksissa voikin olla hyödyllisempää arvioida ryhmäkeskiarvojen sijasta yksilöllisiä muutoksia. Kuitenkin mittauskertojen suuri toistomäärä pitkällä aikavälillä antaa vahvoja viittauksia siihen, millaista vaihtelua keskimääräisessä perustajuudessa voi tapahtua mittauskertojen välillä. Äänenkäyttökokemusten vaikutus perustajuuden vaihteluihin vaatii tarkempia tutkimuksia tasaisemmalla ryhmäjaolla ja kenties suuremmalla osallistujamäärällä.

Nauhoitusajalla näytti olevan tässä tutkielmassa pieni merkitys keskimääräisen perustajuuden vaihteluissa. Myöhemmissä tutkimuksissa olisikin kenties syytä tarkentaa äänitysajan kontrollia siten, että nauhoitusajankohta saisi muuttua mahdollisimman vähän. Siten se voisi antaa tarkemman arvion siitä, millaista vaihtelua keskimääräisessä perustajuudessa todella tapahtuu eri mittauskerroilla. Osallistujien sitouttaminen pitkällä aikavälillä usein toistuviin nauhoituksiin voi toisinaan olla hankalaa, mikä puolestaan saattaa vaikeuttaa tällaisten tutkimuksien järjestämistä suurella joukolla. Mutta koska vaihteluiden suuruudessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia pitkällä aikavälillä, voi lyhyempikin, esimerkiksi kahden kuukauden, nauhoitusjakso olla riittävä.

Osallistujilta kysyttiin nauhoitusten yhteydessä, olivatko he tehneet ääniharjoituksia. Heitä pyydettiin välttämään äänellistä kuormitusta, mutta heitä ei suoranaisesti pyydetty olemaan täysin vaiti nauhoituspäivän aamuna. Ei ole siis täyttä varmuutta siitä, miten paljon osallistujat olivat todellisuudessa ehtineet käyttää ääntään ennen nauhoituksia. Voi siis olla, että osalla osallistujista muutokset ovat voineet johtua esimerkiksi äänenkäyttöön liittyvästä äänen lämpenemisestä, vaikka he eivät olisikaan tehneet ääniharjoituksia. Tällaisen taustatekijän seuraaminen ja sen vaikutusten selvittäminen voi olla hyödyllistä jatkotutkimuksissa.

Pitkäaikaisseurannoissa voi olla syytä seurata myös sellaisia asioita, joita ei tässä tutkielmassa otettu esille nauhoitusten aikaan. Yksi mielenkiintoinen seurattava taustatekijä voi olla esimerkiksi naisilla kuukautiskierron tai vaihdevuosien vaikutukset. Tässä tutkielmassa naisilta ei kysytty heidän kuukautiskierrostaan, eikä sen selvittäminen jälkepäin ollut mahdollista. Perustajuuden vaihteluiden aaltomaisuus pitkällä aikavälillä voisi osittain selittyä juurikin hormonaalisilla tekijöillä. Olisi myös mielenkiintoista selvittää, voiko miesten hormonitoiminnalla olla jonkinlainen vaikutus.

tus heidän keskimääräisen perustajuutensa vaihteluihin. Muita jatkotutkimuksen kannalta seurattavia taustatekijöitä voivat olla esimerkiksi vuodenaikoihin liittyvien lämpötilojen ja ilmankosteuden tarkempi seuraaminen, etenkin silloin jos nauhoituksia tehdään selkeästi eri vuodenaikoina.

7 Johtopäätökset

Neutraalista tekstiluennasta mitattu keskimääräinen perustaajuus vaihteli puolen vuoden nauhoitusjakson aikana naisilla noin 6 Hz ja miehillä noin 8 Hz eri mittauskertojen välillä. Yksilötasolla muutokset olivat huomattavia, sillä keskimääräinen perustaajuus vaihteli nauhoitusjakson aikana eri mittauskertojen välillä jopa yli 20 Hz. Kuukausittaista vaihtelua kuvastanut viikkosyklisen välisen vaihtelu oli naisilla noin 3 Hz ja miehillä noin 4 Hz. Kun nämä ja aiempien tutkimuksien tulokset otetaan huomioon, voitaneen normaalina keskimääräisen perustaajuuden vaihteluna pitää naisilla noin 4–5 Hz ja miehillä noin 4 Hz. Tulosten perusteella voidaan todeta, että useat mittauskerrat ovat puheentutkimuksessa tarpeen.

