

ALANIELUN JA KURKUNPÄÄN ÄÄNTÖVÄYLÄN PINTA-ALOJEN SUHDE ÄÄNIHARJOITUKSISSA JA VOKAALEISSA. TAPAUSTUTKIMUS MAGNEETTIRESONANSSIKUVAUKSEN AVULLA.

Jaana Tyrmi, Puheen- ja äänen tutkimuksen laboratorio,
Tampereen yliopisto

Jaromír Horáček, Termomekaniikan instituutti,
Tsekin tiedeakatemia, Praha

Petr Krupa, Pyhän Annan yliopistosairaala,
Masarykin yliopisto, Brno, Tsekin tasavalta

Radan Havlík, AUDIO–Fon -keskus, Brno, Tsekin tasavalta

Anne-Maria Laukkanen, Puheen- ja äänen tutkimuksen
laboratorio, Tampereen yliopisto

Puolisulkuäänteitä ja putkiin ääntämistä käytetään laajasti äänen harjoittamisessa ja terapiassa. Nämä harjoitukset lisäävät ääntöväylän virtausvastusta. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että [a]-vokaaliin verrattuna putkeen ääntäminen kasvattaa ääntöväylän tilavuutta ja alanielun (hypofarynksin, hf) sisäänmenoaukon pinta-alan suhdetta kurkunpään ääntöväylän (epilaryngaaliputken, e) ulostuloaukon pinta-alaan (A_{hf}/A_e). Suurella (≥ 6) A_{hf}/A_e -suhteella on todettu olevan positiivisia vaikutuksia äänentuottoon ja -laatuun.

Tässä tutkimuksessa mitattiin magneettiresonanssikuvauksen avulla A_{hf}/A_e -suhde ja kurkunpään vertikaaliasema kaikissa suomen kielen vokaaleissa ja kolmessa puolisulkuharjoituksessa: kahdella tavalla tuotettu [m:], bilabiaalinen frikatiivi [β:] ja mehupilliin ääntäminen. Koehenkilö oli naispuolinen puhetekniikan opettaja.

Tulosten mukaan nielu oli ääniharjoituksissa useimmiten väljempi ja A_{hf}/A_e -suhde maksimissaan 63 % suurempi kuin vokaaleissa, poikkeuksena [i:], jossa suhde oli kaikkein suurin (7,3). [β:] tuotti harjoituksista suurimman A_{hf}/A_e -suhteen (myös 7,3). Ääniharjoituksista vain kieli alhaalla tuotettu [m] laski kurkunpäättä.

Tulokset viittaavat siihen, että eniten ääntöväyläimpedanssia kasvattavat puolisulkuharjoitukset tuottavat suurimman A_{hf}/A_e -suhteen, ja että suppeat vokaalit voivat toimia ääniharjoituksina. Kieli ja kurkunpää alennettuna tuotetussa [m]-harjoituksessa A_{hf}/A_e -suhde oli suurempi kuin kielen etuosa kohotettuna tuotetussa. Tästä syystä edellä mainittu harjoitusvariantti vaikuttaa paremmalta.

Avainsanat: puolisulkuharjoitteet, putkeen ääntäminen, ääniterapia

1 JOHDANTO

Puolisulkuäänteitä (ns. semiokluusioäänteitä) kuten soinnilliset frikatiivit, nasaalit, huulija kielitäryt sekä erilaisiin putkiin ääntämistä (resonanssiputket tai pillit) käytetään varsin laajasti äänen harjoittamisessa ja terapiassa (Laukkanen, 1995; Laukkanen, Titze, Hoffman & Finnegan, 2008; Bele, 2005; Simberg, Sala, Tuomainen, Sellman & Rönnemaa, 2006; Paes, Zambon, Yamasaki, Simberg & Behlau, 2013; Guzman, Castro, Testart, Munoz & Gerhard, 2013a). Puolisulkuharjoitteissa tuotetaan ääntöväylään ahtauma ja/tai sitä pidennetään keinotekoisesti putken tai pillin avulla. Ilmavirtaus ääntöväylästä hidastuu ja väylän ilmanpaine kasvaa. Nasaliäänteen puolisulku toteutuu sieraimissa, putkiin ääntämisessä sen tuottaa huulion jatkumona oleva putki, ja esimerkiksi bilabiaalisessa frikatiivissa se toteutuu huuliossa. Väylän virtausvastus ja siten suupaine on suuri niissä harjoitteissa, joissa ääntöväylän ahtauma on kapea tai joissa äännetään pitkään putkeen tai ahtaaseen pilliin. Vokaaliäännössä suupaine on pieni. Esimerkiksi Horáček, Radolf, Bula, Vesely & Laukkanen (2012) raportoivat, että vokaaleissa [a, i] suupaine oli naiskoehenkilöllä habituaalisella puhevoimakkuudella äännettäessä 0 Pa, ja vokaalissa [u:] 30 Pa. Sitä vastoin suhteellisen väljään (sisäläpimitta 5,8 mm) mehupilliin äännettäessä se oli 132 Pa ja kapeampaan (sisäläpimitta 2,5 mm) pilliin äännettäessä 571 Pa. Baken ja Orlikoff (2000) summaavat eri lähteistä saatuja tuloksia äänneiden suupaineista. Naiskoehenkilöiden keskiarvo suupaineelle nasaalissa [m] on 59 Pa, [v]:ssä 428 Pa ja soinnillisessa frikatiivissa [z] 512 Pa.

