



ELINA KANKARE

Elektroglottografia (EGG) äänen laadun tutkimuksessa  
funktionaalisesti terveäänisillä puhujilla

Vertaileva tutkimus EGG:n sekä akustisen,  
perkeptuaalisen ja laryngoskopiatutkimuksen  
välillä lastentarhanopettajilla



AKATEEMINEN VÄITÖSKIRJA  
Esitetään Tampereen yliopiston  
kasvatustieteiden yksikön johtokunnan suostumuksella  
julkisesti tarkastettavaksi Tampereen yliopiston  
Pinni B:n luentosalissa B1100, Kanslerinrinne 1, Tampere,  
7. päivänä kesäkuuta 2014 klo 12.

TAMPEREEN YLIOPISTO

ELINA KANKARE

Elektroglottografia (EGG) äänen laadun tutkimuksessa  
funktionaalisesti terveäänisillä puhujilla

Vertaileva tutkimus EGG:n sekä akustisen,  
perkeptuaalisen ja laryngoskopiaturkimuksen  
välillä lastentarhanopettajilla

English abstract

*Acta Universitatis Tamperensis 1937*  
*Tampere University Press*  
*Tampere 2014*



AKATEEMINEN VÄITÖSKIRJA  
Tampereen yliopisto  
Kasvatustieteiden yksikkö

Copyright ©2014 Tampere University Press ja tekijä

Kannen suunnittelu  
Mikko Reinikka

Taitto  
Sirpa Randell

Myynti:  
kirjamyynti@juvenes.fi  
<http://granum.uta.fi>

Acta Universitatis Tamperensis 1937  
ISBN 978-951-44-9456-7 (nid.)  
ISSN-L 1455-1616  
ISSN 1455-1616

Acta Electronica Universitatis Tamperensis 1421  
ISBN 978-951-44-9457-4 (pdf)  
ISSN 1456-954X  
<http://tampub.uta.fi>

Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print  
Tampere 2014



# ALKUSANAT

Tämä väitöskirja on valmistunut Tampereen yliopiston kasvatustieteiden tieteenala-yksikön puheen- ja äänentutkimuksen laboratorion väitöstyönä. Väitöstyöni koostuu neljästä kansainvälisen vertaisarvion läpikäyneestä artikkelista sekä yhteenveto-osuudesta. Tutkimuksen rahoitti Suomen Akatemia ja tämän lisäksi Tampereen yliopisto, Emil Aaltosen säätiö, Työsuojelurahasto ja Tampereen kaupungin tiederahaston toimikunta ovat rahallisesti tukeneet väitöstyöni viimeistelyä. Kiitän kaikkia tutkimukseni rahoittajia.

Lämpimästi kiitän ohjaajaani professori FT Anne-Maria Laukkasta, joka alun perin on johdattanut minut ihmisäänen ihmeelliseen maailmaan, ja jolta olen saanut neuvoja, tukea ja kannustusta koko väitöstyöprosessin ajan. Kiitän myös toista ohjaajaani professori LT Erkki Vilkmania kaikesta kannustuksesta. Lisäksi esitän kiitokseni väitöstyöni esitarkastajille professori, FT, dosentti Susanna Simbergille ja professori TkT Unto Laineelle arvokkaista huomioista väitöstyöni esitarkastuksessa. Foniatri LT Ahmed Geneidiä ja M.Sc. Dong Liuta kiitän hedelmällisestä yhteistyöstä. Erityiskiitokset haluan osoittaa pyyteettömästä tuesta puhetekniikan ja vokologian yliopistonlehtori FT Irma Ilomäelle. Erikoislaboratoriomestari Jarmo Helinin apu teknisten laitteiden ja analyysien kanssa on ollut korvaamatonta, kiitos Jarmo. Kielenkääntäjä, MA Virginia Mattilaa kiitän artikkelieni kielitarkastuksesta ja tutkimuspäällikkö Jyrki Ollikaista konsultaatioavusta tilastollisissa menetelmissä.

Minulla on ollut ilo työskennellä vaihtelevissa työyhteisössä väitöstyöni tekemisen aikaan. Niissä kaikissa on työilmapiiri ollut tutkimusta kannustava. Siispä kiitän kaikkia kollegoitani ja mukana olleita opiskelijoita, jotka ovat antaneet oman panoksensa tutkimukseeni sen eri vaiheissa. Lämmin kiitos vertaistuesta kuuluu kaikille tutuille jatko-opiskelijakollegoille. Erityiskiitokseni haluan antaa ystävälleni, naapurilleni ja kollegalleni Jaana Tyrmille, jonka kanssa olen kiertänyt maailmalla konferensseissa ja Härmälän lenkkipoluilla. Hän on aina jaksanut kuunnella mietteitani ja yhteisissä keskusteluhetkissämme on avautunut moni omaan ajatteluun muodostunut tieteen tekemisen solmu. Lämpimästi haluan kiittää myös alakuppilan aamuparlamenttilaisia kaikesta avusta. Aamuparlamentti piti aloittelevan tutkijan ajan hermolla, jalat tukevasti maassa ja kofeiinitasot riittävinä. Lähetän vielä suurkiitokseni kaikille tamperelaisille

ja helsinkiläisille lastentarhanopettajille ja muille vapaaehtoisille tutkimushenkilöille, jotka osallistuivat tutkimukseeni.

Kaikkia omaisiani ja ystäviäni kiitän tuesta ja ymmärtämyksestä, koska ajoittain uppoutuessani tähän tutkimukseen, olen ankarasti laiminlyönyt teitä. Vielä lopuksi erityiskiitoksen haluan antaa miehelleni Jaska-Matille ja lapsilleni Meri-Maijalle, Liisalle ja Paavolle kärsivällisyydestä ja siitä, miten he ovat rakkaudellaan osoittaneet minulle elämän todellisen tärkeysjärjestyksen.

Tampereella huhtikuussa 2014

Elina Kankare

# TIIVISTELMÄ

Äänen kuormittuminen sekä kuormittumisen syyt ja seuraukset ovat askarruttaneet tutkijoita ympäri maailmaa usean vuosikymmenen ajan. Runsaasti ääniongelmia raportoineet opettajat ovat olleet äänen kuormitustutkimuksen keskiössä. Opettajaryhmistä lastentarhanopettajat ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Tässä väitöstyössä selvitettiin noninvasiivisen elektrolottografia (EGG) -menetelmän soveltuvuutta työperäisen äänenkuormituksen arviointiin lastentarhanopettajilla. Tutkimuksessa verrattiin EGG:n erilaisia parametrintapoja äänen laadun kuuloarviointiin, laryngoskopia-tutkimuksen tuloksiin sekä subjektiiviseen arviointiin. Tutkimussarja koostuu neljästä osatutkimuksesta, joista ensimmäinen keskittyi vertailemaan lastentarhanopettajien äänenkäyttökyselyn ja foniatriin suorittaman laryngoskopia-tutkimuksen tuloksia. Toisessa osatutkimuksessa pyrittiin tuottamaan EGG:stä lasketulle kontaktiosamäärälle (CQ = äänihuulten suhteellinen kontaktaika laskettuna koko äänihuuliperiodista) viitearvot vuotoisesti (löyhä äänihuulisulku), tavallisesti ja puristeisesti (tiukka äänihuulisulku) tuotetulla äännöllä. Kolmannessa ja neljännessä osatutkimuksessa selvitettiin lastentarhanopettajien äänentuoton taloudellisuutta ja erilaisten EGG-muuttujien käytettävyyttä äänen laadun arviointiin.

Tutkimuksen osallistujina oli 93–119 naispuolista lastentarhanopettajaa (osatutkimukset I, III ja IV, ikä KA 43 vuotta, moodi 42) ja 30 naispuolista yliopiston työntekijää ja opiskelijaa (osatutkimus II, ikä KA 33 vuotta, moodi 24). Lastentarhanopettajat arvioivat äänentuottoaan ja siihen liittyviä tekijöitä kahdella kyselylomakkeella (äänenkäyttökysely opetushenkilöstölle [osatutkimus I, III] sekä Voice Activity and Participation Profile (VAPP) -kysely [osatutkimus IV]). Asiantuntijakuuntelijat arvioivat ääninäytteistä äänen laatua bi-polaarisella visuaalis-analogisella asteikolla (VAS). EGG-signaali ja akustinen äänisignaali tallennettiin pitkistä, erillisesti äännetystä [a:]-vokaalista ja luentänäytteistä. Lastentarhanopettajille tehtiin foniatriin laryngoskopia-tutkimus ja ääninäytteiden tallennus kenttätutkimuksena päiväkodeissa. Osatutkimuksen II näytteet tallennettiin äänieristetyssä äänitystilassa Tampereen yliopistossa. Näytteistä analysoitiin eri voimakkuuksilla tai äänentuottotavoilla tuotetut [a:]-vokaalit sekä IV tutkimuksessa sanan sisäinen pitkä vokaali sanasta [ka:k:o]. EGG-signaalista laskettiin kontaktiosamäärä kolmella kynnyksellä (osatutkimus II ja IV), derivaattamenetelmällä ja hybridimenetelmällä (osatutkimus IV) sekä osatut-

kimuksessa IV äänihuulikontaktin maksimaalista kasvunopeutta kuvaava MDEGG. Akustisesta signaalista analysoitiin perustaajuus (F0) ja äänenpainetaso (SPL). Osatutkimuksessa III käytettiin äänen taloudellisuusmuuttujaa Quasi-Output-Cost-Ratio (QOCR) lastentarhanopettajien äänentuoton arvioimiseen.

Tutkimuksen tulosten mukaan 71,5 % lastentarhanopettajista koki toistuvaa äänen ylikuormitusta, 56,3 % raportoi äänen käheytymistä ilman infektiosairautta, ja 10,9 %:lla todettiin selkeä orgaaninen muutos äänihuulissa. Runsaista äänioireista huolimatta 86 % lastentarhanopettajista koki äänensä palautuvan kuormituksen jälkeen seuraavaan päivään mennessä. Taustamelua pidettiin työympäristössä pahiten ääntä kuormittavana tekijänä. Subjektiivinen äänenarviointi ei korreloinut laryngoskopia-tutkimuksen tulosten kanssa (osatutkimus I). Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan elektroglossogramista 25 %:n ja 35 %:n kynnyksitasoilla lasketut CQ-arvot korreloivat parhaiten äänestä tehdyn kuuloarvion kanssa. 25 %:n kynnyksitasolla laskettu CQ näytti reagoivan ainoastaan äänen laatuun, ei F0:aan eikä SPL:ään (osatutkimus II). CQ<sub>25%</sub>:n avulla laskettu äänentuoton taloudellisuusluku (QOCR) korreloi äänenlaadun kuuloarvion kanssa, mutta ei subjektiiivisten oireiden kanssa (osatutkimus III). MDEGG korreloi kuullun laadun kanssa paremmin kuin CQ. Toisaalta koska MDEGG ei myöskään korreloinut negatiivisesti F0:n kanssa toisin kuin CQ, kannattaa MDEGG:ä jatkossa tutkia tarkemmin äänihuulten törmäyspaineen ja kuormituksen ilmaisijana. Kuultu laatu ja MDEGG eivät kuitenkaan korreloineet osallistujien subjektiiivisen arvion kanssa eivätkä laryngoskopi tulosten kanssa (osatutkimus IV), mikä viittaa siihen, että äänen kuormittumisessa äänenlaatua keskeisempiä ovat muut tekijät (F0, SPL, äänessäoloaika, lepotaukojojen pituus, toipumismekanismien tehokkuus). Jatkossa kaivataan myös EGG-analyysejä pitemmistä jatkuvan puheen näytteistä, jotka mahdollisesti kuvaavat henkilön tavanomaista äänentuottotapaa paremmin kuin lyhyet vokaalinäytteet.

# SUMMARY

Vocal loading and its causes, reasons and consequences have been puzzled researchers all over the world for several decades. Teachers who have reported considerable voice problems have been at the centre of the vocal loading research. However, from the teaching profession kindergarten teachers' voices have received less attention over the years. The present dissertation examined the suitability of noninvasive electroglottography (EGG), for estimating of work related vocal loading in kindergarten teachers. Different EGG parameterizations were compared with the results of perceived voice quality, laryngoscopic examination and subjective estimation of the voice. The dissertation includes four separate studies, the first of which focused on comparing the results of a survey of kindergarten teachers' voices, and the results of laryngoscopic examination made by a phoniatrician. The purpose of the second study was to find normative values for the contact quotient (CQ = the ratio of the duration of vocal fold contact of the total vibratory cycle) calculated from EGG in breathy (hypoadducted vocal folds), normal and pressed (hyperadducted vocal folds) voice quality. In the third and fourth studies the economy of voice production and the suitability of different EGG-parameters for estimating voice quality were examined.

The participants in the studies were 93–119 female kindergarten teachers (Studies I, III and IV, average age 43 years, mode 42) and 30 female workers and students of a university (Study II, average age 33 years, mode 24). The kindergarten teachers made a self-assessment of their voices and the factors related to the voice with two questionnaires (voice survey for teachers [Studies I, III] and the Voice Activity and Participation Profile questionnaire [Study IV]). Expert listeners estimated voice quality from the voice samples with a bipolar visual analogue scale (VAS). EGG signal and acoustic signal were recorded from [a:] vowels and reading samples. The laryngoscopic examination and the recordings of the kindergarten teachers were made in day care centres. The voice samples in the second study were recorded in a sound-proofed studio at the University of Tampere. From the voice samples [a:] vowel in different sound pressure levels and in different phonation types and in the fourth study a long vowel from one stressed word [ka:k:o] were analysed. CQ were calculated at three threshold levels (Studies II and IV), derivative and hybrid methods (Study IV) and in the fourth study maximum velocity of increase in contact area, MDEGG, was examined. Fundamental frequency (F0) and



sound pressure level (SPL) were analysed from the acoustic signal. In the third study the voice economy parameter Quasi-Output-Cost-Ratio was used to estimate the economy of voice production in kindergarten teachers.

According to the results 71.5% of the kindergarten teachers experienced frequent strain on the voice, 56.3% reported hoarseness without infection and clear organic findings were observed in 10.9% of the cases. Although the kindergarten teachers reported heavy voice symptoms, 86% of them reported that when their voice got tired during the working day they recovered well by the following day. Noise in the working environment was considered to be the most detrimental factor for the voice. Subjective voice evaluation did not correlate with the results of the laryngoscopic examination (Study I). According to the results CQ values calculated at the 25% and 35% threshold levels correlated best with the perceived evaluation of the voice quality. CQ values calculated at the threshold level 25% seemed to react only for the voice quality, but not to F0 or to SPL (Study II). The economy parameter QOCR calculated with  $CQ_{25\%}$  correlated with perceived voice quality but not with the results of subjective evaluation of voice symptoms (Study III). MDEGG correlated better with perceived voice quality than CQ (Study IV). MDEGG, unlike CQ, did not have a negative correlation with F0, which supports the idea of testing MDEGG more as a non-invasive tool for an indicator of impact stress and vocal loading. Perceived voice quality and MDEGG did not correlate with subjective evaluation or laryngoscopic results (Study IV), which indicates that factors other than voice quality are more important in vocal loading (F0, SPL, speaking time during day, length of vocal rest, the individual effectiveness of tissue healing processes). Further EGG studies are needed to investigate longer connected speech samples which may reveal the subjects' most frequently used voice quality better than short vowel samples.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	15
2	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	18
2.1	Äänentuoton anatomiaa ja fysiologiaa .....	18
2.2	Äänihuulitason äänentuoton invasiivinen ja noninvasiivinen tutkiminen .....	20
2.2.1	Epäsuora peilitutkimus .....	21
2.2.2	Endo- ja stroboskopia .....	21
2.2.3	Digitaalinen high-speed-kuvantaminen (ylinopeuskuvaus) ja kymografia-kuvantaminen .....	22
2.2.4	Elektroglottografia .....	22
2.2.5	Käänteissuodatus .....	32
2.3	Äänentuottoon liittyvä mekaaninen kuormitus .....	33
2.4	Äänen kuormituksen subjektiivinen kartoitus .....	34
2.5	Kuunteluanalyysi äänen tutkimuksessa .....	35
2.6	Lastentarhanopettajien ammatilliset äänivaatimukset .....	36
3	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	38
4	MENETELMÄT .....	39
4.1	Tutkimusaineiston kerääminen ja tutkimuksen eettinen perusta .....	39
4.2	Osallistujat .....	40
4.3	Tutkimusmenetelmät .....	41
4.3.1	Kyselytutkimukset .....	41
4.3.2	Ääninäytteiden tallennus .....	43
4.3.3	Ääninäytteiden analysointi .....	45
4.3.4	Kuunteluanalyysi .....	47
4.3.5	Foniatrinen tutkimus .....	47
4.3.6	Tilastollinen analyysi .....	49

5	TULOKSET .....	53
5.1	Osatutkimus I .....	53
5.2	Osatutkimus II .....	55
5.3	Osatutkimus III .....	56
5.4	Osatutkimus IV .....	57
6	TULOSTEN POHDINTAA .....	58
6.1	Lastentarhanopettajien äänen itsearvion, ääntä haittaavien ergonomisten tekijöiden sekä kliinis-instrumentaalisen tutkimuksen tulosten pohdintaa (osatutkimus I) .....	58
6.2	Eri äänentuottotavoilla tuotetuista ääninäytteistä eri kynnystasoilla laskettujen $CQ_{EGG}$ -tulosten pohdintaa (osatutkimus II) .....	61
6.3	Äänen taloudellisuusmuuttujan (QOCR), äänenlaadun perkeptuaalisen- ja äänen itsearvion tulosten pohdintaa (osatutkimus III) .....	63
6.4	EGG-analyysin, kuuntelunarvion, itsearviointin ja laryngoskopi tulosten pohdintaa (osatutkimus IV) .....	64
7	PÄÄTELMÄT OSATUTKIMUSTEN TULOKSISTA .....	66
7.1	Osatutkimus I .....	66
7.2	Osatutkimus II .....	66
7.3	Osatutkimus III .....	67
7.4	Osatutkimus IV .....	67
7.5	Yhteispäätelmät osatutkimuksista .....	68
	LÄHTEET .....	69
	LIITTEET .....	79
	ALKUPERÄISET JULKAISUT .....	103

# LUETTELO ALKUPERÄISISTÄ JULKAISUISTA

- I Kankare E, Geneid A, Laukkanen A-M, Vilkmann E 2012: Subjective evaluation of voice and working conditions and phoniatic examination in kindergarten teachers. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, vol 64, 12–19.
- II Kankare E, Laukkanen A, Ilomäki I, Miettinen A, Pylkkänen T 2012: Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels. *Logopedics Phoniatics Vocology*, vol 37, 127–132.
- III Kankare E, Laukkanen A-M 2012. Quasi-Output-Cost-Ratio, perceived voice quality, and subjective evaluation in female kindergarten teachers. *Logopedics Phoniatics Vocology*, vol 37, 62–68.
- IV Kankare E, Liu D, Laukkanen A-M, Geneid A 2013. EGG and acoustic analyses from different voice samples compared with perceptual evaluation and Voice Activity and Participation Profile (VAPP). *Folia Phoniatica et Logopaedica*, vol 65, 98–104.

# TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ

Adduktio	lähennys
Abduktio	loitonnus
Antero-posteriorinen	etu-takasuunta
Binauraalinen	molempikorvainen
dBA	A-painotettu äänenpainetaso (SPL), suodatin, joka kuvaa ihmiskorvan toimintaa
CQ	contact quotient, kontaktiosamäärä eli suhdeluku, joka kertoo äänihuulten suhteellisen kontaktiajan koko äänihuuliperiodin kestoista (lasketaan: kontaktiaika/koko äänihuuliperiodin kesto)
Derivaatta	matemaattinen termi, joka kuvaa funktion muutosnopeutta
Dosimetri	annosmittari, tässä tutkimuksessa dosimetrilla tarkoitetaan äänidosimetria, joka mittaa SPL:n, F0:n ja äänessäoloajan
Elektroglottografia	EGG, tutkimusmenetelmä, jossa äänihuulten kontaktialan vaihtelua selvitetään kilpiruston molemmin puolin asetettavien elektrodien avulla
Elektroglottogrammi	EGG, elektroglottografia-laitteen avulla piirtyvä käyrä, joka kuvaa äänihuulikontaktin vaihtelua (kontaktin kasvu piiryy yleensä ylöspäin)
F0	fundamental frequency, äänen perustaajuus, mittayksikkönä hertsi (Hz)
Glottis	kurkunpäässä äänihuulten välinen tila eli äänirako
Horisontaalinen	vaakasuora suunta
Hypoadduktio	äänentuotossa löyhä äänihuulten lähennys
Hyperadduktio	äänentuotossa laaja, voimakas äänihuulten lähennys
Impedanssi (Z)	sähköopin suure, joka kuvaa virtapiirin vaihtovirralla aiheuttamaa vastusta, SI järjestelmän mukainen yksikkö on ohmi ( $\Omega$ )
Invasiivinen	kajoava, elimistön sisälle ulottuva
IS	impact stress, törmäyspaine; fysiikan termi, joka ilmaisee törmäysvoiman suhteutettuna pinta-alaan
Kuvataajuus	taajuus jolla yksittäisiä kuvakehyksiä on tallennettu (eng. FPS frames per second)
Koronaali	vertikaalinen suunta, joka jakaa kohteensa etu- ja takaosiin
Kynnystaso	threshold level; tässä julkaisussa mittaustaso, jolla CQ-arvoja lasketaan elektroglottogrammista

Lx-signaali	EGG:n raakasignaalista suodatettu EGG-signaali (ylipäästösuodatus)
MDEGG	EGG-signaalista mitattava ensimmäisen derivaatan maksimi, jonka voidaan tulkita heijastavan glottiksen suurinta suhteellista sulkeutumismopeutta
Moodi	tyyppiarvo eli aineistossa useimmin esiintyvä arvo
Non-invasiivinen	ei-kajoava eli ei elimistön sisälle ulottuva
OQ	open quotient, suhdeluku, joka kertoo äänihuulten suhteellisen aukioloajan koko äänihuuliperiodin kestosta (lasketaan: aukioloaika/koko äänihuuliperiodin kesto)
QOCR	Quasi-Output-Cost-Ratio, äänentuoton taloudellisuusmuuttuja
Perkeptuaalinen	aistihavaintoon perustuva, tässä väitöstyössä lähinnä auditivis-perkeptuaalinen eli kuulohavaintoon perustuva, väitöstyössä käytetään myös suomenkielistä termiä kuunteluanalyysi
Resonaatio	myötävärähtely
Soinnillinen äänne	äänne, johon kuuluu äänihuulten värähtelystä syntyvä sointi; esim. vokaalit ovat soinnillisia äänneitä
Soinniton äänne	äänne, jota artikuloitaessa äänihuulet eivät värähtele; esim. konsonantit k, p ja t ovat soinnittomia äänneitä
SPL	sound pressure level, äänenpainetaso; mittayksikkönä desibeli (dB)
Threshold level	kynnystaso; tässä julkaisussa mittaustaso, jolla CQ-arvoja lasketaan elektrogloottogrammista
VAPP	Voice Activity and Participation Profile, äänellistä toimintakykyä kartoittava kysely
VAS	Visual Analogue Scale, visuaalis-analoginen asteikko
Vertikaalinen	pystysuora, pystysuunta
Ääniterapia	puheterapeutin antama ja Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontaviraston (Valviran) valvomaa lääkinnällistä äänen kuntoutusta



# 1 JOHDANTO

Nyky-yhteiskunnassa ääni on tärkeä työväline isolle osalle työssäkäyvää väestöä. Arviolta 38 % suomalaisista puhuu työssään paljon (1, 2). Työvälineenä ääni on hyvin herkkä ja altis häiriöille. Äänihäiriöt aiheuttavat kansantaloudellisesti suuren menoerän sairauslomien, ennenaikaisen eläköitymisen ja ammatinvaihdoksien takia. Kansantalouden lisäksi äänihäiriöiden vaikutukset kohdistuvat tietysti myös yksilöön ja tämän lähipiiriin, sillä ne heikentävät yksilön henkistä ja fyysistäkin hyvinvointia ja toimintakykyä. Opettajien on todettu työskentelevän äänellisesti erityisen kuormittavalla alalla (2–6) ja kärsivän äänen ongelmista huomattavasti muita ammattiryhmiä enemmän (7, 8). Jo opiskeluvaiheessa olevilla opettajilla on enemmän äänioireita kuin muita aineita yliopistossa opiskelevilla. Tämä saattaa johtua siitä, että opettajaksi opiskelevat usein hakeutuvat äänellisesti aktiivisiin harrastuksiin tai ovat jo opiskelun harjoitteluvaiheessa kokeneet opettajan työn äänihaasteet (9). Opettajien äänioireiden on raportoitu myös lisääntyneen viimeisten vuosikymmenien aikana, minkä on arvioitu johtuvan työskentelyolosuhteiden muutoksesta (10). Muiden opettajien tapaan, tähän tutkimukseen osallistuneet päiväkodeissa työskentelevät lastentarhanopettajat ovat suurella vaaralla kehittää itselleen työperäisen äänihäiriön (8, 11, 12).

Äänen yllirasittumiseen ja äänihäiriöiden syntyyn vaikuttavat tekijät ovat moninaiset. Ääntä kuormittavien työympäristötekijöiden lisäksi myös yksilön äänenkäyttötavalla ja -taidolla on vaikutusta äänen kuormittumiselle (13). Puristeisen äänentuottotavan (hyperadduktio = erittäin tiivis äänihuulisulku) on arvioitu olevan yhteydessä äänen rasittumiseen ja äänihuulikyhmyjen syntyyn (14–16). Herkkään äänentuottomekanismiimme vaikuttavat useat fysiikasta tutut mekaaniset kuormitustekijät, joista suoraan äänihuulia päin kohdistuvan törmäyspaineen (impact stress = IS) on arveltu olevan äänihuulikudokselle kaikkein rasittavinta (17). Painetta tallentavien antureiden asettaminen äänihuuliin on erittäin hankalaa (18–20) ja lisäksi tämän kaltainen invasiivinen tutkimus voi muuttaa yksilön äänentuoton hänelle epätyypilliseksi. IS:n invasiivisen mittaamisen hankaluuksien takia on äänentutkimuksessa pyritty kehittämään erilaisia epäsuoria (noninvasiivisia) menetelmiä suhteellisen törmäyskuormituksen arvioimiseksi. Elektroglossografia (EGG) on sähkövirran impedanssin vaihteluihin perustuva noninvasiivinen menetelmä, jolla voidaan kuvata äänihuulten kontaktin vaihtelua ajassa. EGG:sta laskettavan kontaktiosamäärän (contact quotient =  $CQ_{EGG}$ )



on todettu korreloivan IS:n kanssa.  $CQ_{EGG}$ :n on lisäksi aikaisemmissa, simuloituun ääniaineistoon perustuvissa tutkimuksissa todettu korreloivan laryngoskopiolla arvioitun puristeisuuden kanssa (21). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää EGG-signaalin erilaisten parametrintapojen yhteyttä äänestä tehtyyn kuulohavaintoon, subjektiivisiin äänen arvioihin sekä foniatriin laryngoskopia-tutkimuksen tuloksiin.

Opettajien ääntä on maailmanlaajuisesti tutkittu paljon, mutta lastentarhanopettajien ääni on jäänyt vähemmälle huomiolle. Lastentarhanopettajien työ poikkeaa kuitenkin siinä määrin muiden opettajien työstä, että ammattiryhmä ansaitsee omaa äänentutkimustaan. Tämän tutkimussarjan ensimmäisessä osatutkimuksessa selvitetiin kyselytutkimuksella lastentarhanopettajien ääniongelmien yleisyyttä ja sitä mitkä päiväkotityöhön liittyvät muuttujat työntekijöiden näkökulmasta rasittavat ääntä eniten. Osallistujien omaa arviota verrattiin foniatriin tekemän invasiivisen laryngoskopia-tutkimuksen tuloksiin.

Elektroglottografia tutkimusta suunniteltaessa huomattiin, että  $CQ_{EGG}$ -muuttujaa on äänentutkimuksessa tosin käytetty paljon, mutta eri äänentuottotapojen niin sanottu  $CQ_{EGG}$ -viitearvot on julkaistu alle kymmenen hengen osallistujamäärillä (21, 22). Tämä motivoi osatutkimuksen II tutkimusasetelmaan, jossa osallistujat olivat yliopiston työntekijöitä ja opiskelijoita, toisin kuin muissa osatutkimuksissa, koska heillä oli taito ja koulutus simuloida tutkimukseen tarvittavia äänentuottotapoja.

Äänentuotto on taloudellista silloin, kun pienellä työ- ja rasisusmäärällä tuotetaan hyvin kuuluvaa ja ilmaisevaa ääntä (23). Koska epätaloudellinen äänentuotto voi enustaa äänenkäyttäjälleen ongelmia, on äänen käytön taloudellisuuden mittaaminen perusteltua. Taloudellinen äänentuottotapa on mahdollista omaksua harjoittelemalla ja näin on mahdollista ehkäistä äänen kuormittumista. Osatutkimuksessa III halusimme mitata lastentarhanopettajien äänentuoton taloudellisuutta. Taloudellisuuden mittaamiseen käytettiin äänentuoton taloudellisuusmuuttujaa (Quasi-Output-Cost-Ratio = QOCR), jonka kaavassa on mukana kolme äänentuoton kannalta tärkeitä muuttujaa äänenpainetaso (SPL), perustaajuus (F0) ja äänihuulten kontaktiaika ( $CQ_{EGG}$ ) (24).

Aikaisempien tutkimusten perusteella tutkijat eivät ole täysin yksimielisiä siitä, mitä laskutapaa  $CQ_{EGG}$ :n laskemiseen olisi parasta käyttää (25, 26). Neljännessä osatutkimuksessa arvioitiin eri menetelmillä mitattujen  $CQ_{EGG}$ -muuttujien ja uuden äänihuulten törmäysnopeutta kuvaavan muuttujan (MDEGG) käytettävyyttä äänen tiiviiden määrittämiseen lastentarhanopettajien ääninäytteillä. Fysiikan lakien mukaan suuri törmäysnopeus juuri ennen äänihuulten kontaktia vaikuttaa oletettavasti kohottavasti IS-arvoihin (14). Aikaisemmat osatutkimukset motivoivat uuden muuttujan kokeilua myös siksi, että simuloituilla näytteillä äänen tiiviidenasteen perkeptuaalisen (kuulohavaintoon perustuva) arvion ja  $CQ_{EGG}$ :n välinen erittäin selkeä korrelaatioyhteys ei aidoilla lastentarhanopettajien näytteillä toteutunut.

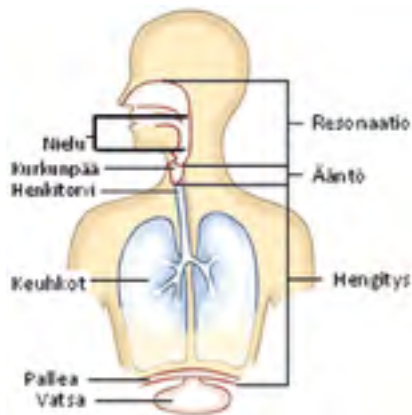
Tämä väitöstyö on Suomen Akatemian rahoittama (projektinnumero 1128095). Tutkimuksen vastuujohtajana toimi väitöstyön ohjaaja professori Anne-Maria Laukkanen. Toisena vastuuhenkilönä tutkimuksessa oli professori Erkki Vilkmán. Tämä väitöskirja on niin kutsuttu artikkeliväitöskirja. Siinä on rakenteellisesti suomeksi kirjoitettu yhteenveto-osa liitteineen ja neljä tunnetuissa kansainvälisissä äänentutkimusalan lehdissä julkaistua artikkelia. Artikkelit ovat käyneet läpi nimettömän kansainvälisen vertaisarvion, minkä lisäksi tieteellisen aikakauslehden päätoimittaja on toiminut kussakin artikkelissa kolmantena arvioijana. Väitöstyöntekijänä suunnittelin ja toteutin professori Anne-Maria Laukkasen ohjauksessa kaikki neljä osatutkimusta. Toteutin lastentarhanopettajien äänikyselyn e-lomakekyselynä ja organisoin Tampereelle ja Helsinkiin päiväkoteihin lastentarhanopettajien ääninäytteiden tallennukset ja foniatriin tutkimuksen. Foniatriin tutkimuksen suoritti LT Ahmed Geneid. Väitöstyöntekijänä tein kaikki äänen akustiset ja EGG-tallennukset. Väitöstyön EGG- ja akustiset analyysit suoritin pääosin itse. Tutkimuksen akustisten analyysien teossa avusti Tampereen yliopiston puheen ja äänentutkimuksen laboratorion erikoislaboratoriomestari Jarmo Helin. Osatutkimuksen II materiaalista kaksi vokologian oppiaineen opiskelijaa Anne Väisänen ja Tiina Lehtinen tekivät kandidaattityönsä FT Irma Ilomäen ohjauksessa. Osia kandidaatintutkielmien analyyseista käytettiin väitöstyön osatutkimuksessa II. Väitöstyöntekijänä suoritin itse kaikki tutkimuksiin liittyvät tilastolliset analyysit. Tilastolliset analyysit tarkasti ja tilastollista konsultaatioapua antoi tutkimuspäällikkö Jyrki Ollikainen. Väitöstyöntekijänä professori Anne-Maria Laukkasen ohjauksessa kirjoitin kaikki neljä artikkelia ja suoritin tarvittavat korjaukset vertaisarvioinnin jälkeen. Ensimmäisen ja neljännen artikkelin foniatriin tutkimuksen ja foniatriin osuuteen liittyvät artikkelin osat kirjoitti foniatri LT Ahmed Geneid. Neljännen artikkelin MDEGG-muuttujan teknisen osuuden kirjoitti muuttujan kehittäjä M.Sc. Dong Liu. Ääninäytteiden perkeptuaalisen arvion eri osatutkimuksissa tekivät puheentutkimuslaboratorion opettajat ja tutkijat. Artikkelien englannin kielen tarkastajana toimi MA., kielenkääntäjä Virginia Mattila. Väitöstyön viimeistelyyn olen saanut henkilökohtaisen apurahan Tampereen yliopistolta, Emil Aaltosen säätiöltä, Työsuojelurahastolta ja Tampereen kaupungin tiederahastolta.

Tutkijana ja toisaalta dekkarikirjallisuuden ystävänä koen äänentutkijan työn olevan parhaimmillaan salapoliisityön kaltaista. Tutkijan on oltava luonteeltaan utelias ja sitkeä. Päätäväisellä työllä ja ottamalla usealta taholta tulevat vihjeet avoimesti vastaan voi päästä ”tapauksessa” lähemmäksi totuutta. Äänen kuormittuminen ja kuormittumisen mittaaminen on ollut tämän tutkimuksen arvoituksena. Meidän tutkimuksemme on ollut osa jännittävää jatkokertomusta, jota kirjoittavat äänentutkijat eri puolilla maailmaa. Toivon, että pystyn tämän yhteenvedon avulla välittämään lukijalle edes pienen osan siitä innosta, jota äänentutkimus minussa herättää.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Äänentuoton anatomiaa ja fysiologiaa

Äänentuottoelimistömme muodostuu keuhkoista, kurkunpään rakenteista ja ääntöväylästä (kuva 1). Kurkunpään limakalvo-, lihas- ja rustorakenne muodostavat äänilähteen, joka käyttää äänentuotossa energianaan keuhkoista virtaavaa ilmaa (kuva 2). Puhheen tuotossa katkomme ja muokkaamme keuhkoista tulevaa ilmapvirtausta sulkeamalla ja avaamalla äänihuulia. Äänihuulet värähtelevät soinnillisissa äänenteissä, kun taas soinnittomissa äänenteissä värähtelyä ei tapahdu. Äänihuulen värähtely perustuu äänihuulten elastisuuteen, kurkunpään alueen aerodynamiikkaan (Bernoullin efekti ja ilmamassan inertia) sekä kurkunpään sisäisten lihasten toimintaan (14). Kurkunpäässä syntyvä ääni voimistuu resonation eli myötävärähtelyn ansiosta ääntöväylässä ja saa siellä puhujan äänelle tyypilliset yksilölliset piirteensä. Ääntöväylään kuuluvat nielu sekä suu- ja nenäontelot. Puhuessamme muokkaamme ääntä ääntöväylässä kommunikaatiotarpeisiimme sovittua akustista koodistoa käyttäen (27). Mikroanatomisen rakenteensa (kuva 3) johdosta äänihuulet eivät tee vain edestakaista yksitasoista lähennys-loitonnuusliikettä vaan äänihuulivärähtely on moniulotteista. Äänihuulet liikkuvat horisontaalisesti (vaakasuuntaan), vertikaalisesti (pystysuuntaan) ja antero-posteriorisuuntaan (etu-takasuuntaan). Horisontaaliliikkeessä äänihuulet loitontuvat toisistaan (abduktio) ja lähentyvät toisiaan (adduktio). Vertikaalisesti äänihuulten liike etenee aaltomaisesti alhaalta ylös (14). Antero-posteriorinen liike vaihtelee äänentuottotavan mukaan. Se voi olla vetoketjumaista vuotoisessa (ilmaa pääsee äänihuulten välistä äännon aikana) ja tavanomaisessa äännössä ja samanaikaista puristeisessa (tiivissä) äännössä (28). Yksilölliseen ääneemme vaikuttaa anatomian lisäksi myös äänenkäyttötappamme. Äänentuottotapaamme muokkaavat niin maantieteelliset, sosiaaliset (27) kuin psyykkisetkin seikat. Äänentuottotapaa voidaan arvioida muun muassa vuotoinen-puristeinen-jatkumolla. Vuotoisessa äänentuotossa äänihuulet painuvat yhteen löyhästi tai eivät ollenkaan (hypoadduktio), kun taas puristeisessa äänentuotossa äänihuulet painuvat yhteen laajalti ja voimakkaasti (hyperadduktio) (14). Jos kumpi tahansa näistä äänentuottotavoista viedään äärimilleen, loppuu äänihuulten värähtelytoiminta. Äänihuulivärähtelyn loputtua vuotoinen ääntö voi muuttua ilmapvirtauksen



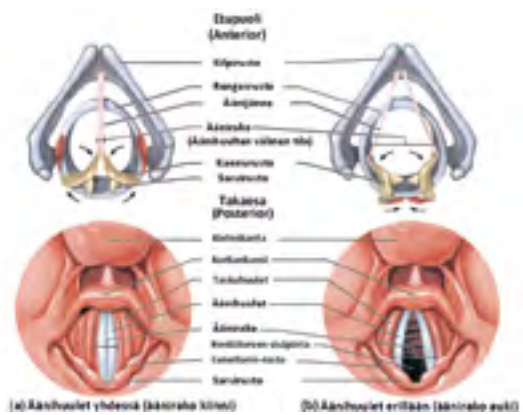
**Kuva 1.** Äänentuottoelimistö

Kuva: <http://www.singintune.org/voice-production.html> [http://www.gbmc.org/home\\_voicecenter.cfm?id=1552](http://www.gbmc.org/home_voicecenter.cfm?id=1552) (kuvaan muokattu suomenkieliset selitteet).



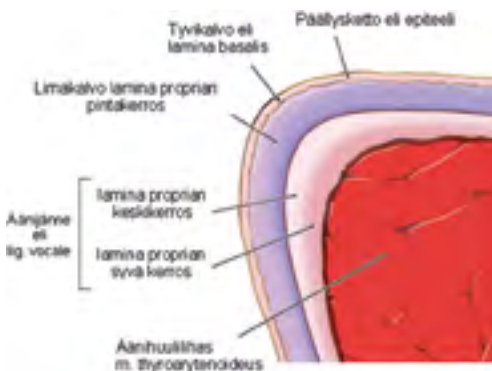
**Kuva 2 A.** Poikkileikkauksokuva kurkunpään rakenteista

Kuva A: [http://www.gbmc.org/home\\_voicecenter.cfm?id=1552](http://www.gbmc.org/home_voicecenter.cfm?id=1552) (kuviiin muokattu suomenkieliset selitteet).



**Kuva 2 B.** Kurkunpään rusto- ja äänihuuli rakenteet poikkileikkauksuvassa

Kuva B: <http://antranik.org/the-respiratory-system/>



**Kuva 3.** Poikkileikkauksokuva äänihuulten mikroanatomisesta rakenteesta.

Kuva: Rosen, C.A., Simpson, C.B. Operative Techniques in Laryngology 2008, XXVI, sivu 312 (kuvaan muokattu suomenkieliset selitteet). ([www.springer.com/.../9783540258063-c1.pdf?...0](http://www.springer.com/.../9783540258063-c1.pdf?...0))

aiheuttamaksi turbulenssiääneksi ääniraossa. Ponnistustilanteissa selkäranka saa tukea kylkiluukorista ja keuhkoihin padotusta ilmasta ja lihasten ponnistusvoima lisääntyy, kun tukipiste stabiloituu. Ilma padotaan keuhkoihin äänihuulia ja taskuhuulia yhteen painamalla, jolloin äänentuotto on mahdotonta.

Äänen voimakkuutta säädellään äänihuulten alapuolisella ilmanpaineella ja ääni-  
raon tiiviimmällä sulkeutumisella sekä muuttamalla ääntöväylän muotoa (14). Kuulo-  
havaintoon äänen voimakkuudesta vaikuttaa keskeisesti äänenpainetaso (sound  
pressure level = SPL). Äänihuulten värähtelytaajuuden muutoksen kuulemme äänen  
sävelkorkeuden vaihteluna. Äänihuulten värähtelytaajuutta säädellään pääasiassa  
muuttamalla äänihuulten jäykkyyttä. Pidentämällä äänihuulia niiden jäykkyys lisään-  
tyy, värähtelytaajuus nousee ja äänen sävelkorkeus nousee. Päinvastoin lyhentämällä ja  
löysentämällä äänihuulta sävelkorkeus madaltuu (katso esim. Titze 2000) (14). Äänen  
perustaajuus (F0) kertoo, kuinka monta kertaa äänihuulet värähtelevät sekunnissa.  
Perustaajuuden mittayksikkönä käytetään hertsiä (Hz). Naisten keskimääräinen pe-  
rustaajuus on noin 200 Hz ja miesten noin 100 Hz (29). Termiä rekisteri käytetään,  
kun puhutaan samalla äänenvärillä tuotetusta äänen korkeuden vaihtelualasta. Rekis-  
tereiden terminologia on kirjavaa ja kiisteltyä. Yleisimmin puhutaan narina-, modaal-  
ja falsettirekistereistä. Eri rekistereissä äänilähteen toiminta on erilaista. Normaalin  
puheen F0-vaihtelut tuotetaan tavallisimmin modaalirekisterissä. Narinarekisteri on  
matalataajuista ja falsettirekisteri korkeataajuista (14, 27). Narinarekisterissä F0-vaih-  
telu on naisilla ja miehillä lähes sama, noin 20–70 Hz. Modaalirekisterin F0-vaihtelu  
on naisilla keskimäärin 130–750 Hz ja miehillä 75–500 Hz. Falsetissa F0-vaihtelualue  
on naisilla noin 220–1700 Hz ja miehillä 150–750 Hz (30). Luvussa ”Elektroglotto-  
grammin tulkintaa” sivulla 27–28 on selitetty tarkemmin äänilähteen toimintaa eri  
rekistereissä.

## 2.2 Äänihuulitason äänentuoton invasiivinen ja noninvasiivinen tutkiminen

Tässä luvussa esitellään lyhyesti klinikoilla ja tutkimuksissa yleisimmin käytetyt in-  
vasiiviset ja noninvasiiviset äänihuulten tutkimusmenetelmät. Tässä tutkimussarjas-  
sa käytettiin invasiivisena menetelmänä foniatriin suorittamaa videolaryngoskopiaa ja  
noninvasiivisena menetelmänä EGG:tä. Invasiivisista menetelmistä laryngoskopian  
lisäksi esitellään lyhyesti digitaalinen high-speed- (ylinopeus-) ja kymografia-kuvanta-  
minen, koska näitä kuvantamismenetelmiä on käytetty yhdessä EGG:n kanssa (mm.  
26, 31, 32). Invasiivisilla menetelmillä saadaan yleensä hyvä kuva äänihuulista ja niiden  
liikkeestä, mutta invasiivisuus saattaa vaikuttaa tutkittavan äänentuottoon. Lisäksi

invasiivisten menetelmien käyttö on melko kallista, ja niiden käyttöoikeus on toistaiseksi useissa maissa rajoitettu lääkäreille. Tämän johdosta noninvasiiviset äänihuulten toimintaa kuvaavat menetelmät ovat suosittuja tutkimuskäytössä. Tässä luvussa esitellään noninvasiivisista äänihuulten toimintaa kuvaavista menetelmistä EGG:n lisäksi lyhyesti myös niin kutsuttu käänteissuodatusmenetelmä, jota on raportoitu käytetyn tutkimuksissa yhdessä EGG:n kanssa (33–36).

## 2.2.1 Epäsuora peilitutkimus

Epäsuorassa laryngoskopiassa harjaantunut klinikko pystyy peilin avulla tarkastamaan kurkunpään ja äänihuulten rakenteen (kuva 4). Peilillä voidaan havaita äänihuulten epänormaali rakenne, kuten esimerkiksi massan ja värin muutokset, ylimääräinen kudosisäntä äänihuulissa, verenvuodot, refluksista aiheutunut punoitus rustoalueella ja äänihuulien halvaus (29, 37).

## 2.2.2 Endo- ja stroboskopia

Epäsuoraa peilitutkimusta tarkemman kuvan kurkunpään rakenteista ja toiminnasta saa endoskopiattutkimuksella. Teleskooppivartisessa tutkimuslaitteessa on suurentava linssi, valonlähde ja katseluluuppi. Jäykällä tähytimellä tutkitaan äänihuulia suuontelon kautta (kuva 5) ja joustavalla tähytimellä (fiberoskooppi) nenäontelon kautta (kuva 6). Jäykällä tähytimellä saatu kuva on usein selkeämpi kuin fiberoskoopin, mutta fiberoskooppi mahdollistaa tutkimuksen puheen tai laulun aikana, kun taas jäykällä tähytimellä voidaan havainnoida vain artikulaatioliikkeitöntä vokaaliääntöä. Jäykkää tähytintä käytettäessä äänihuuliin saadaan näkyvyys yleensä etisellä [i:] äänneellä. Jäykän tähytimen kuvauskulma on tavallisesti 70° tai 90° (29, 37).

Koska äänihuulten värähtely on hyvin nopeaa, emme pysty endoskopialla erottelemaan yksittäisiä äänihuulivärähtelyjä. Endoskoopilla katsottuna äänihuulet näyttävät soinnillisen äännön aikana olevan yhdessä, ja tauon aikana ja hengitettäessä äänirako on auki. Laryngostroboskopia mahdollistaa äänihuuliliikkeen hidastetun kuvantamisen. Tässä menetelmässä äänihuuliliike hidastetaan optisen illuusion keinoin. Laryngostroboskopiassa äänihuuliin suunnataan tutkimuksen aikana hieman äänihuulivibraatiota matalataajuisempi valon värähtely. Näkymäksi saadaan hidastettu äänihuuliliike strobo-valonlähteen ja äänihuulien liiketaajuuden erotustaajuudella. Laryngostroboskopian kuvataajuus on noin 25–30 kuvaa sekunnissa. Endo- ja stroboskopiakuvaukseen voidaan yhdistää valokuva- tai videokamera, ja kuvaa voidaan jälkepäin tarkastella

esimerkiksi tutkittavan kanssa. Tarkkaa, yksityiskohtaista kuvaa äänihuulten limakalvorakenteesta saadaan yhdistämällä endoskooppi mikroskooppiin. Mikroskooppia käytetään etenkin kurkunpääkirurgiassa (29, 37).

### 2.2.3 Digitaalinen high-speed-kuvantaminen (ylinopeuskuvauus) ja kymografia-kuvantaminen

High-speed-kuvantamisella tarkoitetaan menetelmää, jolla saadaan kuvattua tarkasti äänihuuliperiodi toisensa jälkeen (kuva 7). Kuvataajuus on 2000 kuvasta aina 8000 kuvaan tai jopa useampaan sekunnissa. Näin suuri kuvataajuus mahdollistaa tarkan analyysin myös esimerkiksi sellaisesta kurkunpään toiminnasta, jota laryngostroboskopiolla on hankala havaita, kuten äänihuulten vapina (tremor), äänen katkeilu tai pienet äänettömät äänihuulisegmentit ja äännön aloitus- ja lopetushetket. Digitaalinen high-speed -menetelmä on kallis eikä sitä tällä hetkellä ole Suomessa lääketieteellisessä käytössä.

