

**TAMPEREEN YLIOPISTO**

Äänen lämmittelyn akustiset ja subjektiiviset vaikutukset  
tottuneilla ja tottumattomilla ääniharjoitusten tekijöillä

Kasvatustieteiden yksikkö

Puhetekniikka ja vokologia

Humanististen tieteiden pro gradu -tutkielma

MARJA SUURPALO

Huhtikuu 2016

Tampereen yliopisto

Kasvatustieteiden yksikkö, puhetekniikka ja vokologia

Marja Suurpalo: Äänen lämmittelyn akustiset ja subjektiiviset vaikutukset tottuneilla ja tottumattomilla ääniharjoitusten tekijöillä

Humanististen tieteiden pro gradu -tutkielma, 56 sivua, 3 liitesivua

Huhtikuu 2016

---

Äänen lämmittelyllä tarkoitetaan ennen ääntösuoritusta tehtäviä harjoituksia, joiden avulla tavoitellaan helposti ja vaivattomasti kulkevaa, laadullisesti hyvää ja käyttöä kestäväää ääntä. Tutkielmassa selvitetään, onko lämmittelijän aiemmalla äänenharjoittamiskokemuksella vaikutusta äänen lämmittelyn onnistumiseen.

Tutkimukseen osallistui 15 20–30-vuotiasta naista, joista viisi oli tottumattomia ja viisi tottuneita äänenharjoittajia. Viisi muodosti verrokkiryhmän. Osa verrokkiryhmään kuuluvista harjoitti ääntään säännöllisesti. Tutkimusaineisto koostui ennen 15 minuutin äänen lämmittelyä ja sen jälkeen äänitetyistä näytteistä sekä osallistujien tutkimuksen eri vaiheissa täyttämistä lomakkeista, joissa arvioitiin mm. äänen tuottamisen työläyttä. Verrokkiryhmällä äänen lämmittelyn korvasi 15 minuutin äänilepo.

Äänen lämmittelyn vaikutuksia mitattiin akustisin menetelmin. Ääninäytteistä mitattiin maksimiäänönkesto, hiljaisin ja korkein mahdollinen sävel, perturbaatiota mittaavat jitter ja shimmer sekä signaalin hälyn ja soinnillisen aineksen suhdetta kuvaava NHR. Kullekin osallistujalle laskettiin äänen laatua kuvaava arvo käyttäen Dysphonia Severity Indexiä, jonka on aiemmassa tutkimuksessa todettu olevan tarpeeksi herkkä mittari äänen pientenkin laadullisten muutosten kuvaamisessa. Mittaustuloksia verrattiin osallistujien itse arvioimaan äännön työläyteen.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että tottuneet äänenharjoittajat eivät onnistuneet äänen lämmittelyssä paremmin kuin tottumattomat äänenharjoittajat. Selkeimmin lämmittelyn myötä paranivat tottumattomilla äänenharjoittajilla shimmer- ja NHR-arvot ja tottuneilla äänenharjoittajilla jitter- ja NHR-arvot. Äännön työläyden tunnettiin kummassakin ryhmässä vähentyneen lämmittelyn seurauksena. Tilastollisesti merkitsevät erot havaittiin tottumattomilla äänenharjoittajilla shimmer-arvoissa ja kummassakin ryhmässä äännön työläydessä.

Yllättävää tuloksissa oli, että myös verrokkiryhmässä havaittiin äänen laadun parantuvan. Tämän voidaan arvella johtuvan pelkästä äänen käyttämisestä johtuvasta äänen lämpenemisestä. Muutokset olisivat tällöin seurausta äänitystehtävien suorittamisesta ja niiden jälkeisestä äänen lepuuttamisesta. Verrokkiryhmällä selkeimmät muutokset havaittiin jitter- ja shimmer-arvoissa. Äännön koetun työläyden ei havaittu vähenevän.

Lämmittelyn suorittaneiden ja verrokkiryhmän tulokset eroavat siis siinä, että ääntään lämmitelleillä paranivat NHR-arvot, ja he kokivat äänen tuottamisen helpottuvan. Tuloksien perusteella vaikuttaa siltä, että äänen lämmittelyn hyödyt perustuvat siihen, että puhetekniikkaa parantavat harjoitukset muuttavat ääniväylän impedanssia eli parantavat äänihuulten värähtelyolosuhteita. Tämän seurauksena äänen tuottaminen tuntuu helpommalta. Tulevaisuudessa äänen lämmittelyä voitaisiin tutkia arvioimalla äänen laadun paranemista kuuntelukokeen ja pitkäaikaiskeskiarvospektrin avulla.

Avainsanat: puhetekniikka, äänentuotto, äänielimet, resonanssi, Dysphonia Severity Index

# SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ÄÄNEN TUOTTAMINEN JA HARJOITTAMINEN</b> .....	<b>3</b>
2.1	ÄÄNIHUULTEN RAKENNE .....	3
2.2	ÄÄNEN TUOTTAMINEN JA SÄÄTELY .....	4
2.3	ÄÄNEN HARJOITTAMINEN .....	6
2.4	ÄÄNEN TUTKIMUSMENETELMIÄ.....	9
2.4.1	<i>Perustaajuus ja äänenpainetaso</i> .....	9
2.4.2	<i>Painemittaukset</i> .....	10
2.4.3	<i>Vaihtelua mittaavat muuttujat</i> .....	10
2.4.4	<i>Hälyä mittaavat muuttujat</i> .....	11
2.4.5	<i>Spektri</i> .....	11
2.4.6	<i>Dysphonia Severity Index</i> .....	12
2.4.7	<i>Itsearviointi</i> .....	13
<b>3</b>	<b>ÄÄNEN LÄMMITTELY JA SEN VAIKUTUKSET</b> .....	<b>14</b>
3.1	ÄÄNEN LÄMMITTELY .....	14
3.2	LÄMMITTELYN FYSIOLOGINEN PERUSTA .....	15
3.3	ÄÄNILÄMMITTELYN TUTKIMUSTA KYNNYSPAINEN AVULLA .....	16
3.4	AKUSTISTEN MITTAUSTEN ILMENTÄMÄT VAIKUTUKSET .....	20
3.5	YHTEENVETO AIEMMASTA TUTKIMUKSESTA .....	23
3.5.1	<i>Lämmittelijän kokemus</i> .....	24
3.5.2	<i>Lämmittelyn laajuus</i> .....	26
3.5.3	<i>Lämmittelijän ääniala ja sukupuoli</i> .....	26
3.5.4	<i>Lämmittelyn ajankohta</i> .....	27
<b>4</b>	<b>TUTKIMUSKYSYMYKSET</b> .....	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>TUTKIMUSASETELMAT</b> .....	<b>30</b>
5.1	KOEHENKILÖT.....	30
5.2	LÄMMITTELYOHJELMA .....	30
5.3	AINEISTO.....	31
5.3.1	<i>Äänitykset</i> .....	31
5.3.2	<i>Analyysit</i> .....	32
<b>6</b>	<b>TULOKSET</b> .....	<b>33</b>
6.1	TOTTUMATTOMAT ÄÄNENHARJOITTAJAT.....	38
6.2	TOTTUNEET ÄÄNENHARJOITTAJAT.....	38
6.3	TOTTUMATTOMAT JA TOTTUNEET ÄÄNENHARJOITTAJAT YHDESSÄ.....	38
6.4	VERROKKIRYHMÄ.....	39
<b>7</b>	<b>POHDINTA</b> .....	<b>40</b>
7.1	TULOSTEN ARVIOINTI.....	41
7.1.1	<i>Lämmittelyn vaikutukset äänentuottoelimistössä</i> .....	42
7.1.2	<i>Tottumattomien äänenharjoittajien tulosten arviointi</i> .....	44
7.1.3	<i>Tottuneiden äänenharjoittajien tulosten arviointi</i> .....	46
7.1.4	<i>Ääntään lämmitelleiden tulokset yhdessä tarkasteltuna</i> .....	48
7.1.5	<i>Verrokkiryhmän tulosten arviointi</i> .....	48
7.1.6	<i>Subjekttiivinen ja objektiivinen arviointi ja lämmittelyn yksilöllisyys</i> .....	51
7.2	MENETELMIEN JA TOTEUTUKSEN ARVIOINTI.....	52

7.2.1	<i>Menetelmät</i> .....	52
7.2.2	<i>Toteutus</i> .....	53
7.3	EHDOTUKSIA JATKOTUTKIMUKSEEN .....	54
<b>8</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>56</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>57</b>
	<b>LIITTEET</b> .....	<b>60</b>

# 1 JOHDANTO

Laulajat, näyttelijät ja muut esiintymisessä ääntään käyttävät puhuvat usein äänenavauksesta tai äänen lämmittelystä. Ilmaisut viittaavat harjoituksiin, joita tehdään ennen ääntösuoritusta tavoitteena välittömät vaikutukset ääneen ja sen tuottamiseen. Yleisesti koetaan, että lämmittely helpottaa äänen tuottamista ja parantaa sen kestävyyttä. Ääniammatillaiset ovat kuunteluanalyseissä todenneet myös äänen laadun paranevan lämmittelyn myötä. Lämmittelyllä on todennäköisesti myös äänivaurioita ehkäisevä vaikutus. Urheilijoille lihaslämmittelyllä katsotaan olevan myös psyykinen merkitys osana suoritukseen valmistautumista, miksei siis myös äänenkäyttäjille.

Äänen lämmittelyä on tutkittu suhteellisen vähän. Tämä on ristiriitaista, sillä lämmittely on niin ääniammatillisten kuin amatöörien jatkuvasti suorittama rutiini ja tunnustettu tärkeäksi osaksi äänen käyttämistä (esim. Sundberg 1987). Kirjallisuus aiheesta on pitkään nojannut lähinnä äänenkäyttäjien subjektiivisiin kokemuksiin. Yhtenä esteenä tutkimukselle on tuntunut olevan epätietoisuus siitä, mitä mitata. Subjektiivisten havaintojen selittäminen objektiivisin mittauksin ei ole ollut yksinkertaista, sillä ensimmäiset tutkimukset eivät ole antaneet selviä vastauksia siihen, mihin lämmittely äänentuottoelimistössä oikeastaan vaikuttaa. Tekniikan kehittyminen on myöhemmin mahdollistanut uudenlaiset tutkimusmenetelmät, joiden avulla voidaan havaita aiemmin huomaamatta jääneitä pieniä eroja.

Tähän mennessä saatujen tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että kun lämmittelyä tehdään äänentuottojärjestelmän eri osiin keskittyviä harjoituksia, lihakset lämpenevät, ja hengitysmekanismien ja äänihuulivärähtelyn hallinta paranee. Ääniväylän muoto ja sen seurauksena sen resonanssit muuttuvat, mikä tekee äänestä kantavamman. Vaikutukset näyttävät aiheutuvan muutoksista kurkunpään lihaksissa ja äänihuulten kudoksissa sekä ääniväylän asetuksissa. Äänen lämmittelyn mekanismeissa on kuitenkin vielä paljon epäselvää, kuten vaikuttaako lämmittely äänihuulten lihakseen vai limakalvoon, tai johtuvatko vaikutukset nesteiden lisääntymisestä vai vähenemisestä kudoksissa.

Äänenharjoittajan kokemuksella vaikuttaa olevan merkitystä lämmittelyn onnistumiselle. Jos on tottunut tekemään ääniharjoituksia, lämmittelyn vaikutukset näyttää olevan helpompi saavuttaa. Tämä saattaa johtua esimerkiksi tottuneen äänenharjoittajan paremmasta kehotietoisuudesta.

Varsinaista vertailututkimusta tottuneiden ja tottumattomien äänenharjoittajien välillä on kuitenkin tehty vain vähän, ja se on keskittynyt äänen harjoittamiseen putken tai pillin avulla.

On tärkeää, että ne edut joita lämmittelyllä on jo kauan koettu olevan, voidaan todeta myös objektiivisin keinoin. Yhtä lailla on hyvä tietää, mikä aiheuttaa äänen laadun välittömän paranemisen äänentuottoelimistössä. Lämmittelyn käyttö on perusteltua, kun sen vaikutukset eivät jää pelkiksi subjektiivisiksi kokemuksiksi ja uskomuksiksi. Tieto lämmittelyn vaikutusperusteista motivoi siten sekä äänenkäytön kouluttajia että ääntään harjoittavia, niin aloittelijoita kuin kokeneita.

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää, mitä seurauksia äänen lämmittelyllä on akustisesti mitattuna ja subjektiivisesti arvioituna, ja näkyvätkö nämä vaikutukset vahvempina tottuneilla äänenharjoittajilla tottumattomiin verrattuna. Tutkielma koostuu kahdeksasta luvusta. Aluksi luvussa 2 esitellään äänentuottomekanismia ja siihen osallistuvia rakenteita, joihin äänen lämmittely aiemman tutkimuksen perusteella vaikuttaa. Sen jälkeen käydään läpi äänen harjoittamisen periaatteita, joille myös lämmittelyharjoitukset perustuvat. Ne pohjustavat ymmärrystä tottumuksen merkityksestä ja yksilöllisyyden tärkeydestä äänen harjoittamisessa. Luvun lopuksi esitellään menetelmiä, joiden avulla äänen lämmittelyä on tutkittu.

Luku 3 on katsaus äänen lämmittelyn aiempaan tutkimukseen. Luvussa esitellään mekanismi, johon lihasten lämmittely fysiologisesti perustuu ja summataan, mitä äänen lämmittelyn vaikutuksista on tähän mennessä selvinnyt. Lopuksi käydään läpi, mitkä tekijät näyttävät vaikuttavan äänen lämmittelyn onnistumiseen.

Tutkimuskysymykset ilmenevät luvusta 4. Luvussa 5 esitellään tutkimuksen koehenkilöt, aineisto ja sen äänitys ja analysointi sekä toteutus. Tutkimuksen tulokset esitellään luvussa 6 ja niiden ja tutkimusasetelmien pohdinta sisältyy lukuun 7. Lopuksi esitetään ehdotuksia jatkotutkimukseksi. Luku 8 sisältää johtopäätökset, jotka tutkimuksen perusteella voidaan tehdä.

# 2 ÄÄNEN TUOTTAMINEN JA HARJOITTAMINEN

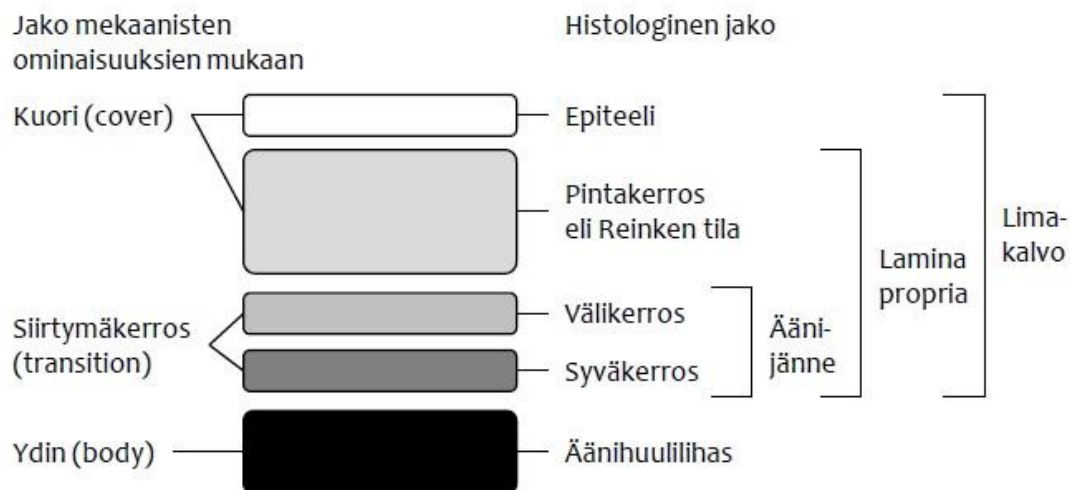
Äänen harjoittamisella ja lämmittelyllä pyritään vaikuttamaan äänentuottoelimistöön, niin että olosuhteet äänen tuottamiselle olisivat mahdollisimman hyvät. Alla esitellään äänihuulten sijaintia ja rakennetta sekä äänihuulivärähtelyn aerodynaamis-myoelastinen teoria. Lopuksi käydään läpi äänen harjoittamisen periaatteita ja äänen lämmittelyn tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä.

## 2.1 Äänihuulten rakenne

Äänihuulet sijaitsevat henkitorven yläpäässä kurkunpään rustojen suojassa. Kun äänihuulet eivät kosketa toisiaan, hengitysilma kulkee niiden välistä. Äänihuulten väliin jäävää tilaa kutsutaan ääniraoksi tai glottikseksi. Kun äänirako on kiinni, esimerkiksi nieltäessä, ihminen ei voi hengittää. Äänihuulten alkuperäinen tehtävä onkin ollut suojata hengitysteitä vierasesineiltä. (Laukkanen & Leino 1999:33.)

Äänihuulet ovat miehillä noin puolentoista sentin ja naisilla noin sentin pituiset. Ne koostuvat lihaksesta ja limakalvosta. Äänihuulista voidaan eritellä viisi kerrosta, joista kullakin on omanlaisensa mekaaniset ominaisuudet. Kuvio 1 havainnollistaa äänihuulten rakennetta. Päällimmäisenä on 0,05–0,10 mm ohut epiteelikerros, joka sisältää nestemäistä kudosta. Epiteelin alla on kolme kerrosta, joita yhdessä kutsutaan *lamina propriaksi*. Sen pintakerros koostuu välinesteessä kelluvista ohuista elastiinisäikeistä. Elastiinisäikeiden joustavuus sallii kudoksen venymisen. Myös keskikerroksessa on elastiinikuituja, mutta ne ovat yhdenmukaisemmin järjestyneet. Lisäksi keskikerroksessa on jonkin verran kollageenikuituja. Syväkerros koostuu lähinnä kollageenista, eikä veny juuri lainkaan. Lamina proprian pintakerros on noin 0,5 mm paksu, ja keski- ja syväkerros yhdessä noin 1–2 mm. Lamina proprian keski- ja syväkerrosta kutsutaan myös äänijänteeksi. Nämä neljä päällimmäistä kerrosta eli epiteeli ja lamina propria muodostavat äänihuulten limakalvon. Niiden alla on viimein 7–8 mm paksu lihas (*vocalis* eli *thyroarytenoideus*). (Grey, Hirano & Sato 1993; Hirano 1977, luettu teoksesta Titze 1994:16–17; Hirano & Kakita 1985; Hirano, Kurita & Nakashima 1981.)

Äänihuulivärähtelyyn osallistuu lähinnä äänihuulten kimmoisa limakalvo. Sen elastiset pintakerrokset toimivat ikään kuin tyynynä, joka ottaa vastaan äänihuulten yhteentörmäysten aiheuttaman mekaanisen rasituksen. Jäykempi äänijänne puolestaan vakauttaa värähtelyä. (Hirano ym. 1981a, Laukkanen & Leino 1999:34–35.)



**KUVIO 1.** Äänihuulikudoksen rakenne. Hiranon (1981b) kuvasta muokannut Leppänen (2012).

## 2.2 Äänen tuottaminen ja säätely

Ihmisen äänentuottojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen välttämättömään osaan. Nämä ovat keuhkot, jotka saavat ilman virtaamaan henkitorvessa; kurkunpää, jossa ääni syntyy äänihuulten värähdellessä, ja ääntöväylä eli äänihuulista huuliin ulottuva alue, joka voimistaa ääniaaltoja (Titze & Verdolini Abbot 2012:253).

Äänihuulten värähtely eli fonaatio saadaan alkamaan, kun äänihuulet asetetaan lihastyöllä lähelle toisiaan. Tätä kutsutaan äänihuulten adduktioksi. Kun hengitysilma pääsee ulos keuhkoista aiempaa pienemmästä kapeikosta, ilmanpaine äänihuulten alapuolella kasvaa ja työntää äänihuulet kauemmas toisistaan. Ilma pääsee virtaamaan jälleen laajentuneessa glottiksessa ja aiheuttaa imuefektin, jolloin äänihuulet vetäytyvätkin yhteen. Kun äänihuulet ovat yhdessä eli äänirako kiinni, ilmaa ei pääse virtaamaan keuhkoista ulos. Äänihuulten alapuolella oleva ilmanpaine kasvaa suuremmaksi kuin äänihuulten yläpuolinen ilmanpaine. Kasvanut paine saa äänihuulet jälleen aukeamaan. Tämä äänihuulten värähtely on kaksivaiheista. Se tarkoittaa, että imuefekti

vetää yhteen ensin äänihuulten alapinnat ja sitten yläpinnat. Samaten äänihuulet aukeavat ensin alapinnoistaan ja sitten vasta yläpinnoistaan. (Laukkanen & Leino 1999:35–37.)

Ääniraon jatkuva avautuminen ja sulkeutuminen aiheuttaa näin ilmavirtauksen jaksottumisen. Tätä ilman paineen vaihtelua kutsutaan myös ääniaalloiksi. Paineen vaihtelu glottiksessa ja sen aikaansaama imuefekti pitävät yllä värähtelyliikettä. Lisäksi liikkeen säilymisessä auttaa limakalvojen kimmoisuus, joka palauttaa auenneet äänihuulet takaisin lähelle toisiaan. Tätä värähtelyn mallia kutsutaan äänihuulivärähtelyn *aerodynaamis-myoeleistiseksi teoriaksi*. Äänihuulivärähtely loppuu, kun ilman virtaus keuhkoista lakkaa tai äänihuulet loitonnetaan toisistaan. Loitontaminen eli abduktio tapahtuu jälleen lihastyöllä, mutta itse värähtelyn ylläpitämiseen lihaksia ei tarvita. (Laukkanen & Leino 1999:35–37.)

Edellä kuvattu värähtelyliike tapahtuu lukuisia kertoja sekunnissa. Värähtelytaajuus riippuu äänihuulten koosta ja massasta. Pitkät ja paksut äänihuulet värähtelevät hitaammin kuin lyhyet ja ohuet. Hidas värähtely kuullaan matalampana äänenä kuin nopea värähtely. Äänihuulivärähtelyn taajuutta kuvataan hertseinä (Hz). Hertsiluku kertoo, kuinka monta kertaa äänihuulet värähtelevät sekunnissa. Värähtelytaajuus on naisilla keskimäärin noin 200 Hz eli äänihuulet värähtelevät noin 200 kertaa sekunnissa. Miehillä taajuus on keskimäärin noin 100 Hz. (Laukkanen & Leino 1999:41–42.)

Sukupuolesta johtuvien kokoerojen lisäksi äänihuulten värähtelyyn vaikuttavat niiden ikä ja kunto. Lapsen äänihuulet ovat luonnollisesti pienemmät kuin aikuisen, ja murrosiässä tapahtuva hormonoiminnan alkaminen ja äänihuulten nopea kasvu vaikeuttavat usein äänihuulivärähtelyn hallintaa. Vanhuksilla esimerkiksi kudosten kulumisen tai nesteen kertyminen äänihuuliin voidaan kuulla epätasaisuutena tai hälynä. Myös arvet, kyhmyt ja muut kudosuutokset äänihuulissa vaikeuttavat niiden tasaista värähtelyä. (Titze 1994:178–185.)

Äänihuulten pysyvämpien ominaisuuksien lisäksi äänihuulten värähtelyyn voidaan vaikuttaa lyhytaikaisin muutoksin. Hengityselimistön, kurkunpään ja artikulaatioelinten lihasten avulla voidaan säätää äänihuulten alapuolista ilmanpainetta, äänihuulten massaa ja jäykkyyttä, voimaa, jolla äänihuulet asetetaan yhteen, sekä ääniväylän kokoa ja muotoa. Näiden tekijöiden säätely aiheuttaa muutoksia äänen voimakkuudessa, korkeudessa ja laadussa. (Laukkanen ja Leino 1999:39–56.)

Äänen voimakkuutta eli äänenpainetasoa voidaan nostaa hengittämällä ulos voimakkaammin ja sulkemalla äänihuulet tiiviimmin. Voimakkuuden nousu perustuu siihen, että voimakkaassa uloshengityksessä ääniraon alapuolinen ilmanpaine kasvaa suureksi, jolloin äänihuulet aukeavat laajemmalle ja törmäävät taas yhteen kovemmalla voimalla. Voimakkaassa äännössä äänihuulet sulkeutuvat nopeammin ja pysyvät kiinni kauemmin kuin hiljaisessa äännössä. Usein myös

äänihuulilihas aktivoituu, minkä seurauksena äänihuulet pullistuvat ja niiden limakalvo löystyy. Pullistuminen helpottaa tiiviimpää äänihuulisulkua ja limakalvon löystyminen laajempaa värähtelyä. Havaittuun äänen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa myös ääniväylän asetuksilla, esimerkiksi resonanssia parantamalla. (Laukkanen & Leino 1999:40–41.)