Aikaisempien magneettiresonanssi- ja tietokonekerroskuvaustutkimusten mukaan putkeen ääntäminen kasvattaa ääntöväylän sagittaalista pinta-alaa ja tilavuutta. Lisäksi alanielun sisään-menoaukon ja kurkunpään

ääntöväylän (epilaryngeal tube, alue äänihuulista kurkunpään eteisonteloon eli vestibulaan) suuaukon välinen suhde (A_{hf}/A_e) näyttää suurenevan erityisesti vokaalissa harjoituksen jälkeen verrattuna ennen sitä tuotettuun vokaaliääntöön (Vampola, Laukkanen, Horáček & Švec, 2011; Laukkanen, Horáček, Krupa & Švec, 2012; Guzman, Laukkanen, Krupa, Horáček, Švec & Geneid, 2013b). A_{hf}/A_e -suhteen kasvu selittää FE-mallintamiseen pohjautuvan simulaation avulla todetun lisääntyneen laajakaistaisen reaktanssin, kohonneen äänenpainetasen (SPL) ja korkeampien formanttien klusteroitumisen, joka oli havaittavissa vokaaleissa harjoituksen jälkeen (Vampola ym., 2011). Simulaatiotulokset olivat yhdenmukaisia akustisten tulosten kanssa, ja osoittivat ns. puhujan formanttiklusterin muodostumisen. (Leino, 1994; Laukkanen, Radolf, Horáček & Leino, 2009; Leino, Laukkanen & Radolf, 2011; Nawka, Anders, Cebulla & Zurkowski, 1997). Ilmiönä se muistuttaa laulajan formanttiklusteria (Sundberg, 1974). Saadut tulokset kasvaneen A_{hf}/A_e -suhteen akustisista vaikutuksista ovat sopusoinnussa fysikaalisilla (Sundberg, 1974) ja matemaattisilla malleilla (Titze & Story, 1997) saatujen tulosten kanssa. Positiivisen reaktanssin tiedetään auttavan äänihuulivärähtelyä (Titze & Story, 1997). Kohonnut SPL ja puhujan/laulajan formanttiklusteri lisäävät äänen kuuluvuutta. Kun nämä muutokset saadaan aikaan pelkästään muuttamalla ääntöväyläasetusta, se merkitsee huomattavaa äänentuoton taloudellisuuden ja tehokkuuden lisääntymistä.

Minkä tähden putkeen ääntäminen sitten muuttaisi ääntöväyläasetusta? Putkeen ääntämisessä huulet ovat pyöristettyinä, ja se voi vaikuttaa kielen asemaan suussa. Vampolan ym. (2011) ja Laukkanen ym. (2012) tulosten mukaan kieli omaksui resonanssiputkeen ja mehupilliin äännettäessä [u:]-vokaalille tyypillisen asennon, ja jäi korkeammalle ja

etisemmäksi [a:]-vokaalissa putkeen ääntämisen jälkeen. Storyn, Titzen ja Hoffmanin (1996) magneettiresonanssi (MR-) -tulokuvien perusteella on laskettavissa, että myös äänellisesti kouluttamattomalla yhdysvaltalaisella puhujalla A_{hf}/A_e -suhde oli suppeissa vokaaleissa suurempi kuin muissa vokaaleissa. Semiokluusio voi myös laskea kurkunpäästä (Sovijärvi, 1969; Guzman ym. 2013a ja b). Se voi olla mekaaninen seuraus ääntöväylän kohonneesta ilmanpaineesta. Toisaalta se voi myös liittyä hengityksen syvenemiseen (tracheal pull, ks. Zenker & Glaninger, 1959). Kurkunpään lasku puolestaan myöskin kasvattaa A_{hf}/A_e -suhdetta (Sundberg, 1974).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin magneettiresonanssikuvauksen avulla A_{hf}/A_e -suhdetta ja kurkunpään korkeutta kaikissa suomen kielen vokaaleissa ja kolmessa semiokluusioharjoituksessa: nasaaliharjoitus [m:] -äänteellä, bilabiaalinen frikatiivi [β:] ja mehupilliin ääntäminen. Tavoitteena oli selvittää, onko A_{hf}/A_e -suhde harjoituksissa suurempi ja kurkunpää alempana kuin vokaaleissa ja miten eri harjoitukset suhtautuvat toisiinsa A_{hf}/A_e -suhteen ja kurkunpään korkeuden kannalta.