Kymografiaa on kutsuttu ”köyhän miehen” high-speed-menetelmäksi, koska siinä käytetty laitteisto on halvempi kuin digitaalisessa high-speed-kuvauksessa käytetty. Kymografiassa valitaan vertikaalikuvasta yksi horisontaalinen linja, ja linjan kohdalta saadaan reaaliaikaista avaruudellis-ajallista kuvaa äänihuulten liikkeestä (kuva 8). Kuva on yleensä mustavalkoista, ja kuvataajuus on lähes 8000 sekunnissa. Kymografian avulla voidaan arvioida reaaliaikaisesti vasemman ja oikean äänihuulen liikesymmetriaa, ääniraon aukioloa, limakalvoaallon etenemistä ja äänihuulten antero-posteriorsuuntaista liikettä (38).

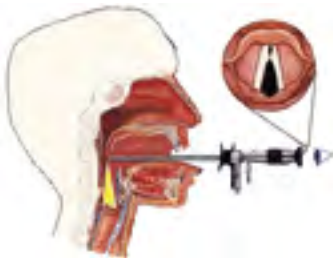
### 2.2.4 Elektroglottografia

Elektroglottografialla (EGG) voidaan tutkia noninvasiivisesti kurkunpään toimintaa. Elektroglottogrammin käyrä kuvaa äänihuulten kontaktialaa ajassa (14, 39). Alkujaan Fabren 1950-luvun lopulla esittelemä menetelmä (29) on laajalti käytössä ympäri maailmaa, niin ääniklinikoilla kuin äänen tieteellisessä tutkimuksessa. Suomessa EGG:n käyttö klinikoilla on vähäistä, vaikka se on tutkimusmenetelmänä helppokäyttöinen, herkkä ja turvallinen. EGG-tutkimuksessa asetetaan elektrodit tutkittavan henkilön kilpiruston molemmille puolille äänihuulten korkeudelle (kuva 9). Mittauksessa käytetään korkeataajuisia heikkovirtaa (alle 10 mA, noin 0,5 V, taajuus 300 kHz:stä useaan MHz:iin, laitteesta riippuen), joka johdetaan kaulan läpi elektrodista toiseen (29, 40). EGG rekisteröi sähköisen impedanssin (Z) eli vaihtovirtavastuksen muutoksia äännön



**Kuva 4.** Kurkunpään epäsuorapeilitutkimus

Kuva: [http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech\\_detail\\_uk.lasso@ID=10006.html](http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech_detail_uk.lasso@ID=10006.html)



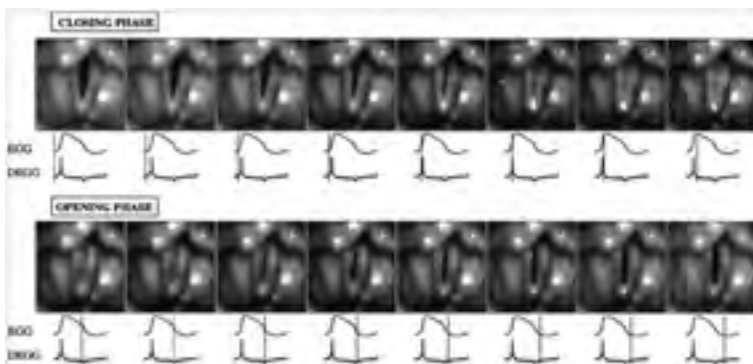
**Kuva 5.** Suuontelon kautta tehtävä endoskopia

Kuva: [http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech\\_detail\\_uk.lasso@ID=10007.html](http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech_detail_uk.lasso@ID=10007.html)



**Kuva 6.** Nenäontelon kautta tehtävä endoskopia

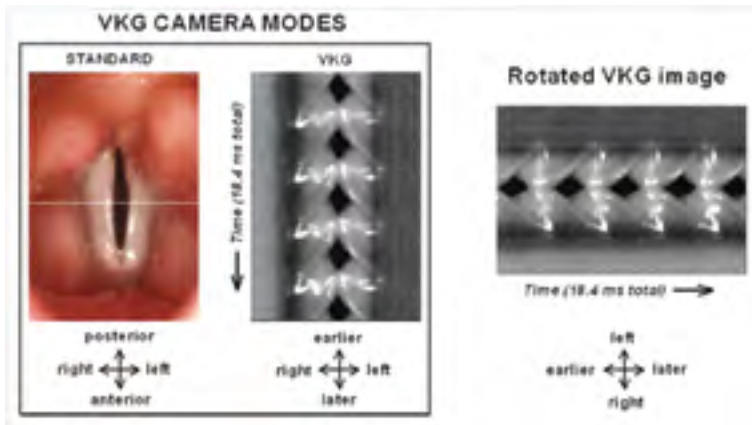
Kuva: [http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech\\_detail\\_uk.lasso@ID=10008.html](http://www.dysphonia.certec.lth.se/examtech_detail_uk.lasso@ID=10008.html)



**Kuva 7.** Digitaaliset high-speed-kuvat, EGG-signaali sekä EGG-signaalin derivaatta yhdestä äänihuuliperiodista

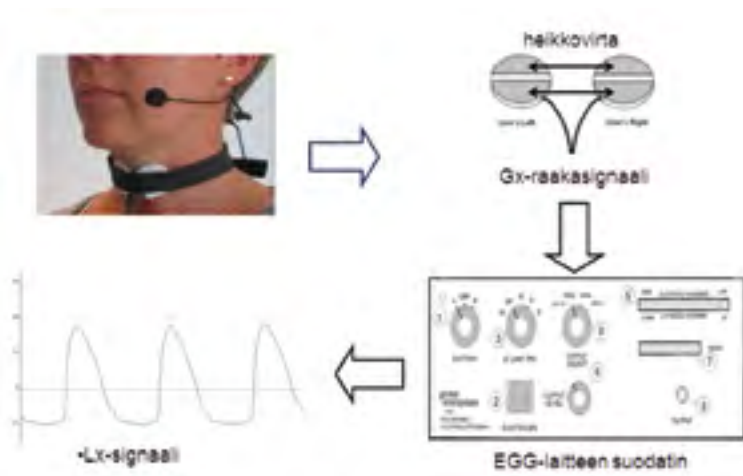
Kuva: Henrich ym. 2004. On the use of the derivative of electroglottographic signals for characterization of nonpathological phonation.





**Kuva 8.** Videokymografiakuvaa

Vasemalla nähtävissä valkoisella viivalla merkitty horisontaalinen linja, jolta äänihuuliliikettä on kuvattu. Keskellä ja oikealla äänihuulten liikekuva pysty- ja vaakatasossa kuvattuna. Oikea ja vasen sekä ajan nuolikuvaajat kuvien alla  
 Kuva: Švec, J., Šram, F., Schutte, H. 2009. Videokymography. In The Larynx, edited by M. Fried, and A. Fertilo. Plural Publishing San Diego, CA.

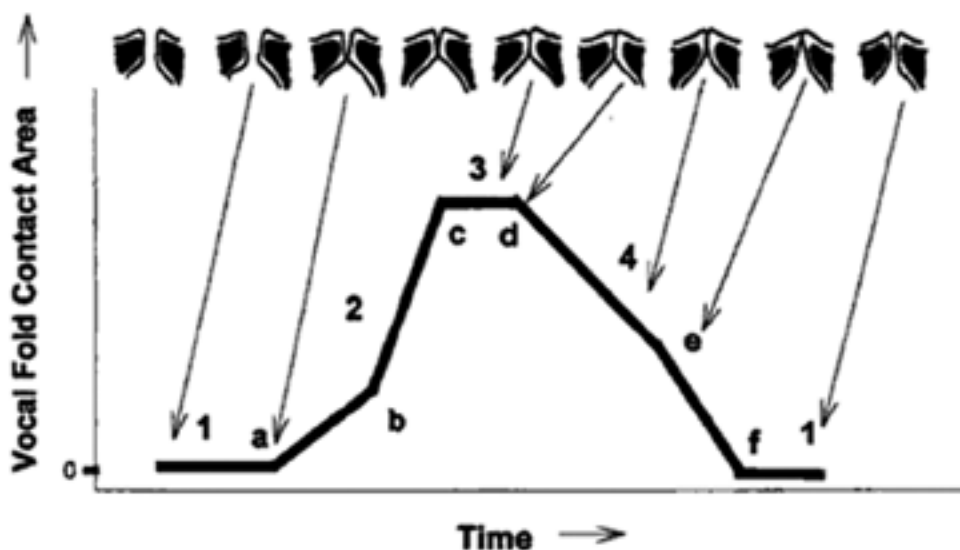


**Kuva 9.** Elektroglottogrammin synty henkilön kaulalta EGG-laitteen avulla

Kuva: Elina Kankare 2013. Kuvassa esiintyvältä henkilöltä on saatu lupa kuvan julkaisuun.

aikana kurkunpään läpi mitattuna. Koska ihmiskudos johtaa sähköä melko hyvin ja ilmassa sähkö johtuu huonosti, on vaihtovirtavastus suuri ääniraon ollessa auki ja pieni, kun äänihuulet ovat kosketuksissa toisiinsa. Mittauksessa käytetään vaihtovirtaa, koska se tunkeutuu kudokseen syvemmälle ja koska tasavirta aiheuttaisi lihaskouristuksia ja haitallisia ioni-muutoksia kudoksessa (41). Tasavirtaresistanssin mallilla yksin-

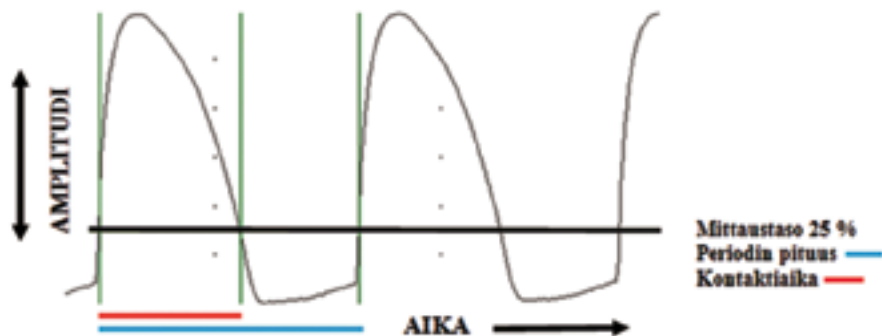
kertaistettuna EGG:n toiminta perustuu fysiikasta tuttuun Ohmin lakiin,  $[I = U/R]$ . EGG:n tapauksessa elektrodien välillä kulkeva virta (I) on yhtä kuin jännitteen (U) ja vastuksen (R) osamäärä. Jännitettä (U) mitataan voltteina (V) ja virtaa (I) ampeereina (A). Esimerkiksi  $10 \text{ mA} = 0,5 \text{ V/R}$  eli  $R = 0,5 \text{ V}/10 \text{ mA}$ . EGG-laitteiston suodattimet (ylipäästösuodataus 20 Hz:n tai 40 Hz:n taajuudella) muuntavat elektrodien kautta saadun raakasignaalin Lx-signaaliksi, jota on helpompi tulkita. Lx-signaalin näkyä äänihuulten kontaktin vaihtelu, jossa vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla äänihuulten suhteellista kontaktialaa kuvaava amplitudi (kuva 10). Kun äänihuulten kontakti lisääntyy, EGG:n amplitudi kasvaa, ja kun äänirako on avoinna, amplitudi on alhaisimmillaan. Amplitudi ei kuitenkaan kerro ääniraon avautumisasteesta, eikä myöskään äänenpainetasosta ja sen kautta äänen voimakkuudesta, vaan se kertoo äänihuulten välisen kontaktin vaihtelusta. Koska äänihuulten liikettä tapahtuu horisontaalisen liikkeen lisäksi vertikaalisesti, EGG-signaali (elektroglottogrammi) ei kerro ääni-



**Kuva 10.** EGG:n Lx-signaalia ja äänihuulten vertikaaliliikettä havainnollistava kaavakuva

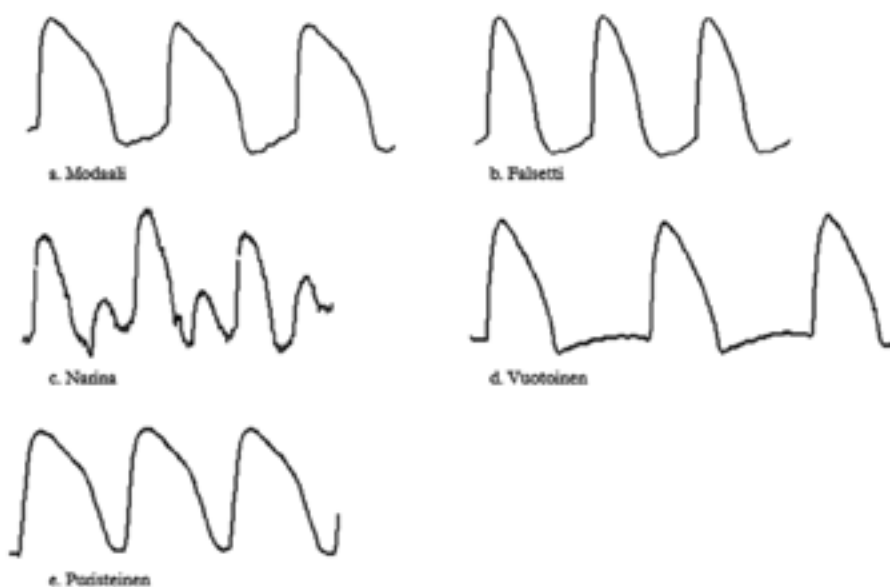
1 = äänihuulet eivät ole kontaktissa, 2 = elektrodien välinen vastus vähenee äänihuulikontaktin lisääntyessä, 3 = äänihuulet ovat maksimaalisesti kontaktissa, 4 = äänihuulikontakti vähenee ja elektrodien välinen virran vastus lisääntyy. a = ääniraon sulkeutuminen alkaa, a–b = äänihuulten alaosa on kontaktissa, b–c = äänihuuli kontakti etenee vertikaalisesti yläosaan, c–d = äänihuulikontakti on maksimissaan, d–e = äänirako avautuu alaosastaan, e–f = äänirako avautuu yläosastaan.

Kuva: Baken & Orlikoff 2000.



**Kuva 11.** Elektroglottogrammi

Kaksi äänihuuliperiodia. Äänihuulten kontakti lisääntyy ylöspäin. Koko äänihuuliperiodi = sininen, äänihuulten kontaktiaika = punainen.  $CQ_{EGG}$  0,55, 25 %:n mittaustasolla (äänihuulet ovat kontaktissa 55 % koko äänihuuliperiodin kestästä). Kuva: Elina Kankare 2013.



**Kuva 12.** Elektroglottogrammi [a:]-vokaalista eri äänentuottotavoilla

(CQ-arvot [CQ history] ja F0 laskettu VoceVista ohjelmalla)

a. Modaali ( $CQ_{25\%}$  0,54, 208 Hz), b. Falsetti ( $CQ_{25\%}$  0,47, 311 Hz), c. Narina ( $CQ_{25\%}$  0,63, 70 Hz), narinaäännessä EGG-käyrässä usein esiintyvät pienet aaltomuodot suurten aaltomuotojen välissä voivat selittyä narinaan liittyvästä äänihuulivärähtelystä tai esimerkiksi liman aiheuttamasta sähköä johtavasta sillasta äänihuulten välissä, d. Vuotoinen ( $CQ_{25\%}$  0,41, 201 Hz), e. Puristeinen ( $CQ_{25\%}$  0,73, 301 Hz).

Kuva: Elina Kankare 2013.

huulten sulkeutumisen- tai avautumisajankohtaa tarkasti, vaan äänihuuliperiodin aikana tapahtuvan kontaktin muutoksen (29, 40).

## Elektroglottogrammin tulkintaa

Kuvassa 11 on elektroglottogrammi kahdesta äänihuuliperiodista. EGG-käyrä on suositeltu esitettäväksi (40) siten, että suuri impedanssi, eli vähäinen äänihuulikontakti näkyy käyrän alaosassa, toisin sanoen suurin äänihuulikontakti on nähtävissä käyrän huipussa. Kuvassa 10 äänihuulten kontaktin nopea lisääntyminen näkyy elektroglottogrammissa käyrän jyrkkänä nousuna sulkuvaiheessa ja hitaampi avautuminen käyrän loivempana laskuna. Yhtä aikaa otetuista digitaalisesta high speed- ja EGG-kuvista voi nähdä, miten tarkasti EGG-käyrä kuvantaa ääniraon sulkeutumisen ja avautumisen vaihtelua (kuva 7, [31]). Äänihuulten rakenteesta ja toiminnasta johtuvat erot äänihuulten vertikaalisessa liikkeessä vaikuttavat EGG-käyrän muotoon (29, 42). Kun EGG-käyrän maksimikontaktivaihe, huippu, on leveä ja tasainen, äänihuulten adduktio on lisääntynyt. EGG-käyrän huipun jyrkentyminen ja kallistuminen on seurausta siitä, että äänihuuli on vertikaalisesti enemmän kiilamaisessa asennossa ja koskettaa toista äänihuulta vain yläosastaan äännön aikana. Äänihuulten ala- ja yläpintojen värähtelyssä on vaihe-eroa, jos pulssi on epäsymmetrinen. Selkeä polveutuma EGG-signaalin avautumisvaiheessa kuvaa aikaeroa äänihuulten vertikaalisessa avautumisessa alaosan ja yläosan välillä (42, 43). Kuvassa (12 a–e) näkyy esimerkkejä EGG-signaalin muodosta erilaisissa äänentuottotavoissa.

Tavanomaisen puheen (modaalirekisteri) äänentuotossa äänihuulet värähtelevät koko pituudeltaan ja syvyydeltään. Limakalvo ja ligamentti ovat löysinä ja äänihuulten alapinnalta lähtevän laajan liikkeen mahdollistavat aktiivinen kilpi-kannurustolihas (m. thyroarytenoideus) ja sen antagonistina vähemmän aktiivisena rengasrusto-kilpirustolihas (m. cricothyreoideus) (44, 45). Elektroglottogrammissa tämä on nähtävissä käyrän epäsymmetrisyytenä siten, että nopea sulkeutumisvaihe kuvantuu käyrän jyrkkänä nousuna, kun taas hitaampi avautuminen näkyy loivana avautumiskulmana (kuva 12a).

Falsettiäännessä ligamentti on venyttynyt ja se tukee falsettiäännessä tyypillistä antero-posteriorsuuntaista jännitettä äänihuulissa. Äänihuulikontakti tapahtuu falsetissa kapeammalla alalla äänihuulissa kuin modaaliiääntössä (14, 45). Elektroglottogrammissa falsettiääntö näkyy symmetrisenä, lähes sinimuotoisena käyränä (kuva 12b).

Narinaäännessä äänihuulet ovat rennot (29), äänirako on kiinni pitkään ja aukiolo jää lyhyeksi (46). EGG-käyrässä narinalle tyypillistä on kaksi tai kolme terävää pulssia; yhtä amplitudiltaan suurempaa pulssia seuraa yksi tai kaksi pienempää pulssia

(29, 34, 47). Pienet pulssit saattavat olla rennon äänihuuliliikkeen vertikaalinen jatke äänihuulten yläpuolisista taskuhuulista (46). Toisen teorian mukaan äänihuulet on lyhennetty sulkemalla rustoalue, ja äänihuulikudoksen värähtelevä lyhyt ja paksu etuosa voi narinaäännessä liikkua monivaiheisesti (48). Kuvassa 12c näkyy EGG-signaalissa ensin narinaäänölle tyypillinen suurempi amplitudinen käyrä, jota seuraa pieniamplitudinen käyrä.

Vuotoinen-puristeinen-jatkumolla äänihuulten kontaktiaika ja kontaktiala vaihtelevat vähäisestä pitkään. Löyhä äänihuulten lähentäminen ja runsas ilmavirtaus kuuluvat äänessä vuotoisuutena (14, 49). Jännittynyt kurkunpää (liian suuri adduktio suhteessa subglottaaliseen ilmanpaineeseen) ja vähäinen ilmavirtaus äänihuulten välistä tuottavat puristeisen äänen (14). Vuotoisesti tuotetussa äännessä kontaktiaika on lyhyt, ja äänihuulet ovat periodin aikana erillään pitempään kuin puristeisessa äännessä (50). Elektrogloggogrammissa (kuva 12d) vuotoisuus näkyy pitkänä matalana amplitudina äänihuulten ollessa erillään ja sähkönjohtavuuden ollessa huono (vastus suuri). Puristeisessa äänen tuotossa (kuva 12e) äänihuulet ovat periodin aikana pitkään tiiviissä kontaktissa. Ainakin miespuhujilla on todettu, että puristeisessa äännessä äänirako avautuu ensin etuosastaan, kun taas vuotoisessa äännessä avautuminen tapahtuu ensin takaa, rusto-osasta (43). Samanlainen avautumiskaava ei välttämättä toteudu naispuhujilla, sillä lähes 60 %:lla normaaliäänisistä naispuhujista on todettu olevan vaillinainen äänihuulisulku voimistetun äännon aikana ja 35 %:lla sulkuvajaus on äänihuulten takana rusto-osassa niin hiljaisessa kuin voimakkaassakin äännessä (51).

## Äänihuulien kontaktiajan mittaaminen elektrogloggogrammista

EGG:n on arvioitu kuvaavan hyvin äänihuulten kontaktialan (contact area) vaihtelua (40). EGG ei kerro absoluuttista kontaktialaa eikä ääniraon täsmällistä sulkeutumista tai avautumishetkeä. EGG ei myöskään kerro äänihuulten kontaktin laajuutta eikä sitä, miltä alueelta äänihuulet antero-posteriorisesti tai vertikaalisesti ovat kontaktissa (39). Äänihuulten kontaktiaikaa ja -alaa voidaan kuitenkin numeerisesti arvioida laskemalla EGG-käyrästä äänihuulten kontaktissaoloajan suhde koko äänihuulten värähtelyperiodiin käytettyyn aikaan (kuva 11). Käänteisesti voidaan myös laskea äänihuulten aukiolon suhde äänihuuliperiodiin. Suhteellinen kontaktiaika on englanniksi 'contact quotient' (52) ( $CQ_{EGG}$ ) tai 'closed quotient' (mm. 53). 'Contact quotient'-termin suomenkielisenä vastineena tässä väitöstyössä käytetään termiä kontaktiosamäärä, mutta selkeyden vuoksi termin lyhenteenä käytetään kuitenkin  $CQ_{EGG}$ :tä.  $CQ_{EGG}$  lasketaan jakamalla kontaktiaika koko äänihuuliperiodin ajalla.  $CQ_{EGG}$  voi periaatteessa saada arvoja väliltä 0–1 (esim. 0,66), mutta käytännössä hyvin lähellä nollaa ja yhtä

olevia arvoja ei esiinny.  $CQ_{EGG}$  voidaan esittää myös prosenttilukuina (esim. äänihuulet ovat kontaktissa 66 % äänihuuliperiodin kestosta). CQ:ta ja sen käänteistä muuttujaa OQ:ta on käytetty lukuisissa EGG-tutkimuksissa 1980-luvulta lähtien, vaikka EGG:n aikaparametristen muuttujien juuret ovat jo 50–60-luvuilla fotoglottografia- ja high-speed-tutkimuksissa (54, 55).

$CQ_{EGG}$ :n laskemiseen käytetään erilaisia tapoja. 'Threshold level' (kynnystaso) -menetelmässä (nimellä 'criterion-level' [56]) sulkeutumisen ja avautumiskohdan mittaustaso valitaan EGG-käyrän amplitudin minimin ja maksimin väliltä. Mittaustaso määritellään prosentteina niin, että kokonaisamplitudi on 100 %. Tutkimuksissa on käytetty mittaustasoja 10 %:sta aina 80 %:iin (22, 25, 35, 57). Menetelmän kehittäjien mukaan 30 %:n mittaustasolla normaali ja puristeinen ääntö erottuvat toisistaan paremmin kuin mittaustasolla 50 %, mutta rennon ja normaalin äännön ero ei ollut 30 %:n tasolla yhtä selkeä (56). Tosiasia on, että kynnystason kasvaessa  $CQ_{EGG}$ -arvot pienenevät. Selvää tietysti on, että suoraa  $CQ_{EGG}$ -arvojen vertailua voi tehdä vain, kun kynnystaso on ollut mittauksessa sama. Kuvassa 13 ovat nähtävillä tässä väitöstyössä käytetyt 25 %:n, 35 %:n ja 50 %:n mittaustasot.

Derivaattamenetelmässä äänihuulten kontaktin maksimin ja minimin kestoajat saadaan derivaatta- eli muutosnopeuskäyrän maksimeista ja minimeistä. Derivaattamenetelmässä kontaktiaika määräytyy derivaatan maksimista seuraavaan minimiin, ja koko periodin pituus on aika derivaatan maksimista seuraavaan maksimiin. CQ-arvo saadaan jakamalla saatu kontaktiaika koko periodin pituudella kuten kynnysmenetelmässäkin (kuva 13). Tässä väitöstyössä derivaattamenetelmällä lasketusta  $CQ_{EGG}$ :stä käytetään nimitystä  $CQ_{DEGG}$ .

Käytettäessä kontaktiajan määrittämiseen hybridimenetelmää on kontaktin aloituspisteenä ensimmäisen derivaatan maksimi, ja kontaktin päätyminen merkitään kynnysmenetelmän mukaan 42 %:n kohdalle (3:7) (58, 59). Hybridimenetelmä on kehitetty, koska DEGG-signaali ja varsinkin derivaatan minimi ovat herkkiä EGG-signaalissa monesti esiintyvälle hälylle. DECOM-menetelmässä OQ:n (käänteinen CQ) laskemiseen käytetään EGG:n ensimmäistä derivaattaa ja korrelaatiopohjaista algoritmia, jolla pyritään suodattamaan EGG-signaalin hälyä ja siten välttämään derivaatan virheellisiä kaksoishuippuja (31).

Useissa tutkimuksissa on todettu  $CQ_{EGG}$ :n reagoivan äänentuottotavan muutoksiin.  $CQ_{EGG}$ :n on raportoitu kohoavan äänenpainetason myötä (52, 60–63). Perustaajuuden on todettu vaikuttavan  $CQ_{EGG}$ -arvoihin siten, että korkeilla taajuuksilla CQ-arvot nousevat ja matalilla taajuuksilla laskevat, ainakin lauletaessa (36, 64). Perustaajuuden vaihtelu näyttäisi vaikuttavan naisten  $CQ_{EGG}$ -arvoihin enemmän kuin miesten (59, 65). Puheäänien tutkimuksessa perustaajuus näyttää vaikuttavan  $CQ_{EGG}$ -arvoihin vain mitattaessa CQ:ta korkeilla kynnystasoilla (> 25 %) (25, 66).

Äänenkäyttötapa vaikuttaa  $CQ_{EGG}$ -arvoihin. Falsettiäännessä on raportoitu pienempiä  $CQ_{EGG}$ -arvoja kuin modaali- tai narinaäännessä (26, 36, 67–69).  $CQ_{EGG}$ -arvojen luotettavuutta miesten falsettilaulun arvioissa on myös epäilty. Tulosten epäluotettavuus voi johtua siitä, että kevyessä falsetissa äänirako voi äännön aikana olla lähes koko ajan auki, jolloin EGG-tallennus ei onnistu (26). Vuotoinen, normaali ja puristeinen ääntö erottuvat toisistaan  $CQ_{EGG}$ -arvojen (tai käänteisten  $OQ_{EGG}$ -arvojen) perusteella niin terveillä kuin äänihäiriöpotilaillakin (21, 22, 70, 71). Emootioilmaisun tutkimuksessa  $CQ_{EGG}$ -arvot vaihtelevat eri emootiossa: ne ovat suurimmat vihassa ja ilossa ja pienimmät surussa, hellyydessä, mielenkiinnossa (72, 73) ja hämmästyksessä (74).  $CQ_{EGG}$ -luvun tai sen käänteisluvun avulla voidaan myös erotella terveääniset äänihäiriöpotilaista (22, 75–78) ja eriaistiset äänihuuliturvotuspotilaat toisistaan (79). Ääniterapiajakson tuloksellisuutta (78, 80) ja äänen harjoittamisen välitöntä vaikutusta (mm. 81, 82) on myös arvioitu  $CQ_{EGG}$ :n avulla.

Koirien kurkunpäällä tehdyn tutkimuksen mukaan  $CQ_{EGG}$ :llä on selkeä yhteys äänihuulten törmäyspaineeseen (impact stress = IS) (19). Äänihuulten välisen IS:n mittaaminen on hyvin hankalaa (18, 20).  $CQ_{EGG}$ :n ja IS:n yhteyden takia EGG:tä on käytetty äänen kuormittumisen noninvasiivisessa tutkimuksessa.  $CQ_{EGG}$ :tä on käytetty osamuuttujana esimerkiksi äänentuoton taloudellisuuden arvioinnissa. Äänen taloudellisuutta kuvaava muuttuja Quasi-Output-Cost-Ratio (QOCR) (24, 83) on noninvasiivinen estimaatti objektiivisesti laboratoriossa mitatusta IS-pohjaisesta Output Cost Ratio (OCR) muuttujasta (84).

## Elektroglottografian ongelmakohtia

EGG:n käyttö ei ole täysin ongelmaton. Kirjallisuudessa on raportoitu EGG:n ongelmakohtien liittyvän laitteisiin, elektrodien asetteluun, tutkittaviin henkilöihin, äänimateriaaliin ja EGG-käyrän tulkintaan (mm. 39, 42). EGG-laitetta lähellä olevat radiotaajuutta käyttävät laitteet sekä EGG-laitteen kykenemättömyys tulkita matalataajuisista signaalia saattavat aiheuttaa kohinaa elektroglottogrammiin (39). Kohina muuttaa EGG:n tasaisen Lx-signaalin rosoiseksi. EGG-laitteen ylipäästösuodatin auttaa matalataajuisen kohinan suodattamisessa ja laitteen ulkopuolelta tuleva kohina aiheuttaa yleensä vain vähän haittaa EGG-signaaliin (39).

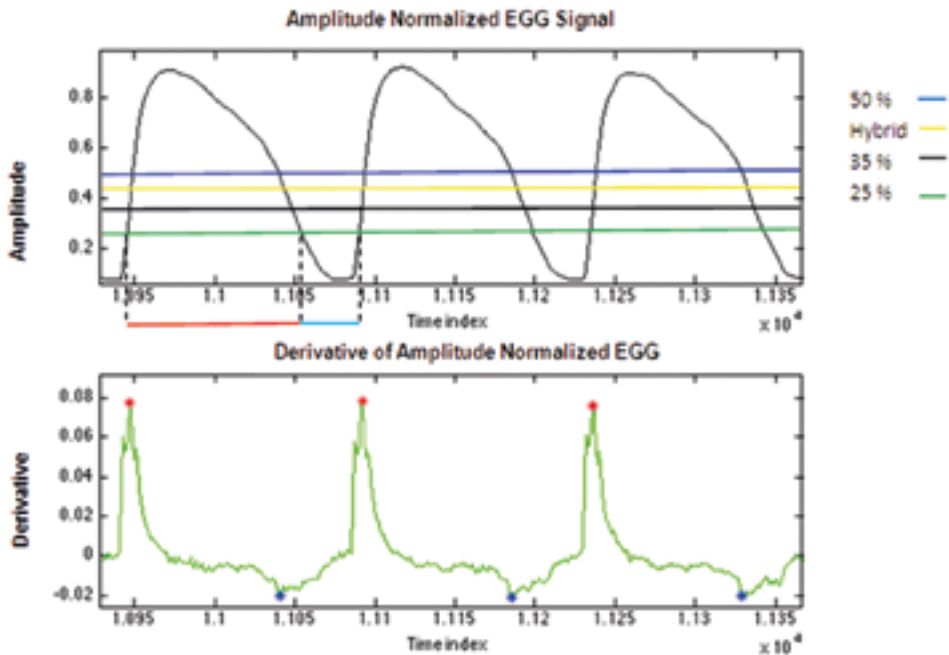
Elektrodien asettelu kilpiruston molemmin puolin juuri äänihuulten kohdalle täytyy tehdä tarkasti ja elektrodien kontaktin iholla on oltava hyvä. Kilpiruston muoto ja kaulan alueen pehmytkudokset vaihtelevat sukupuolen ja yksilön mukaan. Naisilla elektrodien asettelu ja hyvän EGG-signaalin saaminen on hankalampaa kilpiruston laajemman kulman, pienempien äänihuulten sekä kaulan paksumman rasvakerroksen

takia. Kurkunpään vertikaalinen liike sekä kaulan alueen ja hartiaseudun lihasten jännittyminen äännön aikana vaikuttavat myös EGG-signaaliin. Jos elektrodit on aseteltu sivuun äänihuulitasosta tai elektrodikontakti on huono, voi EGG-käyrä jäädä amplitudiltaan matalaksi (39). Oikean kohdan löytäminen onnistuu kokeilemalla elektrodien paikkaa eri kohdissa kurkunpäässä. Tässä tutkimuksessa käytetyssä kaksikanavaisessa EGG-laitteessa (Glottal Enterprises) elektrodien sijoittumista oikeaan kohtaan kaulalla oli mahdollista arvioida laitteen etupaneelissa näkyvän valosignaalin avulla. Elektrodien ollessa keskellä valosignaali näkyi paneelin keskellä vihreänä. Elektrogloggogrammin muodon ja amplitudin tarkasteluun elektrodien asetteluvaiheessa käytettiin tässä tutkimuksessa myös oskilloskooppia (The Sound Card Oscilloscope V1.31). Ihmisiho vastustaa sähkön läpipääsyä. Elektrodien ihokontaktia voidaan parantaa puhdistamalla kaulan iho alkoholipitoisella puhdistusaineella ja käyttämällä vesipitoista geeliä elektrodien ja ihon välissä EGG-taltioinnin aikana. Liiallinen geelin määrä iholla elektrodien ulkopuolella tai niiden välisellä alueella voi kuitenkin aiheuttaa virran vuotoa kurkunpään sisempien osien ohi ihoa pitkin, jolloin EGG:n hyötysignaali vaimenee. Myös EGG:n elektrodit on puhdistettava huolellisesti geelin jäämistä.

Tallennettaessa puhetta EGG:llä hankaluuksia voivat tuottaa artikulaation aiheuttamat vertikaaliset liikkeet kurkunpään alueella. Myös äänihuulia lähellä olevat rakenteet, kuten kielenkanta, kurkunkansi, taskuhuulet ja nielu liikkuvat artikulaatioliikkeissä (39). Vertikaaliliikkeen aiheuttamaa häiriötekijää voidaan vähentää kaksikanavaisella EGG:llä (85) ja matalien taajuuksien suodatuksella (39). Kaiken kaikkiaan hyvälaatuisen EGG-signaalin tallentaminen vaatii tutkimuksen tekijältä ammattitaitoa ja tarkkuutta.

Äänihuulten välissä oleva lima voi vaikuttaa EGG-käyrään muodostamalla sillan loitontuneiden äänihuulten väliin. Tätä siltaa pitkin sähkövirta pääsee elektrodista toiseen myös ääniraon aukiolovaiheessa, mikä voi näkyä poikkeamana EGG-käyrän impedanssin kasvuvaiheessa (avautumisvaiheessa). EGG:n tulkintaa luvussa on kerrottu yksityiskohtaisemmin EGG-käyrän muotoon liittyvistä tulkinnoista. Kontaktin alkamisen ja loppumisen määrittämistä voi hankaloittaa EGG-käyrä, josta puuttuu äänihuulien ala- ja yläosien värähtelyn aikaeroa kuvaava polveuma (39). Muutosnopeutta kuvaavan derivaattamenetelmän avulla kontaktin alkamista ja loppumista voidaan arvioida helpommin.





**Kuva 13.** Normalisoitu EGG-signaali ja sen derivaatta

Alakuvassa EGG:stä mitattu derivaattasignaali on kuvattu vihreällä.  $EGG_{DEGG}$ -maksimi on merkitty signaaliin punaisella tähdellä ja  $EGG_{DEGG}$ -minimi sinisellä tähdellä. Yläkuvaan on merkitty tutkimuksessa CQ-laskentaan käytettyjen "threshold level"-laskentatapojen käyrän amplitudiin perustuvat prosentuaaliset mittaustasot 25 %, 35 % ja 50 % sekä hybridimenetelmässä ääniraon avautumisvaiheen mittaukseen käytetty mittaustaso (hybridimenetelmässä äänihuulikontaktin aloitus määräytyy derivaatan maksimista; ks. alakuva, punainen tähti). Kuva: Dong Liu ja Elina Kankare 2013.

## 2.2.5 Käänteissuodatus

Käänteissuodatuksessa (inverse filtering) suodatetaan ääntöväylän resonanssien vaikutus pois ja jäljelle jää niin sanottu äänihuulitason glottisheräte. Käänteissuodatuksen materiaalina voi olla joko vapaassa ilmatilassa läheltä suuta nauhoitettu puheen akustinen signaali tai virtausglottografian (flow glottography, FGG) ilmapirtausignaali, joka on tallennettu erityisellä ilmapirtausta mittaavalla maskilla (86). Käänteissuodatus perustuu lähde-suodin-teoriaan (source-filter) (ks. Fant 1960 [87]). Kurkunpäästä purkautuvan ilmapirtauksen vaihtelu muodostaa äänilähteen ja suotimena toimii ääntöväylä. Teorian mukaan äänihuulitason lähdeääni ja suotimen vaikutus on mahdollista teknisesti erottaa toisistaan. Käänteissuodatusanalyysi toteutetaan nykypäivänä tietokoneella. Sekä akustiseen käänteissuodatuksen että virtaukseen perustuvaan käänteissuodatuksen ja niillä saatavien glottogrammien tarkasteluun on kehitetty useita algoritmeja (mm. 88, 89). Glottogrammien tarkastelussa on kaikkein

yleisimmin käytetty aikapohjaista laskentatapaa, kuten CQ tai OQ (89). Tutkimuksissa on käytetty usein aikapohjaista käänteissuodatusta rinnakkain aikapohjaisten EGG-muuttujien kanssa täydentämään toisiaan (mm. 33, 70, 90). Aikapohjaisilla muuttujilla on eri menetelmissä samat nimet, jolloin on myös olemassa sekaannuksen vaara muuttujien välillä. Tämän johdosta muuttujat on hyvä merkitä alaindeksillä, esim.  $CQ_{EGG}$  tai  $CQ_{FGG}$ .

## 2.3 Äänentuottoon liittyvä mekaaninen kuormitus

Äänihuulivärähtelyssä äänihuuliin kohdistuu useita mekaanisia kuormitustekijöitä. Määrällisesti arvioituna suurin äänihuuleen kohdistuva kuormitus on vetojännitys (tensile stress), joka kohdistuu äänihuulissa etu-takasuuntaisesti äänen perustaajuutta nostettaessa. Suurin osa vetojännityksestä korkeilla äänen taajuuksilla kohdistuu äänijänteeseen (ligamenttiin). Ligamentti kestää kuormitusta hyvin ja sen on arveltu suojaavan äänihuulten limakalvorakennetta. Lihasten maksimaalinen supistuminen (muscles contraction) aiheuttaa määrällisesti toiseksi suurimman mekaanisen kuormituksen äänihuuliin. Leikkauskuormitus (shear stress) kasvaa äänihuulivibraation amplitudin myötä ja sen on arvioitu rasittavan erityisesti äänihuulten kiinnityspisteitä. Äänihuuliin kohdistuu äännön aikana myös ilmanpaineen aiheuttamaa kuormitusta (aerodynamic pressure) ja kappaleen hitausominaisuuteen (kiihtyvyyteen ja jarrutukseen) liittyvää kuormitusta (inertial stress). Törmäyspaine eli impact stress (IS) kohdistuu äänihuuliin ääniraon sulkeutuessa ja äänihuulten osuessa toisiinsa. IS kertoo törmäysvoimasta suhteutettuna pinta-alaan. IS on äänihuuliin kohtisuoraan kohdistuva mekaaninen kuormitustekijä ja siksi sitä on pidetty tärkeänä kuormitustekijänä. Ligamentti ei pysty suojaamaan pehmeää limakalvoa IS:n aiheuttamalta kohtisuoralta kuormitukselta (17). IS:n on todettu korreloivan EGG:n CQ-suhdeluvun kanssa (22). IS sekä CQ:n suurenevat äänihuuliadduktion ja äännön voimistamisen sekä perustaajuuden lisääntymisen myötä. Suurten  $CQ_{EGG}$ -arvojen on todettu myös kuvantavan hyperfunktionaalista äänentuottoa (20, 22). Hyperfunktionaalista äänentuottoa on pidetty yhtenä merkittävänä syynä äänihäiriöiden syntyyn (14, 16, 67). Äänihuulten kiihtyvyydellä yhteisvaikutuksessa IS:n kanssa on erityisesti naisille tyypillisillä äänen korkeilla perustaajuuksilla arvioitu olevan vaikutusta äänihuulikudoksen vaurioitumiseen (17, 91). Äänihuulten keskiosaan kohdistuu suurin IS, ja sitä pidetäänkin syynä esimerkiksi äänihuulikyhmyjen syntyyn (15).

## 2.4 Äänen kuormituksen subjektiivinen kartoitus

Kuormittuminen kuuluu ihmisen fyysiseen ja henkiseen olemassaoloon, ja jopa mitään tekemättömyys kuormittaa meitä. Sopiva määrä kuormitusta on omiaan parantamaan sekä fyysistä että henkistä suorituskykyämme. Kehomme myös adaptoituu kuormitukseen, kun kuormitus tulee sopivina annoksina ja keho saa riittävästi aikaa palautumiseen. Fyysistä kunnonkohotusta tavoitteleva harjoittelu perustuu sopivaan kehon ylikuormitukseen. Arkinen kuormittuminen aiheuttaa todennäköisesti mikrotason vaurioita kehossamme jatkuvasti, mutta, kun kehomme korjausmekanismit toimivat tehokkaasti sopivassa suhteessa kuormitukseen, ei ylikuormitusta pääse tapahtumaan. Liiallista kuormittuminen on silloin, kun se aiheuttaa kehossamme vaurioita, joista emme palaudu (92).

Äänen kuormittuminen on tavallisesti useiden tekijöiden summa. Ääntä voivat kuormittaa ammattiin ja ympäristöön liittyvät tekijät, kuten äänessäoloaika, taustamelu, huoneakustiikka, sisäilma sekä psykososiaaliset tekijät ja muut ergonomiset tekijät. Äänenkäyttäjään itseensä liittyviä kuormitustekijöitä ovat sukupuoli, kestävyys, yleinen terveydentila, elämäntavat, äänenkäyttötaito ja -kokemus sekä persoonallisuus. Kuormitustekijät vaihtelevat ammatin, työpaikan ja yksilön mukaan (13). Äänen kuormittuminen aiheuttaa äänen väsymisoireita. Väsymisoireiksi luokitellaan äänentuottoon liittyvät fyysiset tai psyykkiset negatiiviset tuntemukset tai äänessä kuultava negatiivinen muutos (93). Äänityöntekijän ääni kuormittuu työssä kuten toimistotyöntekijän niska-hartiaseutu päätetyöskentelyssä. Äänen normaalin työperäisen väsymisen jälkeen työntekijä kykenee tavanomaiseen sosiaaliseen elämään perheen ja harrastuksen parissa. Äänen ylikuormituksesta puhutaan silloin, jos työntekijä ei palaudu äänen väsymisoireista seuraavaan työpäivään mennessä (13).

Äänenkäyttäjää itseään voidaan pitää ainoana varsinaisena asiantuntijana äänen kuormituksen subjektiivisten tuntemusten ja niiden vaikutusten arvioinnissa. Terveydenhuollon asiantuntijat ja äänen tutkijat ovat pyrkineet erilaisilla kyselylomakkeilla kartoittamaan sekä äänihäiriöpotilaiden että funktionaalisesti terveiden henkilöiden äänenkäyttöä, äänen kuormittumista ja kuormittumisen vaikutusta yksilön päivittäiseen toimintaan. Äänen kuormittumisen ja oireiden kanssa selviytymisen itsearviointiin on käytetty standardoituja kyselylomakkeita kuten Voice Handicap Index (VHI) (94), Voice Activity and Participation Profile (VAPP) (95), Voice-Related Quality Of Life (V-RQOL) (96) ja A Patient-Derived Voice Symptom Scale (VoiSS) (97). Nämä kyselylomakkeet on suunniteltu lähinnä äänihäiriöiden vaikeusasteen subjektiiviseen kartoittamiseen. Suomessa yleisimmin klinikoilla käytettyjä ovat VHI- ja VAPP-lomakkeet. Äänihäiriöpotilaiden ollessa tutkimushenkilöinä on lomakkeiden tulosten

ja äänen objektiivisten mittausten välillä löydetty korrelaatio (mm. 98–100). Vastaavaa korrelaatiota ei ole löydetty funktionaalisesti terveillä tutkimushenkilöillä (101, 102).

Tampereen yliopiston puhetekniikan ja vokologian oppiaineessa on käytetty lukuisissa tutkimuksissa samaa äänikyselylomaketta, joka on tarkoitettu funktionaalisesti terveiden henkilöiden äänen kuormitusoireiden selvittämiseen. Lomaketta on muokattu vuosien varrella saatujen käytännön kokemusten perusteella ja myös tutkimuksen kohderyhmän mukaan. Äänioirekysymysten lisäksi lomakkeessa kartoitetaan yksilön äänen voimavaroja ja palautumista äänen rasittumisen jälkeen (liite 1). Lomakkeella saadut tulokset korreloivat standardoidun VAPP-lomakkeen tulosten kanssa (103).

## 2.5 Kuunteluanalyysi äänen tutkimuksessa

Äänentuotto- ja kuulomekanismin on ihmisille tyypillisen kommunikaation perusta. Anatomisesti ja fysiologisesti kompleksinen kuulomekanismin vastanottaa ääntöelimistöstämme lähetetyn akustisen puhesignaalin. Sisäkorvan mekanismi analysoi signaalin ajallisesti ja spektrianalyysillä, minkä perusteella neuraalinen järjestelmämme muuntaa signaalin aivojen tulkittavaksi (104). Pystymme havaitsemaan pieniäkin eroja puhesignaalin laadussa, mutta kykymme prosessoida kuulohavaintoa on yksilöllistä. Niin kutsuttu absoluuttinen sävelkorva on esimerkki kuulonprosessoinnin yksilöllisestä erityisyydestä. Kuulojärjestelmämme adaptiivisuus ja aivojen kuuloalueen plastisuus mahdollistavat kuulon harjaannuttamisen myös aikuisiässä (105).

