

ÄÄNI TYÖSSÄ

Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittuminen

**LEENA
RANTALA**

Suomen ja saamen kielen ja logopedian
laitos ja
Korva-, nenä- ja kurkkutautien klinikka/
Foniatria

OULU 2000

Abstract and original papers in English

B 37

LEENA RANTALA

ÄÄNI TYÖSSÄ

Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittuminen

(Abstract and original papers in English)

Esitetään Oulun yliopiston humanistisen tiedekunnan suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi Linnanmaan Keckmaninsalissa (HU 106), 1. heinäkuuta 2000 klo 12.

Copyright © 2000
Acta Univ. Oul. B 37, 2000

Käsikirjoitus vastaanotettu 6 kesäkuuta 2000
Hyväksytty 8 kesäkuuta 2000

Esittäneet
Professori Paavo Alku
Professori Anna-Maria Laukkanen

ISBN 951-42-5691-3
ISSN 0355-3205 (URL: <http://herkules.oulu.fi/issn03553205/>)

SAATAVISSA MYÖS ELEKTRONISESSA MUODOSSA
ISBN 951-42-5692-1
URL: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514256921>

OULU UNIVERSITY PRESS
OULU 2000

Rantala, Leena, Voice at work. Female teachers' use and loading of voice.

Department of Finnish, Saami and Logopedics and Otorhinolaryngology/Phoniatrics, University of Oulu, FIN-90014 Oulun yliopisto, Oulu, Finland

Acta Univ. Oul. B 37, 2000

Oulu, Finland

(Manuscript received 6 June 2000)

Abstract

The aim of this study was twofold: to develop a method for collecting voice data from natural working environments; and to study loading changes. Changes caused by loading were approached from two perspectives: the relationship between subjective complaints and objectively measured voice features, and the changes of objective variables during one working day.

Subjects consisted of female teachers from primary and secondary schools. Six separate studies were carried out, the number of subjects for each one ranging from 3 to 33. The subjects were 33–59 years old. Recordings were made of their voices both during breaks and lessons with a portable DAT recorder. The recordings made during the breaks were collected on three days of one week, and four times on each week. The speech samples of the lessons were taken from the first and last lesson of the day. Subjects filled in a questionnaire about their voice, which divided them into two groups: those with few complaints (the FC group) and those with many complaints (the MC group). In addition, three subjects performed a laboratory voice loading task.

The speech sample recorded during breaks was a maximally sustained [a], from which fundamental frequency (F0), jitter and shimmer were analyzed. The lesson samples were analyzed for F0, its standard deviation (F0 SD), sound pressure level (SPL), its standard deviation (SPL SD), F0 time (= active vibration time of the vocal folds) and long-time average spectrum (LTAS). The laboratory samples (a simple reading task) were measured for F0. Additionally, an index (F0 x F0 time/ 1000) for assessing voice loading is presented.

The results showed that voice complaints correlated with objectively measured voice features: the more the complaints, the higher the F0 and SPL, the larger the F0 SD and the steeper the tilt of the LTAS, the latter indicating that the voices of the MC group had a tendency towards a hypofunctional voice usage. In addition, at the end of the working week the shimmer values of the MC group were lower than those of the FC group.

During the working day, the F0 rose, F0 SD and SPL SD increased and the LTAS levelled out (changes towards a hyperfunctional voice usage). Some of these changes are caused by the classroom situation, some by the teachers themselves, and some (obviously the changes of the F0 and the LTAS) by physiological alterations. Interestingly, the main changes, which were the F0 rise and levelling of the spectrum, occurred in the FC-group. The changes possibly reflect a normal adaptation of the human body, and they may act as an alarm system for avoiding excessive strain and exhaustion. The voice loading index correlated with the voice complaints.

The experiment showed that the used method is well suited for the measurement of voices in working places. The maximally sustained phonation proved to be a suitable voice task for the measurement of the voice in working places where subjects have to do a task independently. The results also showed that F0 yields different values in different conditions and with different voice tasks. This deserves attention when defining standards for acoustic variables.

Keywords: field study, professional voice users, acoustic, working day

Alkusanat

Tämä työ on valmistunut Suomen ja saamen kielen ja logopedian laitoksessa. Kiitän lämpimästi logopedian professori Matti Lehtihalmesta kannustuksesta ja neuvoista, joita olen häneltä saanut. Erityisen kiitollinen olen professori Erkki Vilkmannelle, joka innosti tämän tutkimushankkeen aloittamiseen. Jään lämmöllä muistamaan niitä monia keskusteluja, joita kävin hänen kanssaan vuosien varrella tutkimukseni edetessä. Esitän kiitokseni myös työni esitarkastajille professori Anne-Maria Laukkaselle ja professori Paavo Alulle heidän kommentistaan. Erityisesti molempien myönteinen ja rohkaiseva asenne oli minulle tärkeää työni tuossa vaiheessa.

DI Kari Haatajaa kiitän ohjauksesta analyysilaitteiston käytössä sekä siitä kärsivällisyydestä, jolla hän jaksoi vastata moniin kysymyksiini. FT Taisto Määttä, FL Pentti Körkkö ja LL Päivi Lindholm ovat olleet osallisena artikkelieni teossa. Kiitän heitä työni jakamisesta. Kiitän myös opiskelijoitani FM Tuulikki Takamäkeä, FM Heli Tumanoffia, FM Leila Paavolaa ja FM Lea Partasta avusta aineiston analysoinnissa. Sydämellinen kiitokseni myös FT Merja Karjalaiselle, joka on antanut arvokkaita neuvoja työni kieliasusta ja jonka kanssa olen viettänyt useita rakentavia keskusteluhetkiä. FM Leena Pussinen sekä FK Risto Bloigu ovat antaneet apuaan tilastollisten analyysien ongelmassa. Kiitän heitä molempia, ja erityisesti heidän avuliaisuudestaan jää minulle lämmin muisto. Osoitan lisäksi sydämelliset kiitokseni työtoverilleni KM Eira Jansson-Verkasalolle monista elintärkeistä "hengissäselviytymiskeskusteluista". Vielä lähetän kiitokseni niille oululaisille ala- ja yläasteen naisopettajille, jotka osallistuivat tähän tutkimukseen. Korvatautien tutkimussäätiö, Oulun yliopiston tukisäätiö, Suomen ja saamen kielen ja logopedian laitos, Suomen kulttuurirahasto ja Työsuojelurahasto ovat tukeneet tutkimustani.

Kiitollisin ja lämpimin tuntein ajattelen myös rakasta perhettäni, miestäni Askoa ja tyttäriäni Katriinaa, Sallamaria ja Annareettaa. Murkkuikäisten taistelutahto ja sinnikkyys ovat pitäneet huolta siitä, että se mikä elämässä on sittenkin tärkeintä, ei ole päässyt unohtumaan.

Kempeleessä toukokuussa 2000

Leena Rantala

Termien ja lyhenteiden selitykset

alfa-suhdeluku:	1 kHz:n ylä- ja alapuolisen alueen energiatasojen suhde
jitter:	peräkkäisten värähdysjaksojen pituuden vaihtelu
perturbaatio:	äänen epäsäännöllinen lyhytaikainen perustaajuus- ja amplitudivaihtelu
shimmer:	peräkkäisten värähdysjaksojen amplitudien vaihtelu
CT-lihas:	rengasrusto - kilpirusto-lihas (<i>m. cricothyroideus</i>)
CV:	variaatiokerroin (engl. <i>coefficient of variation</i>)
EGG:	elektroglottografia
F0:	äänen perustaajuus (engl. <i>fundamental frequency</i>)
F0-aika:	aika, jona äänihuulet värähtelevät puhuessa (engl. <i>fundamental frequency time</i>)
F0:n SD:	F0:n keskihajonta (engl. <i>standard deviation</i>)
FC-ryhmä:	vähän äänioireita kokeva koehenkilöryhmä (engl. <i>few complaints</i>)
L0:	F0:n alueen voimakkuuden taso (kaistaleveys 100 Hz)
L1:	ensimmäisen formantin alueen voimakkuuden taso (500 Hz ylöspäin ensimmäisen harmonisen ja ensimmäisen formantin välissä olevasta minimikohdasta)
L2:	taajuusalueen 2—5 kHz voimakkuuden taso
L5:	taajuusalueen 5—10 kHz voimakkuuden taso
LTAS:	pitkäaikaiskeskiarvospektri (engl. <i>long-time average spectrum</i>)
MC-ryhmä:	paljon äänioireita kokeva koehenkilöryhmä (engl. <i>many complaints</i>)
NHR:	kohina - signaali-suhde (engl. <i>noise-to-harmonics ratio</i>)
r:	Pearsonin korrelaatiokerroin
SNR:	signaali - kohina-suhde (engl. <i>signal-to-noise ratio</i>)
SPL:	äänenpainetaso (engl. <i>sound pressure level</i>)
SPL:n SD:	SPL:n keskihajonta (engl. <i>standard deviation</i>)
T1:	ensimmäisen oppitunnin alkuosa (4 min)
T2:	ensimmäisen oppitunnin keskiosa (4 min)
T3:	ensimmäisen oppitunnin loppuosa (4 min)
T4:	viimeisen oppitunnin alkuosa (4 min)
T5:	viimeisen oppitunnin keskiosa (4 min)
T6:	viimeisen oppitunnin loppuosa (4 min)
TA-lihas:	kilpirusto - kannurusto-lihas eli äänihuulilihas (<i>m. thyroarytenoideus</i>)

Luettelo alkuperäisistä artikkeleista

Tämä väitöstyö perustuu kuuteen alkuperäiseen artikkeliin, joihin viitataan tekstissä tässä esitetyillä roomalaisilla numeroilla.

- I Rantala, L., Haataja, K., Vilkmán, E. & Kórkko, P. (1994). Practical arrangements and methods in the field examination and speaking style analysis of professional voice users. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatrics*, 19, 43—54.
- II Rantala, L., Määttä, T. & Vilkmán, E. (1997). Measuring voice under teachers' working circumstances: F0 and perturbation features in maximally sustained phonation. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 49, 281—291.
- III Rantala, L., Lindholm, P. & Vilkmán, E. (1998). F0 change due to voice loading in laboratory and field conditions. A pilot study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 23, 164 —168.
- IV Rantala, L. & Vilkmán, E. (1999). Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in teachers' voice. *Journal of Voice*, 13, 484—495.
- V Rantala, L., Paavola, L., Kórkko, P. & Vilkmán, E. (1998). Working-day effects on the spectral characteristics of teaching voice. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 50, 205—211.
- VI Rantala, L. & Vilkmán, E. Voice loading at work: objective measurements and subjective complaints, lähetetty arvioitavaksi lehteen.

Sisällys

Abstract

Alkusanat

Termien ja lyhenteiden selitykset 7

Luettelo alkuperäisistä artikkeleista

Sisällys

1	Johdanto	15
2	Kirjallisuuskatsaus	19
	2.1 Kurkunpään ja äänihuulien anatomiaa ja fysiologia	19
	2.2 Puheäänen akustiset piirteet	23
	2.2.1 Sävelkorkeus	25
	2.2.2 Voimakkuus	26
	2.2.3 Lyhytaikainen äänenvaihtelu eli perturbaatio	27
	2.2.4 Spektri	30
	2.3 Ääninäytteiden keruu	32
	2.3.1 Kenttäolosuhteissa käytetyt laitteet	32
	2.3.2 Ääninäytteet	32
	2.3.3 Ääninäytteiden vertailu	33
	2.4 Puheammattien riskiryhmä: opettajat	35
	2.4.1 Opettajien äänihäiriöiden yleisyys	35
	2.4.2 Opettajien äänihäiriöt ja niiden oireet	37
	2.4.3 Opettajan työ ja työympäristö	38
	2.4.4 Äänen muita riskitekijöitä	39
	2.5 Kurkunpään kuormittuminen	41
	2.5.1 Käsitteet kuormittuminen ja väsyminen	41
	2.5.2 Katsaus äänenkuormitustutkimuksiin	43
	2.5.3 Kurkunpään kuormittumiselle altistavia tekijöitä	48
	2.5.4 Äänen kuormitusmuutosten selitysmallit	50
3	Tavoitteet	53

4	Menetelmä	55
4.1	Koehenkilöt	55
4.2	Ääninäytteet	57
4.2.1	Opetuspuhe (I, III, IV, V, VI)	58
4.2.2	Välituntinauhointi (II, IV)	58
4.2.3	Laboratorionauhoitus (III)	59
4.3	Näytteiden mittaaminen ja analyysi	59
4.3.1	Oppituntinauhointi	59
4.3.1.1	Pitkäaikaiskeskiarvospektri, LTAS (V)	60
4.3.1.2	F0 (I, II, III, IV, VI), SPL (I, IV, VI) ja F0-aika (I, IV, VI)	61
4.3.2	Välituntinauhointi: mahdollisimman pitkä fonaatio (II, IV)	62
4.3.3	Laboratorionauhoitus (III)	63
4.3.4	Äänenkäytön kuormituksen indeksi (IV, VI)	63
4.4	Tilastollinen käsittely	63
5	Tutkimustulokset	65
5.1	Opetuspuheen piirteet (I, VI)	65
5.2	Mahdollisimman pitkään tuotetun fonaation soveltuvuus kenttätutkimukseen (II)	67
5.3	Fonaation alku- ja loppuosa	67
5.3.1	Peräkkäin tuotetut fonaatiot	67
5.3.2	F0:n vaikutus jitteriin ja shimmeriin	68
5.4	Mittausympäristöt (III)	68
5.4.1	Laboratorio ja kenttätilanne	68
5.4.2	F0 eri mittausympäristöissä ja ääninäytteissä	68
5.5	Objektiivisesti mitattujen muuttujien ja koettujen äänioireiden yhteys	69
5.5.1	Mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio (IV)	69
5.5.2	Opetuspuhe (IV, V, VI)	71
5.6	Työpäivän aikainen muutos (V, VI)	72
5.6.1	Koko ryhmä	72
5.6.2	Vähän ja paljon äänioireita kokevat koehenkilöt	72
5.7	Äänenkäytön kuormituksen indeksi (IV, VI)	73
6	Pohdinta	75
6.1	Kenttätutkimusmenetelmän arviointi	75
6.1.1	Nauhoitukset ja tutkimusaineisto	75
6.1.1.1	Nauhuri ja nauhoitus	75
6.1.1.2	F0-mittarin heikkoudet	76
6.1.1.3	Äänitason säätäminen ja kalibrointi	77
6.1.1.4	Taustamelun editointi	78
6.1.2	Mittausympäristöt ja ääninäytteet	79
6.1.2.1	Oppitunnit ja opetuspuhe	79
6.1.2.2	Välitunnit ja mahdollisimman pitkä fonaatio	80
6.1.2.3	Laboratorio ja lukunäyte	83
6.1.2.4	Ääninäytteiden ja nauhoitustilanteiden vastaavuus F0:n kannalta .	83

6.2	Äänen kuormitusmuutokset.....	84
6.2.1	Subjektiiivisten oireiden ja objektiivisten muuttujien vastaavuus	84
6.2.1.1	Kuormituksen aikana tapahtuneet äänen muutokset	87
6.2.2	Äänenkäytön kuormituksen indeksi	92
6.3	Tiivistelmä, johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset	92
	Lähteet	
	Liite I	
	Liite II	
	Liite III	
	Liite IV	

1 Johdanto

Ihminen on viime vuosisatoihin asti tehnyt työtä pääosin käsillään. Käsien merkitys työvälineenä on ajan myötä kuitenkin vähentynyt, ja erilaiset tekniset laitteet ovat usein tulleet tilalle. Monessa ammatissa kaikkein tärkeimmäksi "työkaluksi" on tullut kuitenkin ääni. Esimerkiksi puhelimen kautta palveleminen lisääntyy jatkuvasti. Puhelimitse voi hoitaa nykyään lähes mitä tahansa: ostokset vaatteista aurinkomatkoihin, tiedustelut pankkisi joituksista säätiloihin. Samoin tekninen kehitys houkuttelee puhumaan enemmän: mainostekstin mukaan kännykällä on "lupa jäädä suustaan kiinni".

Ääntään runsaasti työssään käyttäviä suomalaisia on Laukkasen (1995) arvion mukaan niinkin paljon kuin lähes 900 000. Tämä on yli 40 % työssä olevasta väestöstä. Yksi vaateaiemmista puheammateista on kuitenkin se vanha ja tuttu: opettajan ammatti. Siinä yhdistyvät sekä vaativa äänenkäyttö että äänelle vaikeat ympäristöolosuhteet. Näin opettaja on tutkijalle kohde, jossa tutkija ilman erillisiä kuormitustestejä pääsee käsiksi asian ytimeen: monenlaisen uhan alaiseen ääneen. Lisäksi opettajakunnan sisällä on oma riskiryhmänsä eli naisopettajat. He kärsivät äänivaikeuksista selvästi useammin kuin miestyötoverinsa (Aaltonen 1989; Pekkarinen ym. 1992; Smith, Gray, Dove, Kirchner & Heras 1997; Russell, Oates & Greenwood 1998).

Sen lisäksi, että opettajien äänitutkimus tarjoaa aitiopaikan vaativan puheammatin ongelmiin, vielä merkittävämpää opettajien tutkimisessa on kuitenkin työterveyshuollollinen merkitys. Puheammateissa olevien äänen suojelu ei ole kehittynyt samalla tavalla kuin joidenkin muiden ammattien työntekijöiden työsuojelu. Tämä merkitsee sitä, että sen enempää äänihäiriöiden ennaltaehkäisy kuin ammatillinen kuntoutuskaan eivät ole päässeet kehittymään tarvettaan vastaavalla tavalla. Ongelma näkyy myös siinä, että opettajien sairaslomille jäänti äänivaikeuksien vuoksi tuntuu kliinisen kokemuksen mukaan olevan hankalaa. Osittain tähän voivat olla syynä opettajien omat asenteet. Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan vain prosentti oireisista opettajista etsii apua vaikeuksiinsa (Sapir, Keidar & Mathers-Schmidt 1993), ja entisessä Itä-Saksassa tehdyn tutkimuksen mukaan yli puolet ääniongelmaisista opettajista hakee hoitoa vasta 2–10 vuoden kuluttua oireiden ilmaantumisesta (Pahn, Pahn & Reissmann 1975). Tämä opettajien oma ehkä häiriöitä vähättelevä asenne kuulunee pikemminkin "opetuskulttuuriin" kuin yhteiskunnalliseen rakenteeseen tai tiettyyn vuosikymmeneen: uuden pohjoisirlantilaisen tutkimuksenkin mukaan opettajat kääntyvät asiantuntijan puoleen äänivaikeuksissa selvästi vähemmän kuin muiden ammattien työntekijät (Morton & Watson 1998). Syytä äänivai-

keuksien hoitamattomuuteen voi olla myös lääkäreissä. Opettajat ovat usein tuoneet esille äänikoulutustilaisuuksissa sen, että koska lääkäri ei hevin myönnä sairauslomaa käheytyneen äänen vuoksi, ei sitä viitsi mennä turhaan pyytämäänään. Tietoa ja valistusta tarvitaan siis useallakin saralla.

Se, että äänen suojeleminen on lapsenkengissä, selittyy jossakin määrin kulttuurimme asenteista ja perinteistä äänenkäyttöä kohtaan. Asenteet määräävät, mitä tietoa etsitään ja millä tavoin sitä etsitään. Suomalaisista äänitutkijoista Vilkmán (1999) on pyrkinyt hahmotamaan näitä traditioita. Hän on korostanut heikkoa työsuojelua pohtiessaan, että koska äänentuotto on kuulunut pääosin puhetaiteen ja käyttäytymistieteen perinteeseen, äänivaikeuksien ratkaisuna on nähty "oikean äänentuottotekniikan" opetus. Tämä ajattelutapa sisältää sen, että puhujan on nähty olevan perimmäältään itse vastuussa äänestään. Tällöin tutkimus on kohdistunut siihen, mitä vääriä puhuja puhuessaan tekee. Anglosaksisessa kirjallisuudessa mieluusti viljellyissä termeissä "voice abuse" and "voice misuse" (esim. Colton & Casper 1990), häivähtää tämä sama syyllistämisen sivumaku. Myös joku ääniterapiassa käynyt asiakas huoautti kerran saman: "Kun hengitänkin väärin..." Tämä syyllisyyden ja osaamattomuuden tunne ei ehkä ole parhaita perustaa äänen hyvinvoinnille ja puhujan jaksamiselle. Se ei myöskään auta etsimään niitä kaikkia mahdollisia tekijöitä, joiden yhteisvaikutuksena ääni syntyy ja jotka olisi otettava huomioon äänen hoitoa ja suojeleminen kehitettäessä.

Toisena syynä äänen työsuojelun kehittymättömyyteen on mahdollisesti itse äänitutkimus. Äänen kuormitustutkimuksia on ensinnäkin varsin vähän. Toiseksi tutkimuksissa on alettu ymmärtää äänen merkitys työvälineenä selvästi vasta 1990-luvun lopulla. Tämä tuli esille 1999 Utrechtin kansainvälisen kongressissa, jonka aiheena oli "Professional voice - care and cure". Etupäässä Pohjoismaat, lähinnä Ruotsi (esim. Ohlsson 1988; Södersten & Hammarberg 1999) ja ennen kaikkea Suomi (esim. Sala ym. 1998; Rantala & Vilkmán 1999) ovat edelläkävijöitä tutkimuksissa, jotka selvittävät ääntä puheammateissa ja todellisessa työympäristössä. Myös Hollannissa on vastikään tehty väitöstyö, joka käsittelee äänenkäyttöä ammatillisesta näkökulmasta (Buekers 1998). Huoli äänen kestävydestä ei kuitenkaan ole uusi. Etenkin entisessä Itä-Saksassa on käyty keskustelua puheammateissa toimivien jaksamisesta jo 1960-luvulla (Gunderman & Lüth 1964) ja kehitetty myöhemmin seulontamenetelmiä näihin ammatteihin pyrkiville (Heinemann 1972; Pahn, Dahl & Pahn 1975; Klingholz, Siegert, Schleier & Thamm 1977; Wendler & Seidner 1987). Tämä tieteellinen keskustelu on ilmeisesti jäänyt jossakin määrin huomiotta länsimaissa, tai sitten kuuluminen toiseen kulttuuriin on estänyt tietoa leviämistä.

Äänen kuormitustutkimusten ongelmana ovat lisäksi olleet pienet koehenkilömäärät, jotka ovat johtaneet ristiriitaisiin tuloksiin tai ylipäätään toteamukseen, että puhujat reagoivat kuormitukseen hyvin yksilöllisellä tavalla. Edelleen kuormitustutkimusten tulosten yleistettävyyttä on vaikeuttanut se, että suurin osa tutkimuksista on tehty laboratorioissa, joiden vastaavuutta todellisiin puhetilanteisiin ei viime kädessä tiedetä. Niin ikään äänitutkimuksien ongelmana on äänielimistön pienuus ja sen monet erikoistuneet rakenteet. Kuormituksen aiheuttamia muutoksia on ainakin tämän hetken menetelmillä mahdoton tutkia suoraan lihaksesta tai limakalvalta. Päätelmiä pystytään tekemään, kuten tässäkin tutkimuksessa on tehty, ainoastaan fysiologisten muutosten aiheuttamien seurausten perusteella. Kun tutkitaan seurauksia, ei voida olla koskaan varmoja, mikä tekijä tai kuinka monet tekijät ovat havaitun piirteen taustalla tai mitkä ovat näiden syytekijöiden keskinäiset riippuvuussuhteet. Tällöin tutkimuksia tarvitaan paljon, jotta itse ilmiö pystyttäisiin

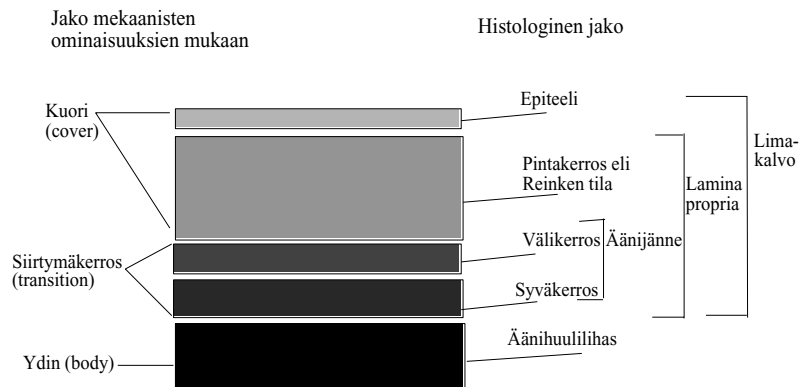
siin näkemään sen moninaisen varioinnin takaa. Tätä tutkimusta ovat motivoineet kaikki edellä esitetyt syyt, ja tavoitteena on ollut ajan hengen mukainen toivomus "Jotta suomalaiset voisivat puhua enemmän..."

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Kurkunpään ja äänihuulien anatomiaa ja fysiologiaa

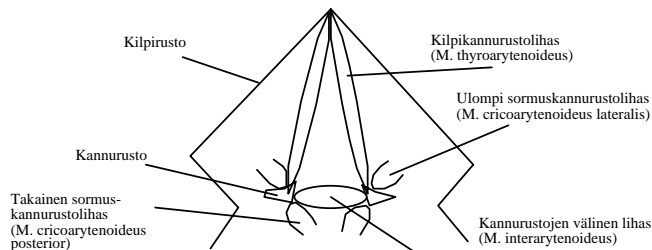
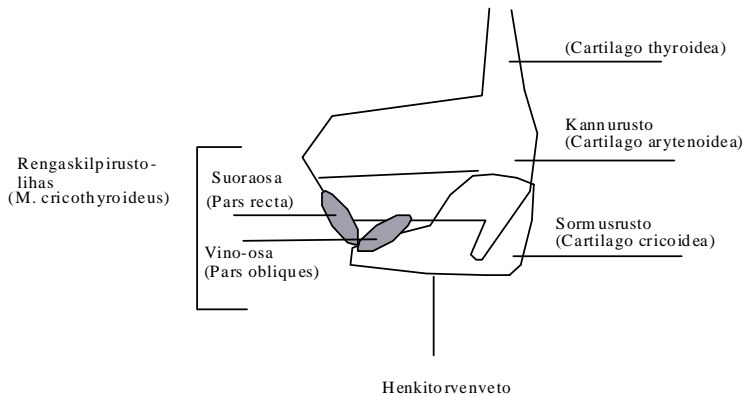
Ääni syntyy kolmen tekijän — painelähteen, äänilähteen ja ääniväylän — yhteisvaikutuksen tuloksena (ks. esim. Zemlin 1988). Panielähteenä on hengityselimistö ja äänilähteenä äänihuulet ja niiden värähtely. Kun puhuja lähentää äänihuulia toisiinsa valmistautuessaan tuottamaan ääntä, niiden alapuolinen eli subglottaalinen paine kasvaa ja saa äänihuulet värähtelemään. Äänihuulien värähdykset katkovat ilmapirtaa, ja tästä aiheutuvat painemuutokset edustavat akustista energiaa. Ääniväylä, joka muodostuu kurkunpään yläpuolisista eli supraglottaalisista rakenteista, toimii suodattimena ja muokkaa ääntä puheessa tarvittaviksi äänteiksi. Toimintansa perusteella ääni voidaankin määritellä kantoaalloksi, jonka avulla puhuja siirtää siihen koodaamansa sekä kielellisen että ei-kielellisen viestin kuulijan tulkittavaksi (Vilkman 1990).

Äänilähteenä toimivat äänihuulet sijaitsevat kurkunpäässä kilpiruston suojassa. Ne muodostuvat viidestä erilaisesta kudoksetyypistä, joista neljä kuuluu Hiranon (1981) jaottelun mukaan limakalvoon: epiteeli sekä lamina propria pinta-, keski- ja syväkerros (kuvio 1). Viides, syvin osa, on lihasta, joka muodostaa äänihuulien ytimen (engl. *body*). Äänijänteeksi kutsutaan lamina propria keski- ja syväkerrosta, jotka sisältävät etupäässä elastisia kuituja ja näitä jäykempiä kollageenikuituja. Mekaanisesta näkökulmasta, jolloin tarkastellaan kudoksen rakennetta eli massaa, jänneyttä ja kimmoisuutta, kerrokset jaetaan kolmeen osaan: kuoreen (engl. *cover*; kaksi ylintä kerrosta), siirtymäkudokseen (engl. *transition*; seuraavat kaksi kerrosta) ja ytimeen (äänihuulilihas; Hirano 1974). Äänihuulien kerroksia on ryhmitelty myös muulla tavoin (ks. Titze 1994).



Kuvio 1. Äänihuulien kerrosrakente

Äänentuotossa lihasten tehtävänä on siirtää äänihuulet keskiviivaan sekä säädellä sävelkorkeutta ja -voimakkuutta. Kuviossa 2 ovat kurkunpään sisäiset lihakset ja niitä ympäröivät rustot ja taulukossa 1 näiden lihasten keskeiset toiminnot. Äänihuulilihasta (*m. vocalis*) ei voida erottaa selvästi omaksi lihakseksi, vaan se on sulautunut suurelta osin kilpirusto - kannurusto-lihakseen (*m. thyroarytenoideus*, TA; Happak, Zrunek, Pechmann & Streinzer 1989).



Kuvio 2. Kurkunpäänrustot ja sisäiset lihakset

Kurkunpään sisäisten lihasten solutyypit vastaavat luustolihasen soluja, jotka jaetaan I- ja II-tyypin soluihin (ks. taulukko 1). I-tyypin lihassolu toimii hitaasti, mutta sietää hyvin rasitusta ja käyttää energian tuotannossaan happea (Haug, Sand, Sjaastad & Toverud 1995). II-tyypin solut ovat nopeita mutta myös väsyvät nopeasti. Niiden käyttämä energia tuotetaan sokerista ilman happea, mikä merkitsee aineenvaihdunnan sivutuotteena syntyvän maitohapon kertymistä soluun. Solutyypien jakautuminen kurkunpään sisäisissä lihaksissa viittaa siihen, että fylogeneettisesti vanhin toiminto, nopea ääniraon sulkeminen, on varmistettu nopeilla vaikkakin helpommin väsyvillä lihaksilla (ks. taulukko 1). Rasitusta sietävää I-tyypin solua on eniten takaisessa kilpirusto - kannurusto-lihaksessa (*m. cricoarytenoideus posterior*), jonka tehtävänä on avata äänirako ja pitää sitä hengityksen aikana auki. Rengasrusto - kilpirusto-lihas on niin ikään hidaskas lihas, mutta siinä on kuitenkin enemmän nopeita lihassoluja kuin kilpirusto - kannurustolihaksessa. Tämä näkyykin rengasrusto-kilpirusto -lihaksen toiminnassa: se voi sekä sulkea äänirakoa että avata sen (Megirian & Sherrey 1987). Se, kummalla tavalla lihas liikkuu, määräytyy muiden lihasten toiminnasta. Tutkimustulokset lihasten nopeudesta tukevat lihastyypeistä saatuja tuloksia (ks. taulukko 1).

Taulukko 1: Kurkunpään sisäiset lihakset, niiden lihassolutyypien jakauma toimintanopeus ja aktiivisuus eri toiminnoissa.

Lihaksen nimi	Solutyypin I typpi (%)	Toimintanopeus	Lihaksen toiminta			
			Ääniraon sulkeminen	Ääniraon avaus	Äänen voimistaminen	Korkeuden nosto
Kilpirusto-kannurusto - lihas	35–44	nopein	+	0	++	+
Rengasrusto-kannurusto -lihas						
ulompi	40	nopea	++	0	+	+
takainen	66–67	hitain	0	++	0	+
Kannurustojen välinen lihas	40–46		+	0	+	+
Rengasrusto- kilpirusto - lihas	43–47	hidas	+	+	+	++

++ keskeinen toiminta, + osallistuu toimintaan, 0 ei osallistu toimintaan

Lähteinä lihassolutyypeistä: Teig, Dahl ja Thorkelsen (1978), Happak ym. (1989), Rodeño, Sanchez-Fernandez ja Rivera-Pomar (1993); toimintanopeudesta: Cooper, Partridge ja Alipour-Haghigh (1993, kirjallisuuskatsaus), Cooper, Shindo, Sinha, Hast ja Rice (1994), Alipour ja Titze (1999); lihasten toiminnasta: Hollien (1983), Vilkmann, Ignatius ja Petri-Larmi (1984), Megirian ja Sherrey (1987); Kuna, Day, Insalaco ja Villeponteaux (1991), Nasri ym. (1994a), Nasri, Sercarz, Azizzadeh, Kreiman ja Berke (1994b).

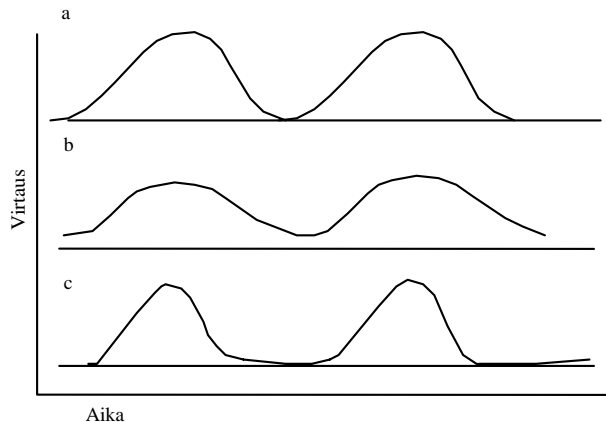
Limakalvot vastaavat ensisijaisesti värähtelystä, vaikka voimakkaassa äänissä myös lihasosa osallistuu siihen. Äänihuulien kerrosrakenne vaikuttaa värähtelyyn (Hirano 1974). Kerrosten kudoksilla on erilaiset värähtelyominaisuudet. Eniten äänenlaatuun vaikuttavat ylimmät kerrokset, erityisesti epiteelin alla oleva pehmeä ja joustava kudos (Hirano 1981; Hammond, Zhou, Hammond, Pawlak & Grey 1997). Kerrosten erilainen kudoserä rakenne saa aikaan sen, että äänihuulien värähdyksestä muodostuu limakalvoaalto,

"traveling wave", jota kuvaillaan pyöriväksi tai eteenpäin keriväksi liikkeeksi (Hirano 1981; Saito ym. 1989). Limakalvoaallon nopeus on keskimäärin 0.5–1 metriä sekunnissa (Saito ym. 1989). Aalto alkaa äänihuulien alapinnalta, josta se etenee kohti yläreunaa.

Äänihuulien värähtelyyn vaikuttaa myös ydin- ja kuoriosan keskinäinen suhde (Smith 1962; Titze & Talkin 1979; Hirano 1981). Sekä laskennallisesti (Titze & 1979) että kuol-leiden koirien kurkunpäällä tehdyissä tutkimuksissa (Hirano 1981; Titze 1988) on saatu tulokseksi, että äänihuulet värähtelevät optimaalisimmin silloin, kun ydinosa on kuoriosia jäykempi. Niin ikään ääniraon sulkeutumistapa muokkaa syntyvää ääntä (Gauffin & Sundberg 1989). Kuviossa 3 näkyvät erilaisten äänihuulisulkujen aiheuttamat lähdeäänien aaltomuodot. Lähdeäänestä käytetään suomen kielessä myös termejä virtauspulssi tai glottisheräte.

Äänentuoton taloudellisuutta voidaan arvioida subglottaalisen paineen ja äänenpaine-tason välisenä hyötysuhteena: ääni on tuotettu sitä taloudellisemmin, mitä pienemmällä subglottaalisella paineella saadaan kantava ääni. Taloudellisin värähtely syntyy, kun ääni-huulet tekevät laajan liikkeen ja koskettavat toisiaan nopeasti ja suhteellisen tiiviisti (Gauffin & Sundberg 1989). Laskennallisesti on osoitettu, että värähtelylle paras sulkumuodostuu, kun äänihuulet ovat hiukan toisistaan erillään (Titze 1988) ja äänirako on lähes — mutta ei aivan — suorakulmion muotoinen (Lucero 1998).

Epätaloudellisessa äänentuotossa sulkuvaihe puuttuu tai se on liian pitkä, jolloin värähtelyn ylläpitämiseksi tarvitaan suurempaa ilmavirtaa tai subglottaalista painetta (ks. esim. Gauffin & Sundberg 1989, kuvio 3). Kun äänirako ei sulkeudu tiiviisti ja sulkeutu-misnopeus on suhteellisen hidas, ääntä kutsutaan hypofunktionaaliseksi tai vuotoiseksi. Vaikka tässä äänentuottotavassa ilmaa virtaa runsaastikin äänihuulien välistä, ääni jää hil-jaiseksi. Laadultaan tällainen ääni kuulostaa pehmeältä, ja äänessä voi olla pyörteisen ilmavirran, turbulenssin, aiheuttamaa hälyä. Kun äänihuulet ovat liian lähellä toisiaan, muodostuu hyvin tiivis sulkumuoto. Tällöin subglottaalinen paine on suhteellisen suuri ja ääni-huulet aukeavat ja sulkeutuvat nopeasti ja ovat sulkuvaiheessa pitkään kiinni. Vaikutelma äänestä on jännitteinen ja kireä, ja ääntä kutsutaan usein joko hyperfunktionaaliseksi tai puristeiseksi.



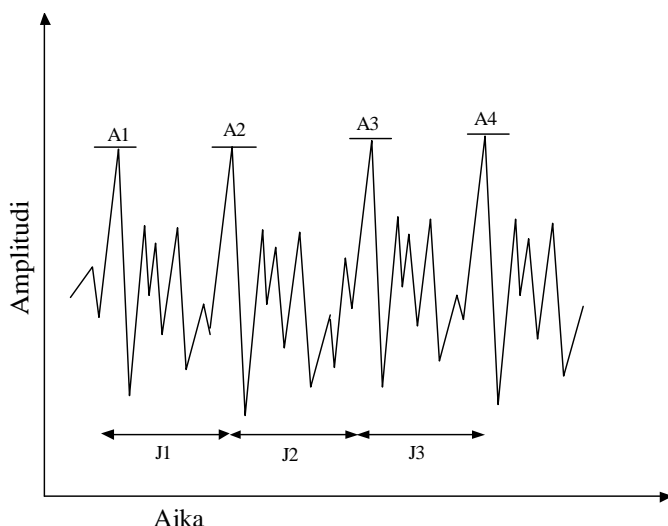
Kuvio 3. Värähtelevien äänihuulien välistä purkautuvan lähdeäänien eli glottisherätteen aaltomuotokuvaus (teoreettinen kaavakuva vrt. esim. Alku 1992). Erilaiset ääntötavat: (a) normaali, (b) vuotoinen ja (c) puristeinen.

Lisäksi kurkunpään ulkopuoliset tekijät vaikuttavat ääneen. Yksi näistä on henkitorvenveto (engl. *tracheal pull*), joka on merkitty kuvioon 2. Henkitorvenveto on mekaaninen voima, joka vetää rengasrustoa alaspäin ja laskee kurkunpäättä (Zenker & Glaninger 1959; Zenker & Zenker 1960; Sundberg, Leanderson & von Euler 1988; Iwarsson, Thomasson & Sundberg 1996; Vilkmán, Sonninen, Hurme & Kórkko 1996, kirjallisuuskatsaus). Henkitorvenvedon aiheuttaa keuhkojen massa, ja sitä lisää vielä pallean liike. Nämä vaikuttavat henkitorven kimmoisien rustojen kautta kurkunpäähän. Iwarssonin ja Sundbergin (1998) tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että henkitorvenveto laskee sävelkorkeutta, jos rengasrusto-kilpirusto -lihas (*m. cricothyroideus*, CT) ei kompensoi tätä. Niin ikään puhetta edeltävä nopea sisäänhengitys laskee kurkunpäättä (Wyke 1983). Sekä rintalastakilpirusto -lihas (*m. sternothyroideus*) että henkitorvi vetävät kurkunpäättä tällöin alaspäin.

2.2 Puheäänien akustiset piirteet

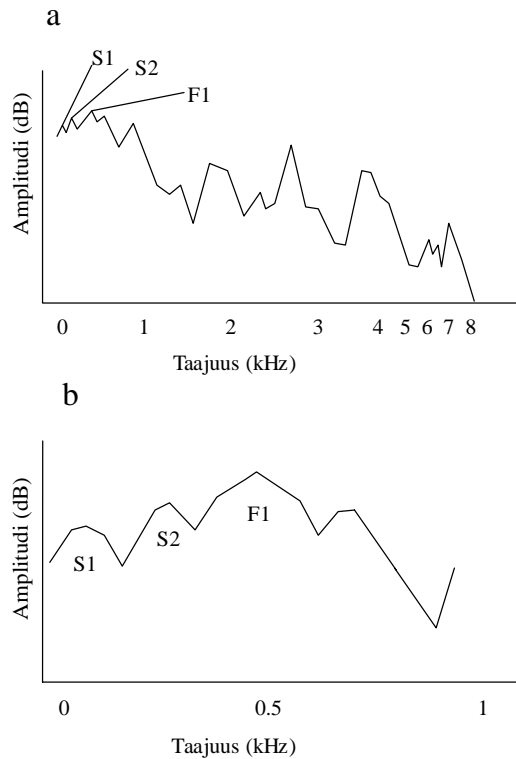
Ihmisiäntä on aina havainnointu kuulonvaraisesti, mutta tekniikan, erityisesti digitaalisen signaalikäsitteilyn, kehityttyä puheen akustisia piirteitä on ollut yhä helpompi mitata. Akustista analyysia on alettu käyttää entistä enemmän myös logopediassa. Fysikaalisesti ääntä voidaan kuvata esimerkiksi keston, perustaajuuden (F_0), voimakkuuden (SPL) ja spektrin avulla. Kuviossa 4 on akustinen puhesignaali (= äänenpaine muutettuna sähköiseen muotoon ajan funktiona), jolla esitetään tässä tutkimuksessa käytettyjä muuttujia. Äänenperustaajuus, jonka psykologinen vastine on sävelkorkeus, ilmaisee, montako värähdysjaksoa mahtuu sekuntiin (J1–J3 kuviossa 4; J = jakso). Taajuuden mittayksikkönä käytetään yleensä hertsiä (Hz, esim. Baken 1987). Värähdysten laajuus eli amplitudi (A1–A4 kuviossa 4) kasvaa ääntä voimistettaessa. Käytännössä äänenvoimakkuutta mitataan äänenpainetasona (engl. *sound pressure level*, SPL; fysikaalinen symboli P), jota verrataan referenssiäänepainetasoon ($P_0 = 20\mu\text{Pa}$; Titze 1994). Laskennallinen kaava SPL:lle on $20 \log_{10} P/P_0$ dB, ja suhde esitetään logaritmiasteikolla. Mittauksessa voidaan käyttää lineaariasteikkoa tai A-painotusta. A-painotus seuraa normaalia kuulokynnystä ja vaimentaa matalia taajuuksia. Tämä osoitetaan käyttämällä yksikkönä dB(A):ta. Kuulijan havaitsema äänekkyyys (engl. *loudness*) ei ole täysin sama kuin fysikaalisesti mitattu SPL, vaan siihen vaikuttavat esimerkiksi äänen spektraaliset ominaisuudet, perustaajuus ja ääninäytteen kesto (Flanagan 1972; Richards 1976).

Värähtelyn tasaisuutta arvioidaan perturbaatio- eli häiriöisyysmittauksen avulla. Siinä tutkitaan, kuinka värähdysjaksojen pituudet (P_1 suhteessa P_2 :een jne.; kuvio 4) tai amplitudit (A_1 suhteessa A_2 :een jne.; kuvio 4) vaihtelevat keskenään (ks. esim. Baken 1987). Edellistä vaihtelua kutsutaan jitteriksi, jonka ajatellaan kuvaavan äänihuulivärähtelyn vakautta (Lieberman 1963; Koike, Takahashi & Calcaterra 1977). Jälkimmäistä nimitetään shimmeriksi, ja sen uskotaan heijastavan kurkunpään dynamiikkaa ja etenkin äänihuulisulun toimintaa (Orlikoff 1991). Jitter ja shimmer voidaan määritellä usealla eri tavalla, mistä syystä myös tulosten esitysmuodot vaihtelevat. Perturbaatiomittauksista saadut tulokset esitetään useimmiten suhteellisina (prosentteina) tai absoluuttisina arvoina.



Kuvio 4. Akustinen painesignaali aika-alueen aaltomuotona (teoreettinen kaavakuva). A1—A4 = värähdyksen amplitudi; J1—J3 = värähdyksen kesto.