Paineen kasvaessa usein myös värähtelytaajuus kasvaa ja sen myötä äänen sävelkorkeus nousee. Tehokkaammin äänen korkeutta voidaan kuitenkin nostaa venyttämällä äänihuulia, jolloin ne muuttuvat jäykemmiksi. Äänihuulia venytetään useimmiten rengasrusto-kilpirustolihaksella (*cricotyreoideus*), joka saa aikaan sen, että äänihuulten etu- ja takakiinnityspisteet liikkuvat kauemmas toisistaan. Korkeutta voidaan nostaa myös värähtelevää massaa pienentämällä. Kun äänihuulet on puristettu yhteen hyvin tiukasti, vain osa niistä pääsee värähtelemään. (Laukkanen & Leino 1999:41–43.)

Äänen laatu määräytyy äänihuulten fonaatiotavan ja ääniväylän muodon mukaan. Jos äänihuulet värähtelevät toisiaan vasten koko pituudeltaan, äänenmuodostustapaa kutsutaan modaali- eli rintarekisteriksi. Ääntötapaa, jossa äänihuulet värähtelevät yhteen vain yläosastaan, kutsutaan falsettirekisteriksi. Modaalirekisterissä tuotettu ääni kuulostaa täyteläisemmältä kuin falsettirekisterissä tuotettu, mutta falsetissa voidaan saavuttaa korkeampia säveliä kuin modaalirekisterissä (Laukkanen ja Leino 1999:46; Laver 1980:110, 118.)

Fonaatiotapaa voidaan luonnehtia jännittyneeksi tai rennoksi sen mukaan, miten tiiviisti äänihuulet puristuvat toisiaan vasten. Jos äänihuulisulku on tiukka, ilmaa pääsee vain ulos vain vähän ja ääni myös kuulostaa tiukalta. Tällaista ääntä kutsutaan hyperfunktionaaliseksi. Jos äänihuulisulku on löyhä ja ilmaa ikää kuin vuotaa äänihuulten välistä tarpeettoman paljon, ääntö kuulostaa huokoiselta. Tällainen ääntötapa on hypofunktionaalinen. (Laver 1980.)

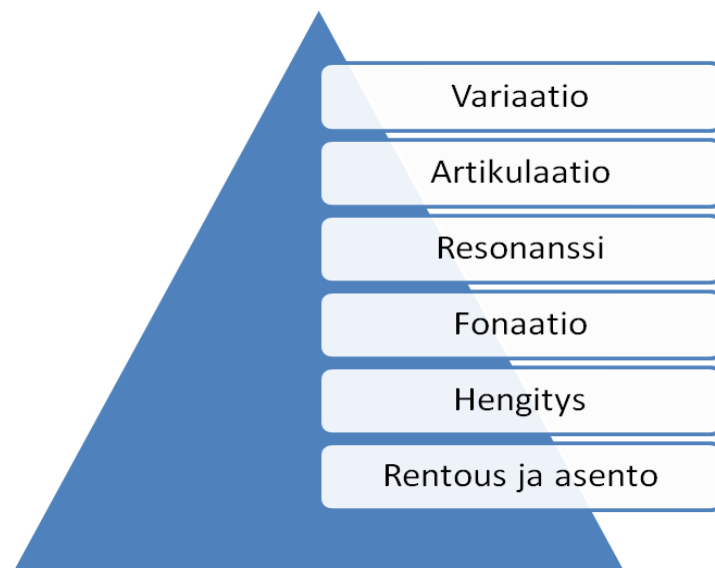
Ääniväylän pituus ja leveys sekä sen eri alueiden väliset suhteet vaikuttavat ääniväylän resonansseihin, jotka antavat äänelle sille ominaisen värin. Pituussuunnassa ääniväylää voi muokata kohottamalla tai laskemalla kurkunpäästä tai asettamalla huulion joko hymyasetukseen tai tötterölle. Leveyssuunnassa kapeita ja leveitä kohtia muodostetaan ääntöväylään huulten, kielen, kitalaen, nielun ja leuan lihasten avulla. Myös ääniväylän lihaksissa voi esiintyä jännitystä, mikä saattaa rajoittaa ääniväylän muotoa ja vaikuttaa osaltaan resonansseihin. (Laver 1980:23–92.)

### 2.3 Äänen harjoittaminen

Äänen harjoittaminen voidaan jakaa osa-alueisiin sen mukaan, mitä osaa äänentuottoelimistöstä halutaan harjoittaa. Kuviossa 2 on esitetty yksi tavallisesti käytetty jaottelu (ks. esim. Marjanen 1964; Shewell 2009). Siinä ääntä aletaan harjoittaa ja pyramidia rakentaa alhaalta päin. Ensinnä

keskitytään kehon rentouteen ja äänen tuottamiselle edulliseen asentoon. Kun ne on saavutettu, aletaan harjoittaa hengitystä. Hyvän hengitystekniikan löydyttyä siirrytään fonaatioon, ja sen jälkeen hyvän ääntötavan tueksi haetaan resonanssia. Lopulta huomio kiinnitetään artikulaatioon. Kun perusasiat ovat kunnossa, voidaan keskittyä variaatioon eli äänen monipuoliseen käyttämiseen ilmaisussa. Uusia taitoja pinotaan siis jo opitun päälle. Alimmat osat toimivat ikään kuin perustana ja tukena ylemmille. Niiden harjoittaminen saattaa ratkaista pyramidin ylemmissä osissa esiintyviä vaikeuksia. Esimerkiksi hengitysharjoitukset saattavat johtaa fonaation helpottumiseen.

Keskittyminen yhteen osa-alueeseen kerrallaan helpottaa harjoittelua, mutta ei suinkaan tarkoita, että osia olisi mielekasta tai välttämättä edes mahdollista eristää täysin koko äänentuottoprosessista. Käytännössä ääntä harjoitettaessa edetään harvoin niin, että seuraavaan osaan siirrytään vasta, kun edellinen on tullut ”valmiiksi”. Uusien tapojen omaksuminen vie aikaa, ja usein tottunutkin äänenharjoittaja voi kehittyä lisää. Lisäksi myös pyramidin ylemmät osat voivat vaikuttaa alempiin. Esimerkiksi artikulaation parantuminen saattaa vaikuttaa edullisesti myös fonaatioon ja resonanssiin, ja resonanssivärähtelyn aistiminen kehossa voi lisätä rentouden tunnetta. Malli on kuitenkin hyödyllinen esimerkiksi äänenharjoituskerran rakentamisessa, niin että äänentuottojärjestelmään keskitytään monipuolisesti.



**KUVIO 2.** Äänen harjoittamisen osa-alueet.

Yleisen lihasharjoittelun tavoitteena on sekä taitojen kehittäminen että suorituskyvyn parantaminen. Koska luustolihakset toimivat samalla tavoin koko kehossa, lihasharjoittelun periaatteet pätevät myös äänen harjoittamiseen. (Saxon & Schneider 1995:3, 47). Äänen harjoittamisen yleistavoitteena on, että äänen tuottamiseen osallistuvat elimet omaksuvat mahdollisimman taloudellisen ja tarkoituksenmukaisen tavan tuottaa ääntä. Tällöin mahdollisimman pienellä työllä tuotetaan paras mahdollinen suoritus (esim. Laukkanen & Leino 1999:15). Lihasten harjoittamiselle voidaan erotella neljä periaatetta (Saxon & Schneider 1995: 47–61):

(1) Ylikuormitus on lihasten vahvistumisen edellytys. Keho tottuu tiettyyn kuormitukseen, joten rasituksen on ylitettävä se taso, jolla alkutilanteessa ollaan.

(2) Yksilöllisyyden periaatteella viitataan siihen, että kuormitus on syytä sovittaa harjoittajan lähtötasoon. Liian helppo tai vähän kuormittava treeni ei tehoa, liian vaikea tai rasittava puolestaan väsyttää ja altistaa loukkaantumisille. Kuormittavuuden lisäksi määritellään harjoittelemisen tahti eli se, kuinka usein treenataan, sekä treenin kesto. Liian harvoin tehtävä treeni ei edistä lihasten kehittymistä, mutta myöskään liian usein toistuva treeni ei ole hyvästä, koska tällöin lihakset eivät ehdi toipua ja seurauksena on ylikunto. Yleiseen lihaskunnan kasvattamiseen 3–4 harjoituskertaa viikossa on hyvä tahti, ja 20–60 minuuttia kerrallaan hyvä kesto. Harjoittelussa voidaan säädellä kuormitusta, kestoja ja tahtia siten, että yhtä voidaan vähentää, jos kahta samalla lisätään.

(3) Harjoittamisen kohdentamisella tarkoitetaan, että harjoittelu on suunnattava juuri siihen aktiviteettiin ja niille lihaksille, joita halutaan harjoittaa.

(4) Jatkuvuusperiaatteen mukaan harjoittelun avulla saavutetut vaikutukset hupenevat vähitellen, jos harjoittelu ei jatku. Kunnan saavuttamiseen vaaditaan kuitenkin enemmän harjoittelua kuin sen ylläpitämiseen: harjoituskertoja voidaan harventaa ilman kunnan huononemista, jos harjoituksen kuormittavuus pysyy samana.

Lihassoiman ja -tarkkuuden parantamisen lisäksi ääniharjoitusten avulla voidaan tavoitella edullisempaa ääniväylän muotoa. Useat ääniharjoitukset perustuvat ääntöväylän optimaalisten impedanssiolosuhteiden tavoitteluun. Impedanssi tarkoittaa paineen ja virtauksen suhdetta, ja se on keskeinen tekijä resonoivaa ääntä tavoiteltaessa. (Titze & Verdolini Abbot 2012:296–297.)

Äänenkäytön kannalta optimaalinen impedanssi on inertiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että reaktio ärsykkeeseen tulee viiveellä. Kuten aiemmin todettiin, virtaus glottiksessa kiihtyy, kun äänihuulet ovat avautumassa. Virtauksen kiihtyminen on reaktio ärsykkeeseen eli äänihuulten avautumiseen. Kun äänihuulet ovat jälleen sulkeutumassa yhteen eikä ilmaa enää pääse niiden yläpuolelle aiemman suuruisella voimalla, paine glottiksessa laskee jopa negatiiviseksi.

Negatiivinen paine vetää äänihuulia takaisin yhteen sen sijaan, että työntäisi niitä kauemmas toisistaan vain pienemmällä voimalla.

Kun reaktio ärsykkeeseen tapahtuu viiveellä, virtaus alkaa kasvaa ja työntää äänihuulia erilleen silloin kun paine on jo maksimaalinen, ja laskee ja vetää äänihuulia takaisin yhteen kun paine on jo negatiivinen. Supraglottaalisen ilmapatsaan hitaus eli inertia auttaa siis äänihuulivärähtelyä, ja tällöin ääni on resonoiva. Mitä suurempi hitaus supraglottaalisella ilmapatsaalla on, sitä suurempi on myös sen äänihuuliin kohdistuva työntö-veto-vaikutus. Hitauden kasvaessa äännön aloittaminen on vaivattomampaa, toisin sanoen kynnyspaine alenee. Kynnyspaineella tarkoitetaan pienintä subglottaalista painetta, jolla äänihuulet saadaan värähtelemään. (Titze & Verdolini Abbot 2012:296–297.)

Inertiivistä impedanssia voidaan tavoitella esimerkiksi semiokluusio- eli kapeikkoharjoitusten avulla. Semiokluusioharjoitusten hyöty piilee siinä, että ne antavat mallin resonoivan äänen aiheuttamista tuntemuksista. Semiokluusio voidaan tuottaa pilliin tai putkeen ääntämällä tai artikulaatioasetuksia muokkaamalla. Nasaalit ovat semiokluusioäänteitä, joten myös hyräily on edullista resonanssien hakemiselle. (Titze & Verdolini Abbot 2012:308–310.)

## 2.4 Äänen tutkimusmenetelmiä

Ääntä on tärkeää arvioida samanaikaisesti eri keinoin. Subjektiiivinen kokemus esimerkiksi äänen tuottamisen helpottumisesta ei välttämättä näy kaikissa objektiivisissa mittaustuloksissa (esim. Elliot, Sundberg & Gramming 1995). Toisaalta objektiivista tietoa tarvitaan, sillä pelkästään kuulon perusteella tehdyt äänen laadun arvioinnit voivat olla kiistanalaisia. Niihin voivat vaikuttaa esimerkiksi se, miten koulutettu ja kokenut arvioija on ja millaiset ovat hänen ennakkokäsityksensä äänenkäyttäjän historiasta. Myös arvioitava tehtävätyyppi (esimerkiksi vapaasti tuotettu puhe tai pidennetty vokaali) saattaa vaikuttaa kuuloarvioon. (Wuyts ym. 2011.) Tässä osioissa käydään läpi äänen ja erityisesti sen lämmittelyn tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä. Akustiset mittaukset tehdään tietokoneohjelmien avulla ennalta äänitetyistä näytteistä.

### 2.4.1 Perustaajuus ja äänenpainetaso

Äänen perustaajuus ( $F_0$ ) mitataan hertseinä. Säveltarkkuutta voidaan mitata vertaamalla esimerkiksi mallin avulla pyydettyä sävelkorkeutta tuotettuun taajuuteen. Äänen kuultua voimakkuutta fysikaalisesti vastaavaa äänenpainetasoa (*sound pressure level*, SPL) mitataan näytteestä kalibroitetsignaalin avulla desibeleinä (dB).

Fonetogrammimittauksessa eli äänialatutkimuksessa (*Voice Range Profile, VRP*) hyödynnetään sekä äänen perustaajuutta että äänenpainetasoa. Mittauksen avulla selvitetään henkilön äänialan laajuus sekä mahdollisimman hiljaisessa että mahdollisimman voimakkaassa äännössä, eli kun äänenpainetaso on mahdollisimman matala ja mahdollisimman korkea. Fonetogrammi on looginen valinta lämmittelyn vaikutusten mittaamenetelmäksi, sillä yleisesti koetaan, että äänen auetta korkeammatkin sävelet saavutetaan vähemmällä vaivalla, ja yhä hiljaisemman äänen tuottaminen helpottuu.

## 2.4.2 Painemittaukset

Kynnyspaineella (*phonation threshold pressure, PTP*) tarkoitetaan pienintä subglottaalista painetta, jolla äänihuulet saadaan värähtelemään eli ääntö alkamaan. Kynnyspaine on merkityksellinen tekijä äänen tuottamisen vaivattomuudessa, sillä mitä pienempi paine tarvitaan, sitä taloudellisempaa äänenkäyttö on. Kynnyspaine mitataan helpoiten suun kautta muoviputken avulla, sillä klusiilia<sup>1</sup> äännettäessä suunsisäinen paine vastaa subglottaalista painetta.

Äänihuulivärähtelyn kynnyspaineen lisäksi voidaan mitata myös pienin paine, jolla äänihuulet saadaan kontaktoitumaan (*collision threshold pressure, CTP*). Äänihuulikontakti havaitaan elektroglossografian (EGG) avulla. Mittaustilanteessa puhujan kaulalle asetetaan elektrodit, joiden läpi virtaa korkeataajuisia sähköä. Kehon kudokset johtavat sähköä melko hyvin, mutta ilma huonosti. Kun äänihuulet ovat erossa toisistaan, sähköön virtausvastus on suuri. Vastus on sitä pienempi, mitä laajemmalla alueella äänihuulet koskettavat toisiaan. EGG-signaali on siis heikko, kun äänirako on auki ja kosketus minimaalinen, ja voimistuu kosketuspinnan kasvaessa. (Baken & Orlikoff 2000: 413–427.)

Paineen mittaamisen avulla voidaan mitata myös glottisresistanssi. Resistanssi lasketaan jakamalla subglottaalinen paine glottaalisella ilmavirtauksella.

## 2.4.3 Vaihtelua mittaavat muuttujat

Lämmittelyn kannalta keskeisiä muuttujia ovat erilaiset äänessä esiintyvää perturbaatiota eli vaihtelua kuvaavat mittarit. Ihmisäänen peräkkäisten värähtelyperiodien välillä on aina jonkin verran vaihtelua ihmisen kudosten ominaisuuksista ja elintoiminnoista johtuen (Titze 1994:279). Jos vaihtelua on paljon, ääni kuulostaa vuotoiselta, karhealta tai käheältä. Vaihtelu vähenee, kun äänihuulivärähtelyn hallinta paranee.

---

<sup>1</sup> Klusiisi on äänne, jossa ilman virtaus pysäytetään hetkeksi sulkemalla ääniväylä. Suomen kielessä esiintyvät klusiilit /k/, /g/, /t/, /d/, /p/ ja /b/.

*Jitter* ja *shimmer* kuvaavat äänessä esiintyvää lyhytaikaista ja epäsäännöllistä vaihtelua. Jitter mittaa perussävelen vaihtelua ja shimmer amplitudin vaihtelua värähtelypulsseista toiseen. Mitä pienempi prosenttiluku, sitä vähemmän ääniaaltojen välillä on vaihtelua. Perustaajuuden ja amplitudin perturbaatiota mitataan myös seuraavilla mittareilla: RAP (*relative average perturbation*) eli suhteellinen perturbaation keskiarvo; PPQ (*pitch perturbation quotient*) eli periodien perturbaation osamäärä; ja APQ (*amplitude perturbation quotient*) eli amplitudin perturbaation osamäärä. (Kay Elemetrics Corp. 1993.)

#### 2.4.4 Hälyä mittaavat muuttujat

Äänessä esiintyvää hälyä voidaan havainnollistaa suhdelukujen avulla. NHR (*noise to harmonics ratio*) kuvaa äänessä esiintyvän hälyn ja soinnillisen äänen suhdetta. Luku saadaan jakamalla 1500–4000 Hz alueella esiintyvien ei-harmonisten komponenttien keskimääräinen amplitudi 70–4500 Hz alueella esiintyvien harmonisten komponenttien keskimääräisellä amplitudilla. Suhdeluku voidaan mitata myös toisin päin, eli jakamalla soinnillinen aines kohinalla (*harmonics to noise ratio*, HNR tai H/N). NHR kertoo yleisestä hälyn määrästä analysoidussa signaalissa. (Baken & Orlikoff 2000:281–282, Kay Elemetrics Corp. 1993.) VTI (*voice turbulence index*) puolestaan kuvaa ei-harmonisen korkeataajuuden energian (2800–5800 Hz) suhdetta spektrin harmoniseen energiaan 70–4500 Hz alueella. VTI korreloi useimmiten epätäydellisen tai löyhän äänihuulten adduktion aiheuttaman turbulenssin kanssa. (Kay Elemetrics Corp. 1993.)

#### 2.4.5 Spektri

Pitkäaikaiskeskiarvospektriä (*long time average spectrum*, LTAS) käytetään äänen laadun havainnollistamisessa. Spektri näyttää, miten äänienergia on jakautunut eri taajuuksille. Jos spektri laskee jyrkästi, eli äänienergiaa on vähän korkeammilla taajuuksilla, ääni vaimenee voimakkaasti eikä auditiivisesti tarkasteltuna soi hyvin. Äänet, joiden pitkäaikaispektrissä on vähemmän energiaa 1 ja 3 kHz:n välillä ja heikompi huippu 3 ja 4 kHz:n välillä on kuunteluanalyseissa arvioitu laadultaan heikommiksi kuin ne, joissa kyseiset piirteet esiintyvät selkeämmin. (Leino 2009.)

Jos puheen voimakkuutta tai äännön työläyttä lisätään, spektri laskee loivemmin. Tämä johtuu siitä, että voimakkuuden kasvaessa yläsävelet voimistuvat suhteellisesti enemmän kuin alemmat. (Fant 1973:71–72.) Jyrkkä kaltevuus saattaa siis johtua myös hiljaisemmasta puhekorkeudesta eikä välttämättä kerro huonosta äänenlaadusta. Leino (2009:647) huomauttaa,

että hyvät äänet erottaa käyrän loivan kaltevuuden sijaan paremmin 3–4 kHz:n välillä esiintyvistä huipusta, jota kutsutaan myös *puhujanformantiksi*. Puhujanformanttia vastaa harjoitetussa lauluäänessä *laulajanformantti*, joka esiintyy 2–3 kHz:n alueella miehillä ja naisäänien matalilla sävelillä. Laulajanformantin avulla laulajan ääni kuuluu orkesterin yli. Puhujan- ja laulajanformantti on formanttien yhteenkasautuma, joka voidaan saavuttaa artikulaatioasetuksia muokkaamalla. (Leino, Laukkanen & Radolf 2011; Sundberg 1991:56.)

Laulajanformanttia voidaan arvioida määrällisesti mittaamalla 2–4 kHz:n alueella esiintyvä huippu suhteessa 0–2 kHz:n alueella esiintyvään huippuun (*singing power ratio*, SPR). Suhdeluvun on todettu erottelevan amatöörilaulajat ammattilaisista ja korreloivan soivan äänen kanssa. (Omori, Kacker, Carroll, Riley & Blaugrund 1996.)

#### 2.4.6 Dysphonia Severity Index

Wuytsin ym. (2000) kehittämä *Dysphonia Severity Index* (DSI) koostuu neljästä mitattavasta muuttujasta: maksimiäänönkestosta, korkeimmasta äännöstä, hiljaisimmasta äännöstä sekä prosentuaalisesta jitter-arvosta. Indeksilukema ilmoitetaan joko asteikolla -5–5 tai prosenttilukuna. -5 ja 0 % osoittavat äänen olevan hyvin häiriöinen. DSI:tä voidaan verrata esimerkiksi paljon käytettyyn painoindeksiin (*Body Mass Index*), jonka avulla selvitetään yksilön ihannepaino suhteessa tämän pituuteen. (Wuyts ym. 2000.)

DSI:n neljä muuttujaa ovat valikoituneet indeksiin monimuuttuja-analyysin avulla. Wuyts ym. (2000:803) kommentoivat, miksi juuri nämä tekijät ovat tärkeässä osassa äänen arvioinnissa. Esimerkiksi turvotuksen tai äänihuulikyhmyjen aiheuttama ylimääräinen massa äänihuulissa hankaloittaa niiden värähtelyä korkeilla taajuuksilla, niin että äänen korkein mahdollinen perussävel on tavallista matalampi. Ylimääräisen massan takia myös äännön aloittamiseen ja ylläpitämiseen vaaditaan suurempi paine. Tämä tekee hiljaisen äännön vaikeammaksi. Perturbaatioarvot kuvaavat kuulonvaraisesti havaittua äänihuulivärähtelyn epätasaisuutta. Maksimiäänönkestoa puolestaan voidaan pitää yleisenä mittapuuna äänen tuottamiselle, sillä siihen vaikuttavat useat tekijät, esimerkiksi äänihuulten alapuolinen paine, väylän virtausvastus ja se, millainen on äänihuulten sulkuvaihe. (Wuyts ym. 2000:803.)

## 2.4.7 Itsearviointi

Useimmissa tutkimuksissa otetaan mukaan koehenkilön oma arvio äänen tuottamisen työläydestä. Itsearviointi voidaan tehdä joko erilaisia asteikkoja käyttäen (esim. numeerinen tai janalle arviointi) tai vapaasti tuntemuksia luonnehtien.

# 3 ÄÄNEN LÄMMITTELY JA SEN VAIKUTUKSET

Tässä luvussa tarkastellaan lämmittelyä fysiologisena tapahtumana sekä yleisesti että äänen kannalta. Ensimmäiseksi avataan äänen lämmittelyn käsitettä. Sitä seuraa katsaus tutkimuksiin, joissa lämmittelyä on tarkasteltu laulussa ja puheessa. Lopuksi esittelen teemoja, joilla saattaa olla vaikutusta lämmittelyn onnistumiseen.

## 3.1 Äänen lämmittely

Useimmiten äänen lämmittely käsitetään sarjaksi harjoituksia, jotka tehdään ennen suoritusta tavoitteena välittömät vaikutukset ääneen ja sen tuottamiseen. Äänen lämmittelyllä pyritään parantamaan lihastoimintaa ja sen hallintaa sekä kasvattamaan tietoisuutta äänen tuottamisesta. Ääntä lämmitellään, että saavutettaisiin helposti ja vaivattomasti kulkeva, käyttöä kestävä ääni. (Amir, O., Amir, N. & Michaeli 2005; Laukkanen, Horáček & Havlík 2012; Leino ym. 2011; Sundberg 1987; Van Lierde ym. 2011.) Tämän määritelmän mukaan lämmittely on siis tietoisista ja tavoitteellista toimintaa.

Äänen lämmittelyllä voidaan tarkoittaa myös yksinkertaisesti äänen käyttämistä, esimerkiksi ääneen lukemalla. Vintturi (2001:32) määrittelee äänen lämmittelyn tai lämpiämisen kuormittumisen yhdeksi vaiheeksi. Lämmittelyvaiheen aikana, kuormituksen ensimmäisten 5–45 minuutin sisällä, ääni mukautuu tehtävään ja siinä voidaan havaita ensimmäiset fysiologiset, subjektiiviset (koetut) ja perkeptuaaliset (kuultavissa olevat) muutokset. Kuormituksen jatkuminen johtaa yleensä äänen väsymiseen, mikä koetaan niin subjektiivisesti kuin perkeptuaalisesti negatiiviseksi. Väsyminen on usein myös fysiologisesti tarkasteltuna haitaksi äänentuottoelimistölle. Kuormituksen alkuvaiheessa tapahtuva lämpiäminen mielletään kuitenkin positiiviseksi sekä puhujan että kuulijan kannalta. On hyvin yksilöllistä, missä vaiheessa lämmittelyvaihe ja sen jälkeinen äänen väsyminen alkavat. (Vintturi 2001:29–32, 78.) Myös Laukkanen, Lindholm ja Vilkmán (1998) ovat todenneet, että kaikenlainen normaali, ei-

hyperfunktionaalinen ääntö saattaa aiheuttaa glottisresistanssin (subglottaalisen paineen suhde glottaaliseen virtaukseen) vähenemisen eli äänen lämpiämisen.

