

RESONAATTORIPUTKI ILMASSA JA VEDESSÄ

Joanna Peltokoski, Tampereen yliopisto

Jaana Tyrmi, Tampereen yliopisto

Elina Kankare, Tampereen yliopisto

Irma Ilomäki, Tampereen yliopisto

Anne-Maria Laukkanen, Tampereen yliopisto

Ahmed Geneid, Helsingin yliopistollinen sairaala ja

Helsingin yliopisto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten ääntöväylän vastuksen lisääminen vaikuttaa kurkunpään ääntöväylään (putki äänihuulista kurkunpään eteisontelon ulostuloaukkoon) ja äänihuulikontaktiin. Ääntöväylän vastusta lisättiin resonaattoriputken avulla.

Seitsemän naispuhujaa, joista neljä oli putkiääntöön harjaantuneempia kuin muut kolme, tuotti saman uloshengityksen aikana ensin vokaalia ja sitten ääntä resonaattoriputkeen (pituus 27 cm, Ø 9 mm), jonka toinen pää oli ilmassa. Seuraavaksi he tuottivat vokaaliääntä, jota seurasi ääntö putkeen, jonka toinen pää oli 2 cm:n syvyydessä vesimukissa. Näytteistä tallennettiin nasofiberoskopiavideo ja elektroglossografisignaali (EGG-signaali). Videon pysäytyskuvista mitattiin kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-ala, rajoina kurkunkansi, kurkunkansipoimut, kannurustot ja sarvirustot. EGG:stä mitattiin äänihuulten suhteellinen kontaktiaika, contact quotient (CQ).

Ilmaan tehdyn resonaattoriputkiäännön aikana kurkunpään ääntöväylä kaventui keskimäärin 21 % ja veteen tehdyn aikana 65 % verrattuna vokaaliääntöön. CQ kasvoi useimmilla sekä ilmaan että veteen tehdyssä putkiäännössä.

Ääntöväylän vastuksen lisääminen putkeen ääntämällä näyttää saavan aikaan kurkunpään ääntöväylän kaventumisen ja lisäävän äänihuulten kontaktia. Kaventuminen on voimakkaampaa, kun ääntöväylän vastusta lisätään veteen ääntämällä. Kun harjoituksen tekijällä on kokemusta resonaattoriputken käytöstä, ääntöväylä kaventuu enemmän.

Avainsanat: kurkunpään ääntöväylän kaventuma, vesivastusterapia, ääniharjoitukset, äänihuulten kontaktiaika, ääniterapia

Kirjoittajan yhteystiedot:

Vastaava kirjoittaja

Joanna Peltokoski, FM

Puheen ja äänen tutkimuksen laboratorio,

Kasvatustieteiden yksikkö,

Tampereen yliopisto, Virta, Åkerlundinkatu 5,

33100 Tampere

joanna.peltokoski@gmail.com

1 JOHDANTO

Soinnillisia puolisolukäänteitä, joissa tehdään kaventuma jonnekin ääntöväylän etuosaan, ja erilaisiin putkiin ääntämistä on käytetty kauan ääniharjoittelussa ja -terapiassa. Suomessa on käytetty niin sanottuja resonaattoriputkia, jotka ovat perinteisesti materiaalil-

taan lasia, pituudeltaan 26–28 cm ja sisäläpimitaltaan 8–9 mm (ks. Simberg & Laine, 2007; Sovijärvi, 1969). Resonaattoriputkeen on äännetty joko niin, että sen toinen pää on ilmassa tai niin, että sen pää on upotettuna vesiastiaan 2–15 cm veden pinnan alle. Ääntöväylän ahtauttaminen ja pidentäminen lisää ilmapirtausvastusta. Veteen äännettäessä ääntöväylän ilmapirtausvastus luonnollisesti kasvaa enemmän kuin äännettäessä putken läpi ilmaan, ja veden kuplinta tuottaa ilmanpaineen rytmistä vaihtelua ääntöväylään (Enflo, Sundberg, Romedahl & McAllister, 2013; Granqvist ym., 2014; Radolf, Laukkanen, Horáček & Liu, 2014).

Viime vuosikymmeninä on ryhdytty laajemmin tutkimaan, miksi nämä erilaiset niin kutsutut semiokluusioharjoitukset ovat niin suosittuja. Tutkimuksissa on käytetty soinnillisia frikatiiveja, nasaaleja, kieli- ja huulitäryjä sekä ääntämistä varsin erilaisiin putkiin. Pääasiassa on tutkittu putkiääntöä ilmaan. Kun verrataan resonaattoriputkea erilaisiin helposti saatavilla oleviin mehupilleihin tai USA:ssa käytössä oleviin kahvinsekoituspilleihin, voidaan todeta, että resonanssiputki ilmassa tarjoaa vain pienen vastuksen ilmapirtaukselle (Titze, Finnegan, Laukkanen & Jaiswal, 2002). Kun äännetään resonanssiputken läpi veteen, vastus määräytyy siitä, miten syväle veteen putken toinen pää on upotettuna (Enflo ym., 2013; Horáček, Radolf, Bula & Laukkanen, 2014). Sekoituspilli ilmassa tuottaa puolestaan huomattavasti suuremman vastuksen kuin resonaattoriputki upotettuna 10 cm syvyyteen veteen (Amarante Andrade ym., 2015; Horáček ym., 2014).

Keskeisenä selityksenä semiokluusioharjoitusten käytölle pidetään tällä hetkellä sitä, että nämä harjoitukset voivat antaa konkreettisen mallin tehokkaammasta ja taloudellisemmasta äänenkäytöstä (suurempi akustinen ja perkeptuaalinen voimakkuus pienemmällä äänihuulten mekaanisella ku-

dosrasituksella). Tämä johtuu siitä, että ääntöväylän virtausvastusta lisäämällä väylän ilmanpaine kasvaa, jolloin resonanssien aikaansaamat tuntemukset suussa ja kasvoissa lisääntyvät (Titze, 2001). Myös ilmanpaine äänihuulten välissä voi kasvaa, mikä vähentää niiden törmäysrasitusta äänentuoton aikana (Titze, 2006). Värähtelytuntemukset voidaan saada lisääntymään, ja siten äänentuottolaa-tu optimoiduksi, kun laryngaalinen vastus ja ääntöväylän vastus sovitetaan yhteen. Laryngaalista vastusta säädetään vaikuttamalla äänihuulten adduktion tiiviyteen, ja ääntöväylän vastusta säädetään kurkunpään ääntöväylän (epilaryngeal tube, ks. kuva 1) kokoa muuttamalla. Kurkunpään ääntöväylän kaventaminen madaltaa äännön kynnyspainetta ja voi mekaanisesti edistää äänihuulten värähtelyä (Titze, 2004; Titze & Story, 1997). Tämä kaventaminen myös muokkaa ilmapirtauspulssia ja voimistaa yläsävelliä. Sen lisäksi ylemmät formantit (F3–F5) siirtyvät lähemmäs toisiaan, jolloin ääneen muodostuu puhujan- tai laulajan formanttiklusteri (Leino, 1994; Leino, Laukkanen & Radolf, 2011; Sundberg, 1974). Vahvempien yläsavelten ja formanttiklusterin yhteisvaikutuksesta äänen kuuluvuus ja kirkkaus lisääntyvät.