Äänen spektrikuvaus ilmaisee äänienergian jakautumista äänen eri taajuuksille. Spektrin kuulohavaintovastine on lähinnä äänenlaatu tai äänenväri. Puhujan artikulaatioliikkeet muuttavat ääniväylän muotoa, minkä tuloksena toiset taajuudet vahvistuvat ja toiset heikkenevät. Vahvistunutta osasäveltä kutsutaan formantiksi. Formantti vahvistaa myös sen ympärillä olevaa osasävelaluetta, ja käytännössä termi formantti on levinnyt tarkoittamaan epätarkasti tätä koko osasävelaluetta. Spektrianalyysi voidaan tehdä lyhytkestoisena yksittäisestä formantista (esim. Valencia, Mendoza, Matelo & Carballo 1994; Omori, Kojima, Kakani, Slavit & Blaugrund 1997). Spektri voidaan laskea myös keskiarvoistamalla yksittäisspektrit, jotka on mitattu useasta eri ajankohdasta. Näin menettelemällä pystytään analysoimaan pitkiäkin ääninäytteitä (ns. pitkäaikaiskeskiarvospektri, engl. *long-term average spectrum*, LTAS, esim. Hurme 1996; Leino & Kärkkäinen 1995; Laukkanen & Leino 1999). Äänenlaadun tutkimiseen keskiarvospektri soveltuu paremmin. Pitkäaikaiskeskiarvospektri ja sekä siihen merkityt osasävelet että formantit näkyvät kuviossa 5.



Kuvio 5. Teoreettinen kaavakuva pitkäaikaiskeskiarvospektristä (a; huom. logaritminen asteikko) ja suurennos sen taajuusalueelta 0—1 kHz (b). S1 = ensimmäisen osasävelen alue, S2 = toisen osasävelen alue, F1 = ensimmäisen formantin alue.

2.2.1 Sävelkorkeus

Sävelkorkeus on puheessa varsin hallitseva ja paljon informaatiota sisältävä piirre, ja akustisissa puheen tutkimuksissa se on ehkä mitatuin parametri. Korkeuden vaihtelulla puhuja ilmaisee sekä kielen piirteitä, kuten sana- ja lausepainoa, että myös tunnetilojaan (Brenner, Doherty & Shipp 1994; Laukkanen, Vilkmán, Alku & Oksanen 1996). Perustaajuutta on tutkittu edellisten lisäksi useista muistakin näkökulmista, kuten äänenlaadun (esim. Kempster, Kistler & Hillenbrand 1991), puhujan vireystilan (Vilkmán & Manninen 1986), mielenterveysongelmien (esim. Nilsonne 1987) ja kurkunpään sairauksien (esim. Sanderson & Maran 1992; Sapienza & Stathopoulos 1995) kannalta.

Äänihuulien näkökulmasta sävelkorkeutta säätelevät oleellisesti äänihuulien jäykkyys ja massa (Zemlin 1988). Kun puhuja pidentää äänihuuliaan, niiden massa pituusyksikköä kohden vähenee ja jäykkyys lisääntyy. Nämä molemmat seikat lisäävät värähtelynopeutta ja näin sävelkorkeutta. Niin ikään äänijänteessä olevat elastiset kuidut nopeuttavat värähtelyä. Ne ovat kimmoisia kuin kuminauhut, jotka palaavat entiseen muotoonsa sitä nopeammin, mitä enemmän niitä venytetään. Puhuja voi säädellä sävelkorkeuttaan tietoisesti,

mutta usein korkeus nousee täysin puhujan tiedostamatta. Näin tapahtuu esimerkiksi, kun voimistetaan ääntä (Gramming 1988). Äänenvoimakkuuden ja sävelkorkeuden suhde ei ole kuitenkaan suoraviivainen, vaan voimakkaissa äänissä voiman lisäys nostaa korkeutta enemmän kuin hiljaisissa äänissä (Buekers & Kingma 1997).

Naisten perusäänentaajuus on Bakenin (1987) oppikirjan mukaan 200 Hz. Suomalais-tutkimuksissa, joissa on mitattu sävelkorkeutta yliopistossa opiskelevien naisten tekstiluennasta, perustaajuudeksi on saatu hiukan matalampia arvoja (190–196 Hz; Laukkanen & Leino 1999; Laukkanen, Mäki, Pukander & Anttila 1999; Leino 1999). Sävelkorkeuden vaihtelun on todettu olevan luennassa viidestä kuuteen puolisävelaskelta (Pegoraro Krook 1988; Coleman & Markham 1991). Puhujan keskimääräinen sävelkorkeus on kuitenkin varsin vakaa neutraalisti tuotetussa puheessa. Siinä ei tapahdu suuria muutoksia päivien, kuukauden, vuoden tai jopa vuosikymmenen aikana (Fitch 1990; Coleman & Markham 1991; Stone & Rainey 1991). Vaikka ääni pysyy samanlaisena jopa vuosia, niin iän tuomat muutokset vaikuttavat siihen kuitenkin, ja ääni laskee hiljalleen ihmisen vanhetessa (Pegoraro Krook 1988; Russell, Penny & Pemberton 1995). Sävelkorkeuteen eivät vaikuta pelkästään puhujan fysiologiset ominaisuudet, vaan myös kulttuuriset tekijät säätelevät sitä. Niinpä eri aikakausilla (Pemberton, McCormack & Russell 1998; Leino, Laukkanen, Kättö, Mäki & Ilomäki 1999) sekä yhteisöillä ja kansoilla (Hudson & Holbrook 1982; Awan & Mueller 1996; Laukkanen ym. 1999) on ollut ja on edelleen toisistaan poikkeavia ihanteita ja tarpeita, jotka heijastuvat puhujien ääneen.

Lisäksi äänentuottotavat ja -häiriöt voivat vaikuttaa sävelkorkeuteen. Jos äänenlaatu on karhea, siihen liittyy esimerkiksi matala F0 (Hammarberg 1986). Äänihäiriöistä taas äänihuulien turvotus (Sanderson & Maran 1992; Ng, Gilbert & Lerman 1997) ja ryväsloukasamat (granulooma) laskevat korkeutta, kun puolestaan kyhmyissä ja polyypeissa korkeus voi olla normaaliarvojen rajoissa (Sapienza & Stathopoulos 1995; Dworkin & Meleca 1997). Toiminnallisissa äänihäiriöissä F0 on kohonnut osalla potilaista (Hillman, Holmberg, Perkell, Walsh & Vaughan 1989). Kaikilla äänihäiriöpotilailla F0:n muutos ei ole kuitenkaan aina seurausta häiriöstä, vaan se voi olla myös itse syy häiriöön. Häiriön syynä se voi olla puhujilla, jotka tietoisesti ovat madaltaneet ääntään tavoitellessaan luetuttavuuden ja arvovallan vaikutelmaa (Koufman & Blalock 1988). Lisäksi on todettu, että hyperfunktionalisesta äänihäiriöstä kärsivät potilaat nostavat melussa sävelkorkeutta enemmän kuin terveääniset puhujat (Schultz-Coulon 1980). Myös ääniterapian vaikutusta F0:aan on tutkittu, mutta tulokset ovat olleet ristiriitaisia. Terapia ei joko muuttanut F0:aa (Hufnagle & Hufnagle 1984), tai sitten F0 laski terapian seurauksena (Södersten & Hammarberg 1993; Fex, Fex, Shiromoto & Hirano 1994).

2.2.2 Voimakkuus

Normaalipuheessa äänenvoimakkuutta säädellään subglottaalisen paineen ja ääniraon sulun avulla (Isshiki 1964; Gramming 1988; Gauffin & Sundberg 1989; Sundberg, Scherer & Titze 1990). Kun puhuja haluaa voimistaa ääntään, hän puristaa äänihuulet tiivimmin yhteen, mikä kohottaa ilmvirran vastusta eli glottaalista resistanssia. Jotta ilma pääsisi virtaamaan äänihuulisulun läpi, subglottaalisen paineen on nouseva. Subglottaalisen paineen kaksinkertaistumisen on todettu nostavan äänenpainetasoa keskimäärin

vajaalla 10 dB:llä (Titze & Sundberg 1992). Lisäksi Titze ja Sundberg ovat osoittaneet, että voimakkuus ja sävelkorkeus toimivat kokonaisuutena eli nämä äänen piirteet muuttuvat samanaikaisesti. Titzen ja Sundbergin mukaan ääni voimistuu 8–9 dB oktaavia kohti. Äänen voimistamista voidaan tarkastella myös äänihuulien välistä purkautuvan lähdeäänien kannalta. SPL nousee, kun lähdeäänien aaltomuotoa eli virtauspulssin muotoa muutetaan (ks. Gauffin & Sundberg 1989; Titze & Sundberg 1992). Virtauspulssin muotoa voidaan muuttaa kolmella tavalla: maksimiampplitudia kasvattamalla, virtauspulssin kaltevuutta (engl. *skewing*) lisäämisellä ja sulkuvaihetta lyhentämällä. Muutosten seurauksena derivaatan minimi syvenee, mikä korreloi SPL:n nousun kanssa.

Edellisten äänenvoimistamistapojen lisäksi puhuja voi lisätä kuuluvuutta myös kurkunpään yläpuolisten rakenteiden avulla vaikuttamalla ääniväylän spektraalisiin ominaisuuksiin. Kun puhuja sovittaa alimman formantin vastaamaan äänilähteen harmonisia osasäveliä, ääni vahvistuu (Gramming & Sundberg 1988; Titze 1994). Ilmiöstä käytetään nimitystä formanttiviritys (engl. *formant tuning*). Laulajat käyttävät tätä akustista ilmiötä hyväkseen siten, että he "sijoittavat" ensimmäisen formantin F0:n taajuudelle (Sundberg 1975, 1977). Ääntä voidaan vahvistaa myös avaamalla suuta, mikä saa ensimmäisen formantin siirtymään lähemmäksi toista formanttia. Voimakkuuden nousu perustuu tällöin siihen, että formanttien välisen etäisyyden puolittuminen vahvistaa molempia formantteja 6 dB ja niiden väliin jäävää osaa 12 dB (Fant 1970). Keskimäärin puheen voimakkuus keskustelussa on 60–70 dB, kun mittausetäisyys on 40 cm (Laukkanen & Leino 1999). Terveääninen puhuja kykenee vahvistamaan ääntään hiljaisimmasta äänestään mahdollisimman voimakkaaseen ääneen keskimäärin 30–42 dB (Titze 1994; Buekers & Kingma 1997; Laukkanen & Leino 1999) ja äänenkäyttöön tottuneet puhujat kuten näyttelijäopiskelijat vielä tätäkin enemmän (49 dB; Laukkanen & Leino 1999).

Äänenvoimakkuus, kuten sävelkorkeuskin, voi heijastella sekä kurkunpään terveydentilaa että ihmisen tunnetiloja. Kuulijoiden mukaan äänenvoimakkuus erotteli hyvin äänihuulikyhmypotilaat niistä potilaista, joilla oli toiminnallinen äänihäiriö (Kempster ym. 1991). Lisäksi äänihäiriö voi heikentää puhujan kykyä voimistaa ääntä (Buekers 1998). Ääniterapialla ja -koulutuksella on pystytty vaikuttamaan näihin tekijöihin. Kuntoutuksen tai koulutuksen jälkeen puhujat ovat kyenneet tuottamaan sekä voimakkaampaa että hiljaisempaa ääntä (Södersten & Hammarberg 1993; Åkerlund 1993; Sulter, Schutte & Miller 1995), eikä sävelkorkeus ole noussut heillä enää yhtä paljon ääntä voimistettaessa kuin ennen terapiaa (Schulz-Coulon 1980; Buekers 1998). Myös ihmisen kokonaisvaltaisia tunne- ja vireystilan muutoksia on voitu mitata SPL:n avulla (Vilkman & Manninen 1986; Brenner ym. 1994; Laukkanen ym. 1996).

2.2.3 Lyhytaikainen äänenvaihtelu eli perturbaatio

Vaikka terveet äänen äänihuulet värähtelevät suhteellisen tasaisesti, ihmisäänen kuuluu aina jossain määrin perturbaatiota. Täysin säännöllisesti sekä taajuudeltaan että amplitudiltaan värähtelevä ääni mielletään epäluonnolliseksi ja konemaiseksi. Perturbaation määrään vaikuttavat useat tekijät, joista osa liittyy puhujaan ja osa taas johtuu puhtaasti laitteitten ja mittausten epätarkkuudesta. Tekijät on koottu taulukkoon 2.

Tutkijoita on kiinnostanut jo pitkään, kuinka hyvin värähtelyn epäsäännöllisyys voi ilmentää äänihäiriöitä. Ensimmäiset tutkimukset tästä aiheesta koskivat äänihäiriöiden ja jitterin yhteyttä, ja ne tehtiin 1960- ja 1970-luvulla (esim. Lieberman 1961, 1963; Koike 1973). Tuolloin uskottiin varsin toiveikkaasti, että jitterin avulla voitaisiin erotella ja ehkä luokitellakin kurkunpään sairauksia, kuten Lieberman (1963) oli onnistunut tekemään kurkunpään patologisten kasvainten kohdalla. Optimistisuudestaan huolimatta Lieberman (1963) kuitenkin jo totesi, että sellaiset pienet poikkeavuudet äänihuulissa, kuten kyhmyt tai tulehduksen aiheuttamat muutokset, vaikuttivat jitteriin hyvin vähän. Niin ikään tutkimukset osoittivat, että perturbaatioarvojen täsmällinen tulkinta oli vaikeaa, sillä normaali- ja häiriöisten äänien jitter-arvot olivat osittain päällekkäisiä (Koike 1973; Koike ym. 1977). Lisäksi perturbaation laskemista on vaikeuttanut se, että sekä jitteriltä että shimmeriltä on puuttunut tarkka matemaattinen määritelmä. Tämä on johtanut siihen, että on kehitetty useita laskukaavoja (ks. esim. Baken 1987). Tällä hetkellä yksi käytetyimmistä kaavoista on Koiken kehittämä (1977). Perturbaation mittaukseen soveltuu parhaiten pidennetty fonaatio. Siinä saadaan minimoitua vaihtelu, jota aiheuttavat jatkuvassa puheessa esimerkiksi äänneympäristö, painotus ja intonaatio (esim. Horii 1979; Baken 1987).

Taulukko 2: Perturbaatiota aiheuttavat tekijät.

Perturbaatiota aiheuttava tekijä	Vaikutus
<i>Neurologinen</i>	
Motoristen yksiköiden määrä	Määrän lisäys vähentää perturbaatiota (Larson, Kempster & Kistler 1987).
<i>Biomekaaninen</i>	
Äänihuulien rakenne	Epäsymmetria lisää perturbaatiota (Lieberman 1963).
Verenkierto	Sydämen syke lisää jitteriä noin 7 % (Orlikoff & Baken 1989) ja shimmeriä noin 2 % (Orlikoff 1990).
Äänen korkeus	Korkeuden lisäys vähentää (Lieberman 1963; Horii 1979; Orlikoff & Baken 1990; Verstraete ym. 1993; Gelfer 1995), mutta puhujalle epämiellyttävä korkeus lisää perturbaatiota (Koike ym. 1977).
Äänen voimakkuus	Voimistaminen joko vähentää (Gelfer 1995; Huang ym. 1995; Dejonckere 1998) tai ei vaikuta perturbaatioon (Koike ym. 1977).
Ääniväylän muutokset	Vokaali muuttaa kieliluuun asemaa, mikä vaikuttaa äänihuulien kuorikerrokseen (Honda 1983).
<i>Aerodynaaminen</i>	
Glottaalinen ilmavirtaus	Ääniraon ja virtauksen suurentaminen lisäävät perturbaatiota (Liljencrants 1991).
<i>Akustinen</i>	
Ääniväylän muutokset	Supraglottaalisen akustiikan vaihtelu (Baken & Orlikoff 1987; Vilkman, Laine & Koljonen 1991) ja vokaalin laatu vaikuttavat (Sussman & Sapienza 1994); jos F0 ja SPL on vakioitu, vokaalin laatu ei vaikuta (Orlikoff 1995).

Perturbaatiota aiheuttava tekijä	Vaikutus
<i>Mittaus</i>	
Algoritmi	Laskukaava vaikuttaa tulokseen (Horii 1979; Orlikoff & Baken 1990; Rabinov ym. 1995).
F0:n laskentamenetelmä	Vierekkäisten aaltomuotojen vertaaminen antaa tarkimman tuloksen; zero crossing -menetelmä on peak picking-menetelmää parempi, interpolointi parantaa tulosta (Deem, Manning, Knack & Matesich 1989, 1991; Titze & Liang 1993; Parsa & Jamieson 1999).
Rekisteröintilaite	Mikrofonilla tehdyissä ääninauhoituksissa vähän enemmän perturbaatiota kuin EGG- (Horiguchi ym. 1987) tai kontaktimikrofonirekisteröinnissä (Horii 1982; Sussman & Sapienza 1994); suoraan digitoitu ja tietokoneelle johdettu akustinen signaali luotettavampi kuin nauhurin kautta kulkeva (Gelfer & Fendel 1995) tai EGG-signaali (Bough, Heuer, Sataloff, Hills, & Cater 1996); kondensaattorimikrofonilla tehty nauhoitus puhtaampi kuin dynaamisella mikrofonilla tehty; mikrofonin suuntakuvio ja etäisyys vaikuttavat (Titze & Winholtz 1993; Winholtz & Titze 1997).
Analysilaitteisto	Laitekohtaiset erot vaikuttavat tulokseen (Karnell, Scherer & Fischer 1991, Karnell, Hall & Landahl 1995, Rabinov ym. 1995; Perry, Ingrisano & Scott 1996).
Näytteenottotaajuus	Näytteenottotaajuuden kasvaessa perturbaatio vähenee, mutta 40 kHz:n jälkeen ei juuri enää muutoksia (Horii 1979); interpolointi tärkeä, jos vähemmän kuin 500 näytettä jaksosta (Titze, Horii & Scherer 1987).
Ääninäytteen mittauskohta	Näytteen keskiosassa vähemmän perturbaatiota kuin alussa tai lopussa (Lieberman 1961; Koike 1973).
Ääninäytteen pituus	Luotettava näytepituus 20–200 jaksoa, mutta häiriöisille äänille suositellaan tätä pitempiä näytteitä (Lieberman 1961; Horii 1979; Titze ym. 1987; Deem ym. 1989; Karnell 1991).

Äänen perturbaatiota on tutkittu suhteellisen paljon, ja etenkin sen yhteys äänenlaatuun ja -häiriöihin on ollut kiinnostuksen kohteena. Jos äänessä on paljon perturbaatiota, ääntä kuvailtaan useimmiten karheaksi (Smith, Weinberg, Feth & Horii 1978; Hammarberg, Fritzell & Schiratzki 1984; Hammarberg 1986; Wolfe & Steinfatt 1987; Hillenbrand 1988; Martin, Fitch & Wolfe 1995; Wolfe & Martin 1997). Perturbaation määrä on kohonnut myös sellaisissa äänissä, joita kuulijat ovat arvioineet vuotoisiksi, käheiksi, epätasaisiksi, vapiseviksi, diplofonisiksi tai nariseviksi (Yumoto, Sasaki & Okamura 1984; Hammarberg 1986; Eskenazi, Childers & Hicks 1990; Wolfe & Martin 1997). Lisäksi ääniterapian aikaan saama äänenlaadun muutos on näkynyt jitter-arvoissa: kun ääni on parantunut, jitterin määrä on vähentynyt (Hammarberg 1986). Puristeinen ääni poikkeaa kuitenkin perturbaation suhteen muista äänenlaaduista siten, että se vähentää äänen lyhytaikaista vaihtelua (Klingholz & Martin 1985), mitä ei ole osattu tähän asti tuoda tutkimuksissa selvästi esille. Myös Vilkmanin, Mannisen, Laurin ja Pukkilan (1987) sekä Mendozan ja Carballon (1998) tulokset stressin ja vähentyneen perturbaation yhteydestä viittaavat tähän. Ilmeisesti puristeisen äänen kohonnut lihasjännitys tuottaa tiiviimmän äänihuulisulun, mikä saa äänihuulet värähtelemään tasaisemmin ainakin silloin, kun äänihuulissa ei ole suuria orgaanisia muutoksia.

Edellä esitetyt, yhdenmukaiselta vaikuttavat tulokset eivät kuitenkaan ole koko kuva perturbaatiotutkimuksista, vaan tuloksia leimaa ennen kaikkea ristiriitaisuus. Tutkijatakaan eivät pidä perturbaatiomittauksia aina parhaana tapana arvioida ääntä (esim. Yumoto ym. 1984; Wolfe & Steinfatt 1987). Yhtenä syynä tähän voi olla se, että samanlaisen kuulohavainnon voi saada aikaan fysiologisesti erilaiset tekijät. Esimerkiksi Omorin ym. tutkimus (1997) osoitti, että vaikka karheus ja perturbaatio korreloivat keskenään, on olemassa patologisesti karheaa ääntä, jossa ei ole lainkaan perturbaatiota. Myös synteettisesti voidaan tuottaa tällaista ääntä. Karheuden on tällöin aiheuttanut äänihuulien kaksi- tai kolmijakoinen näennäisesti periodinen värähtelytapa, joka näkyy spektrissä alaosasäveli-

nä. Alaosasävelet ovat harmonisten osasävelten väliin jääviä heikompina sävelpiikkejä, jotka eivät ole perustaaajuuden kokonaiskerrannaisia, vaan suhde on esimerkiksi 1/2 tai 1/3. Lisäksi perturbaatiotulosten ristiriitaisuutta lisää se, että osassa tutkimuksista äänihäiriöitä on voitu tunnistaa (Sanderson & Maran 1992) tai erotella (Pruszewicz ym. 1991) toisistaan, kun taas osassa tämä on onnistunut varsin heikosti (Rabinov, Kreiman, Gerratt & Bielamowicz 1995; Omori ym. 1997). Niin ikään kuormitustutkimuksista saadut tulokset eivät ole olleet johdonmukaisia (vrt. esim. Gelfer, Andrews & Schmidt 1991; Pekkari-nen ym. 1993; Verstraete, Forrez, Mertens & Debruyne 1993).

Tutkijat ovat pitkään keskustelleet, kumpi muuttujista, jitter vai shimmer, mittaa luotettavammin satunnaisvaihtelua. Tässäkään ei ole päästy yksimieliseen näkemykseen. Osassa tutkimuksista shimmer liittyi selvemmin äänenlaatuun kuin jitter (Deal & Emanuel 1978; Nichols 1979; Martin ym. 1995), mikä tuli esille etenkin äänihäiriöitä koskevissa äänenlaatatutkimuksissa (Horiguchi, Haji, Baer & Gould 1987; Feijoo & Hernández 1990). Niin ikään shimmer on ilmentänyt äänihäiriön vaikeusastetta jitteriä paremmin (Wolfe, Fitch & Cornell 1995). Sen sijaan osassa tutkimuksista muuttujien välillä ei ole ollut eroja (Kempster ym. 1991) tai jitter on erotellut shimmeriä tehokkaammin äänihäiriöt toisistaan (Klingholz & Martin 1985). Myös jitterin ja shimmerin suhdetta toisiinsa on tutkittu, ja niiden on todettu korreloivan positiivisesti (Deal & Emanuel 1978; Horii 1980; Horiguchi ym. 1987; Martin ym. 1995). Korrelaatiokertoimet ovat kuitenkin vaihdelleet varsin paljon, 0.03:sta aina 0.86:een asti, mihin ovat olleet ilmeisesti syynä etupäässä tutkimusasetelmista johtuvat tekniset seikat (Deal & Emanuel 1978; Horiguchi ym. 1987). Tutkijat ovat kuitenkin päätyneet varsin yksimielisesti siihen, että muuttujat ilmentävät osittain samaa ääniaallon piirrettä ja että niiden taustalla vaikuttavat samankaltaiset mekanismit (Deal & Emanuel 1978; Horii 1980; Kempster ym. 1991). Lisäksi Horii (1980) tuo esille sen, että koska korrelaatiot eivät ole aina kovin suuria, muuttujista saatu tieto ei kuitenkaan ole päällekkäistä.

2.2.4 Spektri

Spektrin avulla kuvataan äänenlaatua. Tämän kuvauksen perusteella on mahdollista tehdä päätelmiä kurkunpään toiminnan ja artikulaatioliikkeiden laadusta. Menetelmän etuina ovat sen kyky kuvata monimutkainen ilmiö varsin yksinkertaisesti sekä se, että monenlaiset ääninäytteet soveltuvat sen aineistoksi. Spektrin mittaukseen voidaan käyttää joko puhesignaalia tai käänteisuodatuksen avulla saatua lähdeääntä, josta spektri estimoidaan (Alku, Strik & Vilkmann 1997). Spektriä on tutkittu ja tulkittu tarkastelemalla sen kaltevuutta (Löfqvist & Mandersson 1987; Novak, Dlouha, Capkova & Vohradnik 1991; Leino & Kärkkäinen 1995) ja osasäveliä (Hurme 1996; Omori ym. 1997), vertaamalla eri taa-juusalueiden energiamääriä toisiinsa (Ohlsson 1988; Hurme 1996) tai tutkimalla spektriin muodostuneita formanttihuippuja (Leino & Kärkkäinen 1995). Koska tutkijat eivät ole löytäneet yksiselitteisiä ratkaisuja siihen, mistä spektrin osasta mittauksia kannattaa tehdä, mittauskohdat ovat vaihdelleet eri tutkimuksissa. Tutkimusten yhtenä tavoitteena onkin ollut kehittää ilmaisuvoimaisia parametreja (esim. Hammarberg 1986; Kitzing 1986; Hurme 1996). Koska puhujien spektrit ovat kuitenkin suhteellisen yksilöllisiä, mielekkäintä on verrata vain saman puhujan näytteitä keskenään (Kitzing 1986; Hurme

1996). Lisäksi mittaamiseen liittyvistä seikoista SPL:n (Södersten, Lindestad & Hammarberg 1991; Hurme 1996) ja mikrofonin etäisyyden (Leino & Laukkanen 1993) on todettu vaikuttavan spektrin kaltevuuteen.

Spektritutkimuksissa sekä tutkimusasetelmat että -tulokset ovat vaihdelleet. Yhdeltä alueelta on kuitenkin saatu suhteellisen yhtenäisiä tuloksia: asetelmista, joissa on tutkittu vuotoinen - puristeinen-äänijatkumoa (Hammarberg 1986; Kitzing 1986; Klatt & Klatt 1990; Hurme 1996). Vuotoisen äänen spektri on kaltevuudeltaan jyrkempi, ja spektrissä on energiaa suhteellisesti vähemmän korkeammilla taajuuksilla kuin matalammilla (esim. taajuusalueilla 2–5 kHz ja 0–2 kHz). Vuotoisen äänen piirre on myös korkeampi perustaa-juuden amplitudin taso verrattuna sekä toisen osasävelen että ensimmäisen formantin amplitudin tasoon (Hammarberg ym. 1984; Klatt & Klatt 1990; Södersten & Hammarberg 1993; Hillenbrand, Cleveland & Erickson 1994; Hurme 1996). Lisäksi vuotoisessa ja myös häiriöisessä äänessä on havaittu spektrin tason nousua hyvin korkeissa taajuuksissa (yli 3 kHz ja yli 5 kHz), mikä ilmeisesti kuvaa epätäydellisen äänihuulisulun aiheuttamaa ilmapirran turbulenssia (Hammarberg 1986; Hurme 1996). Äänihuulikyhmysten aiheuttama käheys on nostanut vieläkin korkeampien taajuuksien energiatasoa (6–16 kHz), mikä on erotellut äänihäiriöiset potilaat terveäänisistä verrokeista hyvin (Valencia ym. 1994). Puristeisen äänen spektrin kaltevuus on puolestaan loivempi, ja tasojen erot eivät ole yhtä suuria kuin vuotoisessa äänessä (Hammarberg 1986; Kitzing 1986; Klatt & Klatt 1990; Hurme 1996). Kaikissa tutkimuksissa spektrin kaltevuus ei ole kuitenkaan ollut kovin selvästi yhteydessä äänen tiiviyteen (Hillenbrand ym. 1994).

Puristeisen ja vuotoisen äänenlaadun lisäksi myös karheuden on todettu vaikuttavan spektriin. Karheus piirtyy spektrin harmonisten osasävelten väliin amplitudiltaan heikompiina alaosasävelinä. Mitä suurempia amplitudiltaan ja matalampia taajuudeltaan alaosasävelet olivat, sitä karheammaksi kuulijat arvioivat äänen (Omori ym. 1997). Vuotoisen ja karhean äänen erottelu toisistaan ei sen sijaan ole spektrin avulla onnistunut (Wolfe & Martin 1997).

Äänenlaadun arvioinnin lisäksi spektrin avulla on onnistuttu tunnistamaan puhujan vireys- ja tunnetiloja (Vilkman & Manninen 1986; Novak & Vokral 1993) sekä etenkin elimellisiä äänihäiriöitä (Hurme 1996). Spektriä on käytetty myös ääniterapian ja äänikoulutuksen tuloksellisuuden arviointiin. Sekä toiminnallisesta äänihäiriöstä (Kitzing & Åkerlund 1993) että sulkuvajeesta (Södersten & Hammarberg 1993) kärsivien potilaiden äänen spektri oli terapian jälkeen noussut erityisesti ensimmäisen formantin alueella, mikä osoittaa äänihuulisulun muuttuneen tiiviimmäksi. Miesnäyttelijöiden koulutuksessa spektrin kaltevuus loiveni, ja 3,5 kHz:n tienoille kehittyi selvä formanttihuippu (Leino & Kärkkäinen 1995). Tällainen formanttihuippu näkyy spektrissä silloin, kun ääni on kirkas ja kantava. Spektrin loiveneminen puolestaan viittaa ääniraon sulkeutumisnopeuden ja tiiviyden kasvuun.

2.3 Ääninäytteiden keruu

2.3.1 Kenttäolosuhteissa käytetyt laitteet

Äänitutkimuksessa kenttäolosuhteisiin soveltuvalta laitteistolta edellytetään erilaisia ominaisuuksia kuin laboratoriossa käytetyltä. Toimiakseen kentällä laitteen täytyy olla kevyt kantaa, helppokäyttöinen eikä se saa estää puhujaa liikkumasta ja toimimasta normaalilla tavalla. Luonnollisen puhetilanteen nauhoitus kestää usein myös pitempään kuin laboratoriossa. Ilmeisesti yhdestä tai useammasta edellä mainitusta syystä aiemmat kenttätutkimuksia tehneet tutkijat eivät ole koonneet ääniaineistoaan nauhurin avulla vaan ovat käyttäneet tutkimuksissaan niin sanottua "akkumulaattoria" (engl. *accumulator*; Nilsonne 1987; Watanabe, Shin, Oda, Fukaura & Komiyama 1987; Ohlsson 1988; Masuda, Ikeda, Manako & Komiyama 1993; Buekers, Bierens, Kingma & Marres 1995), joka voitaisiin suomentaa termillä "kerääjä".

Akkumulaattorin toiminta perustuu mikroprosessoriin, joka analysoi sisääntulevan äänisignaalin suoraan, jolloin laitteen muistikapasiteetin ei tarvitse olla suuri. Akkumulaattorin vahvuus on juuri tässä: erillisiä analyysilaitteita ei tarvita, ja tulos saadaan nopeasti. Tämä on samalla myös laitteen heikkous: alkuperäinen signaali ei jää muistiin, vaan se häviää. Nauhuritalenteen käyttö edellyttää sen sijaan erillistä mittaus- ja analyysilaitteistoa, mutta tämä menetelmä puolestaan säästää alkuperäisen signaalin. Tähän mennessä akkumulaattoreiden rekisteröintikyky on ollut melko rajallinen. Niillä ei ole kyetty mittaamaan puheajan lisäksi muuta kuin yhtä akustista parametria, joko F0:aa (esim. Nilsonne 1987; Ohlsson 1988) tai SPL:ää (Masuda ym. 1993; Buekers ym. 1995).

Tutkimuksessa käytettävän laitteen valintaan vaikuttaa myös se, mitä äänen piirrettä halutaan analysoida. Jos äänestä halutaan mitata SPL, tarvitaan akustinen signaali, jolloin ainoa vaihtoehto on akustinen mikrofoni. Sen sijaan jos analyysi tehdään pelkästään F0:sta, voidaan käyttää joko kontaktimikrofonia (esim. Watanabe ym. 1987) tai elektroglossografia eli EGG:tä (esim. Kitzing 1979). Näiden rekisteröintilaitteiden etuna on se, että akustinen ympäristö ei vaikuta niiden tallentamaan signaaliin.

2.3.2 Ääninäytteet

Ääninäytteitä voidaan kerätä usealla tavalla. Tutkimuksissa yleisimmin käytetyt näytteet ovat pidennetty fonaatio ja lukunäyte. Spontaania puhetta on sen sijaan nauhoitettu selvästi harvemmin. Äänitutkimuksessa tarkoitetaan pidennetyllä fonaatiolla (engl. *sustained* tai *prolonged phonation*) soinnillisen äänteen tuottoa. Tavallisin äänne fonaatiossa on [a]-vokaali. F0-mittauksissa sen etuna on luotettavuus, sillä sen ensimmäinen formantti on korkealla eli kaukana F0:sta (ks. esim. Rastatter, McGuire, Kalinowski & Stuart 1997), minkä vuoksi ei ole kovin suurta vaaraa, että mittari mittaisi ensimmäisen formantin F0:n sijasta. Varsinkin jos tutkimuksessa käytetään käänteissuodatuksella estimoitua lähdeääntä, [a]-fonaatio on muita äänneitä suositeltavampi. Jos kuitenkin valitaan jokin toinen vokaali, on oleellista käytetään johdonmukaisesti samaa äännettä, sillä eri vokaalien F0- ja perturbaatioarvot poikkeavat toisistaan jonkin verran (Deem ym.

1989; Nittrouer, McGowan, Milenkovic & Beehler 1990; Vilkmán, Aaltonen, Laine & Raimo 1990; Sussman & Sapienza 1994; Gelfer 1995). Akustisissa analyyseissa on useimmiten käytetty muutamien sekuntien fonaatiota (esim. Klingholz 1990; Dwire & McCauley 1995), ja mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio on kuulunut enemmän perinteiseen kliiniseen työhön, jolloin siitä on mitattu yleensä äännön kesto (Hirano 1989).

Sen lisäksi, että ääninäytteenä on varsin harvoin ollut spontaani puhe, myös se, mitä on pidetty spontaanina puheena, on vaihdellut. Varsinkin autenttisissa tilanteissa spontaania puhetta on tutkittu selvästi vähemmän kuin laboratoriotyyppisissä tutkimusasetelmissä. Tätä tutkimusta varten läpikäydyn kirjallisuuden perusteella autenttiseen tilanteeseen järjestettyjä tutkimuksia löytyi viisi: kaksi ruotsalaista (Kitzing 1979; Ohlsson 1988), kaksi japanilaista (Watanabe ym. 1987; Masuda ym. 1993) ja yksi hollantilainen tutkimus (Buekers ym. 1995). Paljon tavallisempi on ääninäytteenä sellainen spontaani puhe, joka on luotu kysymällä koehenkilöltä jotakin hänelle tutusta aihepiiristä (esim. Fitch 1990) tai pyytämällä häntä kertomaan kuvasta (esim. Murry, Brown & Morris 1995). Epätarkkuutta ääninäytteiden termeissä aiheuttavat jossakin määrin englannin kielessä käytetyt ilmaisut "*connected speech*" (esim. de Krom 1994) tai "*running speech*" (esim. Schoentgen 1989; Södersten & Hammarberg 1993), jotka viittaavat yhtäläisesti sekä spontaaniin puheeseen että lukunäytteeseen. Vastaavasti sävelkorkeudesta on voitu käyttää erittelemättömästi termiä "*speaking fundamental frequency*" (esim. Russell ym. 1995). Termit ovat ilmeisesti syntyneet tarpeesta tähdentää eroa pidennettyyn fonaatioon.

2.3.3 Ääninäytteiden vertailu

Taulukkoon 3 on koottu tutkimuksia, joissa on mitattu F0 eri ääninäytteistä. Spontaanin puheen ja lukunäytteen F0:n tulokset eivät anna yhtenäistä kuvaa. F0 on ollut spontaanissa puheessa joko korkeampi kuin lukemisessa (Kitzing 1979), arvot ovat olleet lähellä toisiaan (Baken 1987; Britto & Doyle 1990; Fitch 1990; Murry ym. 1995) tai lukemisessa ääni on ollut korkeampi (Drew & Sapir 1995; Sallinen-Kuparinen 1985). Puhetilanne voi olla yksi tekijä, joka on aiheuttanut tulosten ristiriitaisuuden. Autenttisessa puhetilanteessa puhujien sävelkorkeus on nimittäin ollut selvästi luentatilannetta korkeampi (19–34 Hz; Kitzing 1979). Sen sijaan F0 ei ole erotellut johdonmukaisesti kysymys - vastaus-tilannetta ja kuvasta kertomisesta.

Taulukko 3: Naispuhujien F0 eri ääninäytteissä.

Tutkijat	Koehenkilöt (ikä vuosina)	Fonaatio (Hz) ja fonaation pituus tai ääninäyte	Luku- näyte (Hz)	Spontaanipuhe (Hz) ja tutkimusti- lanne	Tulos tai selitys
Kitzing (1979)	4 esikouluopettajaa (ei mainintaa)		217	236; toimintatuokio voimistelusalissa	Ero tilastollisesti merkitsevä.
Kitzing (1979)	7 eri puheammattissa olevaa työntekijää, joilla toiminnallinen äänihäiriö (25–54)		186–187	206–221; työpäivän aikainen puhe	Eroja ei verrattu.
Hudson ja Holbrook (1982)	100 yliopisto-opiskelijaa (18–29)		193	189; kysymykseen vastaaminen (2 min)	Ero tilastollisesti merkitsevä.
Sallinen- Kuparinen (1985)	15 lukiolaista ja 15 ammattikoululaista (16)		208	201; sarjakuvasta kertominen	Ero tilastollisesti merkitsevä.
Britto ja Doyle (1990)	20 normaaliäänistä naista (24)	218, 4 ; 10 s	197	199; kysymykseen vastaaminen (1 min)	Pitkässä fonaatiossa F0 tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin muissa näytteissä.
Fitch (1990)	6 normaaliäänistä naista (21–26)	259–265; CV- tavuja, vokaali pidennetty	206–210	210; kysymykseen vastaaminen	Vokaaleissa F0 tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin muissa näytteissä.
Drew ja Sapir (1995)	10 sopraanolaulajaa (22)		230	219; kysymykseen vastaaminen (1 min)	Ero tilastollisesti merkitsevä.
Murry ym. (1995)	1) 8 nuorta naista (20–35) 2) 7 vanhempaa naista (59– 73)	1) 209; 10 s 2) 189	1) 195 2) 170	1) 189 2) 175; kuvasta kertominen	Vanhemmilla naisilla fonaatio tilastollisesti merkitsevästi muita näytteitä korkeampi.
Sapienza ja Stathopoulos (1995)	10 normaaliäänistä naista (24)	220; mahdollisimman pitkä fonaatio 202 ; [pa]-tavu	212		Ero tilastollisesti merkitsevä.

Osa tuloksista on muokattu vertailun helpottamiseksi.

Pidennetyn fonaation suhde muihin ääninäytteisiin on sen sijaan eri tutkimusten mukaan melko yhtenäinen. F0 on ollut pidennetyssä fonaatiossa korkeampi kuin lukemisessa tai spontaanissa puheessa, joskaan tilastollinen merkitsevyys ei aina ole ollut kovin vahva (Britto & Doyle 1990; Murry ym. 1995; Sapienza & Stathopoulos 1995). Jos pidennetty fonaatio on liitetty tavuympäristöön, tulosten yhtenäisyys kuitenkin rikkoutuu: Fitchin (1990) tutkimuksessa F0 oli paljon korkeampi tavun yhteydessä tuotetussa fonaatiossa kuin muissa ääninäytteissä, ja taas Sapienzan ja Stathopoulosen (1995) tutkimuksessa se oli muita ääninäytteitä matalampi.

Perturbaatiomittauksissa ääninäyte ei yleensä ole aiheuttanut valinnan vaikeutta. Perinteisesti on käytetty pidennettyä fonaatiota, sillä puheessa äännön alut, loput sekä siirtymät lisäävät niin paljon perturbaatiota, että mittaustuloksia on ollut vaikea tulkita (Lieberman 1961; Koike 1973; Schoentgen 1989). Niin ikään lauseen keskeiset elementit, painotus ja intonaatio, nostavat myös perturbaatioarvoja. Schoentgenin (1989) ja

Klingholz (1990) mukaan puheen soveltuvuutta perturbaatiomittauksiin kannattaisi kuitenkin tutkia tarkemmin, sillä äänihäiriöt voitaisiin saada paremmin esille puhenäytteistä kuin yksittäisen vokaalin äännöstä.

Lyhyen ja maksimaalisesti pidennetyn fonaation eroja on tutkittu vain vähän. Yksi tutkimus on Terasawalta, Hibiltä ja Hiranolta (1989), jotka vertailivat eripituisten fonaatioiden ilmavirtausten määriä. Lyhyessä, puhujalle miellyttävän pituisessa fonaatiossa (n. 3–5 s) ilmavirtaus oli suurempi kuin mahdollisimman pitkään tuotetussa fonaatiossa. Tutkijat arvioivat, että kurkunpää ja hengityselimistö toimivat fysiologisesti jonkin verran eri tavoin näissä äännöissä, esimerkiksi mahdollisimman pitkässä fonaatiossa äänenkäyttäjä joutuu turvautumaan myös sisään- ja uloshengityksen varatiloihin, kun normaalissa puheessa ja lyhyessä fonaatiossa näin ei tarvitse tehdä.

2.4 Puheammattien riskiryhmä: opettajat

2.4.1 Opettajien äänihäiriöiden yleisyys

Opettajat sijoittuvat kärkeen kliinisissä äänihäiriötilastoissa (Heidelberg 1986; Herrington-Hall, Lee, Stemple, Niemi & Miller McHone 1988; Eustace, Stemple & Lee 1996; Fritzell 1996; Titze, Lemke & Montequin 1997). Heitä on 16–20 % äänihäiriöklinikan asiakkaista. Tämä osuus on kolmesta viiteen kertaan suurempi kuin opettajien määrä suhteutettuna koko työväestöön. Opettajista 12–43 %:lla on niin vaikeita äänioireita, että ne häiritsevät opetusta (Pekkarinen, Himberg & Pentti 1992; Sapir, Keidar & Mathers-Schmidt 1993; Smith, Gray, Dove, Kirchner & Heras 1997; Russell, Oates & Greenwood 1998). Useimpien tutkimusten mukaan naisopettajilla on selvästi enemmän ääniongelmia kuin heidän mieskollegoillaan (Aaltonen 1989; Pekkarinen ym. 1992; Smith ym. 1997; Russell ym. 1998), ja erityisen paljon äänenkäytön vaikeuksia on voimistelunopettajilla (Smith ym. 1997). Opettajien ja joidenkin muiden ammattiryhmien ääniongelmien yleisyys näkyy taulukossa 4.

Tutkimusten mukaan äänivaikeudet kehittyvät opettajilla ensimmäisinä työvuosina (Sapir ym. 1993; De Bodt, Wuyts, Van de Heyning, Lambrechts & Abeele 1998), jos ovat kehittyäkseen, eivätkä työvuodet (Pekkarinen ym. 1992; Sapir ym. 1993), viikkotuntimäärä (Sapir ym. 1993) tai luokka-aste (primary and secondary school; Russell ym. 1998) vaikuta oireiden määrään. Vaikka ikä ja työvuosien määrä ovat varmastikin yhteydessä toisiinsa, tutkimustulokset iän yhteydestä äänioireisiin eivät ole yhtä yhdenmukaisia kuin työvuosista saatu tulos. Kun Russellin ym. (1998) tutkimuksen mukaan eniten äänivaikeuksia on 31–40-vuotiailla ja yli 50-vuotiailla opettajilla, Sapirin ym. (1993) kartoituksen perusteella iällä ja oireiden kokemisella ei ole yhteyttä. Toisaalta on olemassa viitteitä siitä, että osalla opettajista äänivaikeudet ovat voineet alkaa jo ennen työuraa. Böhmen (1971) tutkimuksen mukaan opettajaksi opiskelemaan pyrkivistä vajaalla 8 %:lla on niin suuria äänenkäytön ongelmia, että ilman toimenpiteitä heidän äänensä ei todennäköisesti kestäisi opetukseen liittyvää kuormitusta. Niin ikään Turussa meneillään oleva kartoitus osoitti vastaavasti, että jo opiskeluvaiheessa osalla opettajakandidaateista oli ääniongelmia (Laine, Simberg, Sala & Rönnemaa 1999).

