

**AUDITIIVISEN PALAUTTEEN HÄIRITSEMISEN
VAIKUTUS MIESLAULAJAN
SÄVELKORKEUTEEN JA ÄÄNENVÄRIIN**

Niko Huttunen
Kandidaatintyö
Musiikkitiede
Kevät 2010
Jyväskylän yliopisto

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta – Faculty Humanistinen	Laitos – Department Musiikin laitos
Tekijä – Author Huttunen Niko	
Työn nimi – Title Auditiivisen palautteen häiritsemisen vaikutus mieslaulajan sävelkorkeuteen ja äänenväriin	
Oppiaine – Subject musiikkitiede	Työn laji – Level kandidaatintutkielma
Aika – Month and year 2010	Sivumäärä – Number of pages 25
Tiivistelmä – Abstract <p>Aiemmassa tutkimuksessa on osoitettu, että laulajan säveltarkkuus heikkenee kun hänen auditiivista palautejärjestelmäänsä häiritään. Aiemmissa kokeissa koetehtävinä on käytetty sointuarpeggioita sekä asteikkoja, jolloin sävelen kontekstisidonnaisuus on jäänyt vähemmälle huomiolle. Tässä tutkimuksessa haluttiin eksperimentin avulla selvittää kuinka tarkastelusävelen konteksti vaikuttaa sävelkorkeuden vaihteluihin, kun koehenkilöiden auditiivista palautejärjestelmää häiritään. Koetehtävät olivat lyhyitä melodioita sekä tuttu lastenlaulu. Koehenkilöt olivat miehiä. Selvisi, että ylhäältä päin lähestyttäessä kohdesävelen sävelkorkeus on selvästi matalampi kuin alhaalta päin lähestyttäessä. Saatua tulos kertoo laulajan ns. yliarvioivan intervallin koon musiikillisen liikkeen ollessa suuntautunut alaspäin, kun saatava auditiivinen palaute on puutteellinen. Lisätutkimusta melodisen kontekstin vaikutuksesta laulajan sävelpuhtauteen kannattaisi suorittaa.</p>	
Asiasanat – Keywords sävelkorkeus, äänenväri, sävelpuhtaus, laulajat	
Säilytyspaikka – Depository JYX	
Muita tietoja – Additional information	

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	3
1 KUULEMINEN JA HAVAITSEMINEN	4
1.1 KUULON TOIMINNAN SUBJEKTIIVISUUDEN TUTKIMINEN	4
1.2 KUULON LOGARITMINEN DYNAMIIKAN HALLINTA JA DESIBELIASTEIKKO	5
1.3 KUULON HERKKYYS JA ÄÄNEN VOIMAKKUUDEN HAVAITSEMINEN SUHTEESSA TAAJUUTEEN	5
2 LAULAMISEN VAIKEUS	7
2.1 LAULU INSTRUMENTTINA	7
2.2 LAULAJAN ÄÄNEN SÄVELKORKEUDEN HALLINTA	8
2.3 AUDITHIVISTEN PALAUTTEIDEN EROAVAISUUDET	10
3 MENETELMÄT	12
3.1 KOKEESEEN OSALLISTUJAT	12
3.2 LAITTEISTO	12
3.3 KOEJÄRJESTELY	13
4.1 SÄVELKORKEUDEN MUUTOKSEN TARKASTELU	16
4.2 ÄÄNEN KIRKKAUDEN MUUTOKSEN TARKASTELU	17
4.3 TULOSTEN TULKINTAA	18
5 YHTEENVETO	21
LÄHDELUETTELO	23
LIITTEET	24

JOHDANTO

Oletko koskaan kuullut omaa ääntäsi nauhalta ja kummastellen todennut ettei se kuulosta yhtään sinulta tai ainakaan siltä miltä olet tottunut oman äänesi kuulemaan? Tai oletko huomannut kuinka korostat ääntäsi meluisassa ympäristössä? Tai oletko esiintyvä muusikko ja olet usein esiintymistilanteessa, jossa et kuule itseäsi hyvin ja sen vuoksi tunnet olosi epävarmaksi? Oman äänen kuuleminen on jokaiselle hyvin subjektiivinen kokemus, koska kuulemme äänemme kahdella tavalla: korvolehden kaappaamana ilman molekyylien värähtelynä sekä kallon luita myöten tulevana johtumisena. Oma ääntämme nauhalta kuullessamme kuulostamme omaan korvaan erilaiselta, koska äänestä puuttuvat luiden johtumisesta aiheutuvat matalammat taajuudet. Yleensä ottaenhan matalat taajuudet ovat muutenkin enemmän tunnettavissa kuin kuultavissa. Tämän on varmasti moni huomannut diskoillassa, kun basson jytkä tuntuu – varsin osuvasti sanoen – luissa ja ytimissä.

Tässä proseminarityössäni käsittelen oman äänemme kuulemisen vaikutusta laulusuoritukseen. Tarkastelen kuulemisen vaikutusta laulun sävelpuhtauteen ja sävelpuhtauden hallintaan, kun kuulomme avulla saatavaa auditiivista palautetta häiritään. Tavoitteena on selvittää eksperimentin avulla pystymmekö kontrolloimaan laulusuorituksemme sävelpuhtautta erilaisissa kuunteluolosuhteissa: saadessamme pelkästään luujohtumisen kautta tulevan informaation vai tarvitsemmekö myös ulkokorvan kautta tulevaa informaatiota? Mielenkiinnon kohteena ovat saatavien tuloksien mahdolliset eroavaisuudet. Lisäksi tarkastelen mahdollisia eroja sointivärissä, joita oman äänen kuulemattomuus voi aiheuttaa.

Koe järjestettiin Jyväskylän yliopiston musiikin laitoksen studiossa keväällä 2010. Kyseessä oli pilottitutkimus. Koehenkilöt olivat laulukokemusta omaavia musiikin opiskelijoita, jotta heillä olisi tarvittavat tiedot ja taidot oman lauluäänensä kontrolloimiseen ja annettavien koetehtävien suorittamiseen. Kokeessa käytettiin myös yhtä kaikille osallistujille tuttua lastenlaulua. Muut kokeessa käytetyt melodiat olivat sävelletty kokeenjärjestäjän toimesta, jotta kaikki koehenkilöt olivat saman arvoisessa asemassa melodioiden tunnettavuuden suhteen eikä ennakkovalmistautumista kokeeseen näin ollen tarvittu.

1 Kuuleminen ja havaitseminen

1.1 Kuulon toiminnan subjektiivisuuden tutkiminen

Kuuleminen ja kuulohavainnon muodostuminen saavat eri ihmisillä aikaan aina hieman erilaisen aistimuksen. Kuulon, ja tarkemmin sanoen kuuloaistimuksen tutkiminen, on hyvin subjektiivisella alueella liikkuva tutkimussuunta. Tätä subjektiivisen kuuloaistimuksen tutkimukseen keskittyvää ja alati kehittyvää tutkimusaluetta kutsutaan psykoakustiikaksi.

Psykoakustiikka on monia eri tieteenaloja yhdistävä tiede (mm. fysiikka, psykologia, biologia, musiikki, akustiikka), joiden periaatteita ja apuvälineitä se pyrkii yhdistellen hyödyntämään (Rossing, 1983, 59). Psykoakustiikka pyrkii yhdistämään objektiivisen akustisen herätteen ja sen tuottaman subjektiivisen kuuloaistimuksen toisiinsa. Psykoakustiikka pyrkii esimerkiksi mallintamaan kuuloaistimuksen syntymekanismia, jotta voitaisiin ennustaa aistitun äänen ominaisuuksia (äänenkorkeus, voimakkuus tai äänenväri) akustisen signaalin fysikaalisista parametreista. Tämä subjektiivisen ja objektiivisen maailman yhdistäminen on mahdollista, koska kyseiset asiat ovat riippuvuussuhteessa keskenään.