2 MATERIAALI JA MENETELMÄ

2.1 Koehenkilö ja tehtävät

Koehenkilönä oli naispuolinen puhetekniikan opettaja (50 vuotta). Hän tuotti kaikki suomen kielen vokaalit ja kolme erilaista semiokluusioharjoitusta, jotka olivat soinnillinen bilabiaalinen frikatiivi [β:], bilabiaalinen nasaalikonsonantti [m:] ja mehupilliin ääntäminen. Nasaaliäänne tuotettiin kahdella eri tavalla: Ensimmäisessä versiossa pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman voimakkaita värähtelytuntemuksia huulissa, ja kieltä pidettiin kiinni alatuhampaissa. Toisessa versiossa tavoiteltiin värähtelytuntemuksia huulien lisäksi myös kitakuvun alueella sekä

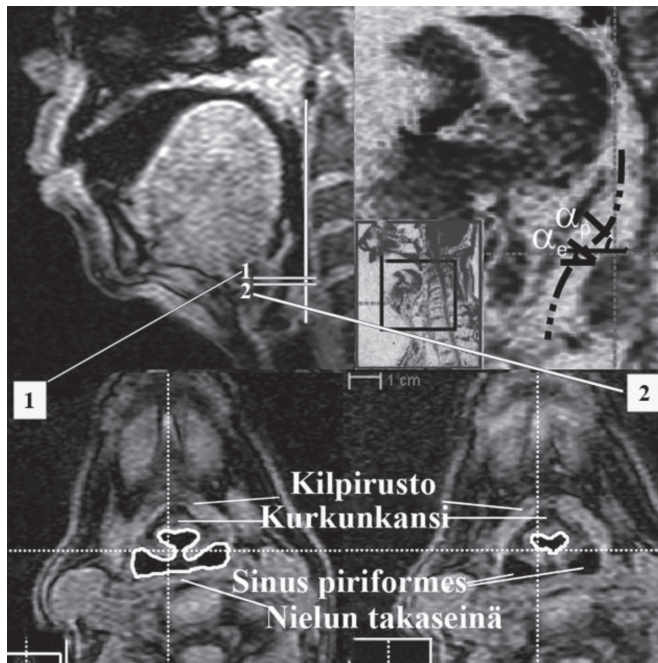
nenässä, poskissa ja otsassa, ja kieli lepäsi suun pohjalla. Bilabiaalinen frikatiivi [β:] tuotettiin huulet tiiviisti mutta vaivattomasti yhdessä, ja värähtelytuntemuksia tavoiteltiin huulios-sa. Pilliin ääntämisessä käytettiin 15 cm:n pituista muovista mehupilliä, jonka sisäläpimitta oli 5 mm. Myös pilliin ääntämisen aikana tavoiteltiin mahdollisimman voimakkaita värähtelytuntemuksia huulissa ja kasvojen etuosassa. Koehenkilö makasi selällään MR-kuvauslaitteessa (Symphony Magnetom, Siemens) ja tuotti jokaista ääntöä vähintään 20 sekunnin ajan. Magneettikentän voimakkuus oli 1.5 teslaa. Kaikupulssien lähetystaajuus oli 5,49 sekuntia ja kaikuaika 2,88 sekuntia. Kuvantamisaika oli 20,7 sekuntia. MR-kuvien koko oli 236 x 270 mm², ja viipaalepaksuus oli 1,5 mm. Sagittaalisia kuvia oli 44 kappaletta, ja niiden resoluutio oli 512 x 448 pikseliä. Näitä kuva-asetuksia käytettiin, koska aikaisempien tutkimusten perusteella tiedettiin niiden tuottavan parhaimman kuvalaadun tutkimuksessa käytetyllä laitteella (Vampola, Horáček & Švec, 2008).

2.2 MR- kuvien analysoiminen

Kuvasta 1 voidaan nähdä, kuinka transverssaalisista MR- kuvista mitattiin alanielun sisäänmenoaukon ja kurkunpään ääntöväylän suuaukon poikkipinta-alat (A_{hf} ja A_e). Kurkunpään ääntöväylän suuaukon etuseinä on kurkunkannen (epiglottis) alaosa, sivuseinän muodostavat kurkunkansipoinmut (plica aryepiglottica), ja takaseinän muodostavat kannurustot ja niiden päällä olevat sarvirustot. Alanielun suuaukolla tarkoitetaan kohtaa, jossa kurkunpään ääntöväylä sulautuu nieluun. Se mitattiin noin 3 mm kurkunpään ääntöväylän suuaukon yläpuolelta. Lisäksi sagittaalikuvista mitattiin myös kurkunpään korkeus, joka määriteltiin etäisyytenä Atlasnikaman etukulman alareunasta äänihuulten takaosaan. Mittauksissa käytettiin Syngo-

FastView- ja ImageJ 1.42q -ohjelmia. Tutkimuksessa käytetyillä MR-kuvausasetuksilla voidaan arvioida saavutettavan n. 0.5 mm:n tarkkuus ilman ja kudosten rajapinnan erotelussa. Suurin epätarkkuus on pienimmällä mittausalueella, eli tässä tapauksessa kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-alassa A_e . Pinta-alamittauksessa pyrittiin ottamaan huomioon myös ääntöväylän kallistuskulma suhteuttamalla pinta-alojen raakatulokset ääntöväylän sagittaalikuviin piirrettyyn keskiviivaan (ks. Kuva 1). Mittauskohtiin piir-

rettiin ääntöväylän keskiviivalle kohtisuorat. Näiden viivojen (keskiviivan ja kohtisuorien) välisten kulmien asteluvuista saatiin korjauskertoimet, joilla mitatut pinta-alojen raakatulokset kerrottiin. Kaksi mittaajaa mittasi kaikki pinta-alat kolmeen kertaan. Mittaajien (em. tavalla korjattujen) tulostensa pohjalta laskettiin virhemarginaali (mittausten keskiarvo +/- keskihajonta) sekä interrater ja intrarater reliability (Spearmanin korrelaatioanalyysi SPSS-18-ohjelmalla).