Taulukko 4: Opettajien ja joidenkin muiden ammattien työntekijöiden kokemien äänenkäytönvaikeuksien määrä.

Tutkija ja maa	Ammatti (ikä)	Koehenkilöiden määrä ja sukupuolijakauma	Keskeiset tulokset
Aaltonen (1989), Suomi	Opettajat (21–88)	754; naisia 69 %	Äänioireita 16,4 - 60,8 %:lla; naisilla oireita enemmän kuin miehillä.
Pekkarinen ym. (1992), Suomi	Opettajat (41)	478; naisia 66 %	Äänioireita 80 %:lla muutaman kerran vuodessa, 12 %:lla viikottain, 3 %:lla päivittäin; oireista 83 % naisilla.
	Sairaanhoitajat (39)	95; naisia 98 %	Äänioireita 71 %:lla muutaman kerran vuodessa 7 %:lla viikottain, 1 %:lla päivittäin; oireista 73 % naisilla.
Gotaas ja Starr (1993), Kanada ja USA	Opettajat (ei mainintaa)	201; ei mainintaa sukupuolijakauksesta	Äänioireita 80 %:lla muutaman kerran vuodessa, 23 %:lla viikottain, 14 %:lla päivittäin.
Sapir ym. (1993), USA	Opettajat (41)	258; kaikki naisia	51 %:lla oireita ≥ 3 kpl; 22 %:lla oireita $\geq 1-2$ kpl.
Russel ym. (1998), Australia	Opettajat (42)	877; ei mainintaa sukupuolijakauksesta	Äänioireita 19 %:lla joskus uran aikana, 20 %:lla muutaman kerran vuodessa, 16 %:lla tutkimuspäivänä; naisilla 2 kertaa useammin oireita kuin miehillä.
Smith ym. (1997), US	Opettajat (20–65)	242; naisia 80 %	43 %:lla äänioireita ≥ 2 kpl, 26 %:lla yksi oire; oireita saman verran miehillä ja naisilla.
	Muut ammatit (20–65)	178; naisia 71 %	18 %:lla äänioireita ≥ 2 kpl, 17 %:lla yksi oire; oireita saman verran miehillä ja naisilla.
Morton ja Watson (1998), Pohjois-Irlanti	Opettajat (ei mainintaa)	189; naisia 58 %	50 % molemmista ryhmistä huolestuneita äänestään; opettajilla enemmän äänivaikeuksia kuin muiden ammattien edustajilla; naiset huolestuneempia äänestään kuin miehet.
	Muut ammatit (ei mainintaa)	91; ei mainintaa sukupuolijakauksesta	

Osa tuloksista on muokattu vertailun helpottamiseksi.

2.4.2 Opettajien äänihäiriöt ja niiden oireet

Tavallisin opettajan äänestä annettu diagnoosi on toiminnallinen äänihäiriö (dysphonia functionalis, myös fonastenia; Fritzell 1996). Taulukkoon 5 on koottu tavallisimpia sekä toiminnallisen äänihäiriön että äänen väsymisen oireita ja ongelmia. Äänen väsymisen ja toiminnallisen häiriön voidaan ajatella olevan samaa jatkumoa, jota jäsentävät oireiden kesto, määrä ja haittaavuus. Taulukon jaottelu pohjaa Maailman terveysjärjestön (WHO, 1980, ks. myös Scott, Robinson, Wilson & MacKenzie 1997) malliin sairauden tai häiriön seurausvaikutuksista. Luokitus hahmottaa häiriön kokonaisuudeksi, jossa tarkastellaan itse häiriön (disorder tai disease) ja siitä johtuneen häiriintyneen toiminnan (impairment) lisäksi toimintavajavuutta (disability) ja haittaa (handicap), jotka voivat olla seurausta häiriöstä. Scott ym. (1997) käyttivät tätä luokitusta dysfoniasta kärsivien koehenkilöiden kartoituksessa. Tutkimuksen mukaan ongelmista suurin osa, 60 %, liittyy häiriötasoon (impairment), vähän yli neljäsosa vaikeuksista ilmenee toimintavajavuutena (disability) ja 14 % ongelmista koskee käheydestä aiheutuvaa laajempaa haittaa (handicap).

Taulukko 5: WHO:n mallin (1980) mukainen kuvaus toiminnallisen äänihäiriön yleisimmistä ongelmista.

Häiriö (disease tai disorder)	Häiriintynyt toiminta (impairment)	Toimintavajavuus (disability)	Haitta (handicap)
Toiminnallinen äänihäiriö	Ääni väsy helposti. Ääni on käheä, heikko, voimaton, madaltunut tai vuotoinen. Ääni katkeilee. Täytyy selvittää kurkkua. Kurkkua kuivaa tai kutisee. Kurkussa on palan tunne.	Vaikea laulaa. Ääni ei kannaa. Vaikea huutaa, lukea ääneen tai puhua puhelimesta.	Vaikeuttaa työtä. Turhauttaa. Vähentää sosiaalisuutta ja itseluottamusta. Aiheuttaa ahdistusta.

Lähteinä Ohlsson (1988) Pekkarinen ym. (1992), Sapir ym. (1993), Smith ym. (1998), Scott ym. (1997). Scottin ym. koehenkilöt olivat äänihäiriöklinkan potilaita, joiden ensisijainen oire oli käheys; muissa tutkimuksissa koehenkilöt olivat opettajia.

Äänivaikeuksista kärsivillä opettajilla on yleensä useita oireita samanaikaisesti (Sapir ym. 1993; Smith ym. 1997), ja on tavallista, että oireiden määrä lisääntyy iltapäivää kohti siirryttäessä (Pekkarinen ym. 1992). Tämä viittaisi siihen, että äänenkäytön määrällä on yhteyttä oireisiin. Niin ikään on havaittu, että mitä pitempään oireet jatkuvat, sitä enemmän niistä toipuminen vaatii aikaa (Pekkarinen ym. 1992; Russell ym. 1998). Kurkunpään orgaanisista muutoksista ovat opettajille tyypillisimpiä ne, jotka syntyvät jatkuvan rasituksen tai vaurion vuoksi, jollaisia muutoksia ovat äänihuulikyhyt, -polyypit ja turvotus (Herrington-Hall ym. 1988; Fritzell 1996). Kostyk ja Rochet (1998) ovat esittäneet, että ääniongelmaiset opettajat käyttävät ehkä tehottomampia strategioita selviytyäkseen puheurakasta kuin ne opettajat, joilla ei ole äänivaikeuksia. Näiden päätelmien pohjana olivat havainnot, joiden mukaan työviikon aikana ääniongelmaisten opettajien ilmavirta

äänön aikana laski, mutta terveäänisten opettajien ääniraon alainen ilmanpaine nousi, vaikka resistanssi ja SPL eivät muuttuneet kummallakaan ryhmällä. Opettajan persoonallisuudella ei sen sijaan ole todettu olevan yhteyttä koettuihin oireisiin (Pekkarinen ym. 1992).

2.4.3 Opettajan työ ja työympäristö

Opetustyö on äänen kannalta yksi vaativimmista ammateista. Opettajat joutuvat puhumaan pitempään (taulukko 6) ja käyttämään voimakkaampaa ääntä kuin monen muun ammatin harjoittajat (Masuda ym. 1993; Buekers ym. 1995). Ohlsson (1988) ja Pekkarinen ym. (1992) arvioivat kyselytutkimuksissaan puheajan ja -tavan vaikutusta. He vertailivat opettajia ja sairaanhoitajia, joiden arvioitiin puhuvan työssään yhtä paljon. Opettajat kokivat molemmissa tutkimuksissa kuitenkin enemmän äänenkäytön vaikeuksia kuin sairaanhoitajat. Tutkijat arvelivat erilaisen työympäristön selittävän ryhmien erilaista oirehdintaa. Äänenvoimakkuuden merkitystä ovat puolestaan tarkastelleet Gotaas ja Starr (1993). He kartoittivat opettajien äänenkäyttöä koehenkilöiden omien arviointien pohjalta. Opettajat oli jaettu kahteen ryhmään, joista toisen ääni rasittui ja toisen ei. Vaikka ryhmien äänenvoimakkuus ei eronnutkaan arvioiden mukaan toisistaan, äänioireisilla opettajilla todettiin olevan enemmän voimakasta äänenkäyttöä edellyttäviä harrastuksia, kuten urheiluvallmennusta, musiikki- tai teatteritoimintaa.

Taulukko 6: Eri ammattiryhmien työssään käyttämä puheaika.

Tutkija	Ammattiryhmä	n	Mitattu ajanjakso	Puhe aika kokonaisajasta (%)	Voimakas äänenkäyttö-aika kokonaisajasta (%)
Holbrook (1977)	Luokanopettajat	12	6 oppituntia	21 %	5,7 %, yli 75 dB(A)/10 cm
Watanabe ym. (1987)	Eri ammattien edustajia	20	10 tuntia päivässä	11 %	
Ohlsson (1988)	Puheterapeutit	10	Työpäivä	5–7 %	
	Sairaanhoitajat	10			
Masuda ym. (1993)	Toimistotyöntekijät	11	8 tuntia päivässä	7 %	–
	Luokanopettajat	7		22 %	10 %
	Lastentarhanopettajat	6		20 %	11 %, yli 80 dB(A)/20 cm
Sala ym. (1998)	Lastentarhanopettajat	51	Työpäivä	40 %	
Södersten ja Hammarberg (1999)	Lastentarhanopettaja	1	2 tuntia	20 %	

Puheajat ovat muutettu prosentteiksi vertailun helpottamiseksi.

Opettajan työympäristö sisältää useita äänen terveyttä vaarantavia tekijöitä. Luokkahuone voi olla meluisa, ja opettaja joutuu puhumaan monelle kuulijalle, joihin etäisyys on usein pitempi kuin tavallisessa lähikeskustelussa. Lisäksi luokan akustiset olosuhteet ovat usein heikot. Pekkarisen ja Viljasen (1991) 31 luokkaa käsittävässä tutkimuksessa lähes 2/3:ssa luokkahuoneista oli joko liian pitkä tai lyhyt jälkikaiunta-aika. Samoin monessa

luokassa taustamelu oli usein opetuksen aikana liian voimakas eli yli 40 dB (Markides 1986; Pekkarinen & Viljanen 1991). Tämä on raja, jossa puhuja tiedostamattaan alkaa voimistaa omaa ääntään 3 dB jokaista taustahälyn 10 dB:n nousua kohden parantaakseen sen kuuluvuutta (van Heusden, Plomp & Pols 1979).

Ääniongelmiin yhteyttä työasentoihin ei ole juurikaan tutkittu. Tämän alan uranuurtajia on Vilkmanin ja Pekkarisen työryhmä (Pekkarinen ym. 1993; Vilkman Lauri, Alku, Sala & Sihvo 1997), jonka tutkimuksessa tuli esille, että miehet ja naiset reagoivat eri tavoin istuma- ja seisoma-asentoihin äänenkuormitustilanteessa. Naisten äänentuotolle istumisen arvioitiin olevan parempi työasento, mutta miehille tilanne oli päinvastainen. Asentojen vaikutus ääneen näkyi siten, että edullisemmassa asennossa koehenkilöt kykenivät ääntämään hiljaisemmin kuin haitallisemmassa asennossa.

Äänen yhtenä rasitustekijänä on myös kuiva ilma (Pekkarinen ym. 1993; Hemler, Wieneke & Dejonckere 1997; Sihvo 1997). Vaikka ilman kuivuus ei olekaan erityisesti opetukseen liittyvä ongelma, niin kuitenkin Suomen kylmä talvi, joka aiheuttaa alhaisen suhteellisen kosteuden sisätiloissa, kuormittaa juuri niitä, jotka joutuvat ammatissaan puhumaan paljon. Lisäksi huomattava osa opetuksesta on juuri näiden kylmien talvikoukkausien aikana. Kuivan talvi-ilman lisäksi luokkahuoneiden ilmaa on usein kuivattamassa myös koneellinen ilmastointi (Boone 1993, kirjallisuuskatsaus). Riittämätön ilmankosteus aiheuttaa ääniväylän kudosten kuivumista, punoitusta ja limakalvojen turvotusta (Boone 1993, kirjallisuuskatsaus) sekä lisää värähtelyn epätasaisuutta (Hemler ym. 1997). Kuivan ilman onkin todettu vaikuttavan suoraan äänihuulien värähtelyyn. Kuolleiden kurkunpäällä tehdyn tutkimuksen mukaan värähtelyä ei edes synny, ellei äänihuulilla ole riittävästi kosteutta (Vilkman 1987). Lisäksi subglottaalisen paineen on oltava kuivassa ilmassa suurempi, jotta värähtely käynnistyisi (Pekkarinen ym. 1993; Verdolini, Titze & Fennell 1994). Samoin voimakas ääni vaatii suurempaa painetta kuivassa kuin kosteassa ilmassa.

Kuivan ilman haittoja on tullut esille myös muissa tutkimuksissa. Kuormituksen jälkeen puhujien on ollut vaikeampi tuottaa ilmassa hyvin hiljaista ja hyvin kovaa ääntä (Pekkarinen ym. 1993), ja perturbaatioarvot ovat muuttuneet, kun ilmankosteutta on vähennetty (Pekkarinen ym. 1993; Bough ym. 1996). Kurkunpään kudosten viskositeetin muutokset ovat ilmeisesti näiden muutosten taustalla (Finkelhor, Titze & Durham 1988; Verdolini ym. 1994). Boone (1993, kirjallisuuskatsaus) suosittelee ammattiäänenkäyttäjän puheympäristön suhteelliseksi ilmankosteudeksi 40–50 %. Kuivan ilman lisäksi pölyisyys kuormittaa ääntä (Ohlsson 1988), mikä opettajien kohdalla tarkoittaa ennen kaikkea liidun pölyä ja käsityöopettajilla lisäksi puun tai tekstiilien pölyä.

2.4.4 Äänen muita riskitekijöitä

Opettajan ääntä kuormittavat luokkatilanteiden lisäksi myös muut yleisesti ääneen vaikuttavat tekijät. Siihen, että naisopettajilla on runsaasti äänioireita, vaikuttavat muun muassa naisen ja miehen anatomiset ja fysiologiset erot. Naiseus on siis eräänlainen äänen terveyden riskitekijä. Esimerkiksi miesten lamina propria on selvästi paksumpi kuin naisten (Hammond ym. 1997), ja samoin heidän kurkunpäänsä on lähes 20 % naisten kurkunpäästä suurempi (Friedrich & Lichtenegger 1997). Naisten ääntä kuormittavat myös kuukauti-

siin liittyvät hormonimuutokset (Lacina 1972). Lisäksi naisille tyypillisempää on kurkunpään rakenteesta johtuva ääniraon takaosan sulkuvaje, mikä aiheuttaa sen, että naisten täytyy tuoda äänihuulet suhteellisesti lähemmäksi toisiaan kuin miesten saadakseen aikaan hyvän äänihuulisulun (Södersten ym. 1991). Sulkuvaje lisää myös jonkin verran äänen vuotoisuutta ja hypofunktionaalisuutta (Södersten & Hammarberg 1993). Samoin naisten ääntöelimistöä voi kuormittaa se, että heidän äänihuulensa värähtelevät lähes kaksi kertaa nopeammin kuin miesten äänihuulet (Baken 1987). Ei tiedetä, tarkoittaako tämä sitä, että naisten kurkunpäällä olisi kaksinkertainen työmäärä, mutta joka tapauksessa se aiheuttaa naisten äänihuulien limakalvoille huomattavasti suuremman määrän yhteentörmäyksiä, kuin mitä miesten äänihuulet tekevät samassa ajassa. Voidaan ajatella, että tämän työmäärän vaikutus näkyy siinä, että naisille tyypillinen äänihuulivaurio ovat juuri kuormittumisesta aiheutuvat äänihuulikyhmyt (Herrington-Hall ym. 1988; Fritzell 1996).

Vaikka ikä ja opettajien äänioireet eivät eri tutkimusten mukaan yksiselitteisesti liitykään yhteen, niin yleisesti iällä ja äänihäiriöiden määrällä ja laadulla on osoitettu olevan yhteyttä. Kliinisten tilastojen mukaan ikääntyvät ihmiset käyvät nuoria enemmän äänihäiriöiden vuoksi lääkärissä ja eri ikäryhmien äänihäiriöt poikkeavat jonkin verran toisistaan (Herrington-Hall ym. 1988; Eustace ym. 1996; Fritzell 1996). Kun nuorten aikuisten ongelmana ovat äänihuulikyhmyt ja turvotus, yli 40-vuotiaiden vaivana ovat puolestaan toiminnallinen dysfonia tai äänihuulipolyyypit. Lisäksi iän on todettu muuttavan ääntä epävakaisemmaksi ja huonontavan ääniraon sulkua. Nämä piirteet ovat näkyneet siinä, että sävelkorkeuden sekä pitkä- (F0) että lyhytaikainen (jitter) vaihtelu on lisääntynyt (Linville & Korabic 1987; Linville 1988; Morris & Brown 1994) ja spektrin korkeataajuisten kohinan määrä on kasvanut (Decoster & Debruyne 1997).

Myös sairaudet ja lääkkeet voivat vaikuttaa ääntöelimistöön. Sairauksista hengitystieallergioiden ja astman on todettu lisäävän äänihäiriöitä (Spiegel, Hawkshaw & Sataloff 1991; Gotaas & Starr 1993). Lääkkeistä limakalvon eritystä muuttavat antihistamiinit tai kudoksia kuivattavat diureetit altistavat äänihuulia limakalvovaurioille (Sataloff, Lawrence, Hawkshaw & Rosen 1994; Miller & Verdolini 1995). Lisäksi sekä kortikosteroidien että salisyylihapon sivuvaikutuksena voi äänihuuliin tulla pieniä verenpurkauksia (Boone 1993, kirjallisuuskatsaus; Sataloff ym. 1994). Sen sijaan korvaavalla estrogeenihormonihoidolla on todettu olevan myönteinen vaikutus vaihdevuosi-ikäisten naisten ääneen (Lindholm, Vilkmann, Raudaskoski & Kauppila 1996). Tosin kaikissa tutkimuksissa vaikutus ei ole tullut esille (Houden & Austin 1991).

Kofeiinia, tupakkaa ja alkoholia on pidetty äänihäiriöihin altistavina tekijöinä (Stemple 1995), vaikka näkemys ei olekaan aina saanut tutkimuksista vahvistusta (Pekkarinen ym. 1992; Miller & Verdolini 1995). Kofeiinin haittana on sen nestettä poistava vaikutus, ja tupakan savun on todettu kuivattavan sekä aiheuttavan turvotusta ja punoitusta äänivälissä (Stemple 1995). Samoin tupakasta aiheutuva yskänäräytys rasittaa äänihuulien limakalvoa. Alkoholi ärsyttää sekä paikallisesti limakalvojen pintaa että vaikuttaa itse limakalvoihin laajentamalla niiden verisuonia, mikä puolestaan kuivattaa niitä. Akustisissa tutkimuksissa onkin todettu jitterin ja hälyn lisääntyneen alkoholin suurkuluttajien äänessä (Niedzielska, Pruszewicz & Swidzinski 1994).

Emotionaaliset tekijät, kuten henkinen ristiriita, ahdistus tai masennus, voivat olla osatekijöinä siinä ongelma-alueissa, joka laukaisee tai ylläpitää kurkunpäästä kuormittavaa äänentuottotapaa (Gerritsma 1991; Freidl, Friedrich, Egger & Fitzek 1993; Gotaas & Starr 1993; Sapir 1993; Kiese-Himmel & Kruse 1994). Lisäksi ääniongelmat itsessään

aiheuttavat puhujalle helposti ahdistusta (Morrison & Rammage 1993, kirjallisuuskatsaus). Henkinen kuormitus saa tahdonalaiset lihakset jännittymään ja heikentää niiden koordinaatiota (Morrison & Rammage 1993, kirjallisuuskatsaus; Mendoza & Carballo 1998). Useissa akustisissa tutkimuksissa on voitu osoittaa tunnetilan ja äänen välinen yhteys. Mieliala, psykofysiologinen kuormittaminen ja stressi ovat muuttaneet spektriä, sävelkorkeutta, -voimakkuutta ja perturbaatioarvoja (Vilkman & Manninen 1986; Vilkman ym. 1987; Novak & Vokral 1993; Brenner ym. 1994; Bough ym. 1996; Laukkanen ym. 1996; Laukkanen, Vilkman, Alku & Oksanen 1997; Mendoza & Carballo 1998). Esimerkiksi energisen, pirteän ja hyväntuulisen ihmisen on todettu puhuvan matalammalla äänellä kuin väsyneen tai masentuneen (Bough ym. 1996). Puhujien reagointi tilanteisiin on ilmeisesti kuitenkin yksilöllistä, sillä esimerkiksi stressi on joko vähentänyt (Vilkman ym. 1987; Brenner ym. 1994; Mendoza & Carballo 1998;) tai lisännyt perturbaatiota (Bough ym. 1996).

2.5 Kurkunpään kuormittuminen

2.5.1 Käsitteet kuormittuminen ja väsyminen

Usein ajatellaan, että kun ihmiselimistö ja sen rakenteet ovat kuormittuneet, ihminen väsyi. Ilmiön tuttuudesta huolimatta sen fysiologisesta taustasta tiedetään kuitenkin vielä hyvin vähän. Eniten ilmiötä ovat selvittäneet liikuntalääketiede ja työtieteestä sen ergonomiaa tutkiva haara. Termiä "väsymys" (engl. *fatigue*) on käytetty niin monessa yhteydessä, että sen merkitys ei ole päässyt täsmentymään. Sekä työtieteen tutkijat Kroemer ja Grandjean (1997) että urheilulääketieteen edustajat Wilmore ja Costill (1994) esittävät, että väsymys kannattaa jakaa kahdeksi erilaiseksi väsymyksen tilaksi: paikalliseksi lihasväsymykseksi ja yleiseksi väsymykseksi. Lihasväsymys on äkillinen ja kivulias, ja siinä kipu paikantuu juuri kuormitukselle alttiina olleeseen lihakseen. Ulkoisina oireina väsymyksessä ovat lihassupistumisen heikentyminen ja rentoutumis- ja latenssiaikojen (= ärsykkeen ja sen aiheuttaman reaktion välisen ajan) pidentyminen. Äärimmäisen väsyneenä lihas ei enää reagoi ärsykkeeseen. Lihasväsymyksessä liikkeet hidastuvat, koordinaatiokyky heikkenee ja virheiden määrä kasvaa. Yleinen väsymys ei sen sijaan kohdistu mihinkään tiettyyn lihakseen, eikä siihen välttämättä edes liity lihasväsymystä, vaan se on kokonaisvaltainen uupumuksen tunne. Yleisväsymystä on monentyyppistä, esimerkiksi henkisestä ponnistelusta johtuvaa uupumusta, psykomotorisesta rasituksesta aiheutuvaa hermoston väsymistä tai visuaalisen systeemin kuormituksesta seuraavaa silmien rasittumista.

Enoka (1988) korostaa, että väsymistä ei pidä ymmärtää yksittäisenä tapahtumana, vaan pikemminkin sarjana mukautumistoimintoja, joita tapahtuu jatkuvan lihastyön aikana. Itse asiassa mukautuminen käynnistyy välittömästi, kun lihastoiminta alkaa. Väsymys on siis osa muutosjatkumoa eikä vain sen sivutuote. On esitetty, että väsymyksen merkityksenä on toimia ihmisen suojamekanismina (Wilmore & Costill 1994; Haug ym. 1995). Taulukossa 7 on yksinkertaistettu kuvaus sekä yleisestä väsymyksestä että lihasväsymyksestä. Väsymys voi johtua minkä tahansa anatomisen rakenteen toiminnan muutok-

sesta. Samoin kuin eri rakenteiden toimintoja ei voida selvästi erottaa toisistaan (esim. hermoimpulssien välittymistä lihassoluun ja siitä johtuvia lihassolujen muutoksia), myöskään ei voida tarkasti sanoa, mikä muutos rakenteen toiminnassa on aiheuttanut väsymyksen.

Taulukko 7: Väsymyksen syyt, anatominen rakenne tai fysiologinen toiminta, jossa väsymismuutokset tapahtuvat, väsymismuutoksista aiheutuvat fysiologiset muutokset ja ihmisen kokemat väsymysoireet.

	Yleinen väsymys	Lihäsväsymys
Syyt	Psykkinen ja kognitiivinen kuormitus Psykkinen tila Psykkiset ongelmat, mieliala ja motivaatio Ympäristö Ilma, lämpötila, melu Ravinto Sairaudet Vuorokaudenaika	Lihaskuormitus
Elin tai toiminto, jossa väsyminen ilmenee	Keskushermosto Aivokuori, aivoverkosto, limbinen järjestelmä Autonominen hermosto Hormonitoiminta	Hermoimpulssien välittyminen Selkäydin ja sieltä lähtevät lihashermot, hermolihaskalvo, lihassolun kalvo Lihaks Sarkoplasmakalvosto, aktiini- ja myosiinifilamenttien toiminta
Fysiologinen muutos	Vireystila laskee.	Ionipumpputoiminta häiriintyy, ja lihassolukalvon sähköiset ominaisuudet muuttuvat. Impulssien kulku hidastuu lihakseen, ja latenssiaika pidentyy. Energiavarastot tyhjentyvät. Kalsiumionien kuljetus häiriintyy. Aineenvaihdunta joutuu epätasapainoon. Solun happamuus lisääntyy.
Oireet	Yleinen väsymyksen tunne lisääntyy. Vireys laskee. Havaintokyky, ajattelu ja tehtävistä suoriutuminen heikentyvät ja hidastuvat.	Ponnistus lisääntyy. Rentoutuminen hidastuu. Koordinaatio heikkenee. Reagointi-aika pitenee. Lihaksen supistuskky heikkenee, ja voima vähenee.

Lähteinä Enoka (1988), Willmore ja Costill (1994), Kroemer ja Grandjean (1997) sekä Ahonen, Lahtinen, Sandström, Pogliani ja Wirhed (1998).

2.5.2 Katsaus äänenkuormitustutkimuksiin

Äänitutkimuksen alueella kuormitukseen liittyvät tutkimukset ovat tällä hetkellä varsin uusia kiinnostuksen kohteita. Taulukkoon 7 on koottu viime vuosikymmeninä tehtyjä kuormitustutkimuksia. Muutamat niistä ovat jo 1970-luvulta (esim. Lira ym. 1972; Stone & Sharf 1973; Kitzing 1979), mutta vasta 1980-luvun puolenvälin jälkeen aihetta on alettu tutkia laajemmin (esim. Burzynski & Titze 1985; Neils & Yairi 1987; Scherer ym. 1987). Kuitenkin vasta 1990-luvun lopulla äänen kuormittuminen on alkanut selvästi kiinnostaa tutkijoita, ja näkökulmana on tällöin ollut äänen väsyminen ammatissa. Yli puolet tutkimuksista on tehty USA:ssa. Seuraavaksi eniten kuormituksen vaikutuksia ovat tutkineet ruotsalaiset ja suomalaiset. Laajin kuormitustutkimus on suomalainen Vilkmanin ja Pekkarisen toteuttama laboratoriotutkimus, jossa sekä koehenkilöiden että mittareiden määrä oli suurin ja kuormitus aika pisin verrattuna muihin laboratoriotutkimuksiin (Pekkarinen ym. 1993; Lauri, Alku, Vilkman, Sala & Sihvo 1997; Sihvo 1997; Vilkman ym. 1997, 1999, Vintturi, Alku, Lauri, Sala, Sihvo & Vilkman, lähetetty arviotavaksi lehteen).

Taulukko 8: Äänenkuormitustutkimuksissa käytetyt menetelmät ja keskeiset tulokset.

Tutkimus	Koehenkilöt (ikä)	Mittaukset	Kuormitus	Mittausajankohta		Kuormituksen päävaikutukset
				Kuormituksen aikana	Kuormituksen ulkopuolella	
Lira ym. (1972)	6 miesvankia (iästä ei mainintaa)	Kurkunpään löydös (epäsuora laryngoskopia), äänen laatu (kuulohavaintoarvio)	Hyvin voimakas äänentuotto 3 1/2 t			Jo muutamien minuuttien kuluttua kuormituksen alusta äänihuulimuutoksia; kuormituksen jälkeen äänihuulissa turvotusta, punoitusta, limaneritystä, sulkuvaje; äänen laatu muuttui, mutta ei suoraa yhteyttä orgaanisiin muutoksiin.
Stone ja Sharf (1973)	10 normaaliäänistä miestä (27-37)	Äänen laatu (kuulohavaintoarvio)	Vokaalien lukeminen 20 min 3:lla eri voimakkuudella ja korkeudella	x		Korkea ääni heikensi eniten äänen laatua.
Kitzing (1979)	Kolme tutkimusta:					
	1) 12 lastentarhanopettajaa (17-37)	1) F0	1) Puhuminen työpäivän aikana		1) x	1) Suuntaus, että F0 nousi äänen rasisuoreita kokevilla.
	2) 8 lastentarhanopettajaa (17-37) ja 5 puheterapeuttia (29-39)	2) F0	2) Lukeminen 30 min valkoisessa taustahälyssä (70 dB)	2) x	2) x	2) Lastentarhanopettajilla F0 nousi 15 min jälkeen ja oli korkeampi myös kuormituksen jälkeen.
	3) 4 lastentarhanopettajaa; naisia (17-37)	3) F0	3) Opetustuokio voimistelusalissa	3) x		3) F0 oli 50 % korkeampi ja ääniala 100 % laajempi opetustuokiassa voimistelusalissa kuin lukunäytteessä.

Tutkimus	Koehenkilöt (ikä)	Mittaukset	Kuormitus	Mittausajankohta		Kuormituksen päävaikutukset
				Kuormituksen aikana	Kuormituksen ulkopuolella	
Burzynski ja Titze (1985)	2 miestä ja 3 naista (20–25)	F0, jitter, SNR	Puhuminen 1 t 20 min, jonka välissä 15 min tauko	x		Suuntaus, että F0 laski 30 min:n kuluttua kuormituksen alkamisesta; jitterarvot muuttuivat epäsystemaattisesti.
Scherer ym. (1987)	2 naispuhujaa, joista toisella äänikoulutus (40) ja toisella ei (36)	Jitter, shimmer, SNR, kurkunpään löydös ja puhujan kokemat äänioireet	Lukeminen oktaavia korkeammalta kuin koehenkilön matalin ääni ja mahdollisimman kovaa; koulutettu puhuja 2 1/2 t; kouluttamaton 1 t		x	Molemmat koehenkilöt kokivat äänioireita ja molemmilla äänihuulissa turvotusta; kuormitus nosti vain koulutetun koehenkilön perturbaatioarvoja, jotka korreloivat positiivisesti äänioireisiin.
Neils ja Yairi (1987)	6 normaaliäänistä naista (22)	F0, ilmavirran määrä, kuulohavaintoarvio	Lukeminen 45 min 3:ssa eri taustamelutasossa		x	Koehenkilöiden välinen vaihtelu suuri.
Löfqvist ja Mandersson (1987)	10 äänikoulutuksen saanutta naista (iästä ei mainintaa)	LTAS	Työpäivä		x	Spektrin kaltevuus loiveni.
Ohlsson (1988)	Kaksi tutkimusta:					
	1) 13 puhelunvälittäjää (45), 18 puheterapeuttia (40)	1) LTAS, F0, F0:n vaihteluväli, äänialan ääriiviivat	1) Työpäivä		1) x	1) Spektrin kaltevuus loiveni molemmilla ryhmillä, F0:n vaihteluväli ja äänen dynaminen alue suureni puhterapeuteilla mutta pieneni puhelunvälittäjillä.
	2) 10 puheterapeuttia (37) ja 10 sairaanhoitajaa (31); naisia	2) F0 ja F0-aika	2) Kaksi työpäivää		2) x	2) F0 ei muuttunut yhdenmukaisella tavalla.
Gelfer ym. (1991)	26 laulajaa, 24 ei-äänikoulutusta saanutta puhujaa (23–38); naisia	F0, intensiteetti, jitter, shimmer, SNR	Lukeminen 1 t 80 % :n SPL-tasolla voimakkaimmasta äänestä		x	Kouluttamattomilla puhujilla ääni rasittui enemmän; suuntaus, että F0 ja intensiteetti nousivat.
Novak ym. (1991)	32 mies- ja 13 naisnäyttelijää (25–60)	LTAS, F0	Teatteriesitys		x	Naisilla spektrin kaltevuus loiveni, miehillä jyrkkeni; suuntaus, että F0 nousi miehillä, mutta laski naisilla.

Tutkimus	Koehenkilöt (ikä)	Mittaukset	Kuormitus	Mittausajankohta		Kuormituksen päävaikutukset
				Kuormituksen aikana	Kuormituksen ulkopuolella	
Verstraete ym. (1993)	9 normaaliäänistä naista (21–23)	Jitter, shimmer	Vokaalien luetteleminen 25 min 65 dB:n SPL-tasolla (mikrofonin etäisyydestä ei mainintaa) ja eri korkeudella: luonteenomaisella äänen korkeudella ja 20, 40 ja 60 % sekä yli että alle luonteenomaisen F0:n	x		Ei muutoksia.
Gotaas ja Starr (1993)	22 äänioireista (25–57) ja 18 oireetonta opettajaa, (22–66); molempia sukupuolia	Äänen laatu (kuulohavainto-arvio), puhujan kokemat äänioireet	Työpäivä: 1) 2 päivää silloin, kun ääni oli rasittunut 2) 2 päivää silloin, kun ääni ei ollut rasittunut		x	Äänen väsyminen esille molemmissa arviointitavoissa, mutta rasitusta kokevilla opettajilla erityisesti niinä päivinä, jolloin ääni oli väsynyt.
Linville (1995)	12 normaaliäänistä naista (20–25)	Ääniraon muoto	Lukeminen 15 min 3:lla eri F0- ja SPL-tasolla		x	Suuntaus, että äänihuulisulku muuttui tiiviimmäksi, varsinkin korkeissa äänissä.
Stemple ym. (1995)	10 normaaliäänistä naista (25.3)	F0, F0:n vaihteluväli, jitter, ilmavirran määrä, mahdollisimman pitkä fonaatio, ääniraon muoto	Lukeminen 2 t 75–80 dB:n tasolla (etäisyys 53 cm)		x	F0 nousi, jitter laski, fonaatioaika lyheni ja useimmille koehenkilöille äänihuulien etuosan sulkuvaje.
Gelfer ym. (1996)	8 koulutettua, 8 kouluttamatonta naislaulajaa (23–38)	Ääniraon muoto	Lukeminen 1 t 70 dB:n SPL-tasolla (etäisyys 71 cm)		x	Kouluttamattomien puhujien äänihuulien liikelaajuus suureni vähän mutta merkitsevästi.
Pekkarinen ym. (1993), Sihvo (1997), Lauri ym. (1997), Vilkmän ym. (1997, 1999), Vintturi ym. (lähetyksi arvioitavaksi lehteen)	40 normaaliäänistä miestä ja 40 normaaliäänistä naista (22)	F0, SPL, jitter, shimmer, subglottaalinen ilmanpaine, äänen dynaaminen alue (fonetogrammi), lähdeäänien aaltomuoto, puhujan kokemat äänioireet	Lukeminen 5 x 45 min 8 eri olosuhteessa 1) 55–65 dB ja 65–75 dB:n SPL-tasolla (etäisyys 2 m) 2) istuen ja seisten 3) kuivassa ja kosteassa ilmassa		x	Suuri puhujien sisäinen ja välinen vaihtelu; sukupuolet erosivat toisistaan; äänioireita; F0 nousi; ääniraon alainen ilmanpaine kasvoi; shimmer ja äänen dynaaminen alue pienenivät; fonaatiokynnys nousi hiljaisessa äänissä; lähdeäänien aaltomuoto muuttui siten, että se ilmaisi äänenkäytön muuttuneen jännitteisemmäksi, kaikki olosuhteet vaikuttivat ääneen, erityisesti ilmankosteus; esille äänen lämpiäminen ja kuormitusvaikutus.

Tutkimus	Koehenkilöt (ikä)	Mittaukset	Kuormitus	Mittausajankohta		Kuormituksen päävaikutukset
				Kuormituksen aikana	Kuormituksen ulkopuolella	
Buekers (1998)	20 (26) äänihäiriöpotilasta ja 12 (28) normaaliäänistä puhujaa, jotka käyttivät joko ammatissa tai vapaa-aikana runsaasti ääntä; naisia	EGG, jitter, shimmer, F0, SPL, NHR, puhujan kokemat äänioireet	1) Äänen kuormitustesti, jossa useita eri osatestejä; 30 min 2) Työpäivä		x	Kuormitustestin vaikutus: äänihuulien sulkuaste pieneni; suuntaus, että F0 ja SPL nousivat terveäänisillä ja SPL äänihäiriöpotilailla. Kuormitustestin ja työpäivän vaikutus: äänioireiden määrä nousi.
De Bodt ym. (1998)	12 äänioireista ja 18 oireetonta kasvatus tieteen naisopiskelija (18–21)	Kurkunpään löydös (videostroboskopia), F0, SPL, ilmavirran mittaus, äänen dynaaminen alue (fonetogrammi), puhujan kokemat äänioireet, maksimaalisen pitkä fonaatio	Lukunäyte 20 min 75–80 dB:n SPL-tasolla (mikrofonin etäisyydestä ei mainintaa)		x	Äänihuuliin muodostui turvotusta, koehenkilöt kokivat äänioireita.
Kostyk ja Rochet (1998)	9 äänioireita kokevaa (34) ja 7 oireetonta (34) naisopettajaa	Kurkunpään resistanssi, ilmavirran määrä, ääniraon alainen ilmanpaine	Yksi työpäivä		x	Ryhmillä erilainen reagoitintapa: rasisuoreita kokevilla ilmavirran määrä väheni ja oireettomilla ilmanpaine nousi.
Mann ym. (1999)	Armeijan 37 mies- ja 5 naispuuseeria (32)	Jitter, shimmer, kurkunpään löydös (videostroboskopia)	6 päivää alokkaiden koulutusta		x	Suuntaus, että 11 koehenkilöllä perturbaatioarvot nousivat; äänihuuliin muodostui turvotusta ja punoitusta, reuna muuttui epätasaiseksi; limakalvoaalto ja värähdyksen laajuus pienenevät.
Södersten ja Hammarberg (1999)	Yksi lastentarhanopettaja (40); nainen	F0 (lukunäyte), SPL (lukunäyte ja työpuhe)	Yksi 4 tunnin työpäivä	x	x	F0 nousi 12 Hz; SPL nousi 3 dB lukunäytteessä.

Kuormitustutkimusten koehenkilöt ovat olleet pääasiassa naisia. Pelkästään naisia oli koehenkilöinä 76 %:ssa tutkimuksista ja pelkästään miehiä vain kahdessa tutkimuksessa (Lira ym. 1972; Stone & Sharf 1973). Tyypillistä tutkimuksille on ollut myös se, että koehenkilöitä on ollut suhteellisen vähän, tavallisimmin alle 20 (esim. Linville 1995; Stemple ym. 1995). Yli 30 koehenkilöä on ollut vain kahdeksassa tutkimuksessa (Gelfer ym. 1991; Novak ym. 1991; Gotaas & Starr 1993; Pekkarinen ym. 1993; Buekers 1998; De Bodt ym. 1998; Mann ym. 1999). Äänen kuormittumista on pyritty jäsentämään myös koehenkilöiden valinnan avulla. Koehenkilöiksi on otettu opettajia, jotka edustavat runsaasti ääntä käyttävää ryhmää (esim. Gotaas & Starr 1993; Kostyk & Rochet 1998), ja toisena asetelmana on ollut äänikoulutusta saaneiden puhujien vertaaminen kouluttamattomiin (esim. Ohlsson 1988; Gelfer ym. 1991).

Yli puolessa tutkimuksista kuormitustilanne on järjestetty laboratorioon (66 %; esim. Pekkarinen ym. 1993; Gelfer, Andrews & Schmidt 1996). Kuormitusaika on laboratorioissa vaihdellut yleensä 15 minuutista (esim. Linville 1995) kolmeen ja puoleen tuntiin

(esim. Lira ym. 1972). Alle tunnin kestäviä kuormituksia on ollut keskimäärin yhtä paljon kuin yli tunnin mittaisia. Yhdessä laboratoriotutkimuksessa jäljiteltiin työpäivän mitausta kuormitusta: koehenkilöt lukivat viiden oppitunnin ajan ja pitivät lukemisen välissä väli- ja ruokatunnit (Pekkarinen ym. 1993). Laboratoriossa kuormituksena on yleensä ollut lukeminen (esim. Scherer ym. 1987) ja muutamassa tutkimuksessa vokaalien tuottaminen (Stone & Sharf 1973; Verstraete ym. 1993). Kuormittavuutta on lisätty tavallisimmin siten, että koehenkilö on tuottanut ääntä voimakkaasti (esim. Lira ym. 1972; Gelfer ym. 1991; Stemple ym. 1995) ja sävelkorkeus on ollut puheääntä selvästi korkeampi tai matalampi (Scherer ym. 1987; Linville 1995). Yksittäisiä kuormittavia tekijöitä ovat olleet huoneilman kosteus ja erilaiset puhumisasennot (Pekkarinen ym. 1993).

Tutkimuksista 44 %:ssa on käytetty kuormituksena puhujien normaaliin arkeen liittyvää äänenkäyttöä (esim. Ohlsson 1988; Novak ym. 1991; Gotaas & Starr 1993). Ainoastaan kolmessa työympäristössä tehdyssä tutkimuksessa on ääntä mitattu itse kuormitustilanteessa (Kitzing 1979; Ohlsson 1988; Södersten & Hammarberg 1999), kun taas muissa nauhoitukset on tehty kuormitustilanteen ulkopuolella (esim. Löfqvist & Mandersson 1987; Novak ym. 1991; Gotaas & Starr 1993).

Kuormituksen vaikutuksia on mitattu suurimmaksi osaksi akustisten muuttujien avulla (86 %), joista käytetyin on ollut perustajuuden mittaaminen (esim. Kitzing 1979; Ohlsson 1988; Gelfer ym. 1991; Buekers 1998). Seuraavaksi suosituin akustinen menetelmä on ollut perturbaation mittaaminen, jossa on yleensä tutkittu samanaikaisesti sekä jitteriä että shimmeriä (esim. Scherer ym. 1987). Äänenvoimakkuuden muutosta on tutkittu viidessä (esim. Gelfer ym. 1991; Pekkarinen ym. 1993; Buekers 1998; De Bodt ym. 1998) ja pitkäaikaisspektri (Löfqvist & Mandersson 1987; Ohlsson 1988; Novak ym. 1991) sekä signaali - kohina-suhde (Scherer ym. 1987; Gelfer ym. 1991; Buekers 1998) on ollut mittarina kolmessa tutkimuksessa.

Muita kuin akustisia menetelmiä on käytetty yksittäisissä tutkimuksissa joko yksinään (esim. Linville 1995) tai yhdistettyinä akustisiin mittareihin (esim. Stemple ym. 1995). Lisäksi useassa tutkimuksessa on kysytty koehenkilön kokemia äänen muutoksia (esim. Gotaas & Starr 1993). Myös kuulon perusteella on arvioitu ääniä (esim. Neils & Yairi 1987), ja yhdessä tutkimuksessa se on ollut ainoa arviointimenetelmä (Stone & Sharf 1973). Äännönaikainen ilmavirtausmäärä (esim. Stemple ym. 1995), ääniraon alainen paine (esim. Pekkarinen ym. 1993) tai pitkän fonaation kesto (esim. Stemple ym. 1995) on ollut muutaman tutkimuksen kohteena. Erityisesti tällä vuosikymmenellä käytettyjä menetelmiä kuormitustutkimuksissa ovat olleet ääniraon muodon arviointi (esim. Gelfer ym. 1996), aerodynaamisten muuttujien mittaaminen (Kostyk & Rochet 1998), äänilähteen ilmavirtauksen aaltomuotokuvaus (Pekkarinen ym. 1993) ja akustisista menetelmistä äänialueen ääriivivakuvaus (Sihvo 1997; De Bodt ym. 1998).