Akustisen signaalin fysikaaliset parametrit ja kuuloaistilla havaittavat äänen ominaisuudet risteävät taulukon 1 osoittamalla tavalla: Taulukko havainnollistaa kuuloaistin subjektiivisten ominaisuuksien sekä fysikaalisten suureiden yhteyksiä, jotka mahdollistavat ilmiöiden tutkimisen.

TAULUKKO 1. Äänen subjektiivisten ja fysikaalisten ominaisuuksien analogiasta. Kuva kirjasta Rossing: The Science of Sound, s.73.

Subjektiivinen ominaisuus	Äänen voimakkuus	Äänenkorkeus	Äänenväri	Kesto-aika
Fysikaalinen parametri				
Paine	***	*	*	*
Taajuus	*	***	**	*
Spektri	*	*	***	*
Kesto	*	*	*	***
Verhokäyrä	*	*	**	*

* = heikko riippuvaisuus; ** = kohtalainen riippuvaisuus; *** = vahva riippuvaisuus.

1.2 Kuulon logaritminen dynamiikan hallinta ja desibeliasteikko

Aluksi haluan kiinnittää huomion kuulojärjestelmämme erittäin laajaan dynamiikan hallintakykyyn. Suhde heikoimman kuultavan äänen äänenpaineen ja voimakkaimman kestettävän äänen äänenpaineen suhde on noin $1:10^6$ (Rossing, 1983, 61). Tämä tarkoittaa pienimmän (esimerkiksi nuppineulan putoamisen havaitseminen) ja voimakkaimman (vaikkapa lentokoneen nousun seuraaminen kunnioittavan etäisyyden päästä) äänen välistä eroa miljoonakertaiseksi(!). Voimakkaimmalla äänellä tarkoitan tässä ääntä, joka todella kuullaan eikä koeta vielä kivuliaaksi.

Tätä erittäin laajaa korvan dynamiikkaherkkyyttä äänenpaineen vaihteluille esittämään on valittu logaritminen desibeliasteikko (dB-asteikko). Asteikko on kehitetty helpottamaan suurten ja epäkäytännöllisten lukujen hahmottamista (Howard & Angus, 2007, 81). Desibeliasteikko ottaa huomioon korvamme logaritmisella tavalla havaita äänenpaineen vaihteluita. Logaritmisella tavalla äänenpaineen havaitseminen tarkoittaa, että äänenpaineen kymmenkertaistuminen tuntuu aina yhtä suurelta muutokselta: kasvu kymmenestä sataan ja sadasta tuhanteen vaikuttaa yhtä suurelta. Desibelejä käytettäessä äänenpaineen kymmenkertaistaminen vastaa 20dB:n nousua ja äänenpaineen satakertaistaminen vastaa 40dB:n nousua jne. Asteikko on luotu käyttäen 4kHz:n siniaaltoja ja se alkaa käytännössä kuulomme alarajalta (0dB) ja jatkuu aina kipukynnykselle (130dB) saakka.

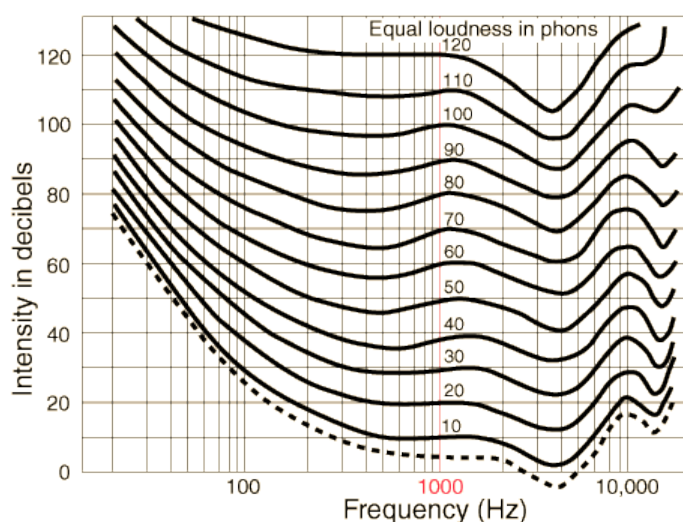
1.3 Kuulon herkkyys ja äänen voimakkuuden havaitseminen suhteessa taajuuteen

Ihmisen kuuloalue kattaa teoriassa äänet, jotka liikkuvat välillä 20Hz - 20kHz, mutta käytännössä vain nuorten kuuloalue on noin laaja. Vanhetessa kuuloalueen rajat supistuvat korkeampien taajuuksien osalta vähitellen. Esimerkiksi jo 20-vuotiaalla kuuloalueen yläraja voi olla laskenut 16 kHz:iin. (Howard & Angus, 2007, 80).

Kuulon herkkyys ja voimakkuuden havaitseminen vaihtelee matalien ja korkeiden äänien osalta suuresti. Matalien äänien ($< 100\text{Hz}$) ja korkeiden äänien ($> 12\text{kHz}$) kohdalla herkkyys ei ole kovin hyvin hyvä, ainakaan verrattuna siihen mitä se on parhaimmillaan. Korva on kaikkein herkimmillään taajuusalueella 2-4kHz. Herkkyys tuolla välillä johtuu pääasiassa korvakäytävän resonanssitaajuudesta, joka on n.

3,4kHz. Tämän korvan taajuusherkkyyden takia aiemmin mainitsemani desibeliasteikko on luotu käyttäen 4kHz:n testiääntä, jolloin asteikko saadaan kalibroituja korvan herkimmän taajuuden mukaan. Lisäksi korvan herkkyyteen vaikuttaa sekä kuuloluiden tapa siirtää äänenpaineen vaihtelut sisäkorvaan että sisäkorvan kyky muuntaa mekaaniset äänenpaineen muutokset sähköisiksi hermoimpulsseiksi. (Howard & Angus, 2007).

Edellä mainituista syistä johtuen korvan taajuusvaste on kaikkea muuta kuin tasainen, joten korvan subjektiivista herkkyyttä taajuuden ja äänenpaineen välillä kuvaamaan on kehitetty fooniasteikko (phon scale) ja niin sanotut equal loudness –käyrät, joita alunperin tutkivat jo vuonna 1933 tutkijat Fletcher ja Munson (Howard & Angus, 2007, 83). Kuviossa 1 on havainnollistettu kuinka lujaa äänen täytyy soida tietyllä äänenpaineella soitettuna desibeleissä mitattuna, jotta se havaittaisiin yhtä voimakkaaksi kuin vertailtava ääni yhden kilohertsin (1 kHz) taajuudella.



KUVIO 1. Equal loudness –käyrät 1kHz:n siniäänellä mitattuna. Voimakkuustasot on esitetty fooneina. Katkoviiva kuvaa kuulokynnystä. Kuvio kirjasta Rossing: The Science of Sound, s.82.