Tietokonetomografia- ja magneettiresonanssitutkimuksilla on saatu tulokseksi, että nenänportin sulku tiivistyi ja ääntöväylä laajeni putkeen ääntämisen aikana. Samat muutokset säilyivät myös vokaaliäännössä harjoituksen jälkeen (Guzman ym., 2013b; Laukkanen, Horáček, Krupa & Švec, 2012b; Vampola, Laukkanen, Horáček & Švec, 2011). Alanielun poikkipinta-alan suhde kurkunpään ääntöväylän poikkipinta-alaan kasvoi harjoituksen aikana ja sen jälkeen. Koehenkilöiden välillä oli eroja, jotka voivat selittyä esimerkiksi eroilla äänikoulutuksessa. Koulutetulla mieslaulajalla kurkunpää laski harjoituksen aikana ja pysyi alempana sen jälkeen. Myös kurkunpään ääntöväylä oli kapeampi harjoituksen

jälkeen. (Guzman ym., 2013b.) Koulutetulla naispuhujalla puolestaan kurkunpää ei laske-
nut eikä kurkunpään ääntöväylä kaventunut,
mutta sen sijaan nieluontelo laajeni enemmän
(Laukkanen ym., 2012b; Vampola ym., 2011).
Elektroglottografilla saatiin mieslaulajalta tu-
los, että äänihuulten suhteellinen kontaktiaika
äännön aikana pieneni harjoituksen aikana ja
sen jälkeen verrattuna vokaaliääntöön ennen
harjoitusta (Guzman ym., 2013b). Aiemmissä
tutkimuksissa on saatu päinvastaisia (Laukka-
nen, 1992) tai ristiriitaisia tuloksia (Gaskill &
Erickson, 2010).

Tämä tutkimus tarkasteli aiempiin tutki-
muksiin verrattuna useamman koehenkilön
avulla kurkunpään ääntöväylän suuaukon
pinta-alaa ja äänihuulten kontaktiaikaa reso-
naattoriputkiäännössä. Tutkimuskysymykset
olivat seuraavat: 1) Onko vokaaliäännön ja
ilmaan tai veteen tehdyn putkiäännön välil-
lä mitattavissa eroa kurkunpään ääntöväylän
poikkipinta-alassa? 2) Aiheuttaako putkeen
ääntäminen muutoksia äänihuulten kon-
taktiin? 3) Onko kurkunpään ääntöväylän
poikkipinta-alassa mitattavissa eroa, kun
äännetään putken läpi ilmaan tai veteen? 4)
Onko äänihuulikontaktissa eroa, kun ään-
netään putken läpi ilmaan tai veteen? 5) Ero-
vatko kokeneempien ja kokemattomampien
harjoittelijoiden tulokset toisistaan?

2 MENETELMÄT

2.1 Koehenkilöt ja näytteet

Koehenkilöinä toimi seitsemän terveäänistä
naista, jotka olivat puhetekniikan opetta-
jia ja vokologian opiskelijoita. Koehenkilöt
valittiin sillä perusteella, että kaikilla oli jos-
sain määrin kokemusta resonaattoriputkella
harjoittelusta, minkä vuoksi voitiin olettaa,
että he tekisivät harjoitukset sillä tavoin kuin
puhetekniikan harjoitustradition mukaan
pidetään tavoiteltavana. Neljällä osallistu-

jalla (ikä 24–52 v.) oli enemmän kokemusta
resonanssiputkiharjoittelusta kuin muilla
kolmella (ikä 21–28 v.). Jatkossa näistä ryh-
mistä käytetään nimityksiä 'kokeneet' (kok.)
ja 'opiskelijat' (opisk.).

Koehenkilöt tuottivat saman uloshengitys-
jakson aikana ensin vokaalia [i:] ja sen jälkeen
äänsivät lasiseen resonaattoriputkeen (pituus
27 cm, sisäläpimitta 9 mm, poikkipinta-ala
noin 0,5 cm²) siten, että sen ulompi pää oli
ilmassa. Tämän jälkeen he niin ikään äänsivät
ensin vokaalia [i:] ja sitten resonaattoriput-
keen, jonka toinen pää oli tällä kertaa upotet-
tuna 2 cm syvyyteen vesimukiin. Vokaalia [i:]
käytettiin siksi, että sen avulla saadaan paras
näkyvyys kurkunpäähän. Ennen ääninäyttei-
den tallennusta koehenkilöt harjoittelivat noin
kahden minuutin ajan resonaattoriputkeen
ääntämistä. Koehenkilöitä kehoitettiin tavoit-
telemaan mahdollisimman voimakasta värinä-
tuntemusta huulissa ja poskissa äännön aikana.

2.2 Näytteiden tallentaminen

Nasofiberoskopiakuvaus tehtiin Helsingin yli-
opistollisen sairaalan foniatrian poliklinikan
tutkimushuoneessa. Tutkimuksen suoritti
kokenut foniatri. Kuvantamisessa käytettiin
valostroboskooppia (Timcke KS4200s), vä-
rikameraa (Timcke CSG), videotallenninta
(rpScene®-Video film documentation sys-
tem), 17^o:n värinäyttöä sekä nasoendoskoop-
pia (Olympus ENF-P4). Skooppi oli nielussa
koko tutkimuksen ajan. Tutkittavat tuottivat
keskenään verrattavat vokaali- ja putkiäännöt
aina saman uloshengityksen aikana, jotta skoo-
pin asema nielussa pysyisi samana. Tutkimuk-
sen yhteydessä ei käytetty puudutusta. Stro-
boskooppia käytettiin, jotta myöhemmin olisi
mahdollista tarvittaessa tarkastella myös put-
kiäännön vaikutuksia äänihuulivärähtelyyn.

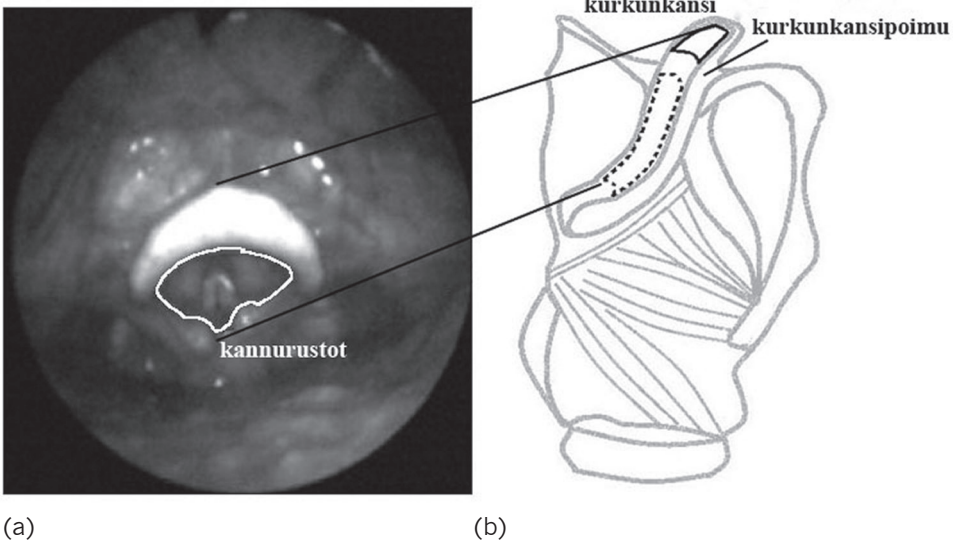
Kurkunpään kuvantamisen yhteydessä
tallennettiin myös EGG-signaali. Tallennus
onnistuttiin tekemään kuudelta koehenkilöl-

tä. Tutkimuksessa käytettiin kaksikanavaista EGG:tä (Glottal Enterprises EG-2, taajuuden alaraja asetettuna 20Hz:iin). Akustinen signaali tallennettiin käyttämällä pääpantamikrofonina (AKG C477), jossa oli kannettava virtalähde (AKG B29L). Mikrofoni asetettiin kuuden cm:n päähän koehenkilön huulikulmasta. Näytteet tallennettiin kannettavan tietokoneen ja ulkoisen äänikortin (M-Audio MobilePre USB) avulla. Tallennusohjelmaa käytettiin Sony Sound Forge 7.0 -ohjelmaa. Näytteenottotaajuus oli 44,1 kHz ja amplitudin kvantisaatio 16 bittiä.