Kuormitustutkimusten tuloksia leimaa ehkä vahvimmin äänentuoton ja sen muutosten yksilöllisyys (Neils & Yairi 1987; Ohlsson 1988; Gelfer ym. 1991; Pekkarinen ym. 1993; Linville 1995). Vaikka yhdenmukaisia päätelmiä ei tulosten perusteella voidakaan tehdä, joitakin yleisiä linjoja on kuitenkin erotettavissa. Ehkä tavallisin tutkimustulos on ollut se, että äänen kuormittaminen aiheuttaa äänioireita (Scherer 1987; Novak ym. 1991; Gotaas & Starr 1993; Sihvo 1997; Buekers 1998; de Bodt ym. 1998). Lisäksi on todettu, että kuormitus muuttaa eri tavoin miesten ja naisten ääniä (Novak ym. 1991; Lauri ym. 1997; Vilkmann ym. 1997), äänenkäytönkoulutus vähentää kuormitusmuutosten määrää (Scherer

ym. 1987; Gelfer ym. 1991; Gelfer ym. 1996) ja muutokset ovat erilaisia äänihäiriöisillä puhujilla verrattuna terveäänisiin (Gotaas & Starr 1993; Buekers 1998; Kostyk & Rochet 1998).

Laitteilla mitattu yhdenmukaisin muutos on useimmiten ollut F0:n nousu (Kitzing 1979; Gelfer ym. 1991; Pekkarinen ym. 1993; Stemple ym. 1995). Perturbaation mittausta ei sen sijaan ole johtanut yksiselitteisiin tuloksiin: arvot eivät joko ole muuttuneet (Gelfer ym. 1991; Verstraete ym. 1993), tai ne ovat laskeneet (Pekkarinen ym. 1993), nousseet tai muuttuneet eri tavoin eri koehenkilöryhmillä (Burzynski & Titze 1985; Scherer ym. 1987; Mann ym. 1999). Muita kuormitusmuutoksia ovat olleet äänialueen kapeutuminen (Sihvo 1997) äänihuulien liikelaajuuden kasvaminen (Gelfer ym. 1996), äänihuulisulun muuttuminen tiiviimmäksi (Linville 1995; Vilkman ym. 1997) tai sulkuvajeen kehittyminen (Stemple ym. 1995).

2.5.3 Kurkunpään kuormittumiselle altistavia tekijöitä

Kurkunpään rakenteessa ja toiminnassa on piirteitä, jotka viittaavat siihen, että äänentuotto on kurkunpäästä kuormittavaa. Ensinnäkin äänihuulisulusta vastaavat, äänentuotolle keskeiset lihakset rakentuvat pääosin nopeista mutta samalla nopeasti väsyvistä lihas-soluista (ks. taulukko 1). Tämä viittaisi siihen, että sulun muodostaminen vierasesineille on edelleen ihmiselle tärkeämpää kuin äänen tuottaminen.

Toisena äänentuottoa kuormittavana tekijänä saattaa olla lihastyön laatu: missä määrin lihastyö on dynaamista ja missä määrin staattista. Lihastyötyypit ovat siis luonteeltaan erilaisia (Kroemer & Grandjean 1997; Ahonen ym. 1998). Dynaamisessa lihastyössä lihaksen toiminta muuttuu koko ajan: lihas supistuu ja ojentuu, jännittyy ja rentoutuu. Staattisessa työssä lihas on pelkästään supistunut, mikä liittyy usein asennon ylläpitoon. Äänentuotossa staattista työtä voisi ainakin osittain olla sävelkorkeuden ja jossakin määrin myös äänihuulien sulkuasennon ylläpito. Staattinen työ kuormittaa lihasta paljon nopeammin kuin dynaaminen työ, sillä staattisessa työssä sekä lihaksen verenkierto että imunesteenkierto on vaikeutunut, kun taas dynaamisessa työssä lihaksen liike suorastaan pumppaa verta liikkeelle (Kroemer & Grandjean 1997; Ahonen ym. 1998). Staattisessa työssä veri pääsee ainoastaan heikosti tuomaan happea ja sokeria eikä myöskään kykene tehokkaasti poistamaan aineenvaihdunnassa syntyviä sivutuotteita, kuten maitohappoa. Maitohappo lisää solun happamuutta, jonka seurauksena solun kipureseptorit ärtyvät ja kipuärsykkeet leviävät lihasjänteyttä tuottaviin lihassukkulahermoihin. Kun lihaksen jänteys kasvaa, nestekierto vaikeutuu entisestään ja kipu lisääntyy. Staattisen ja dynaamisen työn raja ei kuitenkaan ole tarkka, ja kaikessa fyysisessä työssä on lähes aina mukana staattinen osatekijä (Kroemer & Grandjean 1997). Tältä alueelta ei ole kuitenkaan tietävästi olemassa yhtään äänialan tutkimusta, joten staattisen ja dynaamisen työn suhdetta äänentuotossa ei voida määritellä.

Kolmas kurkunpäänlihaksia kuormittava tekijä voi olla värähdysliike. Värähtely aiheuttaa lihaksessa hyvin nopeasti muutoksia. Tämä on todettu tutkimuksissa, joissa on arvioitu nopeasti värähtelevän työkalun vaikutusta lihaksiin (Pyykkö ym. 1986; Kroemer & Grandjean 1997). Värähtely laukaisee verisuonten ympärillä olevat sulkijalihakset, mikä seurauksena verenkierto estyy ja aiheuttaa esimerkiksi valkosormioireyhtymää, metsu-

rien ammattitautina tunnettua häiriötä. Jo matalataajuisenkin värähtelyn on todettu vaikuttavan lihakseen nopeasti. Avela, Kyröläinen ja Komi (1999) tutkivat pohjelihasta (*triceps surae*) passiivisella 1,5 Hz:n värähtelyllä, joka tuotettiin toistuvilla venytysjaksoilla ja joita koehenkilöt eivät saaneet vastustaa. Tutkijat totesivat, että jo 15 minuutin kuormituksen jälkeen lihas väsyi selvästi. Titze (1999) on verrannut tärkeälle työkalulle asetettuja ISO-standardin mukaisia raja-arvoja äänihuulien värähtelyyn ja todennut, että äänihuulien värähtely ylitti suositellut rajat. Värähtelyn lisäksi äänihuuliin vaikuttaa myös muita voimia. Näitä ovat mekaaninen törmäyspaine, kudosten kiihtyvyys, venyminen, taipuminen ja kiertyminen sekä hankaus (Sonninen, Damste, Jol & Fokkens 1972; Titze 1999).

Vaikka tulokset osoittavat, että värähtely kuormittaa paljon ja nopeasti kudoksia, tuloksien soveltaminen kurkunpään ei ole yksiselitteistä. Sillä, että rakenne itse tuottaa värähtelyn, voi olla selvä ero siihen, kun värähtely aiheutetaan keinotekoisesti. Esimerkiksi äänihuuliin vaikuttavia muita voimia ei mahdollisesti pystytä tuottamaan samanlaisina kokeellisesti. Laskennallisesti on osoitettu, että näiden voimien vaikutus ja niiden aiheuttama rasitus vaihtelevat muun muassa äänihuulien massan ja jäykkyyden mukaan (Sonninen ym. 1972). Jollakin voimalla, kuten vertikaalista venymistä aiheuttavalla henkitorvenvedolla, voi olla jopa suojaavan vaikutus. Lisäksi äänihuulien värähtelyä simuloivaa liikettä voi olla vaikea tuottaa ulkoapäin. Värähdys on nimittäin varsin monimutkainen liike, jossa limakalvoaalto kierteisesti etenee äänihuulen alapinnalta kohti yläpintaa (Hirano 1981; Saito ym. 1989). Tällä hetkellä ei ole saatavilla tutkimustietoa siitä, miten itsetuotettu värähtely vaikuttaa kudoksiin.

Vaikka onkin oletettavaa, että äänentuotto on ainakin alun perin ollut sille varsin rasittavaa toimintaa, äänihuulien rakenteesta ja kurkunpään sisäisistä lihaksista löytyy kuitenkin myös piirteitä, jotka osoittavat niiden sopeutuneen värähtelyyn. Esimerkiksi äänihuulien eri kerrosten kudokset ovat järjestyneet yhdensuuntaisesti ja ne kulkevat äänihuulien vapaan reunan mukaisesti (Milutinovic, Polic, Milenkovic & Sretenovic 1998). Lisäksi äänihuulien kerrosten paksuus vaihtelee. Kuorikerros on paksuin ja kimmoisinkin keskikohdastaan, jossa värähtelyn törmäysvoima on suurin, ja syväkerros on puolestaan paksuin kiinnityspäistään, jossa se suojaaa äänihuulia kiinnityspisteisiin kohdistuvalta kuormitukselta (Hirano, Kurita & Nakashima 1981). Nämä ominaisuudet auttavat äänihuulia kestämään niihin kohdistuvaa rasitusta. Niin ikään lihakset ovat kehittyneet erittäin tehokkaiksi hapenottajiksi, ja niissä on sellaisia rakenteita, joita ei löydy muista luustolihaksista (Cooper ym. 1993). Seuraavana on Cooperin ym. esittämiä tekijöitä, jotka kuvaavat kurkunpään sisäisten lihasten erikoistumista kuormitukseen:

- Hapen aineenvaihdunta on tehokasta erityisesti äänihuulilihaksen keskiosassa.
- Verisuonten seinämien paksuus on lähes vastaava kuin pienten valtimoiden.
- Kapillaarien halkaisijat ovat ihmiskehon suurimpia.
- Mitokondrioiden toiminnan tehokkuus vastaa hyväkuntoisen urheilijan jalan lihasten tehokkuutta.
- Lihassyissä on paljon rasvapartikkeleita, mikä tehostaa hapen siirtymistä lihakseen.
- Lihasten rakenteet ja toiminnat ovat erikoistuneet:
 - Mitokondrioiden jakautuminen ja rakenne ja niiden toimintaan liittyvien entsyymien jakautuminen vaihtelevat eri lihaksissa.
 - Kapillaarien pituus ja veren kuljetus vaihtelevat eri lihaksissa.

2.5.4 Äänen kuormitusmuutosten selitysmallit

Äänen kuormitusmuutosten fysiologista taustaa ei tähän asti ole kovin paljon yritetty selittää. Yhtenä syynä tähän on, että suorat mittaukset kurkunpään lihasten tai limakalvojen kuormitusmuutoksista puuttuvat. Tämän takia fysiologisia kuormitusmuutoksia onkin selitetty ja yritetty ymmärtää lähinnä niiden seurausten avulla, joita fysiologiset muutokset aiheuttavat. Tähän mennessä ilmeisesti vain kolme tutkijaryhmää on esittänyt selvän kannanoton muutosten fysiologisesta taustasta. Selitysten vähäisyys johtune siitä, että äänen kuormitustutkimukset ovat olleet suhteellisen pieniä, mistä syystä tuloksetkin ovat voineet jäädä vähäisiksi tai jopa ristiriitaisiksi (esim. Löfqvist & Mandersson 1987; Neils & Yairi 1987; Ohlsson 1988; Verstraete ym. 1993). Tämän vuoksi tutkijat eivät ole rohjenneet esittää pitkälle meneviä päätelmiä.

Yksi kuormitusmuutosten tulkitsijoista on Titzen tutkijaryhmä, joka tarjoaa laajan yleisesityksen muutosten fysiologisista syistä (Scherer ym. 1987; Titze 1993, 1994). Työryhmän tekemä kuormitustutkimus käsitti koeasettelun, jossa koehenkilöinä oli kaksi puhujaa. Kuormitus aiheutti molemmille koehenkilöille äänihuuliin turvotusta, ja toisen puhujan perturbaatioarvot kohosivat. Erityisesti tutkijat pohtivat, miksi jitter-arvot eivät palautuneet normaaliksi lepojaksen jälkeen. Yhtenä mahdollisena syynä tähän he pitivät joko CT-lihaksen tai CT- ja TA-lihaksen neuromuskulaarista väsymistä. Väsymys lisää hermoimpulssien epärytmistä toimintaa, joka pitää yllä värähtelyn taajuuden epätasaisuutta enemmän kuin amplitudin epätasaisuutta. Tutkijat pohtivat myös laajemmin kuormituksen fysiologista taustaa ja nimeävät yhdeksi ensisijaiseksi muutoksia aiheuttavaksi tekijäksi juuri neuromuskulaarisen väsymisen, jota voi tapahtua kolmella tasolla: keskushermostossa, hermoimpulssin välittymisessä tai lihassolussa. Tämä jaottelu vastaa myös muiden väsymystä käsitelleiden tutkijoiden näkemystä (vrt. taulukko 7). Kurkunpään kuormitusmuutokset voivat Titzen (1994) mukaan olla seuraavanlaisia:

Kurkunpään lihaksisto väsyä. Lihasten supistuminen heikentää verenkiertoa, estää energiavarojen uudistumista ja kuona-aineiden poistumista. Samalla se vähentää solun kykyä siirtää lihastoiminnassa muodostunutta lämpöä pois.

- Kurkunpään muut kudokset kuin lihakset rasittuvat (nivelsiteet, nivelet ja kalvot).
- Äänihuulien viskositeetti lisääntyy, mikä johtuu kudosten kemiallisista muutoksista tai kuivumisesta.
- Hengityslihasten väsyminen vähentää ääniraon alaista painetta.

Toisen tutkijaryhmän, Stemplen ja hänen kollegoidensa (Stemple ym. 1995; ks. myös Eustace ym. 1996), näkemys on varsin yhdenmukainen Titzen työryhmän esityksen kanssa mutta summittaisempi. Stemplen tutkijaryhmä ei myöskään spekuloi yhtä laajasti muutosten taustaa kuin Titzen ryhmä. Stemplen ym. kuormitustutkimuksessa oli 10 koehenkilöä, joiden sävelkorkeus nousi ja ääniraon etuosaan muodostui sulkuvaje kahden tunnin kuormituksen jälkeen. Tutkijat tulksivat muutosten johtuneen TA-lihaksen ja kuorikerrosten jäykkyyssuhteiden muutoksesta, mikä oletus pohjaa Hiranon (1981) esittämään äänihuulien kerrosrakenteeseen perustuvaan värähtelymalliin. Kun lihaksen supistuskky heikkenee lihaksen väsyessä, limakalvon jäykkyys lisääntyy, mikä puolestaan nostaa sävelkorkeutta. Myös ääniraon sulku voi heikentyä, jos lihas ei jaksa supistua riittävästi.

Kolmannen selityksen tarjoaa Vilkmanin ja Pekkarisen ryhmä (Pekkarinen ym. 1993; Lauri ym. 1997; Vilkman ym. 1997, 1999). Tämän ryhmän näkemys kuormitusmuutokseen johtaneista syistä poikkeaa jonkin verran kahden edellisen tutkijaryhmän näkemyksistä. Yhteistä kaikille kolmelle näkemyksille on kuitenkin se, että kuormitus muuttaa niiden mukaan äänihuulien biomekaanisia ominaisuuksia. Vilkmanin ja Pekkarisen työryhmän tutkimuksessa oli 80 koehenkilöä ja kuormitus kesti 5 x 45 min. Tutkimuksessa mitattiin useita muuttujia, joista esimerkiksi F0 nousi, ääniraon alainen paine kasvoi ja lähdeäänien aaltomuoto muuttui terävämmäksi ja sulkuvaihe piteni. Nämä kaikki voivat viitata tutkijoiden mukaan siihen, että äänentuottotapa muuttui jännitteisemmäksi. Lisäksi fonaatiokynnys nousi hiljaisessa äännessä, mikä puolestaan liittyy limakalvojen värähtelyominaisuuksien muutokseen.

Vilkmanin ja Pekkarisen ryhmä (Lauri ym. 1997; Vilkman ym. 1997, 1999) tulkitsti tuloksia siten, että mitatut kuormitusmuutokset johtuvat ennen kaikkea puhujan reaktiota rakenteiden biomekaanisiin muutoksiin esimerkiksi limakalvoissa. Puhujan reaktiona on kompensatio, joka ilmenee siten, että hän lisää fysikaalista työtä kurkunpäässä. Lisääntynyt lihastyö näkyy äänihuulien värähtelytaajuuden kasvuna, ääniraon sulun tiivistymisenä, kudossiirtyvyyden kasvuna ja limakalvojen viskoelastisten ominaisuuksien muutoksena. Koska muutokset ovat pieniä, puhuja ei todennäköisesti reagoi tietoisesti niihin. Linvillen (1995) tulos 15 minuutin kuormitustutkimuksesta tukee Vilkmanin ja Pekkarisen työryhmän päätelmää: kuormituksen jälkeen osalla koehenkilöistä äänihuulisulku oli tiivistynyt, mikä viittaa lihastyön lisääntymiseen (5 /12 koehenkilöllä). Yhdelle koehenkilöistä oli sen sijaan muodostunut äänihuulien sulkuvaje, jonka Linville arvioi johtuvan hyperfunktionaalisen äänentuoton aiheuttamasta lihasväsymyksestä.

Vilkmanin ym. (1997) tutkimuksessa tuli esille myös kuormitusvaikutus, jota tutkijat nimittivät ei-kompensoivaksi kuormitusmuutokseksi. Voimakkaalla äänellä tuotettu kuormittaminen muutti miesten ja naisten lähdeäänien aaltomuotoa eri tavoin. Naisilla sulkunopeus suureni, mikä kuvasi äänenvoimakkuuden lisääntymistä, mutta miehillä sulkunopeus pieneni, eli heidän äänensä muuttui hiljaisemmaksi. Naisilla muutoksen taustalla oli kompensatio, mutta miehillä muutos johtui suoraan kuormituksesta, joka ilmeisesti lisäsi äänihuulien limakalvojen jäykkyyttä. Sitä ei kuitenkaan vielä tiedetä, mistä sukupuoli-ero johtui. Mahdollisena selityksenä voi olla miesten ja naisten äänihuulirakenteiden histologinen ero (Hammond ym. 1997) ja miesten äänihuulien matalampi värähtelytaajuus. Nämä suojaavat miesten äänihuulia kuormittamiselta, eikä heidän tarvitse turvautua kuormituksessa kompensatioon yhtä nopeasti, tai he reagoivat ylipäätään eri tavalla rasituksen kuin naiset. Vilkman (1999, kirjallisuuskatsaus) esittää sekä kirjallisuuden että omien tutkimustulostensa pohjalta kolme eri mekanismia, jotka voivat olla kudosten muutosten taustalla. Ensinnäkin muutosten syynä voivat olla äänihuulien törmäykset toisiaan vasten. Toisena syynä Vilkman esittää äänihuulien sulkeutumisesta aiheutuvan kitkan ja kolmantena äänihuulivärähdysliikkeen liittyvän kudosten venyttyksen.

3 Tavoitteet

Tämä väitöstyö kuuluu osana kehityshankkeeseen, jonka tavoitteena on rakentaa kliiniseen käyttöön äänen tutkimus- ja analysointimenetelmä. Menetelmän avulla pyritään saamaan tietoa äänihäiriöasiakkaiden äänenkäytöstä siellä, missä ongelmat esiintyvät ja missä ne todennäköisesti ovat syntyneet: työympäristöstä. Väitöstyön päätavoitteina on ollut sekä kehittää äänenkeruumenetelmä että tutkia äänen piirteitä ja muutoksia työn aikana. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin, ovatko tietyt objektiivisesti mitatut äänen piirteet erilaisia niillä koehenkilöillä, joilla on suurempi taipumus äänenkäytönvaikeuksiin verrattuna niihin puhujiin, joilla on harvemmin ääniongelmia. Tutkimuksessa kehitettiin myös yksinkertainen äänenkuormitusindeksi. Tutkimus koostuu kuudesta osatutkimuksesta.

Tutkimuksessa on etsitty vastauksia seuraaviin ongelmiin (roomalainen numero viittaa aihetta käsittelevään osajulkaisuun):

1. Kuinka nauhoitusmenetelmä soveltuu kenttäolosuhteisiin?
 - 1.1. Mitä tietoa nauhoitus- ja analyysimenetelmän avulla voidaan saada? (I)
 - 1.2. Soveltuuko mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio äänen mittaussuureksi työympäristönauhoitukseen?
 - 1.2.1. Kuinka vakaa näin tuotettu ääntö on? (II)
 - 1.2.2. Kuinka samanlaisia peräkkäin tuotetut äännöt ovat? (II)
 - 1.3. Kuinka hyvin kenttäolosuhteissa mitatut arvot ja kuormituksen vaikutus vastaavat laboratoriossa mitattuja arvoja? (III)
2. Erottaako taipumus kokea äänenrasitusoireita koehenkilöt toisistaan (IV)
 - 2.1. F0:n
 - 2.2. SPL:n
 - 2.3. F0-ajan ja
 - 2.4. perturbaatioarvojen suhteen?

3. Muuttuuko ääni työpäivän aikana?
 - 3.1. Minkälaisia muutoksia tapahtuu seuraavissa objektiivisesti mitatuissa äänen piirteissä:
 - 3.1.1. F0:n keskiarvossa ja sen keskihajonnassa (F0:n SD; VI)
 - 3.1.2. SPL:n keskiarvossa ja sen keskihajonnassa (SPL:n SD; VI)
 - 3.1.3. F0-ajassa (VI)
 - 3.1.4. keskiarvospektrissä ? (V)
 - 3.2. Ovatko muutokset erilaisia paljon ja vähän äänioireita kokevilla koehenkilöillä? (V, VI)
4. Onko äänenkuormitusindeksillä ja koetuilla äänioireilla yhteyttä toisiinsa? (IV, VI)

4 Menetelmä

4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli Oulun kaupungin ala- ja yläasteen naisopettajia. Koehenkilöiden määrä vaihteli kolmesta 33:een eri osatutkimuksissa (taulukko 9). Koehenkilöiden äänenkäyttöongelmia kartoitettiin kyselytutkimuksena (liite 1, vastausten pisteytys liitteessä 2). IV, V ja VI osatutkimuksessa koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään sen mukaan, miten heillä oli taipumus kokea äänenkäytön vaikeuksia. FC-ryhmässä (FC = few complaints) olivat ne koehenkilöt, joilla oli vähemmän ja harvemmin äänioireita, ja MC-ryhmässä (MC = many complaints) oli enemmän ja useammin äänioireita kokevat koehenkilöt. Koehenkilöille järjestettiin foniatriin tarkastus, jossa heistä kävi suurin osa.

Taulukko 9: Tiedot koehenkilöistä ja mittauksista eri tutkimuksissa. Arvot ovat keskiarvoja, ja suluissa on vaihteluväli.

Osatutkimus	Ääninäyte ja nauhoitustilanne tai -paikka	n	Ikä vuosina	Työvuodet opettajana	Äänen häiriöisyyden aste	Kurkunpään löydös (stroboskopiitutkimus)
I tutkimus	Opetuspuhe, luokkatilanne	3	37,3 (33–46)	13,3 (9–20)	8,3 (4–15)	Tutkimus kahdelle koehenkilölle; normaali löydös.
II tutkimus	Mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio, välitunti	11	43 (31–55)	17 (6–30)	20 (6–33)	Tutkimus 9 koehenkilölle; 2:lla ei-patologinen sulkuvaje, muilla normaali löydös.
III tutkimus	1) Opetuspuhe, luokkatilanne 2) Lukunäyte, laboratorio	3	34,3	7 (6–9)	13,7 (6–20)	Tutkimus kaikille; normaali löydös.
IV tutkimus*	1) Opetuspuhe, luokkatilanne	10	45 (33–53)	19 (6–30)	17,1 (4–28)	1) Tutkimus 8 koehenkilölle; yhdellä ei-patologinen sulkuvaje, muilla normaali löydös.
	2) Mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio, välitunti	11	43 (31–55)	17 (6–30)	20 (6–33)	2) Sama kuin II osatutkimuksessa.
V tutkimus	Opetuspuhe, luokkatilanne	10	45 (33–53)	19 (6–30)	17,1 (4–28)	Sama kuin opetuspuhe IV osatutkimuksessa.

*IV ja VI osatutkimusten SPL-analyyseista poistettu molemmista yksi koehenkilö. Koehenkilöt kuuluivat FC-ryhmään. Seuraavat tiedot koskevat IV ja VI osajulkaisun SPL-analyyseja:

IV osajulkaisu: ikä 44 vuotta (33–53), työvuodet opettajana 18,8 (6–30), häiriöisyyden aste 17,77 (4–28).

VI osajulkaisu: ikä 42,5 vuotta (25–59), työvuodet opettajana 16,5 (4–32), häiriöisyyden aste 16,7 (2–62).

Taulukko 10: Vähemmän (FC-ryhmä) ja enemmän (MC-ryhmä) äänioireita kokevien koehenkilöryhmien taustatiedot. Arvot ovat keskiarvoja, ja suluissa on vaihteluväli. Roomalaiset numerot viittaavat osajulkaisuun.

Ääninäyte ja nauhoitustilanne	FC-ryhmä				MC-ryhmä			
	n	Ikä vuosina	Työvuodet opettajana	Äänen häiriöisyyden aste	n	Ikä vuosina	Työvuodet opettajana	Äänen häiriöisyyden aste
Mahdollisimman pitkä fonaatio, välitunti (IV)	4	42 (33–53)	17,2 (9–30)	10,75 (6–15)	7	42 (31–55)	16,1 (6–30)	24,9 (18–30)
Opetuspuhe luokkatilanne (IV*, V)	5	43 (33–50)	18 (9–30)	9,4 (4–15)	5	46 (34–55)	20,2 (6–30)	24,8 (18–28)
Opetuspuhe luokkatilanne (VI*)	16	41 (25–54)	15,6 (4–30)	6 (0–11)	17	45 (31–59)	18,5 (6–32)	30 (12–62), 3:lla sulkuvaje

*IV ja VI osatutkimusten SPL-analyyseista poistettu molemmista yksi koehenkilö. Koehenkilöt kuuluivat FC-ryhmään. Seuraavat tiedot koskevat IV ja VI osajulkaisun SPL-analyyseja:

IV osajulkaisu: ikä 42 vuotta (33–53), työvuodet opettajana 17,5 (9–30), häiriöisyyden aste 10,75 (6–15).

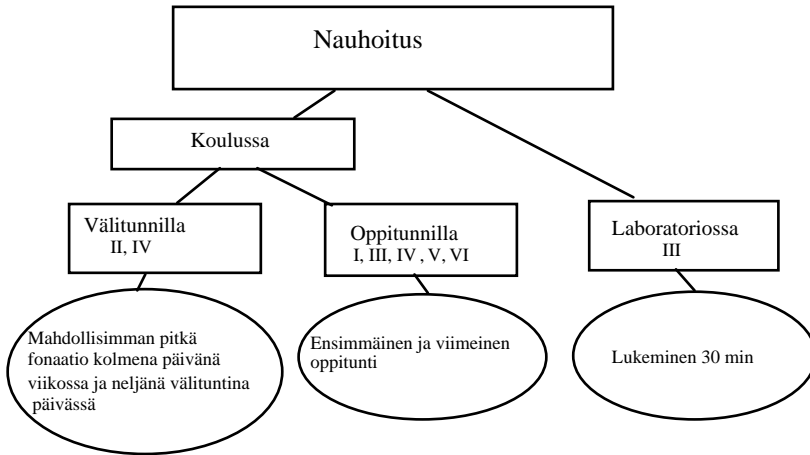
VI osajulkaisu: ikä 40 vuotta (25–53), työvuodet opettajana 14,6 (4–30), häiriöisyyden aste 6,4 (2–11).

Taulukossa 9 on erittely osatutkimuksissa olleista koehenkilöistä sekä heidän taustatiedoistaan ja taulukossa 10 vastaava erittely FC- ja MC-ryhmistä. Aineistoja jouduttiin muokkaamaan siten, että yksi koehenkilö poistettiin IV:n ja toinen VI osatutkimuksen SPL-analyysistä, koska heillä oli poikkeavat SPL-tasot. IV osatutkimuksesta poistetun koehenkilön SPL-arvot olivat huomattavasti muiden koehenkilöiden arvoja pienempiä, johon oli ilmeisesti syynä opetustyyli: koehenkilö oli käsityönopettaja, ja hän puhui yleensä vain yhdelle oppilaalle kerrallaan varsin hiljaisella äänellä. VI tutkimuksen koehenkilön arvot olivat puolestaan poikkeuksellisen suuret. Oletettavasti äänennoimakkuuden säätö oli virheellinen hänen kohdallaan. Molemmat aineistosta poistetut koehenkilöt kuuluivat FC-ryhmään.

Äänihäiriöihin altistavia riskitekijöitä oli osalla koehenkilöistä. Kolmasosalla oli harrastuksia, jotka vaativat runsaasti äänenkäyttöä. Tupakkaa poltti noin 20 %, ja yksi koehenkilö poltteli satunnaisesti. Kurkunpään tai äänihuulitason häiriöitä oli ollut joskus työuran aikana noin 45 %:lla koehenkilöistä, ja ääniterapiassa oli käynyt 33 %. Koehenkilöistä 20 % sai herkästi hengitystietulehduksen (yli neljä kertaa vuodessa), ja allergista nuhaa tai astmaa oli 39 %:lla. Yksi koehenkilöistä käytti astmalääkitystä. Lisäksi yksi oli saanut lapsena toispuoleisen äänihuulihalvauksen sydänleikkauksen yhteydessä. Koska kaikki koehenkilöt olivat työkykyisiä ja koska kenenkään koehenkilön ääninäytteistä mitattujen akustisten muuttujien arvot eivät eronneet poikkeavasti ryhmän arvoista, kaikki koehenkilöt otettiin tutkimukseen. Koehenkilöillä ei ollut tutkimushetkellä kurkunpään sairauksia.

4.2 Ääninäytteet

Koehenkilöitä nauhoitettiin kahdessa kenttätilanteessa: oppitunneilla (I, III, IV, V, VI) ja välitunneilla (II, IV). Lisäksi kolmelle koehenkilölle tehtiin äänenkuormitustutkimus laboratoriossa (III). Tutkimusasetelma näkyy kuviossa 6. Ääninäytteiden keräämistä varten annettiin koehenkilöille nauhuri, jonka käyttöön heitä opastettiin heidän omissa kouluissaan henkilökohtaisesti. Lisäksi nauhurin käytöstä ja ääninäytteiden nauhoituksesta annettiin kirjalliset ohjeet.



Kuvio 6. Tutkimusasetelman nauhoitustilanteet ja osatutkimukset (merkitty roomalaisin numeroin).

4.2.1 Opetuspuhe (I, III, IV, V, VI)

Koehenkilöt käyttivät äänityksissä akkukäyttöistä, kannettavaa DAT-nauhuria (Sony TCD-D3). Kondensaattorimikrofoni (AKG C56E1) oli kiinnitetty pleksimuovista taivutettuun, pään yli menevään pantaan. Mikrofoni sijaitsi noin 45 asteen kulmassa 6–8 cm:n päässä huuliosta (ks. kuvaa 1 osajulkaisussa I). Koehenkilöt valitsivat työviikostaan itselleen tavallisen työpäivän, jonka ensimmäisen ja viimeisen oppitunnin he nauhoittivat. Koehenkilöiden työpäivän pituus vaihteli kolmesta tunnista viiteen tuntiin, ja oppitunnin pituus oli keskimäärin 35–45 minuuttia. Koska aiempaa tutkimustietoa ei tiettävästi ole siitä, ovatko objektiivisesti mitattavat äänen piirteet erilaisia niinä päivinä, jolloin ääni ei rasitu verrattuna niihin päiviin, jolloin ääni rasittuu, tässä tutkimuksessa näitä päiviä ei eroteltu toisistaan. Nauhoituspäivän ehtona oli ainoastaan, että koehenkilö oli työkykyinen ja hänen äänenkäyttönsä oli sinä päivänä hänelle itselleen tyypillistä.

4.2.2 Välituntinauhoitus (II, IV)

Välitunneilla koehenkilöt käyttivät samanlaista nauhuria ja mikrofontia kuin oppitunneilla. Nauhuri oli sijoitettu samaan huoneeseen koko nauhoitusviikon ajaksi, jotta akustinen ympäristö pysyisi nauhoitusten aikana mahdollisimman muuttumattomana. Täysin hiljaista huonetta kouluista ei löytynyt. Mikrofoni sijaitsi 40 cm:n etäisyydellä koehenkilön suusta. Etäisyyden tarkistamista varten mikrofontiin oli kiinnitetty mittanauha.

Välitunneilla koehenkilöt tekivät nauhoituksia kolmena päivänä saman työviikon aikana. Nauhoituspäiviksi suositeltiin maanantaita, keskiviikkoa ja perjantaita. Jos äänitys ei onnistunut jonakin päivänä, koehenkilö nauhoitti joko seuraavana tai edellisenä päivänä. Päivän aikana koehenkilöt nauhoittivat neljänä eri ajankohtana: ennen oppitunteja, ensimmäisen oppitunnin jälkeen, lounastauon jälkeen ja viimeisen oppitunnin jälkeen. Tätä väitöstyötä varten välituntinauhoituksista analysoitiin kaksi peräkkäin tuotettua, mahdollisimman pitkää [a]-fonaatiota. Koehenkilöille annettiin ohjeeksi ääntää fonaatio itselleen luonteenomaisella äänenvoimakkuudella ja -korkeudella. Vihjeeksi oikean sävelkorkeuden löytämiseksi opetettiin koehenkilöille Cooperin (1973) hymähdysmenetelmä (engl. *"humming technique"*). Siinä kehoitetaan puhujaa hymähtämään ikään kuin vastaukseksi kuulemalleen asialle. Korkeus, jolla hymähdys tuotetaan, vastaa suurin piirtein puhujan tavanomaisista sävelkorkeutta. Liitteenä 3 ovat nauhoitusohjeet. Siinä näkyvät kaikki välitunnilla tehdyt ääninäytteet.

4.2.3 Laboratorionauhoitus (III)

Laboratoriotutkimuksessa koehenkilöt kuormittivat ääntään lukemalla tekstiä 30 minuutin ajan. Koehenkilöiden äänen voimakkuus 1 m:n etäisyydeltä oli yli 75 dB, ja he seisovivat lukemisen ajan. Äänimittaukset tehtiin lukunäytteestä, joka oli nauhoitettu äänieriossa ennen ja jälkeen kuormituksen. Lukunäyte oli sama kuin välituntinauhoituksessa (ks. liite 3). Ääninäytteiden tallennuksessa käytettiin kondensaattorimikrofonia (Brüel&Kjaer 4176) ja digitaalista instrumentointinauhuria (Teac RD-200 T). Mikrofonin etäisyys huuliosta oli 30 cm. Koehenkilö kontrolloi etäisyyden mikrofonin jalkaan kiinnitetyn mitan avulla.

4.3 Näytteiden mittaaminen ja analyysi

4.3.1 Oppituntinauhoitus

Opetuspuhetta analysoitiin LTAS:n (V), F0:n (I, II, III, IV, VI), SPL:n (I, IV, VI), näiden keskihajontien (F0:n SD ja SPL:n SD; I, IV, VI) sekä F0-ajan (= äänihuulien aktiivinen värähtelyaika; I, IV, VI) avulla. Spektrin, perturbaation sekä välitunnilla nauhoitetun ääninäytteen F0:n analyysissa käytettiin ISA-puheanalyysilaitteistoa (Intelligent Speech Analyser; kehittänyt DI Raimo Toivonen) ja muiden muuttujien analyysissa Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) puhelaboratorion laitteistoa (kehittänyt DI Kari Haataja; 1993). Koska OYS:n puhelaboratorion analyysiohjelma on oleellinen osa kenttätutkimusmenetelmää, esitellään sitä, kun kuvataan objektiivisesti mitattujen muuttujien analyysia.

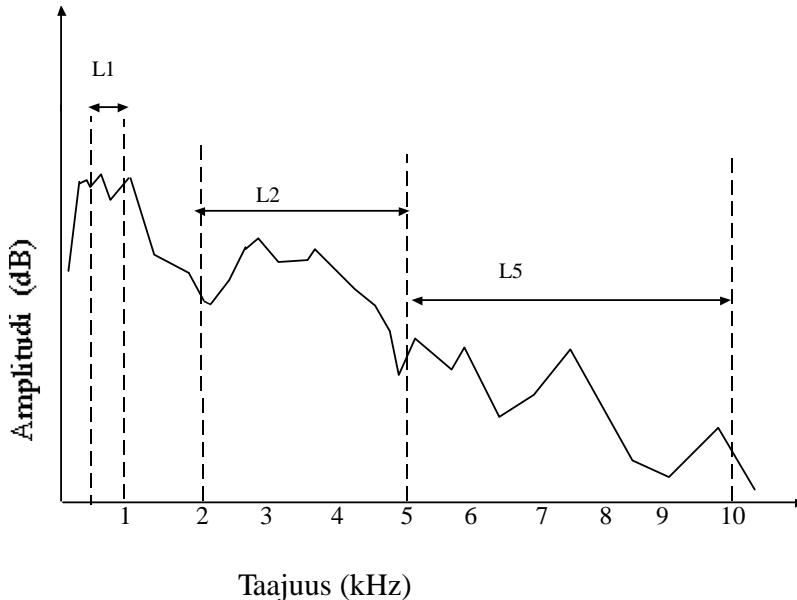
4.3.1.1 Pitkäaikaiskeskiarvospektri, LTAS (V)

Oppituntinäytteistä valittiin ensimmäiseltä ja viimeiseltä oppitunnilta mittausjaksot oppituntien alusta, keskeltä ja lopusta. Analyysiin poimittiin viisi painollista lyhyttä [a]-vokaalia kustakin näytteestä (yhteensä 30). Vokaalit valittiin mahdollisimman tasavälein kustakin mittausjaksosta, ja tavujen pituus oli keskimäärin 61 ms. Näin menetтелеillä haluttiin minimoida spontaanipuheen sisältämä vaihtelu (Klatt & Klatt 1990). Näytteenototaajuus oli 25 kHz ja äänikaista 11 kHz.

Analyysia varten mitattiin seuraavien taajuuskaistojen energiatasot (ks. myös kuvio 7):

1. F0:n alue (L0, kaistaleveys 100 Hz)
2. ensimmäisen formantin alue (L1, 500 Hz ylöspäin ensimmäisen harmonisen ja ensimmäisen formantin välissä olevasta minimikohdasta)
3. 2–5 kHz (L2)
4. 5–10 kHz (L5)
5. 1 kHz:n ylä- ja alapuolinen alue.

Mitatuista energiatasoista muodostettiin taajuuskaistojen erotusten avulla parametrit L1–L0, L1–L2 ja L1–L5 (ks. Kitzing 1986, Kitzing & Åkerlund 1993). Lisäksi laskettiin 1 kHz:n ylä- ja alapuolisen alueen energiatasojen suhde, niin sanottu parametri alfa (Prytz & Frøkjær-Jensen 1976). Ensimmäisen harmonisen osasävelen taajuus oli keskimäärin 287 Hz, ja ensimmäisen harmonisen osasävelen ja ensimmäisen formantin välinen minimikohta sijoittui keskimäärin 454 Hz:n kohdalle. Ääninäytteiden SPL:n keskiarvot, jotka mitattiin koko ääninäytteestä, olivat ensimmäisellä oppitunnilla 78.4, 78.8 ja 80.4 dB ja viimeisellä oppitunnilla 78.7, 80.1, ja 81.1 dB. SPL ei ollut muuttunut tilastollisesti merkittävästi, kuten eivät myöskään L1:n energiatasot, jotka vastaavat pitkälti äänen SPL-tasoa.



Kuvio 7. Pitkäaikaiskeskiarvospektrin analyysissa käytetyt taajuuskaistat. Kuvioista puuttuvat parametri alfa ja L0:n alue. L = taajuusalueen voimakkuuden taso.

4.3.1.2 *F0 (I, II, III, IV, VI), SPL (I, IV, VI) ja F0-aika (I, IV, VI)*

Oppitunneilta analysoitiin neljän minuutin pituiset puhenäytteet tunnin alusta, keskeltä ja lopusta eli oppituntia kohti yhteensä 12 minuuttia (T1–T3 = ensimmäisen oppitunnin näytteet, T4–T6 = viimeisen oppitunnin näytteet). Akustiset signaalit mitattiin kaupallisella analogisella modulisarjalla (F-J Electronics Inc.), johon kuuluivat intensiteettimittari, F0-mittari, siihen liittyvä esivahvistin ja kaistasuodatin. F0-analyysissa signaalin alipäästösuodatus oli 330 Hz:n tasolla 36 dB oktaavia kohden ja ylipäästösuodatus 70 Hz:n tasolla.

SPL:n kalibroimiseen käytettiin 200 Hz:n taajuista siniääntä, joka oli 80 dB(A) mikrofonin kohdalla eli mikrofonitasossa. Siniääni tuotettiin ISA-puheanalyysilaitteistolla. Äänenpainetaso määritettiin Brüelin ja Kjaerin äänenpainemittarilla (tyyppi 2235). Kalibroitiohjelma oli rakennettu tietokoneen analyysiohjelman yhteyteen. Signaalia vahvistettiin ennen kuin se johdettiin intensiteettimittariin (Sony PCM-F1). Intensiteettimittarissa signaali johdettiin kahdelle kanavalle, joissa oli eri integrointiaika. Signaalista, jonka integrointiaika oli pitempi (10 ms), laskettiin ääninäytteen SPL-taso (SPL1). Lyhyemmän integrointiajan signaalista (2,5 ms) ohjelma analysoi puhe- ja taukojaksot (SPL2).

Aineisto analysoitiin mikrotietokoneella (Apple Macintosh Quadra 950), johon oli liitetty muunninkortti (National Instruments NB-MIO-16-9L), audiomuunninkortti (NB-A-2100), signaaliprosessorikortti (NB-DSP2300) ja suora muistinosoituskortti (NB-DMA2800). Ohjelmisto oli rakennettu kaupalliseen LabVIEW 2 -ohjelmointiympäristöön, ja se koostui kalibrointi-, tiedonkeruu-, editointi- ja analyysiohjelmasta.

Tietokoneen ääniohjelmassa käsiteltiin neljää signaalia: audiosignaalia, F0:aa, SPL1:tä ja SPL2:ta. Kunkin signaalin näytteenottotaajuus oli 5 kHz. Tiedonkeruuohjelma varastoi jokaisen puhenäytteen omaksi tiedostokseen, ja ohjelma luki signaalin kovalevyltä RAM (random access memory) -muistiin 60 sekunnin pätkissä. Editointiohjelman avulla poistettiin koehenkilöiden puhejaksojen välissä oleva taustamelu nollaamalla ääni tältä alueelta. Taustamelu voitiin erottaa puhejaksoista siten, että kuunneltiin audiosignaalia ja samalla tarkkailtiin tietokoneen näytöllä olevaa signaalin graafista kuvaa. Tarkkailuun voitiin käyttää jokaista analyysiohjelman neljää signaalia. Visuaalisesti taustamelu oli kuitenkin helpointa havaita joko F0- tai SPL1-käyrästä. Taustamelun nollaaminen poisti hälyn samanaikaisesti kaikista signaaleista. Lisäksi näytteiden alussa ja lopussa olevat epätäydelliset ilmaisut poistettiin. Graafista kuvaa oli mahdollista katsella ja liikuttaa aikaikkunassa, jonka pituutta voitiin vaihdella 1 sekunnista 10 sekuntiin. Ohjelmassa voitiin mitata kaikista signaaleista erikseen mikä tahansa kohta mittataustuloksen varmistamiseksi.

Analyysiohjelma laski F0:lle ja SPL:lle keskiarvon, keskihajonnan sekä maksimi- ja minimiarvon. Ohjelmalle asetetut raja-arvot olivat SPL:lle 61–100 dB ja F0:lle 140 ja 450 Hz. Puhe- ja taukojaksoille ohjelma laski keskiarvon sekä minimi- ja maksimipituuden ja esitti jaksot myös histogrammikuvana. Pienin jakso, jonka ohjelma laski puheeksi, oli kestoltaan 70 ms, ja pienin ohjelman hyväksymä tauko oli 250 ms. F0-aika, joka kuvaa äänihuulien aktiivista värähtelyaikaa, laskettiin F0-signaalista. Kokonaispuheajan pituudeksi ohjelma laski ensimmäisen ja viimeisen ilmaisun välisen jaksos SPL2-signaalista.

4.3.2 Välituntinauhoitus: mahdollisimman pitkä fonaatio (II, IV)

Analyysia varten vokaaliäänöstä otettiin kaksi 500 jakson pituista näytettä siten, että näytteet sijaitsivat symmetrisesti äännön keskikohdan molemmin puolin eivätkä sisältäneet samoja jaksoja. Näitä näytteitä nimitetään tässä tutkimuksessa alku- ja loppuosaksi. Äännön akustisessa analyysissä mitattiin F0, suhteellinen jitter (%) ja shimmer absoluuttisina arvoina (dB). Laskennassa tietokoneohjelma käytti Koiken ym. (1977) kehittämää laskukaavoja jitterille (engl. *frequency perturbation quotient*) ja shimmerille (engl. *amplitude perturbation quotient*). Kaavat pyrkivät minimoimaan äänen korkeuden ja voimakkuuden vaihtelusta johtuvat muutokset siten, että pelkästään lyhytaikainen vaihtelu eli perturbaatio tulisi mahdollisimman hyvin rekisteröidyksi. Näytteenottotaajuus oli 22 kHz ja esisuodatuksen taajuus 700 Hz.