2 Laulamisen vaikeus

2.1 Laulu instrumenttina

Yleensä lauluääni erotetaan muista niin sanotuista soitettavista instrumenteista. Lauluääni on kuitenkin vanhin ihmisen käyttämä instrumentti ja luultavasti muuntautumiskykyisin. Jokainen, joka kykenee puhumaan kykenee myös laulamaan, vaikkakaan kaikki eivät pysty laulamalla itseään elättämään. Laulaessa ihminen soittaa itseään ja lauluelimistöään (engl. vocal tract), eikä fyysisesti ruumiista irrallista soitinta, jonka voi suorituksen jälkeen laittaa konkreettiseen koteloon. Lauluääntä kuvataan usein yksinkertaistetulla lähde-suodatin mallilla (engl. source-filter model): lähteenä toimii harmonisesti rikas signaali, joka tuotetaan äänihuulten avulla ja suodattimena toimivat muut lauluelimet, joihin voidaan lukea muunmuassa kurkunpää, kieli, leuka ja huulet (Joviveau, 2004 ja INTERNET 1). Lauluelimillä kontrolloidaan laulukanavan resonansseja halutun kaltaisen efektin aikaan saamiseksi. Koulutetut äänen käyttäjät kuten esimerkiksi laulajat tai näyttelijät ovat taitavia hyödyntämään lauluelinten monimuotoisuutta tuottaessaan paljon toisistaan eroavia ääniä. Kun laulajan samaa auditiivinen palaute on sopivaa, äänenkäyttökäytännöiden opettelu on myös helpompaa. Lauluääni vaatii samankaltaista huoltoa kuin mikä tahansa muukin instrumentti: sitä täytyy lämmitellä, verrytellä ja harjoittaa. Lauluäänen täytyy myös antaa levätä.

Yksi merkittävä ero lauluäänestä kuitenkin löytyy verrattuna muihin instrumentteihin: sillä ei ole tarkkaa sävelkorkeuden vertailukohtaa (Cook, 1999, 196). Suurimmassa osassa muista instrumenteista, kuten esimerkiksi vaski- ja puupuhaltimissa sekä kielisoittimissa soittimen fysikaalisista ominaisuuksista johtuen sillä voi tuottaa tiettyjä sävelkorkeuksia. Nämä sävelkorkeudet ovat riippumattomia soittajasta (Cook, 1999, 197). Joissakin soittimissa sävelkorkeus voi olla kvantisoitu, jolloin soittimella pystyy tuottamaan vain tietyn korkuisia säveliä (esim. piano). Joillakin soittimilla puolestaan kyetään tuottamaan sävelkorkeuksien jatkumo, jossa kaikki sävelkorkeudet voidaan käydä portaattomasti, pyyhkäisemällä lävitse (esim. nauhattomat kielisoittimet tai pasuuna). Näilläkin soittimilla, jotka kykenevät tuottamaan sävelkorkeuksia portaattomasti, on kuitenkin omat vertailusävelensä, joihin soittaja voi turvautua esim. viulun vapaana soivat kielet toimivat tällaisina tuenantajina.

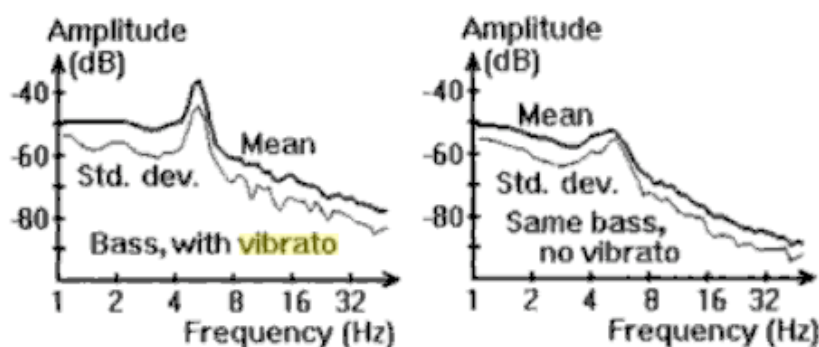
Lauluäänen käyttäjällä eli laulajalla tällaista turvapaikkaa ei ole. Laulajalla voi olla lihasmuistissa arvio siitä miltä tietyn korkuiset sävelet tuntuvat ja kuulostavat, mutta ei ole varmuutta siitä pystyykö hän tuottamaan juuri halutulla sävelkorkeudella olevan äänen. Jos laulajalla on mielessään kohdesävel, jonka hän haluaa tuottaa ja hän kykenee kuulemaan oman äänensä, hänen auditiivinen palautejärjestelmänsä alkaa toimimaan muutaman millisekunnin viiveellä äänen aloittamisen jälkeen. Viive suurenee, jos palautejärjestelmää häiritään. Tätä niin sanottua mielikuvaharjoittelua ja lauluelimien valmistautumista kutsutaan kirjallisuudessa esiääntämisen virittäytymiseksi (engl. prephonatory tuning). Esivirittäytymisen tarkkuuden on havaittu vaihtelevan koulutettujen ja kouluttamattomien laulajien välillä, mutta varsinaista selkeää eroa ei ole saatu aikaiseksi (Barnes-Burroughs, 2003).

Mitään takeita ei kuitenkaan ole, että tuotettu ääni olisi aina täsmälleen samalla sävelkorkeudella. Edes absoluuttinen sävelkorva ei auta, jos laulajan äänentuottamistekniikka on puutteellinen. Henkilö voi kuulla oikean sävelen päänsä sisällä, mutta ei vain saa sitä tuotetuksi ääneksi. Ns. hyvilläkin laulajilla halutun sävelen ja sävelkorkeuden tuottamien voi olla vaikeaa ja siihen voivat vaikuttaa muun muassa sairaus, ikä tai kellonaika (Cook, 1999, 197). Väsymys voidaan ymmärtää joko unen tarpeena tai sitten henkilön ääni (eli käytännössä äänihuulet) ovat väsyneet pitkään jatkuneesta käytöstä eivätkä ole saaneet tarvitsemaansa lepoa.

2.2 Laulajan äänen sävelkorkeuden hallinta

Laulajalla ja muilla akustisilla instrumenteilla, joilla on suora yhteys instrumentin fysikaalisiin ominaisuuksiin, on aina havaittavissa jonkinasteista hajontaa tuotetun äänen sävelkorkeudessa. Esimerkiksi saksofonisti kykenee säätelemään tuottamansa ilmapatsaan muotoa soittimessaan ja näin ollen saksofonin soittoa voidaankin rinnastaa osittain myös laulamiseen. Pianistilla puolestaan ei ole mahdollisuutta vaikuttaa välittömiin värähtelyihin, joita hänen instrumenttinsa tuottaa. Osa sävelkorkeuteen liittyvästä hajonnasta on tahallista ja osa tahatonta. Suoran huojumattoman sinimuotoisen (eli vain yhtä taajuutta sisältävän) äänen tuottaminen on käytännössä mahdotonta ilman sähköisiä apuvälineitä. Viheltämällä päästään lähelle kuulokuvaa, jonka yhtä taajuutta sisältävä siniääni tuottaa.

Laulajan tarkoituksella tuottamaa sävelkorkeuden modulointia kutsutaan vibratoksi (Cook, 1999, 198). Vibrato on 5-8 Hz:n alueella tapahtuvaa taajuusvärähtelyä, jota on käytännössä aina läsnä laulajan äänessä. Kun analysoidaan laulajan ääntä fouriermuunnoksen avulla tuotetusta spektristä, voidaan havaita selkeä huippu 6 Hz:n tietämillä, jota kutsutaan nimellä vibrato-komponentti (kuvio 2).