Vaikka perustaajuus vaihtelikin aaltomaisesti puolen vuoden aikana, ei siinä ollut havaittavissa selkeää trendiä. Ainoa sukupuolittain samansuuntainen tulos sijoittui toiseksi viimeiselle viikkosyklille, jolloin naisilta mitattu perustaajuus oli keskimäärin korkeimmillaan ja miehillä matalimmillaan. Ilmiön arveltiin johtuneen monien eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Eräänlaisena trendinä voitaneen pitää sitä, että naisilla keskimääräisen perustaajuuden tulosten hajonta oli heti nauhoitusten alussa huomattavasti suurempaa kuin miehillä. Suurempi mittauskertojen välinen hajonta voi vaikeuttaa esimerkiksi eri menetelmien vaikutusten arviointia interventiotutkimuksissa. Yleisesti keskimääräisen perustaajuuden vaihtelut pysyivät likimäärin samansuuruisina koko nauhoitusjakson ajan.

Nauhoitusten alkupuolella osallistujien tekstiluenta oli keskimäärin vivahteikkaampaa, vaikka mittauskertojen välinen vaihtelu oli hieman tasaisempaa. Naiset lukivat tekstiä alkupuolella keskimäärin hieman matalammalta ja miehet korkeammalta. Taustakyselyn muuttujista etenkin nauhoitusajalla ja sairaana ololla näytti olevan vaikutus keskimääräisen perustaajuuden vaihteluihin. Mitä myöhemmin nauhoitukset järjestettiin, sitä suurempi oli keskimääräinen perustaajuus. Naisilla keskimääräinen perustaajuus laski sairaana ollessa ja miehillä nousi. Osallistajat ilmoittivat nauhoitusten alkupuolella olleensa kipeinä ja kokeneensa äänioireita hieman useammin kuin loppupuolella. Pitkään jatkunut sairastelu voikin selittää alkupuolen matalamman perustaajuuden naisilla ja korkeamman perustaajuuden miehillä. Vaikka ilmankosteudella ei näyttänyt olleen välittömiä vaikutuksia keskimääräiseen perustaajuuteen, kokivat osallistajat silti etenkin kuivan ilman epämiellyttäväksi.

Lähteet

Abaza MM, Levy S, Hawkshaw MJ, Sataloff RT. Effects of medications on the voice. *Otolaryngologic Clinics of North America* 2007;40:1081–1090.

Abitbol J, Abitbol P, Abitbol B. Sex hormones and the female voice. *Journal of Voice* 1990;13(3):424–446.

Akhtar S, Wood G, Rubin JS, O’Flynn PE, Ratcliffe P. Effect of caffeine on the vocal folds: a pilot study. *The Journal of Laryngology and Otology* 1999;113:341–345.

Aronson AE, Bless DM. Clinical voice disorders. Fourth edition. New York: Thieme Medical Publishers, Inc; 2009.

Artkoski M, Tommila J, Laukkanen A-M. Changes in voice during a day in normal voices without vocal loading. *Logopedics Phoniatics Vocology* 2002;27: 118–123.

Baken RJ, Orlikoff RF. Clinical measurement of speech and voice. Second edition. San Diego; CA: Singular Publishing Group; 2000.

Baker S, Weinrich B, Bevington M, Schroth K, Schroeder E. The effect of task type on fundamental frequency in children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 2008;72:885–889.

Baumeister B, Heinrich C, Schiel F. The influence of alcohol intoxication on the fundamental frequency of female and male speakers. *Journal of Acoustic Society of America* 2012;132(1):442–451.

Behrman A. Common practices of voice therapists in the evaluation of patients. *Journal of Voice* 2005;19(3):454–469.