4.3.3 Laboratorionauhoitus (III)

Laboratorionäytteiden analyysi tehtiin samassa mittausympäristössä kuin oppituntinäytteiden analyysi. Koska tässä tutkimuksessa ei käsitellä muita muuttujia kuin F0:aa, niiden analyysia ei myöskään esitellä tässä. F0 analysoitiin samalla menetelmällä kuin oppituntinauhoituksissa.

4.3.4 Äänenkäytön kuormituksen indeksi (IV, VI)

Tutkimuksessa kehitettiin yksinkertainen äänenkäytön kuormituksen indeksi. Indeksini muodostettiin kertomalla puhujan äänen taajuus äänihuulien värähtelyajalla ($F0 \times F0$ -aika). Tulo jaettiin tuhannella, jotta saadun luvun suuruusluokkaa olisi helpompi käsitellä ($F0 \times F0$ -aika/1000). Indeksini paljastaa, montako kertaa äänihuulet ovat mittausjakson aikana koskettaneet toisiaan, minkä voi ajatella kuvaavan yhdellä tavalla äänihuulien tekemää työmäärää. Mittausjakson pituus tässä tutkimuksessa oli 4 minuuttia. Indeksini toimivuutta arvioitiin tutkimalla sen korrelaatiota koettuihin oireisiin.

4.4 Tilastollinen käsittely

Tutkimuksessa käytettiin useita tilastollisia menetelmiä, koska tutkimusongelmat sekä tutkimusaineiston koko vaihtelivat eri osatutkimuksissa. Seuraavia tilastollisia menetelmiä käytettiin tulosten analysoinnissa:

Kuvailevat testit:

- Keskiarvo (II, III, V, VI)
- Vaihteluväli (IV, V, VI)
- 95 %:n luottamusväli (II)
- Keskihajonta (SD, engl. *standard deviation*; IV, VI)
- Kesquivirhe (SEM; V)
- Kolmogorov-Smirnovin testi (IV)
- Variaatiokerroin (CV; II)

Vertailevat testit:

- Merkitsevyytestit
 - Man-Whitney U -Wilcoxonin Rank Sum W -testi (riippumattomat otokset; IV)
 - Wilcoxon Matched-Pairs Signed-Rank -testi (toisistaan riippuvat otokset; IV)
 - Studentin t-testi (riippumattomat otokset; IV)
 - Studentin t-testi (toisistaan riippuvat otokset; IV, VI)
 - Levenen testi (IV)
- Yksisuuntainen varianssianalyysi [ANOVA; analyysit within subjects (w.s.) ja between subjects (b.s.) V]

Yhteyttä kuvaavat testit:

- Pearsonin korrelaatiokerroin (r ; IV, V, VI)
- Askeltava lineaarinen regressioanalyysi (VI)

Osatutkimuksissa, joissa arvioitiin tulosten merkitsevyyttä, käytettiin yleensä riskitasoa $p \leq 0,05$, mutta IV osatutkimuksessa raportoitiin myös tulokset, joissa $p \leq 0,1$ (riskitaso). Valintaan vaikutti tutkimuksen luonne, joka oli ensisijaisesti uutta kokeileva eikä niinkään jo tunnettujen ilmiöiden piirteitä tai toimintaa vahvistava. Toisena perusteena merkitsevyytason valintaan oli pieni havaintoaineiston koko, joka heikentää tilastollisen testin sensitiivisyyttä (Läärä 1988; Norusis 1990). Tilastollinen käsittely tehtiin SPSS for Windows -tilasto-ohjelmistolla.

5 Tutkimustulokset

5.1 Opetuspuheen piirteet (I, VI)

Taulukossa 11 ovat kaikkien koehenkilöiden keskiarvot oppitunneilta mitatuista muuttujista (VI). Ensimmäisessä osatutkimuksessa (I) on kuvattu samoja puheen piirteitä, mutta vain kolmen koehenkilön äänestä. Tässä kuvataan samat muuttujat mitattuina koko aineistosta eli 33 koehenkilön ääninäytteistä.

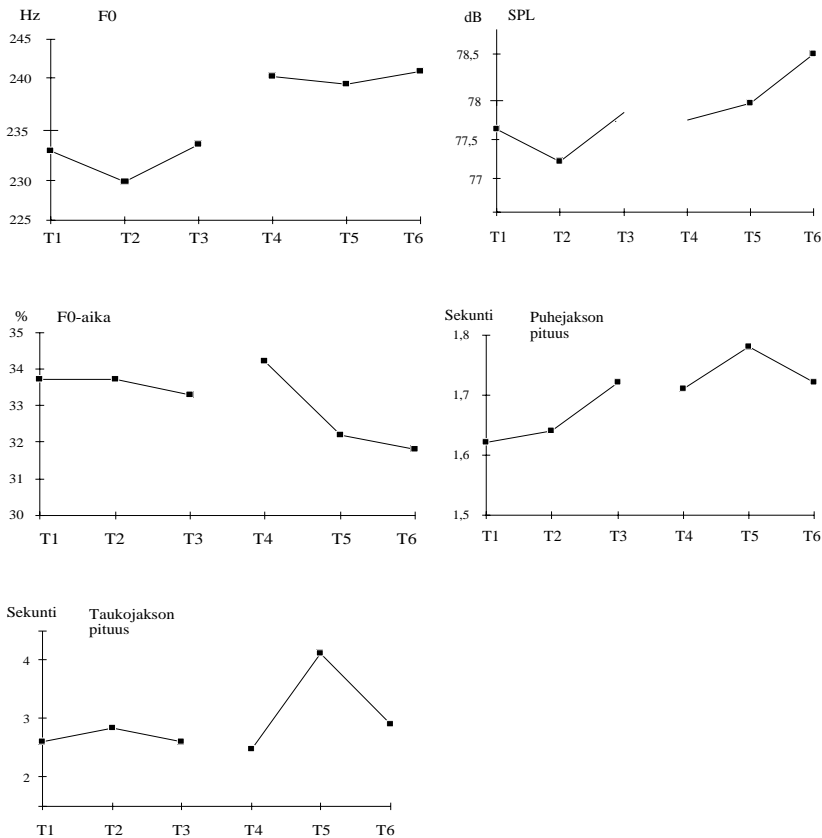
Taulukko 11: Oppitunneilta mitattujen muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat ($n^a = 33$; $N^b = 198$ muissa muuttujissa paitsi SPL:ssä $N = 192$)

Muuttuja	Keskiarvo	Keskihajonta
F0 (Hz)	236,5	28,7
F0:n SD (Hz)	55,3	9,6
SPL (dB)	77,8	5,3
SPL:n SD (dB)	7,3	2,2
F0-aika (s)	79,6	27,5
Kokonaispuheaika (s)	97,2	35,1
Puhejakson pituus (s)	1,7	0,6
Taukojakson pituus (s)	2,8	3,5

n^a = koehenkilöiden määrä; N^b = näytteiden määrä

Kuviossa 7 on esitetty tärkeimpien muuttujien oppituntien aikainen ja välinen vaihtelu. Koska F0-aika ja kokonaispuheaika ilmaisevat lähes samaa puheen piirrettä eli äänessä-oloaikaa (F0-ajan ja kokonaispuheajan r eri koehenkilöillä 0,9–0,98; $p = 0,00$), kuvataan näistä muuttujista vain F0-aika. Äänen piirteitä mittaavien muuttujien arvot vaihtelivat sekä oppituntien sisällä että oppituntien välillä. Vaikka koehenkilöiden F0-taso oli ensimmäisellä oppitunnilla matalampi kuin viimeisellä, F0:n keskiarvo muuttui kuitenkin samalla tavalla kummankin oppitunnin aikana eli aluksi lievästi laski ja sitten nousi.

SPL:n keskiarvon vaihtelu noudatteli ensimmäisellä oppitunnilla F0:n kulkua, mutta viimeisellä tunnilla SPL nousi kaikissa mittausajankohdissa. Koehenkilöiden puheaika mitattuna F0-ajan keskiarvona ei kovin paljon vaihdellut kummankaan oppitunnin aikana. Viimeisellä oppitunnilla koehenkilöt kuitenkin vähensivät puhettaan tunnin loppua kohden, ja lyhyin F0-ajan keskiarvo olikin aivan tunnin lopussa. Koehenkilöiden puhejaksojen pituuden keskiarvot nousivat päivän edetessä. Sen sijaan taukojaksojen pituuden keskiarvo ei juuri muuttunut oppituntien aikana. Tästä suuntauksesta poikkesi kuitenkin viimeisen oppitunnin keskiossa, jolloin koehenkilöiden puheen tauot olivat pisimpiä.



Kuvio 8. Oppitunneilta mitattujen muuttujien vaihtelu (n = 33, paitsi SPL:n kohdalla n = 32). T1 = oppitunnin alku; T2 = oppitunnin keskiosa; T3 = oppitunnin loppu, T4–T6 vastaavasi viimeisellä oppitunnilla; kunkin mittausjakson pituus 4 min.

Koehenkilöiden välillä oli yksilöllisiä eroja (I). Esimerkiksi luokanopettaja, joka suuntasi puheensa kaikille oppilaille yhtä aikaa käytti voimakkaampaa ja korkeampaa ääntä kuin tyttöjen käsityönopettaja, joka puhui yleensä vain yhdelle oppilaalle kerrallaan. Näiden opettajien puhe- ja taukojaksojen pituudet poikkesivat myös toisistaan. Luokanopettajan puhejaksot kestivät pitemmän ja taukojaksot lyhyemmän ajan kuin käsityönopettajalla.

Toisen luokanopettajan kohdalla tuli esille mielenkiintoinen yksityiskohta: kun opettaja luki luokalle kirjaa, hänen sävelkorkeutensa oli 15 Hz matalampi kuin muuten hänen puhuessaan luokalle, vaikka äänenvoimakkuus pysyi samana.

5.2 Mahdollisimman pitkään tuotetun fonaation soveltuvuus kenttätutkimukseen (II)

Mahdollisimman pitkään tuotetun fonaation soveltuvuutta arvioitiin sen vakauden avulla: muuttuivatko F0, F0:n vaihtelu, jitter tai shimmer saman fonaation aikana tai kahdessa peräkkäin tuotetussa fonaatioissa.

5.3 Fonaation alku- ja loppuosa

F0 oli 0,8 Hz matalampi ($t = 4,9$, $df = 191$, $p \leq 0,001$) ja shimmer-arvot 0,06 dB korkeampia ($t = -5,4$, $df = 191$, $p \leq 0,001$) fonaation loppuosassa verrattuna alkuosaan. Keskiarvojen erojen 95 %:n luottamusväli oli shimmerillä -0,09– -0,04 ja F0:lla 0,5–1,18, mikä osoitti, että näytteiden muutoksista 95 % mahtui esitettyyn vaihteluväliin. Muuttujista F0:n vaihtelu oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa fonaation loppu- kuin alkuosassa ($z = -4,198$, $n = 190$, $p \leq 0,001$). F0:n vaihteluiden ero oli kuitenkin vähäinen: alkuosan vaihtelu oli 3,2 Hz ja loppuosan 3,6 Hz. Alkuosasta mitatut kaikki kolme muuttujaa korreloivat positiivisesti loppuosasta mitattuihin muuttujiin (kaikille muuttujille $p \leq 0,001$). F0:n ja shimmerin korrelaatiokerroimet olivat korkeita (F0: $r = 0,98$; shimmer: $r = 0,89$), mutta jitterin matala ($r = 0,4$).

5.3.1 Peräkkäin tuotetut fonaatiot

Kahdesta peräkkäisestä fonaatiosta mitatut muuttujat eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, mihin suuntaan ja kuinka paljon koehenkilöiden äänen piirteet muuttuivat peräkkäisissä fonaatioissa. Muutosten suunta ei ollut johdonmukainen. F0:n muutokset jäivät suurimmalla osalla koehenkilöistä alle 10 Hz, ja osalla ne olivat niinkin pieniä kuin 5 Hz. Pääosin shimmerin muutokset jäivät alle 0,2 dB:n. Jitter sen sijaan saattoi vaihdella paljonkin. Suurin ero peräkkäisistä fonaatioista mitattujen jitter-arvojen välillä oli 3,3 prosenttiyksikköä, ja ainoastaan 1/4 jitterin eroista oli alle yhden prosenttiyksikön. Koehenkilöillä, joiden äänen piirteitä kuvaavat muuttujat erosivat paljon peräkkäisissä fonaatioissa, oli paljon äänen rasisuoroireita, ja suurin vaihtelu oli koehenkilöllä, jolla kyselykaavakkeen perusteella oli eniten äänenkäytön vaikeuksia. Variaatiokerroin (CV) vahvisti edellisen analyysin tuloksia. F0:n CV oli muuttujista pienin, vain 7 %. Shimmerin CV oli 30 % ja jitterin 56 %. Stone ja Rainey (1991) suosituksen mukaan muuttujan vaihtelu ei saa ylittää 30 %, jotta se olisi käyttökelpoinen mittauksissa. Tämän raja-arvon perusteella F0 ja shimmer soveltuvat kenttätutkimukseen.

5.3.2 *F0:n vaikutus jitteriin ja shimmeriin*

Täydennykseksi II osajulkaisussa esitettyihin tuloksiin arvioidaan tässä yhteenvedossa myös F0:n vaikutusta perturbaatioon, sillä F0:n nousun on todettu vähentävän perturbaatiota (Lieberman 1963; Horii 1979; Orlikoff & Baken 1990; Verstraete ym. 1993; Gelfer 1995). Niiden muuttujien arvoille, jotka oli mitattu kahdesta peräkkäin tuotetusta fonaatiosta, laskettiin erotus. Näin saatu luku kuvasi muutoksen suuruutta. Lasketuille erotuksille tehtiin korrelaatioanalyysi, jonka mukaan muuttujilla ei ollut yhteyttä toisiinsa yhdessäkään mittauskohdassa. SPL:n vaikutusta ei voitu arvioida, sillä äänitistasot olivat vaihdelleet hieman koehenkilöiden välillä eikä perturbaatio-ohjelmassa ollut kalibrointimahdollisuutta.

5.4 Mittausympäristöt (III)

5.4.1 *Laboratorio ja kenttätilanne*

Tässä osatutkimuksessa vertailtiin kahdessa eri tutkimusympäristössä — kenttä- ja laboratorio-olosuhteissa — koehenkilöiden F0:n muuttumista kuormitustilanteessa. Ääninäytteenä laboratoriossa oli lukeminen ja kenttätilanteessa opetuspuhe. Tutkimuksessa ensimmäisellä oppitunnilla mitattujen jaksojen F0:n keskiarvoa pidettiin sävelkorkeuden perustasona ja viimeisen oppituntien jaksojen keskiarvoa kuormituksen aiheuttamana muutoksena.

F0 nousi molemmissa tutkimusympäristöissä. Laboratoriossa F0:n keskiarvo oli ennen kuormitusta 206 Hz ja kuormituksen jälkeen 218 Hz. Ensimmäisellä oppitunnilla se oli 236 Hz ja viimeisellä 263 Hz. Laboratoriossa F0 nousi kaikilla koehenkilöillä lähes saman määrän (vaihteluväli 3–7 %), mutta oppituntien välillä muutos oli paljon yksilöllisempää (vaihteluväli 4–21 %).

Ensimmäisen ja viimeisen oppituntin aikana F0 muuttui eri tavoin: Ensimmäisen oppituntin aikana F0-käyrä ensin laski ja sen jälkeen nousi (U:n muotoinen kuvio). Viimeisellä oppitunnilla kahden koehenkilön käyrä muistutti käänteistä U:ta, ja yhdellä käyrä oli koko ajan nouseva. F0:n muutosten suuruutta oppitunneilla tutkittiin laskemalla kaikkien ajankohtien F0:ien välinen suhde toisiinsa. Näistä F0:n muutoksista 18 % oli suurin piirtein samansuuruisia kuin laboratoriossa mitattu muutos. F0 muuttui vähiten viimeisen oppituntin aikana ja eniten oppituntien välillä.

5.4.2 *F0 eri mittausympäristöissä ja ääninäytteissä*

Täydennyksenä osajulkaisuihin arvioitiin lisäksi eri ääninäytteiden ja tutkimusympäristöjen vaikutusta F0:aan. Yhden koehenkilön eri ääninäytteistä mitattuja perusäänentaajuuksia verrattiin toisiinsa varianssianalyysin avulla. Ääninäytteinä olivat välitunnilla nauhoitettu mahdollisimman pitkä fonaatio, lukunäyte laboratoriossa ja oppitunnilla pidetty ope-

tus (ensimmäinen oppitunti). Tulosten mukaan eri ääninäytteet ja mittausolosuhteet vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi sävelkorkeuteen ($p = 0,025$). Mahdollisesti myös SPL on vaikuttanut F0:aan, mutta mittausteknisistä syistä eri tutkimustilanteista saadut SPL:n arvot eivät ole vertailukelpoisia. F0:n keskiarvot ja keskihajonnat eri mittausolosuhteissa ja ääninäytteissä on esitetty taulukosta 12.

Taulukko 12: Yhden koehenkilön F0 eri tutkimusympäristöissä ja ääninäytteissä.

Tutkimusympäristö ja ääninäyte	F0:n keskiarvo (Hz)	F0:aa vastaava sävelnimi	F0:n keskihajonta (Hz)
Välitunti; mahdollisimman pitkä fonaatio	185,2*	fis	7,6
Laboratorio; lukunäyte	206,5*	gis	9,2
Luokkatilanne; opetuspuhe	233,9*	ais	26,6

* $p = 0,025$

5.5 Objektiivisesti mitattujen muuttujien ja koettujen äänioireiden yhteys

5.5.1 Mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio (IV)

Sekä korrelaatioanalyysi että t-testi osoittivat suuntauksen, että MC-ryhmällä oli korkeampi F0 ja enemmän perturbaatiota kuin FC-ryhmällä. Suuntaus tuli esille eri mittausajankohdissa (taulukko 13). Poikkeuksena oli kuitenkin ensimmäisen mittauspäivän viimeinen nauhoitustilanne, jolloin äänioireiden sekä muuttujista F0:n ja jitterin välinen yhteys oli vastakkainen yleiselle suuntaukselle (taulukko 13: mittausajankohta I:4). Tällöin usein oireita kokevan koehenkilön fonaatio oli matalampi, ja hänellä oli enemmän jitteriä äänessään kuin vähäoireisemmalla koehenkilöllä.

Taulukko 13: Objektiiivisesti mitattujen muuttujien ja koettujen oireiden välinen yhteys. Tulokset koskevat välitunneilla nauhoitettua mahdollisimman pitkää fonaatiota. Taulukkoon on merkitty ne ajankohdat, joissa FC- (n = 4) ja MC-ryhmät (n = 7) erosivat toisistaan merkitsevyydestin mukaan (Wilcoxon Rank Sum W testin p-arvo; sulkuihin merkitty koehenkilöryhmä, jonka arvot olivat suuremmat) tai joissa objektiiivisesti mitatut muuttujat korreloivat koettujen äänioireiden kanssa (r; p-arvo suluissa)

Muuttuja	Mittausajankohdat	Merkitsevyydestin (p-arvo)		Korrelaatioanalyysi (r)	
		[a] ¹	[a] ²	[a] ¹	[a] ²
F0	I:4				-0,84 (0,02)
	II:1	0,07 (MC)	0,053 (MC)	0,74 (0,02)	0,74 (0,04)
	II:2	0,03 (MC)	0,019 (MC)		0,57 (0,081)
Jitter	I:4		0,05 (MC)	0,056 (0,07)	0,61 (0,08)
	III:1			-0,65 (0,081)	
Shimmer	III:4	0,051 (FC)	0,024 (FC)	-0,66 (0,072)	-0,64 (0,091)

Merkkien selitykset: [a]¹ = pitkän fonaation alkuosa, [a]² = pitkän fonaation loppuosa. Mittauspäivät: I = ensimmäinen, II = toinen ja III = kolmas mittauspäivä. Mittausajankohdat: 1 = ennen ensimmäistä oppituntia; 2 = ensimmäisen oppitunnin jälkeen; 3 = lounaan jälkeen; 4 = viimeisen oppitunnin jälkeen.

Koko aineistosta (= kaikkien ajankohtien muuttujat yhteenlaskettuina) ainoastaan yksi muuttuja erotteli enemmän ja vähemmän äänioireita kokevat koehenkilöt toisistaan: F0:n SD oli MC-ryhmällä merkitsevästi suurempi kuin FC-ryhmällä ([a]:n alkuosa p = 0,006; [a]:n loppuosa p = 0,037).

Koska tutkimusaineisto oli pieni, on mahdollista, että tilastollisessa käsittelyssä jokin tulos ei ole päässyt esille (esim. Läärä 1988; Norusis 1990). Jotta saataisiin viitteitä, miten aineiston laajentaminen vaikuttaa tuloksiin, laskettiin jokainen ääninäyte omaksi havinnokseen. Ryhmien ero laskettiin Studentin parittaisella t-testillä, jonka mukaan F0 oli MC-ryhmällä korkeampi ([a]:n alkuosa t = -2,65, df = 221, p = 0,009; [a]:n loppuosa t = -4,22, df = 188, p = 0,00) ja shimmer matalampi ([a]:n alkuosa t = 2,18, df = 222, p = 0,03, [a]:n loppuosa t = 1,67, df = 191, p = 0,097) kuin FC-ryhmällä.

5.5.2 Opetuspuhe (IV, V,VI)

Tulosten mukaan koehenkilön äänioireiden summamuuttujalla oli yhteyttä F0:n ($r = 0,28$, $p = 0,00$), F0:n SD:n ($r = 0,21$, $p = 0,002$) ja SPL:n ($0,27$, $p = 0,00$) kanssa (VI). Vastaava tulos saatiin myös pienemmän aineiston (IV) yksittäisissä mittausajankohdissa, joissa F0-aika korreloi oireisiin ensimmäisen oppitunnin keskellä ($r = 0,64$, $p = 0,047$), viimeisen oppitunnin alussa ($r = 0,55$, $p = 0,1$) ja lopussa ($r = 0,57$, $p = 0,08$), sekä SPL ($r = 0,64$, $p = 0,045$) ja F0 ($r = 0,58$, $p = 0,07$) korreloivat ensimmäisen oppitunnin keskellä. Tulosten tulkinta on, että objektiivisesti mitattujen muuttujien arvojen kasvaessa äänioireiden määrä lisääntyi.

Varianssi- ja korrelaatioanalyysi antoivat hieman erilaisen tuloksen koehenkilöiden äänestä. Varianssianalyysin mukaan spektrissä ei ollut parametrien tasojen ja koettujen äänioireiden välillä tilastollisesti merkitsevää vuorovaikutusta (between subjects, b.s.), eli koehenkilöryhmien spektrit eivät eronneet toisistaan. Sen sijaan korrelaatioanalyysi osoitti heikon yhteyden äänenkäytön vaikeuksien ja parametrin L1–L0 välillä ($r = -0,274$, $p < 0,05$). Tämä tarkoittaa, että koehenkilöillä, joilla oli suurempi taipumus kokea ääniongelmia, oli suurempi suhteellinen L0:n energiataso, eli heidän äänentuottotapansa oli akselilla vuotoinen - puristeinen enemmän vuotoiseen suuntaan kuin vähemmän ja harvemmin oireita kokevilla koehenkilöillä. Lisäksi korrelaatioanalyysin mukaan parametrilla L1–L5 oli positiivinen yhteys äänenkäytön vaikeuksiin ($r = 0,384$, $p < 0,01$) ja suhde oli selvin viimeisen oppitunnin keskiosassa ($r = 0,695$, $p < 0,05$). Näistä voidaan tulkita, että spektrin kaltevuus jyrkkeni eli äänentuottotapa muuttui vuotoiseen suuntaan koehenkilöiden äänenkäytön vaikeuksien lisääntyessä.

Lisäksi tutkittiin oppitunneilla mitatuista muuttujista muiden paitsi spektrin yhteyksiä yksittäisiin äänioireisiin (VI). Kaikki muuttujat, varsinkin F0 ja SPL, korreloivat useisiin oireisiin. Yhteydet olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta positiivisia, vaikkakaan eivät kovin voimakkaita ($r = 0,16-0,32$, $p \leq 0,05$). Tulosten mukaan äänioireiden vaikeutuessa F0 ja SPL nousivat, F0:n SD ja SPL:n SD laajentuivat ja F0-aika kasvoi. Poikkeuksena oli F0-ajan yhteys oireeseen "palan tai liman tunne kurkussa" ($r = -0,21$, $p = 0,003$). Suhde oli käänteinen ja ilmaisee, että koehenkilö puhui sitä vähemmän, mitä enemmän hän koki tätä oiretta.

Lineaarista regressioanalyysia varten luotiin uusia muuttujia, joiden avulla haluttiin tutkia, selittivätkö muuttujien muutokset koettuja oireita. Tämä tehtiin siten, että eri ajan-kohtina mitattujen muuttujien arvoille laskettiin niiden erotus, esimerkiksi F0(T2) - F0(T1). Tämä erotus kuvaa esimerkkitapauksessa sitä, miten ääni oli muuttunut ensimmäisen oppitunnin alun ja keskiosan välillä. Muuttujien erot laskettiin kaikkien mittausajankohtien välille kaikille objektiivisesti mitatuille muuttujille. Regressioanalyysin mukaan mitatuilla muuttujilla oli vahvin yhteys oireeseen "ääni ei kanna melussa" (selitysosuus 59 %) ja "ääni katkeilee" (selitysosuus 42 %). Äänioireita ennusti paremmin muuttujien taso kuin muuttujissa tapahtunut muutos. Muuttujista F0, F0:n SD ja indeksi ennustivat äänioireen määrää useimmin, ja ajankohdista T2 ja T6 olivat niitä hetkiä, joissa ennuste useimmin toteutui.

5.6 Työpäivän aikainen muutos (V, VI)

5.6.1 Koko ryhmä

F0:n, SPL:n, näiden keskihajontojen (F0:n SD ja SPL:n SD) ja F0-ajan päivän aikaisia muutoksia tarkasteltiin sekä koko oppitunnin keskiarvoja että eri mittausajankohtien keskiarvoja vertailemalla (VI). Viimeisen oppitunnin F0:n keskiarvo oli 9,7 Hz ($t = -3.68$, $df = 32$, $p = 0,00$) korkeampi ja F0:n SD 2,3 Hz laajempi ($t = -2,46$, $df = 32$, $p = 0,02$) kuin ensimmäisen oppitunnin. Eri mittausajankohtien välillä tapahtui useita tilastollisesti merkitseviä muutoksia. F0 muuttui useimmin: viimeiseltä oppitunnilta mitatut F0:n arvot olivat korkeampia kuin ensimmäisen tunnin arvot. Koska SPL vaikuttaa F0:aan (Gramming 1988), laskettiin muuttujien muutosten korrelaatiot (liite 4). Analyysin pohjalta tehdyn arvion mukaan SPL ei ole voinut yksiselitteisesti olla F0-muutosten taustalla (ks. osajulkaisun VI taulukko 2). Muista objektiivisesti mitatuista äänen piirteistä F0:n SD ja SPL:n SD muuttuivat tilastollisesti merkitsevästi. F0:n SD oli laajentunut siirryttäessä ensimmäisen oppitunnin keskikohdalta viimeisen oppitunnin alkuun, ja SPL:n SD:n arvot olivat merkitsevästi pienempiä ensimmäisen oppitunnin keskiosassa verrattuna kaikkiin muihin mittausajankohtiin.

Myös spektrin parametrit L1–L2 [within-subjects, w.s. : $F(1,8) = 2,65$; $p = 0,037$] ja alfa [w.s., $F(1,8) = 3.36$; $p = 0,012$] muuttuivat työpäivän aikana tilastollisesti merkitsevästi (V). Tuloksen mukaan taajuusalueen 2–5 kHz ja ensimmäisen formantin alueen energiatasojen ero pieneni, mikä tarkoittaa spektrin loivenemistä työpäivän aikana. Parametri alfan muutos ilmentää samaa asiaa. Tuloksen mukaan koehenkilöiden äänentuottotapa muuttui vuotoinen - puristeinen-akselilla puristeiseen suuntaan. Ensimmäisen oppitunnin alun ääninäyte erosi tilastollisesti merkitsevästi vain ensimmäisen oppitunnin keskiosan näytteestä. Ero näkyi parametrissa L1–L0 [$F(1,8) = 17,94$; $p = 0,002$] ja parametrissa alfa [$F(1,8) = 16,02$; $p = 0,004$]. Molemmissa parametreissa arvot pienenevät. L1–L0-tason kohdalla tämä tarkoittaa sitä, että suhteellinen energiataso nousi ensimmäisen harmonisen osasävelen taajuusalueella verrattuna ensimmäisen formantin tasoon ja näin äänentuottotapa muuttui vuotoiseen suuntaan. Tulkinta parametri alfan muutokselle on sama.

5.6.2 Vähän ja paljon äänioireita kokevat koehenkilöt

Objektiivisesti mitatut äänen piirteet muuttuivat FC- ja MC-ryhmillä eri tavoin. FC-ryhmällä viimeisen tunnin kaikkien mittausajankohtien F0 oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin ensimmäisen tunnin alussa ja keskiosassa (VI). Sen sijaan MC-ryhmällä oli vain yhden mittausajankohdattarin välillä tilastollisesti merkitsevä ero (T2–T6).

Ryhmät erosivat myös siinä, että MC-ryhmällä F0:n SD oli laajentunut (T1–T4), mutta FC-ryhmällä ei. Vaikka yleinen suuntaus oli, että muuttujien arvot kasvoivat työpäivän edetessä, niin muutaman ajankohdan välillä oli myös laskua. FC-ryhmällä laskua oli siir-

ryttäessä ensimmäisen oppitunnin alusta saman oppitunnin keskiosaan (muuttujat SPL ja SPL:n SD) ja MC-ryhmällä siirryttäessä ensimmäisen oppitunnin keskiosasta viimeisen oppitunnin vastaavaan ajankohtaan (F0-aika).

Spektrissä parametri L1–L5 muuttui ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi eri tavoin [w.s., $F(1,8) = 3,03$; $p = 0,021$; V]. FC-ryhmän spektrin kaltevuus loiveni työpäivän aikana, mikä osoitti äänenlaadun muuttuneen puristeiseen suuntaan. Sen sijaan MC-ryhmän spektri muuttui hyvin vähän. Ryhmien välinen ero tuli esille viimeisen oppitunnin alussa [w.s., L1–L5: $F(1,8) = 5,93$; $p = 0,041$] ja erityisesti viimeisen oppitunnin keskiosassa [w.s. L1–L2: $F(1,8) = 16,41$; $p = 0,004$; L1–L5: $F(1,8) = 17,32$; $p = 0,003$; alfa: $F(1,8) = 7,042$; $p = 0,029$]. Myös näissä kohdin näkyi suuntaus, että vähäoireisilla koehenkilöillä spektri loiveni ja runsasoireisilla muutos oli hyvin vähäinen.

5.7 Äänenkäytön kuormituksen indeksi (IV, VI)

Äänenkäytön kuormituksen indeksi ja koetut äänioireet olivat molemmissa tutkimuksissa yhteydessä toisiinsa siten, että koehenkilön indeksi oli sitä korkeampi, mitä enemmän hän koki äänenkäytön vaikeuksia (IV: $r = 0,66$, $p = 0,038$; V: $r = 0,2$, $p = 0,005$). Kullekin ajankohdalle laskettiin myös erillinen indeksi sekä analysoitiin indeksien yhteyksiä koehenkilöiden kokemiin äänioireisiin (VI). Oireella "ääneni rasittuu, kun joudun puhumaan pitkään" oli eniten yhteyksiä eri ajankohtien indekseihin, ja ajankohta, jossa oli eniten ja voimakkaimpia yhteyksiä, oli T2. Tulkinta oli yhdenmukainen koko aineistolle lasketun indeksin kanssa. Poikkeuksena edellisille korrelaatioille oli ajankohdan T5 ja oireen "palan tai liman tunne kurkussa" välinen käänteinen yhteys. Jos indeksin arvo oli korkea, niin koehenkilöllä oli harvoin tätä oiretta.

Indeksillä oli voimakkaampi yhteys äänioireisiin kuin kummallakaan sen kertoimella erikseen (IV). F0-ajan ja äänioireiden korrelaatiokerroin oli 0,55 ($p = 0,098$) ja F0:n ja äänioireiden kerroin 0,17 (n.s.). Täydennyksenä osajulkaisuihin tutkittiin myös regressioanalyysillä kertoimien osuutta indeksiin (VI osatutkimuksen aineisto). Analyysi valitsi ensin F0-ajan yhtälöön, jolloin selitysosuus oli 90 %. F0:n lisääminen nosti selitysosuuden 99 %:iin. Molempien muuttujien osuus oli tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,00$).

6 Pohdinta

Tutkimuksella oli kaksi tavoitetta. Ensinnäkin tutkimuksessa kehitettiin kenttätutkimukseen soveltuva tutkimusmenetelmä ja tarkoituksena oli arvioida sen toimivuutta. Tutkimusmenetelmää arvioitiin pohtimalla tutkimusasetelman vahvuuksia ja heikkouksia sekä tarkastelemalla eri ääninäytteiden ja mittausympäristöjen vaikutuksia muuttujien arvoihin. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää, miten taipumuksella kokea äänioireita oli yhteyttä objektiivisesti mitattuihin muuttujiin ja minkälaisia kuormitusmuutoksia äänessä tapahtui työn aikana.

6.1 Kenttätutkimusmenetelmän arviointi

6.1.1 Nauhoitukset ja tutkimusaineisto

6.1.1.1 Nauhuri ja nauhoitus

Tämän tutkimuksen suorittamiseen vaikutti se, että koehenkilöt joutuivat tekemään nauhoitukset itsenäisesti ennakolta annettujen ohjeiden mukaan eikä tutkijaa ollut välittömästi saatavilla, jos tarvetta olisi ilmennyt. Tällaisessa tilanteessa on tärkeää, että koehenkilön muistettavaksi jää mahdollisimman vähän asioita ja tutkimukseen liittyvät toimenpiteet ovat helppoja ja ehkä jo ennalta tuttuja. Näistä syistä etua oli siitä, että nauhoituslaitteena oli nauhuri, joka oli kuin mikä tahansa kotinauhuri, vain pienemmässä koossa. Laitteen käytön oppimiseen ei mennyt aikaa, eivätkä koehenkilöt tunteneet ennakkopelkoa tai epävarmuutta laitteen käyttöä kohtaan. Opettajien oman käsityksen mukaan nauhuri ei häirinyt opetusta eikä oppilaita. Tätä näkemystä vahvistivat myös nauhalta hyvin luontevilta kuulostavat luokkatilanteet.

Lisäksi koehenkilöiden itsenäisyyttä edellyttävissä tutkimuksissa tehtävien täytyy olla sellaisia, että koehenkilö motivoituu niiden tekemiseen. Tällaisia tehtäviä ovat sellaiset, jotka ovat helposti opittavissa ja muistettavissa sekä nopeasti ja vaivattomasti tehtävissä.

Välituntinauhitusohjelma täytti pitkälti nämä edellytykset. Ääninäytteistä lukunäyte ja mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio ovat myös kliinisen työn kannalta mielekkäitä, sillä puheterapeutit ja foniatriit ovat tottuneet käyttämään molempia tutkiessaan ääntä. Mahdollisimman pitkään tuotettu fonaatio on myös kansainvälisesti kliinisessä työssä yksi tavallisimmista äänen arviointimenetelmistä (Hirano 1989). Niin ikään molemmat näytteet ovat myös tieteellisissä tutkimuksissa käytetyimpiä, joten mitattuja arvoja voidaan verrata tietyin rajoituksin myös näihin tuloksiin. Tutkimuksissa mahdollisimman pitkää fonaatiota suositumpi on ollut kuitenkin 2–6 sekunnin ääntö (ks. esim. Dwire & McCauley 1995; Gelfer 1995; Huang ym. 1995). Äännön pituus saattaa vaikuttaa akustiisiin muuttujiin, mitä seikkaa käsitellään tarkemmin kohdassa 6.1.2.2. "Välitunnit ja mahdollisimman pitkä fonaatio".

Nauhurin käyttöön perustuvan tutkimusmenetelmän etuna on lisäksi se, että ääninäytteistä ovat analysoitavissa useimmat objektiivisesti mitattavat äänen piirteet, toisin kuin muiden kenttätutkimuksessa käytettyjen menetelmien aineistoista (Kitzing 1979; Watanabe ym. 1987; Ohlsson 1988; Masuda ym. 1993; Buekers ym. 1995). Lisäksi äänitteistä voidaan tehdä kuulohavaintoarviointi, ja niistä voidaan tarvittaessa myös tarkistaa tilanne, joka on johtanut tietynlaiseen äänenkäyttöön.

Mitä enemmän tehtävä vaatii muistamista, sitä enemmän unohdetaan. Tämä näkyi tässä tutkimuksessa äänenvoimakkuuden säätämisessä. Esitutkimusvaiheessa koehenkilöt käyttivät samaa nauhuria sekä oppitunti- että välituntinauhituksissa, jolloin he joutuivat säätämään erikseen äänitystason molemmissa tilanteissa. Tämä unohtui kuitenkin helposti. Ongelmaa yritettiin ratkaista rakentamalla vaimennin, jonka opettaja liitti nauhuriin aina oppituntinauhitusten ajaksi, mutta tämäkin vaati liikaa muistamista. Lopulta parhaaksi ratkaisuksi osoittautui, että koehenkilöt tekivät oppitunti- ja välituntinauhitukset eri nauhureilla. Tällöin heidän ei tarvinnut kiinnittää säätöihin mitään huomiota. Toinen muistamista vaativa asia olivat välituntinauhitukset. Niitä oli monta kertaa päivässä, ja jos opettaja sai jonkin yllättävän tehtävän suoritettavakseen, nauhoitus unohtui helposti. Suurimmalla osalla opettajista jokin välituntinauhitus jäikin tekemättä.

Oppitunnilla nauhoituksen epäonnistumisen saattoi aiheuttaa se, että jokin nauhurin säädöistä oli vahingossa muuttunut. Häiriöiden välttämiseksi peitettiin kaikki kytkimet teipeillä nauhoitusten ajaksi. Suojapaneeli olisi tähän kehittyneempi ratkaisu. Lisäksi oppituntinauhituksessa yllättäen tyhjentynyt akku saattoi aiheuttaa häiriötä huolimatta siitä, että se oli ladattu täyteen. Tämän estämiseksi koehenkilöt latasivat akut aina nauhoituksen jälkeen ja ottivat oppitunnille vara-akun mukaan.

Analyyysivaiheessa tuli esille DAT-nauhurin käyttöön liittyvä ongelma. Nauhurit osoittautuivat yksilöllisiksi siten, että jos nauhoitusta purettiin eri nauhurilta, kuin millä se oli tehty, ääni saattoi väristä, tai kaikkia nauhoituksen osia ei kuulunut. Ongelman välttämiseksi samaa nauhuria käytettiin sekä nauhoituksessa että analyysissa.

6.1.1.2 F0-mittarin heikkoudet

F0:n mittauksessa ongelmana oli mittarin vaikeus seurata nopeita ja suuria äänen vaihte-luja, jotka ovat luonteenomaisia erityisesti opetuspuheelle. Varsinkin puheilmausten alut ovat tällaisia kohtia (Lieberman 1961; Koike 1973). Virhemittaukset näkyivät F0-käyräs-

sä kapeina piikkeinä. Näiden äkillisten, nopeiden vaihteluiden vähentämiseksi voidaan signaalia sekä suodattaa että vahvistaa, mikä tehdään ennen signaalin johtamista F0-mittariin. Osoittautui, että vahvistus vaikutti voimakkaammin F0-käyrään kuin suodatus. Kun piikkikkyys oli saatu poistettua signaalista sopivalla vahvistuksella, ongelmaksi muodostui se, että signaali oli jäänyt liian hiljaiseksi eikä mittari kyennyt enää lukemaan koehenkilöiden ilmausten loppuja. Kaiken puheeseen kuuluvan äänen saamista analyysiin pidettiin kuitenkin tärkeämpänä kuin virheetöntä F0-mittausta, joten päätettiin hyväksyä jonkin verran häiriöinen F0-käyrä. Mittausvirheen suuruuden arvioimiseksi laskettiin muutamasta ääninäytteestä piikkien määrä, joka jäi kuitenkin niinkin pieneksi kuin 0,4–0,5 %:ksi ääninäytteestä. Kirjallisuudessa on esitetty, että yksi ratkaisu F0-signaalin virheiden korjaamiseksi voisi olla digitaalisten suodattimien käyttö (ks. esim. Nilsonne 1987). Suodattimia ovat esimerkiksi keskiarvo- ja mediaanisuodatus, jotka nimensä mukaisesti laskevat ääninäytteestä tietyin välimatkoin mediaanin, keskiarvon tai molemmat ja näin leikkaavat voimakkaimmat poikkeamat käyrästä pois.

F0:n mittauksessa virhettä voi aiheuttaa myös se, että mittari analysoi perustaajuuden sijasta toisen harmonisen osasävelen taajuuden. Tässä aineistossa tätä virhettä ei ollut tapahtunut, mikä tarkistettiin laskemalla manuaalisesti F0 niistä ääninäytteistä, joissa virhelaskennan vaara oli suurin. Samoin mittausvirhettä voivat aiheuttaa sellaiset äänet, joissa äänihuulien värähtely ei ole tasaista (Askenfelt & Hammarberg 1986; Nilsonne 1987). Koska tutkimuksen lopullisena tavoitteena oli selvittää puhujan äänessä tapahtuvia muutoksia, eli kukin koehenkilö toimi omana verrokkinaan, niin todennäköisesti mittausvirhe oli systemaattinen eikä näin vääristänyt tulosta merkittävästi. Myöhemmin F0-mittarista aiheutuva vääristymä poistuu, sillä analyysilaitteistoon on suunnitteilla tietokoneohjelma, joka mittaa F0-signaalin digitaalisesti.

6.1.1.3 Äänitystason säätäminen ja kalibrointi

Koehenkilöiden oli vaikea arvioida äänenvoimakkuuttaan, mikä tuli esille äänitystason säädössä. Äänitystaso säädettiin aluksi siten, että kukin opettaja antoi näytteen oppitunnilla käyttämästä äänestään. Yleensä tämä menetelmä toimi, mutta muutama opettajista aliarvioi luokkaäänensä voimakkuuden. Näitä olivat varsinkin ne opettajat, joilla oli hälyinen luokka ja taipumus käyttää voimakasta ääntä oppitunnilla. Näiden opettajien kohdalla nauhurin dynaamisen alueen yläraja ylittyi voimakkaimmissa puhejaksoissa. Käytännössä osoittautui parhaimmaksi ratkaisuksi säätää nauhurin vahvistus ennakolta varsin alhaiselle tasolle ja kaikille koehenkilöille samaksi.

Tutkimuksissa on usein kalibrointisignaali äänitetty nauhalle ennen ääninäytteiden tallennusta (esim. Gelfer ym. 1991; Pekkarinen ym. 1993). Tässä tutkimuksessa äänitystason kalibrointiä ei voitu kuitenkaan tehdä näin, sillä koehenkilöt ja äänigeneraattori sijaitsivat eri paikoissa eli koehenkilöt kouluissa ja generaattori äänilaboratoriossa. Ongelman ratkaisua etsittäessä kalibrointisignaali kokeiltiin myös ihmisääntä (tutkijan ääni). Äänenvoimakkuutta oli kuitenkin mahdoton pitää riittävän tasaisena, jotta se olisi sopinut tarkoitukseen. Kokeiluissa päädyttiin siihen, että nauhurin äänitystaso kirjattiin tarkasti ylös ja kalibrointisignaali, joka oli siniääntä, äänitettiin nauhalle jälkikäteen laboratoriossa. Vaikeutena säätimessä oli kirjaamisen näkökulmasta kuitenkin se, että säädin oli liu-

kuva, jolloin tarkkaa kohtaa ei voitu määrittää. Toisena vaikeutena oli säätimen pieni liikumavara: jo parinkin millimetrin siirto vaikutti nauhoitustasoon. Ratkaisuna ongelmaan olisi portaittain liikkuva säädin. Yhtenä ratkaisuna kalibrointiongelmaan voisi olla myös pieni, kannettava signaaligeneraattori, jonka avulla kalibrointisignaali olisi mahdollista äänittää nauhalle tutkimuspaikalla.