Auditivis-perkeptuaalista, kuulohavaintoon perustuvaa, arviota käytetään yleisesti tutkimusvälineenä ääniklinikoilla ja äänentutkimuksessa. Tässä väitöstyössä perkeptuaalisesta kuulohavaintoon perustuvasta äänen arvioinnista käytetään myös suomenkielistä termiä kuunteluanalyysi. Puheterapeutteja, foniatreja ja laulun ja puhetekniikan opettajia voidaan pitää koulutuksensa ja ammattinsa perusteella äänen kuuntelun asiantuntijoina. Tutkimuksissa on kuitenkin raportoitu perkeptuaalisten arvioiden tuloksissa esiintyvän eroja myös asiantuntijakuuntelijoiden välillä (106–108). Äänen laadun arvioinnissa esiintyvään vaihteluun on syynä pidetty kuuntelijoiden erilaisia kuuntelustrategioita (tekijät, joihin kuuntelija perustaa arvionsa) (106, 107, 109, 110). Kuuntelustrategioiden yhdenmukaistamiseksi on ehdotettu kuuntelun harjoittelua (111–114). Kuuntelun harjoitteluun voidaan käyttää niin sanottuja ankkuriääninäytteitä, joiden avulla kuunteluanalyysin kohteena olevat äänen laadun ääripäät saadaan esille ja kuuntelijan on helpompi asettaa omalle kuuntelulle sisäinen asteikko. Kuuntelututkimuksissa ankkuriääninäytteiden käyttö on parantanut tilastollisesti mitattavaa kuuntelun yhtenäisyyttä (reliabiliteetti). Sekä ryhmän jäsenten välinen että yksilön sisäinen reliabiliteetti ovat parantuneet (111–114). Äänihäiriön vaikeusasteen kuunte-

lussa on parittaisella ankkurikuuntelulla saatu yhtenäisimmät kuuntelutulokset. Parittaisessa ankkurikuuntelussa kuuntelija on voinut verrata jokaista kuunneltavaa näyttettä skaalan eriasteisiin ankkuriälynteisiin, ja vertailun perusteella hän on voinut valita kyseiselle näyttelle äänihäiriön vaikeusasteen (114). Tämän väitöstyön kaikissa kuunteluanalyysseissa on käytetty tutkimuksen äänimateriaalista valittuja ankkuriääniä erilaisten äänen laatujen ääripäinä. Näiden ankkuriäänien avulla kuuntelijat kalibroivat korvansa ennen varsinaisen kuuntelun aloittamista. Halutessaan kuuntelijalla oli mahdollisuus kuunnella ankkuriälynteet uudelleen milloin vain kuuntelurupeamansa aikana.

## 2.6 Lastentarhanopettajien ammatilliset äänivaatimukset

Päiväkodissa työskentely on äänenkäytön kannalta haastavaa ja lastentarhanopettajalla on kohonnut riski saada työperäinen äänihäiriö (8, 11, 12, 115). Äänenkäytön haasteet ovat lastentarhanopettajan työssä lähes samat kuin opettajan työssä yleensä. Opettajat puhuvat työssään runsaasti, yleensä isolle kuulijakunnalle, voimistetulla äänellä sekä akustisesti huonoissa olosuhteissa. Lastentarhanopettajien työssä on lisäksi äänenkäytön kannalta muiden opettajien työstä poikkeavia vaatimuksia. Työn olosuhteiden ja luonteen johdosta lastentarhanopettajat työskentelevät päivittäin ulkona, he altistuvat erityisen voimakkaalle taustamelulle ja äänenkäytön varioinnin tarve on poikkeuksellinen. Lastentarhanopettajat ovat säännöllisesti lasten kanssa ulkona huomattavia aikoja työpäivästä. Ulkoilmassa äänenkäyttö on erityisen haastavaa, koska akustiikka ei anna puhujalle apua ja kuulluksi tuleminen vaatii äänen voimistamista. Suomen sääolosuhteet aiheuttavat myös haasteita äänentuottoelimistölle. Päiväkotien väki ulkoilee tunnetusti lähes säällä kuin säällä. Kesällä siitepölyt ja pölyävät hiekkapihat ja talvella pakkaneen kuormittavat äänentuottoelimistöä. Syksyin kevään kuraisena aikana päiväkodin sisäilmaa huonontaa myös lasten ja aikuisten ulkoiluvarusteissa sisään kantautuva hiekka, joka kuivuessaan lisää pienhiukkasten määrää sisäilmassa. Orgaanisen pölyn on todettu aiheuttavan äänioireita (116). Pakkasaikana keskuslämmitys kuivattaa sisäilmaa, mikä myös aiheuttaa haasteita äänentuotolle (13, 117, 118). Homeesta johtuvat julkisten rakennusten sisäilmaongelmat ovat Suomessa tunnustettu tosiasia. Rakennuskannan ikääntyessä ongelmat lisääntyvät. Tampereen kaupunki teki sisäilmakartoituksen kaikissa päiväkotiyksiköissään vuonna 2013. Tampereella päiväkotien keskimääräinen ikä oli tuolloin 35 vuotta ja yli kahdessakymmenessä prosentissa tutkituista päiväkotiyksiköistä oli välitön sisäilmasaneerauksen tarve (119). Home ja muut sisäilman epäpuhtaudet rasittavat äänihuulten herkkää limakalvorakennetta, lisäävät kurkunpäättulehduksen riskiä ja aiheuttavat ääniongelmia (116, 120, 121).

Lastentarhanopettajien äänenkäytön erityisvaatimuksena voidaan pitää myös tarvetta äänenkäytön voimakkuuden, korkeuden ja laadun laajaan variaatioon. Äänen laaja variointi on erityisesti käytössä lapsille luettaessa ja lauletaessa, mutta myös muissa aktiviteeteissa. Äänen pitkäkestoinen varioiminen kuormittaa ääntöelimistöä äänihuulitasolla. Äänen laadun varioinnissa käytetään monesti hyväksi äänentuoton ääriominaisuuksia, kuten narinaa tai falsettiääntä, jotka voivat myös rasittaa kurkunpään rakenteita.

Päiväkotien arjessa on paljon äänekästä toimintaa. Lasten vapaa leikki ja pelaaminen nostavat melutasoa. Päiväkotien melutaso onkin tutkimuksissa todettu erittäin korkeaksi (12, 115). Melun on todettu päiväkodeissa nousevan keskimäärin 73–78 Leq dBA:iin (12), kun sen on koulussa todettu olevan keskimäärin 69 Leq (122). Meluisassa ympäristössä voimistamme ääntämme automaattisesti, niin sanotun Lombard-efektin toimintakaavan mukaan. Neljäkymmenen desibelin melutason jälkeen voimistamme omaa puhettamme 3 dB jokaista kymmentä meludesibeliä kohden (123). Äänen korkeus yleensä kohoaa voimistamisen myötä. Korkea perustaajuus ja äänenpainetaso rasittavat ääntä (101, 124). Söderstenin ym. (2002) tutkimuksen mukaan lastentarhanopettajien äänen äänenpainetaso kohosi työpäivän aikana keskimäärin 9 dB, ja perustaajuus nousi selkeästi normaalitasosta taustamelun takia (12). Lastentarhanopettajien naisvaltaisesta ammattikunnasta puhuttaessa on myös huomioitava se, että naisten äänien on raportoitu kuormittuvan taustamelun vaikutuksesta miesten ääniä enemmän (125).

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon lastentarhanopettajat kokivat äänen ongelmia ja mistä ongelmien arvioitiin johtuvan. Tutkimuksessa pyrittiin lisäksi selvittämään, missä määrin kuormittuminen voisi johtua äänenlaadusta. Äänenlaatua tarkasteltiin perkeptuaalisen arvion, itsearvioinnin ja EGG:n avulla. Tutkimuksessa etsittiin myös äänenlaadun kuvaamiseen parhaiten soveltuvia EGG-signaalin parametrisointitapoja.

Tutkimuskysymykset osatutkuksittain:

1. Miten lastentarhanopettajat arvioivat äänensä kuormittumista ja äänellisiä voimavarojaan sekä ergonomisten tekijöiden vaikutusta äänensä kuormittumiseen? Onko itsearvioinnin ja foniatriin laryngoskopialöydösten välillä yhteyttä? (I)
2. Onko vuotoisesti, tavallisesti ja puristeisesti tuotettujen vokaalinäytteiden  $CQ_{EGG}$ -arvojen välillä eroa ja onko  $CQ_{EGG}$ -arvojen ja tiiviyden kuulohavainnon välillä yhteyttä? Mitkä ovat eri äänentuottotavoille tyypilliset viitearvot tarkasteltuna eri kynnystasoilla? (II)
3. Millainen on lastentarhanopettajien äänen taloudellisuus QOCR-muuttujan avulla arvioituna? (III)
4. Millä tavalla  $CQ_{EGG}$ - ja MDEGG-muuttujat varioivat yhdessä tiiviyden perkeptuaalisen arvion kanssa ja onko itsearviolla ja laryngoskopialöydöksillä yhteyttä EGG-muuttujiin tai perkeptuaaliseen arvioon? (IV)

## 4 MENETELMÄT

### 4.1 Tutkimusaineiston kerääminen ja tutkimuksen eettinen perusta

Tämän Suomen Akatemian rahoittaman tutkimussarjan (projektinnumero 1128095) neljästä osatutkimuksesta kolmessa osallistujina toimivat lastentarhanopettajat. Lastentarhanopettajat valittiin tutkimushenkilöiksi, koska heidän tiedetään toimivan äänellisesti vaativassa työssä, mutta äänitutkimuksissa he ovat jääneet vähemmälle huomiolle kuin peruskoulun opettajat. Kuitenkin lastentarhanopettajien työn luonne ja haasteet eroavat luokanopettajan tai aineenopettajan työstä siinä määrin, ettei peruskoulun opettajilla tehtyjä tutkimuksia voi suoraan rinnastaa lastentarhanopettajiin.

Tässä tutkimuksessa aineiston kerääminen tapahtui kahdessa osassa. Ensin kerättiin äänikyselyllä tietoa lastentarhanopettajien äänenkäytöstä ja äänenkäyttöön liittyvistä tekijöistä, ja toisessa vaiheessa kerättiin ääninäytteitä ja tehtiin foniatriinen lääkärintarkastus osalle kyselyyn vastanneista. Tutkimusta varten haettiin lupa Tampereen kaupungin hyvinvointipalvelujen kehittämissyksiköltä sekä Helsingin kaupungin sosiaalivirastolta. Lupien myöntämisen jälkeen lähetettiin päivähoidon johtajien kautta tutkimuksesta kertova saatekirje ja e-lomakelinkki lastentarhanopettajien sähköpostiin (liite 2). Lomake oli esitestattu paperiversiona Tampereen Härmälän päiväkodin kymmenellä työntekijällä. Esitestauksen jälkeen lomakkeen verkkoversioon tehtiin muutama muutos. Kriteeri, jolla vapaaehtoiset valikoitiin ääni- ja foniatriantutkimuksiin, oli käytännöllinen siten, että mukaan pääsivät kaikki ne, joita oli ilmoittautunut samasta päiväkodista kaksi tai useampi tai joilla oli mahdollisuus tulla tutkimuksiin oman työpaikkansa sijasta toiseen päiväkotiin. Kaikkiin ääni- ja foniatriantutkimuksiin tuleviin lastentarhanopettajiin otettiin yhteyttä puhelimitse ja heille sovittiin henkilökohtainen aika foniatriiseen lääkärintarkastukseen ja ääninäytteiden tallennukseen. Lisäksi osallistujille lähetettiin postitse tiedote tutkimuksesta (liite 3), aikataulut ja tutkimuspäivänä täytettävät lomakkeet, lomakkeiden palautuskuori sekä tutkimuspäivänä palautettava tutkittavan suostumuslomake (liite 4).

Tutkimukseen osallistuneet hyötyivät tutkimuksesta saamalla henkilökohtaisen kirjallisen palautteen omasta äänestään, heillä oli mahdollisuus osallistua ryhmissä järjestettävään äänikoulutukseen ja he saivat henkilökohtaisen lausunnon foniatriin



laryngoskopia tutkimuksesta. Tutkimuksen haittoja olivat työajan käyttö tutkimukseen sekä se, että herkäät henkilöt saattoivat pitää lääkärin suorittamaa laryngoskopia-tutkimusta epämiellyttävänä.

Tätä tutkimusta varten tehtiin henkilötietolain mukainen rekisteriseloste (liite 5) ja sen oleellinen sisältö kerrottiin lastentarhanopettajille lähetetyssä tiedotteessa. Rekisteriseloste säilytetään materiaalin yhteydessä. Tiedotteesta ja tutkittavan suostumuslomakkeesta kävi osallistujille ilmi, että tutkittavalla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mistä tahansa mittauksesta tai keskeyttää testit ilman mitään perusteluja tai seuraamuksia. Tutkimusmateriaalia käsiteltiin ja säilytettiin Suomen henkilötietolain (523/1999) 7. luvun 34–35 §:n mukaisesti. Tämän tutkimuksen materiaalia säilytetään Tampereen yliopiston puhetekniikan ja vokologian oppiaineen lukittavassa arkistokaapissa ja tietokoneella tutkijan salasanoilla suojattuna.

Osatutkimuksen II tutkimushenkilöt olivat vapaaehtoisia Tampereen yliopistossa työskenteleviä ja opiskelevia henkilöitä. Osallistuessaan tutkimukseen he olivat tietoisia siitä, mitä oikeuksia ja velvollisuuksia heillä oli tässä tutkimuksessa, ja heiltä saatua materiaalia käytettiin ja säilytetään osatutkimusten I, III ja IV mukaisesti.

## 4.2 Osallistujat

Tämän tutkimussarjan kaikki osallistujat olivat naisia. Osatutkimuksissa I, III ja IV osallistujat olivat lastentarhanopettajia ja osatutkimuksessa II Tampereen yliopiston henkilökuntaa ja opiskelijoita. Ensimmäisen osatutkimuksen äänikyselyyn vastasi e-lomakkeella internetissä 186 vapaaehtoista lastentarhanopettajaa. Vastatessaan kyselyyn he ilmoittautuivat vapaaehtoisiksi ääni- ja laryngoskopia tutkimukseen. Vuonna 2009 (tutkimuksen aineistonkeruuvuosi) työskenteli Tampereen kunnallisissa päiväkodeissa 538 lastentarhanopettajaa, joista 524 oli naisia ja 14 miehiä. Helsingin kaupungin palveluksessa oli vastaavasti 1 526 lastentarhanopettajaa, joista 1 481 oli naisia ja 45 miehiä (126). Nämä tutkimukset suoritettiin kenttäolosuhteissa, jotta vapaaehtoisten osallistumiskynnys saatiin mahdollisimman alhaiseksi ja äänenkäyttöympäristö olisi osallistujille mahdollisimman luonnollinen. Ääni- ja foniatriantutkimukseen osallistujien tavoitemääräksi oli asetettu sata, ja tutkimukset tehtiin 32 eri päiväkodissa Tampereella ja Helsingissä. Tutkimuksiin valikoitui kohdassa 4.1 kerrotun kriteerin mukaan yhteensä 119 osallistujaa. Ikäjakautuman kannalta otanta Suomen lastentarhanopettajista oli varsin hyvä, sillä Stakesin tilastojen mukaan Suomen kunnallisessa päivähoitossa toimivat noin 12.000 lastentarhanopettajaa olivat vuonna 2009 keskimäärin 42,1-vuotiaita, mikä on lähellä tämän tutkimuksen osallistujien iän keskiarvoa (43,9 vuotta) (127).

Osatutkimukseen II osallistui vokologian, logopedian, puheviestinnän ja teatterityön oppiaineista henkilökuntaa (12) ja opiskelijoita (18). Vapaaehtoisia oli yhteensä 34, joista 30:lta saatiin tallennettua tutkimukseen soveltuva EGG-signaali. Kaikki osatutkimukseen II osallistuneet olivat saaneet äänenkäytön koulutusta. Osallistujat olivat oman arvionsa mukaan ääneltään terveitä. Kahdeksan osallistujaa oli kokeneita äänenkäytön opettajia tai puheterapeutteja. Muiden II tutkimukseen osallistuneiden äänikoulutustausta vaihteli muutamasta äänenkäytönkurssista usean vuoden ajan tapahtuneeseen äänen harjoittamiseen. Osallistujat eivät saaneet minkäänlaista korvausta tutkimukseen osallistumisestaan.

Osatutkimukseen III valikoitui 96 lastentarhanopettajaa, joiden EGG-signaali oli analysoitavissa automaattisella analyysiohjelmalla (VoceVista Pro). Osatutkimukseen IV valikoitui 93 lastentarhanopettajaa, joiden EGG-signaali oli analysoitavissa automaattisella Octave-analyysiohjelmalla (ohjelmakoodin kirjoittaja Dong Liu 2012). Tutkimuksiin osallistuneiden taustatiedot on esitetty taulukossa 1.

## 4.3 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimussarjassa käytettiin menetelminä kyselytutkimusta, instrumentaalista äänentutkimusta, kuunteluanalyysia sekä foniatriantutkimusta. Taulukossa 2 on esitetty kaikki tutkimusmenetelmät.

### 4.3.1 Kyselytutkimukset

Kyselytutkimuksina käytettiin ”Äänenkäyttökyselyä opetushenkilöstölle” (liite 1) (osatutkimus I) sekä Voice Activity and Participation Profile (VAPP) -kyselyä (liite 6) (osatutkimus IV). Opetushenkilöstölle suunnattua äänenkäyttökyselyä on käytetty useassa tutkimuksessa Tampereen yliopistossa, ja sitä on muotoiltu kohderyhmän mukaan (102, 128–130). Tätä tutkimusta varten kyselyä muokattiin lastentarhanopettajille sopivaksi siten, että ääniergonomiakysymyksiä laajennettiin ja äänioireiden yleisyyden lisäksi kysyttiin oireiden vaikeusastetta. Äänenkäyttökyselyn e-lomakeversion täyttämiseen meni aikaa 10–15 minuuttia ja siihen kuuluivat seuraavat kysymysosiot: henkilö- ja työnkuva, ääniergonomia, äänioireiden yleisyys ja niiden vaikeusaste, äänelliset voimavarat sekä äänen vaikuttavia taustatekijöitä. Kyselyn ääniergonomiaosiossa pyydettiin vastaajaa arvioimaan, missä määrin kyselyssä esitetyt seikat haittasivat vastaajan äänenkäyttöä (liite 1, sivu 83). Ääniergonomiakysymysten osio oli jaettu seitsemään aihealueeseen: työtila, taustamelu, huoneilma, ergonomia, lapsiryhmä, äänessäoloaika

ja psykososiaaliset tekijät. Ergonomiakysymysten vastaukset annettiin asteikolla: 1 = ei haittaa lainkaan, 2 = haittaa melko vähän, 3 = haittaa kohtalaisesti, 4 = haittaa melko paljon ja 5 = haittaa erittäin paljon. Kunkin osion maksimipistemäärä oli 25, ja koko ergonomiaoisuuden maksimipistemäärä oli 175. Äänioireiden yleisyyttä ja niiden vaikeusastetta kartoitettiin kumpaakin yhdeksällä kysymyksellä. Äänioireiden yleisyyttä arvioitaessa vastausvaihtoehtojen ääripäät olivat 0 ja 6: ei koskaan (0), muutaman kerran vuodessa / joskus (2), kerran kuukaudessa / melko usein (4), hyvin usein / lähes joka viikko (6). Arviointiasteikon kohdissa 1, 3 ja 5 arvio asettui sanallisten arvioiden väliin. Vastaavasti äänioireiden vaikeusastetta arvioitiin asteikolla 0 = ei oireita ja 6 = oireet voimakkaita. Kolmea kysymystä painotettiin antamalla oireiden yleisyyss- ja vaikeusastearviosta suuremmat pisteet asteikolla 0–8. Painotetut kysymykset (2, 8, 9) koskevat vakavia äänen oireita (liite 1, sivu 85). Sekä äänioireiden yleisyyttä että niiden vaikeusastetta koskevien kysymysten maksimipistemäärä oli 60 eli äänioirekyselyn maksimipistemäärä oli yhteensä 120. Äänellisiä voimavaroja kartoitettiin neljällä kysymyksellä, joista kaksi koski omaa äänenlaatua, yksi työhön liittyvää kuormitusta ja yksi palautumista. Arvio suoritettiin asteikolla erittäin huono / huonosti (1) – erittäin hyvä / hyvin (7) (liite 1, sivu 85–86). Lisäksi kyselyssä pyydettiin tietoja ääneen vaikuttavista taustatekijöistä kuten saadusta äänikoulutuksesta, äänen käyttöön liittyvistä harrastuksista sekä sairauksista ja lääkityksistä.

Ääni- ja foniatriin laryngoskopiatutkimukseen osallistuneet täyttivät tutkimuspäivänä Voice Activity and Participation Profile (VAPP) -kyselyn (osatutkimus IV) (95, 131) (liite 6). VAPP-kysely on tarkoitettu kartoittamaan äänihäiriöpotilaiden äänihäiriön vaikutusta potilaan työntekoon, päivittäiseen viestintään, sosiaaliseen kanssakäymiseen sekä tunteisiin. Kyselyssä on yhteensä 28 ääniongelmaan liittyvää kysymystä. Tämän tutkimuksen osallistujia pyydettiin täyttämään lomakkeen kaikki osiot, vaikka heillä ei olisikaan ääniongelmia. VAPP-kyselyn täyttäjät merkitsee rastin tai pystyvii-van 10 cm:n mittaiselle visuaalis-analogiselle (VAS) janalle kohtaan, joka parhaiten kuvaa äänihäiriön vaikutusta vastaajan elämään ja toimintaan. Janan vasen ääripää vastaa sitä, että äänihäiriö ei vaikuta kysytyyn toimintaan lainkaan, ja oikea ääripää sitä, että äänihäiriö vaikuttaa kysytyyn toimintaan erittäin paljon. VAPP-kyselyn maksimipistemäärä on 280. Ilomäki ym. (2009) ovat raportoineet tässäkin tutkimuksessa alkukyselynä käytetyllä ”Äänikysely opetushenkilöstölle” -lomakkeella saatujen tulosten korreloivan merkitsevästi VAPP-kyselyn kokonaispistemäärän kanssa (128).

**Taulukko 1.** Tutkimukseen osallistujien taustatiedot osatutkimuksittain. N = osallistujien lukumäärä, KA = keskiarvo, HA = keskihajonta, VV = vaihteluväli.

Osatutkimus	I N=119 KA±HA (VV)	moodi	II N=30 KA±HA (VV)	moodi	III N=96 KA±HA (VV)	moodi	IV N=93 KA±HA (VV)	moodi
Ikä vuosina	43.9 ±9 (24–64)	42	33±12 (20–57)	24	43.2±9 (25–64)	42	43.2±9 (25–64)	42
Työkokemus vuosina	17.6±10 (1–36)	20	-	-	16.6±10 (1–36)	10	16.6±10 (1–36)	15
Työpäivän pituus tunteina	7.5±0.3 (7–8)	7	-	-	7.5±0.3 (7–8)	7.3	7.5±0.3 (7–8)	7
Päiväkotiryhmän koko	19±5 (8–46)	21	-	-	19±5 (11–46)	22	18	12 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> useita moodilukuja, tässä näkyvillä pienin luku.

#### 4.3.2 Ääninäytteiden tallennus

Osatutkimusten III ja IV ääninäytteet kerättiin työpaikoilla päiväkodeissa ja osatutkimuksen II näytteiden tallennus tehtiin äänieristetyssä äänitustilassa, jonka jälkikaiunta-aika oli alle 0,4 s. Päiväkodeissa valittiin äänityspaikaksi pieni, mahdollisimman hiljainen varasto tai toimisto. Päiväkodeissa äänityksiin käytettyjen 32 huoneen taustamelu huoneen ollessa tyhjänä oli keskimäärin 35 dBA (VV 32–41 dB, moodi 35 dB).

Kaikissa tämän tutkimussarjan osatutkimuksissa käytettiin samaa äänityslaitteistoa ja sama tutkija suoritti kaikki tallennukset (ks. kuvat 14 ja 15). EGG-signaalin tallentamiseen käytettiin kaksikanavaista EGG-laitetta (Glottal Enterprises). Laitteen ylipäästösuodatus oli asetettu 20 Hz:iin. Kaulalle asetettavat EGG-elektrodit olivat halkaisijaltaan 2,5 cm. Akustinen äänisignaali tallennettiin yhtä aikaa EGG-signaalin kanssa pääpantamikrofonilla (AKG C477, virtalähteenä AKG B29L). Tässä tutkimuksessa mikrofoni oli suun sivussa 6 cm:n päässä huulikulmasta. Mikrofonin etäisyys mitattiin ja säädettiin kuuteen senttiin jokaiselle äänitettävälle. Lyhyellä mikrofonietäisyydellä pyrittiin minimoimaan huoneakustiikan vaikutus äänityksiin (132, 133). EGG- ja akustinen signaali tallennettiin kannettavalle tietokoneelle (Dell Latitude E5500) wav-tiedostoiksi, missä käytettiin ulkoista, kaksikanavaista äänikorttia (M-AUDIO, MOBILEPRE USB) ja Sony Sound Forge 7.0 -tietokoneohjelmaa. Tallennuksessa käytettiin 44,1 kHz:n näytteenottotaajuutta ja amplitudin erottelutarkkuus oli 16 bittiä.

Kaikki ääninäytteet kalibroitiin äänenpainemittausta varten. Kalibrointiin käytettiin äänenpainemittaria (Brüel & Kjær 2206, Copenhagen) ja äänigeneraattoria (Boss

TU-120) (osatutkimus II) tai osallistujan tasaista vokaaliääntöä (osatutkimukset III ja IV).

Lastentarhanopettajilta tallennettiin neljä erilaista ääninäytettä: (1) pidennetty vokaali puhujan tavanomaisella keskustelupuhevoimakkuudella, (2) voimistettu vokaali vakiovoimakkuudella, (3) luenta (213 sanaa, ei sibilantteja, liite 7) ja (4) spontaanipuhe (1 min). Spontaanipuhetta ei tässä tutkimussarjassa käytetty analyyseihin.

Osatutkimuksessa II osallistujat tuottivat [a:]-vokaalia vuotoisesti, normaalisti ja puristeisesti itselleen sopivalla keskustelupuheen korkeudella ja voimakkuudella. Äänentuottotavat olivat tuttuja kaikille osallistujille, ja ennen nauhoitusta äänentuottotapoja kokeiltiin ja tarvittaessa myös harjoiteltiin yhdessä tutkijan kanssa.

Osatutkimuksessa III käytettiin äänimateriaalina kahta eri voimakkuudella tuotettua [a:]-vokaalinäytettä. Tavallisen [a]-vokaalin osallistujat tuottivat itselleen sopivalla korkeudella ja voimakkuudella kolme kertaa, jokaista noin viiden sekunnin ajan. Voimistetun [a]-vokaalin osallistujat tuottivat itselle sopivalla korkeudella tavoitellen äänenpainetasoa 90 dB<sub>6cm</sub>. Tavoiteäänepainetasoa haettiin mikrofoniin viereen sijoitetun äänenpainemittarin avulla tutkijan opastamana. Kun oikea äänenpainetaso saavutettiin, [a:]-vokaali toistettiin kolme kertaa, kutakin noin viiden sekunnin ajan. Vokaaliääntöjä toistettiin useampaan kertaan, mikäli osallistujalla oli vaikeuksia löytää itselleen luonteenomaista korkeutta tai voimakkuutta tai voimistettu ääntö poikkesi selkeästi dB-tavoitteesta. Vakioitua tavoiteäänepainetasoa käytettiin, koska preliminääritutkimuksessa QOCR näytti laskevan äänenpainetason noustessa (24). Laukkanen (2008) (101) tutkimusryhmineen raportoi peruskoulunopettajien tavanomaisella keskustelupuhevoimakkuudella tuotetun [a:]-vokaaliääntöä äänenpainetasoksi 6 cm mikrofoniin etäisyydellä 82.9 dB. Ruotsalaistutkimuksen mukaan lastentarhanopettajat puhuvat työpaikan taustamelusta johtuen töissä ollessaan keskimäärin 9 dB tavanomaista puhevoimakkuuttaan voimakkaammin (12). Laukkasen ym. (2008) ja Söderstenin ym. (2002) tutkimusten pohjalta, valittiin tämän tutkimuksen vakioiduksi äänenpainetasoksi tasaluku 90 dB.

Osatutkimuksen IV äänimateriaalina oli vakioidulla äänenvoimakkuudella (90 dB<sub>6cm</sub>) tuotettu [a:]-vokaali sekä yhden luennasta poimitun painollisen sanan pitkä [a]-vokaali ([ka:k:o]). Luennan aikana osallistujien korviin ajettiin MP-3-soittimesta kuulokkeiden kautta päiväkodissa äänitettyä taustamelua. Äänityksen aikaisen melualtistuksen tarkoituksena oli luoda lastentarhanopettajille heidän työnsä luonteenomainen äänenkäyttötilanne. Kuulonsuojeluyistä taustamelunauhoituksesta oli editoitu pois voimakkaat kilahdukset ja rätiät. Myös tauot editoitiin pois, jotta taustamelusta saatiin lähes jatkuvaa. Kaikille osallistujille taustamelu soitettiin samalla voimakkuudella. Kuulokkeista soitetun taustamelun äänenpainetason keskiarvo oli 67,8 dB (äänisignaali kalibroitu äänigeneraattorin [BOSS TU-120] ja äänenpainetasomittarin

avulla [Mediator 2238] ja laskettu Praat-ohjelmalla). Osallistujia pyydettiin lukemaan teksti taustamelun keskeltä siten, että he itse kokivat tulevansa kuulluiksi.

### 4.3.3 Ääninäytteiden analysointi

Osatutkimuksessa II analysoitiin eri äänentuottotavoilla tuotettujen [a:]-vokaalien SPL ja F0 kalibroidusta akustisesta signaalista Intelligent Speech Analyser<sup>®</sup> (ISA) -puheanalyysiohjelmistolla, jonka on kehittänyt DI Raimo Toivonen (134).  $CQ_{EGG}$  laskettiin automaattisesti VoceVista Pro -äänianalyysiohjelmalla kolmen toiston vokaali-sarjan keskimmäisestä vokaalista, sen keskeltä, yhdestä periodista ja mahdollisimman vakaasta signaalin kohdasta. Erityisesti vuotoisissa ääninäytteissä esiintyi EGG-signaalissa huojuntaa ja hälyä. VoceVista-ohjelma laskee myös CQ-history-arvon, joka on  $CQ_{EGG}$ -keskiarvo laskettuna usealta ajanhetkeltä (10–50 ms:n välein näytteestä riippuen). Kun tasaisen kohdan CQ-arvoja verrattiin vastaavan äännön CQ-history-arvoihin, erosivat vuotoisen äännön arvot merkitsevästi toisistaan, kun taas normaalissa ja puristeisessä äännössä ei eroa ollut. Koska vuotoisen äännön keskeltä, vokaalinäytteen tasaisesta kohdasta kahdesta periodista laskettu CQ-keskiarvo arvioitiin luotettavammaksi kuin usealta ajan hetkeltä koko vokaalin matkalta mitattu  $CQ_{EGG}$ , valittiin tämä mittaustapa tämän tutkimuksen kaikkien CQ-arvojen laskemiseen.

Osatutkimuksessa III [a:]-vokaalien kalibroidusta akustisesta signaalista analysoitiin SPL ja F0 ISA<sup>®</sup>-ohjelmalla (134). EGG-signaalista laskettiin VoceVista Pro -äänianalyysiohjelmalla äänihuuliperiodin pituus (T) ja  $CQ_{EGG}$  (äänihuulikontaktiaika/T) 25 %:n kynnystasolla.  $CQ_{EGG}$  mitattiin kahdesta vierekkäisestä periodista jokaisen [a:]-vokaalin keskeltä, jolloin jokaisen osallistujan CQ:n keskiarvo muodostui kuuden yksittäisen periodin  $CQ_{EGG}$ -arvosta.  $CQ_{EGG}$ -keskiarvoa käytettiin laskettaessa osallistujille QOCR-arvo (äänentuoton taloudellisuutta kuvaava suhdeluku,  $[SPL \text{ (dB)}/CQ_{EGG}] \times [T/T_0]$ ; referenssiarvoksi  $T_0$  oli naispuhujilla asetettu 0,005 sekuntia). QOCR-arvot laskettiin tavallisella ja vakioidulla voimakkuudella tuotetuista ääninäytteistä.

Osatutkimuksessa IV käytettiin akustiseen ja EGG-analyysiin pitkää, äänenpainetasoltaan vakioitua [a:]-vokaalia sekä luennasta poimittua painollista sanaa [ka:k:o]. SPL laskettiin kalibroidusta äänisignaalista ISA<sup>®</sup>-ohjelmalla (134). F0 laskettiin automaattisesti EGG-signaalista. EGG-analyysiin käytettiin Octave-tietokoneohjelmaa (versio 3.2.4; © 2009), johon EGG:n muuttujien laskemiseen tarvittavan koodin oli kirjoittanut Dong Liu (2012). EGG-signaalista laskettiin CQ-arvo kolmella kynnystasolla (25 %, 35 % ja 50 %), derivaattamenetelmällä ( $CQ_{DEGG}$ ) ja hybridimenetelmällä  $CQ_{3,7}$ . Lisäksi amplitudiltaan normalisoidusta EGG-signaalista mitattiin sen ensimmäisen

derivaatan maksimi (MDEGG), jonka voidaan tulkita heijastavan glottiksen suurinta suhteellista sulkeutumisnopeutta. EGG-analyysissä äänihuuliperiodien keskiarvo oli pitkässä [a:]-vokaalissa keskimäärin 417 (HA=72) ja painollisen sanan [ka:k:o] pitkässä [a:]-vokaalissa 35 (HA= 11).



**Kuva 14.** Tutkimuksessa äänen tallennukseen käytetty laitteisto

Kuva: Elina Kankare 2013.



**Kuva 15.** Ääninäytteen tallennus kenttäolosuhteissa

Kuva: Elina Kankare 2013. Kuvassa esiintyvältä henkilöltä on saatu lupa kuvan julkaisuun.

#### 4.3.4 Kuunteluanalyysi

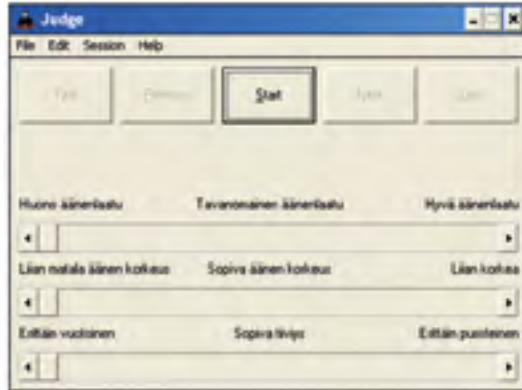
Kuunteluanalyysia käytettiin tutkimusmenetelmänä osatutkimuksissa II, III ja IV. Taulukossa 3 on esitetty kuuntelijamäärät, kuunneltava materiaali ja kuunneltavat äänen piirteet. Kuuntelijat olivat kokeneita puhetekniikan- ja äänenkäytönopettajia. Äänitallenne oli yksikanavainen (mono), mutta sen kuuntelu suoritettiin binauraalisesti (stereokuuloke Sony Stereo Headphones MDR-CD480) kannettavalla tietokoneella, jossa oli erillinen äänikortti (M-Audio, MobilePre USB). Ääninäytteiden arviointiin käytettiin Judge-ohjelmaa (135), ja arviointi suoritettiin bi-polaarisella visuaalis-analogisella asteikolla (VAS). Ääninäytteet kuunneltiin satunnaisessa järjestyksessä. Ohjelman avulla kuuntelijan on mahdollista toistaa sama ääninäyte niin monta kertaa kuin on tarve. Arvio kuunneltavasta äänen piirteestä annetaan asettamalla hiirellä kursori janalla sopivaksi katsotulle kohdalle. Arvioinnin tulokset tallentuvat automaattisesti numeeriseksi tiedostoksi skaalalla 0–1000. Osatutkimuksessa III kuunneltiin kolmea äänen piirrettä ja osatutkimuksissa II ja IV yhtä äänen piirrettä. Janan ääripäät olivat äänenlaatu (osatutkimus III): 'erittäin huono äänen laatu' (= 0), 'erittäin hyvä äänen laatu' (= 1000), puhekorkeuden sopivuus puhujalle (osatutkimus III): 'liian matala' (= 0), 'liian korkea' (= 1000) ja tiiviiden aste (osatutkimukset II, III, IV): 'erittäin vuotoinen' (= 0), 'erittäin puristeinen' (= 1000). Janan keskelle oli sanallisesti merkitty 'tavanomainen äänen laatu' ja 'sopiva korkeus' tai 'sopiva äänen tiiviys' (kuva 16). Osatutkimuksessa II eri äänenlaatuja simuloivat [a:]-vokaalinäytteet kuunneltiin yhdellä kertaa, osatutkimuksessa III ääninäytteet kuunneltiin kahdessa osassa, tavallisella voimakkuudella tuotetut ja voimakkaammalla vakiovoimakkuudella tuotetut [a:]-vokaalinäytteet erikseen, ja osatutkimuksessa IV näytteet kuunneltiin kahdessa osassa (pitkä [a]-vokaali, painollinen sana).

Ennen varsinaisen kuunteluanalyysin aloittamista puhetekniikan- ja äänenkäytönopettajat kuuntelivat tutkijan valitsemat kalibrointinäytteet, jotka edustivat kussakin kuunteluanalyysissa aineiston äänenpiirteiden ääripäitä. Kalibroinnin avulla kuuntelijat pystyivät hahmottamaan kuunneltavan aineiston variaation ja sen avulla pyrittiin saavuttamaan tasavertainen arvio kuunneltavan materiaalin ensimmäisestä näytteestä viimeiseen.

#### 4.3.5 Foniatriinen tutkimus

Foniatriksen tutkimuksen 119 lastentarhanopettajalle teki kokenut foniatrian erikoislääkäri videolaryngoskoopilla (kuva 17). Laitteistona oli kannettava videolaryngoskooppi (rpScene-Mobile, Rehder/Partner GmbH, Germany), jossa oli pieni 1/3":n





**Kuva 16.** Ääninäytteet kuunneltiin binauraalisesti stereokuulokkeilla (Sony Stereo Headphones MDR-CD480).

Kuuntelussa käytettiin erityisesti kuunteluun suunniteltua Judge-tietokoneohjelmaa (135). Kuuntelijat arvioivat äänen laatua, puhekorkeuden sopivuutta ja tiiviyyden astetta osatutkimuksessa III. Pelkkää tiiviyyden astetta arvioitiin osatutkimuksissa II ja IV.

Kuva: Elina Kankare 2013. Kuvassa esiintyvältä henkilöltä on saatu lupa kuvan julkaisuun.



**Kuva 17.** Foniatriin suorittama laryngoskopia tutkimus toteutettiin kannettavalla laitteistolla päiväkodeissa.

Kuva: Elina Kankare 2009. Kuvassa esiintyviltä henkilöiltä on saatu lupa kuvan julkaisuun.

kamera ja 28–35 mm:n zoomi (Model rpCam250, Rehder/Partner, Germany) yhdistettynä 70°:n kurkunpään tähystimeen (Model 4450,47, Richard Wolf, Germany) ja kylmään valonlähteeseen (Model rp 150, Rehder/Partner, Germany). Laryngoskopian videonauhoitus tallennettiin digitaaliseen muotoon kannettavalle tietokoneelle (IBM-Thinkpad, rpScene-Software-tietokoneohjelmilla). Tutkimuksen aikana osallistujat nojasivat istuessaan eteenpäin ja tutkija piti kiinni tutkittavan kielestä sideharsoitoksen avulla. Tutkija kehotti tutkittavia hengittämään rauhallisesti nenän kautta ja ääntämään [i:]-vokaalia. Foniatri arvioi näkemästään seuraavia asioita: rustoalueen turvotus, limakalvopunoituksen sijainti ja määrä, liman laatu ja sijainti äänihuulissa, kurkunpään ja äänihuulien muoto äänihuuliliikkeen aikana sekä äänihuulten liikkeen symmetria. Myös muut poikkeamat ja epänormaalit löydökset kirjattiin. Foniatri teki kirjallisen arvion tutkimushetken ja videotarkistuksen perusteella. Tutkimuksessa I raportoitiin havaitut orgaaniset löydökset. Tutkimusta IV varten foniatri jakoi tutkittavat löydösten perusteella kolmeen ryhmään 1) terveet, 2) melkein terveet ja 3) sairaat. Melkein terveiksi luokiteltiin henkilöt, joilla havaittiin lievää punotusta, hyvin lievää vajausta äänihuulten liikkeessä ja/tai lievää tai kohtalaista turvotusta kannurustojen alueella. Sairaiden ryhmään luokiteltiin henkilöt, joilla tutkimuksessa havaittiin orgaaninen muutos äänihuulissa.

#### 4.3.6 Tilastollinen analyysi

Tämän tutkimuksen tilastollinen analyysi tehtiin PASW Statistics 18.0 -tietokoneohjelmalla (Windows/MacOS, SPSS Inc., Chicago, Illinois). Osatutkimuksen I kyselytutkimuksen vastaukset e-lomakkeelta ja osatutkimusten II, III ja IV perkeptuaaliset arviot oli mahdollista siirtää automaattisesti PASW-ohjelman havaintomatriisiin. Taulukossa 2 on esitetty tässä tutkimussarjassa käytetyt tilastolliset menetelmät.

Kuvailevina tilastollisina testeinä käytettiin tavanomaisia sijaintilukuja eli otoksen keskiarvoa ja moodia, sekä hajontalukuja eli otoksen keskihajontaa ja vaihteluväliä. Vertailevina testeinä tässä tutkimussarjassa käytettiin nonparametrista Mann-Whitney-U-testiä ja toistettujen mittausten varianssianalyysia (yksisuuntainen analysis of variance, ANOVA). Mann-Whitney-U-testi on t-testi, joka soveltuu käytettäväksi silloin, kun tarkasteltavien muuttujien jakauma on vino tai kun otoskoko on pieni. Mann-Whitney-U-testiä käytettiin osatutkimuksessa III vertailtaessa kolmea äänen väsymisoireiden perusteella muodostettua ryhmää keskenään. Yksisuuntaista ANOVA-testiä käytettiin osatutkimuksessa II vertailtaessa eri ääntötavoilla ja mittaustasoilla saatuja tuloksia sekä IV tutkimuksessa vertailtaessa eri ääninäytteiden tuloksia keskenään. Osatutkimuksessa II toistettujen mittausten varianssianalyysin luotettavuutta parannettiin

käyttämällä Bonferroni-korjausta, kun verrattiin  $CQ_{EGG}$ -tuloksia eri äänentuottota-voilla ja mittaustasoilla. Muuttujien välistä lineaarista suhdetta arvioitiin Spearmanin rho- tai Pearsonin korrelaatiokerroimilla. Korrelaatiokerroin voi saada arvoja nollan ja -1:n tai +1:n välillä. Suuri ( $\geq 0,68$ ) negatiivinen tai positiivinen korrelaatiokerroin kuvaa merkittävää lineaarista suhdetta parametrien välillä. Nonparametrinen Spearmanin rho -menetelmä käytettiin, mikäli jokin vertailtavista muuttujista ei ollut normaalisti jakautunut tai otoskoko oli pieni. Kuunteluanalyysin luotettavuutta, reliabiliteettia, arvioitiin Cronbachin alfa -kertoimella. Reliabiliteettikerroin voi saada arvoja 0–1, ja kertoimen suuret arvot ( $\geq 0,8$ ) kuvaavat korkeaa reliabiliteettia. Osatutkimuksessa II pyrittiin usean muuttujan lineaarisella regressioanalyysillä selvittämään eri muuttujien (SPL, F0 ja fonaatiotapa) vaikutusta EGG-signaalista laskettuihin  $CQ_{EGG}$ -arvoihin. Regressioanalyysissä selitystasetta kuvaava  $R_a^2$  voi saada arvoja väliltä 0–1.

**Taulukko 2.** Eri osatutkimuksissa käytetty tutkimusmateriaali ja -menetelmät.

Tutkimusmateriaali ja -menetelmät	osa-tutkimus
<b>Itsearviointimateriaalit:</b> Äänikysely opetushenkilöstölle e-lomakkeella (liite 5) Taustatiedot Ääniergonomia, äänelliset voimavarat, ääneen vaikuttavat taustatiedot, sairaudet ja lääkitys Äänioireiden yleisyys ja vaikeusaste (pisteet 0–120) Voice Activity and Participation Profile (VAPP), 10 cm VAS-janalla (liite 6) VAPP-kokonaispistemäärä (pisteet 0–280)	I, III, IV I I, III IV
<b>Äänimateriaali:</b> [a:]-vokaali, itselle sopiva voimakkuus ja korkeus [a:]-vokaali, voimakkuus 90 dB <sub>6cm</sub> , itselle sopiva korkeus Luenta, taustamelu korviin kuulokkeilla, itsellä tuntemus, että tulee kuulluksi Spontaani kerronta taustamelu korvissa [a:]-vokaali vuotoisesti, normaalisti, puristeisesti, keskusteluaänen voimakkuus ja korkeus	III III IV - II
<b>Kuuntelu-arvio:</b> Asiantuntija-arvio äänen piirteistä 1000 yksikön VAS-janalla Judge-ohjelmalla Äänen laatu (0 = erittäin huono – tavanomainen – 1000 = erittäin hyvä) Puhekorkeuden sopivuus (0 = liian matala – sopiva – 1000 = liian korkea) Tiiviyden aste (0 = erittäin vuotoinen – sopiva tiiviys – 1000 = erittäin puristeinen)	III III II, III, IV
<b>Äänianalyysit:</b> Akustiset analyysit: SPL F0 EGG-analyysit: Periodin pituus (T; 1/T=F0) CQ <sub>EGG</sub> VoceVista -ohjelmalla: 25% mittaustaso 35% mittaustaso 50% mittaustaso CQ <sub>EGG</sub> Octave -ohjelmistolla: 25%, 35%, 50%, DEGG, hybridi EGG3:7 Suhteellinen sulkeutumisnopeus: DEGG-maksimi arvo = MDEGG	II, III, IV II, III IV III II, III II II IV IV
<b>Foniatrinen lääkärintarkastus:</b> Videolaryngoskopia ja haastattelu	I, III, IV
<b>Tilastollinen analyysi:</b> Keskiarvo Moodi Hajonta Vaihteluväli Yksisuuntainen ANOVA Mann-Whitney U -testi Pearsonin korrelaatiokerroin Spearman's rho Lineaarinen regressioanalyysi Cronbachin alfa	I, II, III, IV I, III, IV I, II, III, IV I, II, III, IV II III IV I, II, III, IV II II, III, IV

**Taulukko 3.** Kuuntelijamäärät, kuunneltu äänimateriaali, kuunnellut näytemäärät sekä arvioitujen äänen piirteet

Osatutkimus	II	III	IV
<b>Kuuntelijat</b>	4	8	5
<b>Kuunneltava materiaali</b>	– [a:] tuotettu itselle sopivalla voimakkuudella ja korkeudella – [a:] simuloiden laatuja vuotoinen, normaali, puristeinen	– [a:] tuotettu itselle sopivalla voimakkuudella ja korkeudella – [a:] 90 dB <sub>6cm</sub> voimakkuudella, itselle sopivalta korkeudelta	– [a:] 90 dB <sub>6cm</sub> voimakkuudella, itselle sopivalta korkeudelta – luennasta pilkottu painollinen sana [ka:k:o]
<b>Kuunneltava näytemäärä</b>	90	96 + 96 = 192	93 + 93 = 186
<b>Arvioitujen kuunneltavien piirteet</b>	– puristeisuuden aste	– äänen laatu – korkeuden sopivuus – puristeisuuden aste	– puristeisuuden aste

**Taulukko 4.** Osallistujien jako kolmeen ryhmään foniatriin äänihuulitutkimuksen perusteella (1. terveet, 2. melkein terveet, 3. patologia äänihuulissa). Henkilölukumäärä ja suluissa prosentit on ilmoitettu osatutkimusten osallistujamäärän mukaan (N)

	Terve (%)	Melkein terve (%)	Patologia äänihuulissa (%)
<b>Osatutkimus I (N = 119)</b>	78 (65)	28 (24)	13 (11)
<b>Osatutkimus III (N = 96)</b>	58 (60)	27 (28)	11 (12)
<b>Osatutkimus IV (N = 93)</b>	55 (59)	28 (30)	10 (11)

# 5 TULOKSET

## 5.1 Osatutkimus I

Ensimmäisessä julkaisussa raportoitiin 119 lastentarhanopettajan äänikyselyn ja foniatriksen tutkimuksen tuloksia. Lastentarhanopettajat arvioivat e-kyselyssä äänen väsymysoireita, äänellisiä voimavarojaan sekä erilaisten ergonomisten tekijöiden heidän äänelleen aiheuttamaa haittaa.