Kuva 1. MR-kuvien analysoiminen. Pystyviiva sagittaalikuvassa ylhäällä vasemmalla havainnollistaa, miten kurkunpään korkeus mitattiin välimatkasta Atlas-nikaman etukulman alareunasta äänihuulten takaosaan. Poikkiviivat samassa kuvassa osoittavat kohdat, joista otettiin transversaalikuvat (alla). Alanielun sisäänmenoaukon pinta-ala (A_{hf} , 1) mitattiin kohdasta, jossa epilaryngaaliputki sulautuu nieluonteloon. Tämä kohta on muutama mm ylempänä kuin kurkunpään ääntöväylän suuaukko (A_e , 2). Sagittaalikuva ylhäällä oikealla havainnollistaa, miten kurkunpään kallistuskulma otettiin huomioon pinta-alamittauksessa. Ääntöväylän sagittaalikuvaan piirrettiin keskiviiva ja sitä vasten kohtisuorat, alempi kurkunpään ääntöväylän suuaukon kohdalle ja toinen aivan sen yläpuolelle, alanielun sisäänmenoaukon kohdalle. Keskiviivan ja kohtisuorien välisten kulmien asteluvuista a ja p saatiin korjauskertoimet, joilla A_e ja A_{hf} kerrottiin.

3 TULOKSET

Mittaajien tulosten välinen yhtäpitävyys (Spearman's rho) oli A_{hf} :lle r 0.94 ($p < 0.001$) ja A_c :lle r 0.87 ($p < 0.001$). Kahden mittajaan toistomittausten yhtäpitävyys oli A_{hf} :lle r 0.88 ja 0.99 ($p < 0.001$) ja A_c :lle r 0.77 ja 0.85 ($p < 0.001$). Mittauksen luotettavuutta voidaan siis pitää hyvänä. Mittaustulokset näkyvät Taulukossa 1.

A_{hf} erosi useimmissa tapauksissa selvästi vokaalien kesken eli vokaaleista saatujen mittaustulosten virhemarginaalien välillä ei ollut päällekkäisyyttä. Niinikään harjoitukset erosivat vokaaleista sekä pääsääntöisesti myös toisistaan A_{hf} :n suhteen. Harjoituksista poikkeuksena seuraavat: pilliin ääntämisessä A_{hf} ei eronnut vokaaleista [e, i, oe] eikä [m]:n toinen versio eronnut [β:]:stä. Erojen suuruudet harjoitusten ja vokaalien välillä olivat seuraavanlaisia: Nasaalin toisessa variantissa A_{hf} oli n. 2–40% suurempi kuin vokaaleissa. Harjoituksessa [β:] A_{hf} oli 3–43% suurempi ja pilliin ääntämisessä vaihteli ollen enimmillään 11% pienempi tai 23% suurempi verrattuna vokaaleihin.

A_c :n mittaustuloksissa oli eri äänneiden välillä enemmän päällekkäisyyttä kuin A_{hf} :n mittaustuloksissa, johtuen todennäköisesti siitä, että pienemmän alueen mittaaminen on

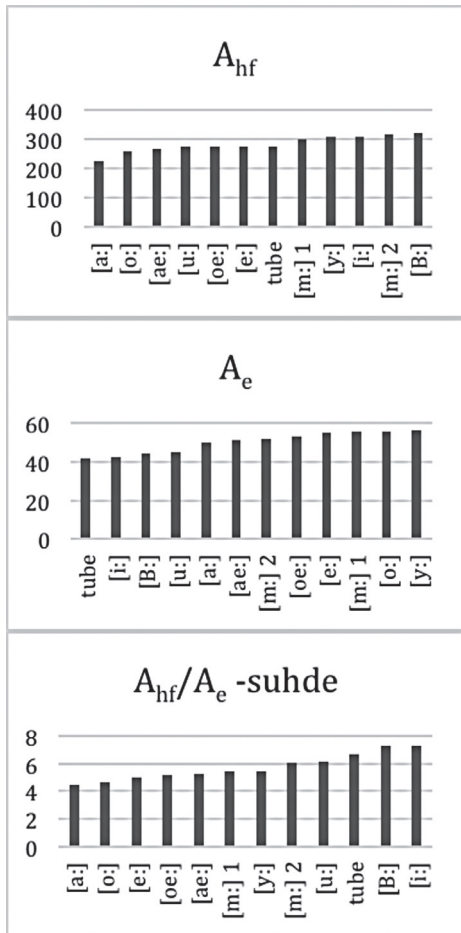
haastavampaa. Päällekkäisyyksiä oli erityisesti nasaalien ja vokaalien välillä sekä pilliin ääntämisen, [β:]:n ja [u]:n välillä.