2.3 Kurkunpään ääntöväylän koon mittaaminen

Kurkunpään ääntöväylän koko arvioitiin mittaamalla videon 2 D -pysäytyskuvista kur-

kunpään ääntöväylän suuaukon poikkipinta-ala pikseleinä. Mittaustulokset olivat täten suhteellisia, sillä nasofiberoskopiatalenteita ei ollut mahdollista kalibroida. Tutkittavat näytteet valittiin sillä perusteella, että kamera pysyi ääntöä tuottaessa mahdollisimman tarkasti paikoillaan. Näin kurkunpään ääntöväylän suuaukon poikkipinta-alan suhteellinen ero vokaaliäännön ja putkiäännön välillä saatiin luotettavammin lasketuksi. Pinta-alan mittaamisessa käytettiin apuna ImageJ-ohjelmaa (ImageJ 1.42q Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA). Kuvasta rajattiin kurkunpään ääntöväylän suuaukoksi määritelty alue, jonka rajoina olivat edessä kurkunkansi, sivuilla kurkunkansipoimu (aryepiglottic fold) sekä takana kannurustot ja sarvirustot (ks. kuva 1).



Kuva 1. (a) Kurkunpään ääntöväylän suuaukko ylhäältä päin kuvattuna (valkoisella rajattu alue) ja (b) kurkunpää sivusuunnasta katsottuna. Kuvassa (b) ylempi viiva osoittaa kurkunkannen yläosaa, alempi kannurustoja, ja katkoviiva kuvaa kurkunpään ääntöväylän suuaukkoa. Sen todellinen etureuna on hieman alempana kuin ylhäältä päin nähtävissä oleva kurkunkannen yläosa.

Kuvassa 1 a näkyy alue, jota mitattiin. Koska mittausalueen eturajana toimi kurkunkannen yläreuna, ei mittauskohta ole täysin vastaava kurkunpään ääntöväylän ylärajan (ks. kuva 1 b) kanssa. Toisaalta, koska kurkunkannen yläreuna pääosin liikkuu synkronisesti ja samansuuntaisesti muiden kurkunkannen liikkeiden kanssa, mittausalueen pinta-alamuutoksen voidaan päätellä kuvastavan riittävän hyvin muutoksia kurkunpään ääntöväylän pinta-alassa.

Mittausvirheen arvioimiseksi kolme henkilöä mittasi kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-alan, ja yksi suoritti myös toistomittauksen.

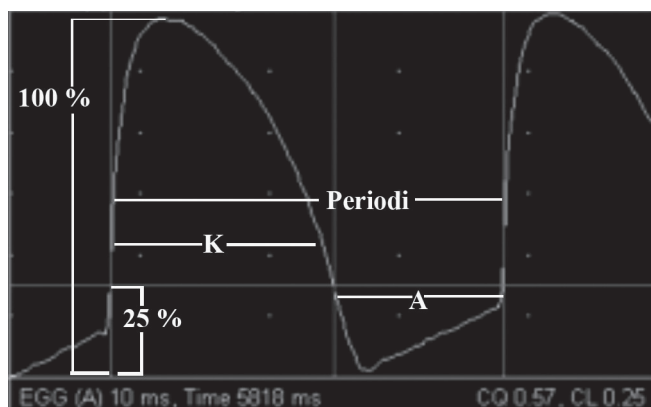
2.4 Äänihuulten suhteellisen kontaktiajan (CQ) mittaaminen

Äänihuulten suhteellinen kontaktiaika (kontaktiaika/periodin kesto) mitattiin EGG-signaalista käyttämällä Voce Vista -ohjelmaa (ks. kuva 2). Mittaus tehtiin koko näytteen ajalta, siis useista periodeista. Näytekesto oli noin 1–2 sekuntia. Kontaktivaiheen alkamisen

raja-arvoksi valittiin 25 % signaalin amplitudista, minimikontaktivaiheesta lukien, koska tämän mittauksen on todettu korreloivan hyvin ääntölaadun kanssa naisten puheäänessä (Kankare, Laukkanen, Ilomäki, Miettinen & Pylkkänen, 2012). Ääntölaatuja viitearvoiksi kirjoittajat esittivät seuraavia: normaali äänenlaatu 0,52 % (SD 0,07), vuotoinen 0,44 % (SD 0,11) ja kireä 0,66 % (SD 0,08).

2.5 Tilastolliset analyysit

Sekä pinta-alamittauksen että CQ-mittauksen tuloksia kuvattiin tilastollisen keskiarvon ja keskihajonnan avulla. Ilmaan tehtyjen putkiääntöjen pinta-alamittauksen tarkastelussa käytettiin lisäksi mediaaneja. Pinta-alamittauksen mittausvirheen suuruutta kussakin näytteessä arvioitiin kolmen mittauksen tulosten vaihteluvälin avulla. Mittaustulosten yhtenevääisyyttä arvioitiin Spearmanin korrelaatioanalyysillä ja reliabiliteettianalyysillä. Tilastoanalyysit suoritettiin SPSS 18 -tilasto-ohjelmalla.



Kuva 2. CQ-analyysit tehtiin käyttäen Voce Vista -ohjelmaa. Kontaktivaiheen määrittämisessä käytettiin 25 %:n kriteeriarvoa. Kuvassa EGG-signaali (impedanssi pienenee ylöspäin). CQ = glottiksen kiinniolovaihe (K) / Periodi (K+A eli aukiolo).

3 TULOKSET

3.1 Kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-ala

Kurkunpään ääntöväylän suuaukon mittaus- tulokset olivat hyvin yhteneväisiä sekä tois- tomittauksessa (Spearmanin korrelaatioker- roin r 0,99, $p < 0,001$) että kolmen mittajaan välillä (r 0,98–0,99, $p < 0,001$, Cronbachin alfa 0,99). Taulukossa 1 on nähtävissä kolmen mittajaan mittaus tulosten keskiarvot kunkin koehenkilön näytteille. Koehenkilöiltä mita- tut pinta-alat voivat vaikuttaa hyvin erisuu- ruisilta. Tämä johtuu siitä, että eri henkilöillä skooppi oli eri korkeudella nielussa. Tällä ei kuitenkaan ole vaikutusta tutkimuksen tulok- siin, koska pinta-aloja verrattiin vain saman henkilön näytteiden välillä.

