

Huutoäänen

akustiset ja perkeptuaaliset piirteet

Elina Lehtinen

Puheopin

puhetekniikan ja

vokologian linjan

Pro gradu –tutkielma

Tampereen yliopisto

Syyskuu 2010

Tampereen yliopisto

Puheopin laitos

LEHTINEN, ELINA: Huutoäänen akustiset ja perkeptuaaliset piirteet

Pro gradu –tutkielma, 68 sivua, 3 liitesivua

Puheoppi, puhetekniikka ja vokologia

Syyskuu 2010

Acoustic and Perceptual Characteristics of a Shouting Voice

This study investigated the acoustic and perceptual characteristics of a shouting voice. A total of 35 males (24 actor students, 11 other students) shouted a short monolog (an excerpt of Shakespeare's King Lear) in a studio. Their lowest possible tone (produced in soft voice, vocal fry excluded) was also measured. The recorded shouting samples were analyzed for mean fundamental frequency (F0), equivalent sound level (Leq), difference between the average Leq of the 1–5kHz region and the average Leq of the 50Hz–1kHz region ('alpha ratio'), loudness (in sones) and difference between the average level of the F1 region and the average level of the F0 region (L1-L0). Long-term average spectra (LTAS) were made. The relative F0 (difference between the lowest possible F0 and the mean F0 in shouting, measured in semitones) was also calculated. Nine listeners, trained in vocology, evaluated the samples for voice quality, timbre, perceived pitch, perceived loudness, firmness of phonation (along the axis from breathy to pressed), degree of turbulence noise, and roughness. Reliability between the listeners' evaluations was good (Cronbach's alpha 0,80-0,94).

Acoustic features of the shouting voice seemed to be high Leq, relatively high F0 and high alpha ratio. LTAS analyses demonstrated increased acoustic energy in the higher part of the spectrum, but several different LTAS patterns emerged. According to the listeners' evaluations voices had lots of roughness and noise. The shouting voices also had a tendency to pressed voice quality. The actor students had higher Leq and alpha ratio and lower F0 than the others. The voices of the actor students' were also evaluated to have better voice quality and greater loudness than the other voices. Lack of hypertension, perceived noise and roughness correlated with voice quality. Alpha

ratio, firmness, Leq and F0 seemed to be related to the degree of perceived loudness. The main characteristics in good shouting voice, thus, seemed to be lack of perceived noise, lack of roughness, high alpha ratio, high Leq and appropriate firmness. These characteristics imply vocal efficiency and phonation balance. No specific spectral correlates of good shouting voice were identified.

Key words: shouting, loudness, voice quality, perceptual evaluation, long-term average spectrum

1. JOHDANTO	1
2. TEOREETTINEN TAUSTA	3
2.1 Äänentuotto	3
2.2 Äänen tutkiminen	5
2.2.1 Äänen akustiset muuttujat	5
2.2.2 Äänen perkeptuaalinen arviointi	10
2.2.3 Äänen perkeptuaaliset piirteet	11
2.3 Lauluääni ja puheääni	13
2.3.1 Lauluäänen piirteet	13
2.3.2 Puheäänen piirteet	15
2.4 Voimistettu ääni ja huutoääni	18
2.4.1 Voimistetun äänen akustiset piirteet	18
2.4.2 Voimistetun äänen perkeptuaaliset piirteet	22
2.4.3 Voimistetusta äänestä huutoon	23
2.5 Tutkimuskysymykset	24
3. MATERIAALIT JA METODIT	25
3.1 Tutkimusaineisto	25
3.2 Ääninäytteiden akustinen analyysi	26
3.3 Kuunteluarviointi	26
3.3.1 Kuuntelijat ja kuunteluarviointi	26
3.3.2 Arvioitavat äänen piirteet ja arviointiasteikko	27
3.4 Tilastolliset menetelmät	29
4. TULOKSET	30
4.1 Akustiset piirteet	30
4.1.1 Akustisten muuttujien arvot	30
4.1.2 Spektrimuodot	30
4.1.3 Akustisten muuttujien väliset yhteydet	34
4.2 Perkeptuaaliset piirteet	37
4.2.1 Kuunteluarvioiden yhdenmukaisuus	37
4.2.2 Perkeptuaalisten piirteiden arviot	38
4.2.3 Perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet	39
4.3 Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet	40

4.3.1 Muuttujien väliset korrelaatiot.....	40
4.3.2 Spektrit ja perkeptuaaliset arviot	41
4.4 Näyttelijäopiskelijoiden ja muiden erot	43
4.4.1 Akustiset piirteet	43
4.4.2 Perkeptuaaliset piirteet.....	45
4.5 Hyvän huutoäänän piirteet	47
5. POHDINTA	52
5.1 Tulosten pohdintaa.....	52
5.1.1 Akustiset piirteet	52
5.1.2 Perkeptuaaliset piirteet.....	55
5.1.3 Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet.....	56
5.1.4 Näyttelijäopiskelijoiden ja muiden väliset erot	59
5.1.5 Mitä on hyvä huuto?	60
5.2 Materiaalien ja menetelmien pohdintaa	60
5.3 Jatkotutkimusmahdollisuuksia	61
6. LOPPUPÄÄTELMÄT	63
7. LÄHTEET.....	64

1. JOHDANTO

Monissa ammateissa tarvitaan huutoääntä. Esimerkiksi liikunnanopettajien, urheiluvalmentajien, poliisien ja sotilaiden ohjeistusten on kuuluttava kaikille kuulijoille tilasta ja taustahälystä riippumatta. Usein voimakkaan äänen käyttö liittyy tarpeeseen kuulua taustamelun yli tai saavuttaa kuulija pidemmän matkan päästä. Taustamelun yli huudettaessa on kyse ns. Lombardin efektistä eli osittain tiedostamattomasta taipumuksesta sovittaa äänenvoimakkuus ympäristöön sopivaksi (Titze 2000). Toisaalta äänen voimakkuuden vaihtelu on hyvin tärkeä ilmaisullinen tekijä. Voimakkuusvaihtelua käytetään mm. painotettaessa sanomasta tärkeimmät kohdat. Huudolla voidaan ilmaista myös tunteita, kuten hätää tai vihaa. Esimerkiksi näyttelijät tarvitsevat huutoääntä tunnetilojen ilmaisuun.

Hätähuudon tärkein kriteeri on sen kuuluvuus ja huuto on onnistunut, jos joku on sen kuullut. Uhmakasta tai vihaista huutoääntä tavoiteltaessa kuuluvuuden lisäksi ilmaisu, uskottavuus ja vakuuttavuus ovat tärkeitä huudon onnistumisen kannalta. Huutoa käytetään usein myös dominoidessa ja käskyttäessä, jolloin huudolla on tietysti omat vaatimuksensa voimakkuuden ja ilmaisevuuden suhteen. Eläinmaailmassakin kunnioitetaan suurta akustista voimaa, sillä äänen intensiteetti on usein suorassa yhteydessä fyysiseen kokoon ja voimaan. Näin ollen, joutuessaan vastakkain esimerkiksi karhun kanssa, ihmisen parhaana puolustuskeinona voisi olla hyvin voimakas huutoääni. (Titze 2000.)

Huutoääni eroaa puheäänestä monellakin tapaa. Huutoäänen ei ole tarkoitus kestää montaa tuntia päivässä, niin kuin puheäänen. Jos huutaminen on tietoista ja tapahtuu toistuvasti, olisi hyvä kiinnittää huomiota muihinkin tekijöihin kuin pelkkään kuuluvuuteen. Esimerkiksi näyttelijöiden on hyödyllistä harjoitella huutotekniikkaa, joka olisi mahdollisimman vähän kuormittavaa, mutta silti kuuluvaa ja ilmaisevaa. Huutaminen on äärimmäinen ilmaisukeino eikä huutojakso useinkaan kestä kauan. Huuto voi kuitenkin olla hyvinkin kuormittavaa, jos äänenkäyttökäytännön ei kiinnitetä lainkaan huomiota. Näyttelijän huutoäänen pitäisi olla kuuluvaa ja

laadultaan hyvää ja huudon pitää onnistua vielä seuraavanakin päivänä eli äänen on kestävä näytöksestä toiseen.

Äänen äärirajoiden etsiminen ja ääriäänenkäytön harjoittelu on hyödyllistä ja avartavaa kaikille äänenkäytöstä kiinnostuneille. Oman äänialan laajentaminen ja eri voimakkuuksien hallinnan rajojen siirtäminen kauemmas lisää äänentuoton kapasiteettia. Esimerkiksi tutkimuksissa, joissa on vertailtu kouluttamattomien ja koulutettujen äänenkäyttäjien äänellistä kapasiteettia fonetogrammitutkimuksella, on havaittu, että koulutetut äänenkäyttäjät pystyvät varioimaan äänensä perustaaajuutta ja voimakkuutta kouluttamattomia enemmän (Åkerlund, Gramming & Sundberg 1992; Sulter, Schutte & Miller 1995). Jos pystyy tuottamaan voimakasta ääntä helposti, on helpompi myös puhua tavallisella keskusteluvoimakkuudella tai esimerkiksi koululuokassa tarvittavalla puhevoimakkuudella. Tämä liittyy parempaan kykyyn säädellä äänentuottoelimistön toimintaa.

Äänen eri osatekijöitä voidaan tutkia akustisten mittausten ja kuunteluarvioiden avulla. Äänentutkimuksen avulla voidaan tarkastella akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden välisiä yhteyksiä, sekä saada arvokasta tietoa siitä, mitkä äänen piirteet ovat tavoittelemisen arvoisia. Aikaisemmissa tutkimuksissa on tarkasteltu lähinnä hyvään lauluääneen ja hyvään puheääneen liittyviä piirteitä. Myös voimistetusta äänestä on tehty useampia tutkimuksia, mutta huutoääntä ei ole juurikaan tutkittu.

Liittyipä huutaminen sitten ilmaisuun, taustamelun yli kuulumiseen tai välimatkaan, hyvän huutoäänen akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden määrittäminen auttaa asettamaan tavoitteita huutoäänen koulutukselle ja arvioimaan tavoitteiden saavuttamista.

2. TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 Äänentuotto

Ääni on ilmanpaineen vaihtelua ajassa sellaisella taajuudella, että korva pystyy sen kuulemaan (Suomi 1990). Akustinen puhesignaali muodostuu puheentuottoelimistön yhteistoiminnan tuloksena. Puheentuottoelimistöön kuuluvat hengityselimistö, kurkunpää sekä ääntöväylä. Hengitys tarjoaa ääntöön tarvittavan ilmanpaineen, kurkunpään äänihuulet värähtelyineen toimivat äänilähteenä soinnillisissa äänissä ja ääntöväylän resonanssit muokkaavat lähdeääntä. (Sundberg 1987; Laukkanen & Leino 1999; Titze 2000; Borden, Harris & Raphael 2002.)

Ilma saadaan virtaamaan ulos keuhkoista keuhkojen tilavuutta pienentämällä. Keuhkojen tilavuus pienenee uloshengitysilhasten, eli sisempien kylkiluuvälilihasten ja vatsalihasten, aktivoituessa. (Sundberg 1987; Laukkanen & Leino 1999; Borden et al. 2002.) Ilmanpaine keuhkoissa kasvaa tilavuuden pienentyessä, jolloin ilma pyrkii virtaamaan pois keuhkoista ilmanpaineen tasaamiseksi. Mitä nopeammin keuhkojen tilavuutta pienennetään, sitä suuremmalla paineella ilma pyrkii virtaamaan keuhkoista pois päin. (Laukkanen & Leino 1999; Titze 2000.) Puhussa ja laulaessa uloshengitystä pitää kontrolloida, jotta ilmavirta pysyy tarvittavan ajan suhteellisen tasaisena. Uloshengitystä kontrolloidaan aktivoimalla sisäänhengitysilhaksia (pallea, ulommat kylkiluuvälilihakset, rintalihakset) vielä uloshengityksen alettua. (Laukkanen & Leino 1999.)

Äänihuulivärähtely katkoo ilman tasaisen virtauksen soinnillista ääntä tuottaessa ja näin syntyy periodista ilmanpaineenvaihtelua. Äänihuulet lähtevät värähtelemään, kun ne saatetaan adduktiolihasten (ulompi rengasrusto-kannurustolihas, suora ja ristikkäinen kannurustolihas) avulla riittävän lähelle toisiaan. Ilman virratessa kapeikossa sen virtaus kiihtyy ja aiheutuu ns. Bernoullin imuefekti, joka vetää äänihuulet yhteen. Tällöin subglottaalinen eli äänihuulten alapuolinen paine lisääntyy

ja lopulta pakottaa äänihuulet taas erkanemaan toisistaan. Äänihuulivärähtely on kaksivaiheista siten, että alapinnat erkanevat toisistaan ennen yläpintoja. Tämän takia glottiksen eli äänihuulten väliin jäävän ääniraon muoto on erilainen värähtelyn eri vaiheissa ja tästä johtuen glottiksen sisäinen ilmanpaine on suurempi ääniraon aukeamisvaiheessa kuin sulkeutumisvaiheessa. Bernoullin imuefekti, äänihuulten kimmoisuus, äänihuulivärähtelyn kaksivaiheisuus sekä ilmassan hitausominaisuus (inertia) auttavat värähtelyn jatkumista. (Laukkanen & Leino 1999; Titze 2000.) Äänihuulten tuottama ääni on periodista kompleksista ääntä eli äänessä soi samanaikaisesti useita taajuuksia. Näitä taajuuksia kutsutaan osasäveliksi. Useista taajuuksista syntyy äänenväri. Matalin osasävel eli perussävel määrää havaittavissa olevan sävelkorkeuden. Muut osasävelet ovat perussävelen kerrannaisia. (Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999; Borden et al. 2002.)