6.1.1.4 Taustamelun editointi

Luonnollisessa puhetilanteessa tehdyissä nauhoituksissa on ongelmana aina taustamelu. Jos mikrofoni on kuitenkin hyvin lähellä äänilähdettä, kuten tässä tutkimuksessa, puhe-signaali erottuu yleensä hyvin taustamelusta. Tasainen taustahäly ei siis haitannut tässä tutkimuksessa analyysia. Sen sijaan voimakas paukaus näkyi korkeana piikkinä äänisignaaleissa. Piikin kesto oli yleensä kuitenkin niin vähäinen, että sillä ei ollut vaikutusta muuttujien keskiarvoihin. Tämä tarkistettiin siten, että valittiin puhejakso, jota käsiteltiin kahdella tavalla. Toisessa käsittelyssä taustamelu nollattiin vain niistä nauhoituskohdista, joissa opettaja ei ollut puhunut, ja toisessa käsittelyssä nollattiin myös opettajan puheen aikana puheesta erottuvat korkeat piikit. Tuloksena oli, että puhejaksojen äänisignaalien keskiarvoissa ei ollut eroa. Lisäksi taustahälyn vaikutuksen minimoimiseksi valittiin F0-mittariin johdetun signaalin suodatukseen jyrkin kaltevuus.

Taustamelun editointi oli menetelmän hitain ja työläin vaihe. Tämä on mahdollisesti este myös sille, että menetelmä soveltuu rutiininomaisesti äänihäiriöasiakkaiden nauhoituksiin. Editointiohjelman huonona puolena on myös sen käytön vaatima suuri muistikapasiteetti tietokoneessa. Ratkaisuna voisi olla laite, joka jo nauhoitusvaiheessa kykenee erottamaan äänisignaalin taustahälystä. Jos taustahäly saadaan pois nauhalta ennen nauhan tietokoneanalyysia, editointia ei tarvita lainkaan. Tällöin myöskään audiosignaalia ei tarvittaisi, joten näytteidenottomäärää voitaisiin pienentää. Tämä puolestaan vähentäisi huomattavasti tietokoneen muistin kuormitusta. Kun datan määrä näin supistuisi, niin ohjelmalla olisi kapasiteettia tehdä muuttujien analyysit reaaliajassa. Näin saadulla etuudella olisi kuitenkin yksi haittapuoli: audiosignaalin poistamisen mukana häviää mahdollisuus tarkkailla yksittäisiä nauhoituskohtia. Tämä puute on mahdollista kuitenkin korvata siten, että haluttu nauhoituskohta ajetaan analyysiohjelmaan niin ikään reaaliaikaisesti, jolloin siitä voidaan mitata muuttujien arvot. Myös muunlaiset kuin vain muistin säästöön pyrkivät ratkaisut ovat mahdollisia, sillä tietotekniikan kehittyttyä tietokoneiden kapasiteetti on moninkertaistunut verrattuna tässä tutkimuksessa käytettyyn koneeseen.

6.1.2 Mittausympäristöt ja ääninäytteet

6.1.2.1 Oppitunnit ja opetuspuhe

Opettajien sävelkorkeus oppitunneilla vastasi parhaiten niitä arvoja, jotka on mitattu työpäivän aikana tehdyistä nauhoituksista (Kitzing 1979; Ohlsson 1988). Matalampaa sävelkorkeutta on sen sijaan mitattu niissä spontaaneissa puhetilanteissa, joissa ääninäytteenä on ollut kysymyksiin vastaaminen tai kuvasta kertominen (Britto & Doyle 1990; Fitch 1990; Drew & Sapir 1995; Russel ym. 1995). Vaikuttaisikin siltä, että spontaanina puheena nauhoitetut ääninäytteet eivät ole automaattisesti keskenään verrannollisia, vaan tutkijoiden pitää tarkemmin erotella spontaanit puhetilanteet toisistaan ja kehittää kullekin puhetilanteelle omat normiarvonsa.

Opettajat puhuivat keskimäärin 77.8 dB(A):n voimakkuudella. Tämä siirrettynä 40 cm:n etäisyyteen vastaa 61–64 dB(A):n tasoa ja on keskimäärin keskustelupuheen tasoista (ks. Laukkanen & Leino 1999). Hollantilainen tutkimusryhmä (Buekers ym. 1995) on mitannut joidenkin ammattiryhmien äänenvoimakkuutta. Heidän mittauksensa mukaansa sikäläisen peruskoulun ja lukion opettajien äänenvoimakkuus vastaa hyvin suomalaiskollegojen puhevoimakkuutta. Erityisopettajat ja yliopiston opettajat sen sijaan käyttävät jonkin verran hiljaisempaa ääntä. Ylipäätään opettajien ääni on Buekersin ym. mukaan keskimäärin voimakkaampaa kuin niillä työntekijöillä, joiden ammatissa puhutaan lähietäisyydeltä, kuten sairaanhoitajan, puhelunvälittäjän tai hotellin vastaanottovirkailijan työssä. Sen sijaan urheiluvalmentajien äänenkäyttö on ymmärrettävästi opettajien ääntä voimakkaampaa.

Käsitys, että opettajat puhuvat voimakkaalla äänellä oppitunneilla, ei siis tämän tutkimuksen mukaan pidä paikkaansa. Opettajat ovat ehkä oppineet säästämään ääntään, eivätkä he mahdollisesti ainakaan koko oppituntia käytä kovaa ääntä. Esimerkiksi työtapojen valinnalla opettajat ovat voineet vaikuttivat äänenkäyttöönsä. Lisäksi nauhojen kuuntelu antoi vaikutelman, että opettajien väliset erot äänenkäytössä olivat hyvin suuria. Osa opettajista lähes huusi — yleensä yhdessä meluisan luokan kanssa — mutta osa taas lähes kuiskutteli yksittäisille oppilaille jopa niin hiljaisella äänellä, että analyysissa oli vaikea saada puheesta selvää. Kuuntelun perusteella toiset opettajat eivät todellakaan käytä luokassa aina edes keskustelupuheen voimakkuutta. Näitä havaintoja tukevat myös ääninäytteistä mitatut yksittäiset arvot: kun suuriäänisin opettaja puhui keskimäärin yhden neljän minuutin jakson ajan 96 dB(A):n voimakkuudella, niin hiljaisinta ääntä käyttävän opettajan ääni oli vastaavasti vain 67 dB(A). Lisäksi tietenkin on mahdollista, että äänenvoimakkuudesta saatua tulosta on vääristänyt mittausvirhe, esimerkiksi äänenvoimakkuuden säätö on muuttunut alkuasetusten jälkeen tai mikrofonin etäisyys suusta on siirtynyt. Jos äänitysetäisyys esimerkiksi kaksinkertaistuu, ääni vaimenee noin 6 dB (Fant 1970). Tämä pyrittiinkin ottamaan huomioon analyysija tehtessä, ja tämän vuoksi yhden koehenkilön SPL-arvot poistettiin IV ja VI osatutkimuksen tilastollisesta analyysista.

Opettajat olivat äänessä tämän tutkimuksen mukaan noin kolmasosan oppitunnista. Nämä puheajat ovat pitemmät, kuin mitä kirjallisuudessa on esitetty olevan muissa ammateissa, esimerkiksi lääkäreillä, yrityksen työntekijöillä, kotirouvilla (Watanabe ym. 1987), sairaanhoitajilla, puheterapeuteilla (Ohlsson 1988) tai toimistotyöntekijöillä

(Masuda ym. 1993; ks. myös taulukko 6). Ainoastaan lastentarhanopettajat puhuivat enemmän (Sala ym. 1998). Tämä tukee näkemystä, että yhtenä varteenotettavana syynä äänihäiriöihin ovat pitkät puheajat. Niin ikään näyttäisi myös siltä, että suomalaisten opettajien puheajat olisivat noin 38 % pitemmät kuin amerikkalaisten (Holbrook 1977) tai japanilaisten (Masuda ym. 1993) opettajien. Syynä voivat olla tietysti kulttuurierot, mutta todennäköisempänä selityksenä ovat kuitenkin tutkimusasetelmien eroavuudet. Kun Holbrookin ja Masudan ym. tutkimuksissa koehenkilöillä mittauslaite oli koko ajan päällä, siis myös välitunneilla ja mahdollisten taukojen aikana, niin tässä tutkimuksessa rekisteröitiin vain oppitunti.

6.1.2.2 Välitunnit ja mahdollisimman pitkä fonaatio

Mahdollisimman pitkän fonaation vakaus

Välituntinauhoituksissa epävarmuutta aiheutti se, että nauhoitukset olivat täysin koehenkilöiden omalla vastuulla eikä ennakolta voitu arvioida, kykenivätkö koehenkilöt tuottamaan ääninäytteet riittävän samankaltaisina eri kertoina, jotta näytteet olisivat vertailukelpoisia. Erityisesti tämä koski mahdollisimman pitkänä tuotettua [a]:ta. Tulosten mukaan F0:n ja shimmerin vaihtelu ei ylittänyt peräkkäisissä fonaatioissa 30 %:a, joka on Stonen ja Raineyn (1991) suositus muuttujan vaihtelun raja-arvoksi. Tässä tutkimuksessa F0:n 7 %:n vaihtelu oli jopa hieman vähäisempi, kuin mitä Stone ja Rainey (1991; 10 %) ja Dwire ja McCauley (1995; 8–9,3 %) ovat mitanneet. Jitterin vaihtelu [a]-fonaatioissa oli tässä tutkimuksessa suositusarvoa suurempi ja myös suurempi kuin aiemmissa tutkimuksissa mitattu vaihtelu, joka on ollut 31 % (Dwire & McCauley 1995) tai 48 % (Stone & Rainey 1991). Shimmerin variaatiokertoimelle ei löydy kirjallisuudesta viitearvoja.

Mahdollisimman pitkän fonaation vakautta kuvasi myös se, että peräkkäisten fonaatioiden perustaajuuden keskiarvot erosivat toisistaan hyvin vähän ja shimmerissä muutosta ei ollut lainkaan. Yksilön sisäiset erot olivat ryhmän keskiarvoja suurempia, mutta niissäkään erot eivät olleet kovin isoja. F0:n vaihtelu oli enintään vain 10 Hz ja shimmerin noin 0.2 dB. Mielenkiintoista koehenkilöiden välisissä eroissa oli se, että suurin perustaajuuden vaihtelu peräkkäisissä fonaatioissa oli niillä opettajilla, jotka kokivat eniten äänenkäytön vaikeuksia. Tämä osoittaisi, että äänivaikeuksien yhtenä oireena saattaa olla epävakaa äänentuotto. Lisäksi samasta fonaatiosta otettujen peräkkäisten mittausnäytteiden vertaaminen osoitti, että mittaus ja analyysi on syytä tehdä samasta kohdasta näytteitä. Vaikka ero ei olekaan suuri, niin se on systemaattinen F0:n ja shimmerin kohdalla. Tässäkin mittauksessa tuli esille jitterin suurempi vaihtelu verrattuna toisiin muuttujiin.

Tässä tutkimuksessa jitterin arvot vaihtelivat peräkkäisissä äännoissa niin paljon, että muuttujan luotettavuuteen on suhtauduttava varauksellisesti. Mahdollisesti jitter on shimmeriä alttiimpi ulkoisille häiriöille, kuten esimerkiksi mikrofonin pienillekin etäisyyden muutoksille (Titze & Winholz 1993; Winholz & Titze 1997). Myös taustamelu ja sen muutokset ovat saattaneet vaikuttaa tuloksiin. Tähän antavat viitteitä tutkimustulokset, joiden mukaan nauhurilta analysoidussa äänitteessä on enemmän perturbaatiota kuin kurkunpään kohdalta tehdyssä rekisteröinnissä (Hori 1982; Horiguchi ym. 1987; Sussman & Sapienza 1994) tai suoraan mikrofonin kautta tietokoneelle johdetussa ääninäytteessä (Gelfer & Fendel 1995). Vaikka F0 vaikuttaakin perturbaatioon (ks. taulukko 2), tässä tut-

kimuksessa se ei tullut näkyviin jitterissä eikä shimmerissä. Ilmeisesti F0:n muutokset, jotka suurimmalla osalla jäivät alle 10 Hz:n (alle puolisävelaskelta), olivat niin pieniä, että niillä ei ollut vielä vaikutusta. Aiemmissä tutkimuksissa F0 muutti perturbaatioarvoja merkitsevästi vasta, kun sävelkorkeus oli oktaavin yli puhujalle luonteenomaisen korkeuden (Gelfer 1995) tai suuntaa-antavasti, kun sävelkorkeus nousi yli kuuden puolisävelaskelen (Verstraete ym. 1993).

Vaikka tässä tutkimuksessa pitkään tuotettu fonaatio osoittautui varsin vakaaksi, aiemmissä tutkimuksissa (esim. Fitch 1990) sitä ei ole aina pidetty kovinkaan luotettavana. F0:n reagoitiherkkyyttä osoittaa myös eri tutkimuksissa mitattujen F0:ien vertailu (ks. taulukko 3). Näistä syistä esimerkiksi Scherer, Vail ja Guo (1995) ovatkin sitä mieltä, että jos ääninäytteenä halutaan käyttää fonaatiota, yksi näyte ei riitä. He suosittelevat useita peräkkäisiä fonaatioita, peräti yli 15:tä, jotta saataisiin puhujan äänentuotosta luotettava kuva. Jitterin kohdalla tämänkin tutkimuksen perusteella suositus vaikuttaa aiheelliselta, mutta kahden muun muuttujan osalta se tuntuu ylimitoitettulta.

Ristiriitaa tämän tutkimuksen ja aiempien tutkimusten tulosten välillä voi selittää fonaation pituus. Aiemmissä tutkimuksissa fonaatio on ollut usein lyhyt, muutamia sekunteja kestävä ääntö, mutta tässä tutkimuksessa koehenkilöt äänsivät [a]:ta niin pitkään kuin jaksoivat. Fysiologisesti nämä fonaatiot poikkeavat toisistaan: mahdollisimman pitkässä fonaatiossa koehenkilöt joutuvat vetämään keuhkonsa täyteen ilmaa, kun lyhyessä fonaatiossa taas keuhkojen ilmamäärä jää pienemmäksi. Lisäksi lyhyessä fonaatiossa keuhkojen ilmamäärä saattaa vaihdella paljon jo peräkkäinkin tuotetuissa fonaatioissa, ja mitä todennäköisimmin myös koehenkilöiden välillä keuhkojen ilmamäärät eroavat toisistaan. Mitä suurempi on keuhkojen ilmamäärä ja pallean lasku, sitä voimakkaampi on henkitorvenveto ja tätä kautta kurkunpään lasku (Zenker & Glaninger 1959; Zenker & Zenker 1960; Sundberg ym. 1988; Iwarsson ym. 1996; Vilkmán ym. 1996, kirjallisuuskatsaus). Tässä tutkimuksessa mahdollisimman pitkä fonaatio on ehkä auttanut koehenkilöitä tuottamaan fonaation varsin samanlaisena kerrasta toiseen: kun henkitorvenveto vakioitiin, myös kurkunpään asento tuli vakioituksi. Sen sijaan lyhyessä fonaatiossa kurkunpään asento ja näin myös äänentuotto ovat voineet ennustamattomasti vaihdella keuhkojen ilmamäärän mukaan.

Tässä tutkimuksessa ei perturbaatioanalyysissa voitu ottaa huomioon mittausteknisistä syistä SPL-tasoa, joka joidenkin tutkimusten mukaan vaikuttaa perturbaatioarvoihin (ks. taulukko 2). Aiemmissä tutkimuksissa on yleensä käytetty kuitenkin varsin suuria äänenvoimakkuuden muutoksia, noin 5 dB:n (Huang ym. 1995) tai 10 dB:n voimakkuuden lisäyksiä (Orlikoff & Kahane 1991; Gelfer 1995), joten niiden antamia tuloksia ei voida soveltaa tähän tutkimukseen. Pienen äänenvoimakkuuden vaikutusta on tutkinut Dejonckere (1998), jonka mukaan keskimäärin 2.6 dB:n lisäys äänessä vähensi perturbaatiota. Vaikka perturbaatio vähenikin tilastollisesti merkitsevästi, arvot eivät pienentyneet paljon eivätkä varsinkaan jitterin kohdalla. Tuloksen soveltaminen tähän tutkimukseen jää kuitenkin epävarmaksi, sillä Dejonckeren tutkimusasetelmassa koehenkilöillä oli äänihäiriö.

Muuttujien arvot

Jitterin ja shimmerin arvoja ei ole mielekästä verrata kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin monien niihin vaikuttavien ulkoisten tai sisäisten tekijöiden vuoksi (ks. taulukko 2). Sen sijaan pidennetyn fonaation F0 on vertailukelpoinen, ja tässä tutkimuksessa se oli 17–73 Hz matalampi kuin aiemmissa tutkimuksissa mitatut F0-arvot (Schoentgen 1989; Britto & Doyle 1990; Fitch 1990; Sabol, Lee & Stemple 1995). Kuulohavaintona ero on yhdestä seitsemään puolisävelaskelta. Eroavuutta aiempiin tutkimuksiin on mahdollista selittää usealla tavalla. Yhtenä syynä voi olla ikääntymisen mukanaan tuoma sävelkorkeuden lasku (Linville 1988; Pegoraro Krook 1988; Russel ym. 1995), sillä aiempien tutkimusten koehenkilöt olivat noin 15–25 vuotta tämän tutkimuksen koehenkilöitä nuorempia. Ikä ei kuitenkaan voi ilmeisesti kokonaan selittää näin suurta sävelkorkeuden eroa. Toisena syynä voi olla kulttuuriero: suomalainen kulttuuri suosii matalaa ääntä (Laukkanen ym. 1999). Niin ikään puhujien väliset erot sekä ääniluokkaerot voivat olla suuria. Esimerkiksi Laukkasen ja Leinon (1999) tutkimuksessa luennassa F0:n keskiarvo vaihteli naisopiskelijoilla 151 Hz:stä 246 Hz:iin.

Kolmantena selityksenä tämän tutkimuksen matalampaan F0:aan aiempiin tutkimuksiin verrattuna on mahdollisesti se, että tässä tutkimuksessa koehenkilöt ovat vältäneet vaaran tuottaa pidennetty fonaatio liian korkealta, "laulumaisesti", kuten edellä mainituissa tutkimuksissa koehenkilöt ovat mahdollisesti tehneet ja joka myös käytännön kokemuksen mukaan on vaarana tässä ääninäytteessä. Pidennetyn fonaation tuottaminen lauluäänän korkeudella näkyy erityisesti niissä tutkimuksissa, joissa samoilta koehenkilöiltä on nauhoitettu fonaation lisäksi myös lukemista tai spontaania puhetta (ks. taulukko 4). Tämän tutkimuksen koehenkilöiden sävelkorkeus (187 Hz) vastasikin paremmin lukunäytteistä mitattua samanikäisten puhujien sävelkorkeutta (180–220 Hz; Baken 1987; Pegoraro Krook 1988). Fonaation nousua liian korkeaksi on mahdollisesti estänyt se, että koehenkilöille opetettiin keino etsiä itselle tyypillinen sävelkorkeus Cooperin (1973) hymähdysmenetelmän avulla. Ohje oman sävelkorkeuden löytämiseksi olikin ilmeisesti tarpeen, sillä koehenkilöt totesivat usein ohjaustilanteessa, että he eivät tienneet, mikä oli "se oma korkeus", jolla fonaatio pitäisi ääntää. Aiemmista tutkimuksista ei useinkaan tule esille, kiinnitettiinkö fonaation tuottamiskorkeuteen ennakoita huomiota (ks. esim. Schoentgen 1989). Yhtenä poikkeuksena on kuitenkin Sabolin ym. (1995) tutkimus. Siinä nauhoitettiin ennen tutkimusta koehenkilöiden puhetta, jota sitten soitettiin malliksi ennen fonaation ääntöä. Näin mitattuna fonaation F0 vastasi hyvin keskimääräistä naisten puheäänän tasoa (203.5 Hz).

Tässä tutkimuksessa koehenkilöiden matalaan F0-tasoon on saattanut vaikuttaa myös henkitorvenveto (Zenker & Glaninger 1959; Zenker & Zenker 1960; Sundberg ym. 1988; Iwarsson ym. 1996; Vilkmann ym. 1996, kirjallisuuskatsaus). Mahdollisimman pitkässä fonaatiossa koehenkilöt joutuivat vetämään keuhkonsa täyteen ilmaa, ja Iwarssonin ja Sudbergin (1998) mukaan F0 laskee sitä enemmän, mitä täydempänä keuhkot ovat. Henkitorvenvedon vaikutus äänentuottoon ja etenkin pidennettyyn fonaatioon on mahdollisesti suurempi, kuin tähän asti on osattu ottaa huomioon.

6.1.2.3 Laboratorio ja lukunäyte

Lukunäytteen F0 vastasi aiemmista tutkimuksista saatuja tuloksia (Kitzing 1979; Baken 1987; Fitch 1990). Kuitenkin myös joitakin matalampia (Pegoraro Krook 1988; Britto & Doyle 1990; Södersten & Hammarberg 1993; Russel ym. 1995) ja korkeampia arvoja (Drew & Sapir 1995; Sapienza & Stathopoulos 1995) on mitattu.

6.1.2.4 Ääninäytteiden ja nauhoitustilanteiden vastaavuus F0:n kannalta

Tämän tutkimuksen perusteella ääninäytteet erosivat toisistaan. Pitkä fonaatio tuotettiin ääninäytteistä matalimmalla sävelkorkeudella, ja F0 oli korkein opetuspuheessa luokkatilanteessa. Lukunäytteen F0 sijoittui näiden näytteiden puoliväliin. Tämä koski sekä koehenkilöitä ryhmänä että yhtä malliksi otettua koehenkilöä. Tulos ei vastaa täysin sitä näkemystä, mitä kirjallisuus tarjoaa (ks. taulukko 4). Pitkän fonaation matala sävelkorkeus selittyy samoilla perusteilla, kuin mitä esitettiin aiemmin. Mahdollista tietenkin on, että tämän tutkimuksen koehenkilöt tuottivat fonaation matalammalta, kuin mikä olisi heidän luontevin sävelkorkeutensa. Toisaalta on myös mahdollista, että hymähdysmenetelmä sai koehenkilöt tuottamaan sävelkorkeuden, joka on vain heidän puheäänensä vaihtelualan matalasta päästä.

Lukunäytteen F0 oli tässä tutkimuksessa selvästi spontaania opetuspuhetta alhaisempi. Tätä tulosta tukee vain yksi tutkimus (Kitzing 1979), kun suurimmassa osassa aiemmista tutkimuksista lukunäytteen ja spontaanin puheen F0-arvot ovat olleet samoja (Hudson & Holbrook 1982; Baken 1987; Britto & Doyle 1990; Fitch 1990), ja jossakin lukuääni on ollut jopa spontaania puhetta korkeampi (Sallinen-Kuparinen 1985; Drew & Sapir 1995). Tätä ristiriitaa selittää ilmeisesti se, että nimitystä spontaani puhe käytetään hyvin erilaisista puhetilanteista. Esimerkiksi helppoihin kysymyksiin vastaaminen (esim. Britto & Doyle 1990) virittää puhujan aivan erilaiseen äänenkäyttöön kuin meluisan luokan rauhoittaminen.

Silloin kun tutkimustilanteena on luonnollinen puhetilanne, puheeseen pääsevät vaikuttamaan tunteet, mieliala ja stressi. Nämä näkyvät sävelkorkeudessa ja muissa akustisissa muuttujissa, kuten voimakkuudessa, spektrissä ja jitter-arvoissa (Vilkman & Manninen 1986; Vilkman ym. 1987; Murray & Arnott 1993, kirjallisuuskatsaus; Novak & Vokral 1993; Brenner ym. 1994; Bough ym. 1996; Laukkanen ym. 1996, 1997). Tunne muuttaa sympaattisen hermoston herätetasoa, joka puolestaan vaikuttaa lihasten jännitykseen ja hengitykseen (Toivanen 1994). Näillä muutoksilla voi olettaa olevan suora yhteys äänentuottoon. Opetuspuheen F0-arvoihin vaikuttaa lisäksi todennäköisesti fonaatiota tai luentaa suurempi äänenvoimakkuus, mitä ei kuitenkaan ole voitu tässä mittausteknisistä syistä arioida (ks. Gramming 1988; Laukkanen & Leino 1999).

Tässä tutkimuksessa esimerkkinä olleen yhden opettajan äänen F0:n ero matalimman ääninäytteen eli pidennetyn fonaation ja korkeimman eli opetuspuheen välillä oli viisi puolisävelaskelta. Tämä mahtuu Colemanin ja Markhamin tutkimuksen (1991) mukaan puhujan äänenkäyttöön kuuluvaan luonnolliseen vaihteluun. Se, että ääninäytteistä mitatut F0:n arvot poikkesivat esimerkkinä olleen koehenkilön kohdalla tilastollisesti merkit-

sevästi toisistaan, kuvaa mahdollisesti sitä, että ääninäytteinä ja nauhoitustilanteina tutkimusasetelmat ovat selvästi erilaisia eikä niiden antamia tuloksia ole mielekästä ehkä verrata toisiinsa.

Tämän tutkimuksen mukaan eri ääninäytteet eivät siis anna samanlaisia tuloksia. Jos sävelkorkeus määritellään vain fysikaalisesti, tämä tulos tukee Stonen näkemystä (1983) siitä, että optimaalista sävelkorkeutta ei ole olemassa. Sävelkorkeutta voidaan kuitenkin arvioida myös muutenkin kuin vain fysiikan keinoin. Esimerkiksi perkeptuaalinen, kommunikatiivinen tai fysiologinen näkökulma määrittelee optimaalisen sävelkorkeuden olevan ennen kaikkea tarkoituksenmukaista äänenkäyttöä (Laukkanen & Leino 1999). Voidaan siis ajatella, että vaikka tietyt rajat ovat olemassa, ääni vaihtelee tilanteen mukaan. Jos halutaan määrittellä optimaalinen sävelkorkeus edelleen fysikaalisesti, silloin joudutaan etsimään eri tilanteille ja ääninäytteille omat normiarvonsa.

6.2 Äänen kuormitusmuutokset

6.2.1 *Subjektivisten oireiden ja objektiivisten muuttujien vastaavuus*

Tulosten mukaan opettajien taipumuksella kokea äänenkäytön vaikeuksilla oli yhteyttä objektiivisesti mitattuihin äänen piirteisiin. Mitä enemmän opettajalla oli taipumusta äänenkäytön vaikeuksiin, sitä korkeampaa ja voimakkaampaa ääntä hän käytti, ja myös sävelkorkeuden vaihtelu ($F0:n$ SD) oli usein tällaisen opettajan puheessa suurempi. Edelleen äänenvoimakkuuden vaihteluvälin laajentuminen viittaa tulosten mukaan herkkyyteen kokea äänenkäytön vaikeuksia. Jos opettajalla oli usein tunne, ettei hän saanut ääntään kuulumaan tai hänen äänensä katkeili, niin hänen äänenvoimakkuutensa vaihteli enemmän kuin vähäoireisempien opettajien. Vakavinta äänen häiriöisyyttä kuvaavaa tekijää, äänen vuoksi pidettyjä sairaslomia, oli eniten niillä opettajilla, joilla oli pisimmät $F0$ -ajat. Lisäksi perturbaatioanalyysi osoitti suuntauksen, että herkästi äänivaikeuksia kokevilla opettajilla perturbaatioarvot olivat matalampia kuin niillä opettajilla, jotka vähemmän tai harvemmin kokivat ääniongelmiä. Erot muuttuivat selvemmiksi viikon keskiosassa ja jatkuivat samanlaisina työviikon loppuun.

Spektrianalyysin mukaan mitä enemmän opettajalla oli taipumusta äänenkäytön vaikeuksiin, sitä vuotoisempi hänen äänentuottotapansa oli, kun se määritellään vuotoinen -puristeinen-jatkumona. Tämä ei siis välttämättä tarkoita vielä vuotoista äänentuottotapaa vaan ainoastaan äänentuottotapojen välistä suhdetta. Spektrianalyysissa saatujen tulosten luotettavuutta heikentää se, että SPL:ää ei mitattu LTAS:ssa käytetyistä ääninäytteistä, vaan se mitattiin koko neljän minuutin näytteestä. Myös mikrofonin etäisyys on saattanut muuttua, mikä vaikuttaa sekä SPL:n sekä spektrin arvoihin (Leino & Laukkanen 1993).

Puhujien äänentuottotapa ja siihen liittyvät oireet voivat johtua kolmesta syystä. Ensimmäinen vaihtoehto on perinteisen ajattelutavan mukainen: äänivaikeudet ovat seurausta äänentuottotavasta. Toisena selityksenä on, että äänivaikeuksiin taipuvaisten opettajien äänen piirteet johtuvatkin heidän kokemistaan ääniongelmistaan. Se, miten he käyttävät ääntään, onkin heidän tapansa selvitä ongelmiansa kanssa, ja tämä voi olla joko tie-

dostettua tai tiedostamatonta. Kolmantena mahdollisuutena on, että äänentuottotapaan vaikuttavat molemmat tekijät, jolloin puhuja on noidankehässä: syy ja seuraus liittyvät toisiinsa.

Se, että äänenkäytön ongelmia herkemmin kokevat opettajat puhuivat korkeammalla äänellä kuin harvemmin oireita kokevat opettajat, saattaa viitata orastaviin äänihäiriöihin. Hillman ym. (1989) on nimittäin todennut, että toiminnallisissa äänihäiriöissä F0 on kohonnut. Myös äänen väsyminen voi johtaa F0:n nousuun. Tähän viittaa Fexin ym. (1994) tutkimus, jonka mukaan äänen väsymisoireista kärsivien potilaiden sävelkorkeus laski, kun he olivat käyneet ääniterapiassa. Korkeampi F0 äänivaikeuksiin taipuvaisilla opettajilla voi selittyä myös heidän tavastaan voimistaa ääntä. Äänivaikeuksia kokevien tai hyperfunktionaalisen äänihäiriöstä kärsivien puhujien on todettu nostavan sävelkorkeutta enemmän kuin terveäänisten puhujien, kun he puhuvat kovalla äänellä (Buekers 1998) tai puhuvat melussa (Schoultz-Coulon 1980). Luokassa puhuessaan opettaja varmastikin kokee molemmat: hän joutuu voimistamaan ääntään sekä puhumaan melussa. Kohonnut sävelkorkeus ei ole kuitenkaan yksiselitteinen oire, vaan eräisiin orgaanisiin (Hillman ym. 1989; Sanderson & Maran 1992) ja myös toiminnallisiin äänihäiriöihin (Hammarberg 1986) on todettu liittyvän pikemminkin laskenut F0.

Yllättävää oli, että tässä tutkimuksessa SPL oli suurempi enemmän oireita kokevilla opettajilla, sillä Buekers (1998) on osoittanut, että äänen rasitusoireista kärsivät eivät kykene voimistamaan ääntään yhtä paljon kuin terveääniset puhujat. Buekersin tuloksen ei kuitenkaan tarvitse olla ristiriidassa tässä tutkimuksessa saadun tuloksen kanssa. Tämän tutkimuksen koehenkilöiden SPL kuvaa ehkä ennemminkin puhujan tapaa käyttää tiettyä äänen voimakkuutta kuin sitä, kuinka paljon hän saa ääntään voimistettua. Voimakkaampi äänentuottotapa voi olla juuri syynä taipumukseen kokea äänenrasitusoireita. Toisaalta voimakkaampi ääni saattaa olla myös seurausta oireilevasta äänestä. Dejonckeren (1998) tutkimustulos tukee tätä näkemystä. Äänipotilaat, joilla on pieniä orgaanisia muutoksia vain äänihuulien uloimmissa kerroksissa, saavuttivat paremman äänenlaadun voimistamalla hieman ääntään (n. 2.6 dB). SPL:n nostaminen voi johtua siis puhujan pyrkimyksestä kompensoida huonontunutta äänenlaatua.

Perturbaatioanalyysissa tuli esille suuntaus, jonka mukaan runsasoireisemmilla opettajilla oli äänihuulien värähtely tasaisempaa kuin vähän oireita kokevilla, mikä ei vastaa aiempia tutkimustuloksia (Lieberman 1961, 1963; Koike 1973; Koike ym. 1977; Smith ym. 1978; Yumoto ym. 1984; Hammarberg 1986; Wolfe & Steinfatt 1987; Eskenazi ym. 1990; Martin ym. 1995; Wolfe & Martin 1997). Arvojen pieneneminen oli selvin shimmerissä viikon viimeisen työpäivän jälkeen. Tietenkin tulos voi tarkoittaa, että äänioireisilla oli todellakin parempi äänenlaatu kuin vähäoireisilla opettajilla. Toisena selityksenä voi olla heidän äänenkäyttötapaansa, joka oli ollut sellainen, että se vähensi perturbaatiota. Esimerkiksi koska he puhuivat voimakkaammalla äänellä, perturbaatiota oli vähemmän tästä syystä (Dejonckere 1998). On myös mahdollista, että vaikka äänihuulien viskoelastiset ominaisuudet olivatkin saattaneet muuttua, ne olivat muuttuneet niin, että perturbaatiota aiheuttavaa äänihuulien epäsymmetriaa oli kuitenkin vähemmän (ks. Lieberman 1963).

Seuraavana mahdollisena selityksenä on, että äänioireita kokevien puhujien äänenlaatu oli huonompi ja he pyrkivät kompensoimaan tätä. Kompensoinnissa he käyttivät mekaniikkaa, joka johti myös äänen voimistumiseen: he lähensivät äänihuulia tiiviimmin toisiinsa vasten, jolloin myös subglottaalinen ilmanpaine kasvoi. Niin ikään tiiviimpi äänihuu-

lisulku sai äänihuulet värähtelemään tasaisemmin. Tätä näkemystä tukee Klingholzin ja Martinin (1985) tutkimus, jonka mukaan hyperfunktionaalisissa äänissä on vähemmän perturbaatiota kuin hypofunktionaalisissa. Jotta äänihuulisulun tiivistäminen lisäisi värähtelyn tasaisuutta, äänihuulissa ei saa olla sellaisia orgaanisia muutoksia, jotka vaikuttavat värähtelyyn. Tällaisia muutoksia ei löydetty tähän tutkimukseen osallistuneilta koehenkilöiltä. Puhujan kompensatiopyrkimys voi olla joko tietoista vai tiedostamatonta tai ehkä osittain molempia.

Paljon oireita kokevien opettajien ääni oli spektrianalyysin perusteella tuottotavaltaan vuotoisempi kuin vähäoireisten, kun tuottotapaa tarkastellaan vuotoisuus - puristeisuus - jatkumona. Ero näkyi keskiarvospektrissä ensimmäisen formantin ja perustaajuuden tason suhteessa. Tämän tuloksen yhdistäminen perturbaatiomittausten tuloksiin johtaa ristiriitaiseen päätelmään. Jos oletetaan, että äänentuotossa tiiviimpi äänihuulisulku on alentanut ääniongelmiin taipuvaisten opettajien perturbaatioarvoja, tulosten yhdistämisestä seuraa tulkinta, että äänenkäytön vaikeuksia kokevat opettajat tuottavat äänen samanaikaisesti sekä tiiviimmin että löysemmin kuin heidän vähäoireiset kollegansa. Tämä tulosten ristiriitaisuus voi johtua useista tutkimusasetelmaan liittyvistä tekijöistä. Ensinnäkin nauhoitustilanteet poikkesivat toisistaan. Toisena tilanteena oli opetuspuhe ja toisena välitunneilla nauhoitettu pitkä fonaatio. Onkin varsin mahdollista, että nauhoitustilanteiden erot heijastuivat puhujien äänentuottotapaan. Välitunnit ovat rauhallisempia, eikä ympäristö todennäköisesti vaikuta yhtä paljon opettajan ääneen kuin oppituntitilanteissa, joissa opettajan ääni vaihtelee voimakkaammin oppilaiden ja opetettavan asian mukana. Opettaja ei mahdollisesti kykene oppitunneilla myöskään samalla tavalla kontrolloimaan ääntään kuin välituntitilanteissa, mistä syystä koehenkilöiden oli ehkä helpompi välitunneilla vaikuttaa äänentuottotapaansa kuin luokkatilanteissa.

Tulosten ristiriitaisuuden taustalla voi olla myös erilaiset ääninäytteet, jotka ovat saattaneet vaikuttaa äänentuottotapaan. Tutkimusten mukaan pitkä fonaatio kuulostaa nimitäin arvioijien mielestä vuotoisemmalta (Södersten & Hammarberg 1993) sekä jonkin verran myös karheammalta (de Krom 1994) kuin jatkuva puhe (lukunäyte). On mahdollista, että ääniongelmiin taipuvainen opettaja on kokenut äänenlaadun pitkässä fonaatiossa selvästi huonommaksi kuin opetuspuheessa, ja hän on saattanut pyrkiä parantamaan sitä tiivistämällä äänihuulisulkua. Terveäänisemmällä opettajalla ei sen sijaan ole ehkä ollut yhtä suurta tarvetta tähän. Perturbaatio- ja spektrimittaukset erosivat lisäksi toisistaan siinä, että niiden koehenkilöt eivät olleet aivan samoja. Kun yhdeksän koehenkilön ääninäytteille tehtiin molemmat analyysit, kolmen ääninäytteistä mitattiin vain toinen akustinen piirre. Näinkin vähäinen ero voi näkyä pienessä aineistossa. Välitunti- ja oppituntinauhokset olivat lisäksi eri päiviltä, mikä myös on voinut vaikuttaa tuloksiin.

Lisäksi tulokset osoittivat, että sävelkorkeus vaihteli opetuspuheessa enemmän eli F0:n SD on laajempi niillä puhujilla, joilla oli suurempi taipumus äänenkäytön vaikeuksiin, kuin vähän äänioireita kokevilla. Laajentunut F0:n SD liittyi lisäksi jo selvästi puhujaa häiritseviin äänenrasitusoireisiin: kuormituksen jälkeiseen kivun tunteeseen ja afoniaan. Niin ikään äänihäiriöön viittasi mahdollisesti myös muuttujan yhteys — tosin melko heikko — äänivaikeuksien vuoksi otettuihin sairaslomiin. Myös Hammarberg (1986) on todennut laajentuneen F0:n SD:n liittyvän äänihäiriöihin, joista sillä oli yhteyttä hyperfunktionaalisiiin, karheisiin ja epävakaisiin ääniin. Hammarberg ei kuitenkaan ota kantaa, miksi näissä äänihäiriöissä F0 vaihtelee enemmän kuin muissa häiriöissä.

Sävelkorkeuden vaihtelu opetuspuheessa voi kuvata intonaatiota, mutta todennäköisesti se liittyy kuitenkin sävelkulkua kokonaisvaltaisempaan ilmaisutapaan. Esimerkiksi osa MC-ryhmään kuuluvista lähinnä alkuopetuksen opettajista käytti hoivakielen omaista korkeaa F0:aa itselleen luonteenomaisen sävelkorkeuden lisäksi. F0:n SD oli laaja myös niillä opettajilla, jotka käyttivät korkeaa F0:aa keinona kiinnittää oppilaiden huomio itseensä tai joilla F0 nousi kiihtymisen vuoksi. Niin ikään laajentunut F0:n SD voi kuvata sitä, että puhujalle sopiva korkeus olisi ikään kuin "hukassa" ja hän etsisi sellaista sävelkorkeutta, jossa äänenlaatu olisi hyvä tai äänentuotto tuntuisi helpolta. Tätä tulkintaa tukee tutkimustulos, jonka mukaan myös peräkkäin tuotetut pitkät fonaatiot erosivat eniten toisistaan niillä puhujilla, joilla oli eniten ääniongelmia. Laajentunut F0:n SD voi olla siis joko syy tai seuraus taipumukseen kokea äänivaikeuksia. Lisäksi se saattaa olla myös näitä molempia.

F0:n SD oli laajempi MC-ryhmällä myös pidennetyssä fonaatioissa, joka johtuu kuitenkin todennäköisesti eri syistä kuin opetuspuheen laajentunut F0:n SD. Pidennetyn fonaation suuren sisäisen vaihtelun on ajateltu liittyvän äänentuoton epävakauteen (ks. Horii 1980; Linville 1988). Sen taustalla voi olla esimerkiksi heikentynyt koordinaatio, joka mahdollisesti liittyy väsymiseen (Kroemer & Grandjean 1997; ks. myös taulukko 7).

Mc Hugh-Munierin, Schererin, Lehmannin ja Schererin (1997) tutkimustulos tarjoaa toisenlaisen selityksen äänihäiriöistä kärsivien laajempaan F0:n SD:oon. He tutkivat äänihäiriöiden ja yleisten selviytymistrategioiden yhteyttä toisiinsa. Ääninäytteenä oli lähes tunnin kestänyt haastattelu. Tulosten mukaan äänihäiriöistä kärsivillä puhujilla oli emotionaalisempi ongelmanratkaisutapa kuin niillä, joilla ei ollut äänihäiriöitä. Tutkijat esittivät, että emotionaalinen suuntautuminen heijastuu eloisana ja korkeudeltaan vaihtelevana äänenkäyttönä. Sen sijaan kognitiivisempi suhtautumistapa liittyy tasaisempaan äänen. Sävelkorkeuden vaihtelu voi liittyä siis puhujien temperamenttiin, eikä siten ole sen enempää syy kuin seurauskaan ääniongelmista.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan on mahdollista päätellä, että yhteys oireiden ja äänentuottotavan välillä ei ole siis sidoksissa välttämättä pelkästään siihen päivään, jolloin puhujilla on oireita. Nauhoitustilanteessa osalla opettajista on todennäköisesti ollut oireita, osalla taas ei, mutta tästä huolimatta tutkimuksessa tuli esille äänenkäytönongelmiin liittyviä äänen piirteitä. Pelkästään kuulohavaintoarvion perusteella tämä ero ei mahdollisesti olisi tullut esille. Tähän viittaa Gotaasin ja Starrin (1993) tutkimus, jossa äänen väsymisestä kärsivien opettajien ääni arvioitiin kuuntelun perusteella samantyyppiseksi kuin oireettomien opettajien. Lisäksi ryhmien väliset erot olisivat saattaneet olla tässä tutkimuksessa suurempia, jos koehenkilöiden ryhmäjako olisi ollut selvempi. Toisen ryhmän olisivat voineet muodostaa opettajat, joilla oli oireita viikottain ja toisen taas ne koehenkilöt, joilla oli ääniongelmia hyvin harvoin.

6.2.1.1 Kuormituksen aikana tapahtuneet äänen muutokset

Tulosten mukaan ääni muuttui sekä laboratorion kuormituksessa että työpäivän ja -viikon aikana. Koska tämän tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on ollut vain työpäivän aikaisen muutosten tutkiminen, keskitytään tässä niiden käsittelyyn, ja muiden tutkimusasetelmien tuloksiin viitataan vain tarvittaessa. Useat objektiivisesti mitatut äänen piirteet

muuttuivat: F0 nousi, F0:n SD ja SPL:n SD laajenivat sekä spektrin parametrit osoittivat äänentuottotavan muuttuneen puristeiseen suuntaan. Lisäksi vähän ja paljon äänioireita kokevien opettajien ääni muuttui eri tavoin. Yllättävää tuloksissa oli se, että kuormitus näytti vaikuttavan etupäässä vähäoireisten opettajien ääneen.

Vaikka äänenkäytöstä johtuvat fysiologiset muutokset ovatkin tämän tutkimuksen kannalta kiinnostavimpia, ne ovat todennäköisesti kuitenkin vain yksi syy mitatuille äänen muutoksille. Myös vuorokauden aikainen vaihtelu on saattanut aiheuttaa muutokset. Lisäksi työympäristö, esimerkiksi meluisa luokkatilanne, on voinut pakottaa opettajan käyttämään tietynlaista ääntä, tai opettajan valitsema opetustapa on vaikuttanut hänen äänenkäyttöön.