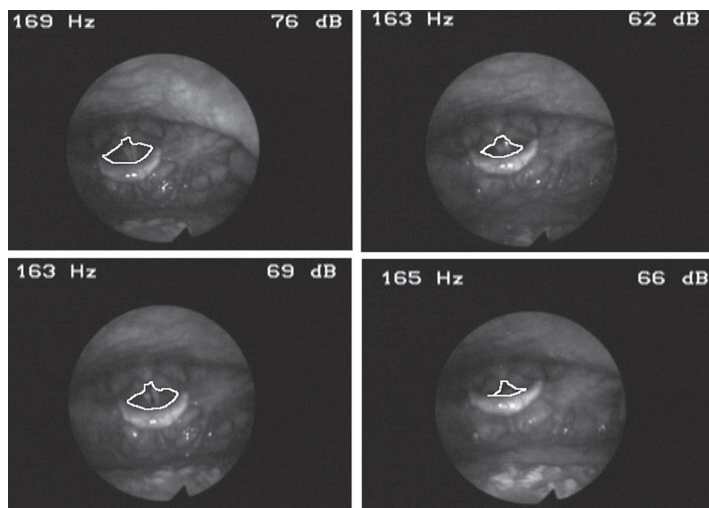
Tulosten mukaan putkiääntö erosi vo- kaaliäännöstä selvästi useimmissa näytteissä (kolmen mittajaan tulosten vaihteluvälit ei-

vät limittyneet eri näytetyypeissä eli voidaan tulkita, että mittausvirhe ylittyi selkeästi). Ainoastaan kolmessa näytteessä esiintyi jos- sain määrin limittymistä (ilmaan tehty put- kiääntö koehenkilöillä 2, 5 ja 6). Kurkunpään ääntöväylän suuaukko kaventui useimmissa näytteissä, joissa äännettiin putkeen ilmassa, ja kaikissa näytteissä, joissa putki oli vedessä. Esimerkkejä tuloksista on nähtävissä kuvissa 3 ja 4.

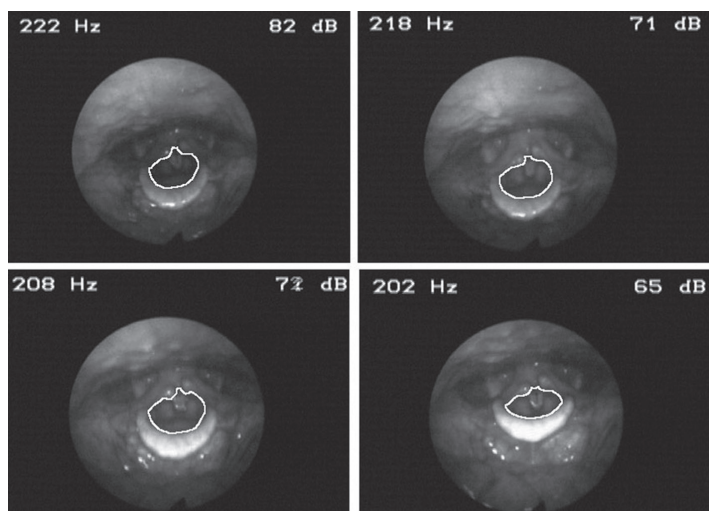
Kokeneilla harjoittelijoilla oli nähtävissä pääosin suurempi kaventuma sekä ilmaan että veteen tehdyissä putkiäännöissä lukuun otta- matta yhden opiskelijan (KH 7) ilmaan tehtyä putkiääntöä, jossa kaventuma oli varsin suu- ri. Yhdellä koehenkilöllä (Opiskelija, KH 5) ilmaan tehdyn putkiäännön aikana kurkun- päään ääntöväylä oli hieman vokaaliäännös- tä mitattua laajempi, kurkunpään ääntö- väylän suuaukon pinta-alan kasvu oli 10,3 % (kuva 4).

Taulukko 1. Koehenkilöiden kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-alat vokaaliäännöissä ja putkiäännöissä (pikseleinä), vokaalin ja putkiäännön pinta-alojen erotus sekä pinta-alojen muutos prosentteina. Koehenkilöiden kokeneisuus on merkitty alaviitteeseen (kok. = henkilö, jolla on paljon kokemusta resonaattoriputkella harjoittelusta, opisk. = opiskelija. KH:t 1-3 ovat puhetekniikan opettajia, KH 4 on opiskelija, jolla on pitkä lauluharrastustausta). Mittausvirhe = kolmen mittajaan tulosten vaihteluväli.

	Vokaali 1 (ka)	Putki ilmassa (ka)	Erotus (pikselit)	Erotus (%)	Vokaali 2 (ka)	Putki vedessä (ka)	Erotus (pikselit)	Erotus (%)
KH 1 (kok.)	9454	1531	-7923	-83,8	10074	918	-9156	-90,9
mittausvirhe	8402,3-10505,7	1242,9-1819,1			9626-10522	668,6-1167,5		
KH 2 (kok.)	3138	2489	-650	-20,7	3681	1059	-2623	-71,2
mittausvirhe	2774,6-3501,4	2074,8-2903,2			3467,9-3894,1	901,7-1216,3		
KH 3 (kok.)	8936	7535	-1401	-15,7	6422	996	-57	-84,5
mittausvirhe	8457,6-9414,4	7175,9-7894,1			6230,6-6613,4	899,8-1092,2		
KH 4 (kok.)	1972	1269	-703	-35,6	4356	1511	-2845	-65,3
mittausvirhe	1831,2-2112,8	1098,9-1439,1			3945,2-4766,8	1327,1-1694,9		
KH 5 (opisk.)	6660	7346	687	10,3	7964	5135	-2829	-35,5
mittausvirhe	6254,1-7065,9	7006,5-7685,5			7433,8-8494,2	4605,9-5664,1		
KH 6 (opisk.)	7315	6915	-400	-5,5	5965	2892	-3074	-51,5
mittausvirhe	7086,8-7543,2	6656,7-7173,3			5683,7-6246,3	2518,2-3265,8		
KH 7 (opisk.)	10225	3282	-6943	-67,9	12217	5593	-6623	-54,2
mittausvirhe	9688,4-10761,6	2974,2-3589,8			11930,3-12503,7	5111,1-6074,9		



Kuva 3. Kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-ala (rajattu valkoisella) kokeneen harjoittelijan (KH 2) vokaaliäännöissä vasemmalla, putkiäännöissä oikealla: putki ilmassa (ylempi) ja putki vedessä (alempi). Kurkunpään ääntöväylän suuaukko pienenee putkiäännöissä, ja selvästi enemmän silloin, kun putken pää on vedessä.



Kuva 4. Kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-ala (rajattu valkoisella) opiskelijan (KH 5) vokaaliäännöissä vasemmalla, putkiäännöissä oikealla: putki ilmassa (ylempi) ja putki vedessä (alempi). Ainoastaan tällä koehenkilöllä kurkunpään ääntöväylän suuaukko laajeni putkiäännössä ilmaan. Sen sijaan putkiäännössä veteen myös hänellä kurkunpään ääntöväylän suuaukko kapeni.

Kurkunpään ääntöväylä pienentyi ilmaan tehdyn resonaattoriputkiäännön aikana keskimäärin 31 % ja veteen tehdyn äännön aikana 65 % verrattuna vokaaliääntöön. Hajonta oli melko suurta koehenkilöiden kesken, erityisesti ilmaan tehdyissä putkiäännöissä. Keskimääräisesti suurimmat kaventumat oli kuitenkin havaittavissa kokeneiden ryhmän koehenkilöillä. Heillä ilmaan tehdyn putkiäännön aikaansaaman kaventuman keskiarvo oli noin 36 % ja opiskelijoiden 21 % verrattuna vokaaliääntöön. Ilmaan tehdyissä putkiäännöissä pinta-alojen muutosprosenttien keskiarvoa nostaa kuitenkin muutaman koehenkilön erittäin suuri tulosarvo. Tästä syystä on parempi tarkastella ilmaan tehdyn putkiäännön kohdalla mediaania. Tällöin kaventuminen oli 21 % koko ryhmällä (SD 33,9), kokeneilla 28 % (SD 31,1) ja opiskelijoilla 6 % (SD 41,4). Veteen tehdyissä putkiäännöissä vastaavat kaventumisen keskiarvot oli-

vat koko ryhmällä 65 % (SD 19,4), kokeneilla 78 % (SD 11,8) ja opiskelijoilla 47 % (SD 10,1).