Äänihuulivärähtelyn tuottama lähdeääni kulkee ääntöväylän läpi. Ääntöväylä suhteellisesti vahvistaa tai heikentää lähdeäänien osasäveliä. Osasävelten vahvistuminen perustuu resonanssi-ilmiöön. Resonanssitaajuudet, ja näin myös osasävelien vahvistuminen, riippuvat ääntöväylän koosta ja muodosta. Ääntöväylä muodostuu peräkkäisistä tiloista, joiden ilmapatsailla on kullakin omat resonanssitaajuutensa. Yleisesti ottaen pitkä putki vahvistaa matalia taajuuksia ja lyhyt korkeita. Ääntöväylän kokoa ja muotoa saadaan muutettua artikulaatioelinten avulla eli liikuttelemalla kieltä, huulia, leukaa tai kurkunpäättä sekä säätelemällä nenäportin avauma-astetta. (Sundberg 1987; Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999; Borden et al. 2002.)

Eri muotoisilla ääntöväylillä on siis erilaiset resonanssitaajuudet. Resonanssi on ääntöväylän ominaisuus, mahdollisuus voimistaa tiettyjä taajuuksia. Bakén ja Orlikoff (2000) kutsuvat ääntöväylän resonansseja formanteiksi. Tämän tulkinnan mukaan formantti on siis äänen mahdollisuus voimistua. Bakénin ja Orlikoffin (2000) mukaan myös äänestä tehdyn spektrin (ks.2.2.1.3) voimistuneita osasävelalueita kutsutaan usein virheellisesti formanteiksi, vaikka ne heidän mukaansa ovatkin formanttien aikaansaannoksia. Fantin (1960) mukaan taas formantti on nimenomaan äänen spektrissä esiintyvä huippu, joka heijastaa resonanssitaajuutta. Tämän näkemyksen mukaan formanttitaajuus siis ei ole välttämättä täysin sama kuin ääntöväylän

resonanssitaajuus. Toteutuma riippuu siitä, millaista ääntä ääntöväylän läpi kulkee, eli missä määrin resonanssit pystyvät toteutumaan. Usein kuitenkin ääntöväylän resonanssitaajuuksia ja äänen spektrin voimistuneita osasävelalueita kutsutaan molempia formanteiksi (Fant 1960). Tässä tutkimuksessa formantti käsitetään äänen spektrin voimistuneeksi osasävelalueeksi.

Eri äänteiden, erityisesti vokaalien, tunnistaminen perustuu siihen, että eri äänteissä formantit ovat eri taajuuksilla. Formanttitaajuudet aiheuttavat myös kuuloaistimuksen äänenväristä ja äänenlaadusta. Formantit numeroidaan matalimmasta lähtien järjestysnumeroilla F1, F2, F3, F4 ja F5. (Sundberg 1987; Laukkanen & Leino 1999; Borden et al. 2002.) 2-3 alinta formanttia ovat tärkeimmät äänteiden tunnistettavuuden kannalta ja ylempät formantit liittyvät äänenlaatuun. Yleensä F5 on korkein kiinnostava formantti, sillä tätä korkeammilla formanteilla ei ole todettu olevan äänenlaadun kannalta merkitystä. (Leino & Toivokoski 1994.)

2.2 Äänen tutkiminen

2.2.1 Äänen akustiset muuttujat

Äänentuoton ja akustisen äänisignaalin tutkimiseen on erilaisia menetelmiä. Äänentuottotapaa voidaan tutkia esimerkiksi kurkkupeilitutkimuksella, stroboskopiututkimuksella tai elektroglossografiututkimuksella. Tässä tutkimuksessa keskitytään äänisignaalin ominaisuuksiin, ei siihen, miten ääni on tuotettu. Niinpä seuraavaksi käsitellään vain äänen akustisia muuttujia ja niiden akustisia mittauksia. Akustisia analyysejä tehtäessä pyritään yleensä tutkimaan niitä äänen osatekijöitä, joilla on merkitystä kuulohavainnon kannalta. Näistä osatekijöistä tärkeimmät ovat perustaajuus (F0), äänenpainetaso (SPL/Leq) sekä äänienergian jakautuminen eri taajuusalueille eli äänen spektri- ja värin piirteet.

2.2.1.1 Äänen perustaajuus

Äänihuulivärähtelyn seurauksena syntyvä ääni on periodista kompleksista ääntä. Äänisignaalista voidaan mitata äänen perustaajuus (F0). Perustaajuus kertoo äänihuulivärähdysten määrän sekuntia kohti eli äänen taajuuden. Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz). Esimerkiksi 100 hertsin ääni syntyy äänihuulten värähdellessä 100 kertaa sekunnissa. Perustaajuus liittyy subjektiiviseen sävelkorkeuden havaintoon siten, että perustaajuuden kasvaessa ääni kuullaan yleensä sävelkorkeudeltaan korkeampana. Perustaajuudessa tarvitaan kuitenkin usein selviä muutoksia, jotta korva erottaa äänet sävelkorkeudeltaan erilaisiksi. (Suomi 1990.) Tietty hertsiarvot vastaavat tiettyä säveltä sävelasteikolla (Liite 1). Miesten perustaajuuden keskiarvo normaalipuheessa on noin 100 Hz ja naisten noin 200 Hz (Laukkanen & Leino 1999).

Matalaa ääntä tuottaessa äänihuulet ovat paksut ja lyhyet ja värähtely on hidasta. Perustaajuutta nostettaessa äänihuulia pidennetään ja ohennetaan kurkunpään lihasten avulla ja niiden jäykkyys lisääntyy. Perustaajuus riippuu siis äänihuulten pituudesta, paksuudesta ja elastisuudesta. Nämä tekijät vaikuttavat myös siihen, kuinka suuri paine tarvitaan niiden saattamiseksi värähtelyliikkeeseen. Pienintä subglottaalista ilmanpainetta, joka saa äänihuulet värähtelyliikkeeseen, kutsutaan kynnyspaineeksi. Kynnyspaine nousee perustaajuuden noustessa. (Titze 2000.)

Matalin mahdollinen ääni tarkoittaa matalinta ääntä, jonka koehenkilö pystyy tuottamaan ilman narinaa. Suhteellinen F0 on matalimpaan mahdolliseen ääneen suhteutettu F0. Suhteellinen F0 tarkoittaa ääninäytteen F0:n ja matalimman mahdollisen F0:n erotusta puolissävelaskelina (psa) mitattuna. Tavallisessa tekstilüennassa suhteellinen F0 on noin 6 psa (Laukkanen & Leino 1999; Leino, Laukkanen, Ilomäki & Mäki 2008). Matalimpaan mahdolliseen ääneen vaikuttaa äänihuulten koko ja näin ollen matalimpaan mahdolliseen ääneen suhteutettu F0 kertoo ns. absoluuttista F0-mittausta enemmän juuri tietylle henkilölle sopivasta perustaajuudesta.

2.2.1.2 Äänenpainetaso

Äänen fysikaalinen voimakkuus eli äänenpainetaso (SPL) ilmaisee ilmanpaineen vaihtelun suuruutta eli amplitudia (Suomi 1990). Äänen voimakkuuden yksikkö on desibeli (dB). Äänen voimakkuus liittyy äänihuulivärähtelyn, ja sen myötä ilmahiukkasten värähtelyn, laajuuteen. Tässä tutkimuksessa ääninäytteistä on mitattu ekvivalentti äänitaso eli keskimääräinen äänenpainetaso (L_{eq}). L_{eq} ilmaisee aikakeskiarvon näytteen äänenpainetasoista, joten tauot eivät vaikuta tulokseen.

Yleensä ääni kuullaan sitä voimakkaampana, mitä suurempi amplitudi värähtelyllä on. Subjekttiiviseen kuuluvuuden havaintoon vaikuttavat kuitenkin äänenpainetason lisäksi perustaajuus sekä äänienergian jakautuminen eri taajuuksille. Puhevoimakkuuksissa on suuria yksilöllisiä eroja, mutta keskusteluvoimakkuus on yleensä noin 60-70 dB ja huudon maksimivoimakkuus 110-120 dB (Mitattuna 40 cm:n etäisyydeltä vaimennetussa tilassa). Puheäänien voimakkuuden vaihtelu saadaan aikaan keuhkojen avulla siten, että voimakkaampaa ääntä tuotettaessa keuhkojen tilavuutta supistetaan nopeammin kuin hiljaisessa äännessä. Kurkunpään tasolla voimakkuutta voidaan lisätä lähentämällä äänihuulia tiiviimmin toisiaan vasten, jolloin subglottaalista painetta on kasvatettava, jotta ilma pääsisi virtaamaan. (Laukkanen & Leino 1999.) Voimakasta ääntä tuotettaessa subglottaalinen paine ja ilman virtaus ovat suuremmat kuin hiljaisessa (Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999). Suurempi subglottaalinen paine ja nopeampi ilmavirtaus voimakkaassa äänessä pyrkivät nostamaan myös äänen perustaajuutta, sillä suurempi subglottaalinen paine pakottaa ääniraon avautumaan nopeammin, ja nopeasta ilmavirtauksesta ja Bernoullin imuefektistä johtuen glottis sulkeutuu nopeammin (Sundberg 1987; Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999). Lisäksi subglottaalisen paineen lisäys venyttää äänihuulia myös sivusuunnassa, jolloin niiden jäykkyys lisääntyy, ja perustaajuus pyrkii nousemaan (Titze 2000).

2.2.1.3 Spektri

Spektri on spektrianalysaattorin tai tietokoneohjelman laskema kuvaus äänienergian jakautumisesta eri taajuuksille. Sen avulla saadaan selville äänen osasävelten

taajuudet sekä osasävelten väliset voimakkuussuhteet. Tavallisimmin spektrissä on vaaka-akselilla taajuus hertseinä ja pystyakselilla voimakkuus desibeleinä. (Laukkanen & Leino 1999.) Äänihuulivärähtelyn tuottaman äänen lähdespektri on tasaisesti laskeva eli osasävelen amplitudi on sitä pienempi, mitä korkeammasta osasävelestä on kysymys. Ääntöväylän resonanssitaajuudet kuitenkin vaikuttavat osasävelten välisiin suhteisiin ja niinpä suusta (ja/tai nenästä) ulos tulevan äänen spektri ei ole tasaisesti laskeva, vaan siinä on voimistuneiden osasävelalueiden muodostamia huippuja ja vaimentuneiden osasävelalueiden muodostamia laaksoja. Hetkellisspektristä saadaan tietoa äänienergian jakautumisesta tietyssä ajanhetkenä, esimerkiksi tietyn vokaalin formanttirakenteesta. Ääntöväylän läpi kulkeneen äänen spektristä on nähtävissä äänilähteen ja ääntöväylän yhteisvaikutus. Spektrin kaltevuutta tarkasteltaessa saadaan tietoa jossain määrin äänilähteestä. Osasävelten voimistuma-alueet taas kertovat ääni- ja ääntöväylän resonanssiominaisuuksista. (Sundberg 1987; Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999; Borden et al. 2002.)

Pitkäaikainen keskiarvospektri (LTAS) laskee pidemmästä ääninäytteestä tiheään tahtiin otettujen spektrien keskiarvon koko näytteen osalta. Kun näytteen pituus on noin minuutti, ja se sisältää tasaisesti eri ääniteitä, yksittäisten ääniteiden vaikutus häviää ja LTAS kertoo yleisestä äänenlaadusta. (Leino & Toivokoski 1994.) Keskiarvospektri tarjoaa kielellisestä sisällöstä riippumatonta tietoa puhujan yksilöllisistä ominaisuuksista (Nolan 1983). Spektrin yleinen kaltevuus kertoo äänilähteestä. Gauffin ja Sundberg (1989) tutkivat äänihuulten värähtelytavan ja spektrin välistä yhteyttä. Heidän mukaansa mitä laajemmalle äänirako aukeaa, sitä voimakkaammaksi perussävel muodostuu. Yläsävelet taas ovat sitä voimakkaampia, mitä nopeammin äänirako sulkeutuu. (Gauffin & Sundberg 1989.) Näin ollen hiljaisen ja vuotoisen äänen spektri on jyrkemmin kalteva kuin puristeisen ja voimakkaan.