KUVIO 2. Fourier-spektri laulettavasta sävelestä taajuuden funktiona esitettynä vibraton kanssa ja ilman. 6 Hz:n taajuudella ilmestyvä huippu on selkeästi näkyvissä myös ilman vibratoa laulettavassa sävelessä. Kuvio kirjasta Cook: Music, cognition and computerized sound, s.199.

Ennen vibratohuippua esiintyvää aluetta kutsutaan usein liukuma-alueeksi (engl. drift region) ja huipun jälkeistä aluetta värinä-alueeksi (engl. jitter region) (Cook, 1999, 199). Värinä on suurimmalta osaltaan hallitsematonta samaan tapaan kuin vartaloa silloin tällöin värisyttävät kylmänväristyksen ja joissakin tapauksissa värinän hallintayritykset voivat johtaa vielä suurempaan värinään.

Liukuma-alue puolestaan liittyy läheisesti äänen sävelkorkeuden hallintajärjestelmäämme. Aivot lähettävät signaaleja lauluelimille, jotta äänihuulet lähentyisivät toisiaan ja alkaisivat värähdellä. Äänihuulten värähtely kuullaan kuulojärjestelmämme avulla äänenä, jonka aivot taas puolestaan prosessoivat ja lähettävät korjaussignaaleja lauluelimille, jotta haluttu sävelkorkeus saavutettaisiin. Tämä kaikki ei tapahdu aivan synkronoidusti yhtä aikaa vaan siihen sisältyy pieni sisäsyntyinen viive. Viive puolestaan aiheuttaa sen, että prosessin tuloksena tuotetun äänen sävelkorkeus liikuu (drift) hitaasti halutun sävelkorkeuden ylä- ja alapuolella eli niin sanotulla liukuma-alueella 5 Hz:n rajoissa (Cook, 1999, 200).

Koska liukuma toimii suhteessa äänen sävelkorkeuden hallintaan, auditiivinen palaute (auditory feedback) on tärkeässä osassa sävelkorkeuden hallinnassa. Auditiivisella palautteella tarkoitetaan laulajan oman äänen hallintajärjestelmää. Jos laulajalla on vaikeuksia kuulla omaa ääntänsä eli auditiivinen palaute on puutteellista, sävelkorkeuden hallinta vaikeutuu ja liukuma kasvaa.

2.3 Auditiivisten palautteiden eroavaisuudet

Laulaja saa omasta äänestään auditiivista palautetta kahdella eri tavalla: ulkokorvan kaappaamina ilmanpaineen vaihteluina sekä luujohtumisen avulla. Von Bekesy osoitti vuonna 1949 tekemillään tutkimuksilla, että molemmat palautteet ovat äänenvoimakkuudeltaan suurin piirtein samat. Von Bekesyn havainnot herättivät myös kysymyksen auditiivisen palautteen kahden reitin tärkeysjärjestyksestä: kumpi reiteistä on tärkeämpi ja pystymmekö tuottamaan haluamme sävelkorkeuden vain toisen reitin varassa? Tehdyt tutkimukset ovat kallistaneet vaakakupia, ainakin osittain, enemmän ulkoisen (ulkokorvan kautta tulevan) palautteen puolelle, mutta myös sisäisen (luujohtumisen kautta tulevan) palautteen puolesta on liputettu (Barnes-Burroughs, 2003, 186).

Palautteiden sisältämät informaatiot eroavat pääasiassa niiden sisältämien taajuusvasteiden osalta. Luujohtumisen tapauksessa, joka tapahtuu muun muassa kasvonluiden, leukaluun ja kuulokäytävän välityksellä matalat taajuudet ovat ylikorostuneita. Tämä tukee käsitystä laulajan oman äänensä kuulemisesta tummempana kuin mitä se on todellisuudessa kuulijalle (Howell, 1984, 280). Äänen ”tummuuden” ei kuitenkaan pitäisi olla este sävelkorkeuden hahmottamisessa eikä myöskään tuottamisessa. Yksi kuulemiseen liittyvien teorioiden lähtökohtana on, että ihminen ei voi tuottaa sellaista ääntä, jota hän ei voi kuulla. Tomatiksien efektinä tunnettua teoriaa ei ole pystytty todentamaan tieteellisesti.

Järjestämässäni eksperimentissä pyrittiin selvittämään eri palautejärjestelmien mahdollisia eroavaisuuksia, jotka ilmenevät sävelkorkeuden tai äänenväriin muutoksissa. Koetettävät rakennettiin aiemmista tutkimuksista poikkeaviksi lähinnä tarkastelusävelen kontekstin puolesta. Käytetyistä koemelodioista pyrittiin myös tekemään ”musikaalisempia” kuin aiemmissa tutkimuksissa (mm. Barnes-Burroughs,

2003; Mürbe, 2002) käytetyt sointuarpeggiot tai sävelasteikot. Musikaalisilla melodioilla tarkoitan tässä yhteydessä melodioita, jotka voisivat olla lainauksia tunnetuista lauluista. Tutkimuksella pyrittiin näin pääsemään lähemmäksi oikeaa esitystilannetta.

3 Menetelmät

3.1 Kokeeseen osallistujat

Kokeeseen osallistui kuusi (6) miespuolista Jyväskylän yliopiston musiikin opiskelijaa, joilla oli 4-15 vuotta laulukokemusta. Yhdenkään osallistujan pääinstrumentti ei ollut laulu. Osallistujien ikähaarukka oli 20-26 vuotta, keski-ikä ollessa 23,5 vuotta. Osallistujien kuulo oli normaali ja eikä kenelläkään ollut todettu äänen tuottamiseen liittyviä ongelmia eikä sairauksia.

3.2 Laitteisto

Koe suoritettiin Jyväskylän yliopiston musiikin laitoksen studiossa, joka tarjosi myös käytettävän laitteiston ja ohjelmat. Kokeessa käytetty mikrofoni oli Korby Audion valmistama boutique putkimikrofoni, jonka suuntakuvio oli hertta. Mikrofoni valittiin sen herkkyyden vuoksi, jotta tallennettava materiaali saataisiin mahdollisimman tarkasti jokaista nyanssia myöten talteen. Osallistujat ohjeistettiin seisomaan varpaat viivan takana, joka oli mitattu 30cm päähän mikrofoniin kapselista. Etuvahvistus tapahtui transparentilla GML 8304 –etuvahvistimella, jotta audiosignaali ei värittyisi etuvahvistuksen myötä ja näin ollen vaikuttaisi tallennettaviin näytteisiin.

Kokeessa käytetyt kuulokkeet, joista koehenkilöt kuulivat toistettavat tehtävät ja taustakohinan, olivat suljetut ja malliltaan Sennheiser HD 25-II. Nämä kuulokkeet, koska ne suodattivat tehokkaasti laulajan ulkoista palautetta, toistivat tarkasti kuuluvat tehtävät sekä kestivät ongelmitta 83dB:n voimakkuudella tuotetun 50-2000Hz:n taajuuskaistalle suodatetun vaaleanpunaisen kohinan (pink noise). Lisäksi ne ovat miellyttävät päässäpidettävät. Häiriökohinaksi valittiin vaaleanpunainen kohina, koska se ottaa osaltaan huomioon korvan taajuusherkkyyttä toisin kuin esimerkiksi valkea kohina. Vaaleanpunaisessa kohinassa niin sanottu kohinateho on jakaantunut kääntäen verrannollisesti äänen taajuuden ja voimakkuuden suhteen siten, että kohinan voimakkuus alenee 3dB/oktaavi taajuuden kasvaessa (Rossing, 1983, 473). Vaaleanpunaisen kohinan käytöllä ja sen suodattamisella haluttiin varmistua ettei kokeeseen osallistujien kuuloa vaarannettu eikä kukaan kokisi häiriökohinaa epämiellyttävän voimakkaana.

