

NAISOPETTAJIEN ÄÄNEN KUORMITTUMINEN TYÖSSÄ

Leena Rantala

Kognitiivinen laboratorio, Kliininen neurofysiologia

Oulun yliopistollinen sairaala

leena.rantala@oulu.fi

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida äänen rasittumista luonnollisessa työympäristössä. Tutkittavat olivat naisopettajia, joiden määrä vaihteli 10:stä 33:een eri osatutkimuksissa (iän keskiarvo 43 vuotta). Opettajat nauhoittivat puhettaan ensimmäisen ja viimeisen oppitunnin ajan yhtenä työpäivänä sekä tekivät nauhoituksia välitunnilla (mahdollisimman pitkä [a]-fonaatio). Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään kokemiensa äänenkäytön vaikeuksien perusteella. Tutkimuksen tulos oli, että mitä enemmän opettajilla oli äänioireita, sitä korkeampi oli heidän äänensä perustaaajuus (F0), sitä voimakkaampaa ääntä he käyttivät ja sitä enemmän heillä oli taipumus käyttää vuotoista äänentuottotapaa (mittaus pitkäaikaiskeskiarvospektrillä, LTAS:illä). Työpäivän aikana äänen perustaaajuus nousi ja LTAS osoitti äänen muuttuneen puristeiseen suuntaan. Nämä muutokset olivat selvempiä vähemmän äänioireita kokevilla opettajilla. Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin äänenkäytön kuormituksen indeksi (FO x FO-aika, jossa FO-aika tarkoittaa äänihuulien aktiivista värähtelyaikaa).

Avainsanat: puheäänien akustinen analyysi, koetut äänioireet, kenttätutkimus

JOHDANTO

Vaikka väsyminen ja rasittuminen ovat tuttuja arkielämän tuntemuksia, niiden fysiologisesta taustasta tiedetään vielä kovin vähän. Äänitutkimuksen alueella äänen väsymistä on alettu tutkia vasta kuluneen vuosikymmenen aikana perusteellisemmin, eikä tälläkään alueella ole päästy kovin lähelle ilmiön ymmärtämistä. Yhtenä suurimpana syynä tähän on se, että tutkimustulokset ovat keskenään ristiriitaisia. Joitakin yleisiä linjoja on kuitenkin hahmotettavissa. Tavallisin tutkimuksissa raportoitu muutos on ollut se, että äänen kuormittaminen aiheuttaa äänenrasitusoireita (Buekers, 1998; De Bodt ym., 1998; Gotaas & Starr, 1993). Lisäksi on todettu, että kuormitus muuttaa eri tavoin miesten ja

naisten ääniä (Lauri, Alku, Vilkmann, Sala & Sihvo, 1997; Novak, Dlouha, Capkova & Vohradnik, 1991), että äänenkäytönkoulutus vähentää kuormitusmuutosten määrää (Gelfer, Andrews & Schmidt, 1996; Scherer ym., 1987) ja että äänihäiriöistä kärsivien ääni muuttuu toisella tavalla kuin terveäänisten puhujien (Buekers, 1998; Gotaas & Starr, 1993; Kostyk & Rochet, 1998).

Akustisissa mittauksissa yhdenmukaisin kuormitusmuutos on ollut äänen perustaaajuuden (F0) nousu (esim. Kitzing, 1979; Pekkarinen ym., 1993; Stemple, Stanley & Lee, 1995). Tosin tämäkään tulos ei ole ristiriitaton: joissakin tutkimuksissa perustaaajuus muuttui epäjohdonmukaisesti (Neils & Yairi, 1987; Ohlsson, 1988) tai jopa laski (Burzynski & Titze, 1985). Äänihuulien värähtelyn

epätasaisuutta eli perturbaatiota on mitattu useassa kuormitustutkimuksessa, ja varsinkin tämän muuttujan mittaustulokset ovat olleet keskenään epäyhtenäisiä. Perturbaatiomuuttujan arvo ei ole joko muuttunut (Gelfer, Andrews & Schmidt, 1991; Verstraete, Forrez, Mertens & Debruyne, 1993) tai se on laskeutunut (Pekkarinen ym., 1993), noussut tai muuttunut eri tavoin eri koehenkilöryhmillä (Burzynski & Titze, 1985; Mann ym., 1999; Scherer ym., 1987). Myös muita muuttujia on mitattu. Tulosten mukaan kuormituksen seurauksena esimerkiksi spektri on loiventunut (Löfqvist & Mandersson, 1987; Ohlsson, 1988), äänenpainetaso noussut (Buekers, 1998), äänialue kapeutunut (Sihvo, 1997), äänihuulien liikelaajuus kasvanut (Gelfer ym., 1996), äänihuulisulku muuttunut tiiviimmäksi (Linville, 1995; Vilkman, Lauri, Alku, Sala & Sihvo, 1997) tai on kehittynyt sulkuvaje (Stemple ym., 1995).

Tulosten ristiriitaisuuteen ovat vaikuttaneet todennäköisesti erilaiset tutkimusasetelmat ja pienet koehenkilömäärät. Ongelmana on lisäksi kuormitusvaikutusten yleistettävyyys todellisiin puhetilanteisiin, sillä suurin osa tutkimuksista on tehty laboratorioissa. Kuormitustutkimusten motiivina on ollut useimmiten tarve suojella ja hoitaa ääntä. Jotta päästäisiin näihin tavoitteisiin, tarvitaan lisää tietoa äänen kuormitusmuutoksista. Lisäksi tarvitaan tietoa siitä, miten ääni muuttuu todellisessa työympäristössä. Nämä tavoitteet olivat myös tämän tutkimuksen lähtökohtana. Tässä tutkimuksessa mitattiin äänessä tapahtuvia akustisia muutoksia tavalisen työpäivän aikana. Lisäksi arvioitiin, ovatko akustisesti mitatut äänen piirteet erilaisia niillä puhujilla, joilla on suurempi taipumus äänenkäytön vaikeuksiin, verrattuna niihin puhujiin, joilla on harvemmin ääni-ongelmia. Tässä artikkelissa esittelen osajulkaisuista koostuvan väitöstyöni (Rantala, 2000) keskeiset tutkimustulokset.