2.2.1.4 Alfaratio

Alfaratio on suhdeluku, joka kuvaa spektrin kaltevuutta. Se ilmaisee korkeiden osasävelten voimakkuutta suhteessa mataliin. Yleensä alfaratio lasketaan vähentämällä signaalin taajuuskaistojen keskimääräinen SPL desibeleinä (SPL 1-5 kHz – SPL 50 Hz-1 kHz). Korkeammat osasävelet ovat matalampia heikompia, joten

tulokseksi saadaan useimmiten negatiivinen luku. Alfaratio kertoo siis numeerisen arvon äänienergian jakutumisesta taajuusalueittain. Puristeisessa äänessä äänirako sulkeutuu nopeasti ja tiiviisti, ja perussävel on suhteellisen heikko, koska äänirako ei pääse aukeamaan laajalle. Tällaisessa äänessä alfaratio on suuri. Vuotoisessa äänessä taas alfaratio on vastaavasti pieni. (Gauffin & Sundberg 1989; Laukkanen & Leino 1999; Sundberg & Nordenberg 2006.)

2.2.1.5 L1-L0

L1-L0 on keskiarvospektristä mitattu F1- ja F0-alueiden välinen desibelitasoero. Tasoeron kasvu liittyy nopeampaan äänihuulisulkuun, sillä yläsävelet ovat silloin voimakkaampia (Gauffin & Sundberg 1989). Vuotoisissa äänissä L0 on suhteellisen suuri ja L1 suhteellisen pieni. Puristeisessa äänessä taas L0 on suhteellisen pieni ja L1 suuri. (Kitzing 1986.) Ensimmäisen formantin alueen ja perustaajuusalueen desibelitasoero onkin tutkimusten mukaan vuotoisissa äänissä pienempi kuin puristeisemmissa (Rantala 2000; Jónsdóttir 2003; Laukkanen, Syrjä, Laitala, Leino 2004; Leino 2009). L1-L0:n on myös havaittu olevan yleensä suurempi voimakkaissa kuin hiljaisissa äänissä (Bele 2002; Jónsdóttir 2003; Master, De Biase, Chiari & Laukkanen 2008).

2.2.1.6 Kuuluvuus

Äänen kuuluvuus on psykoakustinen termi, jolla tarkoitetaan kuulohavaintoa äänen voimakkuudesta. Kuuluvuuteen vaikuttaa ihmisen kuulokyky, sillä ihmiskorva kuulee herkimmin taajuuksia väliltä 2000-4000 Hz. Tämän takia fysikaaliselta voimakkuudeltaan samansuuruiset äänet saattavat kuulostaa erilaisilta kuuluvuutensa suhteen. (Moore 1982; Suomi 1990; Borden et al. 2002.) Tästä kuulokyvyn selektiivisestä herkkyydestä johtuen kirkkaat/heleät äänet ovat kuuluvampia kuin tummat (Laukkanen & Leino 1999). Yleisimmin käytetty subjektiivisen kuuluvuuden yksikkö on soni (Moore 1982). Soniyksikön avulla voidaan ilmaista äänten subjektiivisia kuuluvuussuhteita (Moore 1982; Suomi 1990; Borden et al. 2002). Kuuluvuuteen vaikuttavat kokonaisäänenvoimakkuuksien lisäksi perustaajuus ja

äänienergian jakaantuminen eri taajuuksille eli osasävelten väliset suhteet. Praat-puheanalyysiohjelmassa on mahdollisuus kuuluvuuden mittaamiseen soneina. Tämän mittauksen pitäisi mallintaa ihmiskorvan kuuluvuushavaintoa. Tässä tutkimuksessa käytetään selvyuden vuoksi jatkossa soneina mitattavasta kuuluvuudesta termiä ”kuuluvuus soneina” ja perkeptuaalisesta kuuluvuudesta termiä ”kuultu kuuluvuus”.

2.2.2 Äänen perkeptuaalinen arviointi

Akustisten analyysien lisäksi ääntä voidaan arvioida perkeptuaalisesti eli aistinvaraisesti. Kaikkea akustisesti mitattavissa olevaa ei kuulla lainkaan. Toisaalta taas perkeptuaalinen arviointi on tärkeää, sillä objektiiviset mittaukset antavat vain viitteitä siitä, miltä ääni kuulostaa. Äänenlaatu esimerkiksi on perusluonteeltaan vain subjektiivisesti havaittavissa oleva äänen piirre (Kreiman & Jody 1993). Perkeptuaalista arviointia on kuitenkin kritisoitu juuri siitä syystä, että se on subjektiivista (Oates 2009). Kuunteluanalyysissä kuuntelijat kiinnittävät yleensä huomiota useampiin äänen piirteisiin ja kuuntelutaito vaatii harjaantumista (Laukkanen & Leino 1999). Äänen arvioinnissa termien on oltava kaikille kuuntelijoille selviä ja mahdollisimman yksiselitteisiä, jotta validiteetti ja reliabiliteetti saavutetaan. Kuultavissa olevalle äänen piirteelle on hyvä löytyä objektiivinen, perusteltavissa oleva yhteys fysiologisten tekijöiden ja akustisen tuotoksen välillä. (Bele 2005.)

Perkeptuaalinen arviointi on aina subjektiivista ja terminologia on usein ongelmallista. Perkeptuaaliseen äänen piirteiden arviointiin on kehitelty erilaisia arviointiasteikkoja (Bele 2005; Kreiman & Jody 1993). Hammarberg et al. (1980, 1995) ovat tutkimuksissaan pyrkineet määrittelemään ja kuvaamaan äänen perkeptuaalisia piirteitä ja tehneet tutkimuksia erityisesti patologisten äänten arvioinnin systematisoimiseksi. Laver (1981) taas on pyrkinyt kehittämään arviointisysteemin, jossa otetaan huomioon kaikki laryngaaliset ja supralaryngaaliset piirteet, joita ihmisen on mahdollista tuottaa ja kuulla. Bele (2005) on tutkinut normaalin ja normaalia paremman äänen arviointimenetelmää ja kuuntelijoiden välistä

reliabiliteettiä äänen eri piirteitä arvioitaessa. Belen mukaan kuuntelijat arvioivat pidemmät luentaääninäytteet yhdenmukaisemmin kuin lyhyemmät vokaalinäytteet. Suurin osa äänen piirteistä arvioitiin hyvin yhdenmukaisesti. Kokeneet kuuntelijat ovat arvioissaan johdonmukaisempia kuin opiskelijat. (Bele 2005.)

Yleisimmäksi perkeptuaalisen arvioinnin asteikoksi on vakiintunut visuaalisanaloginen asteikko (VAS). Useimmiten VAS on 100 mm pitkä jana, jonka toisessa päässä on tietyn äänenpiirteen maksimaalinen esiintyminen ja toisessa päässä minimi. Joillekin äänenpiirteille on luontevampaa käyttää 200 mm:n asteikkoa. Tällöin jana on bipolaarinen alkaen minimiesiintymisestä kulkien keskikohdan normaalin kautta piirteen maksimaaliseen esiintymiseen. Kuuntelijat merkitsevät pystyviivan janalle siihen kohtaan, jonka kokevat vastaavan kuulohavaintoa kyseisestä piirteestä. Kun kuunneltavana on pidempiä puhenäytteitä, ongelmaksi saattaa muodostua se, että näytteen eri kohdissa voi kuulua vastakkaisia piirteitä. Ääni voi esimerkiksi kuulostaa vuotoiselta lauseiden alussa, mutta muuttua lauseen loppua kohden puristeiseksi ja narinaksi. (Bele 2005.)

2.2.3 Äänen perkeptuaaliset piirteet

Tässä tutkimuksessa perkeptuaalisesti arvioituja äänen piirteitä ovat äänenlaatu, äänenväri, korkeus, tiiviys, hälypitoisuus, kuuluvuus/kantavuus ja rahina/särinä. Nämä äänen piirteet valittiin, koska aikaisempien tutkimusten perusteella äänen voimistaminen voi vaikuttaa näihin äänen piirteisiin (Södersten, Ternström & Bohman 2005; Bele 2005).

Äänenlaadusta on olemassa erilaisia määritelmiä. Äänenlaatu voidaan käsittää koskemaan laajasti sekä kurkunpään toiminnan että ääniväylän vaikutuksia ääneen. Titzen (2000) mukaan kaikki se, mikä jää äänen korkeuden ja voimakkuuden jälkeen jäljelle, voidaan käsittää äänenlaaduksi. Myös Laver (1980) käsittää äänenlaadun laajana. Hänen mukaansa äänenlaatuun vaikuttavat sekä kurkunpään toiminta että ääntöväylän asetukset. Esimerkiksi Hammarberg & Gauffin (1995) taas käyttävät äänenlaatu -termiä suppeammin kuvaamaan vain kurkunpään toimintaa. Tässä

tutkimuksessa äänenlaadulla tarkoitetaan havaintoa huutoäänien yleisestä laadusta, johon vaikuttavat niin glottaaliset kuin artikulatorisetkin asetukset.

Formanttitaajuudet vaikuttavat äänenväriin havaintoon. Äänenväri on siis riippuvainen ääniväylän koosta ja muodosta. (Laukkanen & Leino 1999.) Äänet, joissa on runsaasti energiaa ylemmillä taajuuksilla, kuulostavat kirkkailta tai heleiltä. Vastaavasti tummissa äänissä energiaa on suhteellisesti enemmän alemmilla taajuuksilla.

Äänen korkeus otettiin arvioitavaksi piirteeksi, sillä voimakkuuden kasvaessa myös perustaajuus pyrkii nousemaan (Gramming, Sundberg, Ternström, Leanderson & Perkins 1988). Toisaalta perustaajuuden nostamista voi myös käyttää keinona kasvattaa subglottaalista painetta ja näin ollen myös äänen voimakkuutta (Alku, Vintturi & Vilkmann 2002). Perustaajuuden kasvattamisella voidaan myös saada perustaajuus (tai jokin sen kerrannainen) sopimaan formanttitaajuuksille, jolloin ääni voimistuu. Tätä kutsutaan formanttiviritykseksi (formant tuning). (Titze 2000.) Puhekorkeus on myös vahva ilmaisullinen tekijä. Huuto muuttaa luonnettaan korkeuden myötä, matalalla äänellä ilmaistaan vakuuttavuutta ja uhkaavuutta, kun taas korkeammalla äänellä ilmaistaan pikemmin pelkoa tai hätää. Taustalla on ns. frekvenssikoodi, jota on havaittu esiintyvän eläimilläkin. (Laukkanen & Leino 1999.) Näin ollen on kiinnostavaa tutkia, kuulostavatko huutonäytteet kuulijoiden mielestä liian korkeilta.

Voimakkuuden lisääntyessä myös äänihuulisulun tiiviys lisääntyy, koska painetta lisättäessä myös sulkua on lisättävä. Hypofunktionaalisella äänentuottotavalla äänen voimistaminen on lähes mahdotonta, mutta liiallinen tiiviys taas kuulostaa kireältä ja puristeiselta ja rasittaa äänihuulia. Hyvin puristeisella äänellä ei myöskään saada tuotettua yhtä voimakkaita ääniä kuin hieman rennommalla tavalla, sillä glottis ei pääse aukeamaan laajalle. (Laukkanen & Leino 1999; Titze 2000). Huutaessa on siis tärkeää saavuttaa oikeanlainen adduktioaste.

Häly johtuu epätäydellisestä äänihuulisulusta. Ääniraon ollessa hieman auki myös sen sulkuvaiheessa, ilmaa virtaa raon läpi jatkuvasti, ja tämä kuuluu hankaushälynä erityisesti subglottaalisen paineen ollessa suuri. (Bele 2005.)

Kuuluvuus/kantavuus on tärkeä piirre huutoäänessä, sillä tarkoitus on tuottaa voimakkaan kuuloista ääntä ja äänen fyysikaalinen voimakkuus ei riitä kuvaamaan kuuluvuuden havaintoa. Ihmiskorva kuulee herkiten taajuuksia väliltä 2000-4000 Hz. Näin ollen fyysikaaliselta voimakkuudeltaan samansuuruiset äänet saattavat kuulostaa erilaisilta kuuluvuutensa suhteen. (Moore 1982; Suomi 1990; Borden et al. 2002.)

Äänessä saattaa myös kuulua rahinaa tai särinää. Fysiologisesti rahina johtuu äänihuulten epäsäännöllisen värähtelyn tuottamasta pienestä perustaajuuden ja/tai amplitudin vaihtelusta. Tämä taas saattaa varsinkin huudossa johtua epäbalanssista subglottaalisen paineen ja äänihuulisulun välillä (Bele 2005).