Kohinan voimakkuus mitattiin ja säädettiin ennen kokeen suorittamista kuulokkeiden kapseleiden välistä AZ 8922 Digital Sound Level Meter –äänepainemittarilla. Kohinan kalibrointi suoritettiin A-painotuksella, joka ottaa huomioon korvan taajuusherkkyyden. Koehenkilöiden suoritukset tallennettiin Pro Tools HD –järjestelmällä digitaaliseen wave-tiedostomuotoon, jonka näytteenottotaajuutena oli 48000Hz ja -tarkkuutena 24 bittiä.

Audioanalyysiin valittavat sävelet eroteltiin äänitiedostoista ja järjesteltiin omiin koreihinsa kontekstinsa mukaan. MatLab –ohjelman alustalla toimivalla MIRtoolbox –audioanalyysiohjelmalla suoritettussa analyysissä sävelet rajattiin kontekstinsa mukaan kolmeen erikokoiseen tarkasteluikkunaan, jolloin niistä leikkautui pois alukkeet sekä lopukkeet, jotta analyysi tarkentuisi vain soivaan säveleen. Tarkasteluikkunat olivat pituudeltaan 1-6s pitkille äänille, 0,1-0,8s melodiasävelille sekä 0,1-0,5s lastenlaululle. MIRtoolbox –ohjelmalla analysoitiin sävelet sävelkorkeuden ja sävelen kirkkauden (cutoff 1500Hz) mukaan. Tilastollinen analysointi saadusta datasta suoritettiin SPSS –ohjelmalla.

3.3 Koejärjestely

Eksperimentti suoritettiin toistettujen mittausten mallilla: kaikki osallistujat suorittivat annetut tehtävät kahdessa toisistaan selkeästi poikkeavissa suoritulosuhteissa. Toisessa tilanteessa osallistujan oman äänen kuulemista häirittiin kuulokkeista ajettulla kohinalla ja toisessa tilanteessa häiriötekijä oli poistettu. Osallistujat suorittivat kokeen kokonaisuudessaan kahteen kertaan. Kukin osallistuja suoritti kokeen omassa erillisessä tilaisuudessaan ilman muita läsnäolijoita kuin kokeen järjestäjä. Kokeen alussa osallistujille kerrottiin kokeen rakenteesta sekä tutkimuksen pääkohdista. Lisäksi heille annettiin suoritusohjeet muun muassa sävelten pituuteen ja dynamiikan hallintaan liittyen. Osallistujille esitettiin myös esimerkit tulevista tehtävistä sekä kohinan voimakkuudesta. Esimerkeillä pyrittiin rajamaan pois yllätyksen tuomat keskittymiseen vaikuttavat tekijät ja selventämään tehtävien rakennetta. Kohinan voimakkuuden tarkistaminen oli tärkeää, jotta voitiin tarkistaa ettei kohina olisi kenellekään osallistujalle epämiellyttävän oloista.

Laulutehtävinä oli kaikkiaan kolmea erilaista tyyppiä (tehtävien nuotinnokset liitteenä). Ensimmäisenä tehtävänä osallistujille soitettiin kuulokkeista kahteen kertaan kahden tahdin mittainen, yksinkertainen neljäsosanuotein sävelletty melodia, joka osallistujan piti toistaa. Toistettavia melodioita oli yhteensä neljä (4) ja niiden tempo oli 70bpm. Melodiat oli suunniteltu niin, että myöhempään tarkasteluun valittava sävel (pienen oktaavialan g, jonka taajuus on 196Hz) oli jokaisessa melodiassa aina toisen tahdin ensimmäisenä sävelenä. Tarkastelusäveltä lähestyttiin melodioissa ylhäältä sekä alhaalta ja lähestymisintervallit olivat rajattu sekuntiin (pieni sekä suuri) sekä kvarttiin (puhdas). Tarkastelusäveltä seuraava sävel oli aina sekunnin päässä, jolla pyrittiin minimoimaan mahdollinen suuren intervallihypyn vaikutus lähtösäveleen. Käytettävä tavu oli ”maa”, joka määräytyi kolmantena esitettävän lastenlaulun tarkasteltavan sävelen tavun mukaan. Melodioiden tonaliteetti vaihteli duurin ja mollin välillä satunnaisesti, joten jokainen melodia erosi edeltävästä melodiasta eikä tarjonnut näin ollen mahdollista apua tarkasteltavan sävelen tonaalisen paikan hahmottamisessa.

Toisena tehtävänä oli pitkän, yhtäjaksoisen sävelen tuottaminen. Osallistujille soitettiin kuulokkeista yhtäjaksoinen pitkä ääni, joka osallistujan piti toistaa. Näytteitä esitettiin satunnaisessa järjestyksessä yhteensä 4. Yksi näistä pitkistä äänistä oli melodioista poimittava tarkasteltava sävel. Osallistujia ohjeistettiin toistamaan kuulemansa sävel niin pitkään, kunnes kuulivat merkkiäänän tai kohinan loppuvan kuulokkeista.

Kolmantena tehtävänä oli tutun lastenlaulun esittäminen. Esitettäväksi lauluksi oli valittu tuttu lastenlaulu ”Jänis istui maassa”. Sävellajiksi oli valittu C-duuri sen koehenkilöille sopivan sävelkorkeuden mukaan. Osallistujat kuulivat kuulokkeista lähtösävelen sekä yhden tahdin mittaisen sisäänlaskun, jonka jälkeen he esittivät kappaleen annetussa tempossa. Kappaleen valitsemisperusteena oli sen tunnettavuus ja helppous, mutta se kuitenkin tarjosi melodista liikettä. Tarkasteltava sävel oli ensimmäisen tahdin kolmannella iskulla esiintyvä sävel eli ’maas’-tavulle osuva g-sävel.

Osallistujat suorittivat tehtäväosiot peräkkäin ensin ilman häirintäkohinaa ja sitten häirintäkohinan kanssa. Kohinan kanssa suoritettavat melodiat olivat samat kuin

ilman kohinaa suoritettavat melodiat, mutta niiden esitysjärjestys oli sekoitettu mahdollisen melodian ennakoinnin välttämiseksi. Osallistujat suorittivat kokeen kokonaisuudessaan kaksi kertaa.