Äänioireiden yleisyys- ja vaikeusastearvioiden oirekohtaiset tulokset on esitetty julkaisun I taulukossa 2 (Table 2) ja yhteenvetona taulukossa 3 (Table 3). Vastaus annettiin tässä osiossa yhdeksään oireiden yleisyyttä ja vaikeusastetta koskevaan kysymykseen asteikolla 0–6 (kolme kysymystä molemmista painottaen asteikolla 0–8) siten, että koko osion mahdollinen minimipistemäärä oli 0 ja maksimipistemäärä 120. Äänioireita ja oireiden vaikeusastetta koskevien osioiden yhteenlaskettu keskiarvopistemäärä tässä tutkimuksessa oli 51 pistettä (VV 1–120, HA 26, moodi 42). Vastanneista 47 % raportoi kärsivänsä ainakin viidestä eri äänen väsymysoireesta kuukausittain. Yli 20 % vastanneista ilmoitti kokevansa ainakin kaksi äänen väsymysoiretta viikoittain, mitä voidaan pitää toiminnallisen äänihäiriön rajana (8). Vain 6 % vastanneista ei kokenut lainkaan äänen väsymysoireita.

Äänellisiä voimavaroja kartoitettiin kysymällä omaa arviota äänen laadusta, kuuluvuudesta, kestävyydestä ja palautumisesta. Osallistujista 78 % arvioi äänenlaatunsa erittäin hyväksi (3 %), hyväksi (31 %) tai melko hyväksi (44 %). Sama prosenttimäärä vastaajista arvioi myös oman äänensä kuuluvuuden erittäin hyväksi (16 %), hyväksi (34 %) tai melko hyväksi (28 %). Seitsemänkymmentäkahdeksan prosenttia arvioi myös kestävänsä erittäin hyvin (2 %), hyvin (27 %) tai melko hyvin (49 %) ammatin äänelle asettamat vaatimukset. Kahdeksankymmentäkuusi prosenttia arvioi palautuvansa äänen rasituksesta seuraavaan päivään mennessä erittäin hyvin (7 %), hyvin (35 %) tai melko hyvin (44 %). Jonkinlaista äänikoulutusta työuransa tai opiskelunsa aikana oli saanut 62 % vastanneista. Äänen koulutuksella ja arvioiduilla äänen oireilla ei ollut tilastollista yhteyttä. Myöskään osallistujien muiden taustatietojen (ikä, työkokemus, harrastukset) ja arvioitujen äänenvoimavarojen ja oireiden tai laryngoskopialöydösten väliltä ei löytynyt yhteyttä.

Yhteenvedo siitä, millaista haittaa lastentarhanopettajat arvioivat ergonomisten tekijöiden aiheuttavan äänelle, on nähtävänä julkaisun I taulukossa 4 (Table 4). Vastausvaihtoehdot kyselyn ergonomiaosiossa olivat välillä 1–5, ja seitsemästä osiosta oli mahdollisuus saada minimissään 35 pistettä ja maksimissaan 175 pistettä (liite 1, sivu 83–84). Ergonomiaosion yhteenlaskettu keskiarvopistemäärä tässä tutkimuksessa oli 100 (VV 53–168, HA 23, moodi 92). Melu koettiin lastentarhanopettajien arvioissa selvästi eniten ääntä haittaavaksi tekijäksi (vastausten KA 4,0, moodi 5). Taustamelusta lasten aiheuttaman taustamelun arvioitiin haittaavan ääntä eniten (KA 3,9, moodi 4). Työhön kuuluvassa äänenkäytössä arvioitiin suullisen opetuksen ja ohjauksen määrän, voimistetun äänenkäytön määrän, kokonaispuheajan sekä ulkona tapahtuvan ohjauksen haittaavan ääntä keskimäärin kohtalaisesti tai paljon (KA 3,4–3,6, moodi 4). Huoneilman pölyisyyden ja ilman epäpuhtauden arvioitiin haittaavan ääntä keskimäärin kohtalaisesti tai paljon (KA 3,3, moodi 4). Päiväkotiryhmään liittyvistä tekijöistä suuri ryhmäkoko, ryhmän rauhattomuus ja ryhmään kuuluvat erityishuomiota vaativat lapset arvioitiin keskimäärin kohtalaisesti tai paljon ääntä haittaaviksi (KA 3,4–3,6, moodi 4). Psykososiaalisista ergonomiatekijöistä nousivat äänentuottoa eniten haittaaviksi kiire ja työn henkinen kuormittavuus (KA 2,9, moodi 3). Tuki- ja liikuntaelimiin liittyvien työergonomian puutteiden (epätarkoituksenmukaiset kalusteet, nostelu, kumartelu, pitkäkestoinen staattinen jännitys) arvioitiin haittaavan ääntä vain vähän. Foniatriin videolaryngoskopian avulla tekemän arvion mukaan 11 %:lla osatutkimuksen I osallistujista oli jokin orgaaninen löydös äänihuulissa. Foniatriin tekemän diagnoosinnin prosentuaaliset tulokset laskettuna osatutkimuksittain eri otantamääristä on esitetty taulukossa 4.

Kyselylomakkeella saadut osallistujien taustatiedot (ikä, työkokemus, harrastukset, äänenkäyttökoulutus ym.) eivät korreloineet foniatriin tutkimustulosten eivätkä ääneen negatiivisesti vaikuttavia työolosuhteita koskevien arvioiden kanssa. Elintapoihin ja terveyteen liittyen tässä materiaalissa ilmeni ainoa positiivinen heikko merkitsevä korrelaatio tupakoinnin ja foniatriin toteaman äänihuulten orgaanisen muutoksen kanssa (Spearman's rho 0,29,  $p = 0,01$ ). Kahdella tupakoivalla ja kolmella tupakoinnin lopettaneella henkilöllä oli orgaaninen löydös äänihuulissaan. Äänen itsearvion ja terveydellisistä tekijöistä ”todetun kuulovian” sekä äänen itsearvion ja ”usein koetun närästyksen” välillä oli heikko positiivinen, merkitsevä korrelaatio (itsearvio/kuulovika: Spearman's rho 0,39,  $p = 0,01$ ), (itsearvio/usein koettu närästys: Spearman's rho 0,29,  $p = 0,01$ ). Äänen väsymisoireiden kokonaispistemäärä korreloi kohtalaisesti ääneen negatiivisesti vaikuttavien ergonomisten tekijöiden kokonaispistemäärän kanssa (Spearman's rho = 0,53,  $p = 0,01$ ). Kyselyn ergonomiaosuuden äänessäoloajan kokonaispistemäärä ja äänen väsymisoireiden kokonaispisteet korreloivat myös kohtalaisesti (rho = 0,56,  $p = 0,01$ ). Lisäksi ergonomiaosuuden äänessäoloajan kokonaispistemäärä

korreloi äänioireista tulehdukseen liittymättömän käheytyymisen kanssa kohtalaisesti ( $\rho = 0,53$ ,  $p = 0,01$ ). Äänen väsymisoireiden kokonaissumma korreloi negatiivisesti äänen rasituksesta palautumisen kanssa ( $\rho = -0,61$ ,  $p = 0,01$ ), mikä onkin ilmeistä, eli mitä vähemmän on oireita, sitä paremmin äänen rasituksesta toivutaan.

## 5.2 Osatutkimus II

Toisessa julkaisussa raportoitiin elektroglossografian CQ-tulokset 30 naisen kolmella eri äänentuottotavalla tuottamasta [a:]-vokaalista.  $CQ_{EGG}$  mitattiin kolmella kynnystasolla, ja neljä asiantuntijaa arvioi yhteensä 90 ääninäytteestä tiiviyyden asteen.

Vokaaliäänännöstä laskettujen  $CQ_{EGG}$ -arvojen keskiarvot ja hajonnat eri äänentuottotavoissa on esitetty julkaisun II taulukossa I (Table I). Eri kynnystasoilla (25 %, 35 % ja 50 %) mitatut  $CQ_{EGG}$ -arvot erosivat toisistaan merkitsevästi ( $p < 0,01$ ).  $CQ_{EGG}$ -arvot olivat odotetusti pienemmät mitattaessa korkeimmilla kynnystasoilla. Kaikkien kolmen ääntötavan  $CQ_{EGG}$ -arvot kaikilla kynnystasoilla erosivat toisistaan merkitsevästi ( $p < 0,01$ ). Myös SPL erosi merkitsevästi eri äänentuottotapojen välillä ( $p < 0,001$ ). F0 erosi merkitsevästi puristeisen ja vuotoisen äännön välillä ( $p < 0,001$ ). Vuotoinen, normaali ja puristeinen ääntö erosivat merkitsevästi toisistaan asiantuntijakuuntelijoiden arvioissa ääninäytteiden tiiviyyden asteesta ( $p < 0,001$ ). Perkeptuaalisen arvioinnin reliabiliteetti oli erittäin voimakas (Cronbachin alfa 0,97). CQ-arvojen, ääntötapojen ja akustisten muuttujien ja kuuntelun korrelaatiomatriisi on esitetty julkaisun II taulukossa II (Table II).  $CQ_{EGG}$ :n ja SPL:n välinen korrelaatio kaikilla mittaustasoilla oli kohtalainen ja  $CQ_{EGG}$ :n ja F0:n välinen korrelaatio oli heikko; molemmat korrelaatiot olivat positiivisia. Kuuntelu ja  $CQ_{EGG}$  korreloivat positiivisesti kaikilla kynnystasoilla. Korrelaatio oli vahvin 25 %:n ja 35 %:n mittaustasoilla. Linearisella regressioanalyysillä analysoitiin materiaalia siten, että  $CQ_{EGG}$  oli selitettävänä muuttujana ja SPL, F0 ja eri ääntötapojen kuunteluanalyysin tulos selittävinä muuttujina. Linearisessa regressioanalyysissä kynnystasolla 25 % mitattuja  $CQ_{EGG}$ -arvoja selitti mallissa ainoana merkitsevä muuttujana ääntötapa ( $p < 0,01$ ); selitysasteena oli 48 % ( $F_{3,86} = 26,5$ ,  $p < 0,001$ ,  $R^2_a = 0,48$ ).  $CQ_{35\%}$ - ja  $CQ_{50\%}$ -arvoilla regressioanalyysin mallissa merkitseväksi muuttujaksi nousi myös F0 ( $p < 0,05$ ), mutta selitysaste nousi  $CQ_{35\%}$ -arvoilla 5 % ( $F_{3,85} = 32,4$ ,  $p < 0,001$ ,  $R^2_a = 0,53$ ), ja  $CQ_{50\%}$ -arvoilla selitysaste laski ( $F_{3,86} = 25,3$ ,  $p < 0,001$ ,  $R^2_a = 0,47$ ). Tässä regressioanalyysin mallissa SPL ei noussut merkitseväksi selittäväksi muuttujaksi millään CQ:n kynnystasolla tarkasteltuna.



### 5.3 Osatutkimus III

Osatutkimuksessa III käytettiin Quasi-Output-Cost-Ratio (QOCR) -muuttujaa lastentarhanopettajien (N=96) äänen taloudellisuuden arviointiin. Äänimateriaalina oli kahdella eri voimakkuudella tuotettu [a]-vokaali. Materiaalista analysoitiin SPL, periodipituus ja  $CQ_{EGG}$ , ja niistä laskettiin QOCR. Kahdeksan asiantuntijaa arvioi ääni- näytteet äänen laadun, korkeuden sopivuuden ja tiiviyyden asteen perusteella.

Osallistujat jaettiin kolmeen ryhmään itsearvioitujen äänen väsymisoireiden perusteella. Ensimmäisen ryhmän (ryhmä 1, N = 32, 33 %) jäsenillä oli vain vähän tai ei lainkaan äänen väsymisoireita, toisella ryhmällä (ryhmä 2, N = 48, 50 %) oli kaksi tai useampi äänen väsymisoire kuukausittain, ja kolmas ryhmä (ryhmä 3, N = 16, 17 %) raportoi kaksi tai useampia äänen väsymisoireita viikoittain. Julkaisun III taulukossa II (Table II) on esitetty ääni- ja kuunteluanalyysin tulokset. EGG- ja akustiset muuttujat erosivat odotetusti toisistaan eri voimakkuuksilla tuotetuissa vokaaliäänissä ( $p < 0,01$ ). QOCR-arvot olivat pienempiä voimakkaammin tuotetussa äännössä; pienempi muuttujan arvo viittaa huonompaan äänentuoton taloudellisuuteen. QOCR korreloi kohtalaisesti  $F0$ :n ja  $CQ_{EGG}$ :n kanssa molemmilla äänen voimakkuuksilla tuotetuissa näytteissä. QOCR ei korreloinut tässä tutkimuksessa SPL:n kanssa. Akustisten, EGG-muuttujien, perkeptuaalisen arvion ja äänen väsymisoireiden itsearvioinnin välinen korrelaatiomatriisi on esitetty julkaisun III taulukossa III (Table III). Kahdeksan hengen kuuntelutulosten reliabiliteetti kuunteluissa oli voimakas (Cronbachin alfa 0,84–0,92). Kuunteluanalyysi korkeuden sopivuudesta korreloi positiivisesti ja voimakkaasti  $F0$ :n kanssa (Spearmanin rho  $> 0,8$ ,  $p = 0,01$ ), ja negatiivisesti QOCR:n kanssa; korrelaatio oli kohtalainen (Spearmanin rho tavallinen voimakkuus  $-0,49$  ja  $90 \text{ dB}_{6\text{cm}}$   $-0,57$ ,  $p = 0,01$ ). Itsearvioitujen äänen väsymisoireet eivät korreloineet kuunteluanalyysitulosten eivätkä akustisesta ja EGG-analyysistä saatujen tulosten kanssa. Vähän, kohtalaisesti tai paljon äänen väsymisoireita raportoineet eivät eronneet merkittävästi toisistaan kuunteluanalyysin, akustisen analyysin tai EGG-analyysin perusteella. QOCR-arvot olivat pienemmät silloin, kun ääni arvioitiin puristeisemmaksi tai liian korkealta tuotetuksi.

Jotta pystyttiin vertaamaan koko ryhmän QOCR-tuloksia preliminääritutkimuksen (24) tuloksiin, piti  $SPL_{6\text{cm}}$  tulokset muuntaa muuntokaavalla vastaamaan mikrofonetäisyyttä  $SPL_{40\text{cm}}$  (muuntokaava:  $\text{Level } d2 = \text{level } d1 - 20 \times \text{Log}_{10} (d2/d1)$ ) (14). Muuntokaavalla  $90 \text{ dB}_{6\text{cm}}$  vastaa noin arvoa  $73,5 \text{ dB}_{40\text{cm}}$ , ja  $80 \text{ dB}_{6\text{cm}}$  vastaa noin arvoa  $64 \text{ dB}_{40\text{cm}}$ . Tämän mukaan muunnetut QOCR-arvot olivat tavallisella voimakkuudella 124 ja vakioidulla voimakkuudella 116. Näiden tulosten mukaan lastentarhanopettajat sijoittuivat äänentuoton taloudellisuudessa ääntään harjoittamattomien opettajien (QOCR = 110) ja ääntään harjoittaneiden opettajien (QOCR = 173) väliin.

SPL oli preliminääritutkimuksessa 4–30 dB korkeampi kuin tässä tutkimuksessa (samalla mikrofonietäisyydellä verrattaessa).

## 5.4 Osatutkimus IV

Neljäs julkaisu käsitteli  $CQ_{EGG}$ -parametrin ja äänihuulten välisen kontaktin kasvun maksiminopeutta kuvaavan muuttujan MDEGG käytettävyyttä suhteessa äänen kuu- loarvioon, äänen hyvinvointiin sekä foniatriin laryngoskopiatutkimuksen tuloksiin lastentarhanopettajilla ( $N = 93$ ). EGG- ja akustiseen analyysiin valittiin SPL-vakioitu pitkä [a:]-vokaali sekä luennasta lyhyin analysoitava yksikkö, painollisen sanan pitkä [a:]-vokaali.  $CQ_{EGG}$  laskettiin kolmella kynnystasolla, EGG-signaalin derivaatasta ( $CQ_{DEGG}$ ) ja hybridimenetelmällä ( $CQ_{3,7}$ ), ja ääniraon maksimisulkeutumisnopeutta heijastava kontaktin kasvun maksiminopeus mitattiin amplitudinormalisoidun EGG-signaalin ensimmäisen derivaatan maksimista (MDEGG).  $F_0$  laskettiin automaattisesti EGG-käyrästä ja SPL kalibroidusta akustisesta signaalista. Lastentarhanopettajien äänen hyvinvointia ja ääneen liittyvien ongelmien vaikutusta elämänlaatuun tarkasteltiin VAPP-mittarilla.

Molempien ääninäytteiden EGG- ja akustisten muuttujien ja kuunteluanalyysin tulosten keskiarvot ja hajonnat on esitetty julkaisun IV taulukossa 1 (Table 1).  $CQ$  ja MDEGG-tulokset sekä kuunteluanalyysin tulokset olivat keskimäärin suuremmat pitkissä [a:]-vokaalinäytteissä kuin yhden sanan näytteissä, mutta tulosten ero ei ollut merkitsevä. Äänen itsearviointin kokonaiskeskiarvo (VAPP Total Score) oli 35 cm (SD 29 cm, vaihteluväli 0–133 cm). Foniatriin laryngoskopian avulla tekemän luokituksen mukaan 55 osallistujaa (59 %) oli terveitä, 28 (30 %) melkein terveitä ja 10:llä (11 %) oli selkeä orgaaninen löydös äänihuulissa (kyhmyt x 6, kontaktigranulooma x 1, presbyphonia/kaareutuneet äänihuulet x 3).

Muuttujien (EGG, akustiset, kuunteluanalyysi, itsearviointi, laryngoskopia) väliset korrelaatiotaulukot molempien ääninäytteiden osalta on esitetty julkaisun IV taulukossa 2 (Table 2). Asiantuntijakuuntelijoiden arvioima äänen tiivyyden aste korreloi positiivisesti ja merkitsevästi pitkän [a]-vokaalin muuttujien  $CQ_{DEGG}$ ,  $CQ_{35\%}$ ,  $CQ_{50\%}$ , ja  $CQ_{3,7}$  kanssa; korrelaation aste oli heikko. Sanan sisäisen [a]-vokaalin EGG-muuttujien ja kuuntelun välinen korrelaatio ei ollut merkitsevä. Kaikkien  $CQ_{EGG}$ -muuttujien ja  $F_0$ :n välillä oli heikko negatiivinen korrelaatio. Pitkän [a]-vokaalin kuunteluanalyysin tulokset korreloivat kohtalaisesti MDEGG:n kanssa. Kummallakaan näytteellä MDEGG ei korreloinut  $F_0$ :n kanssa, mutta sillä oli heikko positiivinen korrelaatio SPL:n kanssa painollisen sanan sisällä olevassa [a:]-vokaalissa. VAPP:n yhteispisteet ja foniatriin suorittaman kurkunpään tähystyksen tulokset eivät korreloineet akustisten, EGG- tai kuunteluanalyysin tulosten kanssa.

## 6 TULOSTEN POHDINTAA

### 6.1 Lastentarhanopettajien äänen itsearvion, ääntä haittaavien ergonomisten tekijöiden sekä kliinis-instrumentaalisen tutkimuksen tulosten pohdintaa (osatutkimus I)

Lastentarhanopettajilla oli tässä tutkimuksessa runsaasti itse arvioituja äänenväsymisoireita, mutta aikaisemmissa tutkimuksissa niitä on raportoitu vielä enemmän. Kaksikymmentäyksi prosenttia tämän tutkimuksen osallistujista ilmoitti kärsivänsä viikoittain kahdesta tai useammasta äänen väsymisoireesta, kun aikaisemmissa tutkimuksissa saman määrän äänioireita on raportoitu 37 % lastentarhanopettajista (11) ja 32–65 % peruskoulunopettajista (130, 136). Yksi syy vähäisempiin oireisiin saattaa olla se, että tämän tutkimuksen osallistujista 62 % ilmoitti saaneensa äänenkäytön koulutusta, kun aikaisemmissa tutkimuksissa äänenkäytön koulutusta saaneiden määrä on ollut pienempi, esimerkiksi peruskoulunopettajilla vain 37 % (128) ja opettajiksi opiskelevilla vain 8 % (137). Vähäisempien äänioireiden toinen mahdollinen syy voi liittyä parempaan äänirasituksesta palautumiseen. Tässä tutkimuksessa osallistujista 86 % ilmoitti palautuvansa seuraavaan päivään mennessä äänen rasituksesta, kun taas aikaisemmassa lastentarhanopettajilla tehdyssä tutkimuksessa tämä määrä oli 10 % pienempi (8). Peruskoulunopettajille tehdyssä äänen rasituskokeessa 90 % opettajista raportoi palautuneensa äänen rasituksesta täydellisesti jo alle vuorokaudessa (138). Opettajien ääni väsy työssä, mutta mikäli ääni palautuu seuraavaan päivään mennessä, voidaan väsyminen tulkita normaaliksi työpäivän jälkeiseksi väsymykseksi. Ne opettajat, joiden äänen palautuminen jää vaillinaiseksi ja joilla palautuminen esimerkiksi huononee loppuviikkoa kohden tai jotka kärsivät viikoittain äänen ylikuormittumisesta, tarvitsisivat äänenkäytön asiantuntijoiden erityishuomiota. Osa ylikuormittumisesta kärsivistä ja huonosti äänirasituksesta palautuvista tarvitsisi mitä ilmeisimmin ääniterapiaa, mutta osalle voisi riittää äänenkäyttöön ja ääniergonomiaan liittyvä ohjaus (pahempien äänihäiriöiden ehkäisemiseksi).

Kyselyn ääniergonomia-osuudessa oli yhteensä 35 kysymystä seitsemässä kategoriasa. Vastausten perusteella tutkimuksen osallistujat näyttivät olevan hyvin tietoisia am-

mattiinsa liittyvistä äänenkäytön riskitekijöistä, kuten runsaasta äänenkäytöstä ja korkeasta melutasosta. Kaikista kysytyistä tekijöistä lastentarhanopettajat arvioivat melun haittaavan ääntä eniten. Vastaavanlaisia tuloksia on raportoitu opettajien työstä aikaisemminkin (mm. 2, 130). Tässä tutkimuksessa puhtaasti meluun liittyviä kysymyksiä oli yhteensä kuusi. Työtilan kuormitustekijöistä melun koettiin olevan äänelle haitallisinta. Taustamelutekijöistä lasten aiheuttama taustamelu arvioitiin selkeästi haitallisimmaksi. Kyselyssä pyydettiin arvioimaan myös lapsiryhmän vaikutuksia ääneen. Tämän kategorian kysymyksistä suuri ryhmäkoko, ryhmän levottomuus ja ryhmään kuuluvat erityislapset voivat myös olla tekijöitä, jotka nostavat työpaikan melutasoa. Vastausten mukaan juuri kyseisten seikkojen arvioitiin haittaavan äänenkäyttöä melko paljon.

Melu aiheuttaa äänenkäytön haitan lisäksi myös psyykkisen stressin lisääntymistä ja yleisen terveydentilan heikkenemistä (139). Melusta kärsivät päiväkodissa aikuisten lisäksi myös lapset. Melun on todettu vaikuttavan lasten kognitiiviseen prosessointiin ja sitä kautta kielen ja lukemisen oppimiseen (140). Melutason alentaminen päiväkodeissa on tarpeen, mutta meluntorjunnan kokonaisvaltainen toteuttaminen onnistuu vain monien tahojen yhteistyöllä. Tanskassa on onnistuneesti toteutettu ammattijärjestön alulle panema meluntorjuntaprojekti, jossa oli mukana työntekijöiden, työnantajien, poliitikkojen ja ammattijärjestön edustajia (<http://www.akustiknet.dk/publikationer/noisedaycare.pdf>). Tanskalaismallin mukaan meluntorjunnan ensimmäisessä vaiheessa päiväkotien akustiset ja muut rakenteisiin liittyvät tekijät tulisi tutkia esimerkiksi ääniergonomisella tarkastuksella (ks. Sala ym. 2009 [141]), Ääniergonomian kartoitusopas). Meluntorjunnan toinen vaihe vaatisi poliittista päätöksentekoa, sillä päiväkotiryhmien koko on asetuksella säädelty niin, että lapsia/aikuinen-suhdeluku on liian suuri (Asetus lasten päivähoidosta, <http://www.fnlex.fi/fi/laki/smur/1973/19730239>). Meluntorjunnan kolmas vaihe on myös haastava. Nykypäivän lapset ovat äänekkäitä, ja heitä kannustetaan omaehtoiseen toimintaan ja mielipiteensä ilmaisemiseen. Lastentarhanopettajien ammattijärjestö ja yliopisto koulutustahona ovat haasteen edessä siinä, miten tulevia ja nykyisiä lastentarhanopettajia koulutetaan ja ohjeistetaan vähentämään lasten melua päiväkodeissa tehokkaasti, mutta opetus- ja hoiva-alan käytänteisiin sopivasti. Tanskalaismallin mukainen meluntorjuntaohjelma olisi hyvin toteutettavissa myös Suomessa, ja kuten Tanskassa, ohjelman alullepanijana voisi toimia Opettajien ammattijärjestöön kuuluva Lastentarhanopettajaliitto.

Äänenkäytön kokonaisajalla ja äänioireilla näyttäisi olevan selkeä yhteys. Lastentarhanopettajien äänessäoloaika on myös dosimetrimittauksissa todettu suureksi. Päiväkotien työntekijöille on suositeltu äänen lepotaukoja työpäivän aikana helpottamaan äänen määrällistä kuormitusta (12).

Tämän tutkimuksen kliinis-instrumentaalisisessa tarkastuksessa löytyi 11 %:lta osallistujista orgaaninen, patologinen löydös äänihuulista. Aikaisemmassa tutkimuksessa, jossa myös oli osallistujina lastentarhanopettajia, raportoitiin patologisia löydöksiä 29 %:lla (8). Se, että saman ammattiryhmän patologisissa löydöksissä on näin suuria eroja, saattaa johtua tutkimusten metodologiasta tai patologioiden kriteeriluo-  
kituksesta. Aikaisemmassa tutkimuksessa kurkunpäättäyhystykset oli tehty peilillä, ja tässä tutkimuksessa kurkunpään tähystykseen käytettiin jäykkää endoskooppia. Endoskooppitutkimus antanee kurkunpään tähystyksessä tarkemman tuloksen. Tässä tutkimuksessa ei patologioiden laskettu kannurustojen alueen lievää tai kohtalaista turvotusta tai lievää punoitusta. Mikäli foniatriin tutkimustuloksista lisätään patologioiden myös nämä löydökset, nousee orgaanisten muutosten esiintymismäärä tässä tutkimuksessa 34 %:iin.

Foniatriin laryngoskopia löydökset ja raportoidut subjektiiviset äänen väsymysoireet eivät korreloineet keskenään. Samanlaisia tuloksia on raportoitu myös aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. 102, 130, 142). Tässä tutkimuksessa tutkittujen enemmistö oli normaaliäänisiä, mikä saattoi vaikuttaa foniatriin löydösten ja subjektiivisten tunteiden välisen lineaarisen yhteyden puuttumiseen. Lastentarhanopettajien selkeä sensitiivisyys äänen väsymysoireiden havaitsemisessa saattaa äänenkäytön kannalta raskaassa ammatissa toimia myös suojaavana tekijänä. Voi käydä niin, että oireiden ilmaantuessa työntekijät luovat automaattisesti selviytymisstrategioita, joiden avulla he ehkäisevät äänen ylläpidosta ja parantavat ääniräjähtämisestä palautumista, ja näin ehkäisevät patologisten äänihuulimuutosten syntyä. Kahdelta osallistujalta, jotka eivät raportoineet kokevansa äänen väsymisen oireita, löytyi foniatriin tutkimuksessa selkeä patologinen muutos äänihuulissa. Voidaan mieltä, puuttuiko heiltä sensitiivisyys havaita äänen rasittumista, ja oliko tämä sensitiivisyyden puute alun perin syy heidän äänihäiriöihinsä.

Tämä tutkimus on kartuttanut tietoa lastentarhanopettajien ääniongelmista ja äänellisistä voimavaroista. Tutkimus kartoitti laajasti lastentarhanopettajien haastavan ammatin ääneen liittyvät kuormitustekijät työntekijöiden näkökulmasta. Tutkimuksen tulosten perusteella ääniergonomiset toimenpiteet kannattaa suunnata monelta taholta meluntorjuntaan. Kuormitustekijöitä monitahoisesti vähentämällä voidaan ehkäistä äänihäiriöiden syntyä ja lisätä lastentarhanopettajien työhyvinvointia.

## 6.2 Eri äänentuottotavoilla tuotetuista ääninäytteistä eri kynnystasoilla laskettujen $CQ_{EGG}$ -tulosten pohdintaa (osatutkimus II)

Tässä tutkimuksessa  $CQ_{EGG}$  erotteli äänentuottotavat toisistaan, kuten raportoitiin tapahtuneen aikaisemmassa Verdolinin ym. (1998) tutkimuksessa pienemmällä osallistujamäärällä (22). Vaikka äänen voimakkuuden on raportoitu vaikuttavan  $CQ_{EGG}$  arvoihin (52, 62, 76, 143), jäi tässä tutkimuksessa lineaarisessa regressioanalyysissä SPL:n vaikutus  $CQ_{EGG}$ -arvoihin olemattomaksi, kun muina selittävinä muuttujina olivat äänentuottotapa ja F0. Näin kävi, vaikka CQ:n ja SPL:n välinen korrelaatio oli kohdalainen. Regressiomallissa 25 %:n kynnystasolla CQ:n ainoa merkitsevä selittäjä oli äänentuottotapa; selitysarvo oli 48 %. Näyttää siltä, että äänentuottotapa oli mallissa niin vahva selittäjä, että se neutraloi SPL:n vaikutuksen. SPL:n ja kuullun laadun välinen yhteys voi myös selittää sen, että laatu neutraloi SPL:n vaikutuksen regressiomallissa. Tässä tutkimuksessa äänentuottotapa oli vakioitu, kun taas ääninäytteet tuotettiin osallistujalle sopivalla voimakkuudella ja korkeudella. Ääninäytteiden äänenpainetaso vakioiminen tietylle SPL-tasolle voi poistaa äänen voimakkuuden ja laadun yhteisvaikutuksen vaihtelun näytteistä, ja helpottaa siten ääninäytteiden vertailua (144, 145). Mikäli ääninäytteistä vakioidaan useita muuttujia, on kuitenkin otettava huomioon, että vakioimalla voidaan menettää ihmisäänen ja eri äänentuottotapoihin luonnollisena kuuluva variaatio.

Tässä tutkimuksessa F0 ei korreloinut  $CQ_{EGG}$ :n kanssa, ja lineaarisessa regressioanalyysissä F0:n selitysarvo jäi hyvin alhaiseksi, kun  $CQ_{EGG}$  oli mallissa selitettävänä ja äänentuottotapa, SPL ja F0 selittävinä muuttujina. Aikaisemmissa lauluäänimateriaalilla tehdyissä tutkimuksissa F0:n on raportoitu vaikuttavan  $CQ_{EGG}$ -arvoihin (26, 36, 64, 69). Esimerkiksi Howard (1995) raportoi naisilla F0:aa nostettaessa korkeilla taajuuksilla (yli 493 Hz)  $CQ_{EGG}$ :n suurenevan ja matalilla taajuuksilla pienenevän (alle 293 Hz) (64). Kevyesti tuotetuilla korkeilla taajuuksilla CQ-arvot voivat kuitenkin olla epäluotettavia, koska äänihuulet eivät välttämättä ole lainkaan kunnon kontaktissa äännön aikana (26). Myös F0:n vähäisestä vaikutuksesta  $CQ_{EGG}$ :hen on raportoitu lauluäänitutkimuksessa (146), jossa naislaulajilla belt- ja falsettityylillä tuotettujen CQ-arvojen pieneneminen F0:n noustessa oli korkeilla sävelillä hyvin vähäistä (F0:n keskiarvot näytteissä: belt: 403 Hz, 485 Hz, 549 Hz; falsetti: 401 Hz, 520 Hz, 596 Hz) verrattuna perustasoon (belt 267 Hz; falsetti 270 Hz), eikä muutos ollut merkitsevä.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että F0 ja SPL vaikuttavat  $CQ_{EGG}$ :hen vähiten kynnystasolla 25 %. Titzen (1990) artikkelin kaavakuvien perusteella voidaan myös päätellä, että 25 %:n kynnystaso sopii puristeisen ja vuotoisen äännön erotteluun.

Jos kuitenkin F0 pidetään vakioituna, 50 %:n kynnystaso näyttäisi erottelevan paremmin ääniraon auki- ja kiinniolon muutosta (42).

Kuuntelijoiden välinen reliabiliteetti oli tässä tutkimuksessa erittäin korkea. Korkeisiin reliabiliteettitulokuihin voi olla useita syitä. Yhtenä tekijänä voi olla se, että osallistujien korvat kalibroitiin niin sanotuilla ankkuriäänillä ennen kuuntelun aloittamista. Ankkuriääninäytteiden on todettu parantavan kuuntelutuloksia (112, 113). Toinen yhteneviin arvioihin vaikuttava tekijä voi olla kuuntelijoiden tausta: he olivat saaneet saman koulutuksen ja heillä oli runsaasti kuuntelukokemusta. Kolmanneksi: kuuntelijat arvioivat tässä tutkimuksessa vain yhtä äänen piirrettä. Kuuntelututkimuksissa on todettu, että luotettavampiin arviointituloksiin päästään, jos kuormitus pysyy kuuntelutilanteessa alhaisena (110, 147, 148). Koska kyseessä oli vokaalifonaation kuuntelu, neljäntenä korkeisiin reliabiliteettitulokuihin vaikuttaneena tekijänä saattaa olla kuunteltavan materiaalin yksinkertainen rakenne. Ainakin patologisten äänien kuunteluun vokaalifonaation on todettu sopivan paremmin kuin jatkuvan puheen (149).

Tutkimuksen äänimateriaaliksi oli valittu pitkä vokaalifonaatio, jossa simuloitiin eri äänenlaatuja. Valinnan perusteena niin tässä kuin laajalti aikaisemmissakin tutkimuksissa (mm. 107, 150) on ollut pitkän vokaalifonaation yksinkertainen rakenne. Koska tässä tutkimuksessa pyydettiin osallistujia tuottamaan vuotoista, normaalia ja puristeista ääntä, saatiin vuotoinen-puristeinen-jatkumolla näytteiksi äänen ääripäät. Samanlaisia simuloituja ääninäytteitä vuotoisuuden ja puristeisuuden kuvaamiseksi EGG:llä on tutkimuksissa käytetty aikaisemminkin (22, 70). Jatkossa erilaisia äänentuottotapoja kannattaakin tutkia jatkuvan puheen ääninäytteistä ja ei simuloituilla, vaan aidoilla hypo- ja hyperfunktionaalisten äänten näytteillä, jotka edustavat erilaisia äänihäiriöitä.

Aiempia tutkimuksia suuremman osallistujamääränsä johdosta tämä tutkimus varmensi sen, että  $CQ_{EGG}$ -menetelmä erottelee vuotoisen ja puristeisen äänentuottotavan toisistaan. Tutkimuksen  $CQ_{EGG}$ -tulokset tuottivat tieteenalalle kaivatut viitearvot naishenkilöille kolmella eri äänentuottotavalla sekä kolmella kynnystaso-menetelmän laskentatasolla. EGG-menetelmää voidaan noninvasiivisuutensa ja edullisen käyttökustannuksensa takia suositella äänihuulten kontaktaajan selvittämiseen niin klinikatyössä kuin äänentutkimuksessakin.

### 6.3 Äänen taloudellisuusmuuttujan (QOCR), äänenlaadun perkeptuaalisen- ja äänen itsearvion tulosten pohdintaa (osatutkimus III)

Taloudellisuusmuuttujaa QOCR testattiin työpäivän aikana kovaan äänen kuormitukseen altistuvien lastentarhanopettajien äänillä. QOCR:n korrelaatio F0:n ja CQ:n kanssa oli ilmeinen, koska kyseiset muuttujat ovat mukana myös QOCR-muuttujan kaavassa, mutta SPL ei tässä tutkimuksessa korreloinut negatiivisesti QOCR:n kanssa, kuten se teki preliminääritutkimuksessa. Tämän syynä voi olla se, että preliminääritutkimuksessa SPL:t olivat korkeammat kuin tässä tutkimuksessa. Lisäksi on mahdollista, että lastentarhanopettajat käyttävät paljon voimistettua ääntä ja ovat myös oppineet tuottamaan voimistettua ääntä jossain määrin taloudellisesti. Heikko negatiivinen korrelaatio löytyi QOCR:n ja puristeisuusarvion sekä äänen korkeuden sopivuusarvion kanssa. Äänentuoton taloudellisuus oli huonompi puristeisesti tuotetuissa ja liian korkeiksi arvioiduissa äänissä. Samoin kuin preliminääritutkimuksessa raportoitiin, eivät QOCR-tulokset korreloineet myöskään tässä tutkimuksessa itsearvioitujen äänen väsymisoireiden kanssa. Joissain tutkimuksissa jatkuvaa puhetta on pidetty parempana kuin pitkää vokaaliääntä kuvaamaan henkilön äänenkäyttöä (107, 150). Tämä herättääkin kysymyksen siitä, onko pitkä vokaaliääntö sopiva äänimateriaali kuvaamaan henkilön normaalia äänenkäyttötapaa. Toisaalta melko tuoreessa tutkimuksessa on raportoitu vahva korrelaatio kuullun äänenlaadun ja akustisten spektrimuuttujien välillä sekä pitkässä fonaatiossa että jatkuvassa puheessa (151). Toinen kysymys on sitten se, onko äänentuoton taloudellisuutta mittaamalla ylipäätään mahdollista ennustaa äänen väsymistä. Äänen taloudellisen tuottotavan lisäksi äänen väsymisessä ovat väliin tulevana muuttujina esimerkiksi kudoksen yksilöllinen kestävyys ja äänessäoloaika sekä subjektiivinen sensitiivisyys äänenväsymisoireiden tunnistamiselle.

QOCR-taloudellisuusmuuttujassa on pyritty ottamaan huomioon äänen kuormittumisen kannalta tärkeät mitattavissa olevat tekijät: törmäyspaine IS ( $CQ_{EGG}$ ), äänenpainetaso (SPL) ja perustaajuus (F0) (äänihuulten antero-posterior-suuntainen venytys + äänihuuliperiodien määrä). Taloudellisuusmuuttujan kaavaan sisältyvä  $CQ_{EGG}$  kertoo äänihuulten kontaktiajan, ei kontaktin varsinaista voimaa.  $CQ_{EGG}$ :n on todettu korreloivan IS:n kanssa, mutta  $CQ_{EGG}$  ei suurilla äänihuulten alapuolisilla paineilla enää nouse, toisin kuin IS.  $CQ_{EGG}$ :n saturoitumisesta on raportoitu sekä koirien kurkunpäällä tehdyillä tutkimuksilla (19) että tietokonemallinnuksella (152); lisäksi F0:n noustessa falsettimaiseksi  $CQ_{EGG}$ -arvot voivat olla epäluotettavia (26).

Ääniraon sulkeutumisoikeus ennen varsinaista äänihuulten kontaktia vaikuttaa myös IS:iin (14). Äänihuulten törmätessä yhteen toistuvasti, esimerkiksi naisilla keski-



määrin 200 kertaa sekunnissa, voi sulkeutumisnopeudella ja sen muutoksilla olla tärkeä merkitys äänentuoton taloudellisuudelle.

Taloudellisella äänentuottotavalla on mahdollista vähentää kuormitusta ja ehkäistä äänen väsymistä. Taloudellista äänentuotto on silloin kun mahdollisimman pienellä kudosasituksella tuotetaan kuuluvaa ja ilmaisevaa puhetta (23). Taloudellinen äänenkäyttö onkin yksi äänenkäyttäjän yksilöllisistä mahdollisuuksista ehkäistä äänihäiriöiden syntyä. Äänihäiriöt aiheuttavat yhteiskunnallisesti taloudellisia menetyksiä sairauslomien ja ammatinvaihdosten johdosta ja vaikuttavat oleellisesti yksilön hyvinvointiin. Taloudellinen äänentuottotapa on mahdollista omaksua harjoittelemalla. Äänentuoton taloudellisuuden mittaaminen on tärkeätä, jotta voidaan määrittää äänen harjoittamisen tarve ja suunta. Tämä tutkimus on tuottanut yhteiskunnallisesti tärkeää uutta tietoa äänen taloudellisuusmuuttujan käytöstä tutkittaessa työssään paljon ääntään käyttäviä lastentarhanopettajia.

## 6.4 EGG-analyysin, kuuntelun arvion, itsearviointin ja laryngoskopi tulosten pohdintaa (osatutkimus IV)

Tutkimuksessa testattiin EGG-muuttujien CQ ja MDEGG yhteyttä kuuntelun perusteella arvioituun äänentuoton tiivyyteen sekä EGG- ja akustisten muuttujien yhteyttä äänen itsearviointiin ja kurkunpään tähytyksen tuloksiin. Materiaalina oli voimakkuudeltaan vakioitu pitkä [a]-vokaali ja painollisen sanan sisäinen [a:] -vokaali. Tulosten mukaan MDEGG:llä on selkeämpi yhteys kuultuun tiivyyden asteeseen ainakin SPL:n suhteen vakioidulla [a:] -vokaalilla. Osatutkimuksessamme II asiantuntijakuuntelun ja CQ<sub>EGG</sub>:n väliltä löytyi vahva korrelaatio. Osatutkimuksen II ääninäytteet olivat kuitenkin pyynnöstä vuotoisesti, tavallisesti ja puristeisesti tuotettuja (66). Lisää vastaavanlaista tutkimusta MDEGG:n yhteydestä kuunteluarvioon, F0:aan ja SPL:ään kaivataan myös pitemmillä jatkuvan puheen ääninäytteillä.

VAPP:in kokonaispistemäärä ei korreloinut tutkimuksen muiden parametrien kanssa. Itsearviointin, perkeptuaalisen arvion ja foniatriin arvion välistä yhteyttä terveillä puhujilla ei ole aikaisemmissakaan tutkimuksissa yrityksistä huolimatta löytenyt (102, 103, 142). Suurin osa tämän tutkimuksen osallistujista oli laryngoskopi tutkimuksen perusteella joko terveitä tai melkein terveitä. Jatkossa on syytä käyttää MDEGG-muuttujaa äänihäiriöpotilaiden ääninäytteiden tutkimiseen ja verrata tuloksia heiltä saatuihin äänen itsearvioihin.

Tutkimuksessa verrattiin kahden [a:] -vokaaliääninäytteen sopivuutta EGG-analyysiin. Toinen näytteistä oli pitkä [a]-vokaali ja toinen luetun tekstin sisältä poimitun yhden sanan sisällä kahden klusiilin välissä sijaitseva [a:] -vokaali ([ka:k:o]). Erikseen

tuotetussa pitkässä [a]-vokaalissa oli analysoitavia periodeja yli kymmenkertaisesti sanan sisäiseen pitkään vokaaliin verrattuna. Luetussa tekstissä F0 ja SPL varioivat vapaasti, mutta lukijat oli altistettu taustamelulle. Pitkän [a]-vokaalin SPL oli vakioitu  $90 \text{ dB}_{6\text{cm}}$ :iin. Taustamelun ja SPL:n vakioinnin tarkoituksena oli saada osallistujat puhumaan samalla tavalla kuin he puhuvat työssään. Pitkän vokaalin  $\text{CQ}_{\text{EGG}}$  ja MDEGG korreloivat kuuntelutulosten kanssa, mutta vastaavaa korrelaatiota ei löytynyt sanan sisäisen vokaalin kanssa. Tämän tutkimustuloksen perusteella voidaan SPL-vakioitua pitkää vokaalia pitää luennasta otettua painollista sanaa sopivampana tiivyyden asteen kuunteluanalyysiin. Kuuntelun reliabiliteetti oli molemmissa kuunteluissa kohtalainen ja hyvin lähellä toisiaan. Ääninäytteiden kuunteluanalyysin tulokset eivät kuitenkaan korreloineet keskenään. Voidaan myös pohtia, johtuiko itsearviointin ja EGG- ja akustisten muuttujien korrelaation puuttuminen tässä tutkimuksessa käytetyistä ääninäytteistä ja siitä, etteivät ne sopineet kuvaamaan henkilön normaalia äänenkäyttöä. Puristeinen äänen laatu ei myöskään välttämättä ole äänen kuormittumisen kannalta niin suuri muuttuja, että se yksin selittäisi äänen itsearviointin tuloksia. Kuormittumisen kannalta tärkeitä muuttujia ovat esimerkiksi myös äänessäolon kokonaisaika, käytetty perustaaajuus ja äänenpainetaso, äänen lepotauot työpäivän aikana ja sen jälkeen sekä yksilöllinen kuormituksen sieto ja kudoksen palautumiskyky. Tämän tutkimuksen perusteella useampi tekijä puoltaa MDEGG:in käyttöä IS:n noninvasiiviseen arvioimiseen pitkästä [a]-vokaalista. MDEGG korreloi kuunteluanalyysillä arvioitun tiivyyden asteen kanssa paremmin kuin  $\text{CQ}_{\text{EGG}}$ , eikä MDEGG:n ja F0:n väliltä löytynyt negatiivista korrelaatiota, niin kuin  $\text{CQ}_{\text{EGG}}$ :n ja F0 väliltä löytyi. Lisäksi  $\text{CQ}_{\text{EGG}}$ :lla on tiedossa oleva saturaatiopisteensä korkealla ääniraon alaisella paineella tuotetussa äännessä (19, 152). Jatkossa pitää tutkia, onko myös MDEGG:llä vastaavaa saturaatiopistettä, sillä esimerkiksi Alkun ym. (2001) tutkimusten mukaan SPL:n maksimitasoilla ( $\text{SPL} > 85 \text{ dB}_{40\text{cm}}$ ) SPL:n nostaminen voi perustua glottiksen avautumisnopeuden kasvuun (153).

Osatutkimuksen III tapaan tämä tutkimus keskittyi testaamaan uuden noninvasiivisen, äänen kuormittumista ilmentävän muuttujan toimivuutta. Tutkimuksessa esiteltiin EGG-menetelmän derivaattapohjainen, äänihuulten sulkeutumisenopeutta kuvaava muuttuja MDEGG. Tutkimuksen tulokset osoittavat MDEGG:n olevan lupaava uusi muuttuja äänihuulten törmäyspaineen arvioinnissa.

# 7 PÄÄTELMÄT OSATUTKIMUSTEN TULOKSISTA

## 7.1 Osatutkimus I

Osatutkimuksen I tulosten mukaan äänen väsymisoireet ovat yleisiä lastentarhanopettajilla, sillä heistä lähes puolet raportoi kokevansa viittä tai useampaa erilaista äänen väsymisoiretta kuukausittain ja vain 6 % ei ollut kokenut lainkaan äänen väsymiseen liittyviä oireita. Runsaista äänen väsymisoireista huolimatta lastentarhanopettajista 80 % ilmoitti kestävänsä melko hyvin työhön liittyvää äänen kuormitusta ja 86 % ilmoitti äänensä palautuvan hyvin edellisen päivän rasituksesta. Yhdellätoista prosentilla osallistujista löytyi foniatriin kliinisinstrumentaaliossa tutkimuksessa orgaaninen muutos äänihuulista, mutta foniatriin löydökset eivät korreloineet itsearvioitujen äänen väsymisoireiden kanssa. Työympäristön ääntä kuormittavista tekijöistä melu arvioitiin kaikkein haitallisimmaksi äänelle.

Tämän tutkimuksen perusteella noin 20 % lastentarhanopettajista on työssään äänen kuormitukseen liittyvän erityishuomion tarpeessa. Osa heistä tarvitsee ääniterapiaa, mutta osalle voisi riittää ääniergonomiatietoisuuden lisääminen ja mahdollisuus oman äänentuoton harjoittamiseen esimerkiksi ryhmässä. Meluntorjunta päiväkodeissa on tärkeää, ei pelkästään kuulonhuoltosyistä, vaan myös äänihäiriöiden ehkäisyn takia. Jatkossa olisi lisätutkimuksella hyvä selvittää, miten tässä tutkimuksessa runsaita äänen väsymisoireita raportoineet lastentarhanopettajat tulevaisuudessa selviävät äänellisesti vaativassa työssään.