A_{hf}/A_c -suhteessa oli useampia päällekkäisyyksiä vokaalien välillä ja myös seuraavissa tapauksissa vokaalien ja ääniharjoitusten välillä: [u] vs nasaalit ja pilliin ääntäminen, [e, i, y, ae, oe] vs nasaaliharjoitukset (molemmat tai vain toinen variantti) sekä [i] vs pilliin ääntäminen ja [β:]. Nasaalin toisessa variantissa A_{hf}/A_c -suhde oli enimmillään 35% suurempi verrattuna vokaaleihin, harjoituksessa [β:] 63% suurempi ja pilliin ääntämisessä 49% suurempi. Vokaalin [i:] A_{hf}/A_c -suhteen keskiarvo oli suurin 7,33. Se oli n. 20–64% suurempi kuin muiden vokaalien, ja 0,5–35,5% suurempi kuin semiokluusioharjoitusten A_{hf}/A_c -suhteiden keskiarvot.

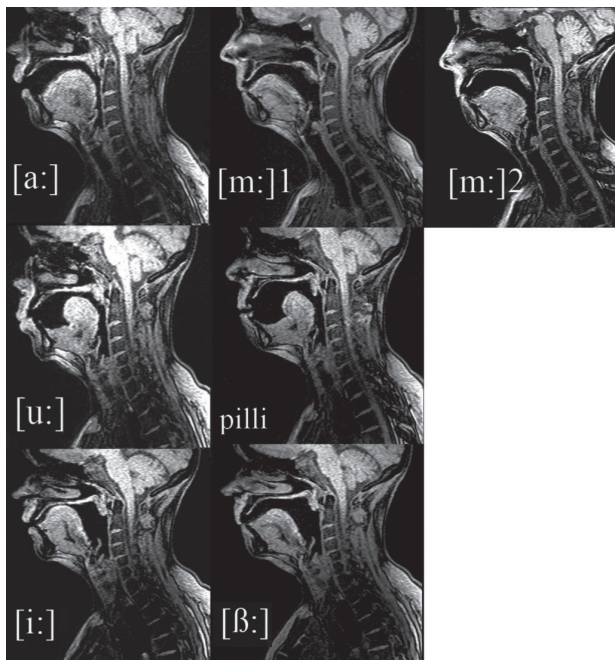
Kuva 2 havainnollistaa alanielun sisäänmenoaukon ja kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-alaa ja A_{hf}/A_c -suhdetta kaikissa tutkituissa näytteissä. Kuten voi odottaa alanielu oli selkeästi väljin etisissä ja suppeissa vokaaleissa. Kurkunpään ääntöväylä oli muita suppeampi pilliin ääntämisessä, [β:]:ssä ja suppeissa vokaaleissa [i:, u:]. A_{hf}/A_c -suhde oli pienin väljässä takavokaalissa [a] ja selvimmin muita suurempi pilliin ääntämisessä ja [β:]:ssä sekä [i:]:ssä.

Taulukko 1. Magneettiresonanssikuivista mitatut A_{hf} ja A_e suomenkielen vokaaleissa ja kolmessa ääniharjoituksessa: [m:] kahdella tavalla tuotettuna, bilabiaalinen frikatiivi [β:] ja mehupilliin ääntäminen. VLP = vertical laryngeal position, kurkunpään korkeus. Arvioitu virhemarginaali: keskiarvo +/- hajonta, joka saatu 2 mittauksen 3 kertaa suorittamista mittauksista.

	[a:]	[e:]	[i:]	[o:]	[u:]	[y:]	[ae:]	[oe:]	[m:] 1	[m:] 2	tube	[β:]
Alamiehu (ka)	224,41	273,84	309,64	257,13	273,03	306,33	266,49	273,04	300,68	314,72	275,51	320,35
Epilarynks (ka)	50,22	54,86	42,25	55,73	44,64	55,92	50,93	53,21	55,55	52,02	41,45	43,97
Ahf/Ae -suhde (ka)	4,47	4,99	7,33	4,61	6,12	5,48	5,23	5,13	5,41	6,05	6,65	7,29
Alamiehu (SD)	4,03	4,38	3,30	7,66	8,98	3,48	3,50	5,49	8,51	6,15	4,76	7,04
Epilarynks (SD)	3,62	3,06	1,30	4,39	2,37	0,56	2,50	1,77	3,12	2,16	2,20	3,11
Ahf/Ae -suhde (SD)	0,32	0,23	1,09	0,35	0,72	0,42	0,39	0,23	0,37	0,29	0,33	0,40
Arvioitu virhemarginaali												
Alamiehu	220,78-228,04	270,04-277,65	306,54-312,74	250,01-264,26	264,59-281,47	302,99-309,66	263,22-269,77	267,62-278,45	292,43-308,94	308,76-320,69	271,04-279,99	313,87-326,83
Epilarynks	46,92-53,51	52,29-57,43	41,06-43,44	51,56-59,90	42,36-46,91	55,38-56,46	48,58-53,27	51,50-54,91	52,50-58,61	49,86-54,18	39,36-43,54	41,13-46,80
Ahf/Ae -suhde	4,16-4,78	4,75-5,23	6,14-8,52	4,27-4,96	5,37-6,86	5,05-5,91	4,84-5,62	4,89-5,37	5,04-5,78	5,77-6,34	6,32-6,97	6,88-7,69
VLP (cm)	7,7	7,3	7,3	7,6	7,4	7,7	7,5	7,5	7,1	8,3	7,5	7,4