MENETELMÄT

Tutkittavat olivat ala- ja yläasteen naisopettajia, joiden määrä vaihteli 10:stä 33:een eri osatutkimuksissa. Heidän keskimääräinen ikänsä oli 43 vuotta (vaihteluväli 25–59 vuotta), ja työvuosia heillä oli keskimäärin 17 (vaihteluväli 4–32 vuotta). Tutkittavien äänenkäytön ongelmia kartoitettiin kyselytutkimuksella. Annettujen vastausten perusteella laskettiin kullekin tutkittavalle äänioireista summapistemäärä, jonka pohjalta heidät jaettiin kahteen yhtä suureen ryhmään. Yhden ryhmän muodostivat vähemmän äänioireita kokevat opettajat, ja toisessa ryhmässä olivat ne, joilla äänioireita oli edellistä ryhmää enemmän. Tutkittavista 20 kävi foniatriin tarkastuksessa. Kahdella heistä oli ei-patologinen sulkuvaje, yhdellä suuri takaosan ja yhdellä pieni etuosan sulkuvaje. Lisäksi tutkittavilta kysyttiin äänihäiriöiden riskitekijöistä ja kurkunpään sairauksista. Tutkimushetkellä kaikki olivat terveitä. Koska tutkittavat olivat työkykyisiä ja koska kenenkään ääninäytteiden akustisten muuttujien arvot (äänen perustaajuus, äänenpainetaso, perturbaatio) eivät eronneet poikkeavasti koko ryhmän arvoista, kaikki heistä otettiin tutkimukseen mukaan.

Opettajat nauhoittivat ääntään sekä oppitunneilla että välitunneilla. Oppitunneista he äänittivät yhden työpäivän ensimmäisen ja viimeisen tunnin. Nauhoituksessa käytettiin akkukäyttöistä DAT-nauhuria (Sony TCD-D3), jossa oli kondensaattorimikrofoni (AKG C56E1). Oppituntinauhoituksessa mikrofoni oli kiinnitetty muoviseen pääpantaan, ja se sijaitti 45 asteen kulmassa 6–8 cm:n päässä huuliosta. Välituntinauhoituksia tutkittavat tekivät kolmena päivänä viikossa (maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina) ja neljänä välituntina päivässä (ennen ensimmäistä oppituntia ja heti sen jälkeen, lounaan jälkeen ja viimeisen tunnin jälkeen). Välitun-

nilla tutkittavat nauhoittivat kaksi mahdollisimman pitkää [a]-fonaatiota itselleen ominaisella äänenkorkeudella ja -voimakkuudella. Vihjeeksi sävelkorkeuden löytämiseksi heille opetettiin Cooperin (1973) hymähdysmenetelmä, jossa puhujaa kehoitetaan hymähtämään ikään kuin vastaukseksi kuulemalleen asialle. Hymähdyksen sävelkorkeus vastaa suurinpiirtein puhujan tavanomaista puhekorkeutta. Välituntinauhoituksissa mikrofonin etäisyys huuliosta oli 40 cm.

Opetuspuheesta otettiin neljän minuutin pituiset ääninäytteet oppitunnin alusta, keskeltä ja lopusta. Näytteistä analysoitiin äänen perustaajuus, äänenvoimakkuus äänenpainetasona ja äänihuulien aktiivinen värähtelyaika (F0-aika), joka laskettiin perustaajuuden signaalista. Lisäksi näytteistä analysoitiin pitkäaikaiskeskiarvospektri (LTAS, engl. *long time average spectrum*), jonka mittaamiseksi poimittiin viisi painollista lyhyttä [a]-vokaalia oppitunnin alun, keskiosan ja lopun näytteistä. Vokaaleista mitattiin viiden taajuuskaistan energiatasot: 1) F0:n alue (L0; kaistaleveys 100 Hz); 2) ensimmäisen formantin alue (L1; kaistaleveys 500 Hz); 3) 2–5 kHz (L2); 4) 5–10 kHz (L3); 5) 1 kHz:n ala- ja yläpuolinen alue eli ns. parametri alfa (Prytz & Frøkjær-Jensen, 1976). Mitattujen alueiden energiatasoa verrattiin toisiinsa (L1-L0; L1-L2; L1-L5). Eri ajankohtina mitatut äänenpainetaso arvo (ensimmäinen oppitunti: 78,4 dB, 78,8 dB, 80 dB; viimeinen oppitunti: 78,8 dB, 80,1 dB, 81,1 dB) kuten myöskään L1:n arvot eivät poikenneet toistettujen mittausten varianssianalysilla laskettuna tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Välitunneilla nauhoitetusta pitkästä fonaatiosta otettiin kaksi 500 värähdysjakson pituista näytettä siten, että näytteet sijaitsivat symmetrisesti äännön keskikohdan molemmin puolin eivätkä sisältäneet samoja jaksoja. Näytteistä analysoitiin äänen perustaajuus sekä sen perturbaatio eli värähdysjaksojen pi-

tuuden (*jitter*) ja amplitudin lyhytaikainen vaihtelu (*shimmer*). Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin äänenkäytön kuormituksen indeksi, joka muodostettiin kertomalla puhujan äänen perustaajuus äänihuulien värähtelyajalla (F0 x F0-aika). Indeksii ilmoittaa, montako äänihuulien värähdystä on tapahtunut mittausjakson aikana.

Spektri, jitter, shimmer ja pitkän fonaation perustaajuus mitattiin ISA-puheanalyysi-ohjelmalla (*Intelligent Speech Analyser*, kehittänyt DI Raimo Toivonen). Muiden muuttujien mittaamiseen ja analyysiin käytettiin analogista modulisarjaa (F-J Electronics Inc.) ja kaupalliseen LabView 2 -ohjelmointiympäristöön rakennettua analyysiohjelmistoa (kehittänyt DI Kari Haataja; Haataja 1993). Äänenpainetaso kalibrointia varten oli analyysiohjelman yhteyteen rakennettu oma ohjelma. Äänenpainetaso kalibroimiseksi nauhoitteisiin äänitettiin 200 Hz:n taajuista siniääntä, joka oli mikrofonitasossa 80 dB(A) (Brüel & Kjærin äänenpainemittari 2235). Tarkka kuvaus tutkimusmenetelmästä on julkaisuissa Rantala, Haataja, Vilkmän ja Körkkö (1994) ja Rantala (2000).