## 7.2 Osatutkimus II

Osatutkimuksen II tulosten mukaan voidaan todeta, että  $CQ_{EGG}$  erottelee eri äänentuottotavat toisistaan ainakin naispuhujilla, jotka simuloivat pyydettyjä ääntötapoja. Kuunneltu tiiviydenaste ja  $CQ$ :t laskettuna kynnystasoilla 25 % ja 35 % korreloivat parhaiten keskenään. Pitkästä [a:]-vokaalista kynnystasolla 25 % laskettuihin  $CQ$ -arvoihin näytti vaikuttavan ainoastaan ääntötapa, vaikka SPL:ssä ja  $F0$ :ssa oli osallistujien ja ääntötapojen suhteen jonkin verran vaihtelua. Koska luonnollisessa puheessa SPL ja

F0 vaihtelevat, voidaan puheäänien äänentuottotapaa arvioitaessa suositella CQ-laskennassa käytettäväksi kynnystasoa 25 %. Tämän tutkimuksen perusteella naisilta 25 %:n kynnystasolla mitatut  $CQ_{EGG}$ -normiarvot pitkästä [a:]-vokaalista eri äänentuottotavoilla ovat: vuotoinen 0,44 (HA 0,11), normaali 0,52 (HA 0,07) ja puristeinen 0,66 (HA 0,08).  $CQ_{EGG}$ -arvot ovat vertailukelpoisia vain, kun ne on laskettu samalla kynnystasolla. EGG-tutkimuksissa kaivataan lisää tietoa jatkuvan puheen CQ-arvoista ja äänihäiriöpotilaiden aidoista, ei simuloituista äänistä.

### 7.3 Osatutkimus III

Osatutkimuksen III tulosten yhteenvetona voidaan todeta, että käytetyllä menetelmällä arvioituna lastentarhanopettajien äänentuoton taloudellisuus vaikuttaa huomommalta kuin aikaisemman tutkimuksen tutkimushenkilöillä eli ääntään paljon harjoittaneilla opettajilla. Äänentuoton taloudellisuus oli myös huonompi niillä, joiden äänessä kuultiin puristeisuutta, tai niillä, joiden ääni arvioitiin puhujalle liian korkeaksi. Osallistujien omat äänen kuormitusarvot eivät korreloineet äänen taloudellisuusmuuttujan kanssa. Tämän osatutkimuksen perusteella voidaan todeta, että joko vokaalifonaatio ei ole hyvä näyte kuvaamaan äännön taloudellisuutta tai äännön taloudellisuus ei olekaan merkittävä tekijä äänen kuormituksessa. Jatkossa tarvitaan tutkimusta, jossa äänimateriaalina on käytetty jatkuvaa puhetta ja äänen ylikuormitusta on mitattu objektiivisesti esimerkiksi käyttämällä hyväksi verinäytteiden histologista laboratoriotutkimusta.

### 7.4 Osatutkimus IV

Neljännän osatutkimuksen tulosten mukaan MDEGG sopii  $CQ_{EGG}$ :tä paremmin käytettäväksi tiiviyn asteen kuunteluanalyysin kanssa. MDEGG:n käyttöä IS:n nominvasiiviseen arviointiin puoltaa myös se, että MDEGG:llä ei ollut yhteyttä F0:aan. Pitkä SPL:n suhteen vakioitu vokaalinäyte sopii painollista sanansisäistä vokaalia paremmin EGG-analyysiin. Äänen itsearvio ei tässä materiaalissa korreloinut kuunteluanalyysin, EGG-muuttujien eikä foniatriin laryngoskopia-arvion kanssa eikä laryngoskopia-tulosten ja EGG-muuttujien tai kuunteluanalyysin väliltä löytynyt yhteyttä. Lisää MDEGG-muuttujan käyttöön perustuvaa tutkimusta kaivataan myös pitemmillä jatkuvan puheen näytteillä.

## 7.5 Yhteispäätelmät osatutkimuksista

Tämän tutkimussarjan neljästä osatutkimuksesta kolmessa on pyritty selventämään EGG-muuttujien käytettävyyttä äänentuottotavan ja äänen kuormituksen arvioinnissa. Tutkimushenkilöinä ovat toimineet kolmessa osatutkimuksessa äänentuoton kannalta erityisen raskaassa ammatissa työskentelevät lastentarhanopettajat ja yhdessä osatutkimuksessa ääntään harjoittaneet opiskelijat ja opettajat. Ääni kuormittuu monien tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Siitä osoituksena ovat myös tämän tutkimuksen lastentarhanopettajien omat arviot ääntä kuormittavista tekijöistä. Melun arvioitiin kuormittavan ääntä kaikkein eniten. Melun lisäksi lastentarhanopettajat arvioivat äänensä kuormittuvan työssä runsaasti pitkän ja voimakkaan puhumisen, huonepölyn, ulkona puhumisen sekä levottoman ja suuren lapsiryhmän takia. Hyperfunktionaalista äänentuottotapaa on pidetty yhtenä merkittävistä äänen kuormitustekijöistä (14, 16, 67). On kuitenkin mahdollista, että taustamelun aiheuttama äänen luonnollinen voimistamisen tarve (123) ja siihen liittyvä perustaajuuden nousu runsaan päivittäisen puhumisen kanssa nousevat kuormitustekijöinä äänentuottotapaa merkittävämmiksi.

Tutkimussarjan viimeisen osan tulosten perusteella tässä tutkimussarjassa käytettyistä EGG:n muuttujista voidaan derivaattapohjaista äänihuulten sulkeutumismopeutta kuvaavaa muuttujaa MDEGG pitää lupaavimpana IS:n noninvasiivisen estimoinnin välineenä. Jatkossa kaivataan EGG-tutkimusta, jossa aineistona ovat pitemmät luenta- ja spontaanipuheen näytteet. Sekä MDEGG-muuttujan ja IS:n välisen yhteyden täsmentäminen mallinnuksella että yhteyden varmentaminen invasiivisesti olisivat myös tarpeen. Uuden näkökulman kuormittumistutkimuksiin antaisi myös EGG-muuttujien ja erityisesti MDEGG:n yhdistäminen äänen dosimetriatutkimuksiin.

# LÄHTEET

1. Laukkanen A. On speaking voice exercises. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, Acta Universitatis Tamperensis, Tampereen yliopisto; 1995.
2. Vilkman E. Occupational risk factors and voice disorders. *Logoped Phoniatr Vocol* 1996; 21: 137–141.
3. Smith E, Gray SD, Dove H, Kirchner L, Heras H. Frequency and effects of teachers' voice problems. *J Voice* 1997; 11: 81–87.
4. Mattiske JA, Oates JM, Greenwood KM. Vocal problems among teachers: A review of prevalence, causes, prevention, and treatment. *J Voice* 1998; 12: 489–499.
5. Russell A, Oates J, Greenwood KM. Prevalence of voice problems in teachers. *J Voice* 1998; 12: 467–479.
6. Sliwinska-Kowalska M, Niebudek-Bogusz E, Fiszer M, Los-Spychalska T, Kotylo P, Sznurowska-Przygocka B, Modrzewska M. The prevalence and risk factors for occupational voice disorders in teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2006; 58: 85–101.
7. Roy N, Merrill RM, Thibeault S, Parsa RA, Gray SD, Smith EM. Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *J Speech Lang Hear Res* 2004; 47: 281–293.
8. Sala E, Laine A, Simberg S, Pentti J, Suonpää J. The prevalence of voice disorders among day care center teachers compared with nurses: A questionnaire and clinical study. *J Voice* 2001; 15: 413–423.
9. Simberg S, Sala E, Rönnemaa A. A comparison of the prevalence of vocal symptoms among teacher students and other university students. *J Voice* 2004; 18: 363–368.
10. Simberg S, Sala E, Vehmas K, Laine A. Changes in the prevalence of vocal symptoms among teachers during a twelve-year period. *J Voice* 2005; 19: 95–102.
11. Sala E, Airo E, Olkinuora P, Simberg S, Ström U, Laine A, Pentti J, Suonpää J. Vocal loading among day care center teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2002; 27: 21–28.
12. Södersten M, Granqvist S, Hammarberg B, Szabo A. Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *J Voice* 2002; 16: 356–371.
13. Vilkman E. Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr Logop* 2004; 56: 220–253.
14. Titze IR. Principles of Voice Production. 2. painos. Iowa City: Prentice Hall (National Center for Voice and Speech); 2000.
15. Jiang JJ, Titze IR. Measurement of vocal fold intraglottal pressure and impact stress. *J Voice* 1994; 8: 132–144.
16. Solomon NP. Vocal fatigue and its relation to vocal hyperfunction. *Int J Speech Lang Pathol* 2008; 10: 254–266.
17. Titze IR. Mechanical stress in phonation. *J Voice* 1994; 8: 99–105.

18. Reed C, Doherty E, Shipp T. Direct measurement of vocal fold medial forces. *Am Speech Hear Ass Rep* 1992; 34: 131 (A).
19. Verdolini K, Chan R, Titze IR, Hess M, Bierhals W. Correspondence of electroglottographic closed quotient to vocal fold impact stress in excised canine larynges. *J Voice* 1998; 12: 415–423.
20. Verdolini K, Hess MM, Titze IR, Bierhals W, Gross M. Investigation of vocal fold impact stress in human subjects. *J Voice* 1999; 13: 184–202.
21. Peterson KL, Verdolini-Marston K, Barkmeier JM, Hoffman HT. Comparison of aerodynamic and electroglottographic parameters in evaluating clinically relevant voicing pattern. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1994; 103: 335–346.
22. Verdolini K, Druker DG, Palmer PM, Samawi H. Laryngeal adduction in resonant voice. *J Voice* 1998; 12: 315–327.
23. Laukkanen A, Leino T. *Ihmeellinen ihmisääni*. Tampere: Tammer-Paino Oy; 1999.
24. Laukkanen A, Mäki E, Leppänen K. Electroglottogram-based estimation of vocal economy: 'Quasi-output-cost ratio'. *Folia Phoniatr Logop* 2009; 61: 316–322.
25. Kania RE, Hans S, Hartl DM, Clement P, Crevier-Buchman L, Brasnu DF. Variability of electroglottographic glottal closed quotients: Necessity of standardization to obtain normative values. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2004; 130: 349–352.
26. Herbst C, Ternström S. A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006; 31: 126–138.
27. Sundberg J. *The science of the singing voice*. Illinois, United States of America: Northern Illinois University Press; 1987.
28. Orlikoff RF, Golla ME, Deliyski DD. Analysis of longitudinal phase differences in vocal-fold vibration using synchronous high-speed videoendoscopy and electroglottography. *J Voice* 2012; 26: 816.e13–816.e20.
29. Baken RJ, Orlikoff RF. *Clinical measurement of speech and voice*. San Diego, CA: Singular/Thomson Delmar; 2000.
30. Hollien H, Gould J, Johnson B. A two-level concept of vocal registers. Teoksessa E. Loebell (toim.) *XVIth Int Congr Logopedics and Phoniatics*, Interlaken 1974. Basel: Karger, 1976: 188–194.
31. Henrich N, d'Alessandro C, Doval B, Castellengo M. On the use of the derivative of electroglottographic signal for characterization of nonpathological phonation. *J Acoust Soc Am* 2004; 115: 1321–1332.
32. Bhandari A, Izdebski K, Huang C, Yan Y. Comparative analysis of normal voice characteristics using simultaneous electroglottography and high speed digital imaging. *Biomed Sign Proc Contr* 2012; 7: 20–26.
33. Alku P, Magi C, Yrttiaho S, Backstrom T, Story B. Closed phase covariance analysis based on constrained linear prediction for glottal inverse filtering. *J Acoust Soc Am* 2009; 125: 3289–3305.
34. Childers D, Lee C. Vocal quality factors: Analysis, synthesis, and perception. *J Acoust Soc Am* 1991; 90: 2394–2410.
35. Higgins MB, Saxman JH. Inverse-filtered air flow and EGG measures for sustained vowels and syllables. *J Voice* 1993; 7: 47–53.
36. Salomão GL, Sundberg J. What do male singers mean by modal and falsetto register? An investigation of the glottal voice source. *Logoped Phoniatr Vocol* 2009; 34: 73–83.

37. Sataloff RT. Physical examination. Teoksessa M. P. Fried & A. Ferlito (toim.) *The Larynx*. San Diego: Plural Press, 3. painos, vol 1; 2009: 136–140.
38. Švec JG, Schutte HK. Videokymography: High-speed line scanning of vocal fold vibration. *J Voice* 1996; 10: 201–205.
39. Colton RH, Conture EG. Problems and pitfalls of electroglottography. *J Voice* 1990; 4: 10–24.
40. Baken RJ. Electroglottography. *J Voice* 1992; 6: 98–110.
41. Geddes L, Baker L, Moore A, Coulter T. Hazards in the use of low frequencies for the measurement of physiological events by impedance. *Med Biol Engng* 1969; 7: 289–296.
42. Titze IR. Interpretation of the electroglottographic signal. *J Voice* 1990; 4: 1–9.
43. Hess MM, Ludwigs M. Strobophotoglottographic transillumination as a method for the analysis of vocal fold vibration patterns. *J Voice* 2000; 14: 255–271.
44. Hirano M, Vennard W, Ohala J. Regulation of register, pitch and intensity of voice. *Folia Phoniatr* 1970; 22: 1–20.
45. Hirano M. Vocal mechanisms in singing: Laryngological and phoniatic aspects. *J Voice* 1988; 2: 51–69.
46. Allen E, Hollien H. A laminagraphic study of pulse (vocal fry) phonation. *Folia Phoniatr* 1973; 25: 241–250.
47. Whitehead R, Metz D, Whitehead B. Vibratory patterns of the vocal folds during pulse register phonation. *J Acoust Soc Am* 1984; 75: 1293–1297.
48. Blomgren M, Chen Y, Ng M, Gilbert H. Acoustic, aerodynamic, physiologic, and perceptual properties of modal and vocal fry registers. *J Acoust Soc Am* 1998; 103: 2649–2658.
49. Laver J. *The phonetic description of voice quality*. Great Britain, Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge; 1980.
50. Scherer R, Titze I. The abduction quotient related to vocal quality. *J Voice* 1987; 1: 246–251.
51. Schneider B, Bigenzahn W. Influence of glottal closure configuration on vocal efficacy in young normal-speaking women. *J Voice* 2003; 17: 468–480.
52. Orlikoff RF. Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: Data from normal male subjects. *J Speech Hear Res* 1991; 34: 1066–1072.
53. Howard D. Electroglottography/electrolaryngography. Teoksessa M.P. Fried & A. Ferlito (toim.) *The Larynx*. San Diego, Plural Press, 3. painos, vol 1; 2009: 227–243.
54. Tarnóczy TH. The opening time and opening-quotient of the vocal cords during phonation. *J Acoust Soc Am* 1951; 23: 42–44.
55. Sonesson B. On the anatomy and vibratory pattern of the human vocal folds. *Acta Oto-Laryngol* 1960; Suppl. 156 (Thesis).
56. Rothenberg M, Mashie J. Monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area. *J Speech Lang Hear Res* 1988; 31: 338–351.
57. Higgins MB, Schulte L. Gender differences in vocal fold contact computed from electroglottographic signal: The influence of measurement criteria. *J Acoust Soc Am* 2002; 111: 1865–1871.
58. Davies P, Lindsey GA, Fuller H, Fourcin A. Variation in glottal open and closed phases for speakers of English. *Proceedings of the Institute of Acoustics* 1986; 8: 539–546.



59. Howard DM, Lindsey GA, Allen B. Toward the quantification of vocal efficiency. *J Voice* 1990; 4: 205–212.
60. Hacki T. Klassifizierung von glottisdysfunktionen mit hilfe der elektroglottographie. *Folia Phoniatr* 1989; 41: 43–48.
61. Dromey C, Stathopoulos ET, Sapienza CM. Glottal airflow and electroglottographic measures of vocal function at multiple intensities. *J Voice* 1992; 6: 44–54.
62. Huang DZ, Minifie FD, Kasuya H, Lin SX. Measures of vocal function during changes in vocal effort level. *J Voice* 1995; 9: 429–438.
63. Holmberg EB, Hillman RE. Comparisons among aerodynamic, electroglottographic, and acoustic spectral measures of female voice. *J Speech Hear Res* 1995; 38: 1212–1224.
64. Howard DM. Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice* 1995; 9: 163–172.
65. Ma EP, Love AL. Electroglottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *J Voice* 2010; 24: 146–152.
66. Kankare E, Laukkanen A, Ilomäki I, Miettinen A, Pylkkänen T. Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels. *Logoped Phoniatr Vocol* 2012; 37: 127–132.
67. Chen SH, Hsiao T, Hsiao L, Chung Y, Chiang S. Outcome of resonant voice therapy for female teachers with voice disorders: Perceptual, physiological, acoustic, aerodynamic, and functional measurements. *J Voice* 2007; 21: 415–425.
68. Roubeau B, Henrich N, Castellengo M. Laryngeal vibratory mechanisms: The notion of vocal register revisited. *J Voice* 2009; 23: 425–438.
69. Paul N, Kumar S, Chatterjee I, Mukherjee B. Electroglottographic parameterization of the effects of gender, vowel and phonatory registers on vocal fold vibratory patterns: An indian perspective. *Indian J Otolaryngol* 2011; 63: 27–31.
70. Hertegård S, Gauffin J. Glottal area and vibratory patterns studied with simultaneous stroboscopy, flow glottography, and electroglottography. *J Speech Hear Res* 1995; 38: 85–101.
71. Lim M, Lin E, Bones P. Vowel effect on glottal parameters and the magnitude of jaw opening. *J Voice* 2006; 20: 46–54.
72. Murphy P, Laukkanen A. Analyses of emotional voice using electroglottogram based temporal measures of vocal fold opening. Teoksessa A. Esposito, A. Hussain, M. Marinaro & R. Martone (toim.). *Development of multimodal interfaces: Active listening and synchrony*. Second COST 2102 International Training Scholl Dublin, Ireland. March 23–27, 2009. Revised selected papers. LNCS 5967. Germany: Springer-Verlag; 2010: 286–293.
73. Waaramaa T, Kankare E. Acoustic and EGG analyses of emotional utterances. *Logoped Phoniatr Vocol* 2013; 38: 11–18.
74. Laukkanen A, Vilkmann E, Alku P, Oksanen H. Physical variations related to stress and emotional state: A preliminary study. *J Phonetics* 1996; 24: 313–335.
75. Hall KD. Variations across time in acoustic and electroglottographic measures of phonatory function in women with and without vocal nodules. *J Speech Hear Res* 1995; 38: 783–794.
76. Hacki T. Electroglottographic quasi-open quotient and amplitude in crescendo phonation. *J Voice* 1996; 10: 342–347.

77. Zagólski O, Carlson E. Electroglottographic measurements of glottal function in vocal fold paralysis in women. *Clin Otolaryngol Allied Sciences* 2002; 27: 246–253.
78. Lim J, Lim SE, Choi SH, Kim JH, Kim K, Choi H. Clinical characteristics and voice analysis of patients with mutational dysphonia: Clinical significance of diplophonia and closed quotients. *J Voice* 2007; 21: 12–19.
79. Lim J, Choi J, Kim K, Choi H. Voice analysis of patients with diverse types of Reinke's edema and clinical use of electroglottographic measurements. *Acta Otolaryngol* 2006; 126: 62–69.
80. Vertigan AE, Theodoros DG, Winkworth AL, Gibson PG. A comparison of two approaches to the treatment of chronic cough: Perceptual, acoustic, and electroglottographic outcomes. *J Voice* 2008; 22: 581–589.
81. Laukkanen A, Lindholm P, Vilkmán E, Haataja K, Alku P. A physiological and acoustic study on voiced bilabial fricative /β:/ as a vocal exercise. *J Voice* 1996; 10: 67–77.
82. Gaskill CS, Erickson ML. The effect of a voiced lip trill on estimated glottal closed quotient. *J Voice* 2008; 22: 634–643.
83. Kankare E, Laukkanen A. Quasi-Output-Cost-Ratio, perceived voice quality, and subjective evaluation in female kindergarten teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2012; 37: 62–68.
84. Berry DA, Verdolini K, Montequin DW, Hess MM, Chan RW, Titze IR. A quantitative output-cost-ratio in voice production. *J Speech Lang Hear Res* 2001; 44: 29–37.
85. Rothenberg MA. Multichannel electroglottograph. *J Voice* 1992; 6: 36–43.
86. Rothenberg MA. A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. *J Acoust Soc Am* 1973; 53: 1632–1645.
87. Fant G. Acoustic theory of speech production. <http://www.google.fi/books>, E-kirja: Mouton, The Hague; 1960. Viitattu 28.6.2013.
88. Löfqvist A. Inverse filtering as a tool in voice research and therapy. *Scand J Log Phon* 1991; 16: 8–16.
89. Alku P. Glottal inverse filtering analysis of human voice production – A review of estimation and parameterization methods of the glottal excitation and their applications. (Invited article). *Sadhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences* 2011; 36 (Part 5): 623–650.
90. Alku P, Story B, Airas M. Estimation of the voice source from speech pressure signals: Evaluation of an inverse filtering technique using physical modeling of voice production. *Folia Phoniatr Logop* 2006; 58: 102–113.
91. Horáček J, Laukkanen A, Šidlof P, Murphy P, Švec J G. Comparison of acceleration and impact stress as possible loading factors in phonation: A computer modeling study. *Folia Phoniatr Logop* 2009; 61: 137–145.
92. Saxon K, Schneider C. *Vocal exercise physiology*. San Diego, California: Singular Publishing Group, Inc; 1995.
93. Vintturi J. Studies on voice production with a special emphasis on vocal loading, gender, some exposure factors and intensity regulation. Helsinki, <http://ethesis.helsinki.fi/>; 2001. Viitattu 13.4.2013.
94. Jacobson B, Johanson A, Grywalski C, Silbergleit A, Jacobson G, Benninger M. The Voice Handicap Index (VHI): Development and validation. *Am J Speech Lang Pathol* 1997; 6: 66–70.

95. Ma EP, Yiu EM. Voice activity and participation profile: Assessing the impact of voice disorders on daily activities. *J Speech Lang Hear Res* 2001; 44: 511–524.
96. Hogikyan ND, Sethuraman G. Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (V-RQOL). *J Voice* 1999; 13: 557–569.
97. Deary IJ, Wilson JA, Carding PN, MacKenzie K. VoiSS: A patient-derived voice symptom scale. *J Psychosom Res* 2003; 54: 483–489.
98. Fulljames N, Harris S. Voice outcome measures: Correlations with patients' assessment of their condition and the effectiveness of voice therapy. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006; 31: 23–35.
99. Aboras Y, El-Banna M, El-Magraby R, Ibrahim A. The relationship between subjective self-rating and objective voice assessment measures. *Logoped Phoniatr Vocol* 2010; 35: 34–38.
100. Niebudek-Bogusz E, Woznicka E, Zamyslowska-Szmytko E, Sliwinska-Kowalska M. Correlation between acoustic parameters and voice handicap index in dysphonic teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2010; 62: 55–60.
101. Laukkanen A, Ilomäki I, Leppänen K, Vilkmann E. Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *J Voice* 2008; 22: 283–289.
102. Leppänen K, Laukkanen A, Ilomäki I, Vilkmann E. A comparison of the effects of voice massage™ and voice hygiene lecture on self-reported vocal well-being and acoustic and perceptual speech parameters in female teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2009; 61: 227–238.
103. Ilomäki I, Laukkanen A, Leppänen K, Vilkmann E. Effects of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2008; 33: 83–92.
104. Seikel J, Anthony, King D, Drumright D. *Anatomy & Physiology for speech, Language, and hearing*. United States of America: Thomson Delmar Learning; 2005.
105. Dahmen JC, King AJ. Learning to hear: Plasticity of auditory cortical processing. *Curr Opin Neurobiol* 2007; 17: 456–464.
106. Kreiman J, Gerratt BR. Perceptual evaluation of voice quality: Review, tutorial, and a framework for future research. *J Speech Lang Hear Res* 1993; 36: 21–41.
107. Kreiman J, Gerratt BR. The perceptual structure of pathologic voice quality. *J Acoust Soc Am* 1996; 100: 1787–1795.
108. Bele IV. Reliability in perceptual analysis of voice quality. *J Voice* 2005; 19: 555–573.
109. Kreiman J, Gerratt BR, Precoda K, Berke GS. Individual differences in voice quality perception. *J Speech Hear Res* 1992; 35: 512–520.
110. Kent R. Hearing and believing: Some limits to the auditory-perceptual assessment of speech and voice disorders. *Am J Speech Lang Pathol* 1996; 5: 7–23.
111. Gerratt BR, Kreiman J. Comparing internal and external standards in voice quality judgments. *J Speech Hear Res* 1993; 36: 14–20.
112. Chan KMK, Yiu EM. The effect of anchors and training on the reliability of perceptual voice evaluation. *J Speech Lang Hear Res* 2002; 45: 111–126.
113. Eadie TL, Baylor CR. The effect of perceptual training on inexperienced listeners' judgments of dysphonic voice. *J Voice* 2006; 20: 527–544.

114. Yiu EM, Chan KMK, Mok RSM. Reliability and confidence in using a paired comparison paradigm in perceptual voice quality evaluation. *Clin Linguist Phon* 2007; 21: 129–145.
115. Lindstrom F, Wayne KP, Södersten M, McAllister A, Ternström S. Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day-care center environments. *J Voice* 2011; 25: 166–172.
116. Geneid A, Rönkkö M, Airaksinen L, Voutilainen R, Toskala E, Alku P, Vikman E. Pilot study on acute voice and throat symptoms related to exposure to organic dust: Preliminary findings from a provocation test. *Logoped Phoniatr Vocol* 2009; 34: 67–72.
117. Vilkmán E, Lauri E, Alku P, Sala E, Sihvo M. Ergonomic conditions and voice. *Logoped Phoniatr Vocol* 1997; 23: 11–19.
118. Vintturi J, Alku P, Sala E, Sihvo M, Vilkmán E. Loading-related subjective symptoms during a vocal loading test with special reference to gender and some ergonomic factors. *Folia Phoniatr Logop* 2003; 55: 55–69.
119. <http://www.tampere.fi/hallintojatalous/paatoksenteke.html>, [http://ktweb.tampere.fi/ktweb/Kokouksen\\_LANULA:14.3.2013\\_16:00:00](http://ktweb.tampere.fi/ktweb/Kokouksen_LANULA:14.3.2013_16:00:00). Tulostettu 28.6.2013, 2013.
120. Patovirta R, Meklin T, Nevalainen A, Husman T. Effects of mould remediation on school teachers' health. *Int J Environ Health Res* 2004; 14: 415–427.
121. Rantala LM, Hakala SJ, Holmqvist S, Sala E. Connections between voice ergonomic risk factors and voice symptoms, voice handicap, and respiratory tract diseases. *J Voice* 2012; 26: 819.e13–819.e20.
122. Sala E, Rantala LM. Opetustilojen akustiikka ja ääniergonomia – tutkimuksesta toteutukseen. [www.tsr.fi](http://www.tsr.fi) 2012. Työsuojelurahaston hanke nro 109292: 1–31. Tulostettu 3.5.2013.
123. van Heusden E, Plomp R, Pols LCW. Effect of ambient noise on the vocal output and the preferred listening level of conversational speech. *Appl Acoust* 1979; 12: 31–43.
124. Rantala L, Vilkmán E. Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *J Voice* 1999; 13: 484–495.
125. Södersten M, Ternström S, Bohman M. Loud speech in realistic environmental noise: Phonetogram data, perceptual voice quality, subjective ratings, and gender differences in healthy speakers. *J Voice* 2005; 19: 29–46.
126. Pasila A: Tilastokeskus, Väestö- ja elinolotilastot 2009. [aura.pasila@tilastokeskus.fi](mailto:aura.pasila@tilastokeskus.fi), 19.7.2013: Tulostettu 23.7.2013.
127. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Lasten päivähoito. 2010. [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/80051/Tr32\\_10.pdf?sequence=1](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/80051/Tr32_10.pdf?sequence=1). Viitattu 30.6.2013.
128. Ilomäki I, Mäki E, Laukkanen A. Vocal symptoms among teachers with and without voice education. *Logoped Phoniatr Vocol* 2005; 30: 171–174.
129. Laukkanen A, Kankare E. Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatr Logop* 2006; 58: 229–239.
130. Ilomäki I, Leppänen K, Kleemola L, Tyrmi J, Laukkanen A, Vilkmán E. Relationships between self-evaluations of voice and working conditions, background factors, and phoniatic findings in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2009; 34: 20–31.

131. Sukanen O, Sihvo M, Rorarius E, Lehtihalmes M, Autio V, Kleemola L. Voice activity and participation profile (VAPP) in assessing the effects of voice disorders on patients' quality of life: Validity and reliability of the Finnish version of VAPP. *Logoped Phoniatr Vocol* 2007; 32: 3–8.
132. Titze IR, Winholtz WS. Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *J Speech Hear Res* 1993; 36: 1177–1191.
133. Švec JG, Granqvist S. Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *Am J Speech Lang Pathol* 2010; 19: 356–368.
134. Toivonen R. Intelligent Speech Analyser™. <http://www.sci.fi/~pitchsys/>, Viitattu 30.7.2013.
135. Granqvist S. Computer methods for voice analysis. Kungliga Tekniska Högskolan, Department of Speech, Music and Hearing, Stockholm. <http://www.speech.kth.se/~svante/thesis.html>. Viitattu 27.4.2013.
136. Smolander S, Huttunen K. Voice problems experienced by Finnish comprehensive school teachers and realization of occupational health care. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006; 31: 166–171.
137. Ohlsson A, Andersson EM, Södersten M, Simberg S, Barregård L. Prevalence of voice symptoms and risk factors in teacher students. *J Voice* 2012; 26: 629–634.
138. Hunter EJ, Titze IR. Quantifying vocal fatigue recovery: Dynamic vocal recovery trajectories after a vocal loading exercise. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2009; 118: 449–460.
139. Wallenius MA. The interaction of noise stress and personal project stress on subjective health. *J Environ Psychol* 2004; 24: 167–177.
140. Maxwell LE, Evans GW. The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *J Environ Psychol* 2000; 20: 91–97.
141. Sala E, Hellgren U, Ketola R, Laine A, Olkinuora P, Rantala L, Sihvo M. Ääniergonomian kartoitusopas – työpaikalla tehtävää ääniergonomista selvitystä varten. Helsinki: Työterveyslaitos; 2009.
142. Yiu EM. Impact and prevention of voice problems in the teaching profession: Embracing the consumers' view. *J Voice* 2002; 16: 215–229.
143. Sulter A, Wit H. Glottal volume velocity waveform characteristics in subjects with and without vocal training, related to gender, sound intensity, fundamental frequency, and age. *J Acoust Soc Am* 1996; 100: 3360–3373.
144. Sapienza CM, Stathopoulos ET, Dromey C. Approximations of open quotient and speed quotient from glottal airflow and EGG waveforms: Effects of measurement criteria and sound pressure level. *J Voice* 1998; 12: 31–43.
145. Geneid A, Rönkkö M, Voutilainen R, Airaksinen L, Toskala E, Alku P, Vilkmann E. Detecting inaudible vocal organ changes through glottal inverse filtering. *J Voice* 2012; 26: 154–163.
146. Lebowitz A, Baken RJ. Correlates of the belt voice: A broader examination. *J Voice* 2011; 25: 159–165.
147. Lavie N, Hirst A, de Fockert JW, Viding E. Load theory of selective attention and cognitive control. *J Exp Psychol* 2004; 133: 339–354.
148. Cartwright-Finch U, Lavie N. The role of perceptual load in inattention blindness. *Cognition* 2007; 102: 321–340.

149. de Krom G. Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *J Speech Lang Hear Res* 1994; 37: 985–1000.
150. Parsa V, Jamieson DG. Acoustic discrimination of pathological voice: Sustained vowels versus continuous speech. *J Speech Lang Hear Res* 2001; 44: 327–339.
151. Awan SN, Roy N, Dromey C. Estimating dysphonia severity in continuous speech: Application of multi-parameter spectral/cepstral model. *Clin Linguist Phon* 2009; 23: 825–841.
152. Horáček J, Laukkanen A, Švec J. Closed quotient as an estimate of impact stress: A computer modeling study. In proceedings AQL 2006: Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research, October 6–7, 2006, Groningen, the Netherlands [CD-ROM] (pp. 1–8) Groningen, the Netherlands: Groningen Voice Research Lab, University of Groningen.
153. Alku P, Vintturi J, Vilkmann E. Evidence of the significance of secondary excitations of the vocal tract for vocal intensity. *Folia Phoniatr Logop* 2001; 53: 185–197.



# LIITTEET

LIITE 1. Äänenkäyttökysely lastentarhanopettajille

LIITE 2. Kirje lastentarhanopettajille

LIITE 3. Tiedote äänitutkimukseen osallistuville lastentarhanopettajille

LIITE 4. Tutkittavan suostumus

LIITE 5. Rekisteriseloste

LIITE 6. Voice Activity and Participation Profile (VAPP) -lomake

LIITE 7. Tutkimuksessa käytetty luentateksti





## Äänenkäyttökysely lastentarhanopettajille

E-lomake täytetään hiirtä klikkaamalla ja joihinkin osioihin on mahdollisuus antaa kirjoitettu vastaus, näissä kohdissa tekstiä mahtuu sarakkeeseen enemmän kuin näkymässä on esillä ja nuolinäppäimellä pääsee liikkumaan sarakkeessa eteen- ja taaksepäin. Lomakkeen täyttämiseen menee aikaa noin 10 minuuttia. Voit valita vastausvaihtoehtoista omaa tilannettasi parhaiten kuvaavan vaihtoehdon klikkaamalla painiketta (ympyrää tai neliötä). Vastaa huolellisesti kaikkiin kysymyksiin.

Puhumisaikojen arviointi on hankalaa, mutta toivomme, että kohdissa, joissa pyydetään määrittelemään esimerkiksi toimintojen viikkotuntimääriä, arvioitte käytettävän ajan puolen tunnin tarkkuudella, esim. 2,5 h (ei siis 2–3 tuntia). Lomakkeen lopussa on ”Valmis”-painike, painamalla sitä lähetät täyttämäsi lomakkeen tutkimuksen tekijälle. Onnistuneesta lähettämisestä tulee kuittausviesti näytölle. Tämän jälkeen tyhjentyneen lomakeikkunan voi sulkea ja palata takaisin sähköpostiin.

### Henkilötiedot

Sukunimi

Etunimi

Ikä

Henkilötunnus

	nainen	mies
Sukupuoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Päiväkoti

Päiväkotiryhmän nimi

Päiväkodin osoite

Puheinnumero

Sähköpostiosoite

## Työn kuvaa koskevia tietoja

Olen valmistunut lastentarhanopettajaksi/sosionomiksi vuonna

Oppilaitos, josta valmistuin

Olen toiminut lastentarhanopettajana vuotta/kuukautta

Työsuhteeni on  vakituinen  
 määräaikainen  
 sijaisuus

Työolosuhteeni vaihtuvat jatkuvasti  ei  kyllä

Opettamani ryhmän ikä:  alle 3 vuotta  
 3–5 vuotta  
 esiopetusryhmä  
 jokin muu

Jokin muu ikä, mikä?

Päiväkotiryhmäni lasten lukumäärä keskimäärin:

### Tavallisimpana työpäivänäni työhöni kuuluu

Lauluhetkiä keskimäärin (kertaan päivässä):

Lauluhetkiä yhteensä keskimäärin noin (tuntia viikossa):

Lukuhetkiä keskimäärin (kertaan päivässä):

Lukuhetkiä yhteensä keskimäärin noin (tuntia viikossa):

Lukuhetkiä keskimäärin (kertaan päivässä):

Opettamista tai leikin/askartelun ohjausta yhteensä keskimäärin noin (tuntia viikossa):

Ulkonaoloa lasten kanssa keskimäärin (tuntia viikossa):

Työhön kuuluva keskustelu työtiimin/työyhteisön jäsenten kanssa työnteon lomassa keskimäärin (tuntia viikossa):

Perheiden kanssa keskustelua keskimäärin (tuntia viikossa):

Puhumista kokonaisuudessaan keskimäärin (tuntia päivässä):

Työpäiväni kestää keskimäärin (tuntia päivässä):

**Haittaavatko** seuraavat seikat **äänenkäyttöäsi** (siinä tilassa, jossa yleensä työskentelet)?

Tila	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohtalaisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Liian suuri tila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Liian ahdas tila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Käikuisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meluisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulkona tapahtuva ohjaus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu tilaan liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Taustamelu	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohtalaisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Oheislaitteiden taustamelu (ilmastointi, opetusvälineet, vaatehuolto jne.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasten aiheuttama taustamelu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kalusteiden aiheuttama taustamelu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oman ryhmän ulkopuolelta tuleva melu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulkoa tuleva taustamelu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu taustameluun liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Huoneilma	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohtalaisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Kuivuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sopimaton lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ilman epäpuhtaudet ja pöly	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hajut ja tuoksut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu huoneilmaan liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Ergonomia	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohtalaisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Epätarkoituksenmukaiset kalusteet/laitteet (omiin mittasuhteisiin sopimattomat)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nostelu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kumartelu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pitkäkestoinen asentoa ylläpitävä (staattinen) jännitys esim. käsien kannattelu, pitkällinen samassa jännittyneessä asennossa työskentely	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muut puhumisen kannalta hankalat työasennot (esim. pään kierto tai eteen taivutus)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu ergonomiaan liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

## Haittaavatko seuraavat seikat äänenkäyttöäsi (siinä tilassa, jossa yleensä työskentelet)?

Ryhmä	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohta- laisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Liian suuri lapsimäärä ohjaustilanteessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Liian suuri lasten ikäero ryhmässä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muuten epäyhtenäinen lapsiryhmä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rauhattomuus ryhmässä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erytishuomiota vaativat lapset	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu ryhmään liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Äänessäoloaika	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohta- laisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Työhön kuuluva laulun määrä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työhön kuuluva ääneen lukemisen määrä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työhön kuuluva suullisen opetuksen ja ohjauksen määrä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Voimistetun äänenkäytön määrä (esim. järjestyksen ylläpitäminen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työhön kuuluva kokonaispuhemäärä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu äänessäoloaikaan liittyvä seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Psykososiaaliset tekijät	Ei lainkaan	Melko vähän	Kohta- laisesti	Melko paljon	Erittäin paljon
Organisaation aiheuttamat paineet (esim. työn määrä, välilliset työtehtävät jne.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työyhteisön/ihmisuhteiden aiheuttamat paineet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kiire työssä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työn henkinen kuormittavuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työn ulkopuoliset tekijät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muu psykososiaalinen seikka (jos vastasit muu, mikä?):

Alla on joukko äänioireita koskevia kysymyksiä. Ensimmäisessä taulukossa pyydetään määrittelemään äänioireen/tunteksen yleisyys ja toisessa taulukossa äänioireen/tunteksen vaikeusaste. Ole hyvä ja valitse molemmista taulukoista kustakin kysymyksestä se vaihtoehto, joka kuvaa Sinua parhaiten.

**Merkitse tähän taulukkoon äänioireesi/tunteksesi yleisyys**  
 0=Ei koskaan, 2=Joskus/muutaman kerran vuodessa, 4=Melko usein/kerran kuukaudessa, 6=Hyvin usein/lähes joka viikko

	0	1	2	3	4	5	6
1. Ääneni rasittuu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Ääneni on käheä ilman että olen vilustunut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Minulla on palan ja/tai ilman tunnetta kurkussa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Tunnen kurkussani ärsytystä tai kutinaa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Tunnen kurkussani ja kaulan alueella väsymystä ja/tai kipua puhumisen jälkeen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Tunnen kurkussani ja kaulan alueella väsymystä ja/tai kipua laulamisen jälkeen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Ääneni katkeilee tai pettää puhuessani	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Ääneni katoaa kokonaan ilman että olen vilustunut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Työpäivän jälkeen ääneni on niin väsynyt, että se häiritsee sosiaalista kanssakäymistä/perheen parissa olemista/osallistumista äänillisesti vaativiin harrastuksiin	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Merkitse tähän taulukkoon äänioireesi/tunteksesi vaikeusaste**  
 0=Ei oireita, 2=Oireet lieviä, 4=Oireet kohtalaisia, 6=Oireet voimakkaita

	0	1	2	3	4	5	6
1. Ääneni rasittuu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Ääneni on käheä ilman että olen vilustunut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Minulla on palan ja/tai ilman tunnetta kurkussa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Tunnen kurkussani ärsytystä tai kutinaa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Tunnen kurkussani ja kaulan alueella väsymystä ja/tai kipua puhumisen jälkeen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Tunnen kurkussani ja kaulan alueella väsymystä ja/tai kipua laulamisen jälkeen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Ääneni katkeilee tai pettää puhuessani	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Ääneni katoaa kokonaan ilman että olen vilustunut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Työpäivän jälkeen ääneni on niin väsynyt, että se häiritsee sosiaalista kanssakäymistä/perheen parissa olemista/osallistumista äänillisesti vaativiin harrastuksiin	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Alla on esitetty joukko ääntä ja äänenkäyttöä koskevia kysymyksiä. Ole hyvä ja valitse se vaihtoehto, joka kuvaa Sinua parhaiten.

**Äänelliset voimavarani**

Ääneni on omasta mielestäni  erittäin huono  
 huono  
 melko huono  
 melko hyvä  
 hyvä  
 erittäin hyvä  
 en tiedä

Ääneni kantaa mielestäni yleensä  erittäin huonosti  
 huonosti  
 melko huonosti  
 melko hyvin  
 hyvin  
 erittäin hyvin  
 en tiedä

Ääneni kestää työhön liittyvää kuormitusta (puhumista, laulamista)  erittäin huonosti  
 huonosti  
 melko huonosti  
 melko hyvin  
 hyvin  
 erittäin hyvin  
 en tiedä

- Kun ääneni väsy, se palautuu seuraavaan aamuun mennessä
- erittäin huonosti
  - huonosti
  - melko huonosti
  - melko hyvin
  - hyvin
  - erittäin hyvin
  - en tiedä

#### Ääneen vaikuttavia taustatekijöitä

Olen saanut äänenkäytön koulutusta puheessa \_\_\_\_\_

- lastentarhanopettajaksi opiskelun yhteydessä
- kurssiluontoisesti
- työpaikkakoulutuksena
- harrastukseen liittyen
- en ole saanut koulutusta

Puheeseen liittyvä äänenkäytön koulutus on kestänyt \_\_\_\_\_

- muutaman tunnin
- muutaman päivän
- yhteensä viikkoja
- koulutus on jatkuvaa ja säännöllistä

#### Ääneen vaikuttavia taustatekijöitä

Harrastan laulamista  ei  kyllä

Millaista laulamista harrastat? \_\_\_\_\_

- Kuorolaulua
- Ohjattua yksinlaulua
- Omaksi iloksi laulamista, ilman ohjausta
- Karaoke-laulua
- Muuta

Jos harrastat muuta laulamista, mitä?

Olen saanut koulutusta laulussa \_\_\_\_\_

- kansalaisopistossa
- kuorossa
- musiikkiopistossa
- konservatoriossa
- ammattikorkeakoulussa
- Sibelius-Akatemiassa
- jossain muualla

Jos olet saanut koulutusta laulussa muualla, missä?

Laulukoulutukseni on kestänyt \_\_\_\_\_

- muutaman tunnin
- muutaman päivän
- yhteensä viikkoja
- yhteensä vuosia
- koulutus on jatkuvaa ja säännöllistä

Tällä hetkellä jatkuvan koulutuksen viikotuntimäärä, esim. 1 tunti/viikko

Harrastan näyttelemistä  ei  kyllä

Harrastan urheiluvalmennusta  ei  kyllä

Jokin muu äänellisesti kuormittava oma tai läheiseni harrastus (esim. lapsen urheilusuorituksen kannustus), mikä?

Montako tuntia näihin kuluu viikossa?

Puhun vapaa-aikanani paljon voimakkaalla äänellä  ei  kyllä

Tupakointi  En ole koskaan polttanut tupakkaa  
 Olen polttanut aiemmin, mutta lopettanut  
 Tupakoin säännöllisesti

Milloin olet lopettanut tupakoinnin?

Jos tupakoit säännöllisesti, montako savuketta/sikaria/piipullista päivässä (kpl)?



## Sairastan

Sairastan allergista nuhaa  ei  
 kyllä

Sairastan astmaa  ei  
 kyllä

Sairastan toistuvia flunssia (4 tai useamman kerran vuodessa)  ei  
 kyllä

Minulla on todettu refluksisairaus  ei  
 kyllä

Minulla on usein närästystä, happamia röyhtäyksiä, rintalastan takan poltetta, aamulla kurkku kipeä ja/tai ääni käheä  ei  
 kyllä

Minulla on lääkitys allergiaan  ei  
 kyllä

Allergialääkkeen nimi

Minulla on lääkitys astmaan  ei  
 kyllä

Astmalääkkeen nimi

Minulla on lääkitys närästykseen  ei  
 kyllä

Närästyslääkkeen nimi

Minulla on lääkitys johonkin muuhun  ei  
 kyllä

Lääkitys johonkin muuhun, mihin?

Minulla on todettu kuulovika  ei  
 kyllä

Minusta tuntuu, että kuulen normaalia huonommin  ei  
 kyllä

Kärsin tinnituksesta  ei  
 kyllä

Puren hampaita yhteen/narskuttelen öisin/tunnen leuassani jäykkyyttä aamuisin  ei  
 kyllä

Minulla on usein päänsärkyä  ei  
 kyllä

Minulla on säännöllisesti niska-hartiavaivoja  ei  
 kyllä

Olen saanut puheterapeutin antamaa ääniterapiaa  ei  
 kyllä

Jos olet saanut puheterapeutin antamaa ääniterapiaa, milloin?

Jos olet saanut puheterapeutin antamaa ääniterapiaa, kuinka monta kertaa?

**Kiitos, vastauksesi käsitellään luottamuksellisesti!**

Tietojen lähetys

Sivu 5 / 5

Hyvä Tampereen kaupungin päiväkodissa työskentelevä lastentarhanopettaja!

Täyttämällä tämän äänikyselylomakkeen netissä toukokuun aikana voit ilmoittautua tutkimukseen, jossa pyritään selvittämään lastentarhanopettajien äänen kuormittumista ja kuormittumisen syitä työpäivän aikana. Lupa tutkimukseen on saatu päivähoidon johtaja Leena Viitasaarelta. Tutkimuksen rahoittaa Suomen Akatemia. Toteuttajana ovat Tampereen yliopiston puheopin laitos ja Helsingin yliopistollisen sairaalan foniatrian klinikka ja tutkimus toteutetaan Tampereella ja Helsingissä. Tutkimuksen vastuuhenkilöt ovat professori Anne-Maria Laukkanen Tampereen yliopistosta ja professori Erkki Vilkman Helsingin Yliopistollisesta sairaalasta.

Kyselytutkimukseen vastanneille tehdään syksyllä 2009 foniatriin (ääni- ja puhehäiriöihin erikoistunut lääkäri) tarkastus stroboskoopilla ja äänitetään luentanäytteet (noin 2 minuuttia luentaa) sekä tehdään kaulan alueelta EGG-laitteen avulla äänihuulien kontaktin vaihtelua mittaava tutkimus (tutkimukset eivät kestä kauan eivätkä ne ole vaarallisia eivätkä kivuliaita, mutta joillekin henkilöille stroboskoopitutkimus voi aiheuttaa gag-reaktion). Tutkimukset tehdään työpaikallenne ja ne vievät yhteensä aikaa noin 30 minuuttia.

Opettajien ääntä on tutkittu paljon ympäri maailmaa, mutta lastentarhanopettajien ääni on jäänyt vähemmälle huomiolle. Lastentarhanopettajat puhuvat työssään paljon ja työskentelyolosuhteet päiväkodeissa ovat äänentuoton kannalta haastavat. Äänen väsyminen työpäivän aikana on lastentarhanopettajille tuttua ja riski sairastua äänihäiriöihin on lastentarhanopettajien ammattikunnalla selvästi kasvanut. Nyt alkavan tutkimuksen taustalla on tarve parantaa äänityöntekijöiden työhyvinvointia.