Kuormituksen lomassa tapahtuvaan äänen lämpiämisen eteen ei siis tehdä harjoituksia, jotka parantaisivat puhe- tai laulutekniikkaa. Lämmittely tapahtuu niillä taidoilla, jotka äänenkäyttäjät jo ennestään hallitsevat. Epähygieenisellä puhetekniikalla saattaa olla epätodennäköisempää kokea tämän kaltaista äänen avautumista kuin hygieenisellä puhetekniikalla. Tässä tutkimuksessa lämmittelyllä tarkoitetaan ennen ääntösuoritusta tehtäviä harjoituksia, joilla tavoitellaan välitöntä vaikutusta ja pyritään paitsi verryttelemään lihaksia monipuolisesti, myös parantamaan tai ylläpitämään hyvää puhetekniikkaa.

Leino ym. (2011) pohtivat, missä menee raja äänen lämmittelyn ja harjoittamisen välillä. Harjoittamisella tavoitellaan pysyvämpiä muutoksia ääntö- tai artikulaatioasetuksissa, ja sen vaikutukset saavutetaan yleensä vasta viikkojen kuluttua. Tutkijat toteavat, että harjoittamisen voidaan katsoa sisältävän tavoitteet sekä äänen välittömistä että pidempiaikaisista muutoksista. Siten lämmittely on osaltaan äänen harjoittamista. (Leino ym. 2011.) Laukkanen, Horáček ja Havlík (2012) huomauttavat, että vastaavasti yksittäinen lyhytkin ääniharjoitus voidaan tulkita lämmittelyksi, vaikka sillä tavoiteltaisiinkin ensisijaisesti pidempiaikaisia muutoksia.

Lämmittelytapoja on lukuisia, ja harjoitusten tehossa on suuria yksilöllisiä eroja. On näkemyksiä, joiden mukaan kiireessä tai ”väärin” suoritettu lämmittely ei tuota toivottua tulosta, vaan saattaa jopa huonontaa äänen toimintakykyä. (Sundberg 1987.) Lämmittelyharjoituksia voidaan ryhmitellä äänen harjoittamisen osa-alueiden (ks. luku 2.3) mukaan rentoutusharjoituksiin, hengitysharjoituksiin, fonaatioharjoituksiin ja niin edelleen. Erilaiset harjoitukset valmistavat ääntä suoritukseen eri tavoilla. Rentoutuminen vaikuttaa paitsi lihasten toimintaan, myös henkiseen valmiuteen. Fonaatioharjoitukset voivat laajentaa äänialaa urheilijoiden ennen suoritusta harjoittamaan venyttelyyn verrattavissa olevalla tavalla. Ääniharjoituksilla voidaan myös saavuttaa ääniväylässä aerodynaamisia muutoksia, joiden avulla resonanssi paranee. (ks. McHenry, Johnson & Foshea 2009.)

### *3.2 Lämmittelyn fysiologinen perusta*

Tiedetään, että tehokas verenkierto säilyttää lihasten hyvän toimintakyvyn ja optimaalisen viskositeetin. Niinpä Sundberg (1987) spekuloi, että verenkierto on tärkeää äänihuulille samoin kuin mille tahansa muille kehon lihaksille. Lihasten lämmittely tapahtuu esimerkiksi niitä liikuttelemalla tai hieromalla; äänihuulten tapauksessa vaihtoehdoksi jää kevyt ääntäminen.

Fysiologian tutkijat Woods, Bishop ja Jones (2007) määrittelevät lihaslämmittelyn sen hyötyjen kautta. Lämmittelyllä on heidän mukaansa kaksi tehtävää: ”(i) Parantaa lihasdynamiikkaa, niin että lihakset ovat vähemmän alttiit vammoille ja (ii) valmistaa urheilijaa suorituksen vaatimuksiin”.

McArdle, Katch ja Katch (2001:574–575) toteavat, että vaikka lihaslämmittelyä on tutkittu vähäisesti, on silti enemmän kuin todennäköistä, että siitä on hyötyä. He listaavat viisi lämmittelyä seuraavaa, suorituskykyä parantavaa mekanismia käyttäen pohjana Berghin ja Ekblomin (1979) tutkimusta: Kun keho ja lihakset lämpenevät, ja verenkierto tehostuu, (1) lihakset jännittyvät ja supistuvat nopeammin. (2) Aktiivisten lihasten viskositeetti on pienempi, minkä seurauksena liike-ekonomia parantuu. (3) Hemoglobiini vapauttaa happea helpommin korkeammassa lämpötilassa, ja siten lihasten hapenotto-kyky ja hapen käyttäminen helpottuvat. (4) Lämpötilan nousu kiihdyttää elintoimintoja, ja myös hermosto välittää viestinsä nopeammin. Lihasten aineenvaihdunta aiheuttaa (5) verisuonten laajenemisen, minkä seurauksena veri virtaa aktiivisten kudosten läpi entistä tehokkaammin.

Lämmittelyn edut perustuvat siis suurelta osin lihasten tehostuvaan aineenvaihduntaan, kun kehon ja lihasten lämpötila nousee. Jos lämmittely suoritetaan rasituksen avulla, se tulisi hoitaa niin kevyesti, ettei väsymyksen tunnetta synny tai etteivät elimistön energiavarat kulu. Täten yksilön kunto vaikuttaa siihen, millainen rasitus soveltuu lämmittelyyn. McArdlen ym. mukaan varsinainen suoritus tulisi aloittaa parin minuutin sisällä lämmittelyn lopettamisesta, jotta sen aiheuttamat ”mahdolliset edut” voidaan saavuttaa. (McArdle ym. 2001:574–575.)

### *3.3 Äänilämmittelyn tutkimusta kynnyspaineen avulla*

Elliotin ym. tutkimus (1995) on tiettävästi ensimmäinen äänilämmittelyn vaikutuksia kartoittava tutkimus vokologian alalla. Sillä pyrittiin selvittämään, mitkä muutokset äänentuottoelimistössä saavat aikaan kokemuksen äänen tuottamisen helpottumisesta. Koska lihasten viskositeetin alenemisella ja kynnyspaineen alenemisella vaikuttaa olevan yhteys (esim. Verdolini-Marston, Titze & Druker 1990), Elliot ym. (1995) selvittivät, madaltaako kurkunpään lihasten lämmittely kynnyspainetta laulussa läpi henkilön äänialan. Koehenkilöinä tutkimuksessa oli seitsemän naista ja kolme miestä, jotka olivat kaikki koulutettuja äänenkäyttäjiä, mutta eivät ammattilaulajia. Lämmittelyharjoituksina käytettiin melodioita, jotka laulettiin ääniteitä, korkeutta ja voimakkuutta vaihdellen, mutta voimakasta laulamista välttämällä. Ohjattu lämmittely kesti 30 minuuttia.

Elliot ym. (1995) toteavat, että lämmittely vaikutti kynnyspaineeseen, mutta erot koehenkilöiden välillä olivat suuret. Kynnyspaineen muutos vaikutti riippuvan perustaaajuudesta,

mutta vaikutus ei kuitenkaan ollut kaikilla sama. Lämmittelyn jälkeen joillain kynnyspaine kohosi korkeammille sävelille noustaessa, toisilla laski. Joillain sävelkorkeus ei näyttänyt vaikuttavan kynnyspaineen muutoksiin juurikaan. Erot eivät näytä johtuvan lämmittelijän sukupuolesta. Tutkijat arvelevat, ettei viskositeetin aleneminen välttämättä ole pääasiallinen syy kynnyspaineen muutoksiin, ainakaan kaikilla. Kokemus äänen lämpiämisestä saattaa johtua muista tekijöistä kuin madaltuneesta kynnyspaineesta, esimerkiksi korkeimpien osasävelten korostumisesta, äänihuulivärähtelyn säännöllisyyden kasvusta, optimoituneista värähtelyolosuhteista tai muutoksista hermostossa. (Elliot ym. 1995.)

Myös Motel, Fisher ja Leydon (2003) tutkivat lämmittelyn hyötyjä kynnyspaineen avulla erityisesti korkeiden sävelten laulamissa. Heidän lähtökohtansa on, että mikäli äänihuulet toimivat kuten kehon muut luustolihakset, lämmittelyllä olisi vaikutusta äänihuulikudoksen nestekierto. Kurkunpään lihasten lämmitessä niiden aineenvaihdunta tehostuu. Tällöin lihaksiin kertyisi enemmän nestettä, mikä aiheuttaisi niiden jäykistymisen. Jäykistymisen takia korkeampien sävelten tuottaminen olisi helpompaa ja henkilön ääniala eli matalimman ja korkeimman mahdollisen sävelen hertsilukemat nousisivat. Tutkijat olettavat, että tämän lisäksi lämmittely vaikuttaa myös äänihuulten limakalvoon. Äänihuulten värähtelyssä äänihuulikudokseen erisuuntaisesti kohdistuvat paineet ovat korkeilla sävelillä suuremmat kuin matalilla. Paineiden voimistumisen seurauksena hiussuonet litistyyisivät hetkellisesti, eikä neste pääsisi välittymään niiden kautta limakalvoon. Tällöin limakalvon viskositeetti nousisi ja kudoksesta värähtelisi vähemmän vapaasti, jolloin myös kynnyspaine nousisi. (Motel ym. 2003:161.)

Tutkimuksessa kymmenen opintovaiheessa olevaa sopraanolaulajaa suoritti yhtenä päivänä kymmenen minuuttia kestävän lämmittelyn ja toisena kymmenen minuutin äänilevon. Lämmittelynä osallistujat lauloivat ohjatusti nousevia ja laskevia kuvioita legatona ja staccatona. Kynnyspaine mitattiin sävelkorkeuksilta, jotka vastasivat 10, 20 ja 80 % laulajan äänialasta. Osallistujat arvioivat, kuinka paljon kokivat äänensä lämmenneen kummankin koeasetelman jälkeen.

Motel ym. (2003) osoittavat, että korkeimmilla sävelillä äänen lämmittely todella nosti kynnyspainetta. Tutkimukseen osallistuneet eivät silti tunteneet äänen tuottamisen vaikeutuvan lämmittelyn jälkeen. Odotusten vastaisesti äänilämmittely ei nostanut koehenkilöiden äänialaa.

Koska lämmittely nosti kynnyspainetta korkeilla sävelillä, mutta ei näyttänyt vaikuttavan äänialan kohoamiseen, tutkijat arvelevat, että lämmittelyn vaikutukset perustuvat muutoksiin äänihuulten limakalvossa pikemmin kuin äänihuulilihaksessa. Lihaksesta riippumatta limakalvo saattaa kuivua ja aiheuttaa viskositeetin kasvun. Tutkijat pitävät mahdollisena, että limakalvon kuivumisen aiheuttaa juuri tilapäinen iskemia eli paikallinen verenpuute. Iskemia suojaisi näin

limakalvon verisuonia vahingoittumiselta korkeita säveliä äännettäessä. Sillä saattaisi olla merkitystä myös äännön tasaisuuteen, sillä kasvanut viskositeetti rajoittaa äänihuulten värähtelyä. Motel ym. (2003) pohtivat, onko matala kynnyspaine ylipäättään tavoittelemisen arvoinen joka tilanteessa. Kynnyspaineen nouseminen saattaa heidän mukaansa olla hinta, joka täytyy maksaa muista, arvokkaammista vaikutuksista – äänihuulten suojelemisesta vaurioilta. (Motel ym. 2003.)

Vastaavanlaisiin tuloksiin päätyvät myös Milbrath ja Solomon (2003). He tutkivat, hidastaako lämmittely äänen tuottamiseen osallistuvien lihasten väsymistä, niin kuin on todettu käyvän kehon muiden lihasten kohdalla. Koehenkilöinä heidän tutkimuksessaan oli kahdeksan äänen väsymisestä kärsivää naista, koska voidaan olettaa, että lämmittelyn mahdolliset vaikutukset näkyvät parhaiten juuri väsymykselle alttiissa äänissä. Milbrath ja Solomon käyttivät edellä mainittujen tutkijoiden tapaan kynnyspaineen mittaamista vaikutusten selvittämisessä. Tutkimukseen osallistujat arvioivat kullakin mittaushetkellä myös äännön työläyttä.

Tutkimuksen lämmittely kesti 15–20 minuuttia, ja se sisälsi ei-laulajille suunnattuja, helppoja harjoituksia, joilla kiinnitettiin huomiota hengitykseen, fonaatioon ja resonanssiin. Lämmittely sisälsi myös yläkehon ja artikulaatioelinten venyttelyä. Toisessa koeasetelmassa, joka suoritettiin eri päivänä, lämmittelyn korvasi 20 minuutin äänilepo. Lämmittelyn tai äänilevon jälkeen osallistujat lukivat voimakkaalla äänellä (75–80 dB) tunnin ajan. Lukemista seurasi vielä palauttava 30 minuutin äänilepo. Kynnyspaine mitattiin kolmelta korkeudelta (10, 50 ja 80 % osallistujan äänialasta) välittömästi lämmittelyn tai äänilevon jälkeen, puolessa välissä lukemista ja lukemisen loppuksi sekä puolessa välissä palauttavaa äänilepoa ja sen loppuksi.

Tutkimuksesta selviää, että kun osallistujan äännön sävelkorkeus oli 80 % hänen äänialastaan, kynnyspaine oli selvästi korkeampi riippumatta siitä, suoritettiinko mittaus heti äänilämmittelyn jälkeen vai sen perään suoritettujen tunnin mittaisen rasituksen tai äänen lepuuttamisen jälkeen. Kun sävelkorkeus oli 10 tai 50 % osallistujan äänialasta, kynnyspaine säilyi lähes muuttumattomana kaikissa edellä mainituissa mittaustilanteissa. Kynnyspaineen ja itse arvioidun äännön työläyden välillä ei odotusten vastaisesti näyttänyt olevan riippuvuussuhdetta, sillä muuttumattomasta kynnyspaineesta huolimatta koehenkilöt tunsivat ääntämisen työläyden kasvaneen tunnin mittaisen rasituksen jälkeen. Tämäkään ero ei kuitenkaan osoittautunut merkitseväksi.

Milbrath ja Solomon (2003) pohtivat, miksi tulokset olivat odotusten vastaisia. He arvelevat, että yksittäinen äänen lämmittelykerta ei ensinnäkään ollut riittävä muuttamaan äänen väsymyksestä kärsivien osallistujien äänenkäyttötappaa. Lämmittelyn jälkeen osallistujat vaikuttivat palanneen käyttämään äänen tuottoelimistölle epäedullista äänenkäyttötapaansa. Toiseksi, kuormituskoe oli ehkä liian lyhyt ilmentämään muutoksia kynnyspaineessa. Tämä ei kuitenkaan

vaikuta todennäköiseltä, sillä osallistujat kokivat äänen tuoton muuttuvan työläämmäksi kuormituksen myötä. Tutkijoiden mielestä todennäköisempi vaihtoehto onkin, että äänen väsymisestä kärsivät naiset reagoivat kuormituskokeeseen eri tavalla kuin äänellisesti normaali väestö. Heillä kynnyspaine saattoi olla kroonisesti koholla, mikä olisi vaikeuttanut kuormituksen vaikutuksen näkymistä. Krooninen väsymys saattoi myös vaikeuttaa äänen tuottamisen työläyden arvioimista. Kolmanneksi tutkijat toteavat, että tutkimuksen mittausmenetelmät eivät ehkä olleet tarpeeksi tarkkoja, että niiden avulla olisi voitu osoittaa lämmittelyn vaikutus äänen väsymiseen naisilla, jotka ovat äänen väsymiselle alttiita.

Enflo, Sundberg, Romedahl ja McAllister (2013) tutkivat äänen harjoittamisessa ja ääniterapiassa käytettävän putkeen ääntämisen vaikutuksia koulutetuilla ja kouluttamattomilla äänenharjoittajilla. Putkeen ääntämistä voidaan verrata äänen lämmittelyssä käytettyihin semiokluusioäänteisiin. Mikäli putken toinen pää on vedessä, kuten Enflon ym. tutkimuksessa, efekti on samankaltainen kuin pidennetyssä r-äänteessä ja huulten päristelyharjoituksissa (joissa siis kielenkärjen tai huulten värähtelyliikettä ylläpidetään virtauksen avulla): pulssinomainen suunsisäisen paineen vaihtelu hieroo ääniväylän seinämiä ja tehostaa verenkiertoa.

Putkeen ääntämisen vaikutuksia arvioitiin kuuntelukokeen sekä kynnyspaineen ja pienimmän mahdollisen törmäyspaineen avulla. Tutkimukseen osallistui 12 mezzosopraanoa, joista kahdeksan oli opiskellut laulamista. Loput neljä olivat kokeneita mutta kouluttamattomia kuorolaulajia. Tutkijat olettivat, että harjoituksen vaikutukset olisivat suuremmat kouluttamattomilla laulajilla sekä auditiivisesti mitattuna että objektiivisesti arvioituna.

Harjoituksena osallistujat äänsivät yhteensä kahden minuutin ajan vokaalia /u:/ putkeen, jonka toinen pää oli 1–2 cm vedenpinnan alapuolella. Ennen putkeen ääntämistä ja sen jälkeen suoritettiin mittaukset, joissa osallistujat toistivat /pa:/-tavua normaalilta voimakkuudelta hiljentäen äännön loppumiseen saakka. Mittaustehtävä toistettiin eri korkeuksilta. Suoritus äänitettiin, ja sen aikana osallistujilta mitattiin suunsisäinen paine ja EGG-signaali. Varsinaisen kahden minuutin putkiharjoituksen jälkeen tehtävissä mittauksissa putkeen äännettiin vielä 15 sekunnin ajan ennen jokaista uutta sävelkorkeutta, niin että harjoituksen vaikutus ei katoaisi.

Putkeen ääntämisen jälkeen kaikki osallistujat kokivat äännön helpottuneen. Äänen laatu arvioitiin paremmaksi erityisesti kouluttamattomilla laulajilla, jotka eivät harjoittaneet ääntään päivittäin. Enflo ym. (2013) toteavat, että päivittäin harjoittelevat olivat todennäköisesti jo saavuttaneet laadullisesti niin hyvän arkiäänen, että lyhyt ja yksinkertainen harjoitus ei parantanut sitä enempää.

Putkeen ääntämisen vaikutus ei näkynyt kynnyspaineessa merkitsevänä erona, mutta pienin mahdollinen törmäyspaine kohosi. Tutkijat arvelevat, että kohoaminen johtuu kuormituksen

jälkeisestä äänihuulten jäykistymisestä tai tehostuneen verenkierron aiheuttamasta äänihuulten massan kasvusta. (Enflo 2013.)

Näiden tutkimusten perusteella äänen lämmittely ei siis näytä aiheuttavan kynnyspaineen alenemista eikä estävän äänen väsymistä. Sekä Milbrath ja Solomon (2003) että Motel ym. (2003) kannustavat tutkimaan lämmittelyn vaikutuksia kynnyspainetta tarkemmin mittauksin, esimerkiksi perturbaatiota tutkimalla.

### *3.4 Akustisten mittausten ilmentämät vaikutukset*

Amir ym. (2005) tutkivat lämmittelyn vaikutuksia koulutettujen laulajien äänen laatuun akustiikan keinoin. Perussävelvaihtelua (jitter, RAP ja PPQ), amplitudivaihtelua (shimmer ja APQ) sekä hälyä (NHR ja VTI) mittaavien muuttujien lisäksi tutkijat selvittävät, parantaako lämmittely säveltarkkuutta ja esiintyykö koehenkilöiden spektreissä lämmittelyn seurauksena (vahvempi) laulajanformantti, joka ilmentää kantavaa ja hyvin soivaa ääntä. Ero todetaan SPR:n avulla. Tutkimukseen osallistui 20 sopraanoa tai mezzosopraanoa, jotka joko opiskelivat laulua tai olivat jo valmistuneet. Mittaukset suoritettiin /a:/- ja /i:/-vokaaleilla matalalta, keskikorkeudelta ja korkealta (20, 50 ja 80 % henkilön äänialasta) ennen lämmittelyä ja sen jälkeen. Osallistujat lämmittelivät ääntään kukin tyylillään itse määrittelemänsä ajan, keskimäärin 11 minuuttia (vaihtelu 7–23 minuuttia).

Lämmittelyn vaikutus näkyi akustisissa mittauksissa. Useimmat mitattavat arvot paranivat lämmittelyn seurauksena. Merkittävät erot löydettiin perussävelen ja amplitudin perturbaation määrässä (jitter, RAP ja PPQ; shimmer ja APQ) sekä laulajanformantin vahvistumisessa (SPR). Myös soinnillisen aineksen ja kohinan suhdetta mittaava NHR-arvo oli merkitsevästi parempi lämmittelyn jälkeen, mutta toisaalta toinen kohinaa mittaava indeksi VTI ei muuttunut juurikaan. Myöskään säveltarkkuus ei näyttänyt olevan lämmittelystä riippuvainen.

Tulokset osoittavat, että lämmittelyn aiheuttamat muutokset perussävelen vaihtelussa ovat selvempiä matalalta sävelkorkeudelta (20 % osallistujan äänialasta) äännetyissä näytteissä korkeammalta äänitettyihin näytteisiin verrattuna. Lämmittelyn seurauksena perussävelvaihtelu vaikuttaa myös vähenevän enemmän mezzosopraanoilla kuin sopraanoilla.

Amir ym. (2005) toteavat, että lämmittelyn vaikutukset näyttävät perustuvan äänihuulivärähtelyn säännöllisyyden paranemiseen. Tulokset tukevat teoriaa, jonka mukaan vaikutukset johtuvat lihasten lämpötilan nousun aiheuttamista muutoksista niiden toiminnassa (vrt. luku 3.2). Lämmittely vaikuttaisi siis nimenomaan äänihuulten ytimeen.

Tutkijat toteavat myös, että lämmittely tuskin vaikuttaa merkittävästi äänihuulten adduktioon. Tätä ilmentävät NHR:n ja VTI:n ristiriitaiset tulokset. NHR, joka siis kuvaa äänessä esiintyvän kohinan sekä soinnillisen aineksen suhdetta, mittaa kohinan määrää alueelta 1500–4500 Hz. Epäsäännöllinen äänihuulivärähtely vaikuttaa äänen osasäveliin ja äänikatkosten, turbulenssihälyn sekä jitterin ja shimmerin esiintymiseen. Nämä tekijät heijastuvat NHR:ään. VTI puolestaan kertoo korkeammilla taajuuksilla (2800–5800 Hz) esiintyvän kohinan suhteen soinnilliseen ainekseen. Ääntä, jossa esiintyy tällaista kohinaa, kutsutaan vuotoiseksi. Vuotoisuuden aiheuttaa yleensä äänihuulten epätäydellinen tai löyhä sulkeutuminen eli adduktio. Koska lämmittelyn seurauksena NHR-arvot paranivat, mutta VTI-arvot eivät, tutkijat olettavat, että lämmittely vaikuttaa äänihuulivärähtelyyn eikä niinkään adduktiovaiheeseen. Eroihin saattaa tutkijoiden mukaan vaikuttaa myös laulajanformantin esiintyminen, mikä käytännössä tarkoittaa ääniväylän resonanssin muuttumista niin, että äänienergian osuus 3 kHz:n tienoilla kasvaa. Myös tämä ero heijastuisi enemmän NHR:ään kuin VTI:hin. (Amir ym. 2005.)

Myös McHenry ym. (2009) havaitsivat lämmittelyn vaikuttavan akustisiin mittausravoihin sen lisäksi että osallistujien itse arvioima työläyden kokemus väheni. Heidän tutkimuksessaan 10 miestä ja 10 naista suorittivat yhdessä koeasetelmassa 20 minuuttia kestäneen äänen lämmittelyn ja toisessa 5 minuuttia kestäneen koko kehon aerobisen lämmittelyn ennen 20 minuutin äänen lämmittelyä. Osallistujat olivat ääniharjoituksiin tottuneita henkilöitä.

Koko kehon ja pelkkään äänentuottojärjestelmään keskittyvän lämmittelyn vaikutusten eroista ei saatu selkeitä tuloksia, mutta jitter ja NHR paranivat sekä miehillä että naisilla joko yhdessä tai kummassakin koeasetelmassa. Tutkimuksessa havaittiin myös kynnyspaineen madaltuvan, naisilla sekä koko kehon että pelkän äänen lämmittelyn myötä, mutta miehillä pelkästään äänen lämmittelyn seurauksena. Yleisempää kehon lämmittelyä ja sukupuolen merkitystä lämmittelyn onnistumiseen käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.