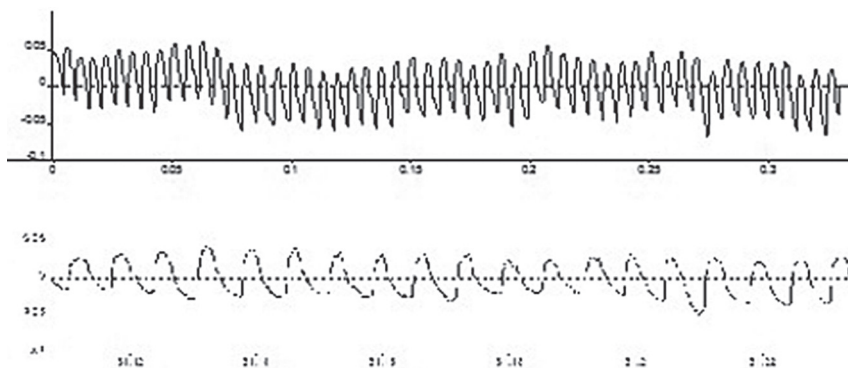
3.2 Äänihuulten kontaktiajan muutokset

Saaduista EGG-tuloksista näkyy, että kontaktiaika kasvoi useimmilla koehenkilöillä jonkin verran sekä silloin, kun putki oli ilmassa, että silloin, kun se oli vedessä. Selvää eroa kokeneiden ja opiskelijoiden välillä ei ollut nähtävissä.

Kuvasta 5 näkyy, että veteen tehdyissä putkiäännöissä oli havaittavissa huojuntaa amplitudiakselilla niin EGG-signaalissa kuin akustisessa signaalissa. EGG-signaalin aaltomuoto ja CQ vaihtelivat huojunnan myötä. Tämä vaihtelu näkyy siinä, että CQ-arvojen hajonta oli useimmilla koehenkilöillä suurempaa äännettäessä putkella veteen kuin äännettäessä putkella ilmaan.

Taulukko 2. Äänihuulten suhteellinen kontaktiaika (CQ %) eri näytteissä. Koehenkilöltä 1 ei onnistuttu saamaan kelvollista EGG-signaalia.

	Vokaali 1	Putki ilmassa	Erotus	Vokaali 2	Putki vedessä	Erotus
KH1 (kok.) signaali huono	-	-		-	-	
KH 2 (kok.)						
ka	0,42	0,39	-0,03	0,37	0,4	0,03
SD	0,018	0,023		0,025	0,045	
KH 3 (kok.)						
ka	0,55	0,58	0,03	0,6	0,56	-0,04
SD	0,032	0,017		0,016	0,02	
KH 4 (kok.)						
ka	0,46	0,57	0,11	0,52	0,45	-0,07
SD	0,074	0,079		0,033	0,026	
KH 5 (opisk.)						
ka	0,48	0,55	0,07	0,47	0,5	0,03
SD	0,021	0,013		0,026	0,038	
KH 6 (opisk.)						
ka	0,4	0,64	0,24	0,44	0,49	0,05
SD	0,075	0,05		0,065	0,059	
KH 7 (opisk.)						
ka	0,45	0,57	0,12	0,58	0,61	0,03
SD	0,061	0,035		0,025	0,059	



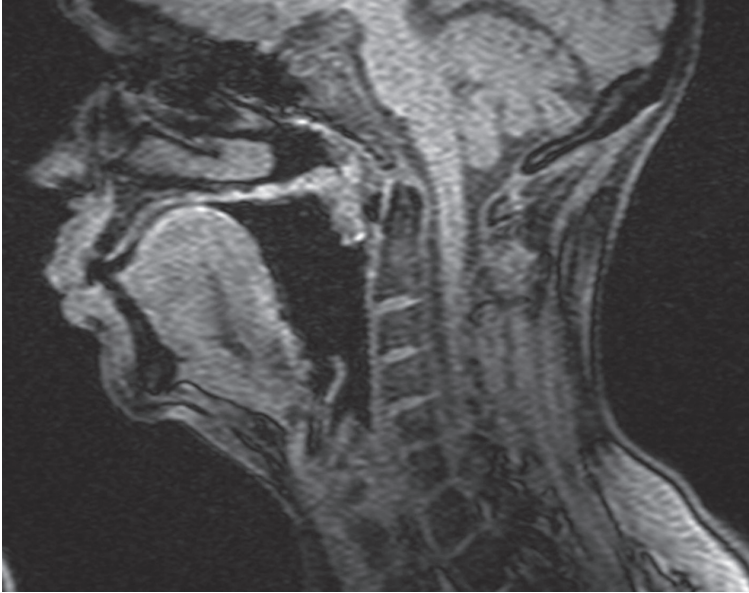
Kuva 5. Veteen tehty putkiääntö aiheutti y-akselin arvoissa näkyvää huojuntaa sekä akustisessa signaalissa (yllä) että EGG-signaalissa (alla). Sekä EGG-signaalin aaltomuoto että CQ vaihtelivat.

4 POHDINTA

4.1 Kaventuma kurkunpään ääntöväylässä

Saatujen tulosten mukaan kurkunpään ääntöväylän suuaukko kaventuu putkeen äännettäessä, ja kaventuminen on vahvempaa, kun putken pää on vedessä. Samanlaisia tuloksia on saatu myös dysfonisilla potilailla (Guzman, Castro, Testart, Muñoz & Gerhard, 2013a). Lisäksi heillä oli havaittavissa selvä nielun kasvu ja kurkunpään lasku. Kurkunpään yläpuolinen ilmanpaine kasvaa erityisesti äännettäessä veteen, ja tästä johtuen myös kurkunpää saattaa laskea (Granqvist ym., 2014). Voisiko siis tässä tutkimuksessa havaittu kurkunpään ääntöväylän kaventuminen johtua vain siitä, että kameran ja kurkunpään välinen etäisyys on kasvanut kurkunpään laskun myötä? Ääntöväylästä otetut kuvat (ks. esim. kuvat 3 ja 4)

kuitenkin osoittavat, että muut rakenteet pysyivät lähes samankokoisina. Tästä voidaan päätellä, että todennäköisesti kyseessä ei ole kasvanut etäisyys kurkunpään ja skoopin välillä, vaan todellinen ero kurkunpään ääntöväylän suuaukon koossa. Tutkimuksessa mitattiin kaksiulotteista kuvaa. Se vaikuttaa myös jonkin verran tuloksiin. Kannurukset sijaitsevat alempana kurkunpäässä kuin kurkunkansi. Niin ikään kurkunkansi on taipuisa rusto, jonka kärkeä ei välttämättä liiku synkronisesti alaosan kanssa. Käytetty kuvantamistapa voi heikentää kaventuman näkymistä etenkin silloin, jos kurkunkannen kärki on taipuneena eteenpäin ja alaosa vedettynä taaksepäin kuten kuvassa 6. Mitatut erot vokaali- ja putkiääntö välillä olivat kuitenkin useimmissa näytteissä niin selvät, että kuvantamistavasta johtuvalla virheellä on tuskin ollut suurta vaikutusta tuloksiin.



Kuva 6. Magneettiresonanssikuva vokaalin [y:] ääntämisestä. Kuvassa näkyy kurkunkannen kärjen taipuminen eteenpäin. (Kuva naiskoehenkilöltä, Petr Krupa, Department of Medical Imaging, St. Anne's Faculty Hospital, Masaryk University, Brno, Czech Republic, 2008.)