Kaikilla tutkimukseen osallistuneilla on mahdollisuus saada ryhmämuotoista äänikoulutusta Tampereen yliopiston puheopinlaitoksen vokologian (= äänen tutkimus ja harjoittaminen) syventävän vaiheen opiskelijoilta. Tutkimuksen vastauksia ja muita tuloksia käsitellään luottamuksellisesti. Halukkaat voivat saada henkilökohtaiset äänianalyysinsä tulokset itselleen kirjeitse tai jaettavaksi palautetilaisuudessa. Tutkimuksen tuloksia tullaan raportoimaan keskiarvotasolla lastentarhanopettajien ammattilehdissä ja kansainvälisissä äänitutkimusalan lehdissä. Mikäli tutkimukseen osallistuu ennakoitua enemmän lastentarhanopettajia, toiseen vaiheeseen osallistuvat

päiväkodit ja lastentarhanopettajat valitaan arpomalla. Tutkimukseen osallistuvalla on mahdollisuus missä tahansa tutkimuksen vaiheessa vetäytyä tutkimuksesta.

Kyselytutkimuksen tarkat esitiedot ovat välttämättömiä foniatriin tarkastuksen ja tutkimuksen aikana henkilökohtaisen yhteydenpidon mahdollistamiseksi. Tutkimuksessa kerättyjä henkilötunnisteita säilytetään ja käsitellään vuonna 1999 säädetyn henkilötietolain mukaisesti. Tutkimuksen 2. vaiheesta informoidaan tutkimukseen osallistujia henkilökohtaisella kirjeellä ja/tai puhelinsoitolla. Mikäli tutkimus herätti kysymyksiä, voitte ottaa yhteyttä allekirjoittaneeseen.

Alla olevaa linkkiä hiirellä napsauttamalla pääset vastaamaan netissä olevaan äänikyselyyn. (Jos linkki ei aukea suoraan, paina ctrl-näppäintä niin linkki aktivoituu hiirellä klikattavaksi).

<https://elomake3.uta.fi/lomakkeet/1444/lomake.html>

Tutkimusryhmän puolesta ystävällisin terveisin,

Elina Kankare

Tutkija

Tampereen yliopisto, puheopin laitos

Kalevantie 4, 33014 Tampereen yliopisto

03 3551 4058 tai 040 589 3300

[elina.kankare@uta.fi](mailto:elina.kankare@uta.fi)

## Tiedote äänitutkimukseen osallistuville lastentarhanopettajille

### Tutkijoiden yhteystiedot

Tutkittavat voivat koska tahansa olla yhteydessä keneen tahansa tutkimusryhmän jäsenistä halutessaan lisätietoja tutkimuksesta. Ensisijaisena yhteyshenkilönä toimii Elina Kankare.

### Tutkimuksen vastuuhenkilöt

Professori Anne-Maria Laukkanen, Tampereen yliopisto, puheopin laitos, puh. 03 355 172 49 tai 050 363 5152, Anne-Maria.Laukkanen@uta.fi  
Erkki Vilkmán, LT, Helsingin yliopistollinen sairaala, Foniatrian klinikka, Erkki.Vilkmán@hus.fi

### Muut tukijat

Elina Kankare, FM, Tampereen yliopisto, puheopin laitos, puh. 03 355 14058 tai 040 589 3300, elina.kankare@uta.fi  
Ahmed Geneid, MD, Helsingin yliopistollinen sairaala, Foniatrian klinikka Ahmed.Geneid@hus.fi  
Peter Murphy, Ph.D., University of Limerich, Ireland, Peter.Murphy@ul.ie

### Tutkimukseen osallistuvat henkilöt

Tampereen ja Helsingin kaupunkien lastentarhanopettajat. EGG-mittauksissa ja foniatriin tutkimuksiin valittiin arpomalla yhteensä sata lastentarhanopettajaa.

### Tutkimusaineiston säilyttäminen

Tutkimuksessa kerättävän materiaalin henkilötunnistetiedot häivytetään numerokoodiksi heti tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa. Tutkija säilyttää koodiavaimen mahdollisia henkilökohtaisia yhteydenottoja varten. Kerätty aineisto säilytetään lukitussa kaapissa Tampereen yliopiston puheopin laitoksella. Sähköiset tiedot ovat laitoksen omistamalla tietokoneella tutkijan käyttäjätunnuksen ja salasanan takana.

Kerätty tutkimusmateriaali (nauhoitukset, foniatriin lausunnot, analyysitulokset) säilytetään Tampereen yliopiston puheopin laitoksen arkistossa (henkilötietolaki luku 7, 34–35 §). Tunnistetiedot säilytetään mahdollisesti toteutuvaa seurantatutkimusta varten 10 vuotta, ja sen jälkeen ne hävitetään silppuamalla.

### Tutkimuksessa kerättävien tulosten julkaiseminen

Tutkimuksen tulokset julkaistaan ainoastaan keskiarvotasolla, jolloin kenenkään tutkimukseen osallistuvan henkilön yksilölliset tulokset eivät tule missään vaiheessa julkisiksi. Tutkimus muodostaa Elina Kankareen väitöskirjatyon. Tutkimuksen osatuloksia tullaan

raportoimaan kansainvälisissä äänentutkimusalan lehdissä, kotimaisissa ja ulkomaisissa äänentutkimusalan konferensseissa sekä päiväkotityöntekijöiden ammattilehdissä.

### Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tavoitteena on lisätä äänityöntekijöiden työhyvinvointia. Tutkimuksessa selvitetään elektroglossografian (EGG) käyttöä äänentuoton arvioimisessa sekä ääneen liittyvien subjektiivisten tuntemusten kartoittamista helposti täytettävän päiväseurannan avulla.

### Menetelmät

#### 1. vaihe – äänikysely

Tutkimukseen ilmoittautuminen ja äänikyselyn täyttäminen tapahtui e-lomakkeella nettissä toukokuussa 2009.

#### 2. vaihe – mittaustutkimukset

Kenttätutkimus päiväkodeissa syys–lokakuussa 2009.

1. Lastentarhanopettajat täyttävät työpaikalle lähetetyn VAPP-lomakeen (Voice Activity and Participation Profile) omatoimisesti ennen mittauksia.
2. Tutkija tallentaa lastentarhanopettajilta noin 1 min mittaisen luentanäytteen siten, että kuulokkeiden kautta lukija altistetaan päiväkotiolosuhteissa nauhoitetulle taustamelulle.
3. Äänihuulivärähtelyn tutkiminen EGG-laitteella tavutoistotehtävässä ja puheessa. (EGG-mittauksessa asetetaan kaulalle kevyt panta ja laite rekisteröi äänihuulivärähtelyn. Tutkimus ei ole vaarallinen, kivulias eikä yleisesti ottaen muutenkaan epämiellyttäväksi koettu).
4. Äänentuoton subjektiivisten tuntemusten arviointi nopeasti täytettävällä VAS-lomakkeella aamulla ennen työpäivän alkua, keskellä päivää ja työpäivän päätteeksi.
5. Foniatri (ääni- ja puhehäiriöihin erikoistunut lääkäri) tekee foniatrisen lääkärintarkastuksen, johon kuuluu laryngoskopiautkimus (äänihuulten tilanne kuvataan suuhun asetettavan skoopin kautta). Tutkimus ei kestä kauan eikä ole vaarallinen eikä kivulias, mutta voi joillekuille aiheuttaa oksennusrefleksiä.

Tutkittavan saamat hyödyt ja hänelle aiheutuvat haitat

### Hyödyt:

Tutkittavat voivat hyödyntää tutkijoiden laajaa äänentutkimuksen kokemusta ja heillä on mahdollisuus saada tietoa omasta äänentuottoelimestään. Tutkimukseen osallistuvilla järjestetään palautetilaisuus, jossa kerrotaan tutkimuksen tuloksista keskiarvotasolla. Halukkailla on mahdollisuus saada kirjallisesti tai puhelimesta henkilökohtaista palautetta ja analysoitua tutkimustietoa omasta äänestään. Sopimuksen mukaan tutkimukseen osallistuvilla on mahdollisuus myös saada ryhmämuotoista äänikoulutusta Tampereen yliopiston puheopin laitoksen vokologian (= äänentutkimus ja harjoittaminen) syventävän vaiheen opiskelijoilta.

**Haitat:**

Tutkittavat joutuvat käyttämään työaikaansa tutkimukseen osallistumiseen. Herkät tutkittavat voivat kokea laryngoskopia-tutkimuksen epämiellyttävänä.

**Tutkittavan velvollisuudet**

Tutkittava täyttää rehellisesti ja tarkasti tutkimukseen liittyvät kyselylomakkeet. Tutkittavan tulee kertoa rehellisesti itseään koskevista terveydellisistä tai muista tekijöistä, jotka saattavat vaikuttaa tutkimuksen tekemiseen.

**Tutkittavan oikeudet**

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Tutkittavalla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mistä tahansa mittauksesta tai keskeyttää testit ilman mitään seuraamuksia tai perusteluja. Tutkimuksessa kerätty tunnistetiedoin varustettu tieto tulee ainoastaan tutkittavan ja tutkimusryhmän käyttöön. Tutkimuksen tulokset raportoidaan niin, ettei niistä ole yksittäinen henkilö tunnistettavissa. Kaikki tutkimuksessa kerätty tieto säilytetään henkilötietolain mukaisesti.



## TUTKITTAVAN SUOSTUMUS

Elektroglottografia ja subjektiiviset tuntemukset äänen kuormittumisen tutkimuksessa

Tutkimushenkilöinä lastentarhanopettajat

Minua on pyydetty osallistumaan yllämainittuun tieteelliseen tutkimukseen. Olen saanut tutkimuksesta kirjallista tietoa ja minulla on ollut mahdollisuus esittää siitä tutkijoille kysymyksiä kirjallisesti tai suullisesti. Olen perehtynyt tutkimuksen tarkoitukseen ja siinä käytettäviin menetelmiin, tutkimuksen hyötyihin ja haittoihin sekä tutkittavan oikeuksiin ja velvollisuuksiin.

Ymmärrän, että tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista ja minulla on oikeus kieltäytyä siitä sekä perua suostumukseni milloin tahansa syytä ilmoittamatta. Ymmärrän myös, että kaikki tutkimuksesta kerättävä tieto on luottamuksellista ja tutkimuksen tulokset esitellään tutkittavan ryhmän keskiarvolukuina.

Tampereella \_\_\_\_ 2009

Tampereella \_\_\_\_ 2009

**Suostun osallistumaan tutkimukseen:**

**Suostumuksen vastaanottaja:**

\_\_\_\_\_

tutkittavan allekirjoitus

\_\_\_\_\_

tutkijan allekirjoitus

Elina Kankare

\_\_\_\_\_

nimen selvennys





## Rekisteriseloste

- Päiväys: Tampereella 27.4.2009
- Rekisterin pitäjä: Tampereen yliopiston puheopin laitos  
 Tutkija Elina Kankare puh. 03 3551 4058 tai 040 589 33 00  
 elina.kankare@uta.fi
- Henkilötietojen käsittelyn tarkoitus: Tieteellinen väitöstyötason tutkimus, tutkimuksen vastuujohtaja professori Anne-Maria Laukkanen Tampereen yliopisto puheopin laitos puh. 03 3551 7249, anne-maria.laukkanen@uta.fi
- Rekisteröityjen ryhmä: Tutkimukseen osallistuvat lastentarhanopettajat Tampereen kaupungin ja Helsingin kaupungin lasten päivähoidosta
- Tietoryhmät: Henkilötunnus, nimi, osoitetiedot, puhelinnumero, sähköpostiosoite, ääninäytteet, foniatriin lausunto kurkunpään statuksesta, subjektiiviset tuntemukset omasta äänentuotosta ja äänenkäyttöön vaikuttavista tekijöistä
- Tietojen luovuttaminen: Tutkimushenkilöt antavat kirjallisen suostumuksensa tutkimuksessa kerättyjen tietojen ja analyysien käyttöön tutkimuksellisiin tarkoituksiin. Rekisteritietoja käyttävät vain tutkimuksessa mukana olevat tutkijat eikä tietoja luovuteta ulkopuolisille.
- Rekisterin suojauksen periaatteet: Tutkimuksessa kerättävän materiaalin henkilötunnistetiedot häivytetään numerokoodeiksi heti tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa. Tutkija säilyttää koodiavaimen mahdollisia henkilökohtaisia yhteydenottoja varten. Kerätty aineisto säilytetään lukitussa kaapissa Tampereen yliopiston puheopin laitoksella. Sähköiset tiedot ovat laitoksen omistamalla tietokoneella tutkijan käyttäjätunnuksen ja salasanan takana.

Kerätty tutkimusmateriaali (nauhoitukset, foniatriin lausunnot, analyysitulokset) säilytetään Tampereen yliopiston puheopin laitoksen arkistossa (henkilötietolaki luku 7, 34–35 §). Tunnistetiedot säilytetään mahdollisesti toteutuvaa seuranta-tutkimusta varten 10 vuotta, ja sen jälkeen ne hävitetään silp-puamalla.

Allekirjoitus ja  
nimen selvennys

---

Elina Kankare

## Voice Activity and Participation Profile (VAPP)

Ma E, Yiu E. Assessing quality of life in dysphonic individuals. Suomen kielelle soveltanut Marketta Sihvo.

Nimi: \_\_\_\_\_ pvm \_\_\_\_\_ kH \_\_\_\_\_

**POTILAAN OMAT KOKEMUKSET ÄÄNIHÄIRIÖSTÄÄN**

Vastaa panemalla viivaan rasti (X) sille kohdalle, joka vastaa kokemistasi.

Rasti vasemmalla merkitsee, että ääni on aina hyvä,

rasti oikealla merkitsee, että äänesi on koko ajan huono.

1. Millainen äänesi on nyt?  
normaali \_\_\_\_\_ hyvin huono

**ÄÄNIHÄIRIÖN VAIKUTUS TYÖNTEKOON**

2. Vaikuttaako äänihäiriö työhösi?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
3. Oletko ajatellut viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana työn vaihtamista ääniongelmasi takia?  
en \_\_\_\_\_ koko ajan
4. Lisääkö ääniongelma työpaineesi?  
ei \_\_\_\_\_ koko ajan
5. Onko äänesi huonous vaikuttanut tulevaisuuden urasuunnitelmiisi viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana?  
ei \_\_\_\_\_ koko ajan

## Voice Activity and Participation Profile (VAPP)

Ma E, Yiu E. Assessing quality of life in dysphonic individuals. Suomen kielelle sovellettu Marketta Sihvo.

---

### ÄÄNIHÄIRIÖN VAIKUTUS PÄIVITTÄISEEN KOMMUNIKOINTIIN

6. Pyydetäänkö sinua äänesi huonouden takia toistamaan, mitä sanoit?  
ei \_\_\_\_\_ hyvin usein
7. Oletko kertakaan viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana huonon äänesi takia vältellyt puhumasta toisille?  
en \_\_\_\_\_ hyvin usein
8. Onko ihmisten äänesi huonouden takia vaikea ymmärtää puhettasi puhelimesta?  
ei \_\_\_\_\_ hyvin usein
9. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana äänesi huonouden takia vähentänyt puhelimen käyttöä?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
10. Vaikuttaako äänihäiriösi kommunikointiisi hiljaisessa ympäristössä?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
11. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana vältellyt äänesi huonouden takia keskustelua hiljaisessa ympäristössä?  
en \_\_\_\_\_ hyvin usein
12. Vaikuttaako äänihäiriösi kommunikointiisi meluisassa ympäristössä?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
13. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana vältellyt äänesi huonouden takia keskustelua meluisassa ympäristössä?  
en \_\_\_\_\_ hyvin usein
14. Vaikuttaako äänihäiriösi viestisi ymmärrettävyyteen ryhmätilanteissa?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
15. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana äänesi huonouden takia vältellyt ryhmäkeskusteluja  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
16. Vaikuttaako ääniongelma viestisi perille menoon?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
17. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana koskaan vältellyt puhumista äänesi huonouden takia?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin

## Voice Activity and Participation Profile (VAPP)

Ma E, Yiu E. Assessing quality of life in dysphonic individuals. Suomen kielelle soveltanut Marketta Sihvo.

---

### ÄÄNIHÄIRIÖN VAIKUTUS SOSIAALISEEN KOMMUNIKOINTIIN

18. Vaikuttaako ääniongelma sosiaaliseen aktiivisuuteesi?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
19. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana vältellyt sosiaalista toimintaa äänesi huonouden takia?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
20. Ärsyttääkö ääniongelmasi perhettäsi, ystäviäsi tai työtovereitasi?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
21. Oletko viimeksi kuluneen puolen vuoden aikana äänesi huonouden takia vältellyt keskusteluja perheesi, ystäviäsi tai työtovereidesi kanssa?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin

### ÄÄNIHÄIRIÖN VAIKUTUS TUNTEISIIN

22. Oletko ääniongelman takia hermostunut?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
23. Oletko ääniongelman takia ahdistunut?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
24. Onko itsetuntosi ääniongelman takia huono?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
25. Oletko ääniongelman takia huolestunut?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
26. Oletko ääniongelman takia tyytymätön?  
en \_\_\_\_\_ suuressa määrin
27. Vaikuttaako ääniongelma persoonallisuuteesi?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin
28. Vaikuttaako ääniongelma kuvaan, joka sinulla on itsestäsi?  
ei \_\_\_\_\_ suuressa määrin

## TAMPEREEN YLIOPISTO

Puheen- ja äänentutkimuksen laboratorio vakiotekstit

William Saroyan: Ihmisiä elämän näyttämöllä

August Strindberg: Hemsöläiset

Tekstit mukailtu suomennoksesta niin, että niissä ei ole s-äänteitä ja molempiin teksteihin on lisätty yksi lause, jossa yhdessä sanassa kahden klusiilin keskellä on pitkä /a:/-vokaali.

Tiedän miltä tuntuu, mutta jokainen ihminenhän on parempi kuin joku toinen, eikä niin hyvä kuin joku toinen. Terranova on nokkelampi kuin Hubert, mutta Hubert on omalla tavallaan etevä hänkin.

Hyvällä maaperällä jokainen ihminen kelpaa käyttöön yhtä hyvin kuin joku toinenkin, mutta jokainen on vapaa käyttämään vapauttaan niin kuin tahtoo. Koillinen tai kaakko, määränpäällä ei ole väliä. Minä haluan nähdä, että minun poikani ja tyttöni pyrkivät elämään hyvin ja tekemään hyvää.

Miltä minun tyttöni ja poikani näyttävät ei merkinne minulle mitään, hyvät tai huonot tavat eivät johda minua harhaan. Minä haluan vain tietää, mitä lopultakin on ulkokuoren takana. Onko poikani pohatta vai kerjäläinen, on yhdentekevää, kunhan hän vain on lämmin ja inhimillinen.

Niin valkeni hääpäivä. Kaikki olivat pahalla tuulella kovan rehkinän jälkeen. Kaappikello näytti puolta kolmea, ja kun vieraat tulivat liian varhain, kukaan ei huomionnut heitä, vaan he hortoilivat noloina pitkin mäkiä kuin kuokkimaan tullessaan.

Tupa oli lehvitetty ja kaikki huonekalut kannettu pihalle piiloon niin että näytti hyvin tyhjältä. Pihalla oli lipputanko, johon oli vedetty tullilippu. Tuvan oven yläpuolella oli puolukanvarpuja ja päivänkakkaroita ja oven kummallakin puolella oli koivuja. Ikkunoihin oli ladottu värikkäimmillä nimilapuilla laputettuja pulloja, niin että ne näkyivät pihalle kuin viinakauppa. Oven molemmilla puolilla vartioi kuudenkymmenen kannun tynnyri kuin pari järeää karhua, ja niiden taa oli pinottu röykkiöihin olutpulloja. Näky oli komea.



# ALKUPERÄISET JULKAISUT





# Subjective Evaluation of Voice and Working Conditions and Phoniatic Examination in Kindergarten Teachers

E. Kankare<sup>a</sup> A. Geneid<sup>b, c</sup> A.-M. Laukkanen<sup>a</sup> E. Vilkmán<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Speech and Voice Research Laboratory, School of Education, University of Tampere, Tampere, and

<sup>b</sup>Department of Otolaryngology and Phoniatics, Helsinki University Central Hospital, Helsinki, Finland;

<sup>c</sup>Department of Otolaryngology, Suez Canal University Hospital, Ismailia, Egypt

## Key Words

Self-evaluation • Voice symptoms • Voice ergonomics • Phoniatic examination

## Abstract

**Aims:** This study evaluated the prevalence of voice problems in kindergarten teachers and investigated some background factors affecting vocal health. **Methods:** One hundred and nineteen female kindergarten teachers volunteered by responding to an Internet questionnaire on voice habits, voice symptoms, and the amount of negative impact various working conditions may have on their voices. Phoniatic examination was carried out with a rigid laryngoscope. **Results:** Of the subjects, 71.5% reported frequent strain on the voice (monthly or more often), and 56.3% reported hoarseness without infection. Eighty-six percent reported that when their voice got tired during the working day it recovered quite well, well or remarkably well by the next day. Noise at work was considered most detrimental to the voice. Clear organic findings were observed in 10.9% of the cases and did not correlate with subjective voice symptoms. **Conclusions:** The results confirmed earlier findings that a remarkable number of kindergarten teachers suffer from voice problems and consider noise in the environment especially to be harmful to their voices. However, the majority reported

recovering well from vocal symptoms. Further studies are needed on individual speech habits, working day-related voice evaluation, recovery time and work-environmental factors. A follow-up is warranted to identify the main factors leading to voice problems.

Copyright © 2011 S. Karger AG, Basel

## Introduction

Schoolteachers' voices have been studied all over the world in the recent decades for a number of reasons: teachers are heavy voice users and they also suffer from voice disorders more frequently than people in other professions [1–6]. However, kindergarten teachers' voices have received less attention over the years. Working in a day care centre is very demanding for voice use and kindergarten teachers are also at high risk of developing voice problems [7–10].

The work environment in kindergarten schools presents unique vocal loading that may adversely affect the voices of teachers. Vocal loading is built up multifactorially from various ergonomic and individual elements [11–13]. Vilkmán [13] outlined voice loading-related occupational and work environmental factors such as duration of voice use, background noise, room acoustics, quality

of air, other ergonomic and psychosocial elements. Vilkmán [13] also listed contributing individual loading factors affecting voice, among them gender, endurance, general health, life habits, vocal skills and experience and personality. The significance of these factors varies in different workplaces occupationally and individually.

Kindergarten teachers' vocal demands are rather similar to those in teachers in primary and secondary schools, but kindergarten teachers also have special demands for the voice. In day care centres the staff regularly works more with the children in the open air, and speaking and giving instructions in the open is known to be demanding for the voice. Extra demands are also imposed on the voice in cold winter climate because frost and central heating lower air humidity [11, 12, 14]. The need for wide variation of the voice (power, fundamental frequency, quality) in reading, singing and other activities can also be considered as a special demand for the voice in the kindergarten teacher's profession. The noise level in a day care centre is very high [9, 10] and there are more noisy activities in a day care centre than at school (games and play etc.).

In Sweden a background noise level of 73–78 Leq dBA has been reported in children's day care centres during the working day [9, 10]. The phonatory effort increases in noisy environments due to the 'Lombard effect' [15]. It has been discovered that for every 10-dB increase in noise one increases the sound level by 3 dB starting from about 40 dB noise level [15]. Increased sound level also increases the fundamental frequency of the voice, and high fundamental frequency and sound levels strain the voice [16, 17]. At the noise levels that have been measured in day care centres the strain on kindergarten teachers' voices is considerable and can in the long run predispose them to voice problems [8, 13]. The furniture and other facilities in the day care centre are usually designed for children and ergonomically defective body postures and muscle tension can also have a negative influence on the voice [11, 18].

Several studies have addressed teachers' and other professional voice users' self-assessment of voice symptoms and vocal loading using questionnaires [1, 3, 4, 6, 16, 17, 19–22] or telephone interviews [2, 23]. According to these questionnaires, 19–79% of teachers suffered from voice symptoms. The wide variation in the results may be explained by the use of different terms such as voice problems instead of vocal fatigue symptoms. There are several standardized questionnaires to evaluate voice patients' symptoms and how they cope with their symptoms [24–27]. However, it seems that questionnaires like the

Voice Activity and Participation Profile and the Voice Handicap Index, which are the most used in Finland, are more suitable for the exploration of voice disorders than for evaluating vocal fatigue symptoms in functionally healthy populations [28].

In Finland, all children under school age are entitled to day care. Preschool begins in the year when a child turns 6 years old and is followed by elementary school, which begins at the age of 7. The preschool is usually organized by day care authorities, not by school authorities.

Only few field studies have been conducted among day care centre employees to examine their laryngeal status. A study by Sala et al. [7] revealed that 29% of day care centre teachers have organic laryngeal findings. Ilomäki et al. [28] have reported that 14% of teachers have organic laryngeal lesions. Other studies have applied videolaryngoscopy examination in outpatient clinics [22, 29, 30]. These studies [22, 29, 30] on schoolteachers found relatively higher percentages of organic laryngeal findings than the previous two. Tavares et al. [30] examined two groups, each composed of 40 teachers. Group 1 consisted of teachers without vocal symptoms or with sporadic symptoms, and group 2 consisted of teachers with permanent or frequent vocal symptoms. In group 1, 60% had normal larynges without videolaryngoscopic findings. Only 25% of the participants in group 2 showed normal larynges free from any positive videolaryngoscopic findings. In another study, Perciado-López et al. [22] also found a high percentage of organic voice disorders, with 20.2% of the subjects showing some laryngeal abnormalities. In addition, another 8.1% of the subjects suffered from chronic laryngitis. Finally, Urrutikoetxea et al. [29] also showed a high percentage of organic voice disorders in teachers, with 20.8% of their subjects showing some abnormalities on laryngeal examination. No clear correlation has been reported between self-reported voice symptoms and the results of indirect laryngoscopic examination [28].

The purpose of this study was to gather more information about (1) kindergarten teachers' self-evaluated vocal fatigue symptoms and the severity of the symptoms and (2) the number and type of organic laryngeal findings, about (3) the relationship between the symptoms and the laryngeal findings. Additionally, (4) the subjects' estimations of their recovery from the vocal fatigue were ascertained. By using a more detailed questionnaire than earlier studies have used, the present study aimed to ascertain (5) to what extent the kindergarten teachers were aware of the vocally loading environmental risk factors in their occupation and which risk factors they regarded

as having the most negative impact on their voices. The phoniatic examination was also more detailed than in earlier studies in field conditions.

## Material and Methods

### Subjects

Kindergarten teachers (n = 186) from two large cities in Finland volunteered for the study by responding to an Internet voice questionnaire. One hundred and nineteen female kindergarten teachers were selected for phoniatic laryngoscopic assessment. The phoniatic assessment was carried out in the day care centres and therefore the selection criteria required 2 or more subjects to come from the same workplace. Table 1 shows the subjects' demographic data, which appear to correspond well with the mean demographics of the profession as a whole according to the statistics for 2008 [31].

### Questionnaire

The questions were classified into four categories: background information, self-assessment of voice quality and voice use, voice symptoms and working conditions with negative effect on the voice. The questionnaire used in the present study includes similar sets of questions on background information and a variable number of questions about vocal symptoms as in the Voice Activity and Participation Profile and the Voice Handicap Index. The same voice questionnaire was used in several studies carried out at the University of Tampere [3, 20, 28]. From study to study the questionnaire has been modified and improved to suit different occupations. In the present study more detailed questions about environmental issues were added to the questionnaire, and instead of merely asking about the number of vocal symptoms, their severity was also elicited.

In the questionnaire the section on self-assessment of the voice contained questions about voice quality, ability to project one's voice and two questions about vocal endurance; one question about how kindergarten teachers' voices withstood occupational vocal loading and one question about recovery from vocal fatigue. Responses were elicited on a self-report scale ranging from 1 to 7 (where 1 = very poorly, 2 = poorly, 3 = quite poorly, 4 = quite well, 5 = well, 6 = very well and 7 = do not know).

Prevalence and severity of voice symptoms were both elicited with nine questions. These included: (1) My voice gets strained. (2) My voice is hoarse without infection. (3) I have a lump or mucus in the throat. (4) I have irritation or tickle in the throat. (5) I have tiredness and/or pain in the throat or neck after speaking. (6) I have tiredness and/or pain in the throat or neck after singing. (7) I have voice breaks when I am talking. (8) I have had aphonia without infection. (9) After a working day my voice is so fatigued that it causes trouble in social life (trouble in family life and/or other social interaction or restricts participation in vocally demanding activities; see also the concise questions in table 2). The self-report scale ranged from 0 to 6 (prevalence/severity of symptoms: 0 = never/no symptoms, 1 and 2 = few times per year/mild symptoms, 3 and 4 = monthly/moderate symptoms, 5 and 6 = weekly/severe symptoms). Three of the questions (questions 2, 8, 9) were emphasized by allowing greater scale values (0–8) for these responses from the prevalence and severity questions. The

**Table 1.** Background information on the subjects

	Mean $\pm$ SD (range)	Mode
Age, years	43.9 $\pm$ 9 (24–64)	42
Working experience, years	17.6 $\pm$ 9.7 (1–36)	20
Duration of working day, h	7.46 $\pm$ 0.3 (1–8)	7
Number of children in group	19 $\pm$ 5 (8–46)	21

results of the survey were summarized using a single score obtained by adding the total responses from the prevalence and the severity questions. The maximum possible score was 120 points, with a maximum of 60 each for the prevalence and the severity questions.

In the questions about working conditions the subjects were asked to estimate the possible negative impact of various working conditions on their voices. The questions consisted of seven categories and every title contained five subquestions (see subtitles in table 4). The self-report scale ranged from 1 to 5 (1 = no effect at all, 2 = affects a little, 3 = affects moderately, 4 = affects much, 5 = affects very much). The maximum score from one category was 25 and the maximum of all categories was 175 points.

### Phoniatic Examination

Phoniatic examination was carried out through videolaryngoscopy. The instruments used were a mobile videolaryngoscopy system (rpSzene-Mobile, Rehder/Partner GmbH, Germany) composed of a small 1/3" CCD camera (model rpCam250, Rehder/Partner) mounted with a 28- to 35-mm focus zoom lens, combined with a 70° laryngeal telescope (model 4450,47, Richard Wolf, Germany) and a cold halogen light source (model rp 150, Rehder/Partner). Recordings were made in digital format on the personal laptop included (IBM-Thinkpad with rpSzene software). The subjects were seated leaning forward with the chin up during the examination. Recording was performed during an intermittent and sustained 'ee' test before and after throat clearing. Videolaryngoscopy was carried out on 119 day care centre teachers. The recordings were reviewed by one of the authors (A.G.) using an endoscopic form.

The form assessed the following items: (1) degree of interarytenoid oedema, (2) degree and location of redness in the vocal folds, (3) thickness, location, adhesivity and type of mucus on the vocal folds, (4) shape of the glottis and the vocal folds during adduction, and (5) symmetry of movement.

Additionally other possible deviations from normal findings were noted. Various items out of these five were further classified by the examining phoniatician into different types as follows: *Degree of thickness* of the mucus layer was classified by the examining phoniatician into three classes: runny or even, moderately thick and quite thick mucus. *Location of mucus* was classified, as in Hsiung [32], into: (1) uniform or not visible, (2) anterior third of the vocal folds or anterior commissure, (3) between the anterior and middle third of the vocal folds, or (4) in the posterior third of the vocal folds.

*Type of mucus* was assessed using the classification proposed by Hsiao et al. [33] into either normally uniform or uneven mucus. Uneven mucus types were classified into three types: Type 1 is characterized by rough mucus surface of the vocal folds that may

**Table 2.** Prevalence of reported vocal fatigue in different symptoms shown in percentages and in numbers

Vocal fatigue symptom	Prevalence, %				Symptom severity moderate or severe, %
	nearly every week	monthly	a few times per year	never	
Voice strain	35.3 (42)	36.2 (43)	27.7 (33)	0.8 (1)	38.1 (45)
Hoarseness without infection	26.1 (31)	30.2 (36)	35.3 (42)	8.4 (10)	40.7 (48)
Mucus and lump in throat	37 (44)	28.6 (34)	29.4 (35)	5 (6)	44.4 (52)
Irritation or tickle in throat	28.5 (34)	39.5 (47)	27 (22)	5 (6)	43.1 (50)
Tiredness or pain in throat after speaking	20.2 (24)	31.1 (37)	40.3 (48)	8.4 (10)	26.5 (31)
Tiredness or pain in throat after singing	17.8 (21)	31.4 (37)	40.6 (48)	10.2 (12)	31.6 (37)
Voice breaks	16.8 (20)	23.5 (28)	47.1 (56)	12.6 (15)	26.5 (31)
Aphonia without infection	1.6 (2)	19.5 (23)	45.8 (54)	33.1 (39)	17.9 (21)
Voice fatigue affecting social life	5.1 (6)	21.2 (25)	40.6 (48)	33.1 (39)	15.4 (18)

The severity of voice symptoms is shown in the table when symptoms were reported to be moderate or severe. Figures in parentheses indicate the number of subjects. Total number of subjects = 119.

be sticky enough to form bridging threads between the vocal folds during abduction. Type 2 typically has tiny mucus bubbles along the free margins of the vocal folds, at the anterior commissure or at the junction between the anterior third and the posterior two thirds resembling vocal fold nodules. Type 3 is characterized by mucus lumps that act as masses on the vocal folds. Finally, adhesion of the mucus to the vocal folds was assessed after throat clearing and classified into three types: normal, moderately sticky, and sticky.

Statistical analyses were carried out using PASW Statistics 18.0 software for Windows/MacOS (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA). Relations between the variables and between the results from the questionnaire and laryngoscopic methods were assessed using Spearman's rho.

## Results

### *Self-Evaluation of Voice, Vocal Symptoms and Working Conditions Influencing Voice*

Of the subjects 78% evaluated their voice quality as fairly good (44%), good (31%) or excellent (3%). Audibility was similarly rated to be fairly good (28%), good (34%) or excellent (16%). The same number of subjects also reported that their voices withstood the vocal loading fairly well (49%), well (27%) or remarkably well (2%). Eighty-six percent reported that when their voice got tired during the working day they recovered quite well (44%), well (35%) or remarkably well (7%) by the following day. Sixty-two percent reported that they have had some kind of voice education.

The mean score obtained from the prevalence and severity section of the survey was 51 points (range 1–120,

**Table 3.** Frequency of vocal fatigue symptoms (n = 119)

Symptoms of vocal fatigue	Weekly %	Monthly or more often %	A few times per year or more often, %
≥ 1	28.6 (34)	74.8 (89)	95 (113)
≥ 2	21 (25)	63.9 (76)	90.8 (108)
≥ 5	10.1 (12)	47.1 (56)	83.2 (99)

Figures in parentheses indicate the number of subjects.

SD 26, mode 42). Six percent of the subjects did not report any vocal fatigue symptoms. The figures for the self-evaluations of all symptoms elicited and their severity are listed in table 2 and the frequency of the voice fatigue symptoms in table 3.

The mean score from the survey concerning the negative impact of working conditions on the voice was 100 points (range 53–168, SD 23, mode 92). Noise in the work environment was considered to be the most detrimental factor for the voice, especially the background noise produced by children. Over 73% of the subjects estimated noisiness to affect their voices much or very much. Means and modes of the environmental questions are listed in table 4.

### *Phoniatric Findings*

According to the videolaryngoscopic examination 10.9% of the subjects had organic findings in their vocal folds in the form of vocal fold nodules (n = 6), vocal fold

**Table 4.** Mean scores and modes of the subjects' reports of how much negative impact various working conditions were estimated to have on their voices

Question group/environment issue	Mean score (1-5)	Mode
(1) <i>Classroom</i>		
Too large	2.5	2
Cramped	2.5	2
Too much echo	2.7	2
Noisy	<b>4.0</b>	<b>5</b>
Teaching in the open	<b>3.5</b>	<b>4</b>
(2) <i>Background noise</i>		
Noise from peripheral equipment	2.4	2
Children's noise	<b>3.9</b>	<b>4</b>
Noise from furniture	2.4	2
Noise from outside one's own group	2.5	2
Noise from outside	2.1	2
(3) <i>Room air</i>		
Excessive dryness	<b>3.0</b>	<b>3</b>
Excessive humidity	1.8	2
Inappropriate temperature	2.8	2
Dusty	<b>3.3</b>	<b>4</b>
Smells and aromas	2.5	2
(4) <i>Ergonomics</i>		
Inappropriate furniture/equipment	2.7	2
Picking up	2.6	2
Bending	2.8	2
Static postures	2.6	2
Other postures unfavorable for voice production	2.8	2
(5) <i>Group</i>		
Too many children in the group	<b>3.4</b>	<b>4</b>
Wide age range	2.3	1
Otherwise heterogeneous group	2.9	2
Restlessness in the group	<b>3.5</b>	<b>4</b>
Children who need special attention in the group	<b>3.6</b>	<b>4</b>
(6) <i>Vocalizing time</i>		
Quantity of reading loud	2.9	3
Quantity of singing used at work	2.6	2
Quantity of oral teaching	<b>3.4</b>	<b>4</b>
Loud voice use	<b>3.5</b>	<b>4</b>
Total speaking time during the working day	<b>3.6</b>	<b>4</b>
(7) <i>Psychosocial elements</i>		
Pressure from the work organization	2.8	2
Pressure from the work community/human relationships	2.2	2
Haste at work	<b>3.1</b>	<b>3</b>
Mental pressure of work	2.9	3
Pressure from outside of work	2.3	2

Self-report scale ranging from 1 to 5 (1 = no effect at all, 2 = affects a little, 3 = affects moderately, 4 = affects much, 5 = affects very much). Means and modes higher than 3 are marked in bold.

movement limitation (n = 4), presbyphonia (n = 3) of whom 1 also had vocal fold movement limitation, and contact granuloma (n = 1), with a total of 13 subjects. Due to some controversies over laryngeal findings of reflux [34], findings of interarytenoid oedema were not included as pathological findings of the larynx. There were, however, 36 subjects with interarytenoid oedema of whom 28 subjects did not have any organic findings in their vocal folds while 8 had other accompanying vocal fold findings. Adding these 28 subjects to the number of pathological cases would have increased the percentage of subjects with organic findings to 34.4%. Nevertheless, only 12 subjects had mild redness in the vocal folds; such mild redness does not mean and cannot be counted as a sign of acute laryngitis.

Forty-three point seven percent of the subjects had an even mucus layer or a mucus layer that could not be detected during examination. Uneven mucus layer was found in the rest of the subjects. Type 1 occurred in 21.8% of the subjects, type 2 in 32.8% and type 3 in 37%. Only one type was detected among 26.9% of the subjects, two types simultaneously among 23.5% and three types among only 5.9% of the subjects. Rating of the thickness of mucus revealed that 43.7% had even mucus, 49.6% had moderately thick mucus and 6.7% had quite thick mucus. Rating of the degree of adhesiveness of the mucus to the vocal folds showed that 9.2% of all subjects had moderately sticky mucus and only 5.0% had sticky mucus. Others were either normal or the voice clinician concerned found it hard to decide.

#### *Relationship between Background Information, Self-Assessment of Vocal Symptoms, Working Conditions and Phoniatic Findings*

Background information such as age, working experience, number of working hours, the size of the group, voice-related hobbies, possible vocal education, general health and smoking habits did not correlate with the vocal symptoms reported, self-assessment of voice or of the working conditions influencing the voice.

The total of all self-assessed voice symptoms correlated with the total of the self-assessment of the negative impact of the working conditions (Spearman's rho = 0.53, p = 0.01). The category 'vocalizing time' from the seven categories of working conditions affecting the voice correlated with the total of the voice symptoms (rho = 0.56, p = 0.01) and the variable 'hoarseness without infection' from the category 'voice symptoms' correlated with the total of the variable 'vocalizing time' (rho = 0.53, p = 0.01). The total of both voice symptoms and severity points and

self-reported recovery from voice fatigue correlated negatively ( $\rho = -0.61$ ,  $p = 0.01$ ). Obviously, one recovers better from vocal loading when one has fewer voice symptoms. The strength of all correlations mentioned here is moderate.

The phoniatic findings did not correlate with the subjective voice symptoms reported by the subjects in the Internet questionnaire, neither did the phoniatic findings correlate with any other reported parameters in the questionnaire.

## Discussion

Self-reported symptoms of vocal fatigue were relatively common among the kindergarten teachers studied: only 6% of the subjects had no symptoms, while nearly half of them reported suffering from at least five different symptoms monthly or more often. However, in earlier studies the prevalence of vocal symptoms is even higher. In the present study, 21% of the subjects reported having two or more vocal fatigue symptoms weekly, while previous studies reported 37% among kindergarten teachers [7] and from 32% [28] to 65% [35] among schoolteachers. The lower percentage of vocal fatigue symptoms reported in the present study may be due to the fact that over half of the subjects had received some kind of voice education during their studies or working career. Vocal hygiene education has been reported to reduce vocal misuse in kindergarten teachers [36]. The results obtained by Ilomäki et al. [37] also suggest that voice training gives the teachers better tools to cope with occupational vocal demands. The length of education also seems to be relevant. Ilomäki et al. [37] reported teachers to benefit vocally more from five voice training lessons than one voice hygiene lecture.

According to the results, 86% of the subjects in the present study estimated that they recovered well from the vocal loading by the next working day. This result is in line with the investigation made by Hunter and Titze [38], who reported teachers to have 90% recovery within 12–18 h after vocal loading. Moderate vocal fatigue in voice professionals may be interpreted as a normal level of tiredness after a working day, but delays in recovery [38] and vocal fatigue which affects social life may be seen as excessive and requiring intervention in order to prevent the development of voice disorders.

In the present study, 11% of the teachers in day care centres were diagnosed with organic changes in the vocal folds. The percentage is close to the 14% obtained by

Ilomäki et al. [28] in another field study in Finland, conducted among female primary schoolteachers. According to the field study by Sala et al. [7], up to 29% of day care centre teachers in Finland suffered from organic voice disorders, compared to the 7% observed in their control group (nurses). Differences between the results could be due to methodology or criteria used in the examination. Laryngeal mirror was used in the study by Sala et al. [7], while all the inspections in the present study and 80% of the inspections by Ilomäki et al. [28, personal communication with the phoniatician] were carried out with a rigid endoscope. Endoscopic inspection may yield a higher accuracy. However, the main reason for somewhat different results seems to be the criteria. The results of the present study do not include cases with interarytenoid oedema and mild redness of the vocal folds. Including these would increase the number of organic findings in the present study to up to 34.4%.

According to the results, self-assessment of voice symptoms and phoniatic laryngoscopic examination did not correlate with each other. It seems that the subjects of the present study recognized vocal fatigue but fortunately organic findings were not detected. A correlation may have been found if the study had been directed only at those with obviously heard and felt voice problems. However, the scope of this study was much wider in terms of including all volunteering teachers without excluding those with perceptually and subjectively normal voices. It may be that when the kindergarten teachers register vocal fatigue it helps them to adjust to their vocally demanding work by generating strategies which keep the voice strain at a level from which they recover well by the next day and thereby avoid organic voice problems. Two of the subjects had organic findings in the vocal folds, but they had low points on the self-assessment of voice symptoms. Could it be that they did not have enough sensitivity to recognize the voice symptoms and therefore sustained these organic lesions? It should be noticed, however, that the absence of a significant or high correlation between laryngoscopic findings and self-assessment of the voice is not new. This absence of a significant or high correlation was found in an earlier study [28] and in the daily clinical practice of phoniaticians and otolaryngologists. Voice disorders and especially occupational voice disorders are sometimes, if not always, better heard and felt than seen.

In the present study, the subjects estimated the amount of negative impact their working environments had on their voices. While Thomas et al. [39] reported that student teachers do not know the occupational risks to their

voices, it seems that the subjects in the present study were well aware of various risk factors like the amount of speaking time and the noise level at the workplace. It is possible that the vocal education that many of the subjects had received had enhanced their knowledge of the occupational risks to the voice.

Noise was estimated as the most harmful for the voice as also in earlier studies [11, 13, 28]. In the present study there were altogether 35 questions in seven categories concerning working conditions. Six of the questions were solely about the noise. The purpose of the five background noise questions was to ascertain what kind of noise kindergarten teachers consider to be the most harmful to their voices. The items 'too many children in the group', 'restlessness in the group' and 'children who need special attention in the group' (table 4, section 5) were also found to have a negative effect on subjects' voices and these factors can be considered to notably increase the noise level. Noise automatically raises the speaker's voice level (Lombard effect), and loud voice use strains the voice.

Södersten et al. [9] recommended in their study that noise levels should be reduced and voice rest pauses be included in kindergarten teachers' working day. Noise has negative effects both on children and adults. Noisy environments promote stress, somatic symptoms and poorer general health [40]. High chronic noise exposure affects preschool children's cognitive processes, language and prereading skills [41]. The unsolved question is how to implement improvements attenuating noise in day care centres. Both children and employees will certainly benefit from a decrease in the noise level in day care centres.

There was a moderate correlation between self-evaluation of the negative impact of the working conditions and self-evaluation of voice symptoms (Spearman's rho = 0.533,  $p = 0.01$ ). The environments of the day care centres in the present study were not explored; so, it cannot be

claimed that those who had severe voice symptoms had the poorest working conditions. Rather the results may be interpreted so that those who suffer from voice symptoms are also more aware of the negative impact of the working environment.

## Conclusions

Symptoms of vocal fatigue were common among the 119 kindergarten teachers studied: only 6% of the subjects had no symptoms, while nearly half of them reported suffering from at least five different symptoms monthly or more often.

Recovery from vocal loading seemed to be effective as well: nearly 80% of the subjects reported that they withstood the occupational vocal loading fairly well and 86% recovered well from the daily voice load.

Extra attention is needed for the 20% of the kindergarten teachers who have difficulties with the work-related vocal loading. Voco-ergonomic guidance and the opportunity to participate in voice training should be offered, and in some cases voice therapy is also needed.

Of the environmental factors noise was considered the most harmful to the voice and of the background noise two thirds of the subjects estimated noise made by children to be most detrimental for the voice.

A follow-up study is needed to ascertain how the kindergarten teachers who had many vocal symptoms will cope in the future in their vocally demanding occupation.

## Acknowledgements

The authors thank the subjects of the study for their participation, Dr. Eija-Riitta Lauri and Dr. Maaria Ansaranta for the help they offered in the study, and Mrs. Virginia Mattila, MA, for correcting the language of the manuscript.

## References

- 1 Yiu E: Impact and prevention of voice problems in the teaching profession: embracing the consumers' view. *J Voice* 2002;16:215–228.
- 2 Roy N, Merrill R, Thibeault S, Parsa R, Gray S, Smith E: Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *J Speech Hear Res* 2004;47:281–293.
- 3 Ilomäki I, Mäki E, Laukkanen A-M: Vocal symptoms among teachers with and without voice education. *Logoped Phoniatr Vocol* 2005;30:171–174.
- 4 Simberg S, Sala E, Vehmas K, Laine A: Changes in the prevalence of vocal symptoms among teachers during a twelve-year period. *J Voice* 2005;19:95–102.
- 5 Preciado J, Perez C, Calzada M, Preciado P: Frequency and risk factors of voice disorders among teaching staff of La Rioja, Spain. Clinical study: questionnaire, function vocal examination, acoustic analysis and videolar-yngostroboscopy. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2005;56:161–170.
- 6 Smith E, Lemke J, Taylor M, Kirchner L, Hoffman H: Frequency of voice problems among teachers and other occupations. *J Voice* 1998;12:480–488.
- 7 Sala E, Laine A, Simberg S, Pentti J, Suonpää J: The prevalence of voice disorders among day care center teachers compared with nurses. *J Voice* 2001;15:413–423.
- 8 Sala E, Airo E, Olkinuora P, Simberg S, Ström U, Laine A, Pentti J, Suonpää J: Vocal loading among day care center teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2002;27:21–28.