2.3 Lauluääni ja puheääni

Aikaisemmat äänitutkimukset ovat keskittyneet lähinnä laulu- ja puheääneen. Laulu- ja puheäänen akustistisia ja perseptuaalisia piirteitä tutkitaan samantyyppisin tutkimusmenetelmin, onhan tutkittava ilmiökin periaatteessa sama –ihmisääni. Melodia erottaa laulun puheesta, mutta laulu- ja puheääni eroavat useimmiten myös spektrirakenteeltaan. Seuraavaksi käsitellään laulu- ja puheäänen piirteitä.

2.3.1 Lauluäänen piirteet

Lauluäänen akustiikkaa on tutkittu melko paljon (Sundberg 1987, 2001, 2005; Leino & Toivokoski 1994; White & Sundberg 2000). Tutkimukset ovat keskittyneet lähinnä klassisen lauluäänen tutkimiseen. Lauluäänen keskiarvospektrissä on havaittu loivempi kaltevuus kuin puheäänen spektrissä (Leino & Toivokoski 1994). Lauluäänen spektrissä siis ylemmät osasävelet ovat suhteellisesti voimakkaampia kuin puheessa. Sundberg (1987, 1995, 2000, 2001) on tutkinut paljon lauluääntä ja havainnut koulutettujen mieslaulajien spektreissä voimistuneen osasävelalueen aiheuttaman huipun 2000-3000 hertsin välissä. Juuri tämä huippu erottaa yleensä

klassisesti koulutetun ja kouluttamattoman laulajan toisistaan (Sundberg 1995). Voimistunutta, ympäristöstään erottuvaa osasävelaluetta lauluäänessä kutsutaan laulajanformantiksi. Laulajanformantin syntyminen liittyy resonanssi-ilmiöön. Voimakkaassa laulajanformantissa F3, F4, ja F5 ovat tarpeeksi lähellä toisiaan, jolloin ne voimistuvat ja sulautuvat yhteen. Fantin (1970) mukaan kahden formantin välisen välimatkan puolittuminen lisää molempien formanttien voimakkuutta 6 dB. Laulajanformantti vaikuttaa äänen kuuluvuuteen ja mahdollistaa sen, että ääni kantaa orkesterin yli, sillä orkesterin spektrissä ei ole yleensä paljon energiaa tällä taajuusalueella. (Sundberg 2001.)

Sundberg (1989, 1995, 2001) on tutkinut laulajanformantin syntyä. Kurkunpään lasku edesauttaa laulajanformantin muodostumista, sillä ääniväylän pidentyessä formanttitaajuudet laskevat. Formanttien laskiessa ne lähestyvät taajuusalueella toisiaan, jolloin viereiset formantit 2000-3000 hertsin alueella, tullessaan riittävän lähelle toisiaan, voimistuvat ja yhdistyvät. (Sundberg 1989.) Lähdeäänien spektrin tulee kuitenkin olla riittävän loiva eli ylempienkin osasävelten pitää olla suhteellisen voimakkaita. Jyrkästä lähdespektristä ei resonanssinkaan avulla saa aikaiseksi laulajanformanttia. (Sundberg 1989; Leino & Toivokoski 1994.) Sundbergin (1995) mukaan myös kurkunpää itsessään voisi toimia noin 3 kHz:n resonaattorina. Nielun väljyydellä suhteessa kurkunpään eteisontelon alueeseen on merkitystä F4:lle ja F5:lle. Sopiva kapeikko epilaryngalisella alueella yhdistettynä avaraan nieluun näyttäisi voimistavan resonanssia 3 kHz:n lähistöllä ja edesauttavan näin laulajanformantin muodostumista. (Sundberg 1995.)

Laukkainen, Radolf, Horáček ja Leino (2009) ovat pyrkineet arvioimaan laulajanformantin syntymekanismia mallintamalla ääntöväylän mahdollisia muutoksia ja muutosten vaikutusta laulajanformantin syntyyn. Heidän mukaansa laulajan formanttiklusteri eli formanttien lähentyminen ja yhdistyminen syntyy, kun kurkunpään eteisontelo lievästi kaventuu sekä suuontelon takaosa laajentuu ja etuosa kaventuu. Suun takaosa laajentuu ja etuosa kaventuu viemällä kieltä eteenpäin suussa. Kurkunpään lasku, ja näin ääntöväylän pidentäminen, auttaa myös laulajan formanttiklusterin muodostumisessa. (Laukkanen et al.2009.)

Laulajanformantin desibelitaso on riippuvainen laulettavasta äänestä ja äänen voimakkuudesta (Sundberg 2001). Voimakkuuden kasvaessa yläsävelet voimistuvat, ja näin ollen laulajanformantti tulee merkittävämmäksi. Sundbergin (2001) tutkimuksessa äänenpainetason noustessa 10 desibeliä, laulajanformantti voimistui noin 16 dB. Laulajanformantin tajuus vaihtelee ääniluokan mukaan eli bassoilla laulajanformantti on alemmilla taajuuksilla kuin tenoreilla. (Sundberg 2001.) Ääniväylän koko selittää spektrieroja eri ääniluokilla. Sävelkorkeus ei sinällään vaikuta laulajanformantin muodostumiseen. Äänen voimakkuus kuitenkin vaikuttaa myös laulajanformantin voimakkuuteen ja usein sävelkorkeuden noustessa myös voimakkuus kasvaa. Voimakkuuden lisääntymisen myötä laulajanformantinkin desibelitaso nousee ja samalla se voi myös laajentua taajuusasteikolla. (Sundberg 2001; Leino & Toivokoski 1994.)

Laulajanformantti saa aikaan oopperalauluäänelle tyypillisen helinän. Se myös mahdollistaa oopperalauluäänien kuuluminen orkesterin yli. Varsinkin miehillä laulajanformantti on tärkeä tekijä kuuluvuuden kannalta. Osasävelten välisten voimakkuussuhteiden lisäksi kuuluvuuteen vaikuttaa luonnollisesti äänen kokonaisvoimakkuus ja siihen liittyen laulajanformantinkin absoluuttinen voimakkuus desibeleinä. (Leino & Toivokoski 1994.)

2.3.2 Puheäänien piirteet

Monissa puheäänistä tehdyissä tutkimuksissa on vertailtu äänien akustisia ja perseptuaalisia piirteitä ja niiden välisiä suhteita. Puheääntä koskevissa tutkimuksissa on havaittu akustisen energian noin 3.5 kHz:n kohdalla korreloivan hyvän äänenlaadun kanssa. Leino (1974, 1994, 2009) on tutkinut suomalaisten miesten äänenlaatua ja keskiarvospektriä äänenlaadun kuvaajana. Keskiarvospektri kertoo äänen yleisestä laadusta näytteen ollessa tarpeeksi pitkä, ja äänenlaadun fyysisenä korrelaattina voidaankin pitää äänienergian jakaantuminen eri taajuusalueille. Näyttelijöiden ääniä tutkittaessa ilmeni, että huonoiksi arvioitujen äänien spektri oli jyrkemmin kalteva kuin hyväksi arvioitujen. Leinon (1994) mukaan kuuntelukokeissa hyväksi arvioitujen miesäänien spektreille on tyypillistä loiva kaltevuus ja voimakas

äänienergiahuippu 3000-4000 hertsin välillä. Hyvässä puheäänessä näyttäisi siis olevan ns. puhujanformantti, joka on verrattavissa laulajanformanttiin miehillä. Tutkimuksissa, joissa on käsitelty erityisesti näyttelijän ääntä, energiakasaumaa 3-4 kHz:n välillä kutsutaan näyttelijänformantiksi (esim. Leino 1994; Master et al. 2008). Tässä tutkimuksessa tästä energiahuipusta käytetään termiä puhujanformantti.

Puhujanformantti ei ole yhtä voimakas kuin laulajanformantti ja se sijaitsee noin 1000 hertsiä laulajanformanttia korkeammalla taajuudella (Leino 1994.) Leinon (2009) mukaan myös kouluttamattomien äänistä tehdyssä tutkimuksessa saattoi olla havaittavissa samansuuntainen tulos. Kouluttamattomien miesopiskelijoiden ääniä tutkittaessa havaittiin, että myös heillä loivempi spektrin kaltevuus ja selvä energiahuippu 3-4 kHz:n välillä liittyi havaintoon hyvästä äänenlaadusta. Kouluttamattomilla miehillä hyvänkään äänen puhujanformantti ei ollut kuitenkaan yhtä voimakas kuin näyttelijöillä. (Leino 2009.) Parhaimmissa äänissä puhujanformantti oli 15-25 desibeliä heikompi verrattuna spektrin voimakkaimpaan huippuun, yleensä F1:een. Puhujanformantin tasoero ympäröiviin vaimentuneisiin osasävelalueisiin saattoi hyvissä äänissä olla jopa yli 10 dB. (Leino 1994.) Kouluttamattomien äänissä puhujanformantin tasoero oli keskimäärin 28 dB heikompi verrattuna spektrin voimakkaimpaan huippuun (Leino 2009).

Belen (2006) tutkimuksessa verrattiin opettajien ja näyttelijöiden ääniä ja havaittiin, että näyttelijöillä oli selkeämpi puhujanformantti. Myös Belen (2006) tutkimuksen mukaan useimmissa hyvälaatuisiksi arvioiduissa äänissä oli havaittavissa selvä puhujanformantti. Paremmiksi arvioiduissa äänissä F4 oli matalammalla, joten F3 ja F4 olivat näin ollen lähempänä toisiaan. (Bele 2006.) Nawka, Anders, Cebulla & Zurakowski (1997) tutkivat puhujanformantin esiintymistä lievästi käheissä äänissä, normaaleissa äänissä sekä näyttelijöillä eli äänenkäytön ammattilaisilla. Normaalilla puhevoimakkuudella nauhoitetuissa näytteissä kouluttamattomien äänien ja näyttelijöiden äänien spektreissä havaittiin 3400 hertsin ympärillä energiahuippu. Näytteillä puhujanformantti oli kuitenkin keskimäärin 10 dB voimakkaampi kuin normaaleissa äänissä. (Nawka et al. 1997.) Myös Master et al. (2008) vertasivat näyttelijöiden ja ei-näyttelijöiden keskiarvospektrejä ja havaitsivat näyttelijöillä voimakkaamman puhujanformantin kuin ei-näyttelijöillä.

Nolanin (1983) mukaan LTAS kertoo enemmän äänilähteestä kuin ääniväylän resonanssiominaisuuksista. Spektrin kaltevuus on riippuvainen äänihuulten sulkunopeudesta niin, että mitä nopeammin äänirako sulkeutuu äänihuulten värähdellessä, sitä loivempi äänen spektri on. Leinon (1994) mukaan puhujanformantti ei kuitenkaan ole vain loivan spektrin seurausta, sillä vaimentuneet osasävelalueet ympäröivät puhujanformanttia spektrissä. Voimakas osasävelalueen voimistuma on sen sijaan formanttien aikaansaannosta. Leinon mukaan todennäköisimmin F4:n ja F5:n yhdistyminen tuottaa puhujanformantin. Tätä voidaan havainnollistaa seuraamalla reaaliaikaista spektrianalyysia. (Leino 1994.) Nolanin (1983) mukaan huipun muodostuminen voisi liittyä samanlaiseen ilmiöön kuin laulajanformantinkin synty, eli kurkunpään resonanssin syntymiseen kurkunpään ontelon ja nieluontelon läpileikkauksien ollessa sopivassa suhteessa toisiinsa nähden. (Nolan 1983.)

Myös Laukkasen et al. (2009) tietokonemallinnuksella tehdyt arviot puhujanformantin syntymekanismista viittaavat siihen, että puhujanformantti syntyy samoilla periaatteilla kuin laulajanformanttikin. F3:n, F4:n ja F5:n lähentyminen taajuusasteikoilla ja yhdistyminen tuottaa formanttiklusterin, jonka syntyä edistäisi kurkunpään eteisontelon lievä kaventuminen. Tämä kaventuminen voisi olla seurausta hienoisesta kurkunpään laskusta tai kielen juuren matalammasta asemasta. Myös kielen etinen sijoitus auttaa puhujan formanttiklusterin syntyä, sillä etisempi kielen asento kaventaa suuontelon etuosaa ja laajentaa takaosaa. (Laukkanen et al. 2009; Leino, Laukkanen & Radolf 2010.)

Sekä puhujanformantti että laulajanformantti liittyvät äänen projektiioon (projection of voice) eli tekniikkaan, jolla saadaan taloudellisesti tuotettua kantava ääni (Leino 1994). Ääni, jossa on hyvä projektiio, kantaa helposti, luonnollisesti ja vaivattomasti jokaiselle kuulijalle (Michel & Willis 1983).