Tutkimusryhmiä vertailtiin toisiinsa t-testillä ja yksisuuntaisella varianssianalysilla. Työpäivän aikana tapahtunutta äänen muutosta arvioitiin yksisuuntaisella varianssianalysilla ja sen post hoc -testinä käytettiin t-testiä. Muuttujien yhteyttä tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla (r). Kun havaintoja oli alle 12, raportoitiin myös tulokset, joiden riskitaso oli $p = 0,1$. Muussa tapauksessa käytettiin riskitasoa $p = 0,05$. Tämän tason valinta johtui siitä, että tutkimuksessa ei pyritty vahvistamaan jo aiemmin saatuja tuloksia vaan tutkittiin äänenkäyttöä uudenlaisen aselman eli kenttätutkimuksen avulla. Toinen peruste merkitsevyydestä valintaan oli pieni havaintojen määrä, joka heikentää tilastollisen testauksen sensitiivisyyttä (Norusi, 1990).

TULOKSET

Akustisten muuttujien ja koettujen äänioireiden välinen yhteys

Mahdollisimman pitkän fonaation analyysi ($n = 11$) osoitti, että äänioireiden summapistemäärällä oli yhteyttä useassa mittauskohdassa akustisten muuttujien kanssa (taulukko 1). Tämä tarkoittaa, että kun äänioireet lisääntyivät, äänen perustaajuus nousi ja perturbaation määrä väheni. Poikkeuksena tästä suuntauksesta oli kuitenkin ensimmäisen mittauspäivän oppituntien jälkeinen nauhoitus (ajankohta I:4), jolloin äänioireiden ja akustisista muuttujista perustaajuuden ja jitterin välinen yhteys oli päinvastainen kuin yleinen suuntaus. Tällöin usein oireita kokevan tutkittavan ääni oli matalampi, ja hänen äänensä taajuusvaihtelu oli suurempi kuin vähäoireisemmalla tutkittavalla.

Myös opetuspuheesta mitatuilla akustisilla muuttujilla oli yhteyttä tutkittavien (koko aineisto, $n = 33$) äänioireiden summapistemäärän kanssa: oireet korreloivat merkitsevästi ja positiivisesti perustaajuuden ($r = 0,28$, $p < 0,01$) ja äänenpainetason ($r = 0,27$, $p < 0,01$) kanssa. Kun kymmenen tutkittavan aineistolle laskettiin äänioireiden ja akustisesti mitattujen muuttujien yhteys yksittäis-

sissä mittausajankohdissa, havaittiin että perustaajuus, äänenpainetaso ja äänihuulien värähtelyaika korreloivat äänioireisiin ensimmäisen oppituntin keskellä, ja äänihuulien värähtelyaika myös viimeisen oppituntin alussa ja lopussa (taulukko 2). Mitä enemmän tutkittavalla oli siis äänioireita, sitä korkeammalla ja voimakkaammalla äänellä hän puhui ja myös sitä pitempi oli hänen äänensä-oloaikansa (äänihuulien värähtelyaika).

Äänioireet korreloivat myös spektrin parametrien kanssa (L1-L0: $r = -0,27$, $p = 0,05$; L1-L5: $r = 0,69$, $p = 0,05$) kanssa. Suhde oli selvän viimeisen oppituntin keskiosassa (taulukko 2). Kaikkien yhteyksien tulkinta on sama: mitä enemmän tutkittava koki työssään äänenkäytön vaikeuksia, sitä vuotoisempi hänen äänten tuottotapansa oli. Tämä ei välttämättä tarkoita vielä korvin kuultavaa äänen vuotoisuutta, vaan ainoastaan puristeinen-vuotoinen-akselilla näiden kahden äänten tuottotavan suhdetta toisiinsa.

Äänen akustiset muutokset työpäivän aikana ja äänenkäytön kuormituksen indeksi

Työpäivän aikaista muutosta tarkasteltiin oppituntinäytteiden avulla vertailemalla sekä koko oppituntin keskiarvoja että eri mittaus-

TAULUKKO 1. Koettujen oireiden ja mahdollisimman pitkästä [a]-fonaatiosta mitattujen akustisten muuttujien välinen yhteys (r ; p -arvo suluisissa); $N = 11$.

Muuttuja	Mittausajan- kohta	[a]1	[a]2
Perustaajuus	I:4		-0,84 (0,02)
	II:1	0,74 (0,02)	0,74 (0,04)
	II:2		0,57 (0,081)
Jitter	I:4	0,56 (0,07)	0,61 (0,08)
	III:1	-0,65 (0,081)	
Shimmer	III:4	-0,66 (0,072)	-0,64 (0,091)

Mittausajankohdienten lyhenteet: I = ensimmäinen; II = toinen ja III = kolmas mittauspäivä;

1 = ennen ensimmäistä oppituntia, 2 = ensimmäisen oppituntin jälkeen, 4 = päivän viimeisen oppituntin jälkeen.

[a]1 = fonaation alkuosa, [a]2 = fonaation loppuosa.

TAULUKKO 2. Opettajien kokemien äänioireiden yhteys (r) oppitunneilla mitattuihin akustisiin muuttujiin, p-arvo suluiissa (n = 10).

	Ensimmäinen oppitunti			Viimeinen oppitunti		
	1	2	3	1	2	3
Perustaajuus (Hz)		0,58(0,07)				
Äänenpainetaso (dB)		0,64(0,045)				
Äänihuulien värähtelyaika (sek.)		0,64(0,047)		0,55 (0,1)		0,57 (0,08)
Spektri				L1-L5: 0,69 (0,04)		

Oppitunnin alku = 1, keskiosa = 2 ja loppu = 3.