4 Tulokset

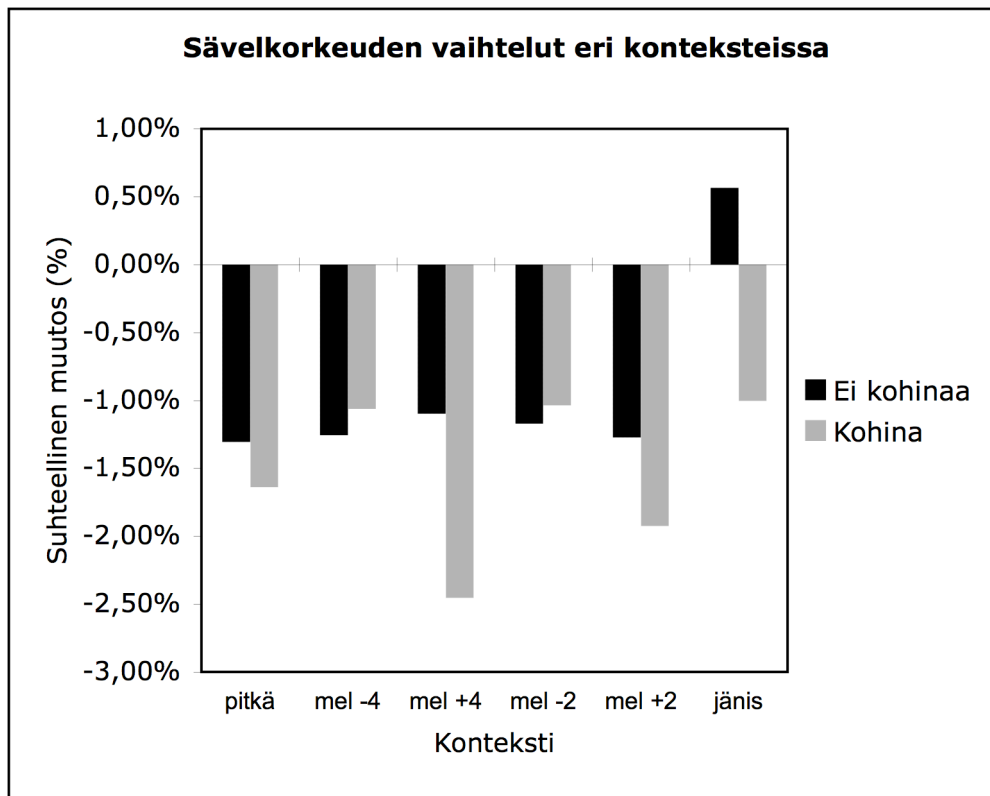
4.1 Sävelkorkeuden muutoksen tarkastelu

Kokeen kahdesta riippuvasta muuttujasta sävelkorkeus oli asetettu etusijalle. Sävelkorkeuden eroja tarkasteltaessa analysoitaville sävelille laskettiin muutosprosentti, joka kertoo analysoitavan sävelen suhteellisen erotuksen verrattuna kohdesävelkorkeuteen, joka tässä tapauksessa oli pienen oktaavialan g , taajuudeltaan 196Hz.

Tutkimushypoteesin mukaan oman äänen kuulemisen vaikeuttaminen vaikuttaisi sävelpuhtauteen, joten saatuja sävelkorkeuksia verrattiin keskenään eri kuuntelutilanteiden välillä. Vaikka kohinan vaikutuksesta osallistujien sävelkorkeuden keskiarvo oli matalampi (sävelten yhteinen keskiarvo = -0,65 ; keskihajonta = 1,15) kuin kohinattomissa esityksissä (keskiarvo = -1,39 ; keskihajonta = 1,46) ero ei kuitenkaan aivan ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1,11) = 2,499$; $p = 0,142$). Testin luottamusvälin säätämiseen käytettiin Bonferroni-korjausta.

Merkitsevä tilastollinen ero löytyi tarkasteltavien sävelten esiintymiskonteksteissa, ($F(5,55) = 4,747$; $p = 0,001$). Kun tarkasteltiin lähemmin kohdesäveliä, joita lähestyttiin melodioissa eri suunnilta, kaksisuuntaisessa ANOVAssa paljastui merkitsevä tilastollinen ero lähestymisintervallin suunnan vaikutuksesta kohde sävelkorkeuteen, ($F(1,23) = 4,309$; $p = 0,049$). Selvisi, että ylhäältä päin lähestyttäessä kohdesävelen sävelkorkeus on selvästi matalampi kuin alhaalta päin lähestyttäessä. Saatu tulos kertoo laulajan niin sanotusti yliarvioivan intervallin koon musiikillisen liikkeen ollessa suuntautunut alaspäin.

Lisäksi kolmantena tehtävänä kokeessa olleessa lastenlaulussa osallistujien sävelkorkeus oli huomattavasti korkeampi kuin muissa tehtävissä (ilman kohinaa keskiarvo = 0,56 ; keskihajonta = 2,0 ja kohinalla keskiarvo = -1,0 ; keskihajonta = 1,45). Kaavio 1 havainnollistaa tehtävien välisiä eroja.



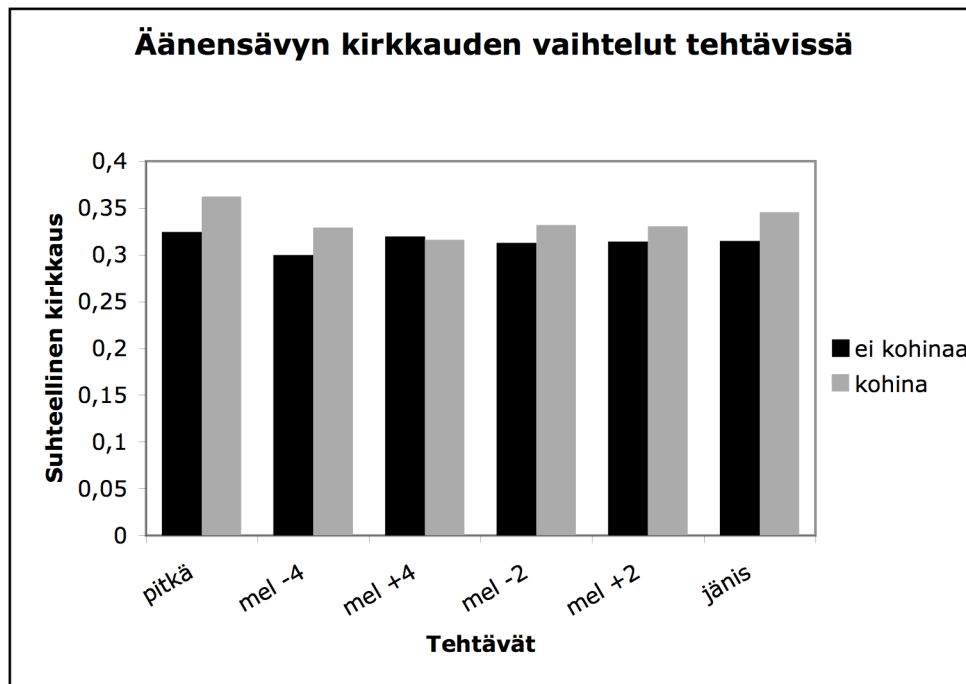
KUVIO 3. Sävelkorkeuden vaihtelut eri konteksteissa. Pitkä = pitkä ääni ; mel -4 = lähestyminen alhaalta kvartti ; mel +4 = lähestyminen ylhäältä kvartti ; mel -2 = lähestyminen alhaalta sekunti ; mel +2 = lähestyminen ylhäältä sekunti ; jänis = lastenlaulu.

4.2 Äänen kirkkauden muutoksen tarkastelu

Toisena tarkasteltava muuttujana kokeessa oli lauluäänensävyn kirkkaus eri koeolosuhteissa. Tarkastelusävelten konteksteissa ei ollut merkittäviä eroja. Yleisesti osallistujien äänensävyn kirkkaus kasvoi häiriökohinan alaisuudessa (keskiarvo = 0,336 ; keskihajonta = 0,081 ; ja ilman kohinaa keskiarvo = 0,262 ; keskihajonta = 0,065). Tilastollisesti ero ei ollut aivan merkitsevä ($F(1,11) = 4,271$; $p = 0,063$). Kirkkaimmillaan laulettu sävel oli niissä tehtävissä, jossa laulettiin vain pitkiä ääniä. Tämän oletan johtuvan kyseisen tehtävän helppoudesta; yhteen pitkään laulettuun säveleen pystytään keskittymään paremmin kuin melodiassa esiintyviin ääniin, koska melodian laulamissa joudumme keskittymään myös muihin säveliin.