Bele I, Laukkanen A-M, Sipilä L. Effects of a three-week vocal exercise program using the Finnish Kuukka exercises on the speaking voice of Norwegian broadcast students. *Logopedics Phoniatics Vocology* 2010;35:150–165.

Biemans MAJ. Gender variation in voice quality. The Netherlands: LOT publications; 2000.

- Bough ID, Heuer RJ, Sataloff RT, Hills JR, Cater JR. Intrasubject variability of objective voice measures. *Journal of Voice* 1996;10(2):166–174.
- Bouhuys AL, Schutte HK, Beersma DGM, Nieboer GLJ. Relations between depressed mood and vocal parameters before, during and after sleep deprivation; a circadian rhythm study. *Journal of Affective Disorders* 1990;19:249–258.
- Britto AI, Doyle PC. A comparison of habitual and derived optimal voice fundamental frequency values in normal young adult speakers. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 1990;55:476–484.
- Brown WS, Morris RJ, Hollien H, Howell E. Speaking fundamental frequency characteristics as a function of age and professional singing. *Journal of Voice* 1991;5(4):310–315.
- Colquhoun WP. Biological rhythms and human performance. London: Academic Press Inc.; 1971.
- Da Silva PT, Master S, Andreoni S, Pontes P, Ramos LR. Acoustic and long-term average spectrum measures to detect vocal aging in women. *Journal of Voice* 2011;25(4):411–419.
- Erickson-Levendoski E, Sivasankar M. Investigating the effects of caffeine on phonation. *Journal of Voice* 2011;25(5):e215–e219.
- Eustace CS, Stemple JC, Lee L. Objective measures of voice production in patients complaining of laryngeal fatigue. *Journal of Voice* 1996;10(2):146–154.
- Gonzales J, Carpi A. Early effects of smoking on the voice: a multidimensional study. *Medical Science Monitor* 2004;10(12):CR649–656.
- Guimarães I, Abberton E. Health and voice quality in smokers: an exploratory investigation. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 2005;30:185–191.
- Hamdan AL, Sibai A, Mahfoud L, Oubari D, Ashkar J, Fuleihan N. Short term effect of hubble-bubble smoking on voice. *The Journal of Laryngology & Otology* 2011;125:486–491.
- Hamdan AL, Sibai A, Oubari D, Ashkar J, Fuleihan N. Laryngeal findings and acoustic changes in hubble-bubble smokers. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2010;267:1587–1592.
- Haug E, Sand O, Sjaastad ØV. Ihmisen fysiologia ja anatomia. Porvoo: WSOY; 2009.
- Hemler RJB, Wieneke GH, Dejonckere H. The effects of relative humidity if inhaled air on acoustic parameters of voice in normal subjects. *Journal of Voice* 1997;11(3):295–300.

- Hirano M. Objective evaluation of the human voice: clinical aspects. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1989;41,89–144.
- Hunter EJ, Titze IR. Variations in intensity, fundamental frequency, and voicing for teachers in occupational versus nonoccupational settings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2010;53:862–875.
- Ilmatieteenlaitoksen www-sivusto: Kevätsään tilastot. < <http://ilmatieteenlaitos.fi/kevattilastot> >. Viitattu 26.10.2014.
- Ilmatieteenlaitoksen www-sivusto: Talven 2011-2012 sää. < <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvi-2011-2012> >. Viitattu 26.10.2014.
- Ilomäki I, Laukkanen A-M, Leppänen K, Vilkmán E. Effects of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logopedics Phoniatics Vocology* 2008;33(2):83–92.
- Ilomäki I, Mäki E, Laukkanen AM. Vocal symptoms among teachers with and without voice education. *Logopedics Phoniatics Vocology* 2005;30:171–174.
- Lass NJ, Brown WS. Correlation study of speakers' heights, weights, body surface areas, and speaking fundamental frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America* 1987;63(4):1218–1220.
- Laukkanen A-M, Ilomäki I, Leppänen K, Vilkmán E. Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *Journal of Voice* 2008;22(3):283–289.
- Laukkanen A-M, Järvinen K, Artkoski M, Waaramaa-Mäki-Kulmala T, Kankare E, Sippola S, Syrjä T, Salo A. Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatica Logopaedica* 2004a;56:335–346.
- Laukkanen A-M, Kankare E. Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatica Logopaedica* 2006;58:229–239.
- Laukkanen A-M, Leino T. Ihmeellinen ihmisääni. Tampere: Gaudeamus; 2001.
- Laukkanen A-M, Syrjä T, Laitala M, Leino T. Effects of two-month vocal exercising with and without spectral biofeedback on student actors' speaking voice. *Logopedics Phoniatics Vocology* 2004b;29:66–76.
- Laukkanen A-M, Vilkmán E, Alku P, Oksanen H. Physical variations related to stress and emotional state: a preliminary study. *Journal of Phonetics* 1996;24:313–335.