L1-L5 = ensimmäisen formantin alueen ja 5–10 kHz:n alueen energiatasojen suhde.

ajankohtien keskiarvoja. Oppitunneilta eri ajankohdista mitattujen muuttujien arvot on esitetty taulukossa 3. Viimeisen oppitunnin perustaajuuden keskiarvo oli 9,7 Hz korkeampi ($t = 3,68$, $df = 32$, $p < 0,01$) kuin ensimmäisen oppitunnin. Koska äänenpainetaso vaikuttaa perustaajuuteen (Gramming, 1988), vaikutuksen arvioimiseksi laskettiin muuttujien muutosten korrelaatiot (liite 1). Tuloksen mukaan äänenpainetasomuutokset eivät yksiselitteisesti selitä perustaajuuden muutoksia.

Varianssianalyysin mukaan spektrin parametreista L1-L2 [$F(1,8) = 2,65$; $p = 0,037$]

ja parametri alfa [$F(1,8) = 3,36$; $p = 0,012$] muuttuivat päivän aikana merkitsevästi. Taajuusalueiden energiatasojen ero pieneni, eli spektri loiveni työpäivän aikana. Äänentuottotavassa tämä ilmentää muutosta kohti puristeista äänentuottotapaa. Eri mittausajankohtien tulokset olivat merkitsevästi erilaiset vain ensimmäisen oppitunnin alun ja keskikohdan välillä parametreissa L1-L0 [$F(1,8) = 17,94$; $p = 0,002$] ja alfa [$F(1,8) = 16,02$; $p = 0,004$]. Molempien parametrien arvot pienenevät, eli äänentuottotapa muuttui vuotoisemmaksi.

TAULUKKO 3. Ensimmäisellä ja viimeisellä oppitunnilla mitattujen muuttujien keskiarvot (ka) ja keskihajonnat (sd) (n = 33).

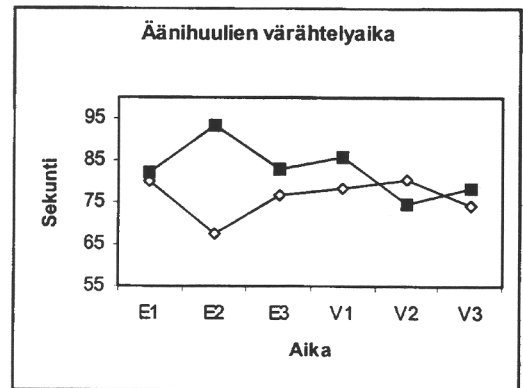
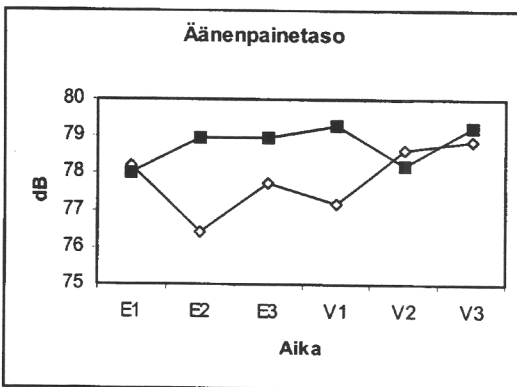
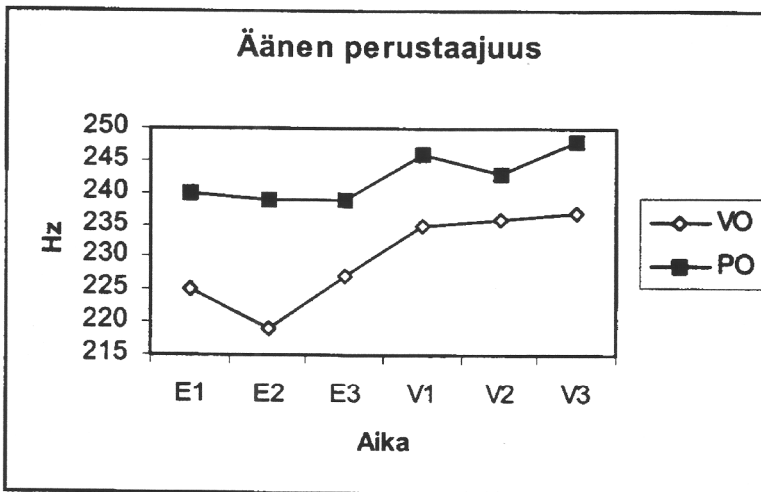
	Ensimmäinen oppitunti				Viimeinen oppitunti			
	1	2	3	ka	1	2	3	ka
Perustaajuus (Hz)								
ka	232.6	229.2	233.3	231.7	240.9	240	243.3	241.4
sd	27.4	25.2	27.5	25	20.1	31.5	30.3	29.2
Äänenpainetaso (dB)								
ka	77.6	77.2	77.8	77.5	77.7	77.9	78.5	78
sd	4.9	5.6	4.6	5	5.1	5.9	5.8	5.6
Äänihuulien värähtelyaika (sek.)								
ka	81	80.8	79.9	80.6	82.1	77.4	76.4	78.6
sd	24.4	27.1	26.5	20	22.2	34.4	30.6	23.4

Oppitunnin alku = 1, keskiosa = 2 ja loppu = 3.

Vähän ja paljon äänioireita kokevien opettajien perustaajuuden, äänenpainetason ja äänihuulien värähtelyajan muutos työpäivän aikana on esitetty kuviossa 1. Perustaajuus oli vähäoireisilla opettajilla merkitsevästi korkeampi viimeisellä oppitunnilla kuin ensimmäisellä ($t = -3,17$, $df = 15$, $p = 0,006$). Vaikka perustaajuus nousi myös runsasoireisilla opettajilla, ero ei ollut merkitsevä. Myös ryhmien spektrin muutokset olivat erilaiset. Kun vähäoireisten tutkittavien äänentuottotapa muuttui puristeisemmaksi, runsasoireisilla ei havaittu muutosta. Ero näkyi koko

oppituntiaineistossa [L1-L5: $F(1,8) = 3,03$; $p = 0,021$] sekä viimeisen oppitunnin alusta poimituista näytteistä [L1-L5: $F(1,8) = 5,93$; $p = 0,041$] ja viimeisen oppitunnin keskiosan näytteistä [L1-L2: $F(1,8) = 16,41$; $p = 0,004$; L1-L5: $F(1,8) = 17,32$; $p = 0,003$; alfa: $F(1,8) = 7,042$; $p = 0,029$].

Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin äänenkäytön kuormituksen indeksin yhteyttä koettuihin äänioireisiin. Tuloksen mukaan indeksi oli sitä suurempi, mitä enemmän tutkittavalla oli äänioireita ($r = 0,66$, $p = 0,038$; $n = 10$).



KUVIO 1. Vähän (VO; $n = 16$) ja paljon äänioireita (PO; $n = 17$) kokevien opettajien äänen muuttuminen ensimmäisen (E) ja viimeisen (V) oppitunnin aikana. Oppitunnin alku = 1; keskiosa = 2 ja loppu = 3.

POHDINTA

Paljon ja vähän äänioireita kokevat opettajat

Tulosten mukaan opettajan taipumuksella kokea äänenkäytön vaikeuksia oli yhteyttä akustisesti mitattuihin muuttujiin. Se, että runsasoireiset opettajat puhuivat korkeammalla äänellä kuin vähäoireisemmat, saattaa viitata äänen väsymiseen (vrt. Fex, Fex, Shimoto & Hirano, 1994) tai orastaviin äänihäiriöihin (Hillman, Holmberg, Perkell, Walsh & Vaughan, 1989). Toisaalta korkeampi perustaaajuus voi selittyä myös äänen voimistamisesta. Äänivaikeuksia kokevien tai hyperfunktionaalisesta äänihäiriöstä kärsivien puhujien on todettu nostavan sävelkorkeutta enemmän kuin terveäänisten puhujien, kun he puhuvat kovalla äänellä (Buekers, 1998) tai melussa (Schulz-Coulon, 1980). Sitä ei kuitenkaan tiedetä, miksi näin tapahtuu.

Runsasoireisten opettajien ääni oli voimakkaampi kuin vähän oireita kokevien opettajien. Voimakkaampi ääni voi olla suoranainen syy heidän äänenkäytön vaikeuksiinsa, mutta yhtä hyvin se voi olla myös näiden opettajien keino kompensoida huonontunutta äänenlaatuaan. Jälkimmäistä näkemystä tukee Dejonckeren (1998) tutkimustulos, jonka mukaan ne puhujat, joilla on äänihuulien ylimmissä kerroksissa pieniä orgaanisia muutoksia, tuottavat paremman äänenlaadun, kun he puhuvat vähän voimakkaammalla (n. 2,6 dB) äänellä.

Perturbaatioanalyysin mukaan runsasoireisten opettajien äänihuulien värähtely oli tasaisempaa kuin vähäoireisten työtoverien. Tämä tulos ei vastaa aiempia tutkimustuloksia (esim. Hammarberg, 1986; Martin, Fitch & Wolfe, 1995; Wolfe & Martin, 1997). Ero voi selittyä sillä, että aiemmissä tutkimuksissa puhujilla oli jo selvä äänihäiriö, kun tämän tutkimuksen puhujilla oli ainoastaan äänen rasitusoireita. Tämän tutki-

muksen opettajat ovat siis ehkä kyenneet kompensoimaan rasitusoireitaan. Kompensoinnissa he käyttivät mahdollisesti mekanisme, joka voi selittää myös heidän suuremman äänenpainetasonsa: ehkä he tuottivat tiiviimmän äänihuulisulun, jolloin myös subglottaalinen ilmanpaine kasvoi. Voimakkaampi sulku sai äänihuulet värähtelemään tasaisemmin, ja subglottaalisen paineen nousu taas voimisti ääntä. Myös Klingholz ja Martinin (1985) havainto tukee tätä näkemystä. Heidän saamiensa tulosten mukaan hyperfunktionaalisissa äänissä on vähemmän perturbaatiota kuin hypofunktionaalisissa.

Spektrianalyysin mukaan paljon äänioireita kokevien opettajien ääni oli vuotoisempi kuin vähäoireisten. Tämä tulos on ristiriidassa perturbaatioanalyysin antaman tuloksen tulkinnan kanssa. Sen mukaanhan vähäisempi perturbaatio johtuu tiiviimmästä eli puristeisemmin tuotetusta äänihuulisulusta. Ristiriita johtuu todennäköisesti tutkimusasetelmasta: kun spektri mitattiin opetuspuheesta, perturbaatio analysoitiin pitkää fonaatiosta, jonka opettaja nauhoitti välitunnilla. Rauhallisemmassa välituntitilanteessa opettaja on ehkä pystynyt kontrolloimaan ääntään paremmin ja pyrkinyt mahdollisesti vaikuttamaan äänensä laatuun enemmän kuin mitä oli voinut tehdä luokassa opettaessaan. Myös ääninäytteet ovat saattaneet vaikuttaa äänentuottotapaan. Pitkä fonaatio kuulostaa vuotoisemmalta (Södersten & Hammarberg, 1993) sekä jonkin verran korkeammalta (de Krom, 1994) kuin jatkuva puhe (lukunäyte). On mahdollista, että äänioireita kokeva opettaja on arvioinut äänensä pitkässä fonaatiossa huonommaksi kuin opetuspuheessa ja pyrkinyt parantamaan fonaatiossa äänenlaatuaan tiivistämällä äänihuulisulku. Terveäänisemmillä opettajilla ei ole sen sijaan ollut tähän tarvetta. Lisäksi tuloksiin on saattanut vaikuttaa myös se, että oppitunti- ja välituntinauhoitukset

on tehty eri päivinä, minkä vuoksi opettajien äänenlaatu on ollut erilainen.