Kuva 2. Histogrammeissa näkyvät alanielun sisäänmenoaukon ja kurkunpään ääntöväylän suuaukon pinta-aloista sekä niiden välisistä suhteista saadut keskiarvot pienimmästä suurimpaan järjestettynä.



Kuva 3. Sagittaaliset magneettiresonanssikuvat tutkituista semioklusionharjoitteista sekä ääri vokaaleista [a:], [u:] ja [i:].

Kuvassa 3 näkyvät sagittaaliset MR-kuvat tutkituista semiokluusioista sekä ääri-vokaaleista [a:], [u:] ja [i:]. [β:]:ssä kielen asetus ei ollut aivan yhtä etinen ja suppea kuin [i]:ssä eikä pilliin ääntämisessä yhtä suppea eikä etinen kuin [u]:ssa. Kurkunpää oli alim-pana nasaaliharjoituksen toisessa variantissa, jossa kieli lepäsi suun pohjalla (ks. Taulukko 1 ja Kuva 3). Siinä myöskin A_{hf}/A_e -suhde oli selvästi suurempi kuin nasaalin variantissa, jossa kieli oli kiinni alahampaissa. Muutoin kurkunpään korkeuden erot harjoitteiden ja vokaalien välillä olivat pienet.

4 POHDINTA

Saatujen tulosten mukaan A_{hf}/A_e oli suuri suppeassa etuvokaalissa [i] kuten myös harjoituksissa [β:] ja pilliin ääntäminen, jotka lisäävät virtausvastusta enemmän kuin nasaali, sekä [u]:ssa, joka on paitsi suppea myös pyöreä vokaali, jossa huulio muodostaa eräänlaisen putken ääntöväylän jatkeeksi. Niinikään A_{hf}/A_e oli suurempi nasaaliharjoituksen toisessa variantissa, jossa kurkunpää laski. Näyttää siis siltä, että A_{hf}/A_e -suhteeseen vaikuttaa sekä kielen asema, ääntöväylästä määrää että kurkunpään korkeus.

Suppeat, etiset vokaalit kasvattavat A_{hf}/A_e -suhdetta aivan ilmeisesti, koska nielu väljenee. Vastaavaa on MR-kuvien perusteella havaittavissa esimerkiksi myös äänellisesti kouluttamattomalla yhdysvaltalaisella miespuhujalla (Story ym., 1996). Niinikään näyttäisi myös siltä, että ainakin tämän tutkimuksen äänellisesti koulutetulla koehenkilöllä suppeisiin vokaaleihin liittyy aktiivista kompensoivaa kurkunkansi-kannurusto -lihaksen aktiviteettia, joka supistaa kurkunpään ääntöväylää. Kurkunkannen keskiosan taipuminen taaksepäin mm. [i]:ssä (ks Kuva 3) viittaa tällaiseen aktiiviseen kurkunpään ääntöväylän kaventamiseen. On todennäköistä, että ääntöväylän suurempi ilmanpaine [β:]:ssä ja pilliin

ääntämisessä kasvattaa nielua ja kurkunpään ääntöväylää, ja että kurkunpään ääntöväylää tällöin myös aletaan aktiivisesti kaventaa, esimerkiksi jotta sillä tavoin saataisiin maksimoiduksi kasvojen värähtelytuntemukset semiokluusioharjoitusten aikana (Titze, 2006; Titze & Laukkanen, 2007). [β:]:ssä ja pilliin ääntämisessä kurkunkansi näyttäisi kallistuvan taaksepäin koko pituudeltaan. [m:]:n toisessa versiossa kurkunkannen keskiosassa näkyy samankaltaista taaksepäin taipumista kuin [i]:ssä. Kurkunpään lasku puolestaan kasvattaa A_{hf}/A_e -suhdetta pidentämällä ja kaventamalla kurkunpään ääntöväylää (Sundberg, 1974).