Tämän tutkimuksen tulokset poikkeavat aiempien tutkimusten havainnoista, joiden mukaan putkeen ääntämisen aikana tutkittavien nielun tilavuus kasvaa, mutta kurkunkään ääntöväylä ei juuri kavennu (Guzman ym., 2013b; Laukkanen ym., 2012b; Vampola ym., 2011). Guzmanin ym. (2013b) tutkimuksessa oli havaittavissa lievä kurkunkään ääntöväylän kaventuminen vasta vokaaliäännessä putkeen ääntämisen jälkeen. Yhtenä syynä tutkimustulosten eroavuuteen voisi olla se, että kaikissa aiemmissä, edellä mainituissa tutkimuksissa tutkittavat äänsivät [a:]-vokaalia, kun taas tässä tutkimuksessa käytettiin [i:]tä. Toisaalta aiemmissä tutkimuksissa saatujen kaltaisia tuloksia on raportoitu myös vokaaleille [i:] ja [u:] (Laukkanen, Horáček & Havlik, 2012a). Sinänsä sekä kurkunkään ääntöväylää kaventamalla että nielua laajentamalla saavutetaan sama tilanne, jossa kurkunkään ääntöväylän tila jää suhteellisesti monta kertaa pienemmäksi kuin ääntöväyläs-

sä ylempänä olevat tilat. Tämä väylän osien kokoero riittää siihen, että kurkunkään ääntöväylä alkaa toimia itsenäisenä resonaattorina (Sundberg, 1974; Titze, 2006; Titze & Story, 1997). Voi siis olla, että sama henkilö voi käyttää tilanteesta ja esimerkiksi vokaalista riippuen kumpaakin tekniikkaa hyväkseen sopeutuakseen kasvaneeseen ääntöväylävasutukseen. Tämän selvittämiseksi tarvittaisiin useammalta henkilöltä eri vokaaleilla ja eri päivinä tehdyt mittaukset.

Putkella veteen ääntäminen sai aikaan suuremman kaventuman kurkunkään ääntöväylässä kuin putkella ilmaan ääntäminen. Myös Guzmanin ym. (2013b) havaitsemat muutokset ääntöväylässä olivat suuremmat, kun ääntöväylän impedanssi oli suurempi, eli kun äännettiin kapeaan pilliin leveämmän lasiputken sijaan. Aiemmin on myös saatu tulos, että kurkunkään lihasten väliset aktiviteet-tisuhteet muuttuivat suhteessa ääniharjoituksen tarjoamaan ääntöväyläimpedanssiin:

tyroarytenoideus-lihaksen aktiviteetti oli suurempi suhteessa cricotyreoideus-lihaksen aktiviteettiin (siis TA/CT-suhde suurempi) äännettäessä kapeaan pilliin kuin leveämpään lasiputkeen (Laukkanen, Titze, Hoffman & Finnegan, 2008). Hieman kapeampaa putkea tai vastaavasti pientä vesivastusta käyttäen voitaisiin ehkä saavuttaa kurkunpään ääntöväylän kaventuma helpommin. Näin ollen kaventuman muodostaminen voisi onnistua myös sellaisilla henkilöillä, joilla on vain vähän tai ei ollenkaan kokemusta putkilla harjoittelemisesta. Saatu tulos on sopusoinnussa Titzen (2006) esittämän oletuksen kanssa. Sen mukaan ideaalinen ääniterapia tai -harjoittelu alkaisi harjoituksesta, joka tuottaa suurimman vaikutuksen, mutta on keinotekoisin (esim. hyvin ahtaaseen pilliin ääntäminen), ja etenisi kohden harjoitusta, jolla olisi pienin vaikutus, mutta joka olisi lähimpänä luonnollista tilannetta (esim. suppeat vokaalit [i:, u:]). Toisaalta Titze myös toteaa, että joskus on aloitettava pienemmän ääntöväyläresistanssin tarjoavista harjoituksista (kuten vaikkapa nasaaliharjoitukset tai huuli- ja kieli-täryt), jotta tottumaton harjoittelija / potilas ei alkaisi tuottaa ponnisteista ääntöä.

Vampolan ym. (2011), Laukkanen ym. (2012b) ja Guzmanin ym. (2013b) tutkimusten rajoituksena oli, että niissä oli vain yksi tutkittava. Tässä tutkimuksessa pyrittiin saamaan useamman koehenkilön avulla lisäselvyyttä siihen, miten putkiharjoittelu vaikuttaa kurkunpään ääntöväylään. Näiden tutkimusten tuloksia ei kuitenkaan voi aivan suoraan verrata toisiinsa, sillä tutkimustapa oli erilainen. Vampolan ym. (2011), Laukkanen ym. (2012b) ja Guzmanin ym. (2013b) CT- ja MRI-tutkimusten yksi merkittävä havainto oli, että nenäportin sulku tiivistyi putkeen ääntämisen aikana ja pysyi tiiviimpänä vokaaliäännessä sen jälkeen. Tämä tutkimus toteutettiin nasofiberoskopian avulla, jolloin skooppi esti nenäportin tiiviin sulkeutumisen.

Erilainen kuvantamisväline voi siis osaltaan selittää eron tuloksissa. Yksi tähän tutkimukseen osallistuneista oli sama henkilö kuin Vampolan ym. (2011) tutkimuksessa, ja nyt tehdyssä tutkimuksessa kaventuma oli myös hänellä selvästi havaittavissa. On mahdollista, että henkilön kurkunpään ääntöväylän muutokset ovat jonkin verran riippuvaisia nenäportin sulun tiivyydestä. Kun henkilö pyrkii saamaan aikaan kasvoilla tuntuvia värähtelytunteuksia äännon aikana, ja samanaikaisesti ilmaa virtaa väistämättä nenästä skoopin takia, on henkilön tällöin todennäköisesti kavennettava kurkunpääputken ulostuloaukkoa enemmän.

Erot tutkimusmenetelmissä sisältävät myös sen, että koehenkilöiden asento tutkimuksen aikana oli eri. Vampolan ym. (2011) kuten myös Laukkanen ym. (2012b) ja Guzmanin ym. (2013b) tutkimukset tehtiin CT- ja MRI-kuvantamista hyväksi käyttäen, ja koehenkilön täytyi olla makuuasennossa. Tämä tutkimus toteutettiin istuen. On mahdollista, että erot painovoiman jakautumisessa vaikuttavat osaltaan tuloksiin. Eräässä aiemmassa, tenoreita koskevassa tutkimuksessa todettiin, että makuuasennossa kurkunpää oli hieman ylempänä ja huulet hieman enemmän eteenpäin työntyneenä kuin seistessä (Traser, Burdumy, Richter, Vicar & Echternach, 2013). Erot olivat tosin hyvin pieniä ja esimerkiksi leuan, kielen ja kitakielekkeen asennossa sekä huulten avauman suuruudessa ei ollut eroa näiden kahden asennon välillä.