Äänen muutos työpäivän aikana

Työpäivän aikana opettajien ääni muuttui: perustaajuus nousi ja spektrin parametrit osoittivat äänentuottotavan muuttuneen puristeisemmaksi. Vuorokausirytmien vaikutusta ääneen on tutkittu, mutta siitä on eriäviä näkemyksiä. Joidenkin tutkimusten mukaan se vaikuttaa ääneen (Garrett & Healey, 1987; Hall, 1995), toisten mukaan taas ei (Nittrouer, McGowan, Milenkovic & Beehler, 1990; Vilkmán & Manninen, 1986). Näiden tulosten arviointia vaikeuttaa se, että puhumisen määrää päivän aikana ei useinkaan tutkimuksissa kontrolloitu. Poikkeuksena tästä on ainoastaan Vilkmánin ja Mannisen tutkimus, jossa tutkittavia kiellettiin puhumasta mittausten välillä. Vaikuttipa vuorokausirytmii ääneen tai ei, sen aiheuttama perustaajuuden muutos on pienempi (Hall, 1995: perustaajuus nousi 2,3 Hz) kuin tässä tutkimuksessa havaittu työpäivän aikainen muutos (9,7 Hz:n nousu).

Tässä tutkimuksessa ei tullut esille äänen ”lämpenemisen” tuottamia muutoksia, joita on raportoitu aiemmissa tutkimuksissa (vrt. Scherer ym., 1987; Vilkmán, Lauri, Alku, Sala & Sihvo, 1999). Elimistön lämpeneminen laajentaa hiussuonia, lisää veren virtausta, nostaa lihaksen lämpötilaa ja lisää entsyymien toimintaa (Saxon & Schneider, 1995). Nämä todennäköisesti laskevat äänihuulien limakalvon viskositeettia, minkä vuoksi äänihuulien liikkuvuus lisääntyy. Näiden muutosten on havaittu nostavan perustaajuuden ja äänenpainetason arvoja (Lauri ym., 1997). Todennäköisesti luokkatilanne säätelee niin paljon opettajien äänenkäyttöä ja etenkin äänenvoimakkuutta, että fysiologisen muutoksen vaikutus ei ole välttämättä mitattavissa, vaikka mitä ilmeisemmin tahtaaukin.

Selvin puhumisesta johtuva kuormitusmuutos oli perustaajuuden nousu. Tulos vastaa aiempien kuormitustutkimusten havainnotoja (Buekers, 1998; Gelfer ym., 1991; Kitzing, 1979; Stemple ym., 1995; Vilkmán ym., 1999). Niin ikään spektrin on raportoitu loivenevan kuormituksen vaikutuksesta (Löfqvist & Mandersson, 1987; Novak ym., 1991; Ohlsson, 1988). Useat fysiologiset ilmiöt voivat synnyttää nämä muutokset. Stemple ym. (1995) ovat esittäneet, että perustaajuuden nousu johtuu kilpirustokannurustoliuksen väsymisestä. Väsyneenä tämä lihas ei kykene supistumaan riittävästi ja saamaan äänihuulien limakalvoja löysiksi, jotta niiden liike olisi optimaalinen. Sen sijaan lihaksen väsyessä limakalvo pingottuu ja saa perustaajuuden kohoamaan.

Kuormitusmuutokset voivat johtua myös puhujan pyrkimyksestä kompensoida kuormituksen aiheuttamia muutoksia (Lauri ym., 1997; Vilkmán ym., 1997; 1999). Tällöin muutoksen synnä ei ole todellinen lihäväsämys. Niin ikään limakalvomutokset itsesään voivat aiheuttaa äänimuutoksia. Titzen (1994) mukaan on teoreettisesti mahdollista, että pieni äänihuuliturvotus laskee värähelyn käynnistämiseksi tarvittavaa kynnyspainetta, minkä seurauksena äänihuulien liikkuvuus lisääntyy. Tämä saa äänenpainetason kasvamaan, perustaajuuden nousemaan ja spektrin loiveneamaan. Yksi selitys muutoksille on myös se, että lisääntynyt kudosturvotus venyttää äänihuulien limakalvon kireäksi. Tällöin kuorikerroksen jäykkyys kasvaa ja perustaajuus nousee (ks. Zemlin, 1988). Muutosten taustalla voi olla myös yleinen fysiologinen viriäminen, joka parantaa suoritusta. Lisäksi keskushermoston reagoititapa väsymiseen voi selittää mitattuja äänen muutoksia. Keskushermoston väsymisen ensivaiheessa lihasten tonus lisääntyy ja niiden kyky rentoutua vähenee (Kroemer & Grandjean, 1997). Nämä voivat saada ääni-

huulisulun tiivistymään ja näin perustajuuden nousemaan ja spektrin loivenemaan.

Tämän tutkimuksen mukaan ennen kaikkea vähän oireita kokevien opettajien ääni muuttui. Näyttäisi siis siltä, että äänen muutokset ilmentävät pikemminkin elimistön tervettä kuin häiriintynyttä toimintatapaa. Väsymismuutosten merkitykseksi on esitetty, että ne toimivat elimistön hälytysjärjestelmänä (Wilmore & Costill, 1994). Reagoinnin puute saattaa siis ilmentää elimistön suojausmekanismien ongelmia. Ehkä runsasoireisten opettajien ääni oli jo valmiiksi työpäivän alussa siinä määrin rasittunut, että se ei kyennyt enää mukautumaan työpäivän kuormitukseen. Myös muissa fysiologisissa tutkimuksissa on todettu kuormituksen muuttavan juuri tervettä elimistöä. Esimerkiksi sydäntutkimuksissa on havaittu verenpaineen nousevan rasituskokeessa terveillä koehenkilöillä mutta pysyvän samana tai jopa laskevan sepelvaltimotautia sairastavilla (Willerson, 1988). Toisaalta tutkimusryhmien ero voi johtua myös siitä, että runsasoireiset opettajat ovat voineet tietoisesti pyrkiä säästämään ääntään tietäessään sen raskuuden, mikä on vaikuttanut äänen akustisiin piirteisiin.

Äänenkäytön kuormituksen indeksi

Tässä tutkimuksessa kehitetyllä indeksillä oli yhteyttä puhujan kokemuksiin äänioireisiin: mitä enemmän puhuja arvioi itsellään olevan äänikäytön vaikeuksia, sitä suuremman arvon indeksi sai. Kuormitusindeksiä on mahdollista soveltaa äänen työsuojeluun. Sen avulla voitaisiin seuloa ne puhujat, joilla on riski saada myöhemmin äänihäiriöitä. Lisäksi indeksi vahvistaa näkemystä, että äänen tuottaminen on fyysistä työtä: mitä enemmän äänihuulet värähtelevät eli työskentelevät, sitä suurempi riski niillä on vaurioitua. Indeksien laskukaava on hyvin yksinkertainen, eikä siinä ole huomioitu kaikkia kur-

kunpään kestävyyyteen vaikuttavia tekijöitä. Kehittyneempi indeksi voisi sisältää kertoimet, jotka kuvaisivat äänenlaatua, -voimakkuutta ja puhujan tapaa voimistaa ääntään.