Se seikka, että kurkunpään laskua ei ollut havaittavissa muussa kuin nasaaliharjoituksen toisessa variantissa, voi selittyä sillä, että koehenkilöllä on käytössä avoimen nielun tekniikka, jossa suhteellisen suuren A_{hf}/A_e -suhteen aikaansaaminen tapahtuu erityisesti nielua väljentämällä, siis kielen asemaa muuttamalla (Titze, 2006). Tämä tekniikka saattaa olla erityisesti koulutettujen puhujien suosima, sillä sen avulla olisi mahdollista tuottaa ääneen kuuluvuutta ja kirkkautta lisäävä puhujan formanttiklusteri ilman äänenväriin liiallista laulunomaista tummentamista. Vastaavanlaisia tuloksia koulutetulla miespuhujalla saivat Leino ym. (2011), kun taas päinvastaisia tuloksia eli selkeä kurkunpään lasku ääniharjoitusten aikana ja/tai niiden jälkeen on todettu kahdella mieslaulajalla (Laukkanen ym. 2012, Guzman ym. 2013b).

Suuri A_{hf}/A_e -suhde [i]-vokaalissa näyttäisi viittaavan siihen, että suppea etuvokaali voisi olla käyttökelpoinen ääniharjoituksena. Puhe- ja laulopedagogiassa on toki käytettykin esim. vokaaleja [i,y], koska niiden avulla voidaan etsiä ääneen kirkasta sointia ja helppoa, resonaatioon pohjautuvaa kantavuutta. Tässä tutkimuksessa vokaaleissakin tavoitettu melko suuri A_{hf}/A_e -suhde samoin kuin jotkin päällekkäisyydet mitatuissa pinta-aloissa har-

joitusten ja vokaalien välillä saattavat osaltaan liittyä puutteisiin MR-kuvien resoluutiassa, ja osaltaan siihen, että koehenkilö oli puhetekniikan opettaja, joka todennäköisesti pyrkii maksimoimaan äänentuoton tehokkuuden ja taloudellisuuden äänneestä riippumatta.

Ääntöväylästä lisääviä ääniharjoituksia (kuten pilliin ääntäminen ja [β]) eivät suppeat vokaalit voi sinänsä korvata, sillä väylästä lisääminen nostaa ääntöväylän ilmanpainetta, mikä on omiaan lisäämään resonaatiotuntemuksia äänentuoton aikana ja auttamaan kohden ääntöbalanssia. Suuri ilmanpaine ääntöväylässä voi ohjata erityisesti harjoittelun alkuvaiheessa löytämään väylästä sopivan adduktion ja A_{hf}/A_e -suhteen. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset ovat pääosin sopusoinnussa mm. Guzmanin ym. (2013b) ja Peltokosken, Kankareen, Tyrmin, Ilomäen ja Laukkasen (tässä teemanumerossa) raporttoimien kanssa: Suurempi ääntöväylästä näyttää tuottavan suuremman A_{hf}/A_e -suhteen. Myös hyperfunktionaalista dysfoniasta kärsivillä potilailla on semiokluusioiden aikana todettu kurkunpään laskua, joka on sitä selvempi, mitä suuremman virtausvastuksen harjoite antaa (Guzman, ym. 2013a), ainakin mikäli ääntövoimakkuus on riittävän suuri. Myöskin Titze (2006) päätyi teoreettisessa tutkimuksessaan oletukseen, että harjoittelu kannattaa aloittaa suuren väylästä tarjoavilla harjoituksilla ja edetä vähitellen kohti pienempää väylästä. Samalla tavoin myös mm. Sovijärvi (1969) toteutti resonanssiputkiterapiaa: Terapian alussa potilaat äänsivät putkeen, jonka toinen pää oli vedessä, ja terapian edistyessä lopulta putken toista päätä pidettiin ilmassa..

KIITOKSET

Tämä tutkimus on saanut tukea seuraavilta tahoilta: The Grant Agency of the Czech Republic (project GACR 101/08/1155 Com-

puter and physical modeling of vibroacoustic properties of human vocal tract for optimization of voice quality), ja EU Cost 2103 Action 'Advanced Voice Function Assessment'.

LÄHTEET

- Baken, R., & Orlikoff, R. (2000). *Clinical measurement of speech and voice*. 2. painos. San Diego: Singular Publishing.
- Bele, I. (2005). Artificially lengthened and constricted vocal tract in vocal training methods. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30, 34–40.
- Guzman, M., Castro, C., Testart, A., Munoz, D. & Gerhard, J. (2013a). Laryngeal and pharyngeal activity during semioccluded vocal tract postures in subjects diagnosed with hyperfunctional dysphonia. *Journal of Voice*, 27(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*, 27(4), 523.e19–523.e34.
- Horáček, J., Radolf, V., Bula, V., Veselý, J. & Laukkanen, A.-M. (2012). Experimental investigation of air pressure and acoustic characteristics of human voice. Part 1: Measurement *in vivo*. Teoksessa J. Naprstek & C. Fischer (toim.), *Proceedings of the 18th International Conference Engineering Mechanics 2012*, Svratka, Czech Republic, 14–17 May 2012, (s. 403–417). Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics & Academy of Sciences of the Czech Republic.
- Laukkanen, A.-M. (1995). *On speaking voice exercises*. Acta Universitatis Tamperensis ser A, vol 445. Tampere: University of Tampere.
- Laukkanen, A.-M., Horáček, J., Krupa, P. & Švec, J.G. (2012). 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., Radolf, V., Horáček, J. & Leino, T. (2009). Estimation of the origin of a speaker's and singer's formant cluster using an optimization of 1D vocal tract model. Teoksessa JI. Godino Llorente, P. Gomez Vilda & R. Fraile (toim.), *Workshop AVFA'09: 3rd Advanced*