Amirin ym. (2005) tavoin Leino ym. (2011) tutkivat resonanssin parantumista lämmittelyn seurauksena. He tarkastelivat spektreissä vokaalien formanttitaajuuksia ja pitkäaikaisspektrissä puhujanformanttia. Näytteet arvioitiin myös kuuntelukokeessa. Lisäksi tutkijat pyrkivät selvittämään matemaattisesti mallintaen, millaiset reaktiot ääniväylässä saavat aikaan resonanssin muuttumisen.

Tutkimuksen aineistona olivat suomalaisen miespuolisen ammattinäyttelijän luenta ja äännöt suomen kielen vokaaleista ennen lämmittelyä ja sen jälkeen. Kolmenkymmenen minuutin lämmittelyssä näyttelijä käytti Niilo Kuukan harjoitussarjaa, jossa nasaaliääntö on suuressa osassa. Harjoituksissa toistellaan tavusarjoja vaihdellen sävelkorkeutta, voimakkuutta ja rytmiä.

Tutkimuksessa ilmenee, että lämmittelyn seurauksena vokaalinäytteissä formantti 3 nousi, ja formantit 4 ja 5 laskivat ja liikkuivat toisiaan lähemmäs muodostaen klusterin. Puhujanformantti on selvästi huomattavampi lämmittelyn jälkeen äänitetyn näytteen pitkäaikaisspektrissä. Spektrin kolmas huippu on lisäksi siirtynyt korkeammille taajuuksille. Odotusten mukaisesti lämmittelyn jälkeen äänitetyt näytteet arvioitiin kuunteluanalyseissä paremmiksi kuin lämmittelyä ennen äänitetyt. (Leino ym. 2011.)

Matemaattisen mallintamisen tuloksena näyttää siltä, että resonanssin muuttuminen ääniväylässä aiheutuu epilarynxin hienoisesta kaventumisesta sekä suuontelon takaosan laajentumisesta ja sen etuosan kaventumisesta. Tutkijat toteavat, että toivotut muutokset voidaan saavuttaa laskemalla kurkunpäästä ja korjaamalla kielen asentoa etisemmäksi. Myös kielen kannan alentamisella on merkitystä. Tällaisiin asetuksiin houkuttelee esimerkiksi lämmittelyharjoituksissa käytetty nasaaliääntö. (Leino ym. 2011.)

Laukkanen, Horáček ja Havlík (2012) vahvistavat tätä käsitystä tutkimalla lämmittelyn ääntöväylässä aikaansaamia muutoksia magneettikuvauksen avulla. Tutkimukseen osallistujista toinen oli miespuolinen laulaja ja toinen naispuolinen äänenkäytön kouluttaja. Kumpikin lämmitteli ääntään muutamia minutteja itse valitsemaansa tapaan. Ennen lämmittelyä ja sen jälkeen osallistujat pitivät yllä vokaalien /a/, /i/ ja /u/ ääntöä 20 sekuntia.

Laukkanen ym. (2012) osoittavat, että lämmittelyn jälkeen vokaaliäännöistä tehtyjen spektrien ylemmät formantit klusteroituivat ja äänienergia voimistui 2–4 kHz alueella. Lisäksi äänenpainetaso nousi 4–10 dB. Magneettikuvista ilmenee, miten lämmittelyn myötä laulajalla kurkunpään asema aleni, nielun ja epilarynxin alue piteni ja kielen paikka oli matalampi, mikä aiheutti suuontelon laajenemisen. Naisella kielen asema kaareutui ja muuttui etisemmäksi, ja nielu laajeni erityisesti suppeiden vokaalien (/i/ ja /u/) kohdalla. Tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että laulajan- ja puhujanformantin aiheuttaa nielun alaosan ja epilarynxin alan välisen suhdeluvun kasvaminen. (Laukkanen ym. 2012.)

Samansuuntaiset tulokset havaittiin Laukkasen, Horáčekin, Krupan ja Švecin (2012) tutkimuksessa, jossa lämmittelyn korvasi juomapilliin ääntäminen. Magneettikuvat otettiin ennen vähintään minuutin mittaista pilliin ääntämistä ja sen jälkeen yhdeltä osallistujalta, joka oli kokenut äänenkäytön kouluttaja. Tämän lisäksi samalta henkilöltä ja kymmeneltä muulta naispuoliselta osallistujalta (ikä 22–50 v.) äänitettiin vokaalia /a:/ kolmesti ennen pilliin ääntämistä ja sen jälkeen. Pilliin ääntämisen aikana tavoiteltiin mahdollisimman voimakkaita resonanssituntemuksia suussa, huulilla ja kasvoilla. Tutkimus osoittaa, että akustisissa mittauksissa formanttien esiintymistaajuuksissa havaittavat muutokset olivat suuremmat kokeneella äänenkäytön kouluttajalla kuin muilla koehenkilöillä. (Laukkanen ym. 2012.)

Van Lierde ym. (2011) ovat selvittäneet äänilämmittelyn vaikutuksia äänen laatuun Dysphonia Severity Indexin avulla. Tutkimukseen osallistui 90 puheterapeutiksi opiskelevaa henkilöä, joista puolet lämmitteli ääntään ja puolet kuului verrokkiryhmään. Opiskelijoiden ei katsottu olevan ääniammattilaisia eikä heillä ollut kokemusta äänen harjoittamisesta. Mittausasetelmiin kuuluivat maksimiäänönkesto, äänialatutkimus (VRP), perustaajuus (F0) sekä jitter, shimmer ja NHR. Ohjattu puolen tunnin lämmittely piti sisällään muun muassa äänenkäyttöön osallistuvien lihasten venyttelyä, nousevia ja laskevia sävelkuvioita ja resonanssiharjoittelua.

Van Lierde ym. (2011) saivat rohkaisevia tuloksia mittausmenetelmän valinnasta. Kolmekymmentä minuuttia kestäneen äänen lämmittelyn jälkeen osallistujien DSI nousi 82 prosentista 97 prosenttiin. Selkeimmin lämmittelyn vaikutus näkyy siinä, että lämmittelyn jälkeen osallistujat kykenivät tuottamaan hiljaisempaa ääntä ja korkeampia säveliä. Äänen ilmaisuvoiman voidaan siis katsoa kasvaneen lämmittelyn ansiosta. Lämmittelyn suorittaneilla myös perustaajuus kohosi. Erot ovat tilastollisesti merkitseviä. Verrokkiryhmän DSI laski äänilevon vaikutuksesta 85 prosentista 84:ään eikä merkitseviä eroja havaittu.

Van Lierden ym. (2011) tutkimuksessa ei keskitytä selvittämään, mikä muutokset sai aikaan. Lämmittelyharjoitukset on kuitenkin valittu siten, että niillä pyritään parantamaan kurkunpään lihasten dynamiikkaa ja joustavuutta ja lisäämään tietoisuutta äänen tuottamisesta. Van Lierde ym. olettavat, että tutkimukseen osallistuneiden kokemattomuus äänen harjoittamisessa vaikuttaa yhtenä tekijänä siihen, etteivät jitter- ja NHR-arvot parane lämmittelyn myötä.

### *3.5 Yhteenvetoa aiemmasta tutkimuksesta*

Van Lierde ym. (2011) ja Laukkanen, Horáček & Havlík (2012) huomauttavat, että aiempien äänen lämmittelyä koskevien tutkimusten tuloksia on hankalaa vertailla keskenään, koska tutkimusasetelmat ovat keskenään niin erilaisia. Tutkimukseen osallistujien äänenkäyttökokemus on eritasoista, ja lämmittelyn kesto ja osallistujien suorittamat tehtävät vaihtelevat. Vaikutuksia tutkitaan eri menetelmin, eikä tutkimukseen osallistujien määrä ole sama. Joissain tutkimuksissa osallistujien itsearviointia ei ole sisällytetty tutkittavaan materiaaliin. (Laukkanen ym. 2012; Van Lierde ym. 2011.)

Parhaat tulokset näyttävät seuraavan lämmittelystä, jossa yhdistetään rentoutumiseen, vartalon asentoon, hengitystekniikkaan ja resonanssiin liittyvät harjoitukset. Lämmittelyn vaikutukset perustuvat ilmeisesti parannuksiin äänihuulivärähtelyn ja hengitysmekanismien hallinnassa sekä ääniväylän resonanssissa. Näiden seurauksena ääni on tasaisempi ja soivampi.

Tasaisuus paranee lämmittelyn jälkeen erityisesti matalilla sävelkorkeuksilla, joilla äänihuulet eivät ole yhtä jännittyneet kuin korkeilla. Hyvin resonoivassa ääniväylässä kurkunpää on alhaalla tai nielu laajentunut, ja kielen paikka on etinen. Lämmittelyn ansiosta äänen tuottaminen tuntuu helpommalta ja äänen ilmaisuvoima kasvaa, kun ääntä voidaan käyttää monipuolisemmin eri korkeuksilla ja voimakkuuksilla.

Aiemman tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että lämmittelyn vaikutukset näkyvät parhaiten akustisten mittausten tai osittain niitä hyödyntävän Dysphonia Severity Indexin avulla. Ne ovat tarpeeksi tarkkoja, että niillä voidaan havaita pienetkin erot äänen laadussa.

Tutkimusten mukaan lämmittely ei nosta äänialaa eikä paranna säveltarkkuutta. Joidenkin tutkimusten mukaan keskimääräinen perustaaajuus nousee. On epäselvää, onko yleinen lämmittely äänen kannalta tehokkaampaa kuin täsmälämmittely, sillä naisten ja miesten tulokset ovat asian suhteen vastakkaiset.

Kynnyspaineen ja puhujan kokeman ääntämisen työläyden välillä ei vaikuta olevan riippuvuussuhdetta, toisin kuin on oletettu. Kynnyspaine näyttää kohoavan lämmittelystä riippumatta korkeilla sävelkorkeuksilla, mikä saattaa liittyä äänihuulia verisuonien vahingoittumiselta suojaavaan iskemiaan. Kohonnut kynnyspaine korkeilla sävelillä saattaa osaltaan vaikuttaa äännön tasaisuuteen, kun lihasviskositeetti kasvaa. Matalimpaan mahdolliseen törmäyspaineeseen lämmittely näyttää vaikuttavan kohottavasti. Tämä saattaa johtua äänihuulten massan kasvamisesta, kun verenkierto tehostuu.

Aiemman tutkimuksen perusteella voidaan erotella muutamia teemoja, jotka saattavat vaikuttaa äänen lämmittelyn onnistumiseen. Selvitän seuraavissa alaluvuissa, miten lämmittelijän kokemus, sukupuoli ja ääniala sekä lämmittelyn laajuus saattavat vaikuttaa lämmittelystä tavoiteltaviin tuloksiin.

### 3.5.1 Lämmittelijän kokemus

Tähänastiset tutkimukset antavat selviä viitteitä siitä, että tottumus äänen harjoittamiseen on tulosten kannalta merkityksellinen tekijä. Koulutettujen äänenkäyttäjien kohdalla lämmittely selvästi parantaa äänen laatua, mikä on todettavissa sekä kuunteluarvioinneissa että objektiivisesti akustisten mittausten avulla, kuten äänenpainetason nousuna laulajan- tai näyttelijänformantin alueella tai yleisesti koko signaalissa.

Äänen harjoittamiseen tottumattomien kohdalla ei ole havaittu yhtä suuria vaikutuksia. Milbrath ja Solomon (2003) epäilevät, että tottumattomilla yksi lämmittelykerta ei ehkä ole riittävä muuttamaan äänen laatua, tai sitten koehenkilöt eivät kykene ylläpitämään lämmittelyn

aiheuttamia muutoksia äänentuottoelimistössään. Laukkanen, Horáček, Krupa ja Švec (2012) havaitsivat pilliin ääntämisen aiheuttavan akustisissa mittauksissa pienemmät muutokset niillä koehenkilöillä, joilla oli vähemmän kokemusta äänenharjoittamisesta.

Tottumuksen merkitystä lämmittelyn onnistumiseen tukee Leinon ym. (2011) huomio, jonka mukaan spektrissä esiintyvää ”puhujanformanttia on mahdollista voimistaa lyhyen lämmittelyharjoituksen avulla, ainakin jos kyseinen puheen piirre on aikaisemmin saavutettu ääntä harjoittamalla”. Myös Laukkanen, Horáček ja Havlík (2012) arvelevat, että äänen lämmittely palauttaa mieleen aiemmin opitut, äänenkäytön kannalta hyödylliset lihastoiminnot. He arvelevat, että tottuneiden äänenkäyttäjien taustat vaikuttavat siihen, miten tavoitellut vaikutukset pyritään saavuttamaan. Esimerkiksi klassisen laulun koulustraditiossa painotetaan kurkunpään laskua, puheen harjoittamisessa puolestaan avointa väylää (*open throat*). Tutkimuksessa molemmilla tavoilla tehdyllä lämmittelyllä saavutettiin parantuneita arvoja. (Laukkanen ym. 2012.) Tottumus ei siis vaikuta pelkästään äänen harjoittamisen onnistumiseen vaan myös siihen, millaisia harjoituksia tehdään.

Päätelmät käyvät yksiin Amirin ym. (2005) tutkimuksen kanssa. Sen kaikki osallistujat opiskelivat laulamista ja olivat siis hyvin tottuneita äänenkäyttäjiä. Lämmittely paransi heidän suorituskyykyään. He lämmittelivät kukin parhaaksi katsomallaan tavalla eli itselleen tutuilla keinoilla. Tämä osoittaa, että he ovat saavuttaneet positiiviset vaikutukset samoilla harjoituksilla aikaisemminkin.

Toisaalta Elliot ym. (1995) pohtivat koehenkilöiden kokemuksen merkitystä tuloksiin päinvastaisesta näkökulmasta. He eivät halunneet tutkimuksensa koehenkilöiksi ammattilaulajia, koska näiden äänen voidaan katsoa olevan koko ajan ”enemmän tai vähemmän lämmitelty”, eivätkä erot ennen lämmittelyä ja sen jälkeen siksi välttämättä olisi olleet kovin selviä. Tämä oli perusteltua, sillä Enflon ym. (2013) tutkimus osoittaa, että putkeen ääntämisen vaikutus näkyi nimenomaan kouluttamattomilla laulajilla, jotka eivät harjoittaneet ääntään päivittäin.

Myös Van Lierde ym. (2011) havaitsivat lämmittelyn vaikuttavan koehenkilöiden ääneen, vaikka nämä eivät olleet harjoittaneet ääntään aikaisemmin. Merkitystä saattaa olla kuitenkin sillä, että vaikka osallistujat eivät harjoittaneet ääntään säännöllisesti, heillä oli tulevina puheterapeutteina hyvät tiedot äänihygieniasta (ks. Van Lierde ym. 2011:117). Esimerkiksi Ilomäki (2008:72) on osoittanut, että joissain tapauksissa pelkkä äänihygienialuento saattaa hyödyttää äänenkäyttäjää, jos tämä on aktiivinen ja työstää itse saamaansa tietoa tietotaidoksi. Van Lierde ym. (2011) olettavat kuitenkin, että osallistujien kokemattomuus vaikuttaa yhtenä tekijänä NHR- ja jitter-arvojen muuttumattomuuteen.

Koska lämmittely vaikuttaa toimivan varmemmin tottuneilla kuin tottumattomilla äänenharjoittajilla, voidaan olettaa, että äänen lämmittely tai äänen harjoittaminen parantaa yksilön tietoisuutta oman äänensä tuottamisesta. Mitä enemmän ääntään harjoittaa, sitä paremmin pystyy toteuttamaan muutokset, joilla tavoitellaan terveellisempää äänentuottotapaa.

### 3.5.2 Lämmittelyn laajuus

Tutkimus lämmittelyn vaikutuksista suhteessa lämmittelyn laajuuteen ei ole antanut selkeitä vastauksia. McHenry ym. (2009) pohjaavat tutkimusasetelmansa Amirin ym. 2005 tuloksiin, joiden mukaan koko kehon kattavalla lämmittelyllä saavutetaan selvää akustista hyötyä. Kun harjoituksissa kiinnitettiin huomiota asentoon, hengitystekniikkaan ja rentouteen, esimerkiksi amplitudiperturbaatio väheni, minkä voidaan tulkita johtuvan parantuneen äänihuulten hallinnan lisäksi parantuneesta hengitysmekanismien hallinnasta. McHenry ym. olettivat, että koko kehon aerobinen lämmittely lisäisi äänen lämmittelyn vaikutuksia kohottamalla kehon lämpötilaa ja tehostamalla verenkiertoa.

Lämmittelyn jälkeen miehet tunsivat äänen tuottamisen helpottuvan enemmän yleisen lämmittelyn seurauksena, mutta objektiivisten mittaustulosten perusteella lämmittelyn vaikutus näkyi selkeämmin täsmälämmittelyn jälkeen. Naiset puolestaan kokivat hyötyvänsä yleisestä ja täsmälämmittelystä yhtä paljon, mutta yleisen lämmittelyn jälkeen heidän kaikki mittausarvonsa paranivat, toisin kuin täsmälämmittelyn jälkeen. Tutkijat arvelevat, että miesten paremmalla fyysisellä kunnolla saattaa olla vaikutusta siihen, että täsmälämmittely toimii heillä paremmin. Toisaalta erot saattavat johtua myös äänihuulten rakenne-eroista sukupuolten välillä. Tutkijat toteavat, että keskimääräisessä kunnossa olevat naiset saattavat hyötyä yleisemmästä lämmittelystä. (McHenry ym. 2009.)

### 3.5.3 Lämmittelijän ääniala ja sukupuoli

Amirin ym. (2005) mukaan lämmittelyn vaikutukset näkyvät selvemmin matalilla säveltaajuuksilla: mezzosopraanojen perussävelvaihtelua mittaavat arvot (jitter, RAP, PPQ) paranivat kolminkertaisesti sopraanoihin verrattuna. Tutkijat arvelevat, että heidän löytämänsä erot johtuvat mezzosopraanojen äänihuulten suuremmasta koosta ja massasta. Matalilla sävelkorkeuksilla äänihuulet ovat vähemmän jännittyneet ja niiden värähtelevä massa suurempi, joten ne ovat alttiimmat epäsäännölliselle värähtelylle. Lihasten lämmittelyn on fysiologiassa todettu vaikuttavan lähinnä lihasmassaan. Tämä lienee syynä siihen, että perussävelperturbaatio on

sekä mezzosopraanoilla että sopraanoilla ennen lämmittelyä suurempi matalilla kuin korkeilla sävelillä, mutta samalla tasolla kaikilla sävelkorkeuksilla lämmittelyn jälkeen. (Amir ym. 2005.) Oletusta tukee Motelin ym. (2003) päätelmä siitä, että viskositeetin kasvu korkeilla sävelkorkeuksilla rajoittaa äänihuulten värähtelyä ja vakauttaa ääntä. Tutkijat ovat tosin erimielisiä siitä, johtuuko äännön tasaisuus muutoksista äänihuulten lihaksessa vai limakalvossa. Amir ym. (2005) ehdottavat tulevaisuuden tutkimusaiheeksi, onko lämmittelyn vaikutuksissa eroa äänialojen välillä.

#### 3.5.4 Lämmittelyn ajankohta

Voidaan myös spekuloida, onko tulosten kannalta merkityksellistä, mihin aikaan päivästä kokeet on tehty. Van Lierden ym. tutkimuksessa (2011) akustiset mittaukset tehtiin aamulla, jolloin koehenkilöt eivät todennäköisesti vielä olleet käyttäneet ääntään juurikaan eivätkä ehkä vielä kokeneet tavallisen puheen aiheuttamaa lämmittelyvaikutusta. Voisiko lämmittelyharjoitusten suuri vaikutus johtua osittain siitä, että ääni ei ollut lämmennyt vielä käytön myötä? Esimerkiksi Amirin ym. (2005) kokeet tehtiin iltapäivällä, ja koehenkilöitä neuvottiin olemaan laulamatta ja lämmittelemättä ääntään ennen tutkimuksia. Puhumista tuskin kuitenkaan vältettiin. Myöhäisestä äänitysajankohdasta huolimatta Amir ym. (2005) esittävät selvät lämmittelyn puolesta puhuvat tulokset. Merkitystä saattaa olla myös sillä, että nämä kaksi tutkimusta käsittelevät ääntä eri lailla tuotettuina, Amir ym. (2005) lauluääntä ja van Lierde (2011) puheääntä.

## 4 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, onko äänen lämmittelijän äänenharjoittamiskokemuksella tai sen puutteella merkitystä äänen lämmittelyn vaikutuksiin, kun vaikutuksia mitataan akustisesti ja arvioidaan subjektiivisesti. Toisena tavoitteena on vahvistaa, vaikuttaako äänen lämmittely äänihuulten värähtelyn tasaisuuteen. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten tottumattomien ja tottuneiden äänenharjoittajien DSI-arvo muuttuu lämmittelyn seurauksena?
2. Paranevatko tottuneilla äänenharjoittajilla useammat mitattavat arvot kuin tottumattomilla?
3. Miten tottumattomat ja tottuneet äänenharjoittajat arvioivat äänen tuottamisen työläyttä ennen äänen lämmittelyä ja sen jälkeen?
4. Miten äänen lämmittely vaikuttaa perturbaatiota mittaaviin jitteriin ja shimmeriin ja hälyä mittaavaan NHR:ään?

Hypoteesi on, että äänen lämmittelijän tottumus on merkittävä tekijä, kun lämmittelyn vaikutuksia mitataan objektiivisin menetelmin. Tämä näkyisi DSI-arvon sekä useimpien yksittäisten muuttujien parantumisenä tottuneilla äänenharjoittajilla. Myös koetun äännön työläyden odotetaan vähenevän lämmittelyn myötä. Tottumattomien äänenharjoittajien DSI-arvon ei oleteta paranevan yhtä paljon kuin tottuneiden äänenharjoittajien, jos lainakaan, eikä heidän välttämättä oleteta kokevan, että äänen lämmittely helpottaisi äänen tuottamista. Aiemman tutkimuksen perusteella (esim. Amir ym. 2005, McHenry ym. 2009) vaikuttaa siltä, että lämmittelyn vaikutus perustuu äänihuulivärähtelyn hallinnan paranemiseen. Tämä näkyisi tuloksissa siten, että jitter-, shimmer- ja NHR-arvot paranevat. Näiden arvojen odotetaan kuitenkin paranevan ainoastaan tottuneilla äänenharjoittajilla (vrt. Van Lierde ym 2011).

Van Lierden ym. (2011) tutkimuksessa suurimmat muutokset DSI:hin kuuluvista muuttujista havaittiin korkeimman mahdollisen sävelen ja hiljaisimman mahdollisen äännön kohdalla. Koehenkilöillä ei ollut kokemusta äänen harjoittamisesta. Tässäkin tutkimuksessa sekä tottumattomien että tottuneiden äänenharjoittajien oletetaan kykenevän lämmittelyn jälkeen

tuottamaan korkeampaa ja hiljaisempaa ääntä. Tutkijan oman kokemuksen perusteella myös maksimiäännekeston uskotaan pitenevän molemmissa ryhmissä lämmittelyn myötä.

Koska parannusten oletetaan johtuvan äänen lämmittelystä, verrokkiryhmän arvojen ei oleteta muuttuvan merkittävästi. Aiemman tutkimuksen perusteella verrokkiryhmän DSI-arvon voidaan odottaa huonontuvan (Van Lierde ym. 2011).

# 5 TUTKIMUSASETELMAT

## 5.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 15 20–30-vuotiasta naista (keski-ikä 27 v., SD  $\pm 2$ ). Osallistujat muodostivat kolme ryhmää: 1. tottumattomat äänenharjoittajat, 2. tottuneet äänenharjoittajat ja 3. verrokkiryhmä. Kolme tottumattomista ei ollut harjoittanut ääntään aikaisemmin. Tottumattomien ryhmään hyväksyttiin kaksi henkilöä, jotka olivat joskus aikaisemmin kokeilleet äänen lämmittämistä, mutta eivät koskaan tehneet sitä säännöllisesti. Kokeiluluontoisen äänen lämmittämisen ei katsottu riittävän tuomaan henkilölle tottumusta, jonka vaikutuksia tutkimuksessa pyrittiin selvittämään. Ryhmään 2 kuuluvat olivat puhetekniikan ja vokologian opiskelijoita ja ilmoittivat harjoittavansa ääntään useita kertoja viikossa. Heidän oletettiin siis olevan äänen harjoittamisessa hyvin tottuneita. Verrokkiryhmästä neljällä oli aiempaa kokemusta äänen harjoittamisesta, ja kaksi heistä harjoitti ääntään säännöllisesti.