Vaikka vuorokausirytmien vaikutusta ääneen onkin tutkittu, yksiselitteistä näkemystä ei tutkimustulosten perusteella voida kuitenkaan esittää. Nittrouerin ym. (1990) sekä Garrettin ja Healeyn (1987) tutkimuksissa naisten F0 ja SPL eivät muuttuneet päivän aikana. Ainostaan F0:n SD laajeni 1,3 Hz (Garrett & Healey 1987). Sen sijaan Hallin (1995) tutkimuksessa F0 nousi keskimäärin 2,3 Hz. Molempien, F0:n ja F0:n SD:n, muutokset jäivät pienemmiksi kuin tässä tutkimuksessa mitatut muutokset. Koska edellä mainituissa tutkimuksissa ei raportoitu koehenkilöiden puhumisen määrää mittaustilanteiden välillä, ei voida varmasti sanoa tulosten ilmentävän vuorokausirytmien vaikutusta ääneen. Vilkmän ja Manninen (1986) kiinnittivät tähän asiaan kuitenkin huomiota, ja heidän tutkimuksessaan koehenkilöitä kiellettiin puhumasta mittausten välillä. Tulosten mukaan äänen akustiset piirteet eivät muuttuneet. Koska Vilkmänin ja Mannisen tutkimuksen koehenkilöt olivat miehiä, tulosten yleistettävyyttä nyt tehtyyn tutkimukseen jää kuitenkin avoimeksi.

SPL:n ja SPL:n SD:n laskun taustalla (T1–T2) on mahdollisesti ollut luokkatilanne. Opettaja on voinut tietoisesti korottaa ääntään tunnin alussa kiinnittääkseen oppilaiden huomion itseensä. Tilanne on saattanut vaatia rauhoittelua, ja opettaja on ehkä joutunut näkemään vaivaa saadakseen oppilaiden kiinnostuksen heräämään. Tällainen tilanne nostaa helposti myös puhujan herätetasoa tai jopa aiheuttaa stressiä, ja näiden molempien on todettu nostavan F0:aa ja SPL:ää (Scherer & Scherer 1981; Vilkmän & Manninen 1986; Brenner ym. 1994; Bough ym. 1996; Laukkanen ym. 1996). Stressissä esimerkiksi hengitys nopeutuu ja lihakset jännittyvät (Toivanen 1994). Nämä muutokset vaikuttavat todennäköisesti suoraan äänentuottoon. Kun luokka asettuu työhön tunnin aloittamisen jälkeen, niin opettajakin voi rentoutua. Samanlainen mahdollisesti opetustilanteen aiheuttama muutos näkyi myös F0:ssa, vaikka muutos ei ollutkaan tilastollisesti merkitsevä.

Se, että tässä tutkimuksessa SPL ei noussut kuormituksessa, ei vastaa aiempien tutkimusten tuloksia, joiden mukaan kuormitus on nostanut muuttujien arvoa tilastollisesti merkitsevästi (Vilkmän ym. 1999) tai suuntaa-antavasti (Gelfer ym. 1991; Buekers 1998; Södersten & Hammarberg 1999). Tulosten erilaisuuteen voi vaikuttaa se, että aiemmissa tutkimuksissa nauhoitukset tehtiin kuormitustilanteen ulkopuolella, kun tässä tutkimuksessa ääninäytteet otettiin kuormituksen aikaisista nauhoituksista. Luokkatilanne todennäköisesti säätelee niin paljon äänenkäyttöä ja etenkin äänenvoimakkuutta, että fysiologiset SPL:n muutokset eivät siellä pääse esille.

Opettajan tietoista valintaa äänenkäyttöön saattaisi heijastaa F0-ajan lasku siirryttäessä ensimmäisen oppitunnin keskikohdasta viimeisen oppitunnin vastaavaan kohtaan (T2–T5). Tämä muutos tapahtui vain paljon äänenkäytön vaikeuksia kokevilla opettajilla. Nämä opettajat ehkä tunsivat, että ääni ei toiminut enää kovin hyvin, ja he tietoisesti valit-

sivat viimeiselle tunnille sellaisen opetussisällön, joka säästää heidän ääntään. Tästä esimerkkinä on opettaja, joka kuunteli nauhoja luokan kanssa viimeisellä oppitunnilla, jolloin hänen itsensä tarvitsi puhua varsin vähän.

Äänen muuttumiseen voi vaikuttaa myös jokin äänen tuottamiseen liittyvä piirre, esimerkiksi äänenvoimakkuuden lisääntyessä myös sävelkorkeus nousee (Gramming 1988; Buekers & Kingma 1997). Yhteys näiden muuttujien välillä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa ollut yhdenmukainen, ja myöskään korrelaatiot eivät olleet kovin vahvoja. Äänenvoimistaminen ei voi tästä syystä kuin osittain selittää tässä tutkimuksessa F0:n muuttumista. Toinen äänen piirre, johon SPL:llä on vaikutusta, on spektri (Kitzing 1986; Hurme 1996). Spekttrin L1-tason tiedetään vastaavan melko hyvin näytteen kokonais-SPL:ää (vrt. Fant 1970). Koska tässä tutkimuksessa L1-tason erot keskenään verrattujen vokaalinäytteiden välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä, voidaan päätellä, että SPL ei ole ollut merkitsevästi erilainen eikä siis selitä näytteistä havaittuja spekttrin kaltevuuden eroja.

Seuraavana selityksenä äänen muutoksille ovat kuormitus ja sen aiheuttamat fysiologiset muutokset. Jos kuormitusmuutokset ymmärretään elimistön mukautumisena lihastyöhön (Enoka 1988), äänen "lämpiäminen" tai "avautuminen" on ensimmäinen ilmiö tässä muutosjatkumossa. Esimerkiksi F0:n ja SPL:n on todettu nousevan, kun ääni on avautunut (Lauri ym. 1997; Vintturi ym. lähetetty arvioitavaksi lehteen). Fysiologisesti lämpiämisen on ajateltu laajentavan kapillaareja, lisäävän veren virtausta ja nostavan lihaksen lämpötilaa, mikä kaikki lisää hapen määrää lihaksessa (Saxon & Schneider 1995). Lihaksen lämpötilan nousu tehostaa myös entsyymien toimintaa, ja tämä osaltaan edelleen parantaa veren virtausta. Nämä muutokset todennäköisesti laskevat limakalvon viskositeettia ja lisäävät näin äänihuulien liikkuvuutta (Titze 1994). Vintturi ym. tulkitsevat tutkimustuloksiaan, että avautuminen muuttaa ääntä puristeiseen suuntaan, minkä voisi ajatella tarkoittavan äänen "vankentumista": tiiviimpää sulkua ja laajempia äänihuulien värähdysä. Toisin kuin Vintturin ym. tutkimuksessa tässä tutkimuksessa äänen avautumisesta mahdollisesti johtuva muutos ei kuitenkaan näkynyt opetuspuheen F0:ssa eikä SPL:ssä. Ilmeisesti luokkatilanne on hallinnut niin äänenkäyttöä, että luonnollinen fysiologinen muutos ei ole ollut mitattavissa, vaikka sellainen todennäköisesti onkin syntynyt. Spekttrin mukaan opettajien äänen tuottotapa muuttui vuotoiseen suuntaan, mikä osoittaa, että siinäkin äänen piirteessä avautuminen ei ollut mitattavissa.

Työpäivän lopussa mitatut selvimmät ilmeisesti kuormituksesta johtuvat fysiologiset muutokset olivat F0:n nousu, joka vastaa myös aiempien kuormitustutkimusten havaintoja (Kitzing 1979; Gelfer ym. 1991; Stemple ym. 1995; Buekers 1998; Vilkmán ym. 1999), ja spekttrin loiveneminen, jota niin ikään on kuvattu aiemmissä tutkimuksissa (Löfqvist & Mandersson 1987; Ohlsson 1988; Novak ym. 1991). Useat fysiologiset ilmiöt ovat voineet synnyttää nämä muutokset. F0:n nousun syyksi ovat esimerkiksi Stemple ym. (1995, ks. myös Eustace ym. 1996) esittäneet TA-lihaksen väsymistä. Kun lihas väsyä, äänihuulien limakalvon jäykkyys lisääntyy, minkä vuoksi äänihuulien värähtely huononee ja sävelkorkeus nousee. Niin ikään lihasväsymys voi selittää myös spekttrin loivenemisen. Jos TA-lihas ei kykene enää riittävästi supistumaan, CT-lihaksen toiminta alkaa hallita (Vilkmán 1999, suullinen tiedonanto), ja tämä mahdollisesti muuttaa ääniraon sulkua tiiviimmäksi.

Vilkmanin työryhmän (Vilkman ym. 1997, 1999; Lauri ym. 1997) selitys kuormitusmuutoksiin on sen sijaan se, että puhuja pyrkii korjaamaan ja kompensoimaan muutoksia, joita kuormitus on aiheuttanut kurkunpään rakenteissa, ennen kaikkea limakalvoissa. Työryhmän tutkimuksessa kuormitus nosti muun muassa F0:aa ja muutti äänentuottotapa kuvaavaa glottisherätettä siten, että se ilmaisi äänenkäytön muuttuneen puristeiseen suuntaan. Työpäivän aikaisen puhumisen aiheuttamat limakalvovauriot ovat todennäköisesti hyvin pieniä, ja puhuja voi aistia ne esimerkiksi lisääntyneenä limanerityksenä, joka oli tässä tutkimuksessa opettajien usein kokema oire ja joka liittyi kohonneeseen F0:aan. Niin ikään puhuja voi kokea limakalvomutoksen ehkä kuivuuden ja pistelyn tunteena kurkussa, joita taas Stemple ym. (1995) raportoivat koehenkilöillään. Limakalvojen merkitys sekä värähtelijänä että suojaavana rakenteena voisi olla niin tärkeä, että limakalvoilla olisi erityisen herkkä kontrollointisysteemi, joka ehkä toimii pitkälti puhujan tiedostamatta. Yhtenä kuormituksen aiheuttamana limakalvomutoksena voi olla myös niiden oheneminen. Voimakkaassa äänentuotossa limakalvot saattavat joutua kovienkin iskujen kohteeksi. Jos tätä jatkuu riittävän pitkään, on mahdollista, että voimakkaat iskut pääsevät pumppaamaan nestettä ulos Reinken tilasta. Äänihuulissa tämä voi näkyä ikään kuin niihin olisi kehittynyt sulkuvaje, kuten Stemple ym. ovat tulkinneet yhtä kuormituksen jälkeistä havaintoaan.

Niin ikään limakalvomutokset itsessään voivat olla äänimuutosten syynä lihasväsymyksen ja kompensoinnin lisäksi. Esimerkiksi Titzen (1994) mukaan on teoreettisesti mahdollista, että pieni äänihuuliturvotus laskee kynnyispainetta, minkä seurauksena äänihuulien liikkuvuus lisääntyy. Tämä saa SPL:n hieman kasvamaan, F0:n nousemaan ja spektrin loivenemaan. On myös mahdollista, että kudosturvotus venyttää limakalvon kireäksi, minkä seurauksena kuorikerroksen jäykkyys kasvaa ja F0 nousee (ks. esim. Zemlin 1988). Jos taas äänihuulien massa lisääntyy riittävästi inflammaation vuoksi, sävelkorkeus laskee (Sanderson & Maran 1992; Ng ym. 1997).

Lisäksi mitattujen muutosten syynä voi olla psykofysiologinen viriäminen, jolloin suoritus paranee elimistön lämmettyä. Myös keskushermoston reagointi väsymiseen voi saada aikaan samankaltaisia muutoksia kuin tässä tutkimuksessa. Väsymisen ensivaiheessa lihasten ponnistus lisääntyy, ja niiden kyky rentoutua heikkenee (Enoka 1988; Kroemer & Grandjean 1997; ks. myös taulukko 7). On mahdollista, että mikä tahansa edellä esitetyistä fysiologisista ilmiöistä on voinut aiheuttaa äänen muuttumisen tai muutokset ovat syntyneet eri tekijöiden yhteisvaikutuksena. Kuitenkin osa tutkimustuloksista viittaa siihen, että yksistään lihasväsymys ei pysty selittämään kaikkia tämän tutkimuksen havaintoja. Se, että tässä tutkimuksessa kuormitusmuutokset tapahtuivat ennen kaikkea vähäoireisilla opettajilla, viittaa tähän. Samoin välituntinauhoituksista saadut tulokset eivät puolla lihasväsymyselitystä. Ne osoittivat, että vaikka koehenkilöiden F0 oli noussut viimeisellä oppitunnilla, niin koehenkilöt pystyivät edelleen tuottamaan matalaa ääntä viimeisen oppitunnin jälkeenkin (n. 185 Hz). Niin ikään lihasväsymysmallia vastaan on tulos, jonka mukaan runsasoireisilla opettajilla oli korkeampi SPL-taso kuin vähäoireisilla.

Tämän tutkimuksen mukaan ääni muuttui selvemmin ja yhdenmukaisemmin vähän äänioireita kokevilla opettajilla kuin runsasoireisilla. Näyttäisi siltä, että äänen muutokset ilmentävät pikemminkin elimistön tervettä kuin häiriintynyttä toimintatapaa. Ehkäpä MC-ryhmän korkeampi F0 ja suurempi SPL verrattuna FC-ryhmään hipoi jo valmiiksi suorituksen ylärajoja. Mahdollisesti heidän äänihuulissaan oli lisäksi jo sellaisia kudosisäilytyksiä, että ei-patologiset kuormitusmuutokset eivät voineet päästä esille. Näitä kudosisäilytyksiä

toksia ovat ehkä olleet äänihuulien turvotus tai mikroinflammaatiot, jotka ovat lisänneet äänihuulien massaa niin, että ne ovat peittäneet alleen mahdollisen F0:n nousutendenssin. Lisäksi on mahdollista, että sävelkorkeudesta vastaavien lihasten tonus on voinut laskea, minkä vuoksi F0:n nousu ei ole ollut kovin selvä.

Väsymysmuutosten merkitykseksi on esitetty, että ne toimivat ihmisen hälytysjärjestelmänä (Wilmore & Costill 1994; Haug ym. 1995). Reagoinnin puute tai poikkeava reagointitapa saattavat siis ilmentää ongelmia elimistön suojamekanismeissa. Se, että kuormituksen aiheuttamat muutokset kuvaavat terveyttä, saa tukea sydäntutkimuksista, joissa esimerkiksi verenpaineen on todettu nousevan rasituskokeen yhteydessä terveillä koehenkilöillä, mutta pysyvän samana tai jopa laskevan sepelvaltimotautia sairastavilla (Willerson 1988). Toisaalta runsasoireiset opettajat ovat voineet myös tietoisesti pyrkiä säästämään ääntään tietäessään sen rasittumisalttiuden ja ovat ehkä pyrkineet käyttämään sellaista ääntä, joka on voinut vaikuttaa F0:aan. Taulukossa 15 on esitetty mahdolliset fysiologiset selitykset tässä tutkimuksessa tapahtuneille F0:n ja spektrin muutoksille.

Taulukko 14: Kuormituksen vaikutus kurkunpään toimintaan vähän ja paljon äänioireita kokevilla puhujilla.

	Vähän äänioireita kokevat puhujat	Paljon äänioireita kokevat puhujat
Vaikutus akustiseen muuttuajaan	F0 nousee, spektrin kaltevuus loivenee.	F0 nousee, mutta ei yhtä yhdenmukaisesti kuin paljon oireita kokevilla puhujilla, spektri ei muutu.
Mahdolliset fysiologiset muutokset	<p>Eri mahdollisuudet:</p> <p>1) Psykofysiologinen viriäminen</p> <p>2) Neste Reinken tilassa vähenee ja limakalvo ohenee. -> F0 nousee. Limakalvon oheneminen hunonontaa myös värähtelyä, jonka parantamiseksi puhuja jännittää lähentäjähakaksia. -> Ääniraon sulku tiivistyy.</p> <p>3) TA-lihas väsyä ja tonus laskee, minkä vuoksi CT-lihas alkaa dominoida¹ -> Limakalvojen värähtely heikkenee, F0 nousee, ja ääniraon sulku tiivistyy.²</p> <p>4) Kudosturvotus lisääntyy ehkä paikallisesti. Kaksi muutosmahdollisuutta: a) -> Äänihuulien kuorikerroksessakudosjäykkyys kasvaa. -> F0 nousee³. b) -> Kynnyspaine alenee, ja äänihuulien liikkuvuus lisääntyy. -> Spektri loivenee, SPL ja F0 nousevat.</p> <p>5) Keskushermosto reagoi väsymiseen. -> Ponnistus kasvaa, rentoutuminen heikkenee. -> F0 nousee, ääniraon sulku tiivistyy.</p> <p>6) Muutos johtuu jostakin muusta syystä.</p>	<p>1) Äänihuulissa on olemassa jo muutoksia, vaikkakaan ei näkyviä. Samanaikaisesti esiintyy kaksi ilmiötä: a) Jokin F0:aa nostava viereisessä sarakkeessa mainittu mekanismi toimii. b) Äänihuulien kudoksessa mikroinflammaatioita. -> Massa lisääntyy. -> F0 laskee. Koska muutoksen vaikutukset päivätaiset, havaittavissa ainoastaan suuntaus, että F0 nousee.</p> <p>2) Perustaajuudesta vastaavien lihasten tonus laskee eri tavoin. -> esille vain suuntaus, että F0 nousee..</p>
Mahdollinen äänen laadunmuutos	Äänenlaatu muuttuu puristeiseen suuntaan.	Muutokset eivät näy ryhmätasolla.

Selitykset: CT-lihas = m. cricothyroideus; TA-lihas = m. thyroarytenoideus. 1 = Vilkmann (1999), suullinen tiedonanto. 2 = CT-lihaksen väsyminen voi johtaa myös ääniraon sulun heikkenemiseen, jolloin CT:n toiminta ei pystyäkään tiivistämään sulkua niin paljon, että tämä muutos näkyisi spektrin loivenuksena. 3 = Paikallinen turvotus voi tiivistää ääniraon sulkua, tai puhuja voi kompensoida turvotuksen aiheuttamaa äänenlaadun heikkentämistä tiivistämällä sulkua. Turvotus voi myös heikentää sulkua, jolloin spektri ei loivene vaan jyrkkenee.

Osa äänen muutoksista johtuu varmasti myös yleisestä keskushermoston väsymyksestä (engl. *central fatigue*). Pitkä työpäivä kuormittaa keskushermostoa, ja muutokset näkyvät sekä kognitiivisissa toiminnoissa että henkisessä vireydessä (Kroemer & Grandjean 1997). On hyvin todennäköistä, että ääni on riittävän herkkä heijastelemaan näitäkin muutoksia, ja esimerkiksi osa ensimmäisen ja viimeisen oppitunnin välisistä muutoksista selittyy ilmeisesti myös näillä tekijöillä. Aiemmat tutkimukset ovat niin ikään osoittaneet, että kognitiivinen kuormitus ja stressi nostavat sävelkorkeutta (Vilkman & Manninen 1986; Brenner ym. 1994; Bough ym. 1996; Mendoza & Carballo 1998).

Äänen muutokset olisivat mahdollisesti olleet selvempiä, jos rasittumispäivät olisi erotettu oireettomista päivistä, mihin viittaa Gotaasin ja Starrin (1993) tutkimus. Gotaasin ja Starrin tutkimuksessa arvioitiin opettajien äänenlaatua kuuntelun perusteella sekä sinä päivänä, jolloin ääni rasittui että silloin, kun rasitusoireita ei esiintynyt. Saatujen tulosten mukaan äänenlaatu huononi vain rasituspäivänä.

6.2.2 Äänenkäytön kuormituksen indeksi

Tässä tutkimuksessa kehitetty äänenkäytön kuormitusta kuvaavalla indeksillä oli yhteyttä koettuihin äänenkäytön vaikeuksiin. Indeksillä olisikin hyvin tervetullut väline työympäristön äänenkäytön arviointiin. Näin voitaisiin seuloa jo ennen äänihäiriöiden ilmaantumista ne puhujat, joilla voi olla äänenkäyttönsä perusteella suurempi taipumus ääniongelmiin. Indeksillä vahvuutena on se, että sillä oli yhteyttä useisiin koettuihin oireisiin ja että yksi näistä yhteyksistä oli yhtä vahva kuin vahvimpien yksittäisten, objektiivisesti mitattujen muuttujien yhteydet. Lisäksi indeksin kertoimien analyysi osoitti, että F0-aika vaikuttaa merkittävästi rasitusoireiden kokemiseen.

Se, että indeksi osoittautui näinkin toimivaksi, tukee ajatusta siitä, että äänen tuottaminen on ennen kaikkea fyysistä työtä: mitä enemmän äänihuulet värähtelevät eli tekevät työtä tietyssä ajassa, sen suurempi vaara, että puhujan äänielimistö rasittuu ja alkaa oirehtia. Myös Titzen (1999) matemaattiset mallinnokset vahvistavat tätä näkemystä. Indeksillä laskukaava on hyvin yksinkertainen. Kehittyneempi ja laaja-alaisempi indeksi voisi sisältää kertoimet, jotka kuvaisivat äänenlaatua, äänenvoimakkuutta ja sitä, miten puhujan äänen voimistaminen vaikuttaa hänen sävelkorkeuteensa. Niin ikään indeksissä voitaisiin ottaa huomioon myös puhujan ääniluokka.

6.3 Tiivistelmä, johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää menetelmä, joka soveltuu äänivaikeuksista kärsivien työntekijöiden äänen mittauksiin heidän omalla työpaikallaan. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin sekä äänioireiden yhteyttä objektiivisesti mitattuihin äänen piirteisiin että äänen muutoksia yhden työpäivän aikana. Koehenkilöt olivat naisopettajia, joiden määrä vaihteli eri osatutkimuksissa 3:sta 33:een. Iältään koehenkilöt olivat 33–59-vuotiaita, ja työkokemusta opettajana heillä oli 4–32 vuotta. Koehenkilöiden äänioireita kartoitettiin kyselytutkimuksella, jonka vastausten perusteella heidät jaettiin vähän ja paljon äänioireita kokevien ryhmiin. Koehenkilöt nauhoittivat sekä välitunneilla että yhtenä työpäivänä

ensimmäisen ja viimeisen oppitunnin. Äänen piirteistä analysoitiin F0, SPL, näiden keskihajonnat (F0:n SD, SPL:n SD), F0-aika, spektri ja perturbaatioarvot. Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin yksinkertainen äänihuulien työmäärää kuvaava indeksi. Tutkimuksen päätulokset ja mahdolliset käytännön sovellukset ovat seuraavat:

1. Tutkimuksessa käytetty menetelmä soveltuu työympäristömittauksiin hyvin: Pientä akkukäyttöistä nauhuria on helppo ja kevyt kuljettaa mukana, ja sen käyttö on yksinkertaista. Tutkimuksesta saadun kokemuksen perusteella myös ääninäytteiden keruutapa soveltuu kliiniseen käyttöön. Joitakin parannuksia kuitenkin tarvitaan. Menetelmän suurin epäkohta on nauhojen analysoinnin hitaus, joka johtuu pääasiassa manuaalisesti tehtävästä editoinnista. Analyysiohjelmaa ollaan kuitenkin jo tällä hetkellä päivittämässä. Tavoitteena on, että uusi ohjelma mittaa signaalit digitaalisesti ja myös pystyy erottelemaan automaattisesti melun äänisignaalista, joten editointi jää kokonaan pois. Näiden uudistusten jälkeen laitteisto soveltuu hyvin ääniterapiaa ja -tutkimusta tekevien työntekijöiden yhdeksi mittausvälineeksi.

Tutkimuksessa käytetty laitteisto sijaitsee Oulun yliopistollisen sairaalan puhelaboratoriossa, eikä se ole sellaisenaan kaupallisesti saatavilla. Jotta kehitetyllä menetelmällä olisi todellista kliinistä merkitystä, ääninäytteiden nauhoituksen ja analyysin pitäisi olla myös terveyskeskusten ja muidenkin sairaaloiden ääniasiakkaiden käytettävissä. Tämä voisi tapahtua siten, että kun ääniasiakas tulee äänitutkimukseen tai -terapiaan, hänelle annetaan nauhuri mukaan ja hän nauhoittaa ääntään sovitun ajan työpaikallaan. Tämän jälkeen nauha lähetetään OYS:aan, jossa se analysoidaan, minkä jälkeen valmiit analyysit palautetaan takaisin asiakkaan omaan terveyskeskukseen tai sairaalaan.

2. Mahdollisimman pitkä fonaatio soveltuu itsenäisesti tehtäviin työpaikkanauhoituksiin. Tärkeää on, että tutkittava ohjataan löytämään oikea sävelkorkeus. Henkitorvenveto auttaa ilmeisesti tuottamaan mahdollisimman pitkän fonaation vakaasti.
3. Laboratoriossa ja luonnollisessa puhetilanteessa mitatut ääninäytteet eivät vastaa toisiaan. Kun normiarvoja määritetään, puhetilanteet ja ääninäytteet on erotettava toisistaan.
4. Opettajilla, jotka kokevat useammin ja enemmän äänenkäytön vaikeuksia, on korkeampi F0, laajempi F0:n SD, suurempi SPL ja jyrkempi spektri kuin niillä opettajilla, jotka kokevat vähemmän oireita. Spektrin jyrkkyys viittaa äänentuottotavan muuttuneen vuotoiseen suuntaan vuotoinen - puristeinen-äänijatkumolla. Lisäksi paljon äänioireita kokevalla puhujalla on pienemmät shimmer-arvot työviikon viimeisessä mittauksessa. Osa runsasoireisten opettajien äänen piirteistä muistuttaa kuormituksen syntyneitä muutoksia. Nämä opettajat ovat mahdollisesti adaptoituneet rasitukseen, mikä puolestaan on saattanut aiheuttaa sen, etteivät he kykene enää reagoimaan, kun heidän äänensä joutuu kuormitukseen. Kuormitustesteissä äänen muuttumattomuus ei siis välttämättä merkitse tervettä ääntä, kuten usein on ajateltu (vrt. Buekers 1998).
5. Opettajan ääni muuttuu työpäivän aikana: F0 nousee, ja sekä F0:n SD että SPL:n SD laajenevat. Myös spektri loivenee, mikä osoittaa äänen muuttuvan puristeiseen suuntaan. Muutokset johtuvat todennäköisesti eri syistä. Joidenkin muutosten takana on opetustilanne, toisiin taas on opettaja itse vaikuttanut. Kuormituksen aiheuttamia fysiologisia muutoksia ovat olleet mahdollisesti F0:n ja spektrin muutos.

6. F0 ja spektri muuttuvat pääasiassa terveäänisillä puhujilla.
7. Äänihuulien työmäärää ilmentävä indeksi kykenee seulomaan esille ne puhujat, joilla on riski saada äänioireita. Indeksien laskemista voidaan käyttää hyväksi ennalta ehkäisevässä äänenhuollossa: etsitään ne puhujat, joilla on vaara ajautua ääniongelmiin, ja kiinnitetään erityisestä huomiota heidän äänenkäyttöön ja työympäristöönsä. Käytännön sovelluksena opettajien kohdalla tämä voisi olla myös sitä, että määritellään indeksien avulla, kauanko opettaja saa puhua työpäivän aikana tai paljonko oppitunnista täytyy järjestää oppilaiden itsenäistä työskentelyä. Lisäksi yhtenä keinona on antaa opettajalle dosimetri, laite, joka laskee puheajan sekä sävelkorkeuden ja ehkäpä myös voimakkaan äänenkäytön ajan ja alkaa hälyttää, kun puhuja ylittää määritellyt raja-arvot.

Laajasti katsottuna tämä tutkimus pyrki näkemään ja ymmärtämään puhujaa ja hänen ympäristöönsä kokonaisvaltaisesti: miten työ, sen tekijä ja tekijän ääni ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. Koska tutkimus on ensimmäisiä, jotka ovat lähteneet selvittämään äänenkäyttöä todellisissa puhetilanteissa, tulokset herättävät enemmän kysymyksiä kuin vastauksia. Tutkimus osoitti, minkälaisia muutoksia äänessä voi tapahtua, mutta sitä tämän tutkimuksen perusteella ei tiedetä, mikä puhetilanteissa rasittaa ääntä ja missä suhteessa eri tekijät kuormittavat sitä. Paljonko esimerkiksi ympäristötekijät vaikuttavat, ja kuinka paljon taas opettajasta itsestään johtuvat seikat ovat ensisijaisesti syynä ääniongelmiin? Esimerkiksi tästä aineistosta tehdyn pro gradu -tutkielman mukaan opettajan puhe-tyyli, jota kuvattiin puhe- ja taukoaikojen pituudella, vaikuttaa äänioireiden kokemiseen (Partanen 2000). Myös koettujen äänioireiden yhteyttä objektiivisesti mitattuihin muuttujiin tulisi tutkia tarkemmin. Tässä tutkimuksessa kysyttiin opettajien yleisesti kokemia äänivaikeuksia. Mielenkiintoista olisikin tutkia myös sitä, miten itse puhetilanteessa koetut oireet korreloivat objektiivisesti mitattuihin äänen piirteisiin. Lisäksi kuulohavaintoarviointi opettajien äänestä tuo todennäköisesti esille sellaisia ominaisuuksia, joita objektiivinen mittaus ei tavoita.

Tämän tutkimuksen perusteella tiedämme, että ääni muuttuu työpäivän aikana, mutta sitä emme kuitenkaan tiedä, milloin muutos alkaa ja minkälainen muutosjatkumo ylipäättään on. Tämän tutkimuksen mukaan ääni ei muutu paljon opettajan työpäivän ensimmäisen tai viimeisen 45 minuutin aikana, vaan suurin muutos syntyy jossakin siinä välillä. Muutoksen vaiheita voisi selvittää esimerkiksi siten, että nauhoitetaan koehenkilöitä päivän aikana monta kertaa, mahdollisesti koko työpäivän, jolloin äänen muutosten taitekohdat saadaan selville. Lisäksi sitäköön ei vielä tiedetä, onko äänen muutos jatkuvaa vai pikemminkin hyppäyksellistä.

Äänensuojelun tarve oli motivoimassa tätä tutkimusta, ja tulokset koehenkilöryhmien äänen piirteiden eroista ja äänen erilaisesta muuttumisesta työn aikana osoittavat, että äänensuojeluun tulee kiinnittää huomiota. Tähän tarvitaan kuitenkin omat tutkimuksensa. Niissä voitaisiin selvittää, minkälaisia keinoja kannattaa käyttää ja mistä on eniten hyötyä. Tällä hetkellä yhdestä äänen suojelutavasta on tekeillä tutkimus: islantilainen Valdis Jonsdottir (tulossa) tutkii äänenvahvistimen vaikutusta opettajien ääneen. Tutkimusasetelma ja analyysi olivat samat kuin tässä tutkimuksessa. Jonsdottirin tuloksen mukaan äänenvahvistimen käyttö laskee merkittävästi opettajan äänenkorkeutta ja vähentää äänen voimaa luokassa. Äänenvahvistimen lisäksi täytyy kehittää myös muita äänensuojelukeinoja ja niiden arviointia. Esimerkiksi olisi hyvä selvittää, miten lepotauot vai-

kuttavat ääneen ja kuinka pitkä tauon pitää olla, että sillä on merkitystä äänen jaksamiselle. Samoin äänenkäytön rajojen arviointi vaatii omat tutkimuksensa. Lisäksi yhteistyö niiden alojen kanssa, jotka tutkivat ihmistä työssä ja ihmisen väsymistä, voivat avata uusia näkökulmia äänen kuormittumisen tutkimiseen.

Lähteet

- Aaltonen, T. (1989). Vertaileva tutkimus pohjoissuomalaisten ja eteläsuomalaisten opettajien toiminnallisiin äänihäiriöihin viittaavista oireista. Lisensiaatintutkimus. Oulun yliopisto, Oulu.
- Ahonen, J., Lahtinen, T., Sandström, M., Pogliani, G. & Wirhed, R. (1998). Kehon rakenne, toiminta ja lihashuolto (5. painos). Jyväskylä: VK-Kustannus.
- Alipour, F. & Titze, I. (1999). Active and passive characteristics of the canine cricothyroid muscles. *Journal of Voice*, 13, 1—10.
- Alku, P. (1992). Glottal wave analysis with pitch synchronous iterative adaptive inverse filtering. *Speech Communication*, 11, 109—118.
- Alku, P., Strik, H. & Vilkmann, E. (1997). Parabolic spectral parameter—A new method for quantification of the glottal flow. *Speech Communication*, 22, 67—79.
- Askenfelt, A.G. & Hammarberg, B. (1986). Speech waveform perturbation analysis: a perceptual-acoustical comparison of seven measures. *Journal of Speech and Hearing Research*, 29, 50—64.
- Avela, J., Kyröläinen, H. & Komi, P.V. (1999). Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *Journal of Applied Physiology*, 86, 1283—1291.
- Awan, S.N. & Mueller, P.B. (1996). Speaking fundamental frequency characteristics of White, African American, and Hispanic kindergartners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 573—577.
- Baken, R.J. (1987). *Clinical measurement of speech and voice*. London: Taylor & Francis.
- Baken, R.J. & Orlikoff, R.F. (1987). Phonatory response to step-function changes in supraglottal pressure. Teoksessa T. Baer, C. Sasaki & K.S. Harris (toim.), *Laryngeal function in phonation and respiration*. Boston: College-Hill Press, 273—290.
- Boone, D.R. (1993). Biologic enemies of the professional voice. *Journal of Research in Singing and Applied Vocal Pedagogy*, 16, 15—24.
- Bough, D. Jr, Heuer, Jr R.J., Sataloff, R.T., Hills, J.R. & Cater, J.R. (1996). Intrasubject variability of objective voice measures. *Journal of Voice*, 10, 166—174.
- Brenner, M., Doherty, E.T. & Shipp, T. (1994). Speech measures indicating workload demand. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 65, 21—26.
- Britto, A.I. & Doyle, P.C. (1990). A comparison of habitual and derived optimal voice fundamental frequency values in normal young adult speakers. *Journal of Speech and Hearing Disorder*, 55, 476—484.
- Buekers, R. (1998). Voice performances in relation to demands and capacity. Development of a quantitative phonometric study of the speaking voice. Väitöstyö. University of Maastricht.
- Buekers, R., Bierens, E., Kingma, H. & Marres, E.H.M.A. (1995). Vocal load as measured by the voice accumulator. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 47, 252—261.

- Buekers, R. & Kingma, H. (1997). Impact of phonation intensity upon pitch during speaking: a quantitative study in normal subjects. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 22, 71—77.
- Burzynski, C.M. & Titze, I.R. (1985). Assessment of vocal endurance in untrained singers. *Transcripts of the 14 th Symposium Care of the Professional Voice, part I*. New York: Voice Foundation, 96—101.
- Böhme, G. (1971). Richtlinien für phoniatische Begutachtungen bei Angehörigen pädagogischer Berufe. *Deutsche Gesundheitswesen*, 26, 753—755.
- Coleman, R.F. & Markham, I.W. (1991). Normal variations in habitual pitch. *Journal of Voice*, 5, 173—177.
- Colton, R.H. & Casper, J.K. (1990). *Understanding voice problems. A physiological perspective for diagnosis and treatment*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Cooper, M. (1973). *Modern techniques of vocal rehabilitation*. Springfield: Charles C. Thomas.
- Cooper, D.S., Partridge, L.D. & Alipour-Haghighi, F. (1993). Muscle energetics, vocal efficiency, and laryngeal biomechanics. Teoksessa I.R. Titze (toim.), *Vocal fold physiology*. San Diego: Singular Publisher, 37—92.
- Cooper, D.S., Shindo, M., Sinha, U., Hast, M.H. & Rice, D.H. (1994). Dynamic properties of the posterior cricoarytenoid muscle. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 103, 937—944.
- De Bodt, M.S., Wuyts, F.L., Van de Heyning, P.H., Lambrechts, L. & Abeele, D.V. (1998). Predicting vocal outcome by means of a vocal endurance test: a 5-year follow-up study in female teachers. *Laryngoscope*, 108, 1363—1367.
- de Krom, G. (1994). Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 985—1000.
- Deal, R.E. & Emanuel, F.W. (1978). Some waveform and spectral features of vowel roughness. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 250—264.
- Decoster, W. & Debruyne, F. (1997). Changes in spectral measures and voice-onset time with age: a cross-sectional and a longitudinal study. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 49, 269—280.
- Deem, J.F., Manning, W.H., Knack, J.V. & Matesich, J.S. (1989). The automatic extraction of pitch perturbation using microcomputers: some methodological considerations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 689—697.
- Deem, J.F., Manning, W.H., Knack, J.V. & Matesich, J.S. (1991). Comparison of pitch perturbation extraction procedures with adult male and female speakers. *Folia Phoniatica*, 43, 234—245.
- Dejonckere, P. (1998). Effect of louder voicing on acoustical measurements in dysphonic patients. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 23, 79—84.
- Dworkin, J.P. & Meleca, R.J. (1997). *Vocal pathologies. Diagnosis, Treatment, and Case Studies*. San Diego: Singular Publishing Group.
- Drew, R. & Sapis, S. (1995). Average speaking fundamental frequency in soprano singers with and without symptoms of vocal attrition. *Journal of Voice*, 9, 134—141.
- Dwire, A. & McCauley, R. (1995). Repeated measures of vocal fundamental frequency perturbation obtained using the Visi-Pitch. *Journal of Voice*, 9, 156—162.
- Enoka, R.M. (1988). *Neuromechanical basis of kinesiology (2. painos)*. Champaign: Human Kinetics Books.
- Eskenazi, L., Childers, D.G. & Hicks, D.M. (1990). Acoustic correlates of vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 298—306.
- Eustace, C.S., Stemple, J.C. & Lee, L. (1996). Objective measures of voice production in patients complaining of laryngeal fatigue. *Journal of Voice*, 10, 146—154.
- Fant, G. (1970). *Acoustic theory of speech production. With calculations based on X-ray studies on Russian articulations (2. painos)*. The Hauge: Mouton.
- Feijoo, S. & Hernández, C. (1990). Short-term stability measures for the evaluation of vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 324—334.
- Fex, B., Fex, S., Shiromoto, O. & Hirano, M. (1994). Acoustic analysis of functional dysphonia:

- before and after voice therapy (accent method). *Journal of Voice*, 8, 163—167.
- Finkelhor, B.K., Titze, I.R. & Durham, P.L. (1988). The effect of viscosity changes in the vocal folds on the range of oscillation. *Journal of Voice*, 1, 320—325.
- Fitch, J.L. (1990). Consistency of fundamental frequency and perturbation in repeated phonations of sustained vowels, reading, and connected speech. *Journal of Speech and Hearing Disorder*, 55, 360—363.
- Flanagan, J. (1972). *Speech analysis, synthesis, and perception*. New York: Springer-Verlag.
- Freidl, W., Friedrich, G., Egger, J. & Fitzek, T. (1993). Psycho-social aspects of functional dysphonia. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 18, 115—119.
- Friedrich, G. & Lichtenegger, R. (1997). Surgical anatomy of the larynx. *Journal of Voice*, 11, 345—355.
- Fritzell, B. (1996). Voice disorders and occupations. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 21, 7—12.
- Garrett, K.L. & Healey, E.C. (1987). An acoustic analysis of fluctuations in the voices of normal adult speakers across three times of day. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 58—62.
- Gauffin, J. & Sundberg, J. (1989). Spectral correlates of glottal voice source waveform characteristics. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 556—565.
- Gelfer, M.P. (1995). Fundamental frequency, intensity, and vowel selection: effects on measures of phonatory stability. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 1189—1198.
- Gelfer, M.P., Andrews, M.L. & Schmidt, C.P. (1991). Effects of prolonged loud reading on selected measures of vocal function in trained and untrained singers. *Journal of Voice*, 5, 158—167.
- Gelfer, M.P., Andrews, M.L. & Schmidt, C.P. (1996). Documenting laryngeal change following prolonged loud reading. A videostroboscopic study. *Journal of Voice*, 10, 368—377.
- Gelfer, M.P. & Fendel, D.M. (1995). Comparisons of jitter, shimmer, and signal-to-noise ratio from directly digitized versus taped voice samples. *Journal of Voice*, 9, 378—382.
- Gerritsma, E.J. (1991). An investigation into some personality characteristics of patients with psychogenic aphonia and dysphonia. *Folia Phoniatica*, 43, 13—20.
- Gotaas, C. & Starr, C.D. (1993). Vocal fatigue among teachers. *Folia Phoniatica*, 45, 120—129.
- Gramming, P. (1988). *The phonetogram. An experimental and clinical study*. Väitöstyö. University of Lund, Lund.
- Gramming, P. & Sundberg, J. (1988). Spectrum factors relevant to phonetogram measurement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 2352—2360.
- Gundermann, H. & Lüth, C. (1964). Zur Problematik der Stimmleistung bei Lehrern während des Unterrichts. *Folia Phoniatica*, 16, 243—248.
- Haataja, K. (1993). *Kliinisen puheentutkimuslaboratorion puheenanalyysiympäristö*. Diplomityö. Oulun yliopisto, sähkötekniikanosasto.
- Hall, K.D. (1995). Variations across time in acoustic and electroglottographic measures of phonatory function in women with and without vocal nodules. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 783—793.
- Hammarberg, B. (1986). *Perceptual and acoustic analysis of dysphonia*. Väitöstyö. Studies in Logopedics and Phoniatics No.1. Huddinge University Hospital, Department of Logopedics and Phoniatics.
- Hammond, T.H., Zhou, R., Hammond, E.H., Pawlak, A. & Grey, S.D. (1997). The intermediate layer: a morphologic study of the elastin and hyaluronic acid constituents of normal human vocal folds. *Journal of Voice*, 11, 59—66.
- Happak, W., Zrunek, M., Pechmann, U. & Streinzer, W. (1989). Comparative histochemistry of human and sheep laryngeal muscles. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 107, 283—288.
- Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ö.V. & Toverud, K.C. (1995). *Ihmisen fysiologia*. Porvoo: WSOY. (Suomentanut K. Sillman; alkuperäinen julkaisu 1992 *Menneskets fysiologi*).
- Heidelbach, J-G. (1986). *Über die Epidemiologie von Stimm-, Sprech- und Sprachstörungen*. Ergebnisse aus einer einheitlichen Dokumentation von phonitrischen Befunden in der täglichen

- Praxis. HNO-Praxis, 11, 301—304.
- Heinemann, M. (1972). Zur Frage der Stimmbelastungsfähigkeit vor einer Ausbildung in Sprechberufen. *Zeitschrift für ärztliche Fortbildung*, 66, 411—413.
- Hemler, R.J.B., Wieneke, G.H. & Dejonckere, P.H. (1997). The effect of relative humidity of inhaled air on acoustic parameters of voice in normal subjects. *Journal of Voice*, 11, 295—300.
- Herrington-Hall, B.L., Lee, L., Stemple, J.C., Niemi, K.R. & Miller McHone, M. (1988). Description of laryngeal pathologies by age, sex, and occupation in a treatment-seeking sample. *Journal of Speech and Hearing Disorder*, 53, 57—64.
- Hillenbrand, J. (1988). Perception of aperiodicities in synthetically generated voices. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 2361—2371.
- Hillenbrand, J., Cleveland, R.A. & Erickson, R.L. (1994). Acoustic correlates of breathy vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 769—778.
- Hillman, R.E., Holmberg, E.B., Perkell, J.S., Walsh, M. & Vaughan, C. (1989). Objective assessment of vocal hyperfunction: an experimental framework and initial results. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 373—392.
- Hirano, M. (1974). Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variation. *Folia Phoniatica*, 26, 89—94.
- Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice*. Wien: Springer-Verlag.
- Hirano, M. (1989). Objective evaluation of the human voice: clinical aspects. *Folia Phoniatica*, 41, 89—144.
- Hirano, M., Kurita, S. & Nakashima, T. (1981). The structure of the vocal folds. Teoksessa K.N. Stevens & M. Hirano (toim.), *Vocal fold physiology*. Tokyo: University of Tokyo Press, 33—41.
- Holbrook, A. (1977). Instrumental analysis and control of vocal behavior. Teoksessa M. Cooper & M. Hartung Cooper (toim.), *Approaches to vocal rehabilitation*. Springfield: Charles C. Thomas-Publisher, 65—75.
- Hollien, H. (1983). In search of vocal frequency control mechanisms. Teoksessa D.M. Bless & J.H. Abbs (toim.), *Vocal fold physiology: contemporary research and clinical issues*. San Diego: College-Hill Press, 361—367.
- Honda, K. (1983). Relationship between pitch control and vowel articulation. Teoksessa D.M. Bless & J.H. Abbs (toim.), *Vocal fold physiology: contemporary research and clinical issues*. San Diego: College-Hill Press, 286—296.
- Horiguchi, S., Haji, T., Baer, T. & Gould, W.J. (1987). Comparison of electroglottographic and acoustic waveform perturbation measures. Teoksessa T. Baer, C. Sasaki & K. Harris (toim.), *Laryngeal function in phonation and respiration*. Boston: College-Hill Press, 509—518.
- Horii, Y. (1979). Fundamental frequency perturbation observed in sustained phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 5—19.
- Horii, Y. (1980). Vocal shimmer in sustained phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 202—209.
- Horii, Y. (1982). Jitter and shimmer differences among sustained vowel phonations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 12—14.
- Houden, H. & Austin, S. (1991). The effects of estrogen replacement therapy in the menopausal singing voice. *Journal of Research in Singing and Applied Vocal Pedagogy*, 14, 41—50.
- Huang, D.Z., Minifie, F.D., Kasuya, H. & Lin, S.X. (1995). Measures of vocal function during changes in vocal effort level. *Journal of Voice*, 9, 429—438.
- Hudson, A.I. & Holbrook, A. (1982). Fundamental frequency characteristics of young Black adults: spontaneous speaking and oral reading. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 25—28.
- Hufnagle, J. & Hufnagle, K. (1984). An investigation of the relationship between speaking fundamental frequency and vocal quality improvement. *Journal of Communication Disorders*, 17, 95—100.
- Hurme, P. (1996). Acoustic studies of voice variation. *Väitöstyö. Jyväskylä studies in communication*