Suuri alfaratio ja puhujanformantin olemassaolo eivät kuitenkaan ole hyvän äänen ehdottomia edellytyksiä. Leinon (1994) tutkimuksessa jotkut äänet arvioitiin hyviksi, vaikka puhujanformantti oli olematon. Toisaalta taas joissain tapauksissa huippu oli

liian voimakas ja se yhdistettiin huonoon ääneen. Leinon (1994) mukaan puhujanformantin esiintymistä hyvissä äänissä voidaan pitää pikemminkin tendenssinä kuin edellytyksenä. Lisäksi on havaittu, että jotkin äänen ei-toivotut piirteet saattavat tuottaa puhujanformanttia vastaavan energiahuipun ylemmälle taajuusalueelle. Esimerkiksi Nolan (1983) tutki eri äänenlaatujen tuottamia spektripiirteitä ja havaitsi, että energiahuippu oli selkein narinassa (in creak and creaky voice). Belen (2006) mukaan myös esimerkiksi nasaalistuminen saattaa tuottaa puhujanformantin tyyppisen energiakeskittymän, sillä antiformantit voivat vaimentaa tiettyjä osasävelalueita. Joissain tapauksissa huonossakin äänessä saattaa siis esiintyä puhujanformanttia muistuttava energiakeskittymä ja tämän vuoksi kuunteluarviointi on tärkeää akustisten piirteiden tarkastelun lisäksi.

2.4 Voimistettu ääni ja huutoääni

2.4.1 Voimistetun äänen akustiset piirteet

2.4.1.1 Äänenpainetaso ja F0

Voimistetussa äänessä äänenpainetaso on suurempi kuin normaalipuheessa. Leinon et al. (2008) suomalaisilta opiskelijoilta kerätyssä aineistossa Leq-keskiarvo miehillä oli normaalissa puhevoimakkuudessa 68.9 dB ja voimakkaassa luennassa 90 dB (mitattuna 40 cm:n etäisyydeltä vaimennetussa tilassa). Äänenpainetaso on riippuvainen subglottaalisesta paineesta. Titzen ja Sundbergin (1992) mukaan kynnyspaineen ylittävän subglottaalisen paineen kaksinkertaistuminen aiheuttaa äänenpainetason kasvun 8-9 desibelillä. Suurempi subglottaalinen paine ja nopeampi ilmavirtaus voimakkaassa äänessä pyrkivät nostamaan myös perustaajuutta. Suurempi subglottaalinen paine pakottaa ääniraon avautumaan nopeammin ja nopeasta ilmavirtauksesta ja Bernoullin imuefektistä johtuen glottis sulkeutuu nopeammin. (Sundberg 1987; Suomi 1990; Laukkanen & Leino 1999; Titze 2000.) Subglottaalisen paineen lisäys aiheuttaa myös äänihulten venymistä sivusuunnassa ja näin ollen niiden

jäykistymistä. Tämä taas nostaa perustaajuutta. (Titze 2000.) Gramming et al. (1988) tutkivat äänen voimakkuuden lisäämisen vaikutuksia perustaajuuteen. Heidän tutkimuksensa mukaan yhden desibelin lisäys nosti korkeutta noin 0,5 puolisävelaskelta. Leinon et al. (2008) aineistossa miesten tekstiluennan F0-keskiarvo oli 109.8 Hz normaalivoimakkudessa ja 230.2 Hz voimakkaassa tekstiluennassa. Leinon et al. (2008) aineistossa keskimääräisen äänenpainetason kasvaessa noin 21 dB perustaajuus nousi 110 hertsistä 230 hertsiin eli noin 13 puolisävelaskelta. Tämä tarkoittaisi myös noin puolikkaan (0,6) puolisävelaskeleen nousua yhtä desibeliä kohden.

Söderstenin et al. (2005) tutkimuksessa tutkittiin millä tavoin eri voimakkuuksisen taustamelun yli puhuminen vaikuttaa äänenpainetasoon ja perustaajuuteen. Heidän aineistossaan koehenkilöiden äänen desibelitaso nousi, kun taustamelunkin desibelitaso oli korkeampi. Söderstenin et al. (2005) mukaan myös F0 nousi merkitsevästi taustamelun ja äänen voimakkuuden noustessa. Monissa muissakin tutkimuksissa on havaittu perustaajuuden nousevan desibelien lisääntymisen myötä. Masterin et al. (2008) tutkimuksessa verrattiin näyttelijöiden ja ei-näyttelijöiden äänien piirteitä kolmella eri voimakkuustasolla. Heidän koehenkilöillään perustaajuus nousi merkitsevästi siirryttäessä voimakkaampaan ääntöön. Myös Belen (2006) tutkimuksessa koehenkilöiden perustaajuus oli korkeampi voimakkaassa äänessä.

2.4.1.2 Spektripiirteet

Äänihuulten värähdellessä syntyy periodinen ilmavirtaus. Glottaalisen ilmavirran pulssimuoto vaikuttaa lähdeäänien osasävelten välisiin suhteisiin. Subglottaalisen paineen kasvaessa glottispulssi tulee kulmikkaammaksi, sillä virtauksen kiihtyminen kasvaa ja virtaus myös tyrehtyy nopeammin. Tästä syystä korkeiden osasävelten amplitudit ovat suhteellisesti voimakkaampia voimakkaassa ja puristeisessa äänessä kuin hiljaisessa ja vuotoisessa äänessä. (Titze 2000; Pickett 1999.) Voimakkaan äänen spektri siis laskee loivemmin. (Titze 2000; Pickett 1999; Suomi 1990; Nordenberg & Sundberg 2004.) Yläsävelien voimistumisesta johtuen alfaratio on yleensä suurempi voimakkaassa äänessä (Sundberg & Nordenberg 2006). White ja Sundberg (2000) tutkivat subglottaalisen paineen vaikutusta ensimmäisen formantin ja

laulajanformantin äänenpainetasoihin baritonien vokaaliäännöissä. Heidän mukaansa subglottaalisen paineen kasvu voimistaa ensimmäistä formanttia, mutta paineen noustessa ylemmät osasävelet voimistuvat suhteellisesti enemmän. Whiten ja Sundbergin (2000) mukaan subglottaalisen paineen lisääntyessä siten, että noin 600 hertsin kohdalla sijaitseva F1 voimistui 10 dB, sama paineen lisäys tuotti noin 17 dB:n voimistumisen 2000-3000 hertsin välillä. Nordenberg ja Sundberg (2004) tutkivat keskimääräisen äänenpainetason ja keskiarvospektrin suhdetta pidemmässä ääninäytteessä. Heidän tutkimuksensa osoittivat myös, että ylemmät osasävelet vahvistuvat suhteellisesti enemmän kuin alemmat ja näin ollen spektrin kaltevuus loivenee keskimääräisen äänenpainetason kasvaessa.

Nawkan et al. (1997) tutkimuksessa tarkasteltiin äänenpainetason vaikutusta spektriipirteisiin ja puhujanformanttiin. Heidän aineistossaan voimakkuuksina olivat keskusteluvoimakkuus (60 dB), voimakas (80 dB) ja huuto (100 dB). Koehenkilöinä olleiden näyttelijöiden äänistä tehtyjä keskiarvospektrejä tarkasteltiin äänenpainetason suhteen. Äänenpainetason kasvaessa ylemmät taajuudet voimistuivat suhteellisesti enemmän. Voimakkaassa äänessä (80 dB) puhujanformantinkin voimakkuus kasvoi ja se erottui ympäristöstään selkeämmin. Voimakkaan äänen ja huudon välillä energiahuipun tasossa puhujanformantin alueella ei kuitenkaan ollut merkittävää eroa. Lisäksi huudossa ylempien taajuuksien akustinen energia oli kauttaaltaan lisääntynyt, joten huudon (100 dB) spektrissä maksimaalinen energiahuippu puhujanformantin alueella ei erottunut ympäröivistä taajuuksista, vaan sulautui niihin. Spektrissä yleensä näkyvät huippu- ja laaksokohdat olivat siis tasoittuneet voimakkaan huudon spektrissä. Nawkan et al. (1997) mukaan huudon spektrin tasaisuus saattoi selittyä sillä, että perustaajuus vaihteli huutonäytteissä paljon. Perustaajuuden vaihdellessa yli oktaavin, formanttitaajuudet saattoivat siirtyillä ja näin yleensä vaimentuneetkin osasävelalueet saivat äänienergiaa.

Pinczower ja Oates (2005) tutkivat näyttelijöiden äänen spektriipirteitä normaalissa näyttelijän äänessä (comfortable acting voice) ja maksimaaliseen kantavuuteen (maximal projection) pyrittäessä. He havaitsivat äänienergian lisääntymistä 2000-4000 hertsin alueella etenkin maksimaaliseen kantavuuteen pyrittäessä. Näin ollen desibelitasoero alempien (0-2000Hz) ja ylempien (2000-4000Hz) taajuuksien välillä

oli pienempi voimakkaammissa äänissä. Spektreistä löytyi kuitenkin ainakin kolmea erilaista mallia. Yhdessä spektrimallissa spektrin muoto ei muuttunut juurikaan siirryttäessä normaalista äänestä mahdollisimman kantavaan ääneen. Toisen mallin spektreissä akustinen energia oli selvästi lisääntynyt välillä 3.2 kHz-3.4 kHz kantavissa äänissä. Joissakin kantavissa äänissä taas spektri oli neliskulmainen eli energia oli lisääntynyt kauttaaltaan taajuusalueella 0-3.4 kHz eikä vain ylemmillä taajuuksilla. Pinczowein ja Oatesin (1997) tutkimuksen neliskulmainen spektrimalli antaisi Nawkan et al. (1997) tavoin viitteitä siitä, että huutoäänien keskiarvospektrissä ei erottuisi selkeää puhujanformanttia, vaan akustinen energia on lisääntynyt kaikilla taajuuksilla.

Master et al. (2008) ovat myös tutkineet äänenpainetason vaikutusta keskiarvospektriin. Heillä oli vertailtavana kolme eri voimakkuustasoa (normaali, kohtalaisen voimakas ja voimakas) sekä kaksi eri ryhmää, joissa näyttelijät edustivat koulutettuja äänenkäyttäjiä ja muut kouluttamattomia. Heidän tutkimuksessaan voimakas ääni oli keskimäärin 93 dB näyttelijöillä ja 92.9 dB muilla (mitattuna 15 cm:n päästä vaimennetussa tilassa). Molemmilla ryhmillä voimakkaimman spektrihiipun ja puhujanformantin välinen desibelitasoero pieneni voimakkuuden lisääntyessä. Näin ollen myös Masterin et al. (2008) tutkimustulokset osoittavat äänen voimistamisen voimistavan suhteellisesti enemmän ylempiä osasäveliä. Voimakkuuden noustessa myös alfaration arvo kasvoi. Alfaratio oli suurempi näyttelijöillä. Alfaration arvoa voimakkaassa äännessä näytti kasvattavan äänienergian lisääntyminen myös taajuusalueella 2-3 kHz. Spektrin muoto oli samanlainen molemmilla ryhmillä. Molemmilla ryhmillä puhujanformantti näytti olevan pääasiassa F4:n aikaansaannosta, ei formanttiyhdistelmien. (Master et al. 2008.) Usein puhutaankin formanttiklusterista, jos kyseessä on useamman formantin yhteensulautuma. Masterin et al. (2008) tutkimuksessa tarkasteltiin myös F1- ja F0-alueiden välistä tasoeroa (L1-L0). Tasoero näytti kasvavan voimakkuuden lisäämisen myötä eli ensimmäisen formantin desibelitaso kasvoi suhteessa perustaajuuteen äänen voimistamisen seurauksena. Näyttelijöillä L1-L0 oli suurempi ja tutkijoiden mukaan tämä saattoi johtua siitä, että näyttelijät aukaisivat suutaan enemmän ja näin kasvattivat F1:n taajuutta ja voimakkuutta. (Master et al. 2008.)

Myös Belen (2006) mukaan ylempien taajuuksien energia lisääntyy suhteellisesti enemmän ääntä voimistaessa ja näin puhujanformantti on merkittävämpi voimakkaassa äänessä. Erittäin voimakkaan äänen spektrin muoto oli Belenkin mukaan kuitenkin pikemminkin neliskulmainen, eikä selvää puhujanformanttia ollut erotettavissa. Lisäksi joissain voimakkaan äänen spektreissä näytti olevan voimistunut osasävelalue 2-3 kHz:n äänissä muistuttaen enemmän laulajanformanttia kuin puhujanformanttia. (Bele 2006.)