## 5.2 Lämmittelyohjelma

Tottumattomat ja tottuneet äänenharjoittajat lämmittelivät ääntään tutkijan ohjeistamana noin 15 minuuttia ja antoivat ääninäytteet sekä sitä ennen että välittömästi sen jälkeen. Verrokkiryhmällä äänilämmittelyn korvasi 15 minuuttia kestävä äänilepo eli puhumattomuus. Lämmittelyohjelma oli etukäteen koostettu luvussa 2.3 esitellyn äänen harjoittamisen mallin mukaan (kuvio 2), niin että kukin äänen tuottamisen osa-alue otettiin huomioon. Ohjelma sisälsi siis monipuolisesti erilaisia, sekä äänentuottoelimistön että muun kehon lämmittelyyn tarkoitettuja harjoituksia. Niiden lisäksi kiinnitettiin huomiota kehon ja erityisesti niska-hartiaseudun rentouteen ja asentoon. Kun ohjelma oli tehty läpi, osallistujalta kysyttiin, tunsiko hän äänessään muutosta vai halusiko hän vielä jatkaa lämmittelyä. Lämmittelyohjelma on liitteenä 3.

## 5.3 Aineisto

Tutkimusaineisto koostuu kahdesta osasta: osallistujilta kerätyistä lomaketiedoista sekä äänen lämmittelyä tai lepuuttamista ennen ja sen jälkeen suoritetuista äänityksistä ja niistä tehdyistä akustisista mittauksista. Osallistujat täyttivät tutkimuksen eri vaiheissa kolme lomaketta. Ennakkotietolomake (liite 1) kartoitti tutkimukseen osallistuvan ääneen vaikuttavia tekijöitä ja kokemusta äänen käyttämisestä ja harjoittamisesta. Toinen lomake (liite 2) täytettiin kahteen kertaan eri päivinä tehtävien äänitysten yhteydessä. Siinä kysyttiin äänen vointia äänityspäivänä sekä osallistujan omaa arviota äänen laadusta ja äänen tuottamisen työläydestä kullakin äänityskerralla. Äänen tuottamisen työläys arvioitiin merkitsemällä rasti janalle.

### 5.3.1 Äänitykset

Ennen varsinaista äänityspäivää kukin osallistuja kävi suorittamassa äänitykset kertaalleen. Näin pyrittiin varmistamaan, etteivät mahdolliset muutokset lämmittelyn tai äänilevon jälkeen tehdyissä äänityksissä johtuisi osittain siitä, että äänitystilanne ja -tehtävät olisivat ennen lämmittelyä tai äänilepoa olleet vieraita.

Aineisto äänitettiin äänieristetyssä huoneessa (12,5 m<sup>3</sup>) Tampereen yliopiston Puheen ja äänen tutkimuksen laboratoriossa. Aineiston tallentamisessa käytettiin Brüel & Kjaer Mediator (2238) -mikrofonia. Mikrofonin asetettiin 40 cm:n etäisyydelle puhujan huuliosta. Aineisto tallennettiin PC Windows XP:llä käytetyllä Sound Forge 7,0 -ohjelmalla (16 bittiä, näytteenottotaajuus 44,1 kHz). Ulkoinen äänikortti oli mallia Roland Quad-Capture. Aineiston analyysit tehtiin puheen ja äänen tutkimukseen kehitetyllä Praat-ohjelmalla (versio 5.3.26).

Ensin osallistujat antoivat näytteen maksimiäänönkestosta, joka tehtiin ääntämällä vokaalia /a/ mahdollisimman pitkään. Äänteen perussävel ja äänenvoimakkuus vakioitiin samaksi osallistujan kullakin äänityskerralla, niin että näytteet olivat keskenään vertailukelpoisia. Sen jälkeen osallistujat pyrkivät tuottamaan mahdollisimman hiljaisen sävelen ja sitten mahdollisimman korkean sävelen liukumalla totutulta puhekorkeudeltaan niin korkealle kuin pystyivät. Myös nämä ääntötehtävät tehtiin /a/-äänteellä. Desibelimittari ja MDVP-ohjelman (Kay Elemetrics Corp. 1993) fonetogramminäkymä näyttivät visuaalisen palautteen äänen voimakkuudesta ja sävelkorkeudesta. Fonetogrammissa koehenkilön ääntö piirtyy kuvaajaan, jonka vaaka-akselilla on taajuus ja pystyakselilla voimakkuus. Kukin tehtävistä suoritettiin kolme kertaa, ja niistä valittiin aineistoon paras suoritus. Lopuksi koehenkilöt lukivat sivun mittaisen tekstin.

### 5.3.2 Analyysit

Ääninäytteistä mitattiin DSI:hin tarvittavat arvot: maksimiäänönkesto sekunteina, korkein sävel hertseinä, hiljaisin sävel desibeleinä sekä vokaaliäänöstä mitattu prosentuaalinen jitter-arvo. DSI laskettiin seuraavalla kaavalla:  $DSI = 0,13 \times \text{maksimiäänönkesto} + 0,0053 \times \text{korkein sävel} - 0,26 \times \text{hiljaisin sävel} - 1,18 \times \text{jitter} + 12,4$  (Wuyts ym. 2000). Lisäksi vokaaliäänöstä analysoitiin kohinaa mittaava NHR. Edellisten tueksi mitattiin myös shimmer-arvo.

# 6 TULOKSET

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen tulokset. Tarkastelun kohteena ovat ensin muuttajat, joiden kohdalla on nähtävissä selkeimmät erot ennen- ja jälkeen-asetelmissa. Sen jälkeen tuloksia käsitellään tarkemmin osallistujaryhmittäin. Koska kunkin ryhmän osallistujamäärä on pieni, tarkastelen ryhmien tuloksia lähinnä kuvaillen.

Tulokset on koottu taulukkoon 1 ryhmittäin. Tulosten tilastolliseen analysoimiseen käytettiin SPSS-ohjelmaa (versio 20). Muuttujien jakauman normaaliutta tutkittiin Kolmogorov-Smirnovin testillä. Normaalijakautuneille joukoille tehtiin Studentin T-testi ja ei-normaalisti jakautuneille Wilcoxon Signed Rank -testi. Tilastollisesti merkitsevät erot havaittiin äännön koetun työläyden vähenemisessä tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla sekä shimmer-arvoissa tottumattomilla äänenharjoittajilla.

Kuviot 3 ja 4 havainnollistavat muutokset DSI:ssä tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla sekä verrokkiryhmällä. Kuvio 3 ilmaisee ryhmien keskiarvot ja kuvio 4 kukin osallistujan tulokset. Kuviosta 4 ilmenee, että yhteensä DSI-luku parani kuudella osallistujalla. Näistä yksi oli tottumaton ja kaksi tottuneita äänenharjoittajia ja loput kolme kuuluivat verrokkiryhmään, jonka koeasetelmaan ei kuulunut äänen lämmittelyä (ks. myös taulukko 1).

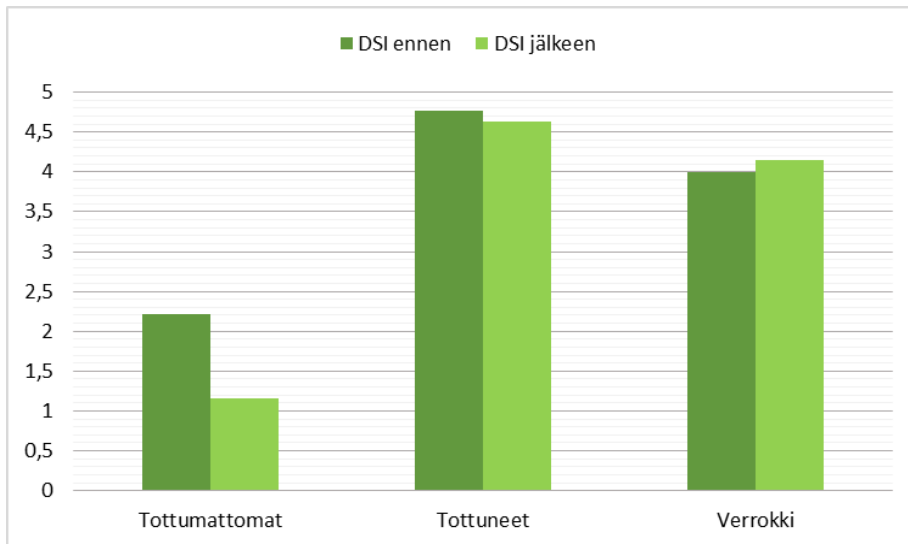
Selkeimmät muutokset ennen- ja jälkeen-asetelmien välillä voidaan havaita työläyden kokemuksessa sekä NHR-, jitter- ja shimmer-arvoissa. Kuviot 5–8 esittävät muutoksia näissä muuttujissa ryhmittäin. Kuvio 5 ilmentää, että lämmittely on helpottanut äänen tuottamista subjektiivisesti arvioituna sekä tottumattomilla että tottuneilla äänenharjoittajilla, siinä missä verrokkiryhmässä työläyden koettiin hieman kasvaneen äänilevon myötä. Tutkimukseen osallistuneista 12 ilmoitti koetun työläyden vähentyneen lämmittelyn tai äänilevon jälkeen. Tottuneista äänenharjoittajista kaikki kokivat työläyden vähentyneen. Niistä kolmesta, jotka ilmoittivat työläyden kasvaneen, yksi oli tottumaton äänenharjoittaja ja kaksi kuului verrokkiryhmään, joka ei lämmitellyt ääntään.

NHR parani 10 osallistujalla, keskimäärin enemmän tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla kuin verrokkiryhmällä (kuvio 6). Jitter-arvot paranivat 11 osallistujalla. Muutos parempaan ei näy tottumattomien äänenharjoittajien keskiarvossa, joka huononi hieman.

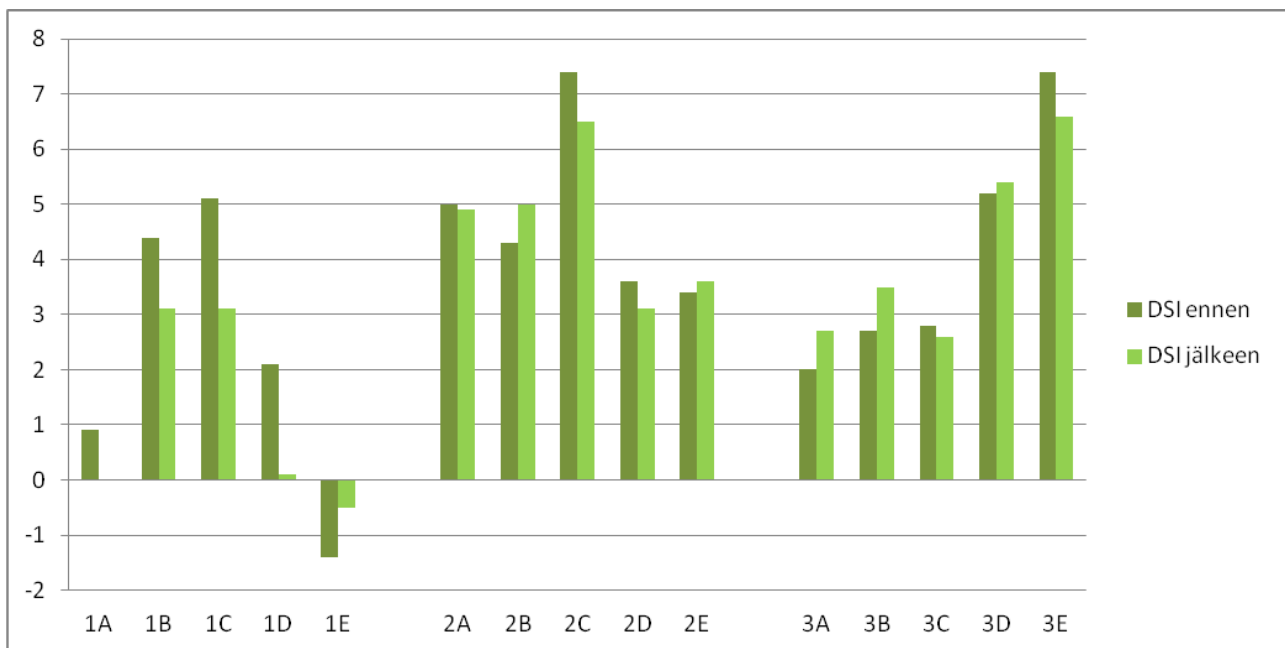
Tottuneilla äänenharjoittajilla ja verrokkiryhmällä jitterin muutos oli yhtä suuri (kuvio 7). Jälkeenasetelmassa paremmat shimmer-arvot tavoitti kaksitoista tutkimukseen osallistunutta. Tottumattomilla äänenharjoittajilla muutos oli keskimäärin hieman suurempi kuin verrokkiryhmällä (kuvio 8). Tottuneilla äänenharjoittajilla shimmer-keskiarvo huononi lämmittelyn myötä.

**TAULUKKO 1.** Tutkimustulokset ryhmittäin. Parantuneet arvot on lihavoitu. Lyhenteet: ka = keskiarvo, SD = keskihajonta, MPT = maksimiäänönkesto. Vaikutus kuvaa äänen lämmittelyn ja verrokkiryhmän äänilevon merkitsevyyden tasoa (*P*). Asteriski luvun perässä ilmaisee eron olevan tilastollisesti merkitsevä.

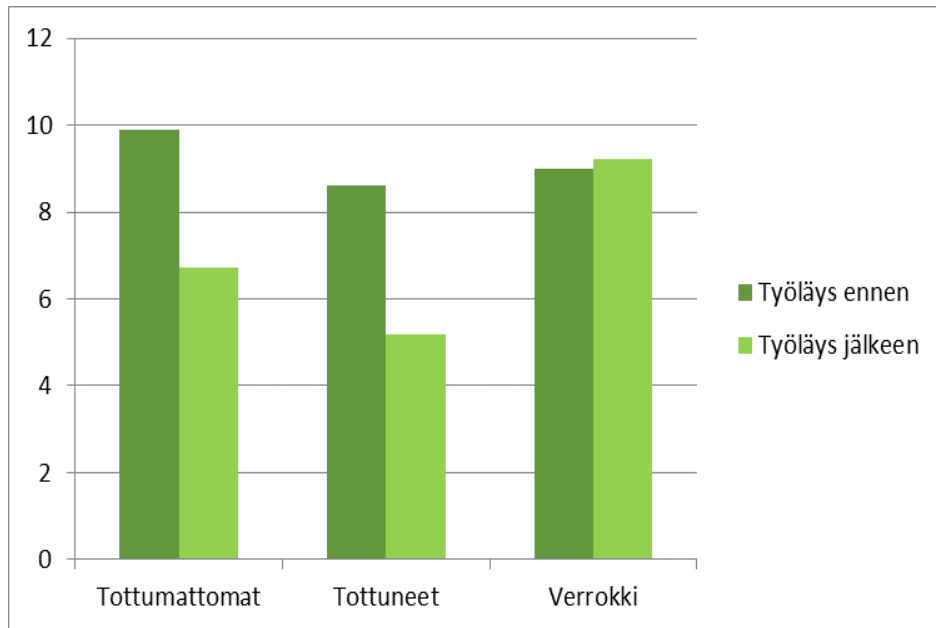
	ennen ka (SD)	jälkeen ka (SD)	ryhmästä parani (kpl)	vaikutus <i>P</i>
<b>Tottumattomat, n = 5</b>				
MPT (s)	13,6 (5,9)	12,1 (5,9)	1	0,303
hiljaisin (dB)	58,1 (4,8)	60,5 (3,1)	1	0,366
korkein (Hz)	662,6 (214,1)	618,4 (275,1)	2	0,545
jitter (%)	0,29 (0,15)	0,30 (0,21)	3	0,893
shimmer (%)	5,09 (2,68)	<b>4,38 (2,43)</b>	5	0,030*
NHR	0,016 (0,104)	<b>0,014 (0,008)</b>	4	0,314
Työläys	9,9 (0,9)	<b>6,7 (2,4)</b>	4	0,046*
DSI	2,21 (1,78)	1,16 (1,78)	1	0,127
<b>Tottuneet, n = 5</b>				
MPT (s)	12,05 (3,3)	11,8 (3,6)	2	0,769
hiljaisin (dB)	55,2 (3,0)	<b>54,9 (3,7)</b>	2	0,531
korkein (Hz)	1029,0 (277,4)	988,0 (273,6)	1	0,26
jitter (%)	0,26 (0,10)	<b>0,22 (0,05)</b>	4	0,345
shimmer (%)	3,99 (1,86)	4,09 (1,37)	3	0,858
NHR	0,018 (0,020)	<b>0,015 (0,011)</b>	3	0,893
Työläys	8,6 (1,9)	<b>5,2 (1,4)</b>	5	0,034*
DSI	4,76 (1,66)	4,63 (1,35)	2	0,687
<b>Verrokkiryhmä, n = 5</b>				
MPT (s)	14,7 (3,3)	13,5 (3,6)	0	0,038
hiljaisin (dB)	55,1 (5,1)	55,8 (5,8)	1	0,624
korkein (Hz)	822,6 (158,6)	<b>906,0 (141,4)</b>	3	0,298
jitter (%)	0,28 (0,06)	<b>0,24 (0,06)</b>	4	0,324
shimmer (%)	3,30 (1,25)	<b>2,81 (0,99)</b>	4	0,125
NHR	0,010 (0,006)	0,010 (0,007)	3	0,848
Työläys	9,0 (3,7)	9,2 (3,7)	3	0,809
DSI	4,00 (2,24)	<b>4,15 (1,77)</b>	3	0,629



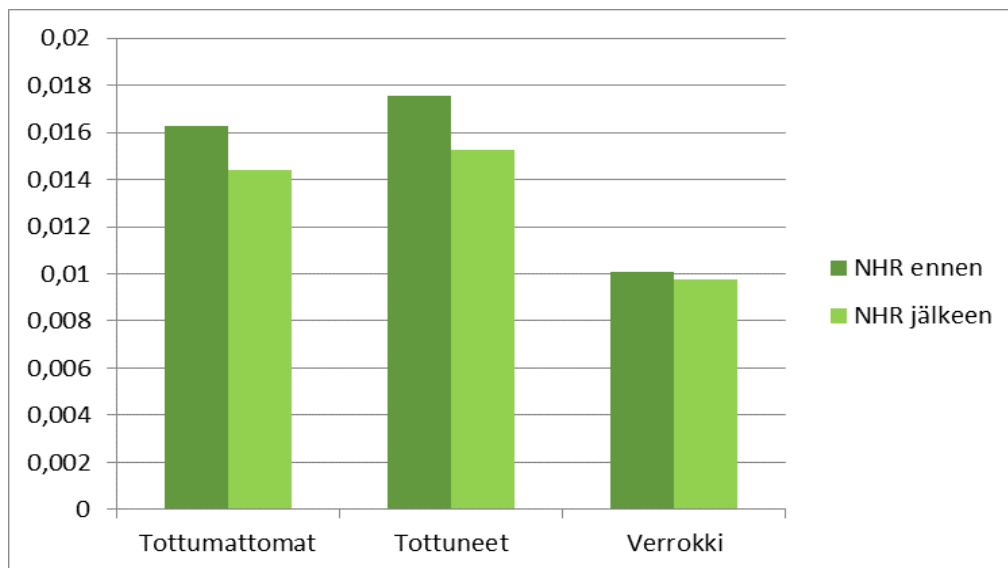
**KUVIO 3.** DSI-arvot ennen äänen lämmittelyä tai äänilepoa ja sen jälkeen ryhmittäin.



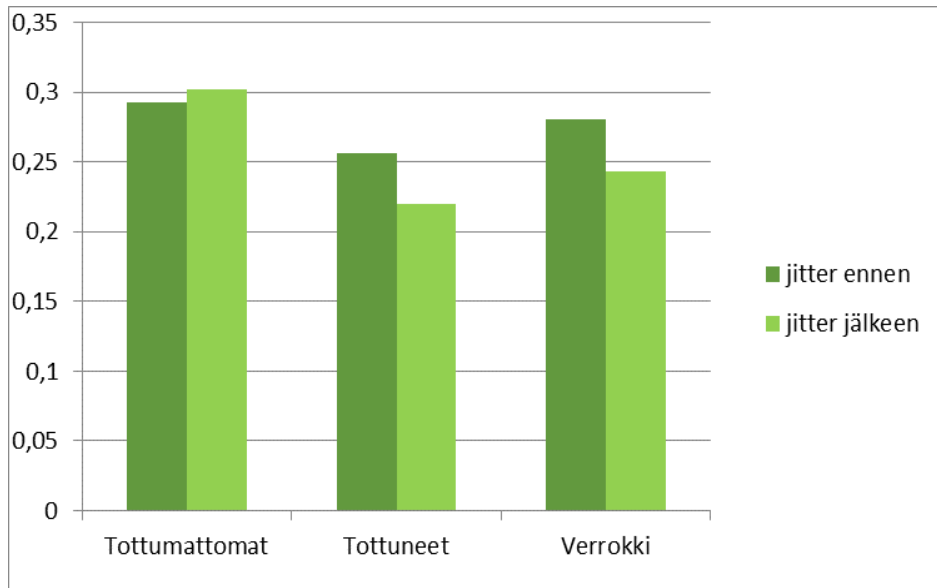
**KUVIO 4.** DSI-arvot kullakin osallistujalla ennen äänen lämmittelyä tai äänilepoa ja sen jälkeen. Vaaka-akselin numerot viittaavat osallistujan ryhmään. 1 = tottumattomat äänenharjoittajat, 2 = tottuneet äänenharjoittajat, 3 = verrokkiryhmä. Osallistujalla 1A lämmittelyn jälkeinen indeksiluku on 0,0.



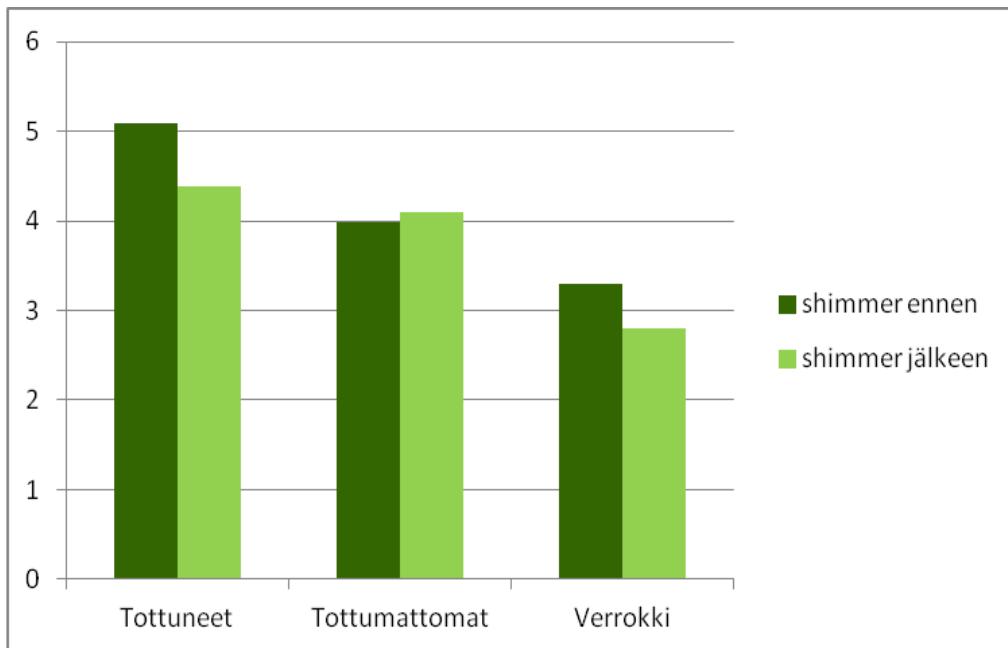
**KUVIO 5.** Työläyden kokemus ennen äänen lämmittelyä ja sen jälkeen tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla ja ennen äänilepoa ja sen jälkeen verrokkiryhmällä.



**KUVIO 6.** NHR ennen äänen lämmittelyä ja sen jälkeen tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla ja ennen äänilepoa ja sen jälkeen verrokkiryhmällä.



**KUVIO 7.** Jitter ennen äänen lämmittelyä ja sen jälkeen tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla ja ennen äänilepoa ja sen jälkeen verrokkiryhmällä.



**KUVIO 8.** Shimmer ennen äänen lämmittelyä ja sen jälkeen tottumattomilla ja tottuneilla äänenharjoittajilla ja ennen äänilepoa ja sen jälkeen verrokkiryhmällä.

## *6.1 Tottumattomat äänenharjoittajat*

Tottumattomista äänenharjoittajista kaikilla paitsi yhdellä DSI-arvo oli huonompi lämmittelyn jälkeen kuin sitä ennen (taulukko 1). Tämä peilaa sitä, että useat näiden henkilöiden arvoista huononivat lämmittelyn myötä. Indeksiin vaikuttavien muuttujien (maksimiäänönkesto, korkein ja hiljaisin ääntö, jitter) ryhmäkeskiarvoista ei parantunut yksikään. Maksimiäänönkesto piteni yhdellä viidestä tottumattomasta äänenharjoittajasta. Korkein sävel oli lämmittelyn jälkeen korkeampi kahdella henkilöllä. Hiljaisempaa ääntä pystyi lämmittelyn jälkeen tuottamaan yksi äänenharjoitukseen tottumaton.