VIITTEET

- Buekers, R. (1998). *Voice performances in relation to demands and capacity*. Development of a quantitative phonometric study of the speaking voice. Väitöstyö. University of Maastricht.
- Burzynski, C.M. & Titze, I.R. (1985). *Assessment of vocal endurance in untrained singers*. Transcripts of the 14 th Symposium Care of the Professional Voice, Part I. (s. 96–101). New York: Voice Foundation.
- Cooper, M. (1973). *Modern techniques of vocal rehabilitation*. Springfield: Charles C. Thomas.
- De Bodt, M.S., Wuyts, F.L., Van de Heyning, P.H., Lambrechts, L. & Abeele, D.V. (1998). Predicting vocal outcome by means of a vocal endurance test: a 5-year follow-up study in female teachers. *Laryngoscope*, **108**, 1363–1367.
- Dejonckere, P. (1998). Effect of louder voicing on acoustical measurements in dysphonic patients. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, **23**, 79–84.
- Fex, B., Fex, S., Shiromoto, O. & Hirano, M. (1994). Acoustic analysis of functional dysphonia: before and after voice therapy (accent method). *Journal of Voice*, **8**, 163–167.
- Garrett, K.L. & Healey, E.C. (1987). An acoustic analysis of fluctuations in the voices of normal adult speakers across three times of day. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **82**, 58–62.
- Gelfer, M.P., Andrews, M.L. & Schmidt, C.P. (1991). Effects of prolonged loud reading on selected measures of vocal function in trained and untrained singers. *Journal of Voice*, **5**, 158–167.
- Gelfer, M.P., Andrews, M.L. & Schmidt, C.P. (1996). Documenting laryngeal change following prolonged loud reading. A videostroboscopic study. *Journal of Voice*, **10**, 368–377.
- Gotaas, C. & Starr, C.D. (1993). Vocal fatigue among teachers. *Folia Phoniatrica*, **45**, 120–129.

- Gramming, P. (1988). *The phonetogram. An experimental and clinical study*. Väitöstyö. University of Lund, Lund.
- Haataja, K. (1993). *Kliinisen puheentutkimuslaboratorion puheenanalyysiympäristö*. Diplomityö. Oulun yliopisto, sähkötekniikan osasto.
- Hall, K.D. (1995). Variations across time in acoustic and electroglottographic measures of phonatory function in women with and without vocal nodules. *Journal of Speech and Hearing Research*, **38**, 783–793.
- Hammarberg, B. (1986). *Perceptual and acoustic analysis of dysphonia*. Väitöstyö. Studies in Logopedics and Phoniatrics No.1. Huddinge University Hospital, Department of Logopedics and Phoniatrics.
- Hillman, R.E., Holmberg, E.B., Perkell, J.S., Walsh, M. & Vaughan, C. (1989). Objective assessment of vocal hyperfunction: an experimental framework and initial results. *Journal of Speech and Hearing Research*, **32**, 373–392.
- Kitzing, P. (1979). *Glottografisk frekvensindikering*. Väitöstyö. University of Lund, Lund.
- Klingholz, F. & Martin, F. (1985). Quantitative spectral evaluation of shimmer and jitter. *Journal of Speech and Hearing Research*, **28**, 169–174.
- Kostyk, B.E. & Rochet, A.P. (1998). Laryngeal airway resistance in teachers with vocal fatigue: a preliminary study. *Journal of Voice*, **12**, 287–299.
- Kroemer, K.H.E. & Grandjean, E. (1997). *Fitting the task to the human. A textbook of occupational ergonomics* (5. painos). London: Taylor & Francis.
- de Krom, G. (1994). Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *Journal of Speech and Hearing Research*, **37**, 985–1000.
- Lauri, E.-R., Alku, P., Vilkman, E., Sala, E. & Sihvo, M. (1997). Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniatrica*, **49**, 234–246.
- Linville, S.E. (1995). Changes in glottal configuration in women after loud talking. *Journal of Voice*, **9**, 57–65.
- Löfqvist, A. & Mandersson, B. (1987). Long-time average spectrum of speech and voice analysis. *Folia Phoniatrica*, **39**, 221–229.
- Mann, E.A., McClean, M.D., Gurevich-Uvena, J., Barkmeier, J., McKenzie-Garner, P., Paffrath, J. & Patow, C. (1999). The effects of excessive vocalization on acoustic and videostroboscopic measures of vocal fold condition. *Journal of Voice*, **13**, 294–302.
- Martin, D., Fitch, J. & Wolfe, V. (1995). Pathologic voice type and the acoustic prediction of severity. *Journal of Speech and Hearing Research*, **38**, 765–771.
- Neils, L.R. & Yairi, E. (1987). Effects of speaking in noise on vocal fatigue and vocal recovery. *Folia Phoniatrica*, **39**, 104–112.
- Nittrouer, S., McGowan, R.S., Milenkovic, P.H. & Beehler, D. (1990). Acoustic measurements of men's and women's voices: a study of context effects and covariation. *Journal of Speech and Hearing Research*, **33**, 761–775.
- Norusis, M.J. (1990). *The SPSS guide to data analysis for release 4*. Chicago: SPSS.
- Novak, A., Dlouha, O., Capkova, B. & Vohradnik, M. (1991). Voice fatigue after theater performance in actors. *Folia Phoniatrica*, **43**, 74–78.
- Ohlsson, A.-C. (1988). *Voice and work environment: towards an ecology of vocal behaviour*. Väitöstyö. Studies in Logopedics and Phoniatrics No. 1. University of Gothenburg.
- Pekkarinen, E., Alku, P., Lauri, E.-R., Nykyri, E., Sihvo, M., Toivonen, P. & Vilkman, E. (1993). *Puhe- ja ääniammattien työympäristön kuormitustekijöiden yksittäis- ja yhteisvaikutukset äänentuottoon*. Helsinki: Työsuojelurahasto.
- Prytz, S. & Frötkjaer-Jensen, B. (1976). Long time average spectra analyses of normal and pathological voices. *Folia Phoniatrica*, **28**, 280.
- Rantala, L. (2000). *Ääni työssä. Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittuminen*. Väitöstyö. Acta Universitatis Ouluensis B 37.
- Rantala, R., Haataja, K., Vilkman, E. & Körkkö, P. (1994). Practical arrangements and methods in the field examination and speaking style analysis of professional voice users. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatrics*, **19**, 43–54.
- Saxon, K.G. & Schneider, C.M. (1995). *Vocal exercise physiology*. San Diego: Singular Publishing Group.
- Scherer, R.C., Titze, I.R., Raphael, B.N., Wood, R.P., Ramig, L.A. & Blager, R.F. (1987). Vocal