2.4.2 Voimistetun äänen perkeptuaaliset piirteet

Pinczowerin ja Oatesin (2005) tutkimuksessa normaalilla voimakkuudella tuotetusta äänestä (comfortable acting voice) ja maksimaaliseen kantavuuteen (maximal projection) pyrkivästä äänestä tehtiin myös kuunteluarviot. Äänen kantavuus arvioitiin sitä paremmaksi mitä enemmän ylempillä taajuuksilla oli energiaa suhteessa alempiin taajuuksiin. Myös havainto äänen puristeisuudesta liittyi suhteellisesti voimistuneeseen ylempään taajuusalueeseen. Pinczowerin ja Oatesin aineistosta löytyi kolme erilaista spektrimallia ja kuunteluarvioita verrattiin näihin spektrimalleihin. Ensimmäisessä spektrimallissa spektrin muoto ei muuttunut juurikaan siirryttäessä normaalista kantavimpaan äänentuottoon ja nämä äänet eivät eronneet myöskään kuunteluarvioiden suhteen. Toisen mallin spektreissä akustinen energia oli selvästi lisääntynyt välillä 3.2 kHz-3.4 kHz mahdollisimman kantavaan ääneen pyrittäessä ja nämä äänet arvioitiin hyvin kantaviksi. Kolmannessa kantavien äänien spektrimallissa energia oli lisääntynyt kauttaaltaan taajuusalueella 0-3.4 kHz, eikä vain ylempillä taajuuksilla. Nämä suurimpaan mahdolliseen kantavuuteen pyrkivät äänet oli arvioitu puristeisiksi. Mahdollisesti nämä koehenkilöt huusivat tämän puristeiseksi arvioidun voimakkaimman näytteen. Tutkimuksessa ei kuitenkaan raportoitu erosivatko äänet, joiden spektrit olivat eri muotoisia, myös kokonaisvoimakkuuksiltaan. (Pinczower & Oates 2005.)

Myös Masterin et al. (2008) tutkimuksessa kantaviksi arvioiduissa äänissä oli enemmän akustista energiaa puhujanformantin alueella. Niin ikään alfaratio oli suurempi kantaviksi arvioiduissa äänissä. Alfaratio oli suurempi näyttelijöillä ja

tämän olisi voinut ajatella johtuvan puristeisemmasta äänentuottotavasta, mutta näyttelijöiden äänet oli kuitenkin arvioitu pikemminkin vähemmän puristeisiksi kuin muiden. Näyttelijöillä siis näytti olevan suotuisimmat glottaaliset asetukset, jotka sallivat laajemman äänihuulivärähtelyn ja nopeamman sulkunopeuden. Suurempi L1-L0 näytti liittyvän arvioituun kuuluvuuteen normaalilla ja kohtalaisella voimakkuudella tuotetuissa näytteissä. F1- ja F0-alueiden tasoeron kasvaessa ääni arvioitiin kuuluvammaksi. (Master et al. 2008.)

Söderstenin et al. (2005) tutkimuksessa selviteltiin, millä tavoin eri voimakkuuksisen taustamelun yli puhuminen, ja samalla äänen voimistaminen, vaikuttaa perkeptuaalisiin arvioihin äänestä. Heidän mukaansa puristeisuus lisääntyi, kun koehenkilöt puhuivat voimakkaamman taustamelun yli. Myös epävakaisuus ja rahina (roughness) lisääntyivät taustamelun lisäämisen myötä ja jotkut koehenkilöt vaikuttivat menettävän kontrollin koettaessaan kuulua voimakkaimman taustamelun yli. Belenkin (2007) mukaan voimakkaammissa äänissä esiintyi enemmän rahinaa kuin normaalilla voimakkuudella tuotetuissa äänissä. Tämä johtuu epätasapainosta äänihuulisulun ja lisääntyneen subglottaalisen paineen välillä. Epätasapaino taas lisää epäsäännöllisen äänihuulivärähtelyn riskiä. (Bele 2007.)

2.4.3 Voimistetusta äänestä huutoon

Huutoäänen akustisia ja perkeptuaalisia piirteitä ei ole juurikaan tutkittu. Huutaminen, eli äänen maksimaalinen voimistaminen, vaikuttanee ainakin äänen desibelitasoon, perustaajuuteen sekä äänen osasävelten välisiin suhteisiin eli spektrin kaltevuuteen. Leino et al. (2008) ovat tutkineet suomalaisten opiskelijoiden puheen perustaajuutta, keskimääräistä äänenpainetasoa ja suhteellista F0:aa (luentanäytteen F0:n ja matalimman mahdollisen äänen F0:n ero puolisävelaskelina) eri voimakkuustasoilla. Heidän mukaansa matalin mahdollinen ääni suomalaisilla miesopiskelijoilla oli keskimäärin 80.3 Hz. Leino et al. (2008) raportoivat miespuolisten yliopisto-opiskelijoiden maksimaalisen huutovoimakkuuden keskimääräiseksi äänenpainetasoksi 110 dB ja samojen huutonäytteiden F0-keskiarvo oli 338.5 Hz. Suhteellinen F0 huudossa oli keskimäärin 24.5 puolisävelaskelta. (Leino et al. 2008.)

Monet aikaisemmat tutkimukset voimakkaasta äänestä antavat viitteitä siitä, että huutoäänen spektrissä ei olisi havaittavissa puhujanformanttia, vaan äänienergia on kauttaaltaan lisääntynyt. Näin ollen huutoäänen spektri olisi muodoltaan lähinnä neliskulmainen. (Bele 2006; Nawka et al. 1997; Pinczower & Oates 2005.)

Leinon (1974) mukaan kuitenkin myös hyvissä huutoäänissä olisi energiahuippu 3-4 kHz:n välillä. Leinon (1974) tutkimuksessa osassa huonommiksi arvioiduissa äänissä oli myös energiahuippu 2-3 kHz:n kohdilla, ikään kuin laulajanformantti. Leinon (1974) mukaan hyvät ja huonot huutoäänet erottaa se, että hyvissä äänissä amplitudiarvot 1000 hertsin yläpuolella ovat suurempia kuin huonoissa. Lisäksi hyvissä huutoäänissä on laakso 2.5-2.8 kHz:n kohdalla ja huippu 2.8-3.5 kHz:n kohdalla, huipun esiintyminen ei kuitenkaan ole huutoäänissä niin säännöllistä kuin normaalivoimakkuudella tuotetuissa luentanäytteissä. (Leino 1974.)

2.5 Tutkimuskysymykset

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan miesten huutoäänen akustisia ja perkeptuaalisia piirteitä. Tutkimusaineistossa on näyttelijäopiskelijoita (N=24) ja muita opiskelijoita (N=11). Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää 1) huutoäänen akustisia piirteitä, 2) huutoäänen perkeptuaalisia piirteitä, 3) akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden välisiä yhteyksiä, 4) eroavatko näyttelijäopiskelijat huutoääneltään muista opiskelijoista sekä 5) mitkä piirteet tekevät huudosta hyvän.

3. MATERIAALIT JA METODIT

3.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona oli 35 miesopiskelijoiden huutonäytettä. Aineistona käytettiin aikaisemmin kerättyjä ääninäytteitä, jotka saatiin Tampereen yliopiston puheopin laitoksen arkistosta tätä tutkimusta varten. Tutkimusaineistosta karsittiin pois muutamia näytteitä, jotka eivät kuulostaneet huudolta. Koehenkilöt olivat Tampereen yliopiston opiskelijoita, 24 heistä oli näyttelijäopiskelijoita ja 11 oli muita opiskelijoita. Näyttelijäopiskelijat olivat saaneet opinnoissaan äänenkäytön koulutusta, muut opiskelijat eivät. Näyttelijän äänenkäytönkoulutuksen tavoitteena on, että opiskelija oppii käyttämään ääntään siten, että se kantaa ja kestää sekä muokkaantuu erilaisten tyyllilajien ja tilojen vaatimusten mukaan (http://naty.uta.fi/index_flash.html, 8.2.2010).

Huutonäytteenä oli noin minuutin mittainen katkelma monologista Shakespeare: Kuningas Lear (Liite 2). Koehenkilöille annettiin ohjeistukseksi huutaa teksti kuuluvasti, lannistumattomuutta ja mahtavuutta ilmaisten. Tämän lisäksi koehenkilöiltä mitattiin matalin mahdollinen ääni, jonka he pystyivät tuottamaan ilman narinaa.

Ääninäytteet nauhoitettiin Tampereen yliopiston puheopin laitoksen laboratoriossa, hyvin vaimennetussa tilassa. Mikrofonin ja puhujan suun välinen etäisyys oli 40 cm. Kutakin näytettä ennen nauhalle äänitettiin kalibrointiääni, jotta todellinen äänenpainetaso oli jälkeenpäin mitattavissa. Nauhoituksiin käytettiin digitaalinaluuhuria ja Brüel & Kjærin mikrofonia (4165). Matalin mahdollinen ääni mitattiin reaaliaikaisella perustaajuusanalyysillä (Hewlett-Packard A 3561 Signal Analyzer). Suhteellinen F0 (ero huutonäytteen F0:n ja matalimman mahdollisen äänen välillä) laskettiin puolisävelaskelina.

3.2 Ääninäytteiden akustinen analyysi

Kustakin huutonäytteestä mitattiin keskimääräinen perustaajuus (F0), keskimääräinen äänenpainetaso (Leq) sekä näytteiden spektrin kaltevuutta kuvaava suhdeluku (alfaratio), joka ilmaisee 1 kHz:n ala- ja yläpuolisten taajuuskaistojen välisen suhteen (SPL (1-5kHz) – SPL (50Hz-1kHz)). Näytteistä tehtiin myös keskiarvospektrit, joista jätettiin pois soinnittomat osuudet ja tauot. Keskiarvospektrit normalisoitiin, eli spektrien voimakkain huippu asetettiin tasolle 0. Tällä tavoin spektrien kaltevuuksia on helpompi vertailla. Keskiarvospektristä mitattiin F1- ja F0-alueiden äänenpainetasoero (L1-L0). Nämä akustiset mittaukset tehtiin Intelligent Speech Analyser –signaalianalyysiohjelmistolla (ISA, kehittänyt DI Raimo Toivonen). Akustisten mittausten lisäksi tarkasteltiin normalisoitujen keskiarvospektrien muotoja. Subjektiiivista kuuluvuushavaintoa mallintava kuuluvuusmittaus (soneina) tehtiin yhdestä painollisesta, pitkästä vokaalista näytteen keskeltä sanasta ”veet”. Kuuluvuus soneina mitattiin Praat –puheanalyysiohjelmalla (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>, 19.3.2010).

3.3 Kuunteluarviointi

3.3.1 Kuuntelijat ja kuunteluarviointi

Yhdeksän äänialan ammattilaista tai opiskelijaa kuunteli näytteet. Kuuntelijat olivat normaalikuuloisia naisia ja kaikki olivat saaneet koulutusta ihmisäänen kuulonvaraiseen analysointiin. Kolme kuuntelijoista oli äänenkäytön opettajia ja kuusi oli puhetekniikan ja vokologian opiskelijoita (koulutusta 2-5 vuotta). Seitsemälle kuuntelijalle ääninäytteet soitettiin vaimennetussa studiossa. Käytetty kaiutin oli

Genelec Bi-Ampl. 8040 A. Kaksi kuuntelijaa kuunteli näytteet eri aikaan kannettavalta tietokoneelta, kuulokkeita käyttäen. Arviointi tehtiin käyttäen visuaalisanalogista asteikkoa (VAS) (Liite 3). Kuuntelijoita ohjeistettiin piirtämään pystyviiva asteikolle siihen kohtaan, joka vastaa kuuntelijan havaintoa kyseisestä äänen piirteestä. Kunkin huutonäytteen kesto oli noin minuutti. Näytteet soitettiin peräkkäin, kukin kertaalleen.

3.3.2 Arvioitavat äänen piirteet ja arviointiasteikko

Äänen piirteet valittiin siten, että arvioitavat piirteet liittyvät oleellisesti huutoääneen (Södersten et al. 2005; Bele 2005). Lisäksi perusteena oli, että piirteet olisivat mahdollisimman hyvin määriteltävissä sekä havaittavissa. Kuuntelijat arvioivat näytteistä yleistä äänenlaatua, äänenväriä, korkeutta, tiiviyyttä, hälypitoisuutta, kuuluvuutta ja rahinaa. Asteikkoja oli kahdentyyppisiä, 0-200mm ja 0-100mm. 0-200mm asteikkoa käytettiin kuvaamaan bipolaarista äänen piirrettä, joka on aina jossain määrin läsnä äänessä, kuten laatu, väri, korkeus ja tiiviys. Bipolaariset piirteet kulkivat asteikolla yhdestä ääripäästä (esimerkiksi huono äänenlaatu) normaalin kautta toiseen ääripäähän (esimerkiksi erinomainen äänenlaatu). 0-100mm asteikkoa käytettiin piirteisiin, joita äänessä saattaa esiintyä, mutta jotka äänestä saattavat myös puuttua kokonaan (esimerkiksi häly). Taulukosta 1 näkyvät arvioitavat äänen piirteet, kunkin piirteen arvioinnissa käytetty asteikko ääripäineen sekä piirteen määrittely.