Kun tarkasteltiin kohinan vaikutusta kaikissa tehtävissä, löytyi tilastollisesti merkitsevä ero ($F(1,71) = 11,953$; $p = 0,001$). Kirkkauden keskiarvo ilman kohinaa

lauletaessa oli 0,3144 (keskihajonta = 0,0639) ja kohinan kanssa keskiarvo oli 0,3358 (keskihajonta = 0,0804).



KUVIO 4. Äänensävyn kirkkaus eri tehtävien välillä. Pitkä = pitkä ääni ; mel -4 = lähestyminen alhaalta kvartti ; mel +4 = lähestyminen ylhäältä kvartti ; mel -2 = lähestyminen alhaalta sekunti ; mel +2 = lähestyminen ylhäältä sekunti ; jänis = lastenlaulu.

4.3 Tulosten tulkintaa

Auditiivisen palautteen häirinnällä vaikuttaisi kokeesta saatujen tulosten perusteella olevan vaikutusta laulajan sävelpuhtauteen ja äänensävyyn. Auditiivisen palautteen häirinnän vaikutus korostui melodisen liikkeen ollessa ylhäältä alaspäin. Luujohtumisen avulla saatava palaute vaikuttaisi olevan riittävä jotta laulaja pystyy tuottamaan haluamansa sävelkorkeuden, koska häiriökohinan vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Kohinan tarkoituksena oli rajata pois ulkoinen palaute, jolloin koehenkilö pystyi turvautumaan vain sisäiseen palautteeseen.

Kokeessa ilmenevää intervallin yliarviointia liikuttaessa alaspäin voisivat mahdollisesti selittää vallalla olevat käytännöt musiikinopetuksessa, jossa suurin osa mahdollisista intervalliharjoituksista tehdään vertikaalissa suunnassa ylöspäin. Tällaisia ovat esimerkiksi äänenavausharjoitukset, intervallintunnistuskokeet,

asteikkojen hahmottaminen ja sointujen tunnistaminen. Jos henkilöä esimerkiksi pyydetään laulamaan jokin intervalli, harva ryhtyy laulamaan sitä ensimmäisenä alaspäin, koska ensimmäiseksi toimintamalliksi on sisäistetty intervallin hahmottaminen ylöspäin. Olemme ehkä omaksuneet luonnollisempana tapana liikkua musiikillisessa ympäristössä ylöspäin kuin laskeutua alaspäin, jolloin alaspäin tapahtuva hahmottaminen ei olisi yhtä tarkkaa.

Toisena tuloksia selittävä tekijä voi olla äänen muodostukseen liittyvä liukuma (engl. drift) kohdesäveleen. Laulopedagogiikassa tätä liukuma-aluetta kutsutaan usein nimellä niekku. Monilla laulajilla esiintyy sävelen lähestymisessä käytettäviä pieniä, ylä- tai alapuolelta tapahtuvia venytyksiä. Näitä venytyksiä voidaan luonnollisesti käyttää myös tehokeinoina tulkintaa haettaessa, mutta usein ne ovat myös tiedostamattomia, jolloin ne toimivat (ja kuuluvat) enemmän auditiivisen palautejärjestelmän toimimisen tuloksina. Koenäytteet rajattiin tarkasteluikkunoihin, joista oli poistettu sävelten alukkeet ja lopukkeet, jolloin päästiin tarkastelemaan vain tasaisesti soivaa säveltä. Vaikka tilastollisesti merkittäviä tuloksia ei kohinan vaikutuksesta suoritukseen saatukaan, kohinan vaikutus palautejärjestelmään kuitenkin oli ilmeinen. Kohinasta johtuen säveltä lähestyttäessä liukuma-alue mahdollisesti olisi laajempi ja haluttu sävelkorkeus vaikeampi saavuttaa häirityn auditiivisen palautteen aikana.

Laulamisen tekniikka voi myös osaksi olla selittämässä saatuja tuloksia. Ylöspäin suuntautuvassa liikkeessä lauluelimistön hallinta voi olla tarkempaa, koska sävelkorkeuden nousu perustuu muun muassa äänihuulien kiristymiseen ja värähtelemiseen sekä värähtelyn aiheuttavan ilmanpaineen lisäämiseen. Alaspäin liikuttaessa vastaavasti ikään kuin rentoudutaan ja vähennetään ilmanpainetta, jolla äänihuulet saadaan värähtelemään. Tällä rentoutumisella voi myös olla psykologinen vaikutus keskittymisen herpaantumiseen: laulaja kokee alaspäin suuntautuvan melodian helpommaksi ja sävelkorkeuden kontrollointi jää vajavaiseksi. Voi myös olla, että ilmanpaineen vähentämisen hallinta on vaikeampaa suhteessa sen lisäämiseen. Koetaan, että alaspäin on helpompi kulkea kuin ylöspäin. Asia vaatisi lisätutkimusta.

Kolmantena tehtävänä olleen lastenlaulun erottuminen muista selvästi sävelkorkeudeltaan korkeampana, kun palautejärjestelmää ei häiritty, voi liittyä tutun laulun esittämisestä johtuvaan innostumiseen, joka mahdollisesti saa laulamaan asteikkomaisen melodian ylävireisesti. Laulu oli kaikille osallistujille hyvin tuttu, duuri-sävellajissa, asteikkomainen ja kokeen viimeisenä tehtävänä. Nämä ovat seikkoja jotka voivat aiheuttaa mieltymystä hivenen liian laajojen intervallien tuottamiseen. Vastaavasti kohinan kanssa laulettu laulut olivat hyvin samalla sävelkorkeustasolla muiden tehtävämelodioiden kanssa, joka viittaisi samankaltaiseen osallistujien keskittymisen tasoon tutun laulun tapauksessa kuin muissakin tehtävissä.

Äänensävyn kirkastumista kohinan alla voisi selittää osallistujien selkeämmällä artikulaatiolla, kun auditiivista palautetta häiritään. Äänensävyssä on voinut tapahtua tiettyjen taajuuksien korostumista tai lisääntymistä, kun koehenkilö on muuttanut sointiväriään palautejärjestelmää häiritäessä kuullakseen itsensä selvemmin. Kokeeseen osallistujia ohjeistettiin laulamaan samalla äänenvoimakkuudella molemmissa koetilanteissa, jotta he eivät olisi pyrkineet kilpailemaan häiriökohinan kanssa ja voimistaneet ääntään tietoisesti kohinan alla. Tämä seikka on tietenkin hyvin vaikeasti pois rajattavissa ja on hyvin mahdollista, että osallistajat ovat tiedostamattaan korottaneet ääntään kohinan pauhun alla. Äänen voimistuminen lisäksi myös korkeampien taajuuksien lukumäärää näytteissä, jotka ilmenisivät korkeampina kirkkauden arvoina näytteitä analysoitaessa.