- 9 Södersten M, Granqvist S, Hammarberg B, Szabo A: Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *J Voice* 2002; 16:356–371.
- 10 Lindstrom F, Persson Waye K, Södersten M, McAllister A, Ternström S: Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day-care center environments. *J Voice* 2010;25:166–172.
- 11 Vilkmán E, Lauri E-R, Alku P, Sala E, Sihvo M: Ergonomic conditions and voice. *Logoped Phoniatr Vocol* 1997;23:11–19.
- 12 Vilkmán E: Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr Logop* 2004;56:220–253.
- 13 Vilkmán E: Occupational risk factors and voice disorders. *Logoped Phoniatr Vocol* 1996;21:137–141.
- 14 Vintturi J, Alku P, Sala E, Sihvo M, Vilkmán E: Loading-related subjective symptoms during a vocal loading test with special reference to gender and some ergonomic factors. *Folia Phoniatr Logop* 2003;55:55–69.
- 15 van Heusden E, Plomp R, Pols L: Effect of ambient noise on the vocal output and the preferred listening level of conversational speech. *Appl Acoust* 1979;12:31–43.
- 16 Rantala L, Vilkmán E: Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *J Voice* 1999;13:484–495.
- 17 Laukkanen A-M, Ilomäki I, Leppänen K, Vilkmán E: Acoustic measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *J Voice* 2008;22:283–289.
- 18 Wilson Arboleda B, Frederick A: Consideration for maintenance of postural alignment for voice production. *J Voice* 2008;22:90–99.
- 19 Jónsdóttir V, Boyle B, Martin P, Sigurdardóttir G: A comparison of the occurrence and nature of vocal symptoms in two groups of Icelandic teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2002;27:98–105.
- 20 Laukkanen A-M, Kankare E: Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatr Logop* 2006;58:229–239.
- 21 Laukkanen A-M, Leppänen K, Ilomäki I: Self-evaluation of voice as a treatment outcome measure. *Folia Phoniatr Logop* 2009; 61:57–65.
- 22 Preciado-López J, Perez-Fernández C, Calzada-Uriondo M, Preciado-Ruiz P: Epidemiological study of voice disorders among teaching professionals of La Rioja, Spain. *J Voice* 2008;22:489–508.
- 23 Thibeault S, Merrill R, Roy N, Gray S, Smith E: Occupational risk factors associated with voice disorders among teachers. *Ann Epidemiol* 2004;14:786–792.
- 24 Hogikyan ND, Sethuraman G: Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (V-RQOL). *J Voice* 1999;13: 557–569.
- 25 Deary J, Wilson JA, Carding PA, Mackenzie K: VoiSS: a patient-derived voice symptom scale. *J Psychosom Res* 2003;54:482–489.
- 26 Ma EP-M, Yiu EM-L: Voice activity and participation profile: assessing the impact of voice disorders on daily activities. *J Speech Lang Hear Res* 2001;44:511–524.
- 27 Jacobson BH, Johanson A, Grywalski C, Silbergleit A, Jacobson G, Benninger MS: The Voice Handicap Index (VHI): development and validation. *Am J Speech Lang Pathol* 1997;6:66–70.
- 28 Ilomäki I, Leppänen K, Kleemola L-M, Tyrmi J, Laukkanen A-M, Vilkmán E: Relationships between self-evaluations of voice and working conditions, background factors, and phoniatic findings in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2009;34:20–31.
- 29 Urrutikoetxea A, Ispizua A, Matellanes F: Vocal pathology in teachers: a videolaryngoscopic study in 1046 teachers. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*. 1995;116:255–262.
- 30 Tavares E, Regina HG, Martins R: Vocal evaluation in teachers with or without symptoms. *J Voice* 2007;21:407–414.
- 31 The Statistical Yearbook on Social Welfare and Health Care 2008. National Research and Development Center for Welfare and Health. <http://www.stakes.fi/tilastot/ekirja/STV08.pdf>.
- 32 Hsiung MW: Videolaryngoscopic observation of mucus layer during vocal cord vibration in patients with vocal nodules before and after surgery. *Acta Otolaryngol* 2004;124:186–191.
- 33 Hsiao TY, Liu CM, Lin KN: Videostroboscopy of mucus layer during vocal fold vibration in patients with laryngeal tension-fatigue syndrome. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2002;111:537–541.
- 34 Kotby MN, Hassan O, El-Makhzangy AM, Farahat M, Milad P: Gastroesophageal reflux/laryngopharyngeal reflux disease: a critical analysis of the literature. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2010;267:71–79.
- 35 Smolander S, Huttunen K: Voice problems experienced by Finnish comprehensive school teachers and realization of occupational health care. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006;31:166–171.
- 36 Chan RW: Does the voice improve with vocal hygiene education? A study of some instrumental voice measures in a group of kindergarten teachers. *J Voice* 1994;8:279–291.
- 37 Ilomäki I, Laukkanen A-M, Leppänen K, Vilkmán E: Effect of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2008;33:83–92.
- 38 Hunter E, Titze I: Quantifying vocal fatigue recovery: dynamic vocal recovery trajectories after a vocal loading exercise. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2009;118:449–460.
- 39 Thomas G, de Jong F, Cremers C: Prevalence of voice complaints, risk factors and impact of voice problems in female student teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2006;58:65–84.
- 40 Wallenius MA: The interaction of noise stress and personal project stress on subjective health. *J Environ Psychol* 2004;24:167–177.
- 41 Maxwell LE, Evans GW: The effect of noise on pre-school children's pre-reading skills. *J Environ Psychol* 2000;20:91–97.

ORIGINAL ARTICLE

## Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels

ELINA KANKARE, ANNE-MARIA LAUKKANEN, IRMA ILOMÄKI,  
ANNE MIETTINEN & TIINA PYLKKÄNEN

University of Tampere, Speech and Voice Research Laboratory, School of Education, Tampere, Finland

### Abstract

Contact quotient (CQ), measured by electroglottogram (EGG), is a ratio which illustrates the duration of vocal fold contact during one vocal fold period. In the present study  $CQ_{EGG}$  was calculated from a sustained vowel phonation in three different phonation types (breathy, normal, pressed) at three amplitude threshold levels (25%, 35%, 50%).  $CQ_{EGG}$  values were compared with experts' perceptual evaluation of the firmness of phonation. The contact time of the vocal folds differed significantly between the different phonation types at all threshold levels ( $P < 0.01$ ). Perceptual evaluation correlated best with  $CQ_{EGG}$  at threshold levels 25% and 35%. The results of the linear regression model suggested that by using threshold level 25% the effect of F0 and SPL on  $CQ_{EGG}$  were not significant.

**Key words:** Effect of F0 and SPL, electroglottography, perceptual evaluation, threshold levels

### Introduction

Electroglottography (EGG) illustrates contact variation of the vocal folds during phonation (1). EGG has been used to study both healthy (2) and unhealthy voices (3). Contact quotient, measured by electroglottogram ( $CQ_{EGG}$ ), is the ratio of the duration of vocal fold contact of the total vibratory cycle (4). The exact moment of initiation or loss of vocal fold contact cannot be concluded from the electroglottogram (1,5,6). Nevertheless EGG has been considered an adequate tool in voice studies and clinical work (3,7–12).

A 'criterion-level method' has been used to compute  $CQ_{EGG}$  (13). There the CQ measurement baseline is set at a certain percentage of the peak-to-peak amplitude of the EGG current cycle (Figure 1) (14). In earlier studies CQ threshold levels (tl) from 10% to 80% have been used to compute  $CQ_{EGG}$  (3,15–18). Herbst and Ternström (19) recommended the threshold level to be 25% based on studies of simultaneously measuring  $CQ_{EGG}$  and CQ from videokymogram. This threshold level was supported by the investigation of Henrich et al. (20), obtained with simultaneous EGG and high-speed imaging of the vocal fold vibration, and also by the results of

Kania et al. (18), where the variation of CQ values was compared at different threshold levels.

$CQ_{EGG}$  has been reported to increase with sound pressure level (SPL) (6,21–23), although opposite results have also been reported (16). Hacki (24) reported variation of vocal fold contact in crescendo phonation in pathological hyper- and hypodysphonic voices.  $CQ_{EGG}$  values have also been reported to vary due to fundamental frequency (F0) in singing voice research (19,25,26). Kania et al. (18) detected an effect of F0 on  $CQ_{EGG}$  in speaking voice but only when the  $CQ_{EGG}$  calculation was carried out with higher threshold levels than 25%. Changes between registers have been observed with EGG (26–28). Light registers (falsetto, head) have been reported to have smaller  $CQ_{EGG}$  values than heavy registers (modal, chest, fry) (19,25,26). Vocal training has been reported to have an effect on  $CQ_{EGG}$  values (7,11,29).  $CQ_{EGG}$  or reversal open quotient (OQ) has been reported to detect different voicing patterns (breathy, normal, and pressed) in healthy and unhealthy voices (2,3,30) and to distinguish diverse oedema types in voice patients (8).

Perceptual evaluation has been used as an important everyday tool by voice trainers, speech

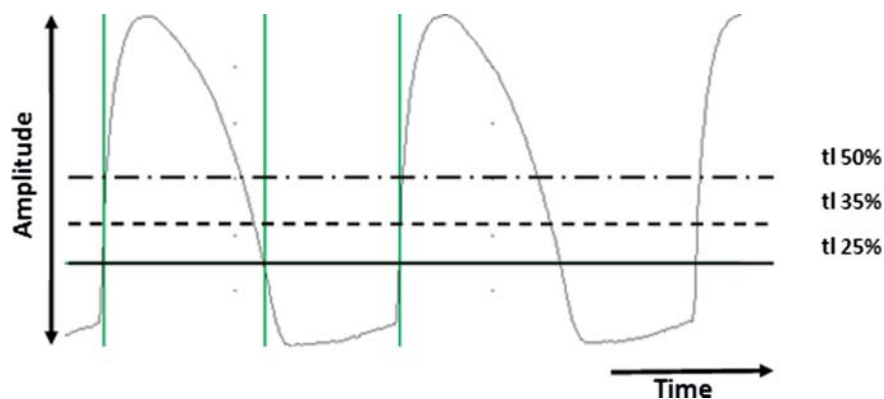


Figure 1.  $CQ_{EGG}$  in different threshold levels.  $CQ\ 25\% = 0.54$ ,  $CQ\ 35\% = 0.51$ ,  $CQ\ 50\% = 0.46$ . Calculation is carried out with VoceVista Pro voice analysis software. Tl 25%, 35%, and 50% are CQ threshold levels from the peak-to-peak amplitude of the current cycle (14) which has been used in the present study. Decreasing impedance = increasing contact.

pathologists, and phoniaticians. Variation in clinicians' reliability in voice quality rating has been reported (31–33). Different internal perceptual strategies to assess voice quality have been suggested as the reason for the wide distribution in experts' perceptual evaluation (31,32,34). Listening to fixed 'reference voice samples', so-called voice anchors, before perceptual evaluation and providing the judges with training have been suggested to standardize listeners' perceptual strategies and improve the inter-rater reliability of perceptual evaluation (35–38).

The aims of the present study were: 1) to bring forth normative values of  $CQ_{EGG}$  in female subjects in three different phonation types (normal, breathy, and pressed); 2) to investigate the effect of using different amplitude threshold levels to calculate  $CQ_{EGG}$  in these phonation types; and 3) to ascertain whether perceptual evaluation is in line with the results of the  $CQ_{EGG}$  calculation.

## Subjects and methods

### Subjects and recordings

Thirty healthy students and teachers of vocology, logopedics, and speech communication were subjects in the present study. The mean age of the subjects was 33 years (SD 12, range 20–57). The subjects were asked to vocalize the vowel [a:] for 5 seconds, three times in three different phonation types—breathy, normal, and pressed—at conversational pitch and loudness. All subjects had received voice training, and hence they were familiar with different phonation types. Furthermore, every subject practised breathy and pressed phonation a few times with the researcher before the recordings.

The recordings were made in a sound-treated studio with a low (<0.4 s) reverberation time using a dual-channel EGG (Glottal Enterprises) with 20 Hz

low frequency limit. Two electrodes 2.5 cm in diameter were placed one on either side of the thyroid cartilage. Conducting gel was used on the electrodes to improve signal quality. For the simultaneous acoustic recordings a headset microphone (AKG C477) at a distance of 6 cm from the corner of the mouth and a PC with external sound card (M-Audio, MobilePre USB) were used. The sampling rate was 44.1 kHz, and the amplitude quantization was 16 bits. The recordings were calibrated for the measurement of sound pressure level using a sound generator (Boss TU-120) and a sound level meter (Brüel & Kjær 2206) placed beside the microphone at a distance of 6 cm from the sound generator, to resemble the recording situation of the subjects. All the recordings were made by the same researcher.

### EGG and acoustic analyses

$CQ_{EGG}$  and period length were automatically calculated from the EGG signal with VoceVista Pro voice analysis software using 25%, 35%, and 50% threshold levels (tl) (Figure 1). The CQ analyses were made from the middle of the second vowel [a:] out of three trials in each three phonation types. The most steady portion in the middle of the voice samples was chosen for the analysis to avoid the effect of various irregularities of the EGG signal in the beginning and ending of the samples (e.g. due to glottal attacks, articulation movements, fading of the voice towards the end, etc.). Fundamental frequency (F0) and sound pressure level were measured from the calibrated acoustic signal using Intelligent Speech Analyser (ISA) signal analysis system developed by Raimo Toivonen, MScEng.

### Perceptual evaluation

Four experienced voice trainers evaluated the vowel [a:] samples for perceived firmness of phonation. Firmness is a perceptual correlate of the degree of

adduction in relation to subglottic pressure (breathy voice = low firmness, pressed voice = high firmness). The listeners heard the samples through headphones (Sony Stereo Headphones MDR-CD480) from a portable PC with external sound card (M-Audio, MobilePre USB). All samples were edited to be 4 s in duration. The perceptual evaluation was made using a bipolar visual analogue scale (VAS) in Judge Program (see Granqvist, Department of Speech Music and Hearing, Stockholm). The bipolar scale was from 0 to 1000 units, which were labelled: 0 = very breathy phonation, 500 = adequate phonation, and 1000 = very pressed phonation. The subjects could listen to each sample as many times as they wished prior to making their assessments. Listeners practised assessing of firmness of phonation by listening to one very breathy, one normal, and one very pressed voice sample as fixed anchors to calibrate their ears before they began the evaluation.

### Statistical analyses

Statistical analyses were carried out using PASW Statistics 18.0 software for Windows/MacOS (SPSS, Inc., Chicago, IL). One-way ANOVA with Bonferroni corrections was used to compare means of  $CQ_{EGG}$  in different phonation types and different threshold levels. Spearman's rho was used to explore the relation between  $CQ_{EGG}$  and acoustic parameters in different phonation types and the relation between the results from perceptual evaluation and  $CQ_{EGG}$ . Linear regression analysis was used to detect the impact of SPL, F0, and phonation type on CQ values. The mean of perceptual evaluation was used to stand for the phonation type. Inter-rater reliability of perceptual evaluation was measured with Cronbach's alpha reliability coefficient.

### Results

The mean  $CQ_{EGG}$  values measured from the sustained [a:] vowels in different phonation types using different CQ threshold levels are seen in Table I. As expected, the mean  $CQ_{EGG}$  values were lower as the threshold level was set higher. The  $CQ_{EGG}$  values differed significantly ( $P < 0.01$ ) between the three threshold levels 25%, 35%, and 50%.

The phonation types differed significantly from each other for  $CQ_{EGG}$  at all CQ threshold levels ( $P < 0.01$ ). An example of the typical EGG waveform for the breathy, normal, and pressed phonation type is presented in Figure 2. Phonation type and  $CQ_{EGG}$  correlated for all CQ threshold levels, the correlation coefficient being strongest for threshold level 35% (Table II).

Fundamental frequency for breathy and pressed phonation differed significantly from each other ( $P = 0.001$ ). Fundamental frequency for normal and pressed and normal and breathy did not differ significantly. The sound pressure levels differed significantly in the three phonation types ( $P < 0.001$ ). Correlations between F0, SPL, and  $CQ_{EGG}$  at different CQ threshold levels are presented in Table II. The correlation between  $CQ_{EGG}$  and SPL was moderate at all CQ threshold levels, and between  $CQ_{EGG}$  and F0 it was very weak.

In the experts' perceptual evaluation, breathy, normal, and pressed voice samples differed significantly ( $P < 0.001$ ) in terms of the firmness of phonation. The reliability coefficient of perceptual evaluation was high (Cronbach's alpha 0.97). Perceptual evaluation and  $CQ_{EGG}$  correlated for all CQ threshold levels, the relation being strongest for threshold levels 25% ( $r = 0.70$ ) and 35% ( $r = 0.71$ ) and weakest for the threshold level 50% ( $r = 0.63$ ) (Table II).

A linear regression model was computed using  $CQ_{EGG}$  as the dependent variable and SPL, F0, and perceptual evaluation of phonation type as the independent variables. At the threshold level of 25% the phonation type was the only explanatory variable that was significant ( $P < 0.01$ ) in the model ( $F_{3,86} = 26.5$ ,  $P < 0.001$ ,  $R_a^2 = 0.48$ ). At threshold levels 35% and 50% the effect of F0 also became a significant explanatory variable ( $P < 0.05$ ), although the degree of explanation rose to only 5% at threshold level 35% ( $F_{3,85} = 32.4$ ,  $P < 0.001$ ,  $R_a^2 = 0.53$ ) and decreased at threshold level 50% ( $F_{3,86} = 25.3$ ,  $P < 0.001$ ,  $R_a^2 = 0.47$ ). In the present linear regression model SPL was not a significant variable at any threshold level.

### Discussion

In the present study the contact time of the vocal folds differed significantly between the different

Table I.  $CQ_{EGG}$ , F0, and SPL values from sustained [a:] vowel at breathy, normal, and pressed phonation types ( $n = 30$ ).  $CQ_{EGG}$  values in three different threshold levels (tl).

Phonation type	$CQ_{EGG}$ (SD)	$CQ_{EGG}$ (SD)	$CQ_{EGG}$ (SD)	F0 (SD)	SPL (SD)
	tl 25%	tl 35%	tl 50%	Hz	dB
Breathy	0.44 (0.11)	0.38 (0.09)	0.32 (0.09)	184 (32)	79 (5)
Normal	0.52 (0.07)	0.47 (0.07)	0.38 (0.08)	199 (30)	85 (4)
Pressed	0.66 (0.08)	0.58 (0.09)	0.52 (0.12)	219 (41)	95 (5)

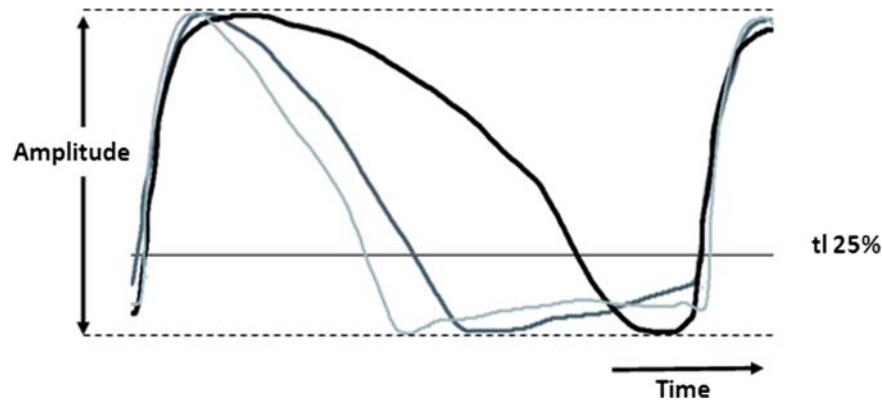


Figure 2. EGG signal from breathy, normal, and pressed phonation. Light curve presents EGG from breathy phonation, darker curve EGG from normal phonation, and darkest curve EGG from pressed phonation. Tl 25% is the 25% threshold level from the peak-to-peak amplitude of the current cycle (14).

phonation types, as was also reported by Verdolini et al. (3), using 35% threshold level. Intensity of phonation has been reported to affect  $CQ_{\text{EGG}}$  values (6,22,24,39). The results of the linear regression analyses in the present study where the independent variables in the model were SPL, perceived phonation type, and F0 and the dependent variable was  $CQ_{\text{EGG}}$  suggested that the SPL did not explain the variation in  $CQ_{\text{EGG}}$  values. Forty-eight per cent of  $CQ_{\text{EGG}}$  variation was explained by the phonation type at threshold level 25%. It seems that in the regression model the strong effect of the phonation type neutralized the effect of SPL on the  $CQ_{\text{EGG}}$ , although SPL and  $CQ_{\text{EGG}}$  correlated moderately at all threshold levels. In earlier studies the effect of SPL on CQ has been reported to vary between phonation types (24). According to Sapienza et al. (16) SPL did not affect the open quotient (OQ), thus it would naturally not affect CQ, the reverse of OQ, either.

F0 did not correlate with  $CQ_{\text{EGG}}$  values in the present study, and the explanatory power of F0 due to CQ in the regression model was low. F0 has been reported to have an effect on  $CQ_{\text{EGG}}$  in singing voice and in different registers (7,19,25,26,29), although in a recent study by Lebowitz and Baken (40) the

variation of F0 has been reported to have remarkably little effect on  $CQ_{\text{EGG}}$  values.

Since the EGG waveform is affected by phonation type, fundamental frequency, SPL, and register (6,28,41), those characteristics also have an effect on CQ. The results of the present study seem to suggest that as the threshold level is set at 25% the effects of fundamental frequency and SPL on  $CQ_{\text{EGG}}$  are minimized. The simulated EGG waveforms presented by Titze (41) also seem to support this finding. By using the 25% threshold level, the phonation type seems to be better distinguishable in CQ from other differences in the EGG waveform e.g. due to register: the case with more abduction differs from a more falsetto kind of voice, with no surface bulging of the vocal folds, by 41% at 25% level, and 24% at 50% level (see the figures in the article by Titze (41)). In contrast, the samples by Titze seem to suggest that in cases where F0 is the same, 50% level seems to be more preferable than 25% level to distinguish between breathy and pressed voices (cases with more and less abduction, respectively).

The inter-rater reliability of perceptual evaluation was very high in the present study. One reason for the good congruence between listeners' assessments may be the anchor voice samples which were listened to before rating the study voice samples. Another reason could be the backgrounds of the evaluators; they all are vocologists and have had training in evaluating firmness of phonation. Thirdly, the low perceptual load has been reported to adduce better reliability between perceptual evaluators, and in the present study the listeners evaluated only degree of firmness in the voice (42–44). Fourthly, the simple structure of vowel stimuli has been reported to be more suitable for perceptual evaluation than connected speech, at least when evaluating the grade, roughness, or breathiness in pathologic voices (45).

Table II. Correlation between  $CQ_{\text{EGG}}$  in different threshold levels and F0,  $SPL_{6\text{cm}}$ , phonation types, perceptual evaluation.

Correlations	$CQ_{\text{EGG}}$ tl 25%	$CQ_{\text{EGG}}$ tl 35%	$CQ_{\text{EGG}}$ tl 50%
F0	$r = 0.17$	$r = 0.14$	$r = 0.10$
$SPL_{6\text{cm}}$	$r = 0.61^*$	$r = 0.60^*$	$r = 0.54^*$
Phonation type breathy	$r = -0.55^*$	$r = -0.61^*$	$r = -0.52^*$
Phonation type normal	$r = -0.14$	$r = -0.06$	$r = -0.10$
Phonation type pressed	$r = 0.69^*$	$r = 0.66^*$	$r = 0.62^*$
Phonation types together	$r = 0.72^*$	$r = 0.74^*$	$r = 0.66^*$
Perceptual evaluation	$r = 0.70^*$	$r = 0.71^*$	$r = 0.63^*$

Spearman's rho.

\* $P < 0.01$ .

In the present study the subjects were asked to imitate breathy, pressed, and normal phonation, and that way the samples used in this study were extremes of hypo- and hyperfunctional phonation as also in the study by Verdolini et al. (3). Sustained vowel samples have been used in voice research because of their simple acoustic structure (32,46). For the same reason prolonged vowel [a:] was used as study material in the present study although syllable production and continuous speech stimuli have been suggested to produce more reliable results in EGG measurements (17,47). Future  $CQ_{EGG}$  study of continuous speech samples in different phonation types is warranted.

## Conclusions

In line with earlier results,  $CQ_{EGG}$  distinguished between phonation types in female speakers.

$CQ_{EGG}$  obtained using threshold levels 25% and 35% correlated best with the perceptual evaluation of phonation type.

$CQ_{EGG}$  values may be compared only when the same threshold level has been used.

Threshold level 25% seemed to be sensitive only for phonation type, at least for the vowel [a:] in female voices, where also some F0 and SPL differences existed between the samples. Thus the threshold level of 25% may be preferred, since natural speech samples always tend to have some differences in F0 and SPL.

Average normative values of  $CQ_{EGG}$  measured from the sustained [a:] samples with 25% threshold level for female speakers were: breathy 0.44 (SD 0.11), normal 0.52 (SD 0.07), and pressed phonation 0.66 (SD 0.08).

Further studies are warranted to calculate  $CQ_{EGG}$  values from continuous speech and from the real, not imitated dysphonic voices.

## Acknowledgements

This study was supported by the Academy of Finland (grant No. 1128095). The authors would especially like to thank senior laboratory technician Mr Jarmo Helin for assisting in the analyses of the material and Mrs Virginia Mattila, MA, for language correction of the manuscript.

**Declaration of interest:** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

## References

1. Baken RJ. Electroglottography. *J Voice*. 1992;6:98–110.
2. Peterson KL, Verdolini-Marston K, Barkmeier JM, Hoffman HT. Comparison of aerodynamic and electroglottographic parameters in evaluating clinically relevant voicing pattern. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1994;103:335–46.
3. Verdolini K, Druker DG, Palmer PM, Samawi H. Laryngeal adduction in resonant voice. *J Voice*. 1998;12:315–27.
4. Baken RJ, Orlikoff RF. Clinical measurement of speech and voice. San Diego, CA: Singular/Thomson Delmar; 2000.
5. Colton RH, Conture EG. Problems and pitfalls of electroglottography. *J Voice*. 1990;4:10–24.
6. Orlikoff RF. Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: data from normal male subjects. *J Speech Hear Res*. 1991;34:1066–72.
7. Howard DM. Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice*. 1995;9:163–72.
8. Lim J, Choi J, Kim K, Choi H. Voice analysis of patients with diverse types of reinke's edema and clinical use of electroglottographic measurements. *Acta Otolaryngol*. 2006;126:62–9.
9. Gaskill CS, Erickson ML. The effect of a voiced lip trill on estimated glottal closed quotient. *J Voice*. 2008;22:634–43.
10. Solomon NP. Vocal fatigue and its relation to vocal hyperfunction. *Int J Speech Lang Pathol*. 2008;10:254–66.
11. Laukkanen A, Mäki E, Leppänen K. Electroglottogram-based estimation of vocal economy: 'Quasi-output-cost ratio'. *Folia Phoniatr Logop*. 2009;61:316–22.
12. Bhandari A, Izdebski K, Huang C, Yan Y. Comparative analysis of normal voice characteristics using simultaneous electroglottography and high speed digital imaging. *Biomed Sign Proc Contr*. 2012;7:20–6.
13. Rothenberg M, Mashie J. Monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area. *J Speech Lang Hear Res*. 1988;31:338–51.
14. Howard DM. Electroglottography/electrolaryngography. In: Fried MP, Ferlito A, editors. *The larynx*. 3rd ed. San Diego: Plural Press; 2009. p. 227–43.
15. Higgins MB, Saxman JH. Inverse-filtered air flow and EGG measures for sustained vowels and syllables. *J Voice*. 1993;7:47–53.
16. Sapienza CM, Stathopoulos ET, Dromey C. Approximations of open quotient and speed quotient from glottal airflow and egg waveforms: effects of measurement criteria and sound pressure level. *J Voice*. 1998;12:31–43.
17. Higgins MB, Schulte L. Gender differences in vocal fold contact computed from electroglottographic signal: the influence of measurement criteria. *J Acoust Soc Am*. 2002;111:1865–71.
18. Kania RE, Hans S, Hartl DM, Clement P, Crevier-Buchman L, Brasnu DF. Variability of electroglottographic glottal closed quotients: necessity of standardization to obtain normative values. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004;130:349–52.
19. Herbst C, Ternström S. A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient. *Logoped Phoniatr Vocol*. 2006;31:126–38.
20. Henrich N, d'Alessandro C, Doval B, Castellengo M. On the use of the derivative of electroglottographic signal for characterization of nonpathological phonation. *J Acoust Soc Am*. 2004;115:1321–32.
21. Dromey C, Stathopoulos ET, Sapienza CM. Glottal airflow and electroglottographic measures of vocal function at multiple intensities. *J Voice*. 1992;6:44–54.
22. Huang DZ, Minifie FD, Kasuya H, Lin SX. Measures of vocal function during changes in vocal effort level. *J Voice*. 1995;9:429–38.
23. Holmberg EB, Hillman RE. Comparisons among aerodynamic, electroglottographic, and acoustic spectral measures of female voice. *J Speech Hear Res*. 1995;38:1212–24.

24. Hacki T. Electroglottographic quasi-open quotient and amplitude in crescendo phonation. *J Voice*. 1996;10:342–7.
25. Salomão GL, Sundberg J. What do male singers mean by modal and falsetto register? An investigation of the glottal voice source. *Logoped Phoniatr Vocol*. 2009;34:73–83.
26. Paul N, Kumar S, Chatterjee I, Mukherjee B. Electroglottographic parameterization of the effects of gender, vowel and phonatory registers on vocal fold vibratory patterns: an Indian perspective. *Indian J Otolaryngol*. 2011;63:27–31.
27. Chen Y, Robb MP, Gilbert HR. Electroglottographic evaluation of gender and vowel effects during modal and vocal fry phonation. *J Speech Lang Hear Res*. 2002;45:821–9.
28. Roubeau B, Henrich N, Castellengo M. Laryngeal vibratory mechanisms: the notion of vocal register revisited. *J Voice*. 2009;23:425–38.
29. Howard DM, Lindsey GA, Allen B. Toward the quantification of vocal efficiency. *J Voice*. 1990;4:205–12.
30. Airas M, Alku P. Comparison of multiple voice source parameters in different phonation types. Proceedings of the 8th Annual Conference of International Speech Communication Association (Interspeech 2007). Antwerpen, Belgium, 27–31 August 2007. International Speech Communication Association (ISCA); 2007. p. 1410–3.
31. Kreiman J, Gerratt BR. Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial, and a framework for future research. *J Speech Lang Hear Res*. 1993;36:21–41.
32. Kreiman J, Gerratt BR. The perceptual structure of pathologic voice quality. *J Acoust Soc Am*. 1996;100:1787–95.
33. Bele IV. Reliability in perceptual analysis of voice quality. *J Voice*. 2005;19:555–73.
34. Kreiman J, Gerratt BR, Precoda K, Berke GS. Individual differences in voice quality perception. *J Speech Hear Res*. 1992;35:512–20.
35. Gerratt BR, Kreiman J. Comparing internal and external standards in voice quality judgments. *J Speech Hear Res*. 1993;36:14–20.
36. Chan KMK, Yiu EM. The effect of anchors and training on the reliability of perceptual voice evaluation. *J Speech Lang Hear Res*. 2002;45:111–26.
37. Eadie TL, Baylor CR. The effect of perceptual training on inexperienced listeners' judgments of dysphonic voice. *J Voice*. 2006;20:527–44.
38. Yiu EM, Chan KMK, Mok RSM. Reliability and confidence in using a paired comparison paradigm in perceptual voice quality evaluation. *Clin Linguist Phon*. 2007;21:129–45.
39. Sulter A, Wit H. Glottal volume velocity waveform characteristics in subjects with and without vocal training, related to gender, sound intensity, fundamental frequency, and age. *J Acoust Soc Am*. 1996;100:3360–73.
40. Lebowitz A, Baken RJ. Correlates of the belt voice: a broader examination. *J Voice*. 2011;25:159–65.
41. Titze IR. Interpretation of the electroglottographic signal. *J Voice*. 1990;4:1–9.
42. Kent R. Hearing and believing: some limits to the auditory-perceptual assessment of speech and voice disorders. *Am J Speech Lang Pathol*. 1996;5:7–23.
43. Lavie N, Hirst A, de Fockert JW, Viding E. Load theory of selective attention and cognitive control. *J Exp Psychol Gen*. 2004;133:339–54.
44. Cartwright-Finch U, Lavie N. The role of perceptual load in inattention blindness. *Cognition*. 2007;102:321–40.
45. de Krom G. Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *J Speech Lang Hear Res*. 1994;37:985–1000.
46. Parsa V, Jamieson DG. Acoustic discrimination of pathological voice: sustained vowels versus continuous speech. *J Speech Lang Hear Res*. 2001;44:327–39.
47. Ma EP, Love AL. Electroglottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *J Voice*. 2010;24:146–52.

Copyright of Logopedics Phoniatrics Vocology is the property of Taylor & Francis Ltd and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.



## ORIGINAL ARTICLE

## Quasi-output-cost-ratio, perceived voice quality, and subjective evaluation in female kindergarten teachers

ELINA KANKARE &amp; ANNE-MARIA LAUKKANEN

*Speech and Voice Research Laboratory, School of Education, University of Tampere, Tampere, Finland***Abstract**

This study estimated vocal economy and investigated its relation to perceived voice quality and self-reported symptoms of vocal fatigue in kindergarten teachers. Quasi-output-cost ratio (QOCR) was calculated for sustained vowel [a:] at habitual loudness and at sound pressure level (SPL) of 90 dB<sub>ocm</sub>. QOCR was calculated as  $(SPL/CQ_{EGG}) \times T/T_0$ , where  $CQ_{EGG}$  is the contact quotient measured from the electroglottogram,  $T$  is the period length, and  $T_0$  is arbitrarily set mean period length (0.005 s in females). QOCR correlated negatively with perceived firmness at standard SPL and with the evaluation of too high pitch for the subject at both SPLs. QOCR did not predict self-reported vocal fatigue. Further studies with connected speech and objectively stated loading symptoms are warranted.

**Key words:** EGG, perceptual evaluation, QOCR, self-evaluation, vocal economy, vocal fatigue

**Introduction**

Pressed (hyperfunctional) voicing pattern has been claimed to be uneconomic and imply a risk for voice disorders (1,2). Pressed voicing is characterized by a relatively long closed time of the glottis during vocal fold vibration (3). Impact stress ( $IS$ ), which reflects the collision pressure of the vocal folds in phonation, increases with fundamental frequency, sound pressure level, and adduction (4). Thus,  $IS$  is higher in pressed phonation than in normal and hypofunctional (breathy) phonation.  $IS$  is regarded to be the main loading factor in voice production (5). Excessive vocal loading is seen as the main cause of vocal fatigue and development of voice disorders (2,5,6). Economic voice production should minimize vocal loading and thus help in preventing vocal fatigue. Vocal economy has been quantified as a cost-output ratio (7) between the acoustic sound pressure level (SPL) and the  $IS$  in vocal fold vibration.  $IS$  is difficult to measure in humans, although attempts have been made (6,8).

Electroglottography (EGG) is a non-invasive method to illustrate contact variation of the vocal folds during phonation (9,10). Pressed, breathy, and

normal voice qualities have been differentiated with the contact quotient measured from the electroglottographic signal ( $CQ_{EGG}$ ). In both healthy subjects (11) and subjects with vocal fold nodules (3). The  $CQ_{EGG}$  signal, has been found to correlate with  $IS$ , at least in canines (3). Modelling results also support the finding (12).

An earlier study presented a parameter quasi-output-cost-ratio (QOCR) to estimate the economy of voice production in humans (13). QOCR is calculated as  $[SPL(\text{dB})/CQ_{EGG}] \times [T/T_0]$ , where SPL is the sound pressure level,  $CQ_{EGG}$  is the contact quotient measured from EGG signal,  $T$  is period length which is inversely related to fundamental frequency ( $F_0$ ), and  $T_0$  corresponds to the period length for the mean  $F_0$  in speech, which is set at 0.005 s in females (corresponding to 200 Hz) and 0.01 s in males (corresponding to 100 Hz). The choice of  $T_0$  is arbitrary, the main purpose being to make the results of the formula dimensionless. According to the results of Laukkanen et al. (13) female teachers with voice training had higher QOCR values (mean 173, SD 33) than vocally untrained subjects (mean 110, SD 30). This was due to the lower  $F_0$ , SPL<sub>40cm</sub>

and  $CQ_{\text{EGG}}$  values in the trained subjects. Thus higher QOCR values are considered to imply a more economic voice production than lower QOCR values.

Teachers' vocal demands and risks have been studied intensively in recent years, while kindergarten teachers' voices have received less attention. However, kindergarten teachers' work is vocally as demanding as school teachers' work. The background noise levels in day care centres are high (14,15), and the noisy environment is known to increase phonatory effort. Special demands for the voice in kindergarten teachers' work are also due to the wide vocal variation of voice related to reading aloud, singing, and other activities. Speaking and giving instruction regularly in the open air is also loading for the voice (16). Kindergarten teachers are at elevated risk of developing voice disorders (17,18). The economy of voice production, thus, may be essential in kindergarten teachers and warrants study.

Perceptual rating has been used to evaluate voice quality both in healthy and dysphonic subjects (19–26). Voice clinicians and voice trainers are defined as expert listeners of voice quality since their education includes training in perceptual evaluation. Although varying inter-rater reliability in clinicians' voice quality rating has been reported (20,22,27), moderate or high correlation between perceptual and acoustic parameters has been found (23,26,28).

In several studies the self-evaluation of voice symptoms has been used to assess the voice users coping with their vocal demands (18,29–37). According to the self-evaluation of voice symptoms a majority of kindergarten teachers have experienced voice symptoms, and 21% – 37% of kindergarten teachers suffer from two or more voice symptoms weekly (18,29). Correlation between self-evaluation of voice symptoms and acoustic measurements has also been reported (38–40).

The present study applied QOCR to kindergarten teachers' voice production in sustained phonation of vowel [a:] at two different intensities and investigated the relations of the results with perceptual and subjective evaluation. The experimental questions were: 1) What is the mean and SD of QOCR in this group of voice professionals? 2) Is the QOCR related to the perceived voice characteristics? 3) Is the QOCR related to the self-perceived symptoms of vocal fatigue?

## Subjects and methods

One hundred and nineteen volunteer female kindergarten teachers from two large cities in Finland were recorded in field conditions. In the present study a total of 23 subjects were excluded from the study

because their EGG signal was noisy and it was not possible to compute  $CQ_{\text{EGG}}$ . A large amount of adipose tissue around the neck and for instance the wide angle of the thyroid cartilage in females may deteriorate the quality of the EGG signal (41). According to the videolaryngoscopic examination 11% ( $n = 13$ ) of the 119 subjects had organic findings in their vocal folds (18), but only those who had poor EGG signal were eliminated from the study. Mean age of the 96 subjects was 43.2 years (SD 9, range 25–64), and mean working experience was 16.6 years (SD 9.7, range 1–36). The means of age and working experience correspond very well with the mean demographics of the profession as a whole according to the statistics for 2008 in Finland (42).

## Recordings

Task 1: the subjects produced a sustained vowel [a:] three times at comfortable habitual loudness and pitch for at least 5 seconds. The instruction given to the subjects was to phonate in the same way as they speak in ordinary conversation. Typically the subjects searched for their habitual speaking pitch by speaking some phrases before starting to sustain the vowel. If the subject had difficulties to find her own habitual pitch, then more than three trials were recorded. Task 2: subjects produce vowel [a:] at sound pressure level  $90 \text{ dB}_{6\text{cm}}$  at subject's own habitual and comfortable pitch. Task 2 will be referred to as 'controlled SPL' and marked as  $90 \text{ dB}_{6\text{cm}}$ . The sound pressure level was controlled with the help of one of the experimenters using a sound level meter (Type 2206, Brüel & Kjær, Copenhagen) placed next to the microphone at the corner of the mouth. The A-frequency-weighting was used. A controlled SPL was used since the results of the preliminary study (13) suggested that QOCR decreases with SPL. The recordings in the preliminary study (13) were made in studio conditions with the microphone at a distance of 40 cm from the subject's mouth. (The SPL of  $90 \text{ dB}$  measured at a distance of 6 cm from the mouth corresponds approximately to the SPL of  $73.5 \text{ dB}$  measured at a distance of 40 cm, and  $80 \text{ dB}_{6\text{cm}}$  corresponds approximately to the SPL of  $64 \text{ dB}_{40\text{cm}}$  converted with the formula:  $\text{Level } d2 = \text{Level } d1 - 20 \times \text{Log} (d2/d1)$ ) (43). The pitch was allowed to vary freely in both phonation tasks because the aim in the present study was to record phonation samples which illustrated the subject's natural phonation type as far as possible.

The recordings were made in field conditions in a quiet office in 32 different day care centres before lunchtime (between 8 a.m. and 11 a.m.). The field conditions were used in order to obtain as large a number of subjects as possible and to enable more

natural voice production than in laboratory conditions. The mean background noise in the empty recording rooms was 35 dB (range 32 – 41 dB, mode 35 dB). The background noise was measured with a sound level meter (Type 2206, Brüel & Kjær, Copenhagen) using the A-frequency-weighting. A short mouth-to-microphone distance (6 cm from the corner of the mouth) was used in the recordings to avoid the effects of room acoustics (44,45). The recordings were made using a dual-channel EGG (Glottal Enterprises) with 20 Hz low frequency limit, a headset microphone (AKG C477) with portable power supply (AKG B29L), and a portable PC with external sound card (M-Audio, MobilePre USB). The sampling rate was 44.1 kHz, and the amplitude range was 16 bits. The recordings were calibrated with a sound level meter (Type 2206, Brüel & Kjær, Copenhagen) from each subject's steady sustained vowel phonation, and the mouth-to-microphone distance was measured for every subject to be 6 cm.

#### Perceptual evaluation

Eight experienced voice trainers evaluated the [a:] vowel samples for voice quality, suitability of pitch, and firmness of phonation. Because of the large number of voice samples (192 in total), the rating was performed in two separate sessions: first the habitually phonated vowels were rated then the vowels at sound pressure level of 90 dB<sub>6cm</sub>. The listeners heard the samples through headphones (Sony Stereo Headphones MDR-CD480) from a portable PC with external sound card (M-Audio, MobilePre USB). The perceptual evaluation was made using a

bipolar visual analogue scale (VAS) with Judge Program (see Granqvist doctoral dissertation 2003, Kungliga Tekniska Högskolan, Department of Speech Music and Hearing, Stockholm). The Judge Program presented the voice samples in a random order. The samples could be replayed as many times as the listener wished. The listener gives his/her rating by adjusting the position of a cursor with the mouse. The results of the ratings are automatically saved from the VAS as numerical data from 0 to 1000. In the present study the scales were labelled by voice quality, suitability of pitch, and firmness of phonation. The extremes and the middles were marked on the scale. The extremes for the voice quality were 'poor voice quality' (= 0) and 'excellent voice quality' (= 1000), for the suitability of pitch 'too low pitch' (= 0) and 'too high pitch' (= 1000), and for the firmness of phonation 'very breathy phonation' (= 0) and 'very strained voice' (= 1000). The middle values on the bipolar scale were ordinary voice quality and adequate pitch or firmness.

#### Self-reports

The kindergarten teachers made a self-assessment of their vocal fatigue symptoms and their severity by answering a questionnaire on the Internet. The questionnaire has been used in several studies (18,25,35,39,46). The questionnaire correlates with the Voice Activity and Participation Profile (35). Frequency and severity of voice symptoms were elicited with nine questions (see Table I). The scales in both were from 0 = never/no symptoms to 6 = weekly/severe symptoms. The results of the questionnaire

Table I. Questionnaire on vocal fatigue symptoms. Subjects were asked to report the frequency and severity of experiencing symptoms expressed as statements. Statements and scores on describing more serious voice symptoms are given in **bold face**.

	Frequency	Severity
1. My voice gets strained	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
<b>2. My voice is hoarse without infection</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>
3. I have a lump or mucus in my throat	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
4. I have irritation or tickle in my throat	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
5. I have tiredness and/or pain in my throat or neck after speaking	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
6. I have tiredness and/or pain in my throat or neck after singing	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
7. I have voice breaks when I am talking	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
<b>8. I have had loss of voice without infection</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>
<b>9. After a working day my voice is so fatigued that it causes trouble in my social life</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>	<b>0 1 3 4 6 7 8</b>
<hr/>		
Alternatives for the frequency of voice symptoms:	Alternatives for the severity of voice symptoms	
0(0) = hardly ever or less than once a year	0(0) = no symptoms	
2(3) = occasionally or a couple of times a year	2(3) = minor symptoms	
4(6) = quite often or about once a month	4(6) = moderate symptoms	
6(8) = very often or at least once a week	6(8) = severe symptoms	

were summarized by calculating all frequency and severity points together. The maximum points from the frequency and severity questions were in total 120 as six of the questions were on a scale of 0–6 and three of the questions were emphasized (scale 0–8) because they were considered to indicate more serious voice symptoms (total frequency points 60 + total severity points 60).

#### Acoustic and EGG analyses

The mean  $F_0$  and SPL from the calibrated acoustic signal were measured using the Intelligent Speech Analyser signal analysis system developed by Raimo Toivonen, MScEng. Period length ( $T$ ) and  $CQ_{EGG}$  [contact time/ $T$ ] were measured from the EGG signal using VoceVista Pro voice analysis software with 25% criteria level;  $CQ_{EGG}$  was measured from two adjacent periods from the middle of each of the three sustained [a:] -vowels. For each subject a mean of the six  $CQ_{EGG}$  values was used for calculating QOCR at both sound pressure levels. QOCR [ $SPL$  (dB)/ $CQ_{EGG}$ ]  $\times$  [ $T/T_0$ ] were calculated ( $T_0$  was set at 5 ms).

#### Statistical analyses

Statistical analyses were carried out using PASW Statistics 18.0 software for Windows/MacOS (SPSS Inc., Chicago, IL). Relations between QOCR and the results from the questionnaire and perceptual evaluation were assessed using Spearman's rho. Inter-rater reliability of perceptual evaluation was measured with Cronbach's alpha reliability coefficient. Differences

between the groups were studied with Mann–Whitney  $U$  test, for parameters with a skewed distribution or small number of cases.

## Results

#### $CQ_{EGG}$ , acoustic parameters and QOCR

Mean values of SPL,  $F_0$ ,  $CQ_{EGG}$ , and QOCR at two sound pressure levels are shown in Table II. Mean  $SPL_{6cm}$  values 80 dB<sub>6cm</sub> and 92 dB<sub>6cm</sub> correspond approximately to 64 dB<sub>40cm</sub> and 76 dB<sub>40cm</sub>; QOCR calculated with the converted sound pressure levels  $SPL_{40cm}$  were 124 in habitual phonation and 116 in louder, controlled SPL. As expected, the two sound pressure levels differed significantly ( $P < 0.01$ ) from each other in the EGG and acoustic parameters. QOCR correlated negatively with  $F_0$  and  $CQ_{EGG}$ . The correlation at both sound pressure levels was moderate (QOCR versus  $F_0$  in habitual sound pressure level  $r = -0.57$ ,  $P < 0.01$  and in 90 dB<sub>6cm</sub>  $r = -0.62$ ,  $P < 0.01$ ; QOCR versus  $CQ_{EGG}$  in habitual sound pressure level  $r = -0.59$ ,  $P < 0.01$  and in 90 dB<sub>6cm</sub>  $r = -0.55$ ,  $P < 0.01$ , Spearman's rho). SPL did not correlate with QOCR in this material, either with the lower, habitual SPL or the controlled 90 dB<sub>6cm</sub> SPL.

#### Experts' evaluation of voice

Means and standard deviations of the perceptual evaluation are listed in Table II. The reliability coefficient of eight voice trainers' perceptual evaluation of the voice samples was strong. In vowel [a:]

Table II. Means and standard deviations of acoustic parameters,  $CQ_{EGG}$ , QOCR, and perceptual evaluation of all subjects, and subjects divided in three groups according to self-assessment of voice symptoms. See the criteria for the group division in results section 'Self-assessment of voice symptoms'. Difference between subjects was studied with Mann–Whitney  $U$  test.