Arvioitava äänen piirre	Visuaalisanaloginen asteikko	Piirteen selitys/määritelmä
Äänenlaatu	200mm (0=huono, 100=tavallinen, 200= erinomainen)	Havainto huutoäänen yleisestä laadusta, johon vaikuttavat sekä glottaaliset että artikulatoriset seikat
Äänenväri	200mm (0=tumma, 100=tavallinen, 200=kirkas)	Lähinnä ääniväylän koosta ja muodosta (eli ääniväylän resonansseista) syntyvä vaikutelma
Korkeus	200mm (0=liian matala, 100=sopiva, 200=liian korkea)	Perustajuuden kuulonvarainen vastine.
Tiiviys	200mm (0=vuotoinen/hypofunktionaalinen, 100=sopiva, 200=kireä/hyperfunktionaalinen)	Kuulonvarainen arvio siitä, miten tiivis äänihuulisulku on. Vuotoisessa äänessä epätäydellinen sulku ja kireässä äänessä liiallinen, puristeinen sulku. Kuulonvarainen arvio äännön tiiviydestä korreloi yleensä spektrin kaltevuuden kanssa.
Hälypitoisuus	100mm (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	Havaittavissa olevaa hälyä, joka aiheutuu ääniraon riittämättömästä sulusta, varsinkin subglottaalisen paineen ollessa suuri.
Kuuluvuus/kantavuus	100mm (0=liian hiljainen, 100=kuuluva)	Kuulonvarainen arvio äänen kantavuudesta/kuuluvuudesta, johon vaikuttavat voimakkuuden (SPL/Leq) lisäksi äänen osasävelten väliset suhteet ja F0.
Rahina/särinä	100mm (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	Terveessä äänessä epäsäännöllisesti vaihtelevaan perustajuuteen tai amplitudiin liittyvää kuultavissa olevaa äänen epätasaisuutta, johtuu epäbalanssista ilmanpaineen ja äänihuulisulun välillä.

Taulukko 1. Arvioitavat äänen piirteet, niiden arviointiasteikot ääripäineen ja piirteiden selitykset.

3.4 Tilastolliset menetelmät

Äänen piirteistä laskettiin keskiarvo kunkin piirteen osalta jokaiselle näytteelle. Kuunteluarvioiden keskiarvojen ja akustisten muuttujien välisten yhteyksien tarkastelemiseksi laskettiin muuttujien väliset korrelaatiot Pearsonin korrelaatiota käyttäen. Eri kuuntelijoiden perkeptuaalisten arvioiden yhdenmukaisuutta tarkasteltiin käyttäen Cronbachin alpha –reliabiliteettikerrointa, joka laskettiin interrater reliability –analyysillä kunkin arvioidun piirteen osalta. Ryhmien (näyttelijäopiskelijat/ muut opiskelijat, hyvät huutoäänet/huonot huutoäänet) välisiä eroja tutkittiin t-testillä (Independent Samples Test). Luokiteltujen muuttujien välisiä riippuvuussuhteita tarkasteltiin ristiintaulukoimalla. Analyysit suoritettiin SPSS16 -ohjelmalla (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

4. TULOKSET

4.1 Akustiset piirteet

4.1.1 Akustisten muuttujien arvot

Taulukossa 2 näkyvät pienin ja suurin aineistosta mitattu arvo sekä koko aineiston keskiarvo (KA) ja keskihajonta (SD) kunkin akustisen muuttujan kohdalta. Lisäksi taulukossa on nähtävillä huomioitujen näytteiden määrä (N), koska kolmelta koehenkilöltä ei saatu mitattua matalinta mahdollista ääntä.

	N	Pienin	Suurin	KA	SD
Matalin mahdollinen ääni (Hz)	32	62	118	80,45	11,721
Huudon F0-keskiarvo (Hz)	35	149	314	226,18	50,728
Suhteellinen F0 (psa)	32	11	25	17,78	3,925
Leq (dB)	35	61	114	98,03	14,404
Alfaratio	35	-10	1	-4,01	2,396
L1-L0 (dB)	35	-3	11	5,54	2,931
Kuuluvuus soneina	35	27	87	53,09	11,936

Taulukko 2. Akustisten muuttujien pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskiarvo ja keskihajonta koko aineistosta.

4.1.2 Spektrimuodot

Eri taajuusalueiden suhteita tarkasteltiin normalisoiduista keskiarvospektreistä. Normalisoiminen, eli spektrin huippukohdan asettaminen nollakohtaan, helpottaa

spektrien kaltevuuden ja muodon vertailemista. Spektrikuviissa on vaaka-akselilla ylhäällä taajuus kilohertseinä (alhaalla taajuus Bark-asteikolla) ja pystyakselilla suhteellinen voimakkuus desibeleinä. Kursori osoittaa perustaajuuden kuvissa 1-4. Spektriaineistosta oli erotettavissa neljän mallisia spektrejä. Ensimmäisen mallin spektreissä oli selvä energiakasaus 3-4 kHz:n välillä, eli niissä oli nähtävissä puhujanformantti. Selkeä puhujanformantti esiintyi 13 spektrissä ja kuvassa 1 on esimerkkinä tämän mallin spektri.



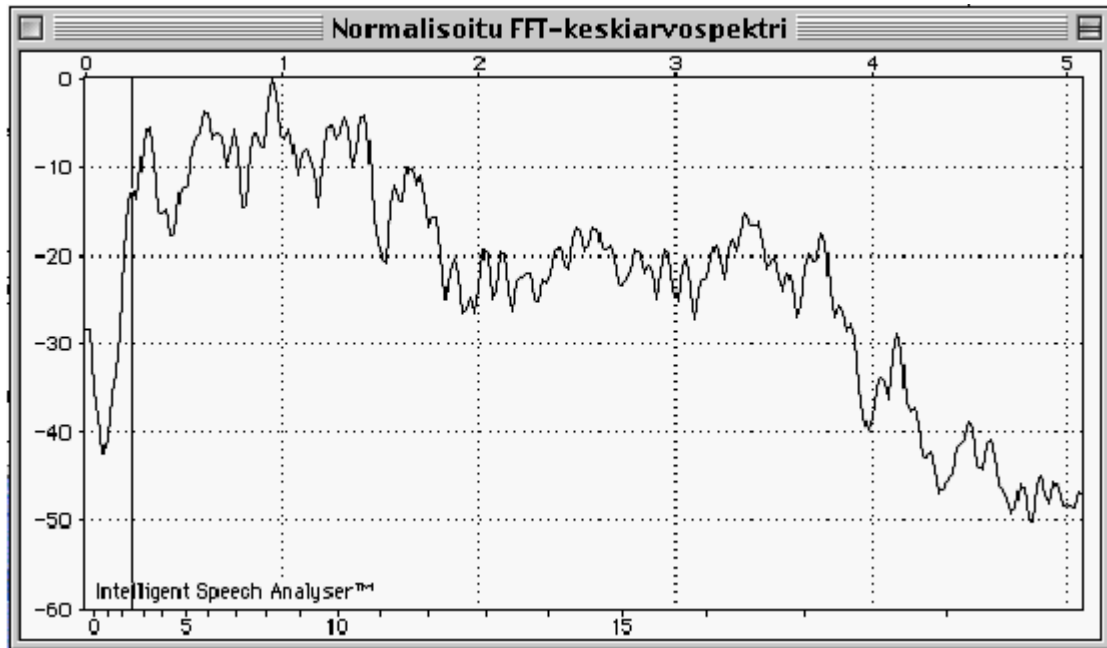
Kuva 1. Esimerkki spektristä, jossa on puhujanformantti eli energiakasaus 3-4 kHz:n alueella (koehenkilö 35).

Toisen mallin spektreissä oli lähinnä laulajanformanttia muistuttava voimistunut osasävelalue 2-3 kHz:n välissä. Kuvassa 2 on esimerkki spektristä, jossa näkyy laulajanformantti. Spektrejä, joissa näytti olevan laulajanformantti, oli aineistossa 7.



Kuva 2. Esimerkki spektristä, jossa on laulajanformantti eli energiakasauma 2-3 kHz:n välillä (koehenkilö 23).

Kolmannen mallin spektri oli lähes neliskulmainen eli spektrissä oli paljon energiaa lähes koko taajuusalueella 0-4 kHz eikä selkeitä voimistuneita ja vaimentuneita osasävelalueita ollut erotettavissa. Spektreistä 10 oli malliltaan neliskulmaisia ja kuvassa 3 on esimerkki tästä mallista.



Kuva 3. Esimerkki neliskulmaisesta spektristä eli spektristä, jossa energiaa on lähes koko taajuusalueella tasaisesti, eikä selkeitä huippu- ja laaksokohtia ole erotettavissa (koehenkilö 21).

Neljännessä spektrimallissa energia näytti vähenevän voimakkaasti siirryttäessä taajuusalueella ylöspäin, eli spektri oli kauttaaltaan laskeva. Kuvassa 4 on esimerkki kauttaaltaan laskevasta spektristä. Kauttaaltaan laskevia spektrejä oli aineistossa 5.



Kuva 4. Esimerkki kauttaaltaan laskevasta spektrimallista (koehenkilö 32).

4.1.3 Akustisten muuttujien väliset yhteydet

4.1.3.1 Korrelaatiot

Akustisten arvojen väliset korrelaatiot laskettiin Pearsonin korrelaatiota käyttäen. Perustaajuus korreloi suhteellisen F0:n, keskimääräisen äänenpainetason ja alfaration kanssa. Keskimääräinen äänenpainetaso korreloi perustaajuuden lisäksi soneina mitatun kuuluvuuden ja alfaration kanssa. Taulukosta 3 näkyvät kaikki akustisten muuttujien väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot.

	mat F0	F0 ka	suht F0	Leq	Kuuluvuus soneina	Alfaratio	L1- L0
Matalin mahdollinen F0							
F0 ka							
suhteellinen F0		0.815**					
Leq		0.382*					
Kuuluvuus soneina				0.487**			
Alfaratio		0.429*	0.370*	0.384*			
L1-L0							

Taulukko 3. Akustisten piirteiden väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot (**p<0.01, *p<0.05).

4.1.3.2 Akustiset muuttujat ja spektrit

Huutonäytteiden spektreistä löytyi erilaisia malleja. Tästä heräsi mielenkiinto tarkastella esiintyikö jotakin spektrimallia erityisesti keskimääräiseltä äänenpainetasoltaan hyvin voimakkaissa äänissä. Tätä varten äänet luokiteltiin neljään

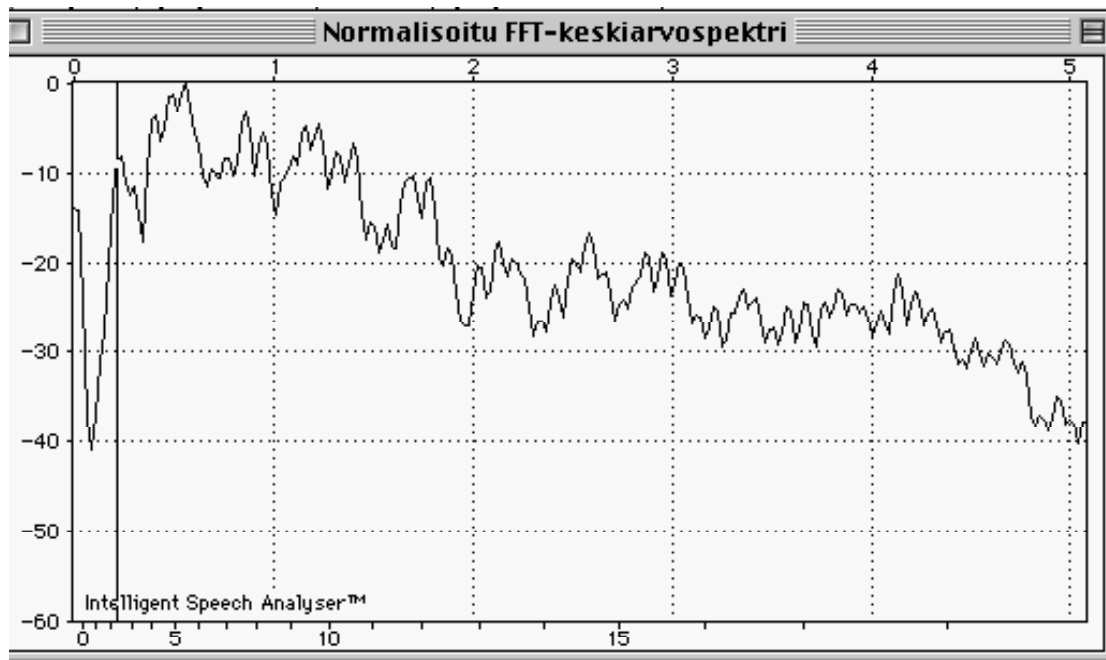
luokkaan äänenpainetason mukaan. Taulukossa 4 näkyy spektrimallien esiintyminen keskimääräisen äänenpainetason mukaan luokitelluissa ryhmissä.