5 Yhteenveto

Kokeessa pyrittiin selvittämään sävelpuhtauden ja äänenväriin muutoksia, kun auditiivista palautejärjestelmäämme häiritään. Koehenkilöt olivat miespuolisia musiikinopiskelijoita, joiden pääinstrumentti ei ollut laulu. Kaikilla oli kokemusta laulamista muun muassa kuoroissa ja yhtyeissä, joten kaikille oli tuttua oman äänensä kanssa toiminen. Koehenkilöillä oli näin ollen tarvittavat taidot koetehtävien aktiiviseen suorittamiseen. Eksperimentti järjestettiin Jyväskylän yliopiston musiikin laitoksen äänistudiossa, jossa kokeeseen osallistujat suorittivat laulutehtäviä. Heidän auditiivista palautejärjestelmänsä häirittiin kuulokkeisiin ajettulla suodatetulla kohinalla. Tutkimushypoteesina oli sävelpuhtauden heikkeneminen auditiivista järjestelmää häiritäessä. Sävelkorkeus laski auditiivista palautejärjestelmää häiritäessä, mutta kohinan vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kohinan vaikutus oli sen sijaan tilastollisesti merkitsevässä asemassa näytteiden äänensävyä tarkasteltaessa.

Saadut tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä tutkittavaan sävelkorkeuteen saapumisen kannalta. Havaittiin, että sävelkorkeus laski merkitsevästi, riippuen lähestyttiinkö tarkastelusäveltä ylhäältä vai alhaalta päin. Tämä sävelen kontekstisidonnaisuus voi johtua monista tekijöistä, joita ovat mm. koulutus, joka ohjaa enemmän musiikillisten intervallien tarkempaan ylöspäin suuntautuvaan hahmottamiseen ja tuottamiseen ja mahdollinen sävelen tuottamiseen ja hallintaan liittyvä liukuma-alueen laajentuminen auditiivista palautetta manipuloitaessa. Tutun laulun kohdalla ilmennyt ylävireisyys voi johtua hetkittäisestä keskittymisen herpaantumisesta sävelkorkeuden suhteen. Tuttu laulu voi tarjota eräänlaisen turvapaikan muiden keskittymistä vaativien koetehtävien välillä.

Äänensävyyn kirkkauteenkin liittyen saatiin tilastollisesti merkittäviä tuloksia. Samankaltaista kontekstisidonnaisuutta kuin sävelkorkeuden kohdalla ei havaittu, mutta kohinalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus tuloksiin. Kohinan vaikutuksesta koehenkilöiden äänensävyyn kirkkaus nousi. Kirkkauden lisääntyminen voi olla seurausta laulajan muuntuneesta äänen tuottamisesta, jolla hän lisää korkeampia taajuuspartikkeleita tuottamaansa ääneen. Nousua voidaan myös selittää mahdollisella

äänentason nousulla, joka puolestaan voi vaikuttaa myös äänenväriin kirkastumiseen. Laulajan äänentason nousu on luontainen refleksi, joka on seurausta laulajan auditiivisen palautejärjestelmän manipuloinnista ja heikentämisestä. Kyseisen refleksin vaikutusta on vaikea rajata pois koetilanteessa.

Kokeesta saadut rohkaisevat tulokset antavat aihetta myös mahdolliselle lisätutkimukselle esimerkiksi pro gradu –tutkielman muodossa. Sävelkorkeuden kontekstisidonaisuutta voisi tutkia tarkemmin ja myös laajemmin samankaltaisella (toimivaksi havaitulla) koejärjestelyllä, jossa koetehtävät olisivat suunniteltu laajemmin kontekstia huomioonottaviksi. Mahdollisesti myös auditiivisen palautejärjestelmän häiriö, joka tässä tutkimuksessa oli tasainen kohina, voisi olla riippuvainen esimerkiksi laulajan äänen voimakkuustasosta tai laulaja voisi saada palautteena oman manipuloidun (esimerkiksi ekvalisoidun tai kaiutetun) äänensä.

Edellä mainittu järjestely voisi myös avata uusia ovia äänenväriin tutkimiseen. Jos laulajan kuulema palaute on vahvasti väritynyttä, onko sillä mahdollisesti vaikutusta hänen tuottamaansa äänenväriin? Laulajan kuulemalla äänenvärillä voisi myös mahdollisesti olla vaikutusta hänen fyysiseen jaksamiseen. Laulajat joutuvat työskentelemään akustisesti erilaisissa tiloissa, jolloin heidän auditiivinen palautteensa on altis mahdollisille vääristymille, joiden korjaaminen voi olla raskasta äänelle.

Myös äänenväriin havaitsemisen vaikutusta äänen sävelkorkeuden hallintaan olisi mielenkiintoisesta tutkia. Jos laulaja kuulee oman äänensä hyvissä akustisissa olosuhteissa, vaikuttaako se myös laulajan suoritukseen sävelkorkeuden hallinnassa ja kontrolloimisessa? Hyvällä akustiikalla tarkoitan tässä yhteydessä niin sanottua laululle sopivaa akustiikkaa eli käytännössä riittävän pitkää jälkikaiunta-aikaa, joka vaihtelee n. 1,5-2,5s välillä. Esimerkkinä voisi esittää monille tutun tilanteen suihkussa laulamista, josta monet pitävät. Pääasiallisena syynä tähän pidetään suihkuhuoneen akustiikkaa, joka usein on tavalliseen huoneeseen verrattuna kaikuisampi tila ja laulaja kuulee äänensä tavallisesta poikkeavassa ympäristössä. Laulajan kaikuisassa suihkuhuoneessa saama ulkoinen auditiivinen palaute äänestään on rikkaampi ja täyteläisempi kuin täysin kaiuttomassa tilassa saatu palaute. Lisätutkimukselle on selkeää tilausta.

LÄHDELUETTELO

Barnes-Burroughs, K. (2003). Pitch Matching Accuracy of Trained Singers, Untrained Subjects with Talented Singing Voices, and Untrained Subjects with Nontalented Singing Voices in Conditions of Varying Feedback. *Journal of Voice*, 17 (2), s. 185-194.

Cook, P. (toim.). (1999). *Music, Cognition and Computerized Sound: An Introduction to Psychoacoustics*. 1. painos. Cambridge, MA.: MIT Press.

Howard, D. & Angus, J. (2007). *Acoustics And Psychoacoustics*. 3. Painos. Oxford: Focal Press.

Howell, P., Cross, I. & West, R. (toim.). (1984). *Musical Structure and Cognition*. 1. Painos. London: Academic Press.

INTERNET 1: Wolfe, J. 2009. The University New South Walesin akustiikan ja fysiikan laitoksen ylläpitämä musiikkiakustiikan sivusto. Saatavilla www-muodossa: <http://www.postgraduate-research.physics.unsw.edu.au/music-acoustics.html> (Viitattu 18.3.2010)

Joliveau E., Smith J. & Wolfe J. (2004). Vocal tract resonances in singing: The soprano voice. *Acoustical Society of America*, 116 (4), s. 2434-2439.

Mürbe, D. (2004). Effects of a Professional Solo Singer Education on Auditory and Kinesthetic Feedback – A Longitudinal Study of Singers' Pitch Control. *Journal of Voice*. 18 (2), s. 236-241.

Rossing, T. (1983). *The Science of Sound*. Korjattu 1. Painos. Reading, MA.: Addison-Wesley.

LIITTEET

Liite 1: Koemelodiat 1. kierroksella

KOEMELODIAT 1. KIERROS

ILMAN KOHINAA



Liite 2: Koemelodiat 2. kierroksella

KOEMELODIAT 2. KIERROS

ILMAN KOHINAA

3

5

7

9

11 KOHINA

13

15

17

19

Detailed description: The image shows a musical score for a 19-measure piece. It is written in treble clef with a key signature of one flat (B-flat). The score is divided into two sections: 'ILMAN KOHINAA' (measures 1-10) and 'KOHINA' (measures 11-19). The notation consists of quarter notes and eighth notes. Measure 11 is marked as the start of the 'KOHINA' section. The piece ends with a double bar line at measure 19.