Kurkunpään ääntöväylän kaventuman tavoittelu saattaa tuntua joistakin oudolta, sillä perinteisesti laulu- ja puhepedagogiikassa on tähdennetty ääntöväylän väljyyden ja vapauden merkitystä. Siten kavennuksen aikaansaaminen lihastyöllä voi kuulostaa päinvastaiselta ja jopa haitalliselta. Kapeikkojen tuottaminen eri osiin ääntöväylää on kuitenkin osa normaalia artikulaatiota. Kurkunpään ääntöväylän kaventaminenkin voidaan näh-

dä artikulaationa, jolla saavutetaan tietynlainen sointiväri. Tämän ajatuksen esittivät jo esimerkiksi Yanagisawa, Estill, Kmucha ja Leder (1989). Niin ikään tavoitteena on myös äänentuoton taloudellisuus, ei mikään kokonaisvaltainen kurkunpään ja nielun kuroutuminen, jollaista esiintyy hyperfunktionaalisessa äänenkäytössä. Titze (2001) esitti, että erona hyperfunktionaalisen ja edullisen kurkunpään ääntöväylän kaventumisen välillä olisi se, että jälkimmäinen tapahtuu anteroposteriorisesti, ei sivusuunnassa, ja siten esimerkiksi optimaalinen ääntöväylän kavennus ei sisältäisi taskuhuulten lähentämistä, vaan päinvastoin niiden vetäytymisen sivuille. Se voisi Titzen mukaan tapahtua esimerkiksi kurkunpäästä laskemalla tai viemällä kieltä eteenpäin.

Kurkunpään ääntöväylän kaventamista tuskin kannattaa ajatella tietoisesti äänentuoton aikana. Koska puhepedagogiassa ja klassisessa laulupedagogiassa ei tavoitteena ole selvä twang-sointi (jossa kurkunpään ääntöväylän kaventumiseen liittyy myös nielun kaventuminen, ks. Titze, 2001), voi saman lopputuloksen saada aikaan joko sopivalla kurkunpään ääntöväylän kaventumalla tai nielun väljentämisellä. Joka tapauksessa tavoitteena ovat samanaikaisesti sekä vahvat resonanssituntemukset kasvoilla että kokemus äänentuoton vaivattomuudesta. Putkiharjoittelun avulla näitä tavoitteita palveleva kaventuma näyttäisi muodostuvan automaattisesti niin, ettei sitä tarvitse erikseen ajatella.

4.2 Mitä kontaktiaika kertoo putkiharjoittelun vaikutuksista?

Tulosten mukaan useimmilla koehenkilöillä CQ eli äänihuulten kontaktiaika kasvoi hieman putkeen ääntämisen aikana. Muutos oli suurempi, kun putken pää oli ilmassa (ks. Taulukko 2). CQ:n arvot pysyivät kuitenkin lähes kaikilla joko 0.60:ssa tai sen alle (poik-

keuksena koehenkilön 6 putkiääntö ilmassa ja koehenkilön 7 putkiääntö vedessä), mikä viittaisi siihen, että kontaktiajan kasvusta huolimatta äännöt eivät olleet puristeisia (ks. viitearvot CQ:lle esim. Kankare ym. 2012). CQ ei kuitenkaan muuttunut yhtä systemaattisesti kuin kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-ala. Putkeen reagoiminen näyttää olevan yksilöllistä. Samanlaisia yksilöstä toiseen vaihtelevia CQ-tuloksia ovat saaneet myös esimerkiksi Titze ym. (2002) ja Gaskill & Quinney (2012). Huomionarvoista on se, että koehenkilöllä 6 (opiskelija), jolla kurkunpään ääntöväylä kaventui vähiten putkiäännössä ilmaan, oli nähtävissä suurin kasvu CQ:ssa, kun taas koehenkilöllä 3 (kokenut) oli putkiäännössä veteen nähtävissä suurin kaventuminen kurkunpään ääntöväylässä, ja samalla myös CQ pieneni. Tämä voisi viitata siihen, että opiskelija käytti glottaalista kompensatiota (adduktion lisääminen) ja kokenut harjoittelija taas ääntöväyläkompensoitiota (epilaryngaalialueen kaventaminen) reaktiona kasvaneelle väyläresistanssille.

CQ:n kasvaminen putkiääntöjen aikana voi olla seurausta lisääntyneestä ilmanpaineesta keuhkoissa. Kasvanut ääntöväylän resistanssi vaatii suuremman ääniraon alaisen ilmanpaineen (esim. Titze ym. 2002), ja se voi mekaanisesti tuottaa suuremman CQ:n. Toisaalta äänihuulia voidaan myös aktiivisesti lähentää tiiviimmin, jotta äänihuulivärähtely jatkuisi ja jotta ääntö ei hiljenisi kovin paljon ja värähtelytuntemukset kasvoilla heikkenisi tai lakkaisi.

Äänihuulten kontaktiajan kasvu voi toisaalta olla myös merkki äänihuulien muodon muuttumisesta putkiäännön aikana enemmän neliskulmaista muistuttavaksi. Laukkanen ym. tulokset (2008) TA/CT-suhteen kasvusta ääntöväylän impedanssin kasvaessa viittaavat myös siihen, että äänihuulten muodossa tapahtuisi muutos neliskulmaiseen päin. Tällainen äänihuulten muoto pidentää

äänirakoa pystysuunnassa, laskee ääntökynnystä ja auttaa ylläpitämään äänihuulten värähtelyä (ks. Titze, 2006). Myös kurkunpään ääntöväylän kaventumisesta aiheutuva ääntöväylän reaktanssin kasvu voisi mekaanisesti laskea ääntökynnystä ja edistää äänihuulivärähtelyä, mikä puolestaan voisi nostaa CQ:ta (ks. Titze, 2004; Titze & Story, 1997).

Veteen äännettäessä EGG-signaalin amplitudissa oli havaittavissa huojuntaa. Tämä johtuu siitä, että veden pulpahtelun vuoksi ääntöväylän ilmanpaine vaihtelee (ks. Radolf ym. 2014). Tämä paineen vaihtelu puolestaan vaikuttaa ääniraon sisäiseen ilmanpaineeseen. Sitä heijastaa EGG-signaalin aaltomuodon ja CQ:n vaihtelu. Ääniraon sisäisen ilmanpaineen kasvaessa CQ pienenee. Samansuuntaisia tuloksia ovat raportoineet myös Enflo ym. (2013). Tämä veden pulpahtelun vaikutus ääniraon sisäiseen paineeseen selittänee sen, että CQ:n kasvu oli hieman pienempää veteen kuin ilmaan äännettäessä.

5 PÄÄTELMÄT

Saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että ääniharjoituksen vaikutus riippuu harjoittelijan kokeneisuudesta harjoituksen teossa. Resonaattoriputkiharjoittelussa suuremman ilmavirtausvastuksen tarjoava veteen ääntäminen näyttää kaventavan kurkunpään ääntöväylää enemmän kuin ääntö putken kautta ilmaan. Veteen ääntö tuotti suuremman vaikutuksen myös kokemattomammilla harjoittelijoilla, joten vesivastuksen käyttö näyttää perustellulta ääniharjoittelun alkuvaiheessa myös terveäänisillä henkilöillä. Ääntö resonanssипutkeen ilmassa voi toimia harjoituksena, jolla helpotetaan vesivastusharjoittelussa opitun siirtämistä puheeseen.