- 7.
- Isshiki, N. (1964). Regulatory mechanism of voice intensity variation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 7, 17—29.
- Iwarsson, J. & Sundberg, J. (1998). Effects of lung volume on vertical larynx position during phonation. *Journal of Voice*, 12, 159—165.
- Iwarsson, J., Thomasson, M. & Sundberg, J. (1996). Lung volume and phonation: a methodological study. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 21, 13—20.
- Jonsdottir, V. Effects of amplification to teachers' voices (tulossa).
- Karnell, M.P. (1991). Laryngeal perturbation analysis: minimum length of analysis window. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 544—548.
- Karnell, M.P., Hall, K.D. & Landahl, K.L. (1995). Comparison of fundamental frequency and perturbation measurements among three analysis systems. *Journal of Voice*, 9, 383—393.
- Karnell, M.P., Scherer, R.S. & Fischer, L.B. (1991). Comparison of acoustic voice perturbation measures among three independent voice laboratories. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 781—790.
- Kempster, G.B., Kistler, D.J. & Hillenbrand, J. (1991). Multidimensional scaling analysis of dysphonia in two speaker groups. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 534—543.
- Kiese-Himmel, C. & Kruse, E. (1994). Das laryngeale Kontaktgranulom - ein psychosomatisches Störungsbild? *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 46, 288—297.
- Kitzing, P. (1979). Glottografisk frekvensindikering. Väitöstyö. University of Lund, Lund.
- Kitzing, P. (1986). LTAS criteria pertinent to the measurement of voice quality. *Journal of Phonetics*, 14, 477 - 482.
- Kitzing, P. & Åkerlund, L. (1993). Long-time average spectrograms of dysphonic voices before and after therapy. *Folia Phoniatica*, 45, 53—61.
- Klatt, D.H. & Klatt, L.C. (1990). Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 820—857.
- Klingholz, F. (1990). Acoustic recognition of voice disorders: A comparative study of running speech versus sustained vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 2218—2224.
- Klingholz, F. & Martin, F. (1985). Quantitative spectral evaluation of shimmer and jitter. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 169—174.
- Klingholz, F., Siegart, C., Schleier, E. & Thamm, R. (1977). Lärmbedingte Stimmstörungen bei Angehörigen unterschiedlicher Berufsgruppen. *HNO-Praxis*, 3, 193—201.
- Koike, Y. (1973). Application of some acoustic measures for the evaluation of laryngeal dysfunction. *Studia phonologica VII*, 17—23.
- Koike, Y., Takahashi, H. & Calcaterra, T.C. (1977). Acoustic measures for detecting laryngeal pathology. *Acta Otolaryngologica*, 84, 105—117.
- Kostyk, B.E. & Rochet, A.P. (1998). Laryngeal airway resistance in teachers with vocal fatigue: a preliminary study. *Journal of Voice*, 12, 287—299.
- Koufman, J.A. & Blalock, P.D. (1988). Vocal fatigue and dysphonia in the professional voice user: Bocart-Bacal syndrome. *Laryngoscope*, 98, 493—498.
- Kroemer, K.H.E. & Grandjean, E. (1997). Fitting the task to the human. A textbook of occupational ergonomics (5. painos). London: Taylor & Francis.
- Kuna, S.T., Day, R.A., Insalaco, G. & Villeponteaux, R. D. (1991). Posterior cricoarytenoid activity in normal adults during involuntary and voluntary hyperventilation. *Journal of Applied Physiology*, 70, 1377—1385.
- Lacina, O. (1972). Das Vorkommen von Stimmlippenknötchen bei den Sängern. *Folia Phoniatica*, 24, 345—354.
- Laine, A., Simberg, S., Sala, E. & Rönnemaa, A-M. (1999). Äänihäiriöt opettajiksi opiskelevilla. Teoksessa J. Sellman, A-M. Korpijaakko-Huuhka & T. Siirilä (toim.), Äänen tutkimus ja

- äänihäiriöiden ennaltaehkäisy. Suomen logopedis-foniatrinen yhdistys ry:n julkaisuja 31, 20—28.
- Larson, C.R., Kempster, G.B. & Kistler, M.K. (1987). Changes in voice fundamental frequency following discharge of single motor units in cricothyroid and thyroarytenoid muscles. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 552—558.
- Laukkanen, A-M. (1995). On speaking voice exercises. Väitöstyö. *Acta Universitatis Tamperensis A* 445.
- Laukkanen, A-M. & Leino, T. (1999). Ihmeellinen ihmisääni. Äänen käytön ja puhetekniikan perusteet, arviointi, mittaaminen ja kehittäminen. Helsinki: Gaudeamus.
- Laukkanen, A-M., Mäki, E., Pukander, J. & Anttila, I. (1999). Vertical laryngeal size and the lowest tone in the evaluation of the average fundamental frequency (F0) of Finnish speakers. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 24, 170—177.
- Laukkanen, A-M., Vilkmán, E., Alku, P. & Oksanen, H. (1996). Physical variations related to stress and emotional state: a preliminary study. *Journal of Phonetics*, 24, 313—335.
- Laukkanen, A-M., Vilkmán, E., Alku, P. & Oksanen, H. (1997). On the perception of emotions in speech: the role of voice quality. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 22, 157—168.
- Lauri, E-R., Alku, P., Vilkmán, E., Sala, E. & Sihvo, M. (1997). Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniatrica*, 49, 234—246.
- Leino, T. (1999). In search of optimal pitch: the lowest possible tone as the reference in the evaluation of speaking pitch in Finnish speakers. Teoksessa Ph. Dejonckere & H.F.M. Peters (toim.), *Communication and its disorders: a science in progress. Proceedings of 24th Congress International Association of Logopedics and Phoniatrics, Amsterdam, The Netherlands 1998 August 23—27; Vol 1/2, 56—59.*
- Leino, T. & Kärkkäinen, P. (1995). On the effects of vocal training on the speaking voice quality of male student actors. Teoksessa K. Elenius & P. Branderud (toim.), *Proceedings of the XIIIth International Congress of Phonetic Sciences, Stockholm, Sweden August 13—19; Stockholm: Department of Speech Communication and Music Acoustics, Royal Institute of Technology and the Department of Linguistics, Stockholm University, Vol. 3/4, 496—499.*
- Leino, T. & Laukkanen, A-M. (1993). Äänitysetäisyyden vaikutus puheäänen keskiarvospektriin. Teoksessa A. Iivonen & R. Aulanko (toim.), *Papers from the 17th meeting of Finnish Phoneticians, Helsinki 1992. Publications of the Department of Phonetics, University of Helsinki, Helsinki, 117—129.*
- Leino, T., Laukkanen, A-M., Kättö, R., Mäki, E. & Ilomäki, I. (1999). Average fundamental frequency of Finnish female students in the 1970's and in the 1990's. Teoksessa Ph. Dejonckere & H.F.M. Peters (toim.), *Communication and its disorders: a science in progress. Proceedings of 24th Congress International Association of Logopedics and Phoniatrics, Amsterdam, The Netherlands 1998 August 23—27; Vol 1/2, 60—62.*
- Lieberman, P. (1961). Perturbations in vocal pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33, 597—603.
- Lieberman, P. (1963). Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathologic larynges. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 344—353.
- Liljencrants, J. (1991). Numerical simulations of glottal flow. Teoksessa J. Gauffin & B. Hammarberg (toim.), *Vocal fold physiology. Acoustic, perceptual, and physiological aspects of voice mechanisms. San Diego, Singular Publishing Group, 99—104.*
- Lindholm, P., Vilkmán, E., Raudaskoski, T. & Kauppila, A. (1996, September). The effects of climacterium and hormone replacement therapy on fundamental frequency — a preliminary study. *Symposium of Scandinavian Voice Research, in Honour of Aatto Sonninen, Helsinki.*
- Linville, S.E. (1988). Intraspeaker variability in fundamental frequency stability: an age-related phenomenon? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 741—745.
- Linville, S.E. (1995). Changes in glottal configuration in women after loud talking. *Journal of Voice*,

- 9, 57—65.
- Linville, S.E. & Korabic, E.W. (1987). Fundamental frequency stability characteristics of elderly women's voices. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1196—1199.
- Lira, E.A., Bonilla, R., Castro, L., Figari, A., Maraboli, E., Munon, O., Pinto, E., Salinas, S., Schwalm, E. & Vera, S. (1972). Un estudio experimental sobre los efectos del abuso vocal en seis voluntarios. *Proceedings XV Congreso Internacional de logopedia y foniatria*, 14—19 de Agosto de 1971. Buenos Aires: Argentina, 549—588.
- Lucero, J.C. (1998). Optimal glottal configuration for ease of phonation. *Journal of Voice*, 12, 151—158.
- Läärä, E. (1988). Mitä ovat p-arvot ja muut tilastollisen päättelyn välineet? *Duodecim*, 104, 10—25.
- Löfqvist, A. & Mandersson, B. (1987). Long-time average spectrum of speech and voice analysis. *Folia Phoniatica*, 39, 221—229.
- Mann, E.A., McClean, M.D., Gurevich-Uvena, J., Barkmeier, J., McKenzie-Garner, P., Paffrath, J. & Patow, C. (1999). The effects of excessive vocalization on acoustic and videostroboscopic measures of vocal fold condition. *Journal of Voice*, 13, 294—302.
- Markides, A. (1986). Speech levels and speech-to-noise ratios. *British Journal of Audiology*, 20, 115—120.
- Martin, D., Fitch, J. & Wolfe, V. (1995). Pathologic voice type and the acoustic prediction of severity. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 765—771.
- Masuda, T., Ikeda, Y., Manako, H. & Komiyama, S. (1993). Analysis of vocal abuse: fluctuations in phonation time and intensity in 4 groups of speakers. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 113, 547—552.
- Mc Hugh-Munier, C., Scherer, K.R., Lehmann, W. & Scherer, U. (1997). Coping strategies, personality, and voice quality in patients with vocal fold nodules and polyps. *Journal of Voice*, 11, 452—461.
- Megirian, D. & Sherrey, J.H. (1987). Neuromuscular mechanisms of the vocal folds and upper airway in maintaining ventilation during sleep. *Teoksessa T. Baer, C. Sasaki & K. Harris (toim.), Laryngeal function in phonation and respiration*. Boston: College-Hill Press, 80—92.
- Mendoza, E. & Carballo, G. (1998). Acoustic analysis of induced vocal stress by means of cognitive workload tasks. *Journal of Voice*, 12, 263—273.
- Miller, M.K. & Verdolini, K. (1995). Frequency and risk factors for voice problems in teachers of singing and control subjects. *Journal of Voice*, 9, 348—362.
- Milutinovic, Z., Polic, D., Milenkovic, S. & Sretenovic, V. (1998). Spatial arrangements of the structural elements of vocal fold layers: an adjustment to the vibration process. *Journal of Voice*, 12, 17—20.
- Morris, R.J. & Brown, W.S. (1994). Age-related differences in speech variability among women. *Journal of Communication Disorders*, 27, 49—64.
- Morrison, M.D. & Rammage, L.A. (1993). Muscle misuse voice disorders: description and classification. *Acta Otolaryngologica*, 113, 428—434.
- Morton, V. & Watson, D.R. (1998). The teaching voice: problems and perceptions. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 23, 133—139.
- Murray, I.R. & Arnott, J.L. (1993). Toward the simulation of emotion in synthetic speech: a review of the literature on human vocal emotion. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 1097—1108.
- Murry, T., Brown, W.S. & Morris, R.J. (1995). Patterns of fundamental frequency for three types of voice samples. *Journal of Voice*, 9, 282—289.
- Nasri, S., Beizai, P., Sercarz, J.A., Kreiman, J., Graves, M.C. & Berke, G.S. (1994a). Function of the

- interarytenoid muscle in a canine laryngeal model. *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 103, 975—982.
- Nasri, S., Sercarz, J.A., Azizadeh, B., Kreiman, J. & Berke, G.S. (1994b). Measurement of adductory force of individual laryngeal muscles in an in vivo canine model. *Laryngoscope*, 104, 1213—1218.
- Neils, L.R. & Yairi, E. (1987). Effects of speaking in noise on vocal fatigue and vocal recovery. *Folia Phoniatica*, 39, 104—112.
- Ng, M.L., Gilbert, H.R. & Lerman, J.W. (1997). Some aerodynamic and acoustic characteristics of acute laryngitis. *Journal of Voice*, 11, 356—363.
- Nichols, A.C. (1979). Jitter and shimmer related to vocal roughness: a comment on the Deal and Emanuel study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 670—671.
- Niedzielska, G., Pruszewicz, A. & Swidzinski, P. (1994). Acoustic evaluation of voice in individuals with alcohol addiction. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 46, 115—122.
- Nilsson, Å. (1987). Speech in depression: a methodological study of prosody. Väitöstyö. Stockholm, Karolinska Institute and Royal Institute of Technology.
- Nittrouer, S., McGowan, R.S., Milenkovic, P.H. & Beehler, D. (1990). Acoustic measurements of men's and women's voices: a study of context effects and covariation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 761—775.
- Norusis, M.J. (1990). *The SPSS guide to data analysis for release 4*. Chicago: SPSS.
- Novak, A., Dlouha, O., Capkova, B. & Vohradnik, M. (1991). Voice fatigue after theatre performance in actors. *Folia Phoniatica*, 43, 74—78.
- Novak, A. & Vokral, J. (1993). Emotions in the sight of long-time-averaged spectrum and three-dimensional analysis of periodicity. *Folia Phoniatica*, 45, 198—203.
- Ohlsson, A.-C. (1988). Voice and work environment: towards an ecology of vocal behaviour. Väitöstyö. Studies in Logopedics and Phoniatrics No. 1. University of Gothenburg.
- Omori, K., Kojima, H., Kakani, R., Slavit, D.H. & Blaugrund, S.M. (1997). Acoustic characteristics of rough voice: subharmonics. *Journal of Voice*, 11, 40—47.
- Orlikoff, R.F. (1990). Vowel amplitude variation associated with the heart cycle. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 2091—2098.
- Orlikoff, R.F. (1991). Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: data from normal male subjects. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 1066—1072.
- Orlikoff, R.F. (1995). Vocal stability and vocal tract configuration: an acoustic and electroglottographic investigation. *Journal of Voice*, 9, 173-181.
- Orlikoff, R.F. & Baken, R.J. (1989). The effect of the heartbeat on vocal fundamental frequency perturbation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 576—582.
- Orlikoff, R.F. & Baken, R.J. (1990). Consideration of the relationship between the fundamental frequency of phonation and vocal jitter. *Folia Phoniatica*, 42, 31—40.
- Orlikoff, R.F. & Kahane, J.C. (1991). Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures. *Journal of Voice*, 5, 113—119.
- Pahn, J., Dahl, D. & Pahn, E. (1975). Der Stimm Schalldruck als Tauglichkeitskriterium für pädagogische Berufsgruppen. *HNO-Praxis*, 1, 180—185.
- Pahn, J., Pahn, E. & Reissmann, B. (1975). Beziehungen zwischen Häufigkeit, Ätiopatogenese, Beschwerdedauer, Therapieaufwand und Therapieerfolg bei Stimmkrankungen in pädagogischen Berufsgruppen. *Deutsches Gesundheits-Wesen*, 30, 2342—2347.
- Parsa, V. & Jamieson, D.G. (1999). A comparison of high precision F0 extraction algorithms for sustained vowels. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 112—126.
- Partanen, L. (2000). Naisopettajien kokemien äänihäiriötuntemusten yhteydet perustaajuuteen ja päivänäkaisen puhumisen määrään. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, Suomen ja saamen kielen ja logopedian laitos, Oulu.
- Pegoraro Krook, M.I. (1988). Speaking fundamental frequency characteristics of normal Swedish

- subjects obtained by glottal frequency analysis. *Folia Phoniatica*, 40, 82—90.
- Pekkarinen, E., Alku, P., Lauri, E.-R., Nykyri, E., Sihvo, M., Toivonen, P. & Vilkmann, E. (1993). Puhe- ja ääniammattien työympäristön kuormitustekijöiden yksittäis- ja yhteisvaikutukset äänentuottoon. Helsinki: Työsuojelurahasto.
- Pekkarinen, E., Himberg, L. & Pentti, J. (1992). Prevalence of vocal symptoms among teachers compared with nurses: a questionnaire study. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 17, 113—117.
- Pekkarinen, E. & Viljanen, V. (1991). Acoustic conditions for speech communication in classrooms. *Scandinavian Audiology*, 20, 257—263.
- Pemberton, C., McCormack, P. & Russell, A. (1998). Have women's voices lowered across time? A cross sectional study of Australian women's voices. *Journal of Voice*, 12, 208—213.
- Perry, C.K., Ingrisano, D.R.-S. & Scott, S.R.G. (1996). Accuracy of jitter estimates using different filter settings on Visi-Pitch. A preliminary report. *Journal of Voice*, 10, 337—341.
- Pruszewicz, A., Obrebowski, A., Swidzinski, P., Demenko, G., Wika, T. & Wojciechowska, A. (1991). Usefulness of acoustic studies on the differential diagnostics of organic and functional dysphonia. *Acta Otolaryngologica* (Stockholm), 111, 414—419.
- Prytz, S. & Frøkjær-Jensen, B. (1976). Long time average spectra analyses of normal and pathological voices. *Folia Phoniatica*, 28, 280.
- Pyykkö, I., Korhonen, O., Farkkila, M., Starck, J., Aatola, S. & Jäntti, V. (1986). Vibration syndrome among Finnish forest workers, a follow-up from 1972 to 1982. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 12, 307—312.
- Rabinov, C.R., Kreiman, J., Gerratt, B.R. & Bielamowicz, S. (1995). Comparing reliability of perceptual ratings of roughness and acoustic measures of jitter. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 26—32.
- Rantala, L., Haataja, K., Vilkmann, E. & Kōrkkö, P. (1994). Practical arrangements and methods in the field examination and speaking style analysis of professional voice users. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 19, 43—54.
- Rastatter, M.P., McGuire, R.A., Kalinowski, J. & Stuart, A. (1997). Formant frequency characteristics of elderly speakers in contextual speech. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 49, 1—8.
- Richards, A.M. (1976). *Basic experimentation in psychoacoustics*. Baltimore: University Park Press.
- Rödeno, M.T., Sanchez-Fernandez, J.M. & Rivera-Pomar, J.M. (1993). Histochemical and morphometrical ageing changes in human vocal cord muscles. *Acta Otolaryngologica* (Stockholm), 113, 445—449.
- Russell, A., Oates, J. & Greenwood, K.M. (1998). Prevalence of voice problems in teachers. *Journal of Voice*, 12, 467—479.
- Russell, A., Penny, L. & Pemberton, C. (1995). Speaking fundamental frequency changes over time in women: a longitudinal study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 101—109.
- Sabol, J.W., Lee, L. & Stemple, J.C. (1995). The value of vocal function exercises in the practice regimen of singers. *Journal of Voice*, 9, 27—36.
- Saito, S., Fukuda, H., Kitahara, S., Isogai, Y., Tsuzuki, T., Muta, H., Takayama, E., Fujioka, T., Kokawa, N. & Makino, K. (1985). Pellet tracking in the vocal fold while phonating - experimental study using canine larynges with muscle activity. *Teoksessa I.R. Titze & R.C. Scherer (toim.)*, *Vocal fold physiology: biomechanics, acoustics, phonatory control*. Denver: The Denver Center for the Performing Arts, 169—182.
- Sala, E., Airo, E., Laine, A., Olkinuora, P., Pentti, J. & Suonpää, J. (1998). Vocal loading and prevalence of voice disorders among day care center personnel. *Teoksessa N. Carter & R.F. Soames RF (toim.)*, *Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Sydney Australia 22.—26.11. 1998, Sydney, Vol 1, 385—388.
- Sallinen-Kuparinen, A. (1985). Pitch level and type of oral task. *Teoksessa P. Hurme (toim.)*, *Puheen*

- tutkimuksen alalta 6. Jyväskylän yliopiston viestintätieteiden laitoksen julkaisuja. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 79—92.
- Sanderson, R.J. & Maran, A.G.D. (1992). The quantitative analysis of dysphonia. *Clinical Otolaryngology*, 17, 440—443.
- Sapienza, C.M. & Stathopoulos, E.T. (1995). Speech task effects on acoustic and aerodynamic measures of women with vocal nodules. *Journal of Voice*, 9, 413—418.
- Sapir, S. (1993). Vocal attrition in voice students: survey findings. *Journal of Voice*, 7, 69—74.
- Sapir, S., Keidar, A. & Mathers-Schmidt, B. (1993). Vocal attrition in teachers: survey findings. *European Journal of Disorders of Communication*, 28, 177—185.
- Sataloff, R.T., Lawrence, V.L., Hawkshaw, M.J. & Rosen, D.C. (1994). Medications and their effects on the voice. Teoksessa M.S. Benninger, B.H. Jacobson & A.F. Johnson (toim.), *Vocal arts medicine. The care and prevention of professional voice disorders*. New York: Thieme Medical Publisher, 216—225.
- Saxon, K.G. & Schneider, C.M. (1995). *Vocal exercise physiology*. California: Singular Publishing Group.
- Scherer, K.R. & Scherer, U. (1981). Speech behavior and personality. Teoksessa Darby JK (toim.), *Speech evaluation in psychiatry*. New York: Grune & Stratton, 115—135.
- Scherer, R.C., Titze, I.R., Raphael, B.N., Wood, R.P., Ramig, L.A. & Blager, R.F. (1987). Vocal fatigue in a trained and an untrained voice user. Teoksessa T. Baer, C. Sasaki & K. Harris (toim.), *Laryngeal function in phonation and respiration*. Boston: College-Hill Press, 533—555.
- Scherer, R.C., Vail, V.J. & Guo, C.G. (1995). Required number of tokens to determine representative voice perturbation values. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 1260—1269.
- Schoentgen, J. (1989). Jitter in sustained vowels and isolated sentences produced by dysphonic speakers. *Speech Communication*, 8, 61—79.
- Schultz-Coulon, H.-J. (1980). Zur routinemässigen Messung der stimmlichen Reaktion im Lärm. *Sprache - Stimme - Gehör*, 4, 28—34.
- Scott, S., Robinson, K., Wilson, J.A. & MacKenzie, K. (1997). Patient-reported problems associated with dysphonia. *Clinical Otolaryngology*, 22, 37—40.
- Sihvo, M. (1997). Voice in test. Studies on sound level measurement and on the effects of various combinations of environmental humidity, speaking output level and body posture on voice range profiles. Väitöstyö. *Acta Universitatis Tamperensis* 541.
- Smith, S. (1962). On artificial voice production. Teoksessa A. Soviärvi & P. Aalto (toim.), *Proceedings of the 4th International Congress of Phonetic Science*, The Hauge: Mouton, 96—110.
- Smith, E., Gray, S.D., Dove, H., Kirchner, L. & Heras, H. (1997). Frequency and effects of teachers' voice problems. *Journal of Voice*, 11, 81—87.
- Smith, B.E., Weinberg, B., Feth, L.L. & Horii, Y. (1978). Vocal roughness and jitter characteristics of vowels produced by esophageal speakers. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 240—249.
- Sonninen, A., Damste, P.H., Jol, L. & Fokkens, J. (1972). On vocal strain. *Folia phoniatrica*, 24, 321—336.
- Spiegel, J.R., Hawkshaw, M. & Sataloff, R.T. (1991). Allergy. Teoksessa: RT Sataloff (toim.), *Professional voice. The science and art of clinical care*. New York: Raven Press, 153—157.
- Stemple, J.C. (1995). *Clinical voice pathology theory and management (2. painos)*. San Diego: Publishing Group.
- Stemple, J.C., Stanley, J. & Lee, L. (1995). Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *Journal of Voice*, 9, 127—133.
- Stone, Jr R.E. (1983). Issues in clinical assessment of laryngeal function: contraindications for subscribing to maximum phonation time and optimum fundamental frequency. Teoksessa D.M. Bless & J.H. Abbs (toim.), *Vocal fold physiology. Contemporary research & clinical issues*. San Diego: College-Hill Press, 410—424.

- Stone, R.E. & Rainey, C.L. (1991). Intra- and intersubject variability in acoustic measures of normal voice. *Journal of Voice*, 5, 189—196.
- Stone, R.E. & Sharf, D.J. (1973). Vocal change associated with the use of atypical pitch and intensity levels. *Folia Phoniatica*, 25, 91—103.
- Sulter, A.M., Schutte, H.K. & Miller, D.G. (1995). Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training. *Journal of Voice*, 9, 363—377.
- Sundberg, J. (1975). Formant technique in a professional female singer. *Acustica*, 32, 89—96.
- Sundberg, J. (1977). The acoustics of the singing voice. *Scientific American*, 236 (3), 82—91.
- Sundberg, J., Leanderson, R. & von Euler, C. (1988). Activity relationship between diaphragm and cricothyroid muscles. *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report 2—3*, 83—91.
- Sundberg, J., Scherer, R. & Titze, I. (1990). Phonatory control in male singing. A study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency and mode of phonation on the voice source. *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report 4*, 59—79.
- Sussman, J.E. & Sapienza, C. (1994). Articulatory, developmental, and gender effects on measures of fundamental frequency and jitter. *Journal of Voice*, 8, 145—156.
- Södersten, M. & Hammarberg, B. (1993). Effects of voice training in normal-speaking women: videostroboscopic, perceptual, and acoustic characteristic. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 18, 33—42.
- Södersten, M. & Hammarberg, B. (1999). Recording teachers' voices simultaneously with background noise in pre-schools — presentation of a method. *Phoniatric and Logopedic Progress Report No. 11*. Stockholm: Department of Logopedics and Phoniatics, Huddinge Hospital, Karolinska Institute, 41—45.
- Södersten, M., Lindestad, P-Å. & Hammarberg, B. (1991). Vocal fold closure, perceived breathiness, and acoustic characteristics in normal adult speakers. Teoksessa J. Gauffin & B. Hammarberg (toim.), *Vocal fold physiology. Acoustic, perceptual and physiological aspects of voice mechanisms*. San Diego: Singular Publishing Group, 217—224.
- Teig, E., Dahl, H.A. & Thorkelsen, H. (1978). Actomyosin ATPase activity of human laryngeal muscles. *Acta Otolaryngologica*, 85, 272—281.
- Terasawa, R., Hibi, S.H. & Hirano, M. (1989). Mean airflow rates during phonation over a comfortable duration and maximum sustained phonation. *Folia Phoniatica*, 39, 87—89.
- Titze, I.R. (1988). Regulation of vocal power and efficiency by subglottal pressure and glottal width. Teoksessa O. Fujimura (toim.), *Vocal physiology: voice production, mechanisms and functions*. New York: Raven Press, 227—238.
- Titze, I.R. (1993). Mechanical stress in phonation. *NCVS Status and Progress Report 4 June*, 291—301.
- Titze, I.R. (1994). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Titze, I.R. (1999). Toward occupational safety criteria for vocalization. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 24, 49—54.
- Titze, I.R., Horii, Y. & Scherer, R.C. (1987). Some technical considerations in voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 252—260.
- Titze, I.R., Lemke, J. & Montequin, D. (1997). Populations in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: a preliminary report. *Journal of Voice*, 11, 254—259.
- Titze, I.R. & Liang, H. (1993). Comparison of F0 extraction methods for high-precision voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 1120—1133.
- Titze, I.R. & Sundberg, J. (1992). Vocal intensity in speakers and singers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 2936—2946.
- Titze, I.R. & Talkin, D.T. (1979). A theoretical study of the effects of various laryngeal configurations on the acoustics of phonation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 60—74.

- Titze, I.R. & Winholz, W.S. (1993). Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 1177—1190.
- Toivanen, H. (1994). Occupational stress in working women and the benefits of relaxation training. Studies on bank employees, home helps and hospital cleaners. Väitöstyö. Kuopion yliopiston julkaisuja D, lääketiede 54.
- Valencia, N., Mendoza, E., Matelo, I. & Carballo, G. (1994). High-frequency components of normal and dysphonic voices. *Journal of Voice*, 8, 157—162.
- van Heusden, E., Plomp, R. & Pols, L.C.W. (1979). Effect of ambient noise on the vocal output and the preferred listening level of conversational speech. *Applied Acoustics*, 12, 31—43.
- Verdolini, K., Titze, I.R. & Fennell, A. (1994). Dependence of phonatory effort on hydration level. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 1001—1007.
- Verstraete, J., Forrez, G., Mertens, P. & Debruyne, F. (1993). The effect of sustained phonation at high and low pitch on vocal jitter and shimmer. *Folia Phoniatica*, 45, 223—228.
- Vilkman, E. (1987). Studies on human voice production. Anatomical, biomechanical, physiological and psychophysiological studies with special reference to fundamental frequency. Väitöstyö. Acta Universitatis Tamperensis A 232.
- Vilkman, E. (1990). Vox humana: työ ja ääni. *Vox*, 12, 69—78.
- Vilkman, E. (1999). Työperäiset äänihäiriöt — puhetyön riskitekijät. *Suomen Lääkärilehti*, 31, 3829—3832.
- Vilkman, E., Aaltonen, O., Laine, U. & Raimo, I. (1990). Intrinsic pitch of vowels — a complicated problem with an obvious solution? Teoksessa J. Gauffin & B. Hammarberg (toim.), *Vocal fold physiology. Acoustic, perceptual, and physiological aspects of voice mechanisms*. San Diego: Singular Publishing Group, 159—166.
- Vilkman, E., Ignatius, J. & Petri-Larmi, M. (1984). Kurkunpään lihaksiston EMG-tutkimus. *Suomen Lääkärilehti*, 31, 2677—2680.
- Vilkman, E., Laine, U.K. & Koljonen, J. (1991). Supraglottal acoustics and vowel intrinsic fundamental frequency: an experimental study. *Speech Communication*, 4, 325—334.
- Vilkman, E., Lauri, E-R., Alku, P., Sala, E. & Sihvo, M. (1997). Loading changes in time-based parameters of glottal flow waveforms in different ergonomic conditions. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 49, 247—263.
- Vilkman, E., Lauri, E-R., Alku, P., Sala, E. & Sihvo, M. (1999). Effects of prolonged oral reading on F0, SPL, subglottal pressure and amplitude characteristics of glottal flow waveforms. *Journal of Voice*, 13, 303—315.
- Vilkman, E. & Manninen, O. (1986). Changes in prosodic features of speech due to environmental factors. *Speech Communication*, 5, 331—345.
- Vilkman, E., Manninen, O., Lauri, E-R. & Pukkila, T. (1987). Vocal jitter as an indicator of changes in psychophysiological arousal. *Proceedings 11th ICPhS, Tallinn U.S.S.R. 1987 August 1—7; Vol 2/6*, 188—191.
- Vilkman, E., Sonninen, A., Hurme, P. & Körkkö, P. (1996). External laryngeal frame function in voice production revisited: a review. *Journal of Voice*, 10, 78—92.
- Vintturi, J., Alku, P., Lauri, E-R., Sala, E., Sihvo, M. & Vilkman, E. Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. (Lähetetty arvioitavaksi lehteen.)
- Watanabe, H., Shin, T., Oda, M., Fukaura, J. & Komiyama, S. (1987). Measurement of total actual speaking time in a patient with spastic dysphonia. *Folia Phoniatica*, 39, 65—70.
- Wendler, J. & Seidner, W. (1987). *Lehrbuch der Phoniatrie*. Leipzig: VEB Georg Thieme.
- Willerson, J.T. (1988). Disorders of coronary arteries: angina pectoris. Teoksessa J. B. Wyngaarden & L.H. Smith Jr (toim.), *Cecil textbook of medicine*. Vol. 1 (18. painos). Philadelphia: W. B. Saunders, 323—329.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.
- Winholtz, W.S. & Titze, I.R. (1997). Miniature head-mounted microphone for voice perturbation

- analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 894—899.
- Wolfe, V., Fitch, J. & Cornell, R. (1995). Acoustic prediction of severity in commonly occurring voice problems. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 273-279.
- Wolfe, V. & Martin, D. (1997). Acoustic correlates of dysphonia: type and severity. *Journal of Communication Disorders*, 30, 403—416.
- Wolfe, V.I. & Steinfatt, T.M. (1987). Prediction of vocal severity within and across voice types. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 230—240.
- World Health Organisation. (1980). *International classification of impairments, disabilities and handicaps (ICIDH)*. Geneva: WHO.
- Wyke, B. (1983). Neuromuscular control systems in voice production. Teoksessa D.M. Bless & J.H. Abbs (toim.), *Vocal fold physiology: contemporary research and clinical issues*. San Diego: College-Hill Press, 71—76.
- Yumoto, E., Sasaki, Y. & Okamura, H. (1984). Harmonics-to-noise ratio and psychophysical measurement of the degree of hoarseness. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 2—6.
- Zemlin, W.R. (1988). *Speech and hearing science (3. painos)*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Zenker, W. & Glaninger, J. (1959). Die Stärke des Trachealzuges beim lebenden Menschen und seine Bedeutung für die Kehlkopfmechanik. *Zeitschrift für Biologie*, 111, 155—164.
- Zenker, W. & Zenker, A. (1960). Über die Regelung der Stimmlippenspannung durch von aussen eingreifende Mechanismen. *Folia Phoniatica (Basel)*, 12, 1—36.
- Åkerlund, L. (1993). Averages of sound pressure levels and mean fundamental frequencies of speech in relation to phonetograms: comparison of nonorganic dysphonia patients before and after therapy. *Acta Otolaryngologica (Stockh)*, 113, 102—108.

Liite I

Kysely äänenkäytöstä ja siihen liittyvistä tekijöistä

1. Nimi _____
2. Sukupuoli nainen _____ mies _____
3. Ikä _____ vuotta
4. Olen toiminut opettajana n. _____ vuotta
5. Minulla on keskimäärin enemmän opetustunteja
liikunnassa _____
musiikissa _____
käsityössä _____
ei edellä mainituissa _____

Lue alla olevat väittämät ja ympyröi vaihtoehto, joka kuvaa sinua parhaiten.

Vaihtoehdot:

1 = harvemmin kuin kerran vuodessa tai ei koskaan

2 = muutaman kerran vuodessa tai joskus

3 = n. kerran kuukaudessa tai melko usein

4 = lähes joka viikko tai hyvin usein

6. Ääneni rasittuu, kun joudun puhumaan pitkään.

1 2 3 4

7. Ääneni on käheä ilman, että minulla on flunssaa

1 2 3 4

8. Minulla on palan ja/tai liman tunnetta kurkussani.

1 2 3 4

9. Tunnen kurkussani tai kaulan alueella väsymystä ja/tai kipua pitkään jatkuneen puhumisen jälkeen.

1 2 3 4

10. Ääneni ei ole mielestäni riittävän kestävä/hyvä tilanteissa, joissa tarvitaan paljon puhetta.

1 2 3 4

11. Meluisissa tilanteissa ääneni ei kanna.

1 2 3 4

12. Ääneni katkeilee tai pettää puhuessani.

1 2 3 4

13. Ääneni on kadonnut kokonaan ilman, että minulla on flunssaa.

1 2 3 4

14. olen joutunut olemaan pois työstä ääni ongelmien vuoksi.

1 2 3 4

Vastaa seuraaviin kysymyksiin ja väittämiin.

15. Minulla on harrastuksia, joissa käytän runsaasti ääntä.

esim. laulaminen, näytteleminen, urheiluvalmennus tms.

kyllä _____ ei _____

16. Minulla on allergista nuhaa ja/tai astmaa.

kyllä _____ ei _____

17. Minulla on astmalääkitys.

kyllä _____ ei _____

18. Sairastan usein flunssia (4 kertaa vuodessa tai useammin).

kyllä _____ ei _____

19. Käytän hormonivalmisteita

_____ ehkäisytabletteja

_____ lääkitystä kilpirauhasen vajaatoimintaan

_____ jotakin muuta hormonivalmistetta

_____ en käytä

20. Minulla on jokin krooninen sairaus (reuma, verenpainetauti tms.)

kyllä _____ mikä? _____ ei _____

21. Tupakoitko?

En ole koskaan polttanut _____

Olen lopettanut tupakoinnin _____ sitten.

Olen tupakoinut _____ vuotta ja poltan n. _____ savuketta päivässä.

Liite I 3/3

22. Käyttämäni alkoholimäärä keskimäärin viikossa (ilmoita pulloina, laseina tai ravintola-annoksina).

_____ III- tai IV-olutta
_____ viiniä
_____ väkeviä alkoholijuomia

23. Olen kääntynyt asiantuntijan puoleen ääniongelmissa.

kyllä _____ ei _____

24. Minulla on todettu

_____ äänihuulikyhyt, milloin? _____
_____ pitkittynyt tai jatkuva kurkunpääntulehdus, milloin _____
_____ muutoksia äänihuulissa, milloin? _____
_____ ei poikkeavaa kurkunpäässä

25. Olen saanut ääniterapiaa.

kyllä _____ , milloin? _____
ei _____

26. Minulla on kuulovamma.

kyllä _____ , minkäasteinen? _____
ei _____

27. Minusta tuntuu, että kuulen normaalia huonommin.

kyllä _____ ei _____

Suostun mahdolliseksi koehenkilöksi kenttätutkimukseen.

kyllä _____ ei _____

Huomautettavaa _____

KIITOS VASTAUKSISTASI!

Liite II

Kyselykaavakkeen pisteytys ääniongelmien vaikeusasteen määrittämiseksi (kysymykset 6—14)

Pisteytys muissa osajulkaisuissa paitsi VI:ssa

Kysymyksiä 7, 13 ja 14 painotettiin, sillä ne ilmensivät vaikeampaa ääniongelmaa.

Kysymykset 6 ja 8—12

Vaihtoehto 1 = ei yhtään pistettä

Vaihtoehto 2 = 2 pistettä

Vaihtoehto 3 = 3 pistettä

Vaihtoehto 4 = 4 pistettä

Kysymykset 7, 13 ja 14

Vaihtoehto 1 = ei yhtään pistettä

Vaihtoehto 2 = 3 pistettä

Vaihtoehto 3 = 4 pistettä

Vaihtoehto 4 = 5 pistettä

Äänihäiriöisyyden aste = pisteiden yhteenlaskettu summa

Pisteytys osajulkaisuissa VI

Koska haluttiin saada selvemmin esille FC- ja MC-ryhmien erilaisuus, painotettiin oireiden esiintymistaajuutta.

Kysymykset 6 ja 8—12

Vaihtoehto 1 = ei yhtään pistettä

Vaihtoehto 2 = 2 pistettä

Vaihtoehto 3 = 4 pistettä

Vaihtoehto 4 = 7 pistettä

Kysymykset 7, 13 ja 14

Vaihtoehto 1 = ei yhtään pistettä

Vaihtoehto 2 = 3 pistettä

Vaihtoehto 3 = 5 pistettä

Vaihtoehto 4 = 8 pistettä

Osatutkimuksessa VI koehenkilöiden kokemat äänioireet pisteytettiin vähän eri tavoin. Menettelyllä pyrittiin saamaan entistä selvemmin esille ne koehenkilöt, joilla oli selvästi ongelmia äänensä kanssa. Menettely oli seuraavanlainen: Jos koehenkilö oli valinnut arvon 3 kuvaamaan kokemansa äänioireen vaikeusastetta, siihen lisättiin piste. Jos koehenkilön valitsema arvo oli 4, lisäys oli kolme pistettä. Muuten koettujen äänioireiden laskeminen tapahtui samoin kuin aiemmissa osatutkimuksissa.

Liite III

ÄÄNINÄYTTEIDEN TALLENNUS VÄLITUNNEILLA

Suorita tämä äänitalennus kolmena työpäivänä saman viikon aikana (mieluiten maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina). Nauhoitus tehdään 4 kertaa päivän aikana.

1) ennen opetuksen alkua

2) ensimmäisen oppitunnin jälkeen

3) lounastauon jälkeen

4) viimeisen oppitunnin jälkeen

Aseta mikrofoni 40 cm päähän huulista, istu suoraan mikrofonin päin.

Tehtävät:

-tee kaikki tehtävät jokaisessa nauhoituksessa.

a) lue lukukappale "Tuolla on Lasse.."

b) Sano sana /paasi/

1) mahdollisimman hiljaa, ei kuitenkaan kuiskaten, 5 kertaa

2) normaalilla puheäänellä, 5 kertaa

c) Hengitä muutaman kerran rauhallisesti, ota kuhkot täyteen ilmaa ja äännä /a/-vokaalia mahdollisimman pitkään puheään korkeudella ja miellyttävän tuntuoisella voimakkuudella. Tee tämä 2 kertaa.

Puheäänien korkeus löytyy parhaiten hymähtämällä!

d) Äännä samalla tavalla /s/-konsonantia mahdollisimman pitkään. Tee tämä yhden kerran.

Lukukappale

Tuolla on Lasse. Hän on viisi vuotias. On lauantaiamu ja koko Lassen perhe on kotona - äiti, isä, Lasse itse ja pikkusisko Liisa ja heidän koiransa Pahuus. He näyttävät paraikaa syövän aamuruokaa vuoteessa.

Aamuruuan jälkeen Lasse menee loikoilemaan. Hän odottelee, että Nikke soittaisi ovikelloa. Mutta sinä et taida tietääkään, kuka Nikke on? Hän Lassen paras kaveri. Kun Nikke on mukana, asiat luistavat hyvin. Silloin nauretaan kaikille makeille jutuille tai istutaan ihan hiljaa ja olo tuntuu mukavalta. Nikke on seitsemän vuoden ikäinen. Kun hän soittaa ovikelloa, hän painaa ensin lyhyen ja yhden hirmuisen lyhyen, sitten kaksi pitkää ja yhden hirmuisen pitkän soiton. Se on heidän salainen merkkisoihtonsa.

Tänään Lasse ja Nikke tekevät elokuvan. He piirtävät monta isoa paperia aivan täyteen. Liisasta vain on koko ajan harmia, hän yrittää repiä elokuvapiirroksia palasiksi. Pikkulapsilla on tapana repiä paperia eivätkä ne yhtään ymmärrä, että paperissa voi olla tärkeitä piirroksia.

PÄIVÄKIRJA ÄÄNENKÄYTÖN OIREISTA TUTKIMUSVIIKON AIKANA

Kirjaa kaikki mahdolliset päivän aikana tuntemasi fyysiset rasitusoireet, äänen rasitusoireet (esim. kakistelun tarve, ääni peittää jne.). Mikäli pystyt, ilmoita myös rasitusoireen vaikeusaste esim. asteikolla 1 = oire melko vähäinen, 2 = oire haittaa, 3 = oire erittäin haittaava.

MA

TI

KE

TO

PE

Liite IV

SPL:n muutoksen vaikutus F0:n muutokseen (SPL:n ja F0:n erotuksien yhteys). a: koko ryhmä (n = 33, p-arvo suluisissa); b: FC-ryhmä (n = 16); c: MC-ryhmä (n = 17). T1 = ensimmäisen oppitunnin alku, T2 = ensimmäisen oppitunnin keskiosa, T3 = ensimmäisen oppitunnin loppu; T4, T5, T6 vastaavat ajankohdat viimeisellä oppitunnilla.

a

	T2	T3	T4	T5	T6
T1	0.48 (0.004)	0.41 (0.02)			
T2		0.43 (0.01)	0.54 (0.001)	0.42 (0.014)	0.4 (0.01)
T3			0.57 (0.001)	0.47 (0.006)	
T4				0.4 (0.02)	
T5					0.49 (0.003)

b

	T2	T3	T4	T5	T6
T1	0.71 (0.002)	0.61 (0.012)			
T2					
T3			0.52 (0.039)		
T4					
T5					0.5 (0.046)

c

SPL/F0	T2	T3	T4	T5	T6
T1					
T2			0.51 (0.033)		
T3			0.66 (0.004)	0.55 (0.021)	0.48 (0.048)
T4					
T5					