- Voice Function Assessment International Workshop*, 18th–20th May 2009, Madrid (Spain), (s. 1–4). Madrid: Cost 2103 & Universidad Politécnica de Madrid.
- Laukkanen, A-M., Titze, IR., Hoffman, H. & Finnegan, EM. (2008). Effects of a semi-occluded vocal tract on laryngeal muscle activity and glottal adduction in a single female subject. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 60(6), 298–311.
- Leino, T. (1994). Long-term average spectrum study on speaking voice quality in male actors. Teoksessa A. Friberg, J. Iwarsson, E. Jansson & J. Sundberg J (toim.), SMAC93, *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, July 28–August 1, 1993, Stockholm, (s. 206–210). Tukholma: 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*, 25(2), 150–158.
- Nawka, T., Anders, LC., Cebulla, M. & Zurawski, D. (1997). The speaker's formant in male voices. *Journal of Voice*, 11(4), 422–428.
- Paes, SM., Zambon, F., Yamasaki, R., Simberg, S. & Behlau, M. (2013). Immediate effects of the Finnish resonance tube method on behavioral dysphonia. *Journal of Voice*, 27(6), 717–722.
- Simberg, S., Sala, E., Tuomainen, J., Sellman, J. & Rönnemaa, A-M. (2006). The effectiveness of group therapy for students with mild voice disorders: A controlled clinical trial. *Journal of Voice*, 20, 97–109.
- Sovijärvi, A. (1969). Nya metoder vid behandling av röstrubbningar. *Nordisk Tidskrift för Tale og Stemme*, 3, 121–131.
- Story, BH., Titze, IR. & Hoffman, EA. (1996). Vocal tract area functions from magnetic resonance imaging. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(1), 537–554.
- Sundberg, J. (1974). Articulatory interpretation of the “singing formant”. *Journal of the Acoustical Society of America*, 55(4), 838–844.
- Titze, IR. (2006). Voice training and therapy with a semi-occluded vocal tract: Rationale and scientific underpinnings. *Journal of Speech Language Hearing Research*, 49, 448–459.
- Titze, IR. & Laukkanen, A-M. (2007). Can vocal economy in phonation be increased with an artificially lengthened vocal tract? A computer modeling study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 32(4), 147–156.
- Titze, IR. & Story, BH. (1997). Acoustic interactions of the voice source with the lower vocal tract. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101(4), 2234–2243.
- Vampola, T., Horáček, J. & Švec, JG. (2008). FE modeling of human vocal tract acoustic. Part I: Production of Czech vowels. *Acta Acoustica*, 94, 433–447.
- Vampola, T., Laukkanen, A-M., Horáček, J. & Švec, JG. (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(1), 310–315.
- Zenker, W., Glaninger, J. (1959). Die Stärke des Trachealzuges beim lebenden Menschen und seine Bedeutung für die Kehlkopfmechanik. *Z. Biol.*, 111, 154–166.

HYPOPHARYNX OVER THE EPILARYNX RATIO IN VOCAL EXERCISES AND VOWELS. AN MRI CASE STUDY.

Jaana Tyrmi, Speech and Voice Research Laboratory, University of Tampere

Jaromír Horáček, Institute of Thermomechanics, The Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague

Petr Krupa, St. Anne's Faculty Hospital, Masaryk University, Brno, Czech Republic

Radan Havlík, AUDIO – Fon Centr, Brno, Czech Republic

Anne-Maria Laukkanen, Speech and Voice Research Laboratory, University of Tampere

Semi-occlusions and phonation into tubes are widely used as vocal exercises. These exercises increase the vocal tract impedance. Recent studies show that phonation into tubes increases the vocal tract volume and the ratio of the pharyngeal inlet over the epilaryngeal outlet (A_{ph}/A_e), compared to [a:]. A high (> 6) A_{ph}/A_e ratio is supposed to have positive effects on phonation and voice quality.

Using magnetic resonance imaging, we investigated the A_{ph}/A_e ratio for vowels and for three semi-occlusion exercises: (1) [m:] produced in two ways, (2) [β:], and (3) phonation into a drinking straw. Vertical position of the larynx (VLP) was also measured. A female speech trainer served as subject.

Pharynx was in most cases wider and the A_{ph}/A_e up to 63 % larger for the exercises compared to vowels, except for [i:], where the ratio was highest (7.3). Of the exercises [β:] produced the highest A_{ph}/A_e (also 7.3). VLP descended only for [m:] produced with a low tongue position.

The results suggest that the highest A_{ph}/A_e ratio is achieved with the exercises that most increase the vocal tract impedance. Closed vowels also seem to be useful as vocal exercises. [m] with a low tongue and vertical laryngeal position gave a higher A_{ph}/A_e ratio than [m] with a higher frontal tongue position. The former variant, thus, is potentially more beneficial in vocal exercising.

Keywords: resonance tubes, semioclusion exercises, voice therapy