Perturbaatiota ja hälyä kuvaavissa muuttujissa voidaan tottumattomien äänenharjoittajien kohdalla havaita enemmän muutoksia. Ryhmän keskiarvon perusteella paranivat shimmer- ja NHR-arvot. Shimmer parani osallistujista jokaisella, ja ryhmän keskimääräinen muutos on tilastollisesti merkitsevä. Myös jitterin kohdalla kolmen osallistujan arvo parani, vaikka tulos ei näy ryhmän keskiarvossa.

Tottumattomista äänenharjoittajista yhtä lukuun ottamatta kaikki ovat kokeneet äänen tuottamisen helpottuneen lämmittelyn myötä. Myös tämä ero on tilastollisesti merkitsevä.

## *6.2 Tottuneet äänenharjoittajat*

Tottuneista äänenharjoittajista kahden DSI-arvot paranivat lämmittelyn myötä (taulukko 1). Tämä ei riitä parantamaan lämmittelyn jälkeistä ryhmäkeskiarvoa lämmittelyä edeltävään keskiarvoon verrattuna. Indeksiin vaikuttavista muuttujista tottuneiden ryhmällä paranivat jitter ja hiljaisin mahdollinen ääntö. Jitter parani neljällä osallistujalla, hiljaisempaa ääntä lämmittelyn jälkeen pystyi tuottamaan kaksi viidestä. Ryhmän keskiarvoista parani lisäksi NHR, joka oli lämmittelyn jälkeen pienempi kolmella osallistujalla. Kaikki tottuneet äänenharjoittajat olivat myös merkinneet äänen tuottamisen helpottuneen lämmittelyn myötä. Tämä ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Shimmer-arvo parani lämmittelyn jälkeen kolmella viidestä, mutta ero ei näy ryhmän keskiarvossa. Maksimiäänönkesto parani kahdella viidestä osallistujasta. Korkeamman sävelen pystyi tuottamaan yksi viidestä.

## *6.3 Tottumattomat ja tottuneet äänenharjoittajat yhdessä*

Taulukosta 2 ilmenevät sekä tottumattomien että tottuneiden äänenharjoittajien eli kaikkien lämmittelyn suorittaneiden tulokset yhdessä. Näin tarkasteltuna huomataan, että lämmittely paransi objektiivisesti mitattuna jitter-, shimmer- ja NHR-arvoja. Myös osallistujien itse arvioima äänen

tuottamisen työläys laski. Muut mitatut muuttajat huononivat lämmittelyn seurauksena. Eroista havaittiin tilastollinen merkitsevyys koetussa äännön työläydessä.

**TAULUKKO 2.** Tutkimustulokset lämmittelyn suorittaneilla. Parantuneet arvot on lihavoitu. Lyhenteet: ka = keskiarvo, SD = keskihajonta, MPT = maksimiäänönkesto. Vaikutus kuvaa lämmittelyn merkitsevyyden tasoa (*P*). Asteriski luvun perässä ilmaisee eron olevan tilastollisesti merkitsevä.

	ennen ka (SD)	jälkeen ka (SD)	ryhmästä parani (kpl)	vaikutus P-arvo
<b>Lämmittelleet, n = 10</b>				
<b>MPT (s)</b>	12,8 (4,6)	11,9 (4,6)	3	0,266
<b>hiljaisin (dB)</b>	56,7 (4,1)	57,7 (4,4)	3	0,414
<b>korkein (Hz)</b>	845,8 (303,1)	803,2 (323,8)	3	0,252
<b>jitter (%)</b>	0,27 (0,12)	<b>0,26 (0,15)</b>	6	0,553
<b>shimmer (%)</b>	4,54 (2,25)	<b>4,24 (1,86)</b>	8	0,339
<b>NHR</b>	0,017 (0,015)	<b>0,015 (0,009)</b>	7	0,466
<b>Työläys</b>	9,3 (1,5)	<b>6,0 (2,0)</b>	9	0,001*
<b>DSI</b>	3,49 (2,49)	2,90 (2,36)	3	0,109

## 6.4 Verrokkiryhmä

Verrokkiryhmän DSI-keskiarvo parani toisella mittauskerralla eli 15 minuutin äänilevon jälkeen (taulukko 1). Indeksiparani ryhmän osallistujista kolmella viidestä. Siihen sisältyvistä muuttujista verrokkiryhmällä paranivat korkein sävel, joka parani kolmella osallistujalla sekä jitter, joka parani neljällä. Lisäksi ryhmän keskiarvoista shimmer oli äänilevon jälkeen parempi, se parani myös neljällä.

Lisäksi NHR ja äännön vaivattomuus kohenivat kolmella osallistujista, mutta muutokset eivät näy parannuksina ryhmän keskiarvoissa. Hiljaisempaa ääntä äänilevon jälkeen pystyi tuottamaan yksi osallistuja. Ainoa muuttuja, joka ei parantunut yhdelläkään verrokkiryhmästä, oli maksimiäänönkesto. Mikään verrokkiryhmän äänilevon jälkeisistä arvojen muutoksista ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

# 7 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko äänenharjoittajan kokemus merkityksellinen tekijä suhteessa äänen lämmittelyn vaikutuksiin, kun niitä tarkastellaan objektiivisesti mitattuna ja subjektiivisesti arvioituna. Kysymystä lähestyttiin kartoittamalla 15 minuuttia kestäneen äänen lämmittelyn vaikutuksia tottuneilla ja tottumattomilla äänenharjoittajilla akustisten mittausten ja itsearvioinnin avulla. Verrokkiryhmän avulla pyrittiin varmistamaan, että äänessä ja sen tuottamisessa havaittavat muutokset johtuivat nimenomaan lämmittelystä. Verrokkiryhmällä äänen lämmittelyn korvasi 15 minuutin puhumattomuus.

Tutkimuksen hypoteesi oli, että tottumus on merkittävä tuloksia parantava tekijä, kun mitataan äänen lämmittelyn vaikutuksia. Tottuneiden äänenharjoittajien DSI-arvon oletettiin kohoavan enemmän kuin tottumattomien, ja useamman muuttujan odotettiin lämmittelyn myötä paranevan tottuneiden ryhmässä tottumattomien ryhmään verrattuna. Siinä missä tottuneiden odotettiin kokevan lämmittelyn helpottavan äänen tuottamista, oletettiin, että tottumattomilla näin ei välttämättä käy.

Tutkimus ei yksiselitteisesti osoita tottuneiden äänenharjoittajien hyötävän äänen lämmittelystä tottumattomia enempää. Kummankin ryhmän keskimääräinen DSI-arvo laski lämmittelyn myötä, siinä missä verrokkiryhmän DSI-arvo kohosi. Tästä huolimatta sekä tottuneet että tottumattomat äänenharjoittajat kokivat äänen tuottamisen helpommaksi lämmittelyn jälkeen. Ääntään lämmitelleistä ainoastaan yksi tottumaton äänenharjoittaja koki äänen tuottamisen muuttuneen työläämmäksi.

Tottuneiden ryhmäkeskiarvojen perusteella muuttujista parani neljä siinä missä tottumattomilla kolme. Pienen ryhmäkoon takia tätä ei kuitenkaan voida pitää koko totuutena, sillä yksi näistä tottuneiden neljästä parantuneesta keskiarvosta perustui vain kahden tottuneen äänenharjoittajan parantuneeseen tulokseen.

Tutkimuksen osatavoitteena oli selvittää, miten äänen lämmittely vaikuttaa perturbaatiota mittaaviin jitteriin ja shimmeriin ja hälyä mittaavaan NHR:ään. Mittausarvojen oletettiin paranevan lämmittelyn seurauksena tottuneilla äänenharjoittajilla. Tämä hypoteesi toteutui osittain. Näiden kolmen muuttujan arvot paranivat ääntään lämmitelleistä useammalla kuin

maksimiäänönkesto tai korkein ja hiljaisin sävel, mutta tulos oli havaittavissa sekä tottuneilla että tottumattomilla äänenharjoittajilla. On kuitenkin epäselvää, vaikuttiko juuri lämmittely näiden arvojen paranemiseen, sillä myös verrokkiryhmällä jitter- ja shimmer-arvot paranivat.

Tuloksissa hämmäntävintä onkin juuri se, että myös verrokkiryhmällä, joka ei lämmiteltyt ääntään, parani äänilevon seurauksena muuttujista neljä, eli saman verran kuin tottuneilla äänenharjoittajilla. Tämän seurauksena myös DSI-arvot paranivat kolmella viidestä verrokkiryhmän osallistujalla.

Tässä luvussa pohditaan, mitkä asiat ovat saattaneet vaikuttaa saavutettuihin tuloksiin. Ensin tuloksia arvioidaan yleisesti normiarvoihin ja aiempaan tutkimukseen peilaten. Sen jälkeen eritellään osallistujaryhmien ominaisuuksia ja niiden vaikutusta tuloksiin sekä lämmittelyn yksilöllisyyttä. Luvun loppupuolella arvioidaan tutkimuksen menetelmiä ja toteutusta ja esitetään ehdotuksia äänen lämmittelyn tutkimukseen jatkossa.

## *7.1 Tulosten arviointi*

Kun tarkastellaan tuloksia ylipäätään, huomataan, että niistä osa jäi melko heikoiksi suomalaisten yliopisto-opiskelijoiden keskimääräisiin tuloksiin verrattuna. Esimerkiksi maksimiäänönkestossa naisten keskimääräinen tulos on vokaalilla /o/ 22,6 s (SD  $\pm 6,0$ ) ja korkein sävel 757,3 Hz ( $\pm 227,3$ ) (Leino, Laukkanen, Ilomäki & Mäki 2008). Tässä tutkimuksessa tottumattomien äänenharjoittajien paras ryhmäkeskiarvo maksimiäänönkestossa oli 13,6 s ja tottuneilla jopa vähemmän, 12,5 s. Myös verrokkiryhmällä arvo oli selvästi yliopisto-opiskelijoiden keskiarvoa matalampi, 14,7 s. Korkeimman sävelen kohdalla vain tottumattomat jäivät selvästi yliopisto-opiskelijoiden keskimääräisestä tuloksesta parhaalla keskiarvollaan 662,6 Hz. Myös shimmer-arvot ylittivät yhdeksällä 15:sta tutkimukseen osallistuneesta yhdellä tai useammalla mittauskerralla rajan 3,810 %, jota suuremmat arvot luokitellaan häiriöiseksi ääneksi (Kay Elemetrics Corp. 1993).

Shimmer-arvoja saattavat selittää ilmanlaatu ja osallistujien yliherkkyydet. Yhdeksästä epätavallisen shimmer-arvon saaneesta viisi ilmoitti äänitystilanteessa täytettävässä lomakkeessa hieman nenän tukkoisuutta, käheyttä, limaisuutta tai kevätaallergian tai katupölyn vaikutusta terveydentilaan. Niistä neljästä, jotka eivät ilmoittaneet lisätietoja voinnistaan äänitystilanteessa, kaksi oli ilmoittanut ennakkotietolomakkeessa kärsivänsä siitepölyallergiasta ja yksi refluksitaudista. Yhden tottuneen äänenharjoittajan (2A) arvoihin vaikuttanee vibrato. Huonoista lukemista huolimatta shimmer-arvot kuitenkin paranivat lämmittelyn myötä 12 osallistujalla 15:sta.

Tottumattomien kohdalla maksimiäänönkeston heikkoon tulokseen saattaa vaikuttaa sekä hengitysilhasten kunto että epämukavuuden tunne, joka aiheutuu, kun hengitysilma vähenee keuhkoista. Yleensä ihmiskeho pyrkii automaattisesti palauttamaan keuhkoissa olevan ilmamäärän sille tasolle, joka niissä on silloin, kun ihminen ei hengitä sisään eikä ulos, eli kun keuhkoihin ei kohdistu tilavuutta kasvattavia tai pienentäviä voimia. Tämä ilmamäärä, *funktionaalinen jäännöskapasiteetti* (*functional residual capacity*, FRC) on jonkin verran alle puolet ääntöön käytettävissä olevasta ilmamäärästä eli vitaalikapasiteetista. Esimerkiksi luennassa tämä ilmenee niin, että ihminen hengittää sisään, kun keuhkojen tilavuus on lähellä funktionaalista jäännöskapasiteettia. Maksimiäänönkesto edellyttää maksimaalista uloshengitystä, jolloin tämä FRC-taso tietenkin alitetaan. Usein tottumattomien äänenharjoittajien on vaikea sietää sen aiheuttamaa epämukavuuden tunnetta. Harjoituksen myötä hengitysilhakset harjoittuvat, ja myös tunteeseen tottuu. (Proctor 1980:34, 67–87; Sundberg 1987:33–34.)

Tottuneiden äänenharjoittajien heikoille arvoille maksimiäänönkestopuolella on vaikeampaa löytää selitystä. Voidaan pohtia, olisiko kellon näkeminen ja tieto keskimääräisistä normiarvoista motivoinut osallistujia ja kannustanut siten parempaan suoritukseen. Äänön pituuden seuraaminen suorituksen aikana parantaa kirjoittajan kokemuksen mukaan tuloksia myös tottumattomilla äänenharjoittajilla, kun ääntä ei ole lämmitelty. Lisäksi voidaan pohtia, olisivatko ennen lämmittelyä suoritettavat äänitystehtävät yhdessä lämmittelyohjelman hengitysharjoitusten kanssa saattaneet väsyttää osallistujien hengitysilhaksia, niin ettei suoritus parantunut lämmittelyn myötä kuin kahdella kummastakin ryhmästä. Esimerkiksi Laukkanen ja Leino (1999:212) suosittelevat harjoittamaan hengitystä maksimiäänönkeston avulla vain muutama yritys kerrallaan, sillä runsas vaativa harjoittelu vain väsyttää lihaksia.

### 7.1.1 Lämmittelyn vaikutukset äänentuottoelimistössä

Vintturin (2001) mallin mukaan äänen lämpiäminen olisi vain yksi vaihe äänen kuormittumisessa. Hän pohtii, aiheutuuko lämmittelyefekti oikeastaan äänön muuttumisesta fysiologisesti mitattuna työlämmäksi. Kuormitus olisi jatkumo, jonka alkupäässä tapahtuu äänen lämpiäminen ja myöhemmin väsyminen, jolloin äänessä alkaa esiintyä selkeämmin ääntöä hankaloittavia muutoksia (ks. luku 3.1). Tähän tutkimukseen sovellettuna teoria tarkoittaisi, että äänihuulivärähtely tulisi tasaisemmaksi äänen kuormituksen seurauksena, aiheuttivat kuormituksen sitten lämmittelyharjoitukset tai äänityksessä suoritettavat tehtävät. Vintturi laskee lämmittelyefektin tapahtuvan aiemman tutkimuksen perusteella kuormituksen ensimmäisten 5–45 minuutin aikana. Yksilölliset erot äänen lämpiämisessä ovat siis suuret. Tämä voisi selittää

verrokkiryhmän arvojen paranemisen. Ennen äänilepoa äänitettyjen ääntötehtävien suorittamiseen kului heillä aikaa alle 5 minuuttia. Osalla tämä aika vaikuttaisi olleen riittävä äänen lämpiämiseen.

Vintturi (2001:78) myöntää, että hänen teoriansa on ristiriidassa lämmittelijän subjektiivisten tuntemusten kanssa. Teorian mukaan lämmittely perustuisi siihen, että ääntö muuttuisi objektiivisesti mitattuna työläemmäksi, mutta lämmittelijöiden kokemus on, että äänen tuottaminen helpottuu lämmittelyn seurauksena. Vintturi viittaa kuitenkin Sonniseen (1994) huomauttaessaan, että äänen tutkimisessa on pidettävä erillään objektiivisesti mitattavissa olevat fysiologiset muutokset ja subjektiiviset, äänenkäyttäjän kokemukseen perustuvat tuntemukset.

Jitter-, shimmer- ja NHR-arvojen parantuminen indikoi, että äänen lämpiäminen on parantanut äänihuulivärähtelyn säännöllisyyttä. Tutkimuksen tulokset ovat samankaltaisia kuin Amirilla ym. (2005), jotka havaitsivat lämmittelyn seurauksena tilastollisesti merkitsevät erot juuri jitter-, shimmer- ja NHR-arvojen kohdalla. Myös McHenry ym. (2009) raportoivat muutoksia jitterin ja NHR:n kohdalla lämmittelyn seurauksena. Van Lierde ym. (2011) sitä vastoin eivät havainneet parannuksia näissä kahdessa muuttujassa. He olettavat, että tutkimukseen osallistuneiden kokemattomuus äänen harjoittamisessa vaikuttaa asiaan. Tässä tutkimuksessa NHR kuitenkin parani myös tottumattomilla äänenharjoittajilla ja jitterkin ryhmästä kolmella, joten kokemus ei vaikuta olevan muutosten kannalta merkittävä tekijä.

Jitter-arvot paranivat 11 osallistujalla, keskimäärin eniten tottuneilla äänenharjoittajilla ja verrokkiryhmällä (kuvio 6). Muutoksen ei siis voida suoraan tulkita johtuvan harjoitusten avulla suoritetusta äänen lämmittelystä. Sama pätee shimmer-arvoihin, jotka paranivat osallistujista 12:lla. Ne muuttuivat kaiken lisäksi verrokkiryhmällä keskimääräisesti enemmän kuin tottuneilla äänenharjoittajilla.

Perturbaatioarvojen parantuminen ei välttämättä kerro parantuneesta äänentuottotavasta. Rantanen (2000) havaitsi matalammat perturbaatioarvot naisopettajilla, jotka kokivat herkästi vaikeuksia äänenkäytössä verrattuna niihin, joilla ongelmat olivat vähäisempiä. Niin ikään naisopettajien äänen kuormittumista tutkineet Ilomäki (2008) ja Leppänen (2012) havaitsivat jitter- ja shimmer-arvojen paranevan rasituksen myötä. Muuttujat eivät kuitenkaan korreloineet subjektiivisesti arvioidun äänen väsymisen kanssa. Tutkijat arvelevat, että muutokset perturbaatioissa johtuvat mukautumisesta kuormitukseen. Kuormituksen myötä lihasten aktiivisuus kasvaisi ja ääntö muuttuisi tiiviimmäksi (jopa hyperfunktionaaliseksi). Adduktiota lisäämällä voidaan kompensoida heikentyneitä äänenlaatua. (Ilomäki 2008; Leppänen 2012; Rantanen 2000.)

Amir ym. (2005) ehdottavat, että lämmittely vaikuttaisi nimenomaan äänihuulten ytimeen, koska lämmittely vaikuttaa parantavan lihasaktiiviteettia ja äänihuulivärähtelyn hallintaa. Tässä

tutkimuksessa ei tarkasteltu VTI:tä, mutta NHR:ssä, jitterissä ja shimmerissä havaitut muutokset tukevat Amirin ym. (2005) oletusta.

Koska perussävelen perturbaatioon vaikuttavat äänihuulten värähtelevä massa ja jäykkyys (Titze 1994:283–288), voidaan pohtia, onko lämmittely muuttanut ääntötapaa (vrt. modaalissa värähtelevät äänihuulet koko pituudeltaan). Vai onko äänihuulten massa kasvanut lämmittelyn myötä esimerkiksi lihakseen kertyneen nesteen takia, niin että äänihuulet olisivat sen seurauksena myös jäykistyneet?

Hengitystekniikan paraneminen vähentää amplitudiperturbaatiota (Titze 1994:283–288). Maksimiäänönkesto parani tutkimuksessa vain neljällä, mutta heistä kaikilla myös shimmer parani. Shimmer parani kuitenkin myös kahdeksalla muulla, jolla maksimiäänönkesto ei pidentynyt, joten hengitystekniikan ei voida ainakaan yksin päätellä olevan merkittävä tekijä tasaisuuden parantumisessa. Toisaalta äännön pituuden perusteella ei voida päätellä kaikkea hengitystekniikasta. Voi olla että hengitys on muuttunut (esim. syvempää hengitystapaa kohti), mutta tottumattomuus kauan ylläpidettävään ääntöön vaikuttaa maksimiäänönkeston lyhytteen.

Amir ym. (2005) arvelevat, että NHR:ään vaikuttaa äänihuulivärähtelyn tasaisuuden lisäksi myös resonanssin parantuminen. Heidän tutkimuksessaan laulajien spektreissä voitiin lämmittelyn jälkeen havaita laulajanformantti, mikä merkitsi resonanssien kasautumista alueelle, jolta NHR mittaa ei-harmonisia ja harmonisia komponentteja. Resonanssin voidaan arvella parantuneen myös tässä tutkimuksessa ääntään lämmitelleillä, koska he suorittivat lämmittelyohjelmassa harjoituksia (semiokluusiot, nasaalit, etisysharjoitukset) joiden on todettu vaikuttavan edullisesti resonanssiin (esim. Laukkanen, Horáček, Havlík 2012; Leino ym. 2011).

NHR-arvojen ei havaittu parantuvan verrokkiryhmällä. Vaikuttaisi siis siltä, että juuri ääniväylän muotoon keskittyvät harjoitukset ovat lämmittelyharjoitusten etuna verrattuna lämmittelemiseen pelkän äänen käyttämisen avulla. Ääniväylän parantuneet värähtelyolosuhteet aiheuttaisivat myös kokemuksen äänen tuottamisen helpottumisesta, joka havaittiin vahvemmasi ääntään lämmitelleillä kuin verrokkiryhmällä (kuvio 4). Ryhmittäin katsottuna työläys vähenee kummassakin ääntään lämmitelleiden ryhmässä, muutos on tottumattomilla 3,18 ja tottuneilla 3,44. Verrokkiryhmällä muutos on negatiivinen, -0,2. Leino ym. (2011) kysyvätkin, tulisiko fonaatio- ja artikulaatioasetuksien muutoksiin tähtäävää harjoittelua kutsua lämmittelyksi lainkaan.

### 7.1.2 Tottumattomien äänenharjoittajien tulosten arviointi

Hypoteesi oli, että tottumattomilla äänenharjoittajilla lämmittely pidentäisi maksimiäänönkestoa, nostaisi korkeinta mahdollista säveltä ja laskisi matalinta mahdollista voimakkuutta.

Maksimiäänönkesto kuitenkin piteni vain yhdellä viidestä tottumattomasta äänenharjoittajasta. Myös korkein sävel oli lämmittelyn jälkeen korkeampi vain kahdella henkilöllä. Hiljaisempaa ääntä pystyi lämmittelyn jälkeen tuottamaan vain yksi ääniharjoituksiin totumaton. Lämmittelyn vaikutukset näkyvätkin juuri niissä muuttujissa, joissa niiden ei oletettu näkyvän: jitter parani kolmella, shimmer kaikilla viidellä ja NHR neljällä osallistujalla.

Yleisesti ottaen tottumattomien äänenharjoittajien kohdalla mahdollisia syitä heikkoihin tuloksiin on useita. Ensinnäkin oman äänen hallitseminen voi olla vaikeaa. Vaikka tietäisikin, mitä ääneltään haluaisi, oikeita asetuksia saattaa olla vaikea löytää. Joillekin tottumattomista äänen sävelkorkeuden ja voimakkuuden vakiointi aiheutti hankaluuksia ja saattoi viedä huomiota mahdollisimman pitkään ääntöön keskittymisestä. Rekisterin vaihtaminen modaalista falsettiin tuotti osalle vaikeuksia, jolloin sävelkorkeus jäi suhteellisen matalaksi. Toiseksi oman äänen ulottuvuudet saattavat olla hyvinkin vieraat henkilölle, joka käyttää ääntään totunnaisesti eikä kiinnitä siihen erityistä huomiota. Osallistujalla ei välttämättä ole käsitystä siitä, miten korkeita säveliä hän pystyy tuottamaan, jos hän ei ole koskaan varsinaisesti kokeillut. Ääriäänien tuottamisessa rajoitukset saattavat lisäksi olla yhtä hyvin henkisiä kuin ääntötekniikasta tai fysiologiasta johtuvia. Osallistajat eivät välttämättä rohjenneet heittäytyä tehtävään ja yrittää parastaan esimerkiksi korkeimman sävelen tuottamisessa. Kolmanneksi tuloksiin lienee vaikuttanut huomion keskipisteenä olemisen ja itse äänitystilanteen aiheuttama jännitys. Jännittämistä oli havaittavissa sekä mittauksissa että tallennetussa ääninäytteessä (esimerkiksi hengästymisenä ja äänen tärisemisenä). Myös Leino ym. (2008:206) huomauttavat, että äänen harjoittamiseen tottumattomia opiskelijoita on hankalaa motivoida yrittämään parastaan äänen korkeuden kartoittamisessa.

Tämän pohdinnan valossa testiäänitysten suorittaminen ennen varsinaista tutkimusta vaikuttaa onnistuneelta ratkaisulta. Esimerkiksi korkein mahdollinen sävel oli sekä kaikilla tottumattomilla että kaikilla tottuneilla äänenharjoittajilla parempi ennen lämmittelyä kuin testiäänityksissä. Myös verrokkiryhmästä tämä pätee kahdella. Ero saattaa johtua siitä, että tehtävät olivat jo kertaalleen kokeiltuja ja itse äänitystilanne tuttu, jolloin äänityksiä jännittäneet saattoivat olla rennompia kuin testiäänityksissä.