- Lee L, Stemple JC, Kizer M. Consistency of acoustic and aerodynamic measures of voice production over 28 days under various testing conditions. *Journal of Voice* 1999;13(4):477–483.
- Leino T. Puhekorkeuden mittaaminen ja muutostarpeen arviointi. *Suomen logopedis-foniatriksen yhdistyksen julkaisuja* 1999;31:41–49.
- Leino T, Kärkkäinen P. On the effects of vocal training on the speaking quality of male student actors. Proceedings of the XIIIth International Congress of Phonetic Sciences 1995;6(3):496–499.
- Leino T, Laukkanen A-M, Ilomäki I, Mäki E. Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia Phoniatica Logopaedica* 2008;60:199–209.
- Leong K, Hawkshaw MJ, Dentchev D, Gupta R, Lurie D, Sataloff RT. Reliability of objective voice measures of normal speaking voices. *Journal of Voice* 2013;27(2):170–176.
- Lindström F, Ohlsson A-C, Sjöholm J, Persson Wayne K. Mean F₀ values obtained through standard phrase pronunciation compared with values obtained from the normal work environment: a study on teacher and child voices performed in a preschool environment. *Journal of Voice* 2010;24(3):319–323.
- Ma EPM, Love AL. Electroglottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *Journal of Voice* 2010;24(2):146–152.
- Mann EA, McClean MD, Gurevich-Uvena J, Barkmeier J, McKenzie-Garner P, Paffrath J, Patow C. The effects of excessive vocalization on acoustic and videostroboscopic measures of vocal fold condition. *Journal of Voice* 1999;13(2):294–302.
- Mendes AP, Brown jr WS, Rothman HB, Sapienza C. Effects of singing training on the speaking voice of voice majors. *Journal of Voice* 2004;18(1):83–89.
- Mendes AP, Rothman HB, Sapienza C, Brown jr WS. Effects of vocal training on the acoustic parameters of the singing voice. *Journal of Voice* 2003;17(4):529–543.
- Moore BCJ. Psychoacoustics. Teoksessa: Rossing TD (toim.). Springer handbook of acoustics. New York : Springer; 2007.
- Nawrot P, Jordan S, Eastwood J, Rotstein J, Hugenholtz A, Feeley M. Effects of caffeine on human health. *Food Additives and Contaminants* 2003;20(1):1–30.
- Nishio M, Tanaka Y, Niimi S. Analysis of the age-related changes in the acoustic characteristics of voices. *Journal of Communication Research* 2011;2(1):65–77.