- fatigue in a trained and an untrained voice user. Teoksessa T. Baer, C. Sasaki & K. Harris (toim.), *Laryngeal function in phonation and respiration*. (s. 533–555). Boston: College-Hill Press.
- Schultz-Coulon, H.-J. (1980). Zur routinemässigen Messung der stimmlichen Reaktion im Lärm. *Sprache – Stimme – Gehör*, 4, 28–34.
- Sihvo, M. (1997). *Voice in test. Studies on sound level measurement and on the effects of various combinations of environmental humidity, speaking output level and body posture on voice range profiles*. Väitöstyö. Acta Universitatis Tamperensis 541.
- Stemple, J.C., Stanley, J. & Lee, L. (1995). Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *Journal of Voice*, 9, 127–133.
- Södersten, M. & Hammarberg, B. (1993). Effects of voice training in normal-speaking women: videostroboscopic, perceptual, and acoustic characteristic. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatrics*, 18, 33–42.
- Titze, I.R. (1994). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Verstraete, J., Forrez, G., Mertens, P. & Debruyne, F. (1993). The effect of sustained phonation at high and low pitch on vocal jitter and shimmer. *Folia Phoniatrica*, 45, 223–228.
- Vilkman, E., Lauri, E.-R., Alku, P., Sala, E. & Sihvo, M. (1997). Loading changes in time-based parameters of glottal flow waveforms in different ergonomic conditions. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 49, 247–263.
- Vilkman, E., Lauri, E.-R., Alku, P., Sala, E. & Sihvo, M. (1999). Effects of prolonged oral reading on F0, SPL, subglottal pressure and amplitude characteristics of glottal flow waveforms. *Journal of Voice*, 13, 303–315.
- Vilkman, E. & Manninen, O. (1986). Changes in prosodic features of speech due to environmental factors. *Speech Communication*, 5, 331–345.
- Wolfe, V. & Martin, D. (1997). Acoustic correlates of dysphonia: type and severity. *Journal of Communication Disorders*, 30, 403–416.
- Willerson, J.T. (1988). Disorders of coronary arteries: angina pectoris. Teoksessa J. B. Wyngaarden & L.H., Jr. Smith (toim.), *Cecil textbook of medicine*. Vol. 1 (18. painos). (s. 323–329). Philadelphia: W. B. Saunders.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.
- Zemlin, W.R. (1988). *Speech and hearing science* (3. painos). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

LIITE 1

Äänenpainetason muutoksen vaikutus äänen perustaajuuden muutokseen (äänenpainetason ja perustaajuuden erotuksien korrelaatio, r). A: koko ryhmä (n = 33, p-arvo suluisa); B: vähän oireita kokevat tutkittavat (n = 16); C: paljon oireita kokevat tutkittavat (n = 17).

A

	E2	E3	V1	V2	V3
E1	0,48 (0,004)	0,41 (0,02)			
E2		0,43 (0,01)	0,54 (0,001)	0,42 (0,014)	0,4 (0,01)
E3			0,57 (0,001)	0,47 (0,006)	
V1				0,4 (0,02)	
V2					0,49 (0,003)

Liite 1 jatkuu seur. sivulla

LIITE 1, jatkoa

Äänenpainetason muutoksen vaikutus äänen perustaajuuden muutokseen (äänenpainetason ja perustaajuuden erotuksien korrelaatio, r). A: koko ryhmä ($n = 33$, p -arvo suluissa); B: vähän oireita kokevat tutkittavat ($n = 16$); C: paljon oireita kokevat tutkittavat ($n = 17$).

B

	E2	E3	V1	V2	V3
E1	0,71 (0,002)	0,61 (0,012)			
E2					
E3			0,54 (0,039)		
V1					
V2					0,5 (0,046)

C

	E2	E3	V1	V2	V3
E1		0,			
E2			0,51 (0,033)		
E3			0,66 (0,004)	0,55 (0,021)	0,48 (0,048)
V1					
V2					

E = ensimmäinen oppitunti, V = viimeinen oppitunti, 1 = oppitunnin alku, 2 = keskiosa, 3 = loppu.

VOICE LOADING IN FEMALE TEACHERS DURING WORK**Leena Rantala***Cognitive Laboratory, Clinical Neurophysiology, University Hospital of Oulu, Finland*

The aim of this study was to investigate phonatory changes due to loading in natural working environment. The subjects were female school teachers, the number of whom for separate studies ranged from 10 to 33 (mean age 43 years). Voice recordings were made both during breaks (voice task: maximally prolonged [a]) and lessons (first and last lesson of one day). The subjects were divided into two groups according to the severity of their voice complaints. The major results were: the more the complaints the teacher had, the higher the fundamental frequency (F0) and sound pressure level and a tendency to use more hypofunctional voice (analysed by the long-time average spectrum; LTAS). During the working day, the F0 rose and the LTAS levelled out (changes towards hyperfunctional voice usage). Interestingly, these changes were more obvious in the teachers with fewer voice complaints. Furthermore, during the present study, an index of voice loading was developed (F0 x F0 time; F0 time = active vibration time of vocal folds).

Keywords: acoustic voice analysis, voice complaints, field study