6 LÄHTEET

- Amarante Andrade, P., Wistbacka, G., Larsson, H., Södersten, M., Hammarberg, B., Simberg, S., Švec, J. G. & Granqvist, S. (2015). The Flow and Pressure Relationships in Different Tubes Commonly Used for Semi-occluded Vocal Tract Exercises. *Journal of Voice in press*.
- Enflo, L., Sundberg, J., Romedahl, C. & McAllister, A. (2013). Effects on vocal fold collision and phonation threshold pressure of resonance tube phonation with tube end in water. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 5, 1530–1538.
- Gaskill, C. & Erickson, M. (2010). The effect of an artificially lengthened vocal tract on estimated glottal contact quotient in untrained male voices. *Journal of Voice*, 24, 57–71.
- Gaskill, C. & Quinney, D. (2012). The effect of resonance tubes on glottal contact quotient with and without task instruction: A comparison of trained and untrained voices. *Journal of Voice*, 26, e79–e93.
- Granqvist, S., Simberg, S., Hertegård, S., Holmqvist, S., Larsson, H., Lindestad, P.-Å., Södersten, M. & Hammarberg, B. (2014). Resonance tube phonation in water: High-speed imaging, electroglottographic and oral pressure observations of vocal fold vibrations – a pilot study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 28, 1–9.
- Guzman, M., Castro, C., Testart, A., Muñoz, D. & Gerhard, J. (2013a). Laryngeal and Pharyngeal Activity During Semioccluded Vocal Tract Postures in Subjects Diagnosed With Hyperfunctional Dysphonia. *Journal of Voice*, 6, 709–716.
- Guzman, M., Laukkanen, A.-M., Krupa, P., Horáček, J., Švec, J. G. & Geneid, A. (2013b). Vocal Tract and Glottal Function During and After Vocal Exercising with Resonance Tube and Straw. *Journal of Voice*, 4, 523.e19–523.e34.
- Horáček, J., Radolf, V., Bula, V. & Laukkanen, A.-M. (2014). Air-pressure, vocal folds vibration and acoustic characteristics of phonation during vocal exercising. Part 2: Measurement on a physical model. *Engineering Mechanics*, 21, 193–200.

- Kankare, E., Laukkanen, A-M., Ilomäki, I., Miettinen, A. & Pylkkänen, T. (2012). Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37, 127–132.
- Laukkanen, A-M. (1992). About the so called “resonance tubes” used in Finnish voice training practice. An electroglottographic and acoustic investigation on the effects of this method on the voice quality of subjects with normal voice. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatrics*, 17, 151–161.
- Laukkanen, A-M., Horáček, J. & Havlik R. (2012a). Case-study magnetic resonance imaging and acoustic investigation of the effects of vocal warm-up on two voice professionals. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 2, 75–82.
- Laukkanen, A-M., Horáček, J., Krupa, P. & Švec, J. G. (2012b). The effect of phonation into a straw on the vocal tract adjustments and formant frequencies. A preliminary MRI study on a single subject completed with acoustic results. *Journal of Biomedical Signal Processing and Control*, 7, 50–57.
- Laukkanen, A-M., Pulakka, H., Alku, P., Vilkman, E., Hertegård, S., Lindestad, P-Å., Larsson, H. & Granqvist, S. (2007). High-speed registration of phonation-related glottal area variation during artificial lengthening of the vocal tract. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 32, 157–164.
- Laukkanen, A-M., Titze, I.R., Hoffman, H. & Finnegan, E. (2008). Effects of a semioccluded vocal tract on laryngeal muscle activity and glottal adduction in a single female subject. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 60, 298–311.
- Leino, T. (1994). Long-term average spectrum study on speaking voic quality in male actors. Teoksessa: A. Friberg, J. Iwarsson, E. Jansson & J. Sundberg (toim.) *SMAC93, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, July 28-August 1, 1993* (s. 206–210). Stockholm: The Royal Swedish Academy of Music.
- Leino, T., Laukkanen, A-M. & Radolf, V. (2011). Formation of the Actor’s/Speaker’s Formant: A Study Applying Spectrum Analysis and Computer Modeling. *Journal of Voice*, 2, 150–158.
- Radolf, V., Horáček, J., Bula, V. & Laukkanen, A-M. (2014). Air-pressure characteristics and visualization of bubbling effect in water resistance therapy. Teoksessa: V. Fuis (toim.) *Proceedings of the 20th International Conference Engineering Mechanics 2014*, (s. 528–531). Brno: Brno University of Technology.
- Radolf, V., Laukkanen, A-M., Horáček, J. & Liu, D. (2014). Air-pressure, vocal fold vibration and acoustic characteristics of phonation during vocal exercising. Part 1: Measurement in vivo. *Engineering Mechanics*, 21, 53–59.
- Simberg, S. & Laine, A. (2007). The resonance tube method in voice therapy: Description and practical implementations. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 32, 165–170.
- Sovijärvi, A. (1969). Nya metoder vid behandling av röstrubbningar. *Nordisk Tidskrift for Tale og Stemme*, 3, 121–131.
- Story, B., Laukkanen, A-M. & Titze, I.R. (2000). Acoustic impedance of an artificially lengthened and constricted vocal tract. *Journal of Voice*, 14, 455–469.
- Sundberg, J. (1974). Articulatory interpretation of the “singing formant.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, 838–844.
- Titze, I.R. (2001). Acoustic interpretation of resonant voice. *Journal of Voice*, 4, 519–528.
- Titze, I.R. (2004). A theoretical study of F0-F1 interaction with application to resonant speaking and singing voice. *Journal of Voice*, 18, 292–298.
- Titze, I.R. (2006). Voice training and therapy with a semi-occluded vocal tract: rationale and scientific underpinnings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49, 448–459.
- Titze, I.R., Finnegan, E., Laukkanen, A-M. & Jaiswal, S. (2002). Raising lung pressure and pitch in vocal warm-ups: the use of flow-resistant straws. *Journal of Singing*, 58, 329–338.
- Titze, I.R. & Story, B. (1997). Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101, 2234–2243.
- Traser, L., Burdumy, M., Richter, B., Vicar, M. & Echternach, M. (2013). The Effect of Supine and Upright Position on Vocal Tract Configurations During Singing – A Comparative Study in Professional Tenors. *Journal of Voice*, 27, 141–148.
- Vampola, T., Laukkanen, A-M., Horáček, J. & Švec, J. G. (2011). Vocal tract changes caused by phonation into a tube: A case study using computer tomography and finite-element modeling.

Journal of the Acoustical Society of America, 129, 310–315.

Voce Vista: <http://www.vocevista.com/technology.html>. Viitattu 9.2.2015.

Yanagisawa, E., Estill, J., Kmucha, S. & Leder, S. (1989). The contribution of aryepiglottic constriction to “ringing” voice quality—a videolarngoscopic study with acoustic analysis. *Journal of Voice*, 3, 342–350.

Tämä artikkeli on tehty kirjoittajan pro gradu-työn pohjalta. Peltokoski J. (2013). Resonanssiputkeen ääntämisen vaikutus kurkunpään ääntöväylän suhteelliseen pinta-alaan ja äänihuulten kontaktiasteeseen. Tampereen yliopisto. Kasvatustieteiden yksikkö. Pro gradu.

RESONANCE TUBE IN AIR AND IN WATER

Joanna Peltokoski, University of Tampere

Jaana Tyrmi, University of Tampere

Elina Kankare, University of Tampere

Irma Ilomäki, University of Tampere

Anne-Maria Laukkanen, University of Tampere

Ahmed Geneid, Helsinki University Hospital, University of Helsinki

This study investigated the epilaryngeal area and vocal fold contact in a vocal exercise, resonance tube voicing, compared to vowel phonation.

Seven female participants (4 with more experience in tube voicing) phonated on a vowel and into a resonance tube with the outer end in the air. Thereafter they phonated on a vowel and into the tube submerged 2 cm in water. Nasofiberoptic video and electroglottograph (EGG) signal were recorded. The epilaryngeal output area, i.e. the space between epiglottis, aryepiglottic folds and arytenoids, was measured from the video. Contact quotient (CQ) was measured from the EGG-signals.

The epilaryngeal area diminished in average 21 % with the tube in air and 65 % in water. CQ increased in most cases both when the tube was in air and when it was in water. The effect on epilaryngeal space was stronger when the tube was in water, and for subjects with more experience in the exercise.

Keywords: epilaryngeal narrowing, vocal fold contact, voice training and therapy, water resistance therapy