Kokemattomien äänenharjoittajien ryhmäkeskiarvo DSI:ssä oli lämmittelyn jälkeen huonompi kuin kummallakaan aikaisemmista äänityskerroista, joten jos toistolla olikin helpottava vaikutus, se ei näytä kantaneen kolmanteen äänitykseen asti. Vaikuttaa siltä, että äänen lämmittely on ääntämisen helpottamisen sijaan vaikeuttanut sitä. Tämän voidaan arvella olevan seurausta äänen väsymisestä. Väsymys voi johtua esimerkiksi siitä, että äänentuottoelimistöä käytettiin yhtäkkiä rasittavammin kuin normaalisti. Saxon ja Schneider (1995) toteavat, että yksilön tasoon

nähdessä liian vaikea tai rasittava harjoittelu väsyttää ja altistaa loukkaantumisille (ks. luku 2.3). Myös McArdle ym. (2001) huomauttavat, että yksilön kunto vaikuttaa siihen, millainen rasitus soveltuu lämmittelyksi (ks. luku 3.2). Väsymyksen tunnetta ei saisi syntyä, eivätkä elimistön energiavarat kulua merkittävästi. Voi olla, että ponnistelu harjoitusten oikein suorittamiseksi vei niistä saatavan hyödyn.

DSI-arvo nousi siis vain yhdellä tottumattomalla äänenharjoittajalla (1E). Tämän arvo oli jo lähtökohtaisesti huono, ennen lämmittelyä -1,4 ja lämmittelyn jälkeen -0,5. Arvojen huonous näyttää johtuvan korkeimman sävelen mataluudesta ja maksimiäänönkeston lyhyydestä. Lämmittelyn myötä osallistujan kaikki mitattavat arvot maksimiäänönkesto lukuun ottamatta paranivat. Hän arvioi kuitenkin lomakkeeseen äänen tuottamisen olleen työläämpää lämmittelyn jälkeen tehdyissä äänityksissä.

Ryhmästä myös toisella henkilöllä (1C) paranivat yhtä lukuun ottamatta kaikki arvot, mutta hiljaisimman sävelen voimakkuuden nousu aiheutti sen, että muutos ei näy DSI:ssä. Indeksiarvo oli ennen lämmittelyä 5,1 ja sen jälkeen 3,1. Osallistuja ilmoitti lämmittelyn vaikuttaneen selkeästi äännön työläyden vähenemiseen (10,8 → 6,5). Ryhmän toisessa ääripäässä on osallistuja (1B), jolla shimmeriä lukuun ottamatta huononivat kaikki arvot. Hänellä DSI on ennen lämmittelyä 4,4 ja sen jälkeen 3,1. Näiden havaintojen perusteella näyttää siltä, että DSI-arvon perusteella ei voida tottumattomien äänenharjoittajien kohdalla ennustaa lämmittelyn onnistumista.

### 7.1.3 Tottuneiden äänenharjoittajien tulosten arviointi

Hypoteesin mukaan tottuneiden äänenharjoittajien kaikki mitattavat arvot (maksimiäänönkesto, korkein mahdollinen ja hiljaisin mahdollinen sävel, NHR, jitter- ja shimmer sekä äännön työläys) olisivat parantuneet lämmittelyn myötä. Hypoteesi ei toteutunut sellaisenaan yhdelläkään ryhmän osallistujista. Maksimiäänönkesto jäi tottuneillakin lyhyeksi, eikä ryhmäkeskiarvo parantunut myöskään korkeimman sävelen kohdalla. Hiljaisin ääntö parani, mutta vain kahden osallistujan suorituksen ansiosta. Odotusten vastaisesti ryhmän DSI-keskiarvo huononi lämmittelyn myötä, vaikkakin huomattavasti vähemmän kuin tottumattomilla äänenharjoittajilla (kuvio 3). Muutos oli tottumattomilla -1,1 ja tottuneilla -0,1.

Työläyden kokemuksen ryhmäkeskiarvossa DSI:n huonontuminen ei kuitenkaan näy, sillä osallistujien arvioima työläys vähenee 3,4 yksikköä. Itsearvioinnin lisäksi lämmittelyn vaikutus näkyy jälleen perturbaatiota ja hälyä mittaavissa muuttujissa, sillä ryhmän keskiarvoista paranivat jitter ja NHR. Myös shimmer parani useammalla kuin maksimiäänönkesto ja hiljaisin tai korkein sävel.

Tottuneista äänenharjoittajista kolmella parani useampi kuin kaksi arvoa. Ryhmän ääripäät ovat osallistujat 2B ja 2E, joiden arvoista paranivat lämmittelyn seurauksena yhtä lukuun ottamatta kaikki, sekä osallistuja, jonka arvoista ei parantunut yhtään (2D). Kahden ensimmäisen DSI-arvot ovat ennen lämmittelyä 7,5 ja 3,4 ja huonommat tulokset saavuttaneen 3,6. Myöskään tottuneiden äänenharjoittajien kohdalla lämmittelyn onnistuminen ei siis näytä olevan riippuvainen ennen lämmittelyä mitatusta DSI-arvosta (ks. myös kuvio 4).

Tottuneita äänenharjoittajia tutkimuksessa edustivat vokologiopiskelijat, jotka eivät vielä olleet päätoimisesti työelämässä. Ääniharjoituksiin on varmasti kehittynyt tottumus, mutta oman äänen toiminta saattaa silti vielä olla osaksi vierasta. Aikaisempien tutkimusten kokeneet äänenharjoittajat ovat olleet ammattilaulajia tai äänityöläisiä, joilla saattaa olla enemmän kokemusta ja vuosien varrella kehittyneet vahvemmat rutiinit oman äänensä käsittelyyn.

Tulosten valossa voidaan myös pohtia, mikä oli tottuneiden äänenharjoittajien todellinen aktiivisuus äänensä harjoittamisessa. Äänen harjoittaminen määriteltiin lomakkeessa äänen laadun parantamiseksi tai äänen tuottamisen helpottamiseksi tehtäviksi harjoituksiksi (ks. liite 1). Lomakkeen perusteella tottuneiden ryhmästä kaikki harjoittivat ääntään säännöllisesti 3–4 tai 5–7 kertaa viikossa. Tarkemmin ei kuitenkaan kysytty, millaisia harjoituksia osallistujat tekivät ja miten pitkinä harjoituskertoina. Lomaketietojen perusteella saman verran ääntään harjoittaviksi tulkitaan siis osallistujat, joista yksi paneutuu monipuolisesti äänellistä ilmaisua kehittäviin harjoituksiin ja toinen hymisee ja haukottelee lyhyesti aamutoimien lomassa.

Myös äänen harjoittamisen tahtia kartoittava asteikko saattoi olla hankala täyttää, eikä välttämättä kerro koko totuutta siitä, kuinka usein ääntä harjoitetaan. Harjoittamiskerrat saattavat vaihdella kauden ja tarpeen mukaan. Esimerkiksi harjoituskurssin tai itse pidettyjen koulutusten aikana tahti voi olla tiheä, siinä missä kirjallisen työskentelyn aikana harjoittaminen saattaa jäädä vähemmälle. Keskimääräinen arviointi ei siis välttämättä anna totuudenmukaista kuvaa osallistujan äänenharjoittamisen tahdistista.

Saxon ja Schneider (1995) huomauttavat, että harjoittelun avulla saadut tulokset eivät säily, jos harjoittelu ei jatku (ks. luku 2.3). Voidaan pohtia, olisiko myös tämä syynä ryhmän odotettua huonompiin mittaustuloksiin. Jos osallistuja ei ole tutkimusta edeltävänä aikana harjoittanut ääntään yhtä kuormittavasti kuin joskus aikaisemmin, lämmittelyn avulla tavoiteltavat muutokset saattaa olla hankalampi saavuttaa. Samaten lämmittely on saattanut rasittaa äänen tuottoelimistöä suorituskyvyn parantamisen sijaan, kuten tottumattomilla äänenharjoittajilla. Toisaalta tutkimuksen lämmittelyohjelma oli suhteellisen lyhyt. Voidaanko äänitystehtäviä ja lämmittelyharjoituksia pitää rankkana suorituksena?

Pienen otannan takia yhdenkin osallistujan tulokset näkyvät voimakkaasti keskiarvossa. Jos tottuneiden ryhmästä poistetaan henkilö, jonka akustisesti mitatuista arvoista yksikään ei parantunut (ainoa koko tutkimuksen aineistossa), DSI:n ryhmäkeskiarvossa ei tapahdu muutosta huonompaan tai parempaan suuntaan.

#### 7.1.4 Ääntään lämmittelöiden tulokset yhdessä tarkasteltuna

Tutkimuksen perusteella lämmittelyn vaikutuksissa ei voida nähdä selvää eroa tottumattomien ja tottuneiden äänenharjoittajien välillä. Tottumattomien ja tottuneiden ryhmät voidaan siksi yhdistää lämmittelyn vaikutusten tarkastelemiseksi suuremmalla osallistujamäärällä. Suuremmassa ryhmässä yksittäisten arvojen paino keskiarvossa on pienempi ja antaa totuudenmukaisemman kuvan lämmittelyn vaikutuksista.

Ääntään lämmittelöiden ryhmien yhdistäminen vahvistaa tulkintaa, joka tehtiin tuloksista ryhmittäin tarkasteltuna. Lämmittely paransi objektiivisesti mitattuna jitter-, shimmer- ja NHR-arvoja, ja subjektiivisesti arvioituna äänen tuottamisen työläys laski. Muut mitatut muuttujat huononivat lämmittelyn seurauksena. Eroista havaittiin tilastollinen merkitsevyys koetussa äännön työläydessä. Tulokset vahvistavat oletuksen, että 15 minuutin lämmittely vaikuttaa äänihuulivärähtelyn tasaisuuteen pikemmin kuin äänellisen ilmaisuuden ääripäihin.

#### 7.1.5 Verrokkiryhmän tulosten arviointi

Koska verrokkiryhmällä äänen lämmittelyn korvasi 15 minuutin äänilepo, ryhmän arvojen ei oletettu juuri muuttuvan mittauskertojen välillä. Aiemman tutkimuksen perusteella niiden voitiin odottaa jopa huononevan (Van Lierde 2011). Odotusten vastaisesti ryhmän muuttujista kuitenkin paranivat perturbaatioarvot jitter ja shimmer sekä korkein mahdollinen sävel. Muutosten seurauksena ryhmän DSI-arvo parani.

Yksilösuorituksia tarkastelemalla voidaan havaita, että ryhmästä kahdella parani neljä kuudesta objektiivisesti mitattavasta arvosta, kahdella kolme ja yhdellä yksi. Maksimiäänönkesto oli ainoa muuttuja, joka ei parantunut verrokkiryhmällä lainkaan. Ryhmästä kolme merkitsi äänenkäytön helpottuneen hieman äänilevon seurauksena. Näillä arvoista parani 3–4. Niillä, jotka merkitsivät äänen tuottamisen vaikeutuneen, parani arvoista 1 ja 4.

Ennen lämmittelyä mitattu verrokkiryhmän keskimääräinen DSI-lukema osoittaa, että ryhmäläisten äänet ovat lähtökohtaisesti hyvät ja he ovat onnistuneet äänitystehtävissä (kuvio 3). Esimerkiksi ryhmän äänenharjoittajien maksimiäänönkestoista huonoin on 10,47 s, siinä missä

tottumattomista äänenharjoittajista kolmella ja tottuneista kahdella maksimiäänönkesto jää alle kymmenen sekunnin ainakin toisessa varsinaisen koetilanteen äänityksessä. Ryhmän hyvyyteen voi vaikuttaa esimerkiksi se, että verokkiryhmästä vain yhdellä ei ollut lainkaan aiempaa kokemusta äänen harjoittamisesta. Niistä neljästä, joilla kokemusta oli, kaksi harjoitti ääntään säännöllisesti, kumpikin muutaman kerran kuussa. Toinen heistä merkitsi kokevansa vaikeuksia äänenkäytössä usein ilmeisesti ääntä kuormittavan työnsä takia. Toiset kaksi, jotka eivät harjoittaneet ääntään säännöllisesti, kokivat vaikeuksia äänenkäytössä vain harvoin tai eivät koskaan.

Kuten todettiin luvussa 6.1.1, äänitystilanteessa suoritettavat tehtävät ovat saattaneet toimia itsessään äänen lämmittelyinä. Esimerkiksi Laukkasen ym. (1998) tutkimuksessa minuutin mittainen puhuminen vähensi glottisresistanssia viidellä kymmenestä osallistujasta. Laukkanen ym. (2004) puolestaan havaitsivat 45 minuutin kuormituksen nostavan perustaaajuutta ja äänenpainetasoa, mutta rasituksen ensimmäisten 5 minuutin aikana kyseisten muuttujien arvot vaikuttivat laskevan. Osallistujat myös kokivat 5 minuutin jälkeen vähemmän väsymisen tunnetta kurkussa kuin testin alussa. Tutkijat olettavat muutoksen johtuvan lihasten lämpenemisestä ja sen aiheuttamista verenkierron ja limanerityksen tehostumisesta ja viskositeetin madaltumisesta. Siinä missä tämän tutkimuksen äänitystehtävänä suoritettu maksimiäänönkesto saattoi aktivoida hengityslihaksia, korkeimman sävelen tavoittelu liukujen avulla on voinut verrytellä kurkunpään lihaksia. Äänentuottoon osallistuvilla lihaksilla on ollut mahdollisuus lämmitä erityisesti fonaatiotehtävien jälkeen suoritettua luennan aikana.

Tällainen äänitystehtävän toimiminen harjoituksena saattaisi näkyä esimerkiksi ryhmän osallistujalla (3B). Hän oli harjoittanut ääntään joskus, mutta ei enää säännöllisesti. Yhden äänityskerran sisällä osallistuja paransi maksimiäänönkestoaan reilusti. Hän saavutti sekä hiljaisinta että korkeinta säveltä tavoitellessaan pidemmän äännönkeston kuin varsinaisessa äännön maksimaalista pituutta mittaavassa tehtävässä: Maksimiäänönkeston pituus on 12 s, hiljaisimman äännön 14 s ja korkeimman sävelen jopa 22 s. (Parantuneita tuloksia ei silti ole merkitty maksimiäänönkestoksi, koska tutkimusasetelmissä sävelkorkeus ja voimakkuus vakioitiin, niin että eri äänityskertojen tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia.) Voidaan pohtia, johtuuko äännön piteneminen hengityslihasten aktivoitumisesta vai jännityksen vähenemisestä ja tehtävään mukautumisesta. Myös ääntötapa on saattanut muuttua hyperfunktionaaliseksi, jolloin äänihuulisulku tiivistyy ja vähemmän ilmaa ”vuotaa” ulos äännön aikana. Korkeimman sävelen tavoittelussa tämä voisi päteä, mutta usein hiljaa äännettäessä ääntötapa muuttuu pikemminkin vuotoisemmaksi. Joka tapauksessa osallistujan tulokset osoittavat, että äänitysten

maksimiäänönkesto ei kertonut hänen todellisesta äännönkestostaan. Tähän palataan luvussa 6.2.2.

Yleisesti ottaen levon aikana väsyminen vähenee ja toimintakapasiteetti kasvaa (Schmidt & Thews 1983). Aiemmissa tutkimuksissa perustaajuuden on havaittu nousevan rasiituksen jälkeisen äänilevon jälkeen (Lauri ym. 1997; Vilkmán ym. 1998). Verrokkiryhmässä äänilevon jälkeen korkeamman sävelen tuotti kolme viidestä. Voidaan pohtia, olisiko osalla verrokkiryhmästä pienellä rasiituksella ja sen jälkeisellä levolla sävelkorkeutta nostava vaikutus. Toisaalta sekä rasiitus että lepo olivat kovin lyhyitä. Äänitystehtäviin kului alle 5 minuuttia, minkä jälkeen ääntä lepuutettiin 15 minuuttia.

On mielenkiintoista, että vaikka verrokkiryhmällä paranivat kolmen objektiivisesti mitatun muuttujan arvot, eli saman verran kuin kaikilla kymmenellä ääntään lämmitelleellä, he eivät silti koe äänen tuottamisen helpottuneen yhtä paljon (kuvio 4). Äännön työläydessä koettu keskimääräinen ero on verrokkiryhmällä -0,2, eli ryhmän tasolla ääntö on muuttunut työläämmäksi. Kummassakin lämmitelleiden ryhmässä erot työläyden kokemuksessa olivat tilastollisesti merkitseviä. Jos kustakin ryhmästä tarkastellaan pelkästään niitä, jotka kokivat äänen tuottamisen helpottuneen, huomataan myös, että verrokkiryhmästä kaikilla kolmella erot ovat pieniä ääntään lämmitelleisiin verrattuna. Verrokkiryhmässä äännön koettiin helpottuneen keskimäärin 1,1 yksikköä (vaihteluväli 0,4–1,5), siinä missä lämmitelleiden ryhmissä erot ovat tottumattomilla äänenharjoittajilla 4,3 (3,6–4,7) ja tottuneilla 3,4 yksikköä (0,6–6,1).

Lämmittelyharjoitukset näyttävät siis vaikuttavan kokemukseen äänen tuottamisen helpottumisesta. Tälle voidaan hakea syytä esimerkiksi siitä, mikä erotti lämmittelyharjoitukset äänitystehtävistä. Ensinnäkin lämmittely kesti 15 minuuttia, siinä missä äänitystehtävät vain vajaat 5 minuuttia. Toiseksi lämmittelyharjoituksilla tavoiteltiin myös puhetekniikan parantumista esimerkiksi ääniväylän muotoa muokkaamalla, niin että saavutettaisiin äänihuulille optimaaliset värähtelyolosuhteet. Tällaisia vaikutuksia äänityksissä suoritetuilla tehtävillä (maksimiäänönkesto, hiljainen /a/-ääntö, liu'ut korkealle ja lukeminen) ei tunneta olevan.

Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että ääni saattaisi objektiivisesti mitattuna olla laadullisesti parempi jo maltillisen käytön seurauksena. Varsinaiset lämmittelyharjoitukset, joiden tarkoitus on myös parantaa puhetekniikkaa, muovaisivat ääniväylää ekonomiselle värähtelylle edullisemmaksi ja saivat aikaan kokemuksen äänen tuottamisen helpottumisesta.

### 7.1.6 Subjektiiivinen ja objektiivinen arviointi ja lämmittelyn yksilöllisyys

Tulokset osoittavat, että osallistujien kokemus äänen tuottamisen helpottumisesta ei välttämättä ilmene objektiivisesti mitattujen arvojen parantumisena. Tämä on havaittu myös aiemmassa tutkimuksessa (esim. McHenry ym. 2005). Tottumattomista äänenharjoittajista kahdella ja tottuneista yhdellä parani mitatuista muuttujista vain 1–2, mutta kaikki kolme ovat silti kokeneet äänen tuottamisen työläyden vähentyneen. Yhdellä tottuneiden ryhmästä (2D) kaikki arvot huononivat, mutta myös hän on merkinnyt työläyden vähentyneen lämmittelyn myötä.

Toisaalta aineistossa on myös esimerkkejä siitä, että objektiivisesti mitatut arvot ovat parantuneet, mutta subjektiivinen kokemus on, että äänen tuottaminen olisi vaikeutunut. Tottumattomista äänenharjoittajista yhdellä (1E) paranivat kaikki muut arvot paitsi maksimiäänönkesto, ja sen myötä DSI-arvo oli lämmittelyn jälkeen parempi. Osallistuja merkitsi äännön vaikeutuneen 1,2 yksikköä. Verrokkiryhmässä osallistujalla 3A paranivat maksimiäänönkesto ja hiljaisinta säveltä lukuun ottamatta kaikki arvot. Hän on arvioinut äänen tuottamisen vaikeutuneen 1,3 yksikköä.

Tottuneiden äänenharjoittajien ryhmästä löytyy tapaus (2B), jonka objektiivisesti mitatuista arvoista paranivat korkeinta säveltä lukuun ottamatta kaikki, mikä näkyi myös DSI-arvon kohoamisena. Lämmittelyn jälkeen hän ilmoitti muutoksen tuntuvan eikä halunnut jatkaa harjoitusten tekemistä 14 minuuttia enempää. Osallistuja kommentoi kuitenkin äänitysten jälkeen, ettei hänen äänensä ollut vielä lämmennyt, ja arveli, että kevätaallergia saattaa vaikuttaa asiaan. Hän merkitsi äänen tuottamisen työläyden vähentyneen vain hieman (0,6 yksikköä).

Tämä tottuneen äänenharjoittajan kommentti viittaa siihen, että lämmittelytilanteessa saavutettujen, subjektiivisesti koettujen parannusten vieminen muuhun äänenkäyttöön, tässä fonaatiotehtäviin ja luetaan, ei ole itsestään selvää. Lämmittelyn aikaansaama parannus voi tuntua harjoituksen aikana, esimerkiksi nasaaliäänössä, mutta kadota tai vähentyä, kun harjoitus lopetetaan. On mielenkiintoista, että kokemus on tottuneelta äänenharjoittajalta, jonka voidaan olettaa tottuneen viemään lämmittelyharjoitusten vaikutuksia puheeseensa. Tämä on osoitus siitä, että lämmittely on riippuvainen paitsi yksilöstä, myös – aivan ymmärrettävästi – tämän fyysisestä ja psyykkisessä kunnosta. Myös tottuneilla äänenharjoittajilla on päiviä, jolloin ääni ei tottele kuin on oletettua.

Kuten aikaisempien tutkimusten (esim. Elliot ym. 1995, Motel ym. 2003) myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että lämmittelyn vaikutukset näyttävät olevan hyvin yksilöllisiä. Sekä tottumattomista että tottuneista kahdella parani kuudesta objektiivisesti mitatusta arvosta 5. Verrokkiryhmästä kahdella parani neljä arvoa, vaikka heidän koeasetelmaansa

ei kuulunut varsinaista lämmittelyohjelmaa. Joidenkin äänenkäyttöä lämmittely vaikuttaa siis objektiivisesti mitattuna parantavan, vaikka kokemusta ei ole. Toisille jonkinasteiseksi lämmittelyksi vaikuttaa riittävän lyhytaikainenkin äänen käyttäminen.

## 7.2 Menetelmien ja toteutuksen arviointi

### 7.2.1 Menetelmät

Aiempien tutkimusten perusteella DSI:tä voidaan pitää luotettavana äänenlaadun kuvaajana (esim. Van Lierde ym. 2011, Wuyts ym. 2000). Tutkimusmetodin avulla ei kuitenkaan saavutettu odotettuja tuloksia. Tämän voidaan arvella johtuvan ainakin kahdesta asiasta.

Wuyts ym. (2000) toteavat, että DSI toimii arvioinnin apuna paremmin niiden henkilöiden kohdalla, joiden äänen yleiseksi käheysasteeksi ( $G = \text{grade}$ ) on GRBAS-asteikolla arvioitu 1 tai 2, kuin niiden, joiden äänen yleisarvosanaksi on arvioitu 0 tai 3<sup>2</sup>. Toisin sanoen niistä äänistä, jotka on luokiteltu kuulohavainnon perusteella kaikista terveimmiksi ja sairaimmiksi, DSI ei välttämättä anna kuulonvaraisen arvioinnin kanssa yhtä yhteneviä tuloksia kuin niiden väliin jäävistä. Tähän tutkimukseen ei sisälly kuuntelukoetta, mutta kaikkien tutkimukseen osallistuneiden äänenharjoittajien äänen käheydelle voidaan tutkijan arvion mukaan antaa arvoksi 0. Tämä viittaa siihen, että vaikka osallistujat arvioisivat itse äänen tuottamisen helpottuneen, parannukset eivät välttämättä näy indeksissä.

Toiseksi vastaavanlaisten menetelmien käytössä ääntösuorituksessa kannustaminen on todettu hyväksi. Tätä käsitellään enemmän alaluvussa 6.2.2 toteutuksen arvioinnin yhteydessä.

Tutkimuksessa kerättiin lomakkeilla taustatietoa osallistujista. Tieto osoittautui hyödylliseksi tuloksia arvioitaessa (esimerkiksi epätavallisten shimmer-arvojen kohdalla), mutta joitain puutteitakin havaittiin. Jotkut kysymykset olisivat kaivanneet tarkempia vastausvaihtoehtoja. Edellä mainittu äänenharjoittamiskokemuksen ja -tottumuksen kartoittaminen ei välttämättä antanut realistista kuvaa äänenharjoittajien tottumuksesta. Myös verrokkiryhmän kohdalla olisi ollut mielenkiintoista tietää, miten intensiivisesti ääntä on aikoinaan harjoitettu ja missä yhteydessä. Näin tuloksia olisi voitu tarkastella paremmin myös osallistujien taustoihin, eikä niin vahvasti nykytilanteeseen nähden. Tarkentavat kysymykset ja avoimet vastaukset valmiiden

---

<sup>2</sup> GRBAS-asteikko on äänen kuuntelu-arvioinnin avuksi kehitetty asteikko, jossa äänen eri piirteitä arvioidaan asteikolla 0–3, jossa 0 ilmaisee piirteen poissaolon ja 3 erittäin vahvan esiintymisen. Piirteet ovat yleinen käheysaste ( $G$ , *grade of hoarseness*), karheus ( $R$ , *roughness*), hälypitoisuus ( $B$ , *breathiness*), voimattomuus ( $A$ , *astheny*) ja vaivalloisuus ( $S$ , *strain*). (Wuyts ym. 2000.)

vastausvaihtoehtojen sijaan tai tukena auttaisivat tulosten tulkinnassa ja jättäisivät vähemmän arvelun varaan.