	All subjects ( $n = 96$ ) mean (SD)	Group 1 ( $n = 32$ ) mean (SD)	Group 2 ( $n = 48$ ) mean (SD)	Group 3 ( $n = 16$ ) mean (SD)	Difference between groups
[a:] -vowel at comfortable habitual SPL					
$F_0$	199 Hz (30)	202 Hz (33)	199 Hz (27)	193 Hz (32)	NS
$SPL_{6cm}$	80 dB (4)	80 dB (5)	80 dB (4)	78 dB (3)	NS
$CQ_{EGG}$	0.52 (0.07)	0.51 (0.09)	0.53 (0.07)	0.53 (0.05)	NS
QOCR	159 (31)	162 (39)	157 (28)	160 (23)	NS
Quality of phonation	355 (102)	359 (105)	360 (105)	331 (88)	NS
Suitability of pitch	506 (112)	514 (117)	500 (110)	508 (115)	NS
Firmness of phonation	483 (175)	486 (183)	467 (180)	484 (146)	NS
[a:] -vowel at SPL 90 dB <sub>6cm</sub>					
$F_0$	237 Hz (38)	234 Hz (36)	239 Hz (38)	240 Hz (44)	NS
$SPL_{6cm}$	91.7 (3)	92 dB (3)	92 dB (3)	91 dB (2)	NS
$CQ_{EGG}$	0.55 (0.07)	0.55 (0.06)	0.55 (0.08)	0.56 (0.08)	NS
QOCR	147 (25)	149 (27)	147 (25)	143 (23)	NS
Quality of phonation	385 (104)	392 (93)	376 (105)	401 (122)	NS
Suitability of pitch	575 (113)	570 (114)	575 (113)	587 (113)	NS
Firmness of phonation	627 (124)	626 (134)	627 (130)	629 (84)	NS

produced at habitual sound pressure level the reliability (Cronbach's alpha) for firmness was 0.89, for the suitability of pitch 0.88, and for voice quality 0.84. At sound pressure level 90 dB<sub>6cm</sub> the reliabilities were 0.84 for firmness, 0.92 for pitch, and 0.85 for voice quality. QOCR correlated negatively with the experts' perceptual evaluation of the suitability of pitch in both sound pressure levels; the correlation was moderate (Spearman's rho, habitual sound pressure level -0.49 and 90 dB<sub>6cm</sub> -0.57,  $P=0.01$ ). The expert evaluation of suitability of pitch also correlated with fundamental frequency ( $F_0$ ) at both sound pressure levels. The correlation was strong (Spearman's rho > 0.8,  $P=0.01$ ). The correlation coefficients from perceptual evaluations, self-reported voice symptoms, and acoustic and EGG parameters are shown in Table III.

#### Self-assessment of voice symptoms

The subjects were divided into three groups according to the average degree of voice symptoms. The first group (group 1) consisted of subjects with minor symptoms, (symptoms occasionally/few times a year), mean score point from the questionnaire was 21 (SD 11). A total of 32 (33%) of the subjects were in the group 1. Group 2 was formed of subjects with moderate voice symptoms (two or more symptoms monthly), mean score point was 54 (SD 11), and there were a total of 48 (50%) subjects in this group. Group 3 consisted of subjects who reported two or more voice symptoms weekly, mean score point was 90 (SD 9). In the last group there were 16 (17%) subjects. Two or more vocal symptoms weekly have been proposed to be the criteria level for functional dysphonia (29).

The mean of total points from the self-evaluated voice symptoms and the severity of symptoms was

48.7 points (range 1–111 out of 120 maximum, SD 26, mode 47). Regarding acoustic, EGG, or perceptual parameters the groups did not differ significantly from each other. QOCR, CQ<sub>EGG</sub> or acoustic parameters and the self-evaluation of the symptoms did not correlate with each other, and neither did the experts' perceptual evaluation and the self-reported voice symptoms. Nor were significant differences found in CQ or QOCR between the ten subjects who reported most symptoms compared to those ten who reported least symptoms.

#### Discussion

The present study was designed to measure the voice economy parameter QOCR among occupationally heavy voice users, kindergarten teachers, and to investigate the usability of QOCR in predicting perceived voice quality and self-reported symptoms of voice fatigue. The values obtained for QOCR in the present study (mean 159 for habitual SPL<sub>6cm</sub> and 147 for louder SPL<sub>6cm</sub>) were converted to correspond to the QOCR values obtained in the preliminary study (13) where the mouth-to-microphone distance was 40 cm. These converted values (124 for habitual SPL<sub>40cm</sub> and 116 for louder SPL<sub>40cm</sub>) were somewhat higher than the mean value obtained for vocally untrained students (QOCR value 110) and lower than the mean value in vocally trained teachers (QOCR value 173) in the preliminary study (13). Standard deviation of QOCR was higher in the present study (25 for habitual loudness, 31 for louder, compared to 3 in trained teachers and 12 in students). SPL used by the subjects in the preliminary study was 4–30 dB higher than in the present study. (The difference is not due to the difference in mouth-to-microphone distances.) Due to the formula itself

Table III. Correlation coefficients between  $F_0$ , SPL<sub>6cm</sub>, CQ<sub>EGG</sub>, QOCR and perceptual evaluation and self-reported voice symptoms in Spearman's rho.

	Perceptual evaluation			Self-reported voice symptoms
	Voice quality	Firmness of voicing	Suitability of pitch	
[a:]-vowel at habitual sound pressure level				
$F_0$	0.22*	0.28**	0.81**	-0.12
SPL <sub>6cm</sub>	0.20	0.33**	0.32**	-0.10
CQ <sub>EGG</sub>	0.00	-0.12	-0.14	0.07
QOCR	-0.08	0.04	-0.49**	0.02
Self-reported voice symptoms	-0.15	0.03	-0.07	1.00
[a:]-vowel at 90 dB <sub>6cm</sub> sound pressure level				
$F_0$	0.05	0.17	0.87**	-0.00
SPL <sub>6cm</sub>	0.14	0.17	0.00	-0.11
CQ <sub>EGG</sub>	0.08	0.22*	-0.16	0.04
QOCR	-0.13	-0.26*	-0.57**	0.04
Self-reported voice symptoms	-0.02	-0.02	0.03	1.00

\*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

the correlations between QOCR and  $CQ_{EGG}$  and  $F_0$  were obvious. Contrary to the pilot study of the QOCR (13), SPL did not correlate with QOCR at either sound pressure level.

There was a low but significant negative correlation between QOCR and the perceived firmness of voicing in louder phonation, and a moderate and significant negative correlation between QOCR and the evaluation of 'too high pitch for the subject' at both sound pressure levels (see Table III). CQ correlated moderately positively with perceived firmness in louder phonation. Thus, the economy of voice production as quantified through QOCR was lower in a more hyperfunctional and high-pitched phonation. On the other hand, general voice quality did not correlate with any measured variables. This may be explained by the fact that there was just slight variation in voice quality in general in the present material since most of the subjects had normal, non-pathological voices. That CQ correlated only moderately with perceived firmness may be explained by the fact that other factors, like  $F_0$ , also affect CQ (47,48). In line with the earlier results from the preliminary study (13), the self-assessment of voice symptoms did not correlate with QOCR. This raises the questions whether QOCR measured from sustained vowel phonation is suitable to reflect the subjects' habitual speech and voice use during the working day, and whether the economy of voice production in general is able to predict vocal fatigue. In some studies continuous speech as research material has been found preferable to a sustained vowel when characterizing a subject's general voice (20,49). Connected speech has also been recommended for EGG measurements as a conclusion of a recent study by Ma et al. (50). However, in a recent study a strong correlation between perceived voice quality and spectral parameters both in continuous speech and vowel samples was reported (28).

Regarding the relation between vocal economy and symptoms of vocal fatigue there are other factors like the amount of voice use and individual tissue endurance which may be more important predictors of vocal symptoms. The results of the present study are also determined by the subjects' sensitivity to symptoms of vocal fatigue. It has, for example, been considered that our tendency to report voice fatigue symptoms increases as our knowledge about the voice increases (13).

## Conclusions

The economy of voice production as quantified through QOCR in sustained vowel phonation was lower in kindergarten teachers than in vocally trained

teachers of previous study. The economy was also lower in phonation that was perceived as strained and too high-pitched for the subject. Self-assessment of symptoms of vocal fatigue did not correlate with QOCR. The results seem to suggest that either sustained vowel phonation does not reflect the vocal economy in speech, or vocal economy does not play a crucial role in vocal loading. Intervening factors are the subject's individual endurance and sensitivity to symptoms of vocal fatigue. Further studies of continuous speech samples and objectively stated vocal overloading symptoms are warranted.

## Acknowledgements

This study was supported by the Academy of Finland (grant No. 1128095). The authors would especially like to thank laboratory technician Mr Jarmo Helin for assisting in the analyses of the material and Mrs Virginia Mattila, MA, for language correction of the manuscript.

**Declaration of interest:** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

## References

1. Chen SH, Hsiao T, Hsiao L, Chung Y, Chiang S. Outcome of resonant voice therapy for female teachers with voice disorders: Perceptual, physiological, acoustic, aerodynamic, and functional measurements. *J Voice*. 2007;21:415–25.
2. Solomon NP. Vocal fatigue and its relation to vocal hyperfunction. *Int J Speech Lang Pathol*. 2008;10:254–66.
3. Verdolini K, Druker DG, Palmer PM, Samawi H. Laryngeal adduction in resonant voice. *J Voice*. 1998;12:315–27.
4. Jiang JJ, Titze IR. Measurement of vocal fold intraglottal pressure and impact stress. *J Voice*. 1994;8:132–44.
5. Titze IR. Mechanical stress in phonation. *J Voice*. 1994;8:99–105.
6. Verdolini K, Hess MM, Titze IR, Bierhals W, Gross M. Investigation of vocal fold impact stress in human subjects. *J Voice*. 1999;13:184–202.
7. Berry DA, Verdolini K, Montequin DW, Hess MM, Chan RW, Titze IR. A quantitative output-cost ratio in voice production. *J Speech Lang Hear Res*. 2001;44:29–37.
8. Hess MM, Verdolini K, Bierhals W, Mansmann U, Gross M. Endolaryngeal contact pressures. *J Voice*. 1998;12:50–67.
9. Baken RJ. Electroglottography. *J Voice*. 1992;6:98–110.
10. Baken RJ, Orlikoff RF. Clinical measurement of speech and voice. San Diego, CA: Singular/Thomson Delmar; 2000.
11. Peterson KL, Verdolini-Marston K, Barkmeier JM, Hoffman HT. Comparison of aerodynamic and electroglottographic parameters in evaluating clinically relevant voicing pattern. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1994;103:335–46.
12. Horáček J, Laukkanen A-M, Švec JG. Closed quotient as an estimate of impact stress: A computer modelling study. In: Proceedings AQL 2006: Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research, October 6–7, 2006,

- Groningen, the Netherlands [CD-ROM]. (p.1 – 8). Groningen, the Netherlands: Groningen Voice Research Lab, University of Groningen.
13. Laukkanen A-M, Mäki E, Leppänen K. Electroglottogram-based estimation of vocal economy: 'quasi-output-cost ratio'. *Folia Phoniatr Logop.* 2009;61:316–22.
  14. Södersten M, Granqvist S, Hammarberg B, Szabo A. Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *J Voice.* 2002; 16:356–71.
  15. Lindstrom F, Persson Wayne K, Södersten M, McAllister A, Ternström S. Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day-care center environments. *J Voice.* 2010;25:166–72.
  16. Vilkman E. Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr Logop.* 2004;56: 220–53.
  17. Sala E, Airo E, Olkinuora P, Simberg S, Ström U, Laine A, et al. Vocal loading among day care center teachers. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2002;27:21–8.
  18. Kankare E, Geneid A, Laukkanen A-M, Vilkman E. Subjective evaluation of voice and working conditions and phoniatric examination in kindergarten teachers. *Folia Phoniatri Logop.* 2012;64:12–19.
  19. Leino T. Long-term average spectrum study on speaking voice in male actors. In: Friberg A, Iwarsson J, Jansson E, Sundberg J, editors. SMAC93, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, July 28-August 1, 1993. Stockholm: The Royal Swedish Academy of Music; 1994. Vol. 79. p. 206–10.
  20. Kreiman J, Gerratt BR. The perceptual structure of pathological voice quality. *J Acoust Soc Am.* 1996;100:1787–95.
  21. Simberg S, Sala E, Laine A, Rönnemaa A. A fast and easy screening method for voice disorders among teacher students. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2001;26:10–16.
  22. Bele IV. Reliability in perceptual analysis of voice quality. *J Voice.* 2005;19:555–73.
  23. Bhuta T, Patrick L, Garnett JD. Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurements. *J Voice.* 2004;18:299–304.
  24. Lee M, Drinnan M, Carding P. The reliability and validity of patient self-rating of their own voice quality. *Clin Otolaryngol.* 2005;30:357–61.
  25. Ilomäki I, Laukkanen A-M, Leppänen K, Vilkman E. Effects of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2008;33:83–92.
  26. Awan SN, Roy N, Dromey C. Estimating dysphonia severity in continuous speech: Application of multi-parameter spectral/cepstral model. *Clin Linguist Phon.* 2009;23:825–41.
  27. Kreiman J, Gerratt BR. Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial, and a framework for future research. *J Speech Lang Hear Res.* 1993;36:21–41.
  28. Awan SN, Roy N, Jetté ME, Meltzner GS, Hillman RE. Quantifying dysphonia severity using a spectral/cepstral-based acoustic index: Comparisons with auditory-perceptual judgement from the CAPE-V. *Clin Linguist Phon.* 2010;24:742–58.
  29. Sala E, Laine A, Simberg S, Pentti J, Suonpää J. The prevalence of voice disorders among day care center teachers compared with nurses: a questionnaire and clinical study. *J Voice.* 2001;15:413–23.
  30. Pekkarinen E, Himberg L, Pentti J. Prevalence of vocal symptoms among teachers compared with nurses: A questionnaire study. *Scand J Log Phon.* 1992;17:113–7.
  31. Smith E, Lemke J, Taylor M, Kirchner HL, Hoffman H. Frequency of voice problems among teachers and other occupations. *J Voice.* 1998;12:480–8.
  32. Yiu EM. Impact and prevention of voice problems in the teaching profession: embracing the consumers' view. *J Voice.* 2002;16:215–29.
  33. Preciado J, Perez C, Calzada M, Preciado P. [Function vocal examination and acoustic analysis of 905 teaching staff of La Rioja, Spain]. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2005;56: 261–72.
  34. Roy N, Merrill RM, Thibeault S, Parsa RA, Gray SD, Smith EM. Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *J Speech Lang Hear Res.* 2004;47:281–93.
  35. Ilomäki I, Mäki E, Laukkanen A-M. Vocal symptoms among teachers with and without voice education. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2005;30:171–4.
  36. Simberg S, Sala E, Vehmas K, Laine A. Changes in the prevalence of vocal symptoms among teachers during a twelve-year period. *J Voice.* 2005 3;19:95–102.
  37. Laukkanen A-M, Leppänen K, Ilomäki I. Self-evaluation of voice as a treatment outcome measure. *Folia Phoniatr Logop.* 2009;61:57–65.
  38. Rantala L, Vilkman E. Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *J Voice.* 1999;13:484–95.
  39. Laukkanen A-M, Kankare E. Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatr Logop.* 2006;58:229–39.
  40. Aboras Y, El-Banna M, El-Magraby R, Ibrahim A. The relationship between subjective self-rating and objective voice assessment measures. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2010;35:34–8.
  41. Colton RH, Conture EG. Problems and pitfalls of electroglottography. *J Voice.* 1990;4:10–24.
  42. Available at: <http://www.stakes.fi/tilastot/ekirja/STV08.pdf>. Accessed 30 June 2011.
  43. Titze IR. Principles of voice production. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1994.
  44. Titze IR, Winholtz WS. Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *J Speech Lang Hear Res.* 1993;36:1177.
  45. Švec JG, Granqvist S. Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *Am J Speech Lang Pathol.* 2010;19:356–68.
  46. Leppänen K, Ilomäki I, Laukkanen A-M. One-year follow-up study of self-evaluated effects of Voice Massage™, voice training, and voice hygiene lecture in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2010;35:13–18.
  47. Howard DM. Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice.* 1995;9:163–72.
  48. Herbst C, Ternström S. A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2006;31:126–38.
  49. Parsa V, Jamieson DG. Acoustic discrimination of pathological voice: sustained vowels versus continuous speech. *J Speech Lang Hear Res.* 2001;44:327–39.
  50. Ma EP, Love AL. Electroglottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *J Voice.* 2010;24:146–52.

# EGG and Acoustic Analyses of Different Voice Samples: Comparison between Perceptual Evaluation and Voice Activity and Participation Profile

Elina Kankare<sup>a</sup> Dong Liu<sup>a, b</sup> Anne-Maria Laukkanen<sup>a</sup> Ahmed Geneid<sup>c, d</sup>

<sup>a</sup>Speech and Voice Research Laboratory, School of Education, University of Tampere, Tampere, <sup>b</sup>Department of Applied Physics, University of Eastern Finland, Kuopio, and <sup>c</sup>Department of Otolaryngology and Phoniatics, Helsinki University Central Hospital, Helsinki, Finland; <sup>d</sup>Department of Otolaryngology, Suez Canal University Hospital, Ismailia, Egypt

## Key Words

Contact quotient · Maximum velocity of increase in contact area · Voice quality · Vocal loading

## Abstract

**Objective:** This study investigated whether different electroglottographic (EGG) parameters may be used to estimate voice quality and loading related to it, and whether voice quality is related to self-estimation of voice problems and laryngeal status. The effect of sample type was also considered. **Methods:** EGG and acoustic signals of a sustained vowel [a:] (90 dB<sub>6 cm</sub>) and text reading during noise exposure were recorded from 93 female kindergarten teachers. Analyses were made from the sustained vowel and vowel [a:] from a stressed word. Contact quotient (CQ) was calculated. Maximum velocity of increase in contact area inferred from derivative (MDEGG) was examined. Fundamental frequency was calculated from the EGG signal. From the acoustic signal sound pressure level (SPL) was computed and pressedness in voice quality was evaluated perceptually. Self-evaluation was made with Voice Activity and Participation Profile (VAPP). Indirect laryngoscopy was also performed. **Results:** Pressedness in voice correlated with EGG results only for the sustained vowel, and better with MDEGG than CQ values. VAPP and laryngeal evaluation did not correlate with the acoustic or EGG parameters or with perception. **Conclu-**

**sions:** MDEGG is worth testing as an indicator of impact stress. Sustained vowel at a controlled SPL is more suitable for voice quality evaluation than a long stressed vowel from connected speech.

© 2013 S. Karger AG, Basel

## Introduction

Impact stress (force per unit area) has been regarded as the main loading factor in voice production [1] and reported to increase with adduction, fundamental frequency (F0), and sound pressure level (SPL) [2]. Impact stress is complicated to measure in humans [3–5], therefore non-invasive ways of estimating impact stress have been sought. Electroglottography (EGG) is a noninvasive, electric impedance variation-based method of measuring contact area variation of the vocal folds during phonation [6]. Contact quotient (CQ = time of contact of the vocal folds divided by the period length of the vocal folds) calculated from the EGG signal has been reported to correlate with impact stress, even though at high subglottic pressures CQ becomes saturated, while impact stress still rises [7, 8]. CQ has also been reported to distinguish between breathy and pressed voice qualities and to correlate with the degree of perceived pressedness of phonation, at least when the voice qualities are simulated [9–12]. As stated e.g. by Titze



[13], breathy and pressed voices are on the extremes of a spectrum, where in breathy phonation the vocal folds are hypoadducted while in pressed phonation the vocal folds are hyperadducted; so-called flow phonation is somewhere in between breathy and pressed phonation [13]. The fastest change in contact area during the closing phase of vocal fold vibration can be detected from the maximum value of the first derivative of the EGG signal (MDEGG). The velocity of the vocal folds before collision is one of the important factors for the magnitude of impact stress [13], therefore a relatively higher velocity of the increase in contact area before collision can be assumed to be related to a higher impact stress. The peaks in the derivative of EGG (DEGG) comply with the closing and opening instants of the glottis as has been shown by comparing EGG and simultaneous high-speed recording [14, 15].

In EGG analyses prolonged vowel repetition has mostly been used as voice material, although connected speech has been considered to best represent the subject's habitual vocal behavior [16, 17]. An intraword vowel [a:] has commonly been used in voice analyses that apply glottal inverse filtering [e.g., 18–20], as well as in some EGG studies [e.g., 21–23]. A reading task to furnish connected speech material has been recommended for research purposes, while spontaneous speech has been recommended for clinical use [24]. In the current study, loud voice and noise exposure were used to create a situation where the participants used their voices as if they were in noisy working conditions, which we considered likely to bring out a tendency to use a pressed voice.

The aim of the current study was to find the most preferable, noninvasive way to estimate vocal loading. Research questions were: (1) To what extent do CQ and MDEGG parameters covary with perceived pressedness of phonation in authentic voices? (2) Are the results of EGG, acoustic and perceptual voice analyses and laryngeal examination related to participants' self-evaluated voice problems and voice-related quality of life? (3) Does the type of voice sample affect the results?

## Participants and Methods

### Participants

Acoustic and EGG signals were originally collected from 119 female kindergarten teachers. Twenty-six participants were excluded from the study because their electroglottogram was corrupted (weak and/or noisy signals) and EGG analyses were not feasible. The mean age of the 93 participants was 43.2 years (SD = 9, mode = 42, range = 25–64) and mean working experience was 16.6 years (SD = 9.7, mode = 15, range = 1–36).

### Methods

#### Recordings and Tasks

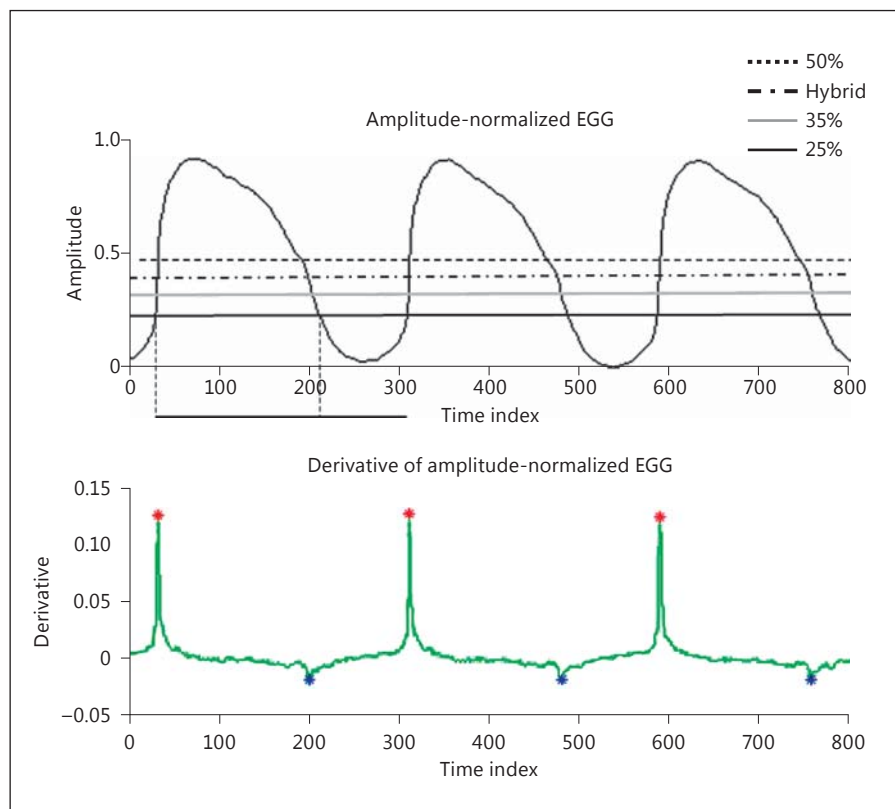
Recordings were made in field conditions in 34 different day care centers using a dual-channel EGG (Glottal Enterprises with the low frequency limit set at 20 Hz), a headset microphone (AKG C477) with portable power supply (AKG B29L) and a portable PC with external sound card (M-AUDIO, MOBILEPRE USB) and Sony Sound Forge 7.0 software. To minimize the field study effect on the acoustic signal, the recordings were made in a quiet office or a store room, with a short mouth-to-microphone distance (6 cm from the corner of the mouth [25, 26]). The sampling rate for the recordings was 44.1 kHz with 16-bit quantization. The recordings were calibrated by measuring with a sound level meter (type 2206, Brüel & Kjær, Copenhagen) the SPL for each participant's steady sustained vowel phonation. During the text reading recordings the participants were exposed to noise through headphones (MP3 player: SanDisk Sansa Clip A57 4 GB White Flash; headphones: Sennheiser HD 457). The noise used was recorded in a day care center and consisted of children's speaking voices and play sounds. Strong rattling sounds of toys were edited out from the noise to protect the participants' ears during the noise exposure. Silent moments were also excluded so that the outcome was continuous background noise. For every participant the noise was replayed at the same SPL [mean 67.8 dB, calibrated with a sound generator (BOSS TU-120) and sound level meter (Mediator 2238), and measured with Praat software].

*Task 1.* Using their habitual pitch the participants produced a 5-second vowel [a:] 3 times at an SPL of 90 dB<sub>6 cm</sub> (noise exposure was not used in this task). A unified SPL was used to ensure sufficiently loud voice production and to help evaluate voice quality. An SPL of 90 dB<sub>6 cm</sub> was chosen since it corresponds to the intensity levels measured and required in classroom communication [e.g., 27].

*Task 2.* The participants read aloud a text containing 213 words (no sibilants included). The instruction given to the participants was to read the text so that they felt they would be heard over the noise that they were hearing through the headphones.

#### Acoustic and EGG Analyses

For the sustained vowel [a:], analysis was performed on the middle 2 s of each participant's second sustained vowel. Analysis of the long vowel [a:] was derived from a stressed word in the reading passage (primary sentence stress-carrying word ['ka:k:o], meaning 'South-East' in Finnish). SPL was measured from the calibrated acoustic signal using the Intelligent Speech Analyser signal analysis system (developed by Raimo Toivonen, MScEng). Octave software (version 3.2.4 Copyright© 2009 John W. Eaton et al.) and codes for automatic EGG analysis written by Dong Liu (2012) were used to examine the EGG signal for CQ and MDEGG. F0 was automatically calculated from the EGG signal. The mean number of periods for the EGG analyses was 417 (SD = 72) in the sustained vowel [a:] and 35 (SD = 11) in the vowel [a:] derived from the stressed word in a sentence. CQ was calculated using 25, 35 and 50% threshold levels, the first derivative method (CQ<sub>DEGG</sub>) and hybrid EGG<sub>3;7</sub> method. In the threshold-level method (also called criterion-level method, fig. 1) a horizontal line is placed at a certain percentage of the peak-to-peak amplitude of the EGG signal [28, 29]. In the derivative-based method [e.g., 14, 30, 31] the greatest change in increasing and decreasing vocal fold contact is computed from the EGG signal (fig. 1). In the hybrid method [32–34] the



**Fig. 1.** Amplitude-normalized EGG signal and its derivative. CQ calculations were carried out from EGG signals with Octave 3.2.4 analysis software at threshold levels of 50%, hybrid 3:7, 35 and 25%. Increasing impedance downwards. The solid line between EGG and derivative pictures presents one vocal fold period and the dashed vertical lines at the 25% threshold level the points used to measure  $CQ_{25\%}$ . In the derivative signal the minimum derivative point (lower asterisk) reflects the instant of the fastest glottal opening, and the maximum derivative point reflects the instant of the fastest glottal closing (upper asterisk).

maximum of the first derivative is used to mark the beginning of the vocal fold contact, and the end of the contact is marked with a threshold level placed for example at the 3:7 (43%) level [34]. The present study was also concerned with the magnitude of the maximum of the first derivative obtained from an amplitude-normalized EGG signal. This parameter will be referred to as MDEGG. In amplitude normalization, the original EGG signal is converted into a real amplitude value between 0 and 1, using the formula:

$$\frac{EGG \text{ Signal} - \text{Min}(EGG \text{ Signal})}{\text{Max}(EGG \text{ Signal}) - \text{Min}(EGG \text{ Signal})}$$

Thus, the normalized signal is presented at successive points in time at a rate of 1/44,100. Due to the noise, which is always present in real-life EGG signals, accidental zero-crossings of the first derivative occur, yielding false detections if a zero-derivative method is used. In the present study a different approach was chosen. Each point in the derivative EGG signal was considered as a maximum peak if it had the maximal value, and was preceded by a value lower than a manually preset threshold value. The threshold value can be adjusted on the basis of visual inspection of the signal until there is no subpeak detection in the automatic analysis.

#### Perceptual Evaluation

The degree of pressedness of phonation for sustained vowel [a:] and the word carrying stressed [a:] from the reading passage was evaluated by 5 experienced voice trainers. Due to the large number of voice samples the perceptual evaluation was made on two dif-

ferent occasions. The voice samples were replayed through headphones (Sony Stereo Headphones MDR-CD480) from a PC with an external sound card (M-AUDIO, MOBILEPRE USB) using Judge Program [35]. A visual analog scale was used in the evaluation, and the extremes and the middle of the scale were labeled: 0 = very breathy phonation, 500 = adequate phonation and 1,000 = very pressed phonation. The results of the evaluation were automatically saved as numerical data from 0 to 1,000. The listeners were able to repeat each sample as many times as they wanted. Prior to the listening evaluation the voice trainers listened to a set of anchor voice samples which they could compare with the samples in the listening evaluation task [36–38]. The anchor samples were taken from the material of the present study (some of the clearest examples of breathy and pressed phonation).

#### Laryngeal Examination

The participants underwent laryngeal examination by one of the authors (A.G.) whose experience in the field of phoniatics exceeds 9 years. Laryngeal examination took place at the day care centers and was carried out with a mobile videolaryngoscopy unit (rpSzene-Mobile, Rehder/Partner GmbH, Germany). The recordings were reviewed and the participants were divided into three groups: healthy, almost healthy and disordered. The healthy group included the subjects with no organic findings at all. The almost healthy group included subjects with redness of the vocal folds, very mild limitation of vocal fold movement, and mild or moderate edema of the interarytenoid space. The disordered group included subjects who had organic findings such as nodules, contact

**Table 1.** Mean and SD values of CQ<sub>DEGG</sub>, CQ<sub>25%</sub>, CQ<sub>35%</sub>, CQ<sub>50%</sub>, CQ<sub>3:7</sub>, MDEGG, F0, SPL and perceived pressedness of phonation analyzed from sustained vowel [a:] and vowel [a:] from one stressed word

	CQ <sub>DEGG</sub>	CQ <sub>25%</sub>	CQ <sub>35%</sub>	CQ <sub>50%</sub>	CQ <sub>3:7</sub>	MDEGG	F0, Hz	SPL, dB	Perceived pressedness, VAS units
Vowel [a:]	0.455 (0.102)	0.552 (0.079)	0.498 (0.082)	0.422 (0.080)	0.461 (0.077)	0.097 (0.030)	237 (36)	91.7 (2.4)	626 (109)
Long [a:] from word	0.447 (0.094)	0.548 (0.089)	0.489 (0.082)	0.415 (0.078)	0.451 (0.077)	0.094 (0.032)	229 (40)	89 (4.4)	604 (102)

Number of participants: n = 93. VAS = Visual analog scale.

granuloma, bowed vocal folds or severe edema of the interarytenoid area or obvious limitation of vocal fold movement.

#### Self-Reports

The participants made a self-assessment of their voice problems and voice-related quality of life by completing the Voice Activity and Participation Profile (VAPP) questionnaire (validation of the Finnish translation [39, 40]). The total points of the questionnaire (28 questions on a visual analog scale of 10 cm, maximum score = 280, VAPP total score) were used to represent the participants' estimations of the severity of their voice impairment and its impact on quality of life.

#### Statistical Analyses

Statistical analyses were carried out using PASW Statistics 18.0 software for Windows/MacOS (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA). Means and standard deviations of the parameters were computed. Interrater reliability of perceptual evaluation was measured with Cronbach's alpha reliability coefficient. One-way ANOVA was used to compare the results of the two types of voice samples. A significance level of  $p < 0.05$  was chosen. Pearson's correlation was used to explore the relation between EGG and acoustic parameters and the results from the perceptual evaluation. Correlations between EGG and acoustic results, self-reports (VAPP total score) and laryngeal evaluation were calculated using Spearman's rho because of the skewed distribution of the results for VAPP and the ordinal scale used to present the results of laryngeal estimation.

## Results

Table 1 lists the mean values for the EGG and acoustic parameters and the voice trainers' perceptual evaluation of pressedness, for the sustained vowel and stressed word. The interrater reliability coefficients (Cronbach's alpha) of 5 listeners in the three listening tasks were of moderate magnitude (sustained vowel [a:] 0.74 and one word task 0.71). This enabled the use of mean values of perceived pressedness in further statistical analyses. All EGG values and perceived pressedness values were higher in the sustained vowel, but the differences were not significant. Across participants there was no correlation between

pressedness scale values for the sustained vowel and for the word. SPL was significantly higher in the sustained vowel ( $p < 0.05$ ). The mean result of the self-evaluation, i.e. the average of the VAPP total score, was 35 (SD = 29, minimum = 0, maximum = 133). According to the laryngeal examination 55 (59%) of the participants were healthy, 28 (30%) were almost healthy and 10 (11%) of the participants had clear organic findings in their vocal folds (nodules, n = 6; contact granuloma, n = 1; presbyphonia/arched vocal folds, n = 3).

Correlation matrices for EGG, acoustic, perceptual, self-evaluation and laryngeal examination results for different sample types are presented in table 2. Perceived pressedness correlated positively and significantly with CQ<sub>DEGG</sub>, CQ<sub>35%</sub>, CQ<sub>50%</sub>, and CQ<sub>3:7</sub> in sustained vowel [a:]. The magnitudes of these correlations, although significant, were relatively small. The correlations were not significant for the vowels taken from connected speech. All CQ parameters had weak negative correlations with F0. Perceived pressedness had a moderately positive correlation with MDEGG in the sustained vowel (fig. 2). MDEGG did not correlate with F0 in either sample type, but had a weak correlation with SPL in the stressed syllable. VAPP total score and laryngeal evaluation did not correlate with any of the parameters.

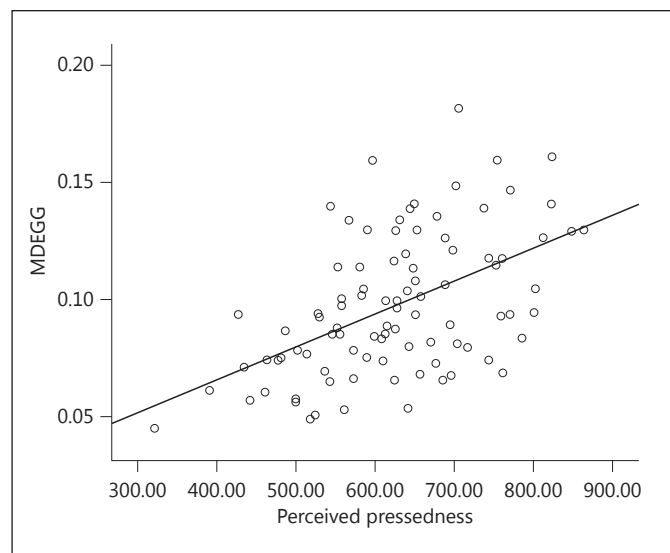
## Discussion

The first research question of the present study was whether EGG parameters CQ and MDEGG are in line with perceptual evaluation of pressedness in voice samples. The results suggest that MDEGG indicates voice quality better than CQ, at least in sustained vowel samples at a unified SPL. Unlike CQ values, MDEGG did not correlate with F0, but had a weak correlation with SPL. The CQ values from the EGG signal have been reported to have a strong correlation with perceptual evaluation in a

**Table 2.** Correlation matrix of sustained vowel [a:] and vowel [a:] from one stressed word between acoustic parameters, EGG parameters and perceived pressedness

	CQ <sub>DEGG</sub>	CQ <sub>25%</sub>	CQ <sub>35%</sub>	CQ <sub>50%</sub>	CQ <sub>3:7</sub>	MDEGG	F0	SPL	Perceived pressedness
Sustained vowel [a:] (n = 93)									
CQ <sub>DEGG</sub>	1	0.675**	0.815**	0.857**	0.901**	NS	-0.250*	0.222*	0.323**
CQ <sub>25%</sub>	0.675**	1	0.912**	0.858**	0.833**	NS	-0.247*	NS	NS
CQ <sub>35%</sub>	0.815**	0.912**	1	0.973**	0.954**	NS	-0.282**	NS	0.260*
CQ <sub>50%</sub>	0.857**	0.858**	0.973**	1	0.969**	NS	-0.285**	NS	0.295**
CQ <sub>3:7</sub>	0.901**	0.833**	0.954**	0.969**	1	NS	-0.278**	NS	0.298**
MDEGG	NS	NS	NS	NS	NS	1	NS	NS	0.514**
F0	-0.250*	-0.247*	-0.282**	-0.285**	-0.278**	NS	1	NS	NS
SPL	0.222*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1	NS
Perceived pressedness	0.323**	NS	0.260*	0.295**	0.298**	0.514**	NS	NS	1
Vowel [a:] stressed word (n = 93)									
CQ <sub>DEGG</sub>	1	0.585**	0.778**	0.834**	0.853**	NS	-0.229*	NS	NS
CQ <sub>25%</sub>	0.585**	1	0.941**	0.821**	0.819**	-0.266*	-0.286**	NS	NS
CQ <sub>35%</sub>	0.778**	0.941**	1	0.947**	0.952**	NS	-0.348**	NS	NS
CQ <sub>50%</sub>	0.834**	0.821**	0.947**	1	0.973**	NS	-0.390**	NS	NS
CQ <sub>3:7</sub>	0.853**	0.819**	0.952**	0.973**	1	NS	-0.378**	NS	NS
MDEGG	NS	NS	NS	NS	NS	1	NS	0.317**	NS
F0	-0.229*	-0.286**	-0.348**	-0.390**	-0.378**	NS	1	0.387**	NS
SPL	NS	NS	NS	NS	NS	0.317**	0.387**	1	NS
Perceived pressedness	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1

Correlations were calculated with Pearson's correlation: \*\* correlation is significant at the 0.01 level (two-tailed); \* correlation is significant at the 0.05 level (two-tailed).



**Fig. 2.** Scatterplot figures of MDEGG with perceived pressedness in sustained vowel [a:].

recent study [12], but the voice samples in that study were simulated to exemplify different phonation types: breathy, normal and pressed. Further studies are needed to investigate the relations of MDEGG to F0, SPL and voice quality both in sustained phonation and in longer connected speech samples.

The second research question was whether there is a relation between the results of the VAPP total score and EGG parameters, acoustic parameters, and perceptual and laryngeal evaluation. VAPP total score did not correlate with EGG or acoustic parameters or with perceptual or laryngeal evaluation. A lack of correlation between the self-evaluation of voice problems and perceived quality in voice and laryngeal evaluation has also been reported in earlier studies for healthy voice users [see e.g. 41–43]. The VAPP total score values obtained in the present study were quite low and the majority of the subjects had no organic lesions of the vocal folds. Thus, the subjects can be regarded to represent healthy speakers on average. Further studies are needed to explore the usefulness of MDEGG in the evaluation of patients with voice disorders.

The third research question concerned the effect of sample type on the results. The number of periods was more than 10 times smaller in vowel [a:] from one stressed word than in the sustained vowel [a:]. Furthermore, SPL and F0 were naturally free to vary in connected speech. Although the EGG results did not differ significantly between the sample types, there was a positive correlation between CQ and MDEGG values from the sustained vowel samples and perceived pressedness while no correlation was found for the vowel from connected speech. Perceptual evaluations of the two samples did not correlate with each other. Interrater reliability, on the other hand, was almost equal in both cases. Thus it seems that the subjects' voice use differed between sample types. A sustained vowel produced at a unified SPL seems to be a better index of perceived voice quality compared to a long vowel excerpted from connected speech.

The lack of correlation between voice quality evaluations and VAPP or laryngeal evaluation may be due to the fact that a majority of the subjects had normal voices. It may also be argued that neither of the samples used revealed a subject's habitual voice quality or that the contribution of voice quality to vocal loading is in general not remarkable. Pressed phonation is naturally not the only vocal loading factor. Many other factors are important, such as phonation time during the day, and the consequences of loading are also related to the amount of vocal rest during and after loading and individual endurance (e.g. vocal fold tissue structure and the effectiveness of tissue healing processes after microtraumas). Further studies are warranted with longer samples of connected

speech that may be more able to reveal a subject's habitual voice quality at work. Given that MDEGG correlated better than CQ with perceived pressedness for sustained vowel phonation and somewhat with SPL, but did not have a negative correlation with F0, and furthermore, because CQ is known to saturate at high subglottic pressure levels, MDEGG seems worth investigating further as a possible tool for noninvasive estimation of impact stress.

## Conclusions

MDEGG is worth testing as a noninvasive tool for the estimation of impact stress. Sustained vowel samples with unified SPL are more suitable for the EGG analyses of voice quality than a long vowel from one stressed word taken from a text reading sample. Longer samples of connected speech need to be investigated to reveal a subject's most frequently used voice quality.

## Acknowledgment

The research was supported by the Academy of Finland (grants No. 1128095 and 134868).

## Disclosure Statement

The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the contents and writing of the paper.

## References

- 1 Titze IR: Mechanical stress in phonation. *J Voice* 1994;8:99–105.
- 2 Jiang JJ, Titze IR: Measurement of vocal fold intraglottal pressure and impact stress. *J Voice* 1994;8:132–144.
- 3 Reed C, Doherty E, Shipp T: Direct measurement of vocal fold medial forces (abstract). *Am Speech Hear Assoc Rep* 1992;34:131.
- 4 Hess MM, Verdolini K, Bierhals W, Mansmann U, Gross M: Endolaryngeal contact pressures. *J Voice* 1998;12:50–67.
- 5 Verdolini K, Hess MM, Titze IR, Bierhals W, Gross M: Investigation of vocal fold impact stress in human subjects. *J Voice* 1999;13:184–202.
- 6 Baken RJ, Orlikoff RF: *Clinical Measurement of Speech and Voice*. San Diego, Singular/Thomson Delmar, 2000.
- 7 Verdolini K, Chan R, Titze IR, Hess M, Bierhals W: Correspondence of electroglottographic closed quotient to vocal fold impact stress in excised canine larynges. *J Voice* 1998;12:415–423.
- 8 Horáček J, Laukkanen A, Švec J: Closed quotient as an estimate of impact stress: a computer modelling study. *Proc AQL 2006: Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research*, Groningen, October 2006;CD-ROM. Groningen, Groningen Voice Research Lab, University of Groningen, 2006, pp 1–8.
- 9 Peterson KL, Verdolini-Marston K, Barkmeier JM, Hoffman HT: Comparison of aerodynamic and electroglottographic parameters in evaluating clinically relevant voicing pattern. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1994;103:335–346.
- 10 Hertegård S, Gauffin J: Glottal area and vibratory patterns studied with simultaneous stroboscopy, flow glottography, and electroglottography. *J Speech Hear Res* 1995;38:85–101.
- 11 Verdolini K, Druker DG, Palmer PM, Samawi H: Laryngeal adduction in resonant voice. *J Voice* 1998;12:315–327.
- 12 Kankare E, Laukkanen A, Ilomäki I, Miettinen A, Pyllkkänen T: Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels. *Logoped Phoniatr Vocol* 2012;37:127–132.
- 13 Titze IR: *Principles of Voice Production*, ed 2, revised. Iowa City, Prentice Hall (National Center for Voice and Speech), 2000.
- 14 Childers D, Hicks D, Moore G, Eskenazi L, Lalwani A: Electroglottography and vocal fold physiology. *J Speech Hear Res* 1990;33:245–254.

- 15 Henrich N, d'Alessandro C, Doval B, Castellengo M: On the use of the derivative of electroglottographic signal for characterization of nonpathological phonation. *J Acoust Soc Am* 2004;115:1321–1332.
- 16 Ma EP, Love AL: Electroglottographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *J Voice* 2010;24:146–152.
- 17 Lowell SY, Barkmeier-Kraemer J, Hoit JD, Story BH: Respiratory and laryngeal function during spontaneous speaking in teachers with voice disorders. *J Speech Lang Hear Res* 2008; 51:333–349.
- 18 Alku P, Airas M, Bjorkner E, Sundberg J: An amplitude quotient based method to analyze changes in the shape of the glottal pulse in the regulation of vocal intensity. *J Acoust Soc Am* 2006;120:1052–1062.
- 19 Waaramaa T, Alku P, Laukkanen A: The role of F3 in the vocal expression of emotions. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006;31:153–156.
- 20 Geneid A, Rönkkö M, Voutilainen R, Airaksinen L, Toskala E, Alku P, et al: Detecting inaudible vocal organ changes through glottal inverse filtering. *J Voice* 2012;26:154–163.
- 21 Howard DM, Lindsey GA, Allen B: Toward the quantification of vocal efficiency. *J Voice* 1990;4:205–212.
- 22 Hall KD: Variations across time in acoustic and electroglottographic measures of phonatory function in women with and without vocal nodules. *J Speech Hear Res* 1995;38:783–794.
- 23 Winkler R, Sendlmeier W: EGG open quotient in aging voices – changes with increasing chronological age and its perception. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006;31:51–56.
- 24 Law T, Kim JH, Lee KY, Tang EC, Lam JH, van Hasselt AC, et al: Comparison of rater's reliability on perceptual evaluation of different types of voice sample. *J Voice* 2012;26:666.e13–666.e21.
- 25 Titze IR, Winholtz WS: Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *J Speech Hear Res* 1993;36: 1177–1191.
- 26 Švec JG, Granqvist S: Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *Am J Speech Lang Pathol* 2010;19: 356–368.
- 27 Södersten M, Granqvist S, Hammarberg B, Szabo A: Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *J Voice* 2002; 16:356–371.
- 28 Rothenberg M, Mashie J: Monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area. *J Speech Lang Hear Res* 1988;31:338–351.
- 29 Howard DM: Electroglottography/electrolaryngography; in Fried MP, Ferlito A (eds): *The Larynx*, ed 3. San Diego, Plural Press, 2009, vol 1, pp 227–243.
- 30 Herbst C, Ternström S: A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient. *Logoped Phoniatr Vocol* 2006;31: 126–138.
- 31 Henrich N, Roubeau B, Castellengo M: On the use of electroglottography for characterization of the laryngeal mechanisms; *Proc Stockh Music Acoust Conf, SMAC 03*, Stockholm, August 2003.
- 32 Davies P, Lindsey GA, Fuller H, Fourcin A: Variation in glottal open and closed phases for speakers of English. *Proc Inst Acoust* 1986;8:539–546.
- 33 Orlikoff RF: Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogram: data from normal male subjects. *J Speech Hear Res* 1991;34:1066–1072.
- 34 Howard DM: Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *J Voice* 1995;9:163–172.
- 35 Granqvist S: *Computer Methods for Voice Analysis*; doct diss Kungliga Tekniska Högskolan, Department of Speech, Music and Hearing, Stockholm. <http://www.speech.kth.se/~svante/thesis.html> (accessed May 27, 2012).
- 36 Chan KMK, Yiu EM: The effect of anchors and training on the reliability of perceptual voice evaluation. *J Speech Lang Hear Res* 2002;45:111–126.
- 37 Eadie TL, Kapsner-Smith M: The effect of listener experience and anchors on judgments of dysphonia. *J Speech Lang Hear Res* 2011; 54:430–447.
- 38 Núñez-Batalla F, Díaz-Molina JP, García-López I, Moreno-Méndez A, Costales-Marcos M, Moreno-Galindo C, et al: The effect of anchor voices and visible speech in training in the GRABS scale of perceptual evaluation of dysphonia. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2012; 63:173–179.
- 39 Ma EP, Yiu EM: Voice activity and participation profile: assessing the impact of voice disorders on daily activities. *J Speech Lang Hear Res* 2001;44:511–524.
- 40 Sukanen O, Sihvo M, Rorarius E, Lehtihalmes M, Autio V, Kleemola L: Voice Activity and Participation Profile (VAPP) in assessing the effects of voice disorders on patients' quality of life: validity and reliability of the Finnish version of VAPP. *Logoped Phoniatr Vocol* 2007;32:3–8.
- 41 Yiu EM: Impact and prevention of voice problems in the teaching profession: embracing the consumers' view. *J Voice* 2002;16: 215–229.
- 42 Ilomäki I, Laukkanen A, Leppänen K, Vilkmann E: Effects of voice training and voice hygiene education on acoustic and perceptual speech parameters and self-reported vocal well-being in female teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 2008;33:83–92.
- 43 Leppänen K, Laukkanen A, Ilomäki I, Vilkmann E: A comparison of the effects of voice massage™ and voice hygiene lecture on self-reported vocal well-being and acoustic and perceptual speech parameters in female teachers. *Folia Phoniatr Logop* 2009;61:227–238.