- Pegoraro Krook MI. Speaking fundamental frequency characteristics of normal Swedish subjects obtained by glottal frequency analysis. *Folia Phoniatrica Logopaedica* 1988;40:82–90.
- Pegoraro Krook MI, Castro VC. Normative Speaking Fundamental Frequency (SFF) characteristics of Brazilian male subjects. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 1994;27(7):1659–1661.
- Pontes P, Brasolotto A, Behlau M. Glottic characteristics and voice complaint in the elderly. *Journal of Voice* 2005;19(1):84–94.
- Rantala L. Ääni työssä. Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittaminen. Oulu: Oulu University Press; 2000.
- Rantala L, Vilkmann E, Bloigu R. Voice changes during work: subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary schoolteachers. *Journal of Voice* 2002;16(3):344–355.
- Raphael LJ, Borden GJ, Harris KS. Speech science primer : physiology, acoustics, and perception of speech. Fifth edition. Baltimore; MD, Philadelphia; PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
- Rouvinen S. Vuodenajan vaikutus puhekorkeuteen. Naisäänien talven ja kesän äänitteiden vertailua. Puheopin puhetekniikan ja vokologian kandidaatin tutkielma 2007.
- Sala E, Sihvo M, Laine A. Ääniergonomia – Toimiva ääni työvälineenä. Tampere: Tampereen yliopistopaino Oy – Juvenes Print; 2011.
- Seikel JA, King DW, Drumright DG. Anatomy & physiology of speech, language, and hearing. Fourth edition. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning; 2010.
- Schneider-Stickler B, Knell C, Aichstill B, Jocher W. Biofeedback on voice use in call center agents in order to prevent occupational voice disorders. *Journal of Voice* 2012;26(1):51–62.
- Smith A. Effects of caffeine on human behavior. *Food and Chemical Toxicology* 2002;40:1243–1255.
- Solomon NP, DiMattia MS. Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. *Journal of Voice* 2000;14(3):341–362.
- Stathopoulos ET, Huber JE, Sussman E. Changes in acoustic characters of voice across the life span: measures from individuals 4–93 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2011;54:1011–1021.

- Stemple JC, Stanley J, Lee L. Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *Journal of Voice* 1995;9(2):127–133.
- Suomi K, Toivanen J, Ylitalo R. Fonetikan ja suomen äänneopin perusteet. Tampere: Gaudeamus; 2006.
- Titze IR. Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *Journal of the Acoustical Society of America* 1989;85(4):1699–1707.
- Titze IR. Principles of voice production. Second edition. Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech; 2000.
- Titze IR, Lemke J, Montequin D. Populations in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: a preliminary report. *Journal of Voice* 1997;11(3):254–259.
- Verdolini K, Druker DG, Palmer PM, Samawi H. Laryngeal adduction in resonant voice. *Journal of Voice* 1998;12(3):315–327.
- Verdolini K, Min Y, Titze Ir, Lemke J, Brown K, van Mersbergen M, Jiang J, Fisher K. Biological mechanisms underlying voice changes due to dehydration. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2002;45:268–281.
- Verdolini K, Titze IR, Fennel A. Dependence of phonatory effort on hydration level. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 1994;37:1001–1007.
- Verdolini-Marston K, Titze IR, Druker K. Changes in phonation threshold pressure with induced conditions of hydration. *Journal of Voice* 1990;4(2):142–151.
- Verdonck-de Leeuw IM, Mahieu HF. Vocal aging and the impact on daily life: a longitudinal study. *Journal of Voice* 2004;18(2):193–202.
- Vilkman E. Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatica Logopaedica* 2004;56:220–253.
- Vilkman E, Lauri E-R, Alku P, Sala E, Sihvo M. Ergonomic conditions and voice. *Logopedics Phoniatics Vocology* 1998;23:11–19.
- Vilkman E, Lauri E-R, Alku P, Sala E, Sihvo M. Effects of prolonged oral reading of F₀, SPL, subglottal pressure and amplitude characteristics of glottal flow waveforms. *Jornal of Voice* 1999;13(2):303–315.

- Vincent I, Gilbert HR. The effects of cigarette smoking on the female voice. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 2012;37:22–32.
- Vintturi J, Alku P, Lauri E-R, Sala E, Sihvo M, Vilkmann E. Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *Journal of Voice* 2001;15(1):36–53.
- Waaramaa T, Laukkanen A-M, Airas M, Alku P. Perception of emotional valences and activity levels from vowel segments of continuous speech. *Journal of Voice* 2010;24(1):30–38.
- Wang Y-T, Green JR, Nip ISB, Kent RD, Kent JF. Breath group analysis for reading and spontaneous speech in healthy adults. *Folia Phoniatrica Logopaedica* 2010;62:297–302.
- Zraick RI, Skaggs SD, Montague JC. The effect of task determination of habitual pitch. *Journal of Voice* 2000;14(4):484–489.
- Yiu EM-L, Chan RMM. Effect of hydration and vocal rest on the vocal fatigue in amateur karaoke singers. *Journal of Voice* 2003;17(2):216–227.