Samoin lomakkeisiin voisi lisätä arvion stressin ja ehkä myös yöunen määrästä. Stressi vaikuttaa kehon rentouteen ja oletettavasti myös tehtävään keskittymiseen (vrt. Sundberg ja ”väärin” suoritettu lämmittely luvussa 3.1). Tässä tutkimuksessa lämmittelyn jälkeen kysyttiin, onko ääni lämmennyt vai haluaako osallistuja vielä jatkaa lämmittelyä. Tämän lisäksi voisi olla hyödyllistä kysyä, miten lämmentyneeksi osallistuja kokee äänensä (vrt. Amir ym. 2005), niin että tuloksia voitaisiin tarkastella äänenharjoittajan aiempiin subjektiivisiin kokemuksiin nähden.

## 7.2.2 Toteutus

Tutkimuksessa tutkija selitti kullekin osallistujalle kirjallisena annetut äänitysohjeet myös suullisesti ja antoi tarvittaessa mallin tavoitellusta äännöstä. Osallistujia ei kannustettu, koska tarve siihen ilmaantui vasta äänitysten keskivaiheilla. Koska koeolosuhteet haluttiin pitää mahdollisimman yhtenevinä, loppujenkin osallistujien annettiin tehdä tehtävät aiemmin käytetyllä ohjeistuksella. Osallistujia ohjattiin vain vakioidun sävelkorkeuden löytämisessä ja korkealle liukumisessa, mikäli osallistujat eivät onnistuneet tehtävässä itse.

Myös tuloksien tarkastelussa kävi ilmi, että niistä osa jäi paljonkin suomalaisten yliopistopiskelijoiden keskimääräisistä tuloksista. Osallistujan 3B eri tehtävien äännönkesto osoittavat, että tehtävistä maksimiäänönkesto ei antanut todellista kuvaa siitä, millaiseen suoritukseen hän pystyy.

Vastaisuudessa on suositeltavaa, että osallistujat kokeilevat kutakin tehtävää tutkijan kanssa ennen niiden äänittämistä. Tällöin osallistujia voisi kannustaa parempaan suoritukseen ennen äänitystä ja mahdollisesti myös sen aikana. Tällainen tehtävien läpikäyminen olisi arvokasta erityisesti tottumattomille äänenharjoittajille, joille oman äänen ulottuvuudet ja hallitseminen saattavat olla kovinkin vieraita. Esimerkiksi korkeimman sävelen kohdalla tutkija olisi voinut auttaa niinkin yksinkertaisesti, kuin muistuttamalla, että kannattaa ottaa kunnolla ilmaa keuhkoihin eikä voimakasta ääntämistä tarvitse pelätä. Ohjaamisessa on lisäksi syytä painottaa näytteiden tasaisuutta. Esimerkiksi vibratoa tulisi välttää, ja korkeinta säveltä olisi hyvä ylläpitää vähintään sekunnin ajan, niin että näytteen mittaustarkkuus olisi parempi.

Milbrath & Solomon (2003:425) kävivät tutkimukseensa osallistujien kanssa kertaalleen läpi myös lämmittelyohjelman ennen varsinaista koeasetelmaa, niin että äänen lämmittelijät tunsivat olonsa mukavammaksi ja ymmärsivät, miten tehtävät tulisi suorittaa. Tässä tutkimuksessa äänitystilanteeseen tutustuttiin testiäänityksissä. Olisiko myös lämmittelyharjoitusten läpikäyminen

vaikuttanut parantavasti lämmittelyn onnistumiseen? Vai olisiko se saattanut vesittää tutkimuksen asetelmaa?

Sataloffin (2006:129) mukaan useimmat koulutetut laulajat tarvitsevat äänen lämpiämiseen 10–30 minuuttia. Tässä tutkimuksessa äänitysten välissä suoritetun lämmittelyn kesto oli 15 minuuttia. Esimerkiksi Van Lierden (2011) tutkimuksessa ääntä lämmiteltiin kaksinkertainen aika. Voidaan pohtia, olisiko pidempi lämmittely väsyttänyt (kokemattomien) ääntä entisestään vai olisiko sen puitteissa ehditty esimerkiksi keskustella enemmän siitä, millaisia tunteita niillä haetaan.

Motel ym. (2003) kommentoivat, että koska lämmittelyharjoitukset toimivat hyvin yksilöllisesti, ennalta määrätyt harjoitukset tuskin mahdollistavat tasapuolista äänilämmittelyä kaikille tutkimukseen osallistuville. Amirin ym. (2005) tutkimuksessa vastaavanlaista ongelmaa ei synny, sillä kukin koehenkilö valitsee itse itselleen parhaiten sopivat harjoitukset. Lämmittelyaikaa ei ole ennalta määrätty, vaan koehenkilö lopettaa lämmittelyn, kun tuntee äänensä auenneen. Tutkimuksessa saavutettiin tulokset, joiden mukaan lämmittely parantaa äänen laatua, mikä viittaa metodin onnistumiseen. Kyetäkseen valitsemaan itselleen sopivan lämmittelyharjoituksen osallistujan on kuitenkin oltava kokenut äänenharjoittaja.

Tähän tutkimukseen osallistuneet tottumattomat äänenharjoittajat eivät olisi osanneet valita itselleen harjoituksia. Koska heille annettiin ennalta määrätyt harjoitukset, myöskään kokeneet äänenharjoittajat eivät valinneet lämmittelyohjelmaansa itse. Tällä tavalla osallistujille pyrittiin luomaan mahdollisimman yhtäläiset olosuhteet, niin etteivät itse harjoitukset olisi muodostuneet ratkaisevaksi tekijäksi. Toisaalta voidaan ajatella, että harjoitusten valinta on yksi kokemuksen tuomista eduista, ja sen pitäisi antaa vaikuttaa myös tutkimuksessa. Sikäli että lämmittelyn suorittaneista yhtä lukuun ottamatta kaikki ovat kokeneet äänen tuottamisen helpottuneen, voidaan päätellä, että lämmittelyharjoitukset olivat ainakin jollain tasolla onnistuneet.

Ryhmän 1 osallistujien kokemattomuus äänenharjoittajina ilmenee ryhmän 2 osallistujia selvästi matalammista DSI-arvoista sekä ennen lämmittelyä että sen jälkeen (kuviot 3 ja 4). Sen perusteella vaikuttaa siltä, että ryhmät poikkesivat toisistaan riittävästi. Toisaalta verrokkiryhmään vaikuttaa sattuneen DSI:n perustella äänellisesti melko hyviä yksilöitä, mikä on saattanut vaikuttaa ryhmän tuloksiin.

### *7.3 Ehdotuksia jatkotutkimukseen*

Vaikka tämä tutkimus ei osoittanut selvää eroa tottumattomien ja tottuneiden äänenharjoittajien välillä, tutkimusta voisi jatkaa eri asetelmin. Suuremmat osallistujamäärät antaisivat

luotettavampaa tietoa osallistujan kokemuksen vaikutuksesta lämmittelyn onnistumiseen. Kuuntelukokeen avulla voitaisiin selvittää, kuuluuko koettu äänen tuottamisen helpottuminen ääntä lämmitelleiden äänessä kummassakin ryhmässä. Kuten aiemmin on todettu (esim. Amir ym. 2005; Leino ym. 2011), myös luennasta tehdyt spektrit voisivat osoittaa resonanssin paranemisen. Tämä voisi olla potentiaalinen kokemuksen tuoma ero, sillä vain totuneilla äänenharjoittajilla resonanssin voidaan olettaa voimistuvan niin merkittävästi, että se näkyisi myös spektrissä.

Elektroglottografiamittauksen ja VTI:n mittaamisen avulla saataisiin tietoa siitä, vaikuttaako lämmittely todella lähinnä äänihuulivärähtelyn tasaisuuteen vai onko myös adduktion tehostumisella rooli äänen laadun parantumisessa.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin, onko äänenharjoittajan kokemuksella merkitystä lämmittelyharjoitusten onnistumiseen objektiivisesti mitattuna ja subjektiivisesti arvioituna. Tuloksien perusteella kokemus ei näytä vaikuttavan lämmittelyn onnistumiseen. Lisäksi myös verrokkiryhmällä, joka ei lämmitellyt ääntään, havaittiin edullisia muutoksia äänen laadussa äänen lepuuttamisen jälkeen. Muutokset aiheutuvat todennäköisesti äänen käyttämisestä äänitystilanteissa ja äänen mukautumisesta tehtävään.

Tulokset viittaavat siihen, että äänen lämmittelyn seurauksena pidetty säännöllisempi äänihuulivärähtely on mahdollista saavuttaa myös pelkästään ääntä käyttämällä. Äänen lämmittely puhetekniikkaa parantavien harjoitusten avulla sen sijaan parantaisi ääniväylän impedanssia. Tämä saisi aikaan kokemuksen äänen tuottamisen helpottumisesta, kun samalla vaivalla saavutetaan aiempaa resonoivampi ja kantavampi ääntö. Tällaisia tekniikkaa parantavia harjoituksia ovat esimerkiksi fonaatio- ja artikulaatioasetuksia muokkaavat harjoitukset. Tutkimus osoittaa myös, että lämmittelyn vaikutukset ovat hyvin yksilöllisiä, eivätkä objektiivisesti ja subjektiivisesti mitatut vaikutukset aina ole samansuuntaisia.

# LÄHTEET

- Amir O, Amir N, Michaeli O. Evaluating the influence of warmup on singing voice quality using acoustic measures. *Journal of voice*. 2005;19(2):252–260
- Baken RJ, Orlikoff RF. *Clinical measurement of speech and voice*. Cengage Learning; 2000.
- Bergh U, Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *Journal of applied physiology*. 1979;46:885.
- Elliot N, Sundberg J, Gramming P. What happens during vocal warm-up? *Journal of voice*. 1995;9(1):37–44.
- Enflo L, Sundberg J, Romedahl C, McAllister A. 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*. 2013;56(5):1530–1538.
- Fant, G. *Speech sounds and features*. Cambridge, MA: The MIT Press; 1973.
- Grey SD, Hirano M, Sato K. Molecular and cellular structure of vocal fold tissue. In Titze IR (Ed.) *Vocal fold physiology: Frontiers in basic science*. San Diego, CA: Singular; 1993:1–35.
- Hirano M. Structure and vibratory behavior of the vocal folds. In: Sawashima M, Franklin SC (Eds.) *Dynamic aspects of speech production*. Tokyo: University of Tokyo Press; 1977:13–30.
- Hirano M. Clinical examination of voice. In Arnold GE, Winckel F, Wyke BD (Eds.) *Disorders of human communication 5*. Wien: Springer; 1981a.
- Hirano M. *Clinical Examination of Voice*. Wien-New York: Springer-Verlag; 1981b.
- Hirano M, Kurita S, Nakashima T. The Structure of the Vocal Folds. In Stevens KN, Hirano M (Eds.) *Vocal fold physiology*. Tokyo: University of Tokyo Press; 1981:33–41.
- Hirano M, Kakita Y. The Cover-Body Theory of Vocal Fold Vibration. In Daniloff RG (Ed.) *Speech science: Recent advances*. San Diego: College Hill Press; 1985:1–46.
- Ilomäki, I. *Opettajien ääneen liittyvä työhyvinvointi ja äänikoulutuksen vaikutukset*. Väitöstutkimus. Tampere: Tampereen Yliopistopaino; 2008.
- Kay Elemetrics Corp. *Multi-Dimensional Voice Program (MDVP), Model 4305. Operations Manual*. 1993.

- Laukkanen AM, Lindholm P, Vilkmán E. Vocal exercising and speaking related changes in glottal resistance: A pilot study. *Logopedics, phoniatrics, vocology*. 1998;23(2):85–92.
- Laukkanen AM, Järvinen K, Artkoski M, Waaramaa-Mäki-Kulmala T, Kankare E, Sippola S, Syrjä T, Salo A. Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia phoniatrica et logopaedica*. 2004;56(6):335–346.
- Laukkanen AM, Horáček J, Havlík R. Case-study magnetic resonance imaging and acoustic investigation of the effects of vocal warm-up on two voice professionals. *Logopedics, phoniatrics, vocology*. 2012;37(2):75–82.
- Laukkanen AM, Horáček J, Krupa P, Švec JG. 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. *Biomedical signal processing and control*. 2012;7(1):50–57.
- Laukkanen AM, Leino T. *Ihmeellinen ihmisääni*. Helsinki: Gaudeamus; 1999.
- Lauri ER, Alku P, Vilkmán E, Sala E, Sihvo M. Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia phoniatrica et logopaedica*. 1997;49(5):234–246.
- Laver, J. *The phonetic description of voice quality*. Cambridge University Press; 1980.
- Leino, T. Long-term average spectrum in screening of voice quality in speech: untrained male university students. *Journal of voice*. 2009;23(6):671–676.
- Leino T, Laukkanen AM, Ilomäki I, Mäki E. Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia phoniatrica et logopaedica*. 2008;60(4):199–209.
- Leino T, Laukkanen AM, Radolf V. Formation of the actor's/speaker's formant: a study applying spectrum analysis and computer modeling. *Journal of voice*. 2011;25(2):150–158.
- Leppänen, K. *Naisen ääni. Manuaalisen käsittelyn ja äänenkäyttöön liittyvän luennon vaikutukset opettajien äänihyvinvointiin*. Väitöstutkimus. Tampere: Tampereen yliopisto; 2012.
- Marjanen, K. *Miten oppia puhujaksi*. Porvoo: WSOY; 1964.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise physiology*. 5<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
- McHenry M, Johnson J, Foshea B. The effect of specific versus combined warm-up strategies on the voice. *Journal of voice*. 2009;23(5):572–576.
- Milbrath RL, Solomon NP. Do vocal warm-up exercises alleviate vocal fatigue? *Journal of speech, language, and hearing research*. 2003;46(2):422–436.
- Motel T, Fisher KV, Leydon C. Vocal warm-up increases phonation threshold pressure in soprano singers at high pitch. *Journal of voice*. 2003;17(2):160–167.

- Omori K, Kacker A, Carroll LM, Riley WD, Blaugrund SM. Singing power ratio: Quantitative evaluation of singing voice quality. *Journal of voice*. 1996;10(3):228–235.
- Proctor DF. *Breathing, speech and song*. Wien: Springer Verlag; 1980.
- Sataloff, RT. *Vocal Health and Pedagogy: Science and Assessment*. 2<sup>nd</sup> Edition. San Diego, CA: Plural Publishing; 2006.
- Saxon, KG, Schneider CM. *Vocal exercise physiology*. Singular; 1995.
- Schmidt RF, Thews G. *Human physiology*. Berlin: Springer-Verlag; 1983.
- Shewell C. *Voice Work: Art and Science in Changing Voices*. Chichester: Wiley; 2008.
- Sonninen A. Ontology and communication in speech and voice therapy. In: Kjaer BE (Ed.) *Proceedings of 3<sup>rd</sup> scandinavian conference of logopedics and phoniatrics*. Copenhagen: Audiologopaedisk forening; 1994:14–25.
- Sundberg J. *The science of the singing voice*. DeKalb, IL: Northern Illinois University Press; 1987.
- Sundberg J. Vocal tract resonance. In Sataloff RT (Ed). *Professional voice. The science and art of clinical care*. New York: Raven Press; 1991:49–68.
- Titze IR. *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1994.
- Titze IR, Verdolini Abbot K. *Vocology. The science and practice of voice habilitation*. National Center for Voice and Speech; 2012.
- Van Lierde KM, D'haeseleer E, Baudonck N, Claeys S, De Bodt M, Behlau M. The impact of vocal warm-up exercises on the objective vocal quality in female students training to be speech language pathologists. *Journal of voice*. 2011;25(3):e115–e121.
- Verdolini-Marston K, Titze IR, Druker, DG. Changes in phonation threshold pressure with induced conditions of hydration. *Journal of voice*. 1990;4(2):142–151.
- Vintturi J. *Studies on voice production: with a special emphasis on vocal loading, gender, some exposure factors and intensity regulation*. Academic dissertation. University of Helsinki; 2001.
- Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Medicine*. 2007;37(12):1089–1099.
- Wuyts FL, Bodt MSD, Molenberghs G, Remacle M, Heylen L, Millet B, Lierde KV, Raes J, Heyning PH. The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of speech, language, and hearing research*. 2000;43(3):796.

# LIITTEET

## Liite 1(3)

ENNAKKOTIETOLOMAKE				
Nimi:		Syntymäaika:		
1. ÄÄNEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT				
Rastita, jos sinulla on				
<input type="checkbox"/> astma			<input type="checkbox"/> jatkuvaa närästystä	
<input type="checkbox"/> ylähengitystieinfektio useammin kuin 4 krt/v			<input type="checkbox"/> refluksitauti	
<input type="checkbox"/> allergia, mikä?				
Tupakoitko?				
<input type="checkbox"/> en	<input type="checkbox"/> kyllä, savukkeita päivässä:		kpl	
2. ÄÄNENHARJOITTAMISKOKEMUS (Äänen harjoittamisella tarkoitetaan äänen laadun parantamiseksi tai äänen tuottamisen helpottamiseksi tehtäviä harjoituksia.)				
Onko sinulla kokemusta äänen harjoittamisesta?				
<input type="checkbox"/> on	<input type="checkbox"/> ei	Jos vastasit ei, siirry osioon 3.		
Harjoitatko ääntäsi nykyään säännöllisesti?				
<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> en	Jos vastasit en, siirry osioon 3.		
Miten usein harjoitat ääntäsi?				
<input type="checkbox"/> 5-7 päivänä viikossa	<input type="checkbox"/> 3-4 päivänä viikossa	<input type="checkbox"/> 1-2 päivänä viikossa		
<input type="checkbox"/> muutamana kerran kuussa	<input type="checkbox"/> en osaa sanoa			
3. ÄÄNENKÄYTTÖ				
Miten paljon arvioit käyttäväsi ääntä päivän aikana?				
<input type="checkbox"/> <2 t	<input type="checkbox"/> 2-4 t	<input type="checkbox"/> 4-6 t		
<input type="checkbox"/> 6-8 t	<input type="checkbox"/> 8-10 t	<input type="checkbox"/> >10 t		
Harrastatko jotain äänenkäyttöön liittyvää?				
<input type="checkbox"/> laulamista	<input type="checkbox"/> teatteria	<input type="checkbox"/> lausumista		
<input type="checkbox"/> muuta, mitä?				
Kuinka usein koet seuraavia vaikeuksia äänenkäytössä? Rastita.				
	ei koskaan	harvoin	silloin tällöin	usein
ääni väsy				
ääni käheytyy				
ääni katoaa				
puhuminen on työlästä				
kurkku ärsyyntyy/kipertyy				
LISÄTIETOJA (esim. tarkennuksia; muuta, jonka luulet tai tiedät vaikuttavan ääneesi):				

LOMAKE ÄÄNITYSTILANTEESEEN		
Ryhmä (tutkija merkitsee)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3
Nimi:	Pvm.:	klo.:
Päivän tilanne		
Koetko terveydentilasi hyväksi?		
<input type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> jokseenkin	<input type="checkbox"/> en
Jos et vastannut kyllä, kerro voinnistasi.		
Miten olet nukkunut viime yön?		
<input type="checkbox"/> hyvin	<input type="checkbox"/> tavallisesti	<input type="checkbox"/> huonosti
Heräämisaika:		
Miten paljon olet tänään käyttänyt ääntäsi?		
<input type="checkbox"/> tuskin lainkaan	<input type="checkbox"/> vähän	<input type="checkbox"/> paljon
Arvio päivän äänenkäyttöajasta tunteina:		
Millaiselta äänen tuottaminen tuntuu tänään? Merkitse rasti janalle.		
hyvin työläältä	tavanomaiselta	hyvin vaivattomalta
Miltä kurkussasi tuntuu tänään? Merkitse rasti janalle.		
väsymisoireita		ei oireita
Äänitys 1		
Millaiselta äänen tuottaminen tuntui äänitystilanteessa? Merkitse rasti janalle.		
hyvin työläältä	tavanomaiselta	hyvin vaivattomalta
Äänitys 2		
Millaiselta äänen tuottaminen tuntui äänitystilanteessa? Merkitse rasti janalle.		
hyvin työläältä	tavanomaiselta	hyvin vaivattomalta
Muita huomioita:		

## GRADUTUTKIMUKSEN ÄÄNILÄMMITTELY

### RENTOUS

Laske ylävartalo rentona alas roikkumaan. Puhalla ilmaa ulos keuhkoista ja hengitä syvään. Anna kasvojenkin kaikkien pienten lihasten rentoutua. Heilauttele ylävartaloa ja päätä puolelta toiselle. Päristele huulia. Nosta lopuksi ylävartalo hitaasti ylös, nikama kerrallaan. Pyri säilyttämään rentous.

Kasvojumppaa: pyri ”avaamaan” kasvot mahdollisimman laajalle: kohota kulmia, avaa silmät niin suuresti kuin mahdollista ja sano mahdollisimman liioitellusti *äks*. Seuraavaksi rypistä kasvot niin pieneksi kuin mahdollista: kurtista kulmat ja vedä huulet suppuun ja sano *yy*. Toista. Ravistele lopuksi kasvojen lihakset rennoiksi.

Venytykset:

Haetaan ensin hartiasedululle lämpöä hiihtoliikkeellä eli heiluttamalla käsivarsia eteen ja taakse.

1. Kallista päätä oikealle, niin että oikea korva on hartian päällä. Anna vasemman puolen lihasten venyä n. 20 sekuntia. Toista venytys kallistaen päätä vasemmalle puolelle.
2. Aseta vasemman käden peukalon alaosa oikean solisluun alapuolelle ja paina kevyesti. Taivuta päätä takaviistoon vasemmalle. Anna kaulan oikean puolen lihasten venyä n. 20 sekuntia. Toista venytys toiselle puolelle.
3. Aseta etusormi, keskisormi ja nimetön toisiinsa kiinni ja vie ne koukistettuina hampaiden väliin nivelkohta edellä. Anna leukojen venyä n. 20 sekuntia.
4. Rintalihasvenytys: Anna ohjaajan viedä suoria käsivarsiasi hiljalleen taaksepäin niin, että rintalihakset venyvät.

### HENGITYS

Hengitä keuhkot tyhjiksi, ja pidätä hengitystä hetken. Päästä ilma virtaamaan syvään keuhkoihin niin, että vatsa pullistuu. Uloshengityksellä muodosta /s/-äännettä niin pitkään kuin jaksat, kuitenkin puristamatta. Toista.

### ÄÄNTÖBALANSSI: SEMIOKKLUUSIO

Bilabiaalinen v: Anna ilman virrata keuhkoihin. Aseta huulet kevyesti yhteen ja anna uloshengitysilman virrata niiden läpi niin, että huulilla tuntuu kihelmöintiä ja syntyy suriseva ääni. Tee harjoitus kolme kertaa. (Mikäli tämä ei toimi, koeta tavallista /v/-äännettä.)

Kämmeneen ääntäminen (hand over mouth technique): Aseta kämmen suun eteen ja äännä tasaista vokaaliääntöä. Tunnustele värähtelyä huulten alueella ja kämmenessä. Jatka ääntöä, mutta poista kämmen suun edestä. Tee harjoitus kolme kertaa.

### RESONANSSI

Mumise nasaalilla (m, n tai ng) ja tunnustele resonanssituntemuksia kasvoissa ja rintakehässä. Avaa leukaa ja pureskele ilmaa ja hae sillä tavoin suurimmat värähtelytuntemukset. Mumise eri korkeuksilta, liu’u ylhäältä alas ja alhaalta ylös. Avaa nasaaliääntö vokaaliksi pyrkimyksenä säilyttää hyvä resonanssi myös vokaaliäännössä: *mmmmaaa*, *mmmamumamumu...*

### KORKEUSVAIHTELU (LIHASTREENI CT, TA)

Liu’u korkeilta säveliltä matalille ääntämällä esim. vingun-vangun-vongun. Kokeile myös eri vokaaleja haukotusasetuksessa.

### ARTIKULAATIO: ETISYYS

Harjoita etistä artikulaatiota seuraavin sarjoin (kukin ainakin kahdesti)

illillillillii-ullullullulluu  
ellelleelelee-ollollollolloo  
ällällällää-allallallaaa