Leq * spektrityyppi Crosstabulation

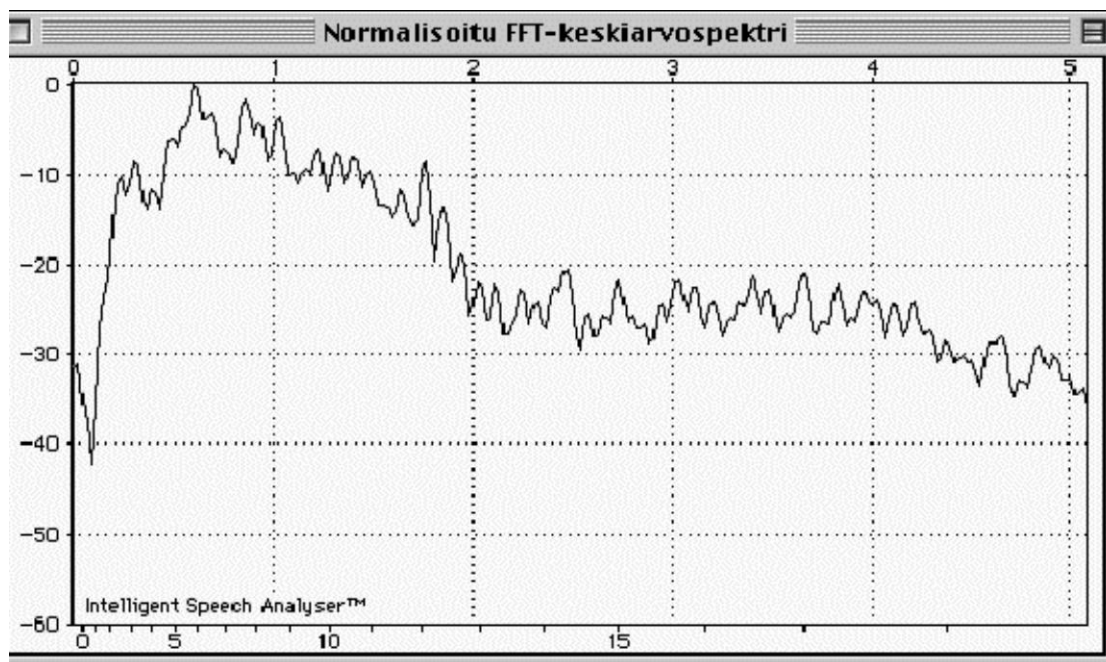
		Spektrityyppi				
		Puhujan- formantti	Laulajan- formantti	Nelis- kulmainen	Kauttaaltaan laskeva	Total
Leq 60-89dB	Count	3	2	2	0	7
	% within Leq	42,9%	28,6%	28,6%	,0%	100,0%
90-99dB	Count	3	1	0	3	7
	% within Leq	42,9%	14,3%	,0%	42,9%	100,0%
100- 109dB	Count	6	2	5	2	15
	% within Leq	40,0%	13,3%	33,3%	13,3%	100,0%
110- dB	Count	1	2	3	0	6
	% within Leq	16,7%	33,3%	50,0%	,0%	100,0%
Total	Count	13	7	10	5	35
	% within Leq	37,1%	20,0%	28,6%	14,3%	100,0%

Taulukko 4. Spektrimallien esiintyminen keskimääräisen äänenpainetason mukaan.

Keskimääräiseltä äänenpainetasoltaan suuremmissa äänissä oli eniten neliskulmaista spektrimallia. Muitakin malleja fyysisesti voimakkaissa äänissä oli, joten äänenpainetaso ei suoraan selitä spektrin mallia. Lisäksi samanmallista spektriä esiintyi myös äänissä, joiden äänenpainetaso oli pieni. Kuvassa 5 on hyvin voimakkaan äänen spektri (malliltaan ”neliskulmainen”) ja kuvassa 6 hiljaisen äänen samanmallinen spektri.



Kuva 5. Voimakkaimman ($L_{eq}=114$ dB) äänen spektri (koehenkilö 27).



Kuva 6. Esimerkki hiljaisemman äänen spektristä ($L_{eq}=66$ dB), jossa kuitenkin spektrin muoto samantyyppinen kuin kuvassa 5 (koehenkilö 25).

Näytteet luokiteltiin myös alfaration suhteen kolmeen eri luokkaan, jotta saataisiin selville onko jossakin spektrityypissä erityisen suuri alfaratio. Taulukossa 5 on ristiintaulukko, jossa näkyy spektrimallien esiintyminen eri alfaratioluokissa.

Alfaratio * spektrityyppi Crosstabulation

	spektrityyppi				
	Puhujan- formantti	Laulajan- formantti	Nelis- kulmainen	Kauttaaltaan laskeva	Total
Alfaratio (-10)-(-6) Count	5	1	1	3	10
% within Alfaratio	50,0%	10,0%	10,0%	30,0%	100,0%
(-5)-(-3) Count	6	3	5	2	16
% within Alfaratio	37,5%	18,8%	31,2%	12,5%	100,0%
(-2)-1 Count	2	3	4	0	9
% within Alfaratio	22,2%	33,3%	44,4%	,0%	100,0%
Total Count	13	7	10	5	35
% within Alfaratio	37,1%	20,0%	28,6%	14,3%	100,0%

Taulukko 5. Spektrimallien esiintyminen eri alfaratioluokissa.

4.2 Perkeptuaaliset piirteet

4.2.1 Kuunteluarvioiden yhdenmukaisuus

Kuunteluarvioiden analysoimiseksi kaikki arvioinnit mitattiin tilasto-ohjelmaan millimetreinä. Kuuntelijoiden yhdenmukaisuuden arvioimiseksi laskettiin Cronbachin alpha –reliabiliteettikerroin kuunteluarvioiden perusteella. Alphan arvot vaihtelivat

välillä 0.80-0.94 eli kuuntelijat olivat arvioissaan hyvin yhdenmukaisia. Korkeus ja kuuluvuus saivat suurimman alphan arvon (0.94) ja tiiviys pienimmän (0.80). Taulukosta 6 näkyy Cronbachin alpha –kerroin kaikkien piirteiden osalta.

Äänenpiirre	Cronbachin alpha – reliabiliteettikerroin
Äänenlaatu	0.93
Äänenväri	0.90
Korkeus	0.94
Tiiviys	0.80
Hälypitoisuus	0.86
Kuuluvuus/kantavuus	0.94
Rahina/särinä	0.89

Taulukko 6. Kuuntelijoiden välinen yhdenmukaisuus.

4.2.2 Perkeptuaalisten piirteiden arviot

Kaikista näytteistä laskettiin kuuntelijoiden välinen keskiarvo kunkin äänenpiirteen osalta. Näytteiden analyysissä käytettiin arvioiden keskiarvoja. Taulukossa 7 näkyvät kunkin äänen piirteen osalta pienin ja suurin esiintynyt keskiarvo sekä koko aineiston keskiarvo (=keskiarvojen keskiarvo) ja keskihajonta. Arviot on mitattu millimetreinä.

	N	Pienin	Suurin	KA	SD
Äänenlaatu (0=huono, 100=tavallinen, 200=erinomainen)	35	40	141	95,80	24,550
Äänenväri (0=tumma, 100=tavallinen, 200=kirkas)	35	27	132	91,81	22,443
Korkeus (0=liian matala, 100=sopiva, 200=liian korkea)	35	54	166	106,87	24,653
Tiiviys (0=vuotoinen/hypofunktionaalinen, 100=sopiva, 200=kireä/hyperfunktionaalinen)	35	94	158	117,62	17,297
Hälypitoisuus (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	35	9	67	29,99	14,964
Kuuluvuus/kantavuus (0=liian hiljainen, 100=kuuluva)	35	5	81	42,34	18,681
Rahina/särinä (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	35	7	79	31,94	17,368

Taulukko 7. Perkeptuaalisten piirteiden pienin ja suurin aineistossa esiintynyt arvo, sekä koko aineiston keskiarvo ja keskihajonta.

4.2.3 Perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet

Perkeptuaalisten piirteiden välisten yhteyksien selvittämiseksi laskettiin piirteiden väliset korrelaatiot Pearsonin korrelaatiota käyttäen. Äänenlaatu korreloi negatiivisesti tiiviiden, hälypitoisuuden ja rahinan kanssa. Taulukossa 8 näkyvät kaikki perkeptuaalisten arvioiden väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot.

	Äänen- laatu	Äänen- väri	Korkeus	Tiiviys	Häly- pitoisuus	Kuuluvuus/ kantavuus	Rahina/ särinä
Äänenlaatu							
Äänenväri							
Korkeus		0.848**					
Tiiviys	-0.446**	0.479**	0.649**				
Hälypitoisuus	-0.823**						
Kuuluvuus/ kantavuus			0.350*	0.567**			
Rahina/särinä	-0.743**			0.614**	0.788**		

Taulukko 8. Perkeptuaalisten piirteiden väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot (p<0.01, *p<0.05).**

4.3 Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet

4.3.1 Muuttujien väliset korrelaatiot

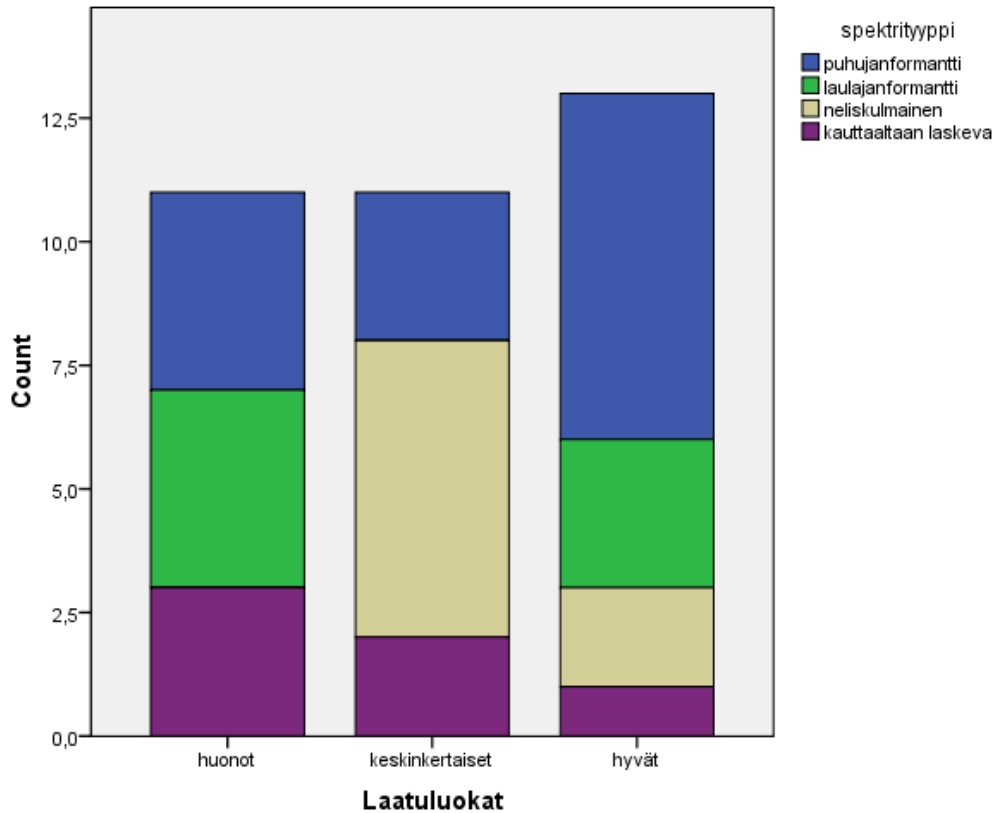
Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden keskiarvojen väliset korrelaatiot laskettiin Pearsonin korrelaatiota käyttäen. Perustaajuudella, keskimääräisellä äänenpainetasolla ja alfaratiolla näytti olevan eniten lineaarisia yhteyksiä äänen perkeptuaalisten piirteiden kanssa. F0 korreloi äänenväriin, havaitun korkeuden, tiiviyden ja havaitun kuuluvuuden kanssa. Leq korreloi tiiviyden, kuuluvuuden ja rahinan kanssa. Alfaratio korreloi äänenväriin, havaitun korkeuden, tiiviyden ja kuuluvuuden kanssa. Äänenlaatu ei korreloinut minkään akustisen muuttujan kanssa. Kaikki tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot näkyvät taulukossa 9.

	mat F0	F0 ka	suht F0	Leq	Kuuluvuus soneina	Alfaratio	L1-L0
Äänenlaatu							
Äänenväri		0.353*				0.391*	
Korkeus	0.414*	0.503**				0.429*	
Tiiviys		0.475**	0.350*	0.405*		0.463**	
Hälypitoisuus					0.416*		
Kuuluvuus/ kantavuus		0.340*	0.391*	0.453**		0.537**	
Rahina/särinä				0.406*			

Taulukko 9. Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot (**p<0.01, *p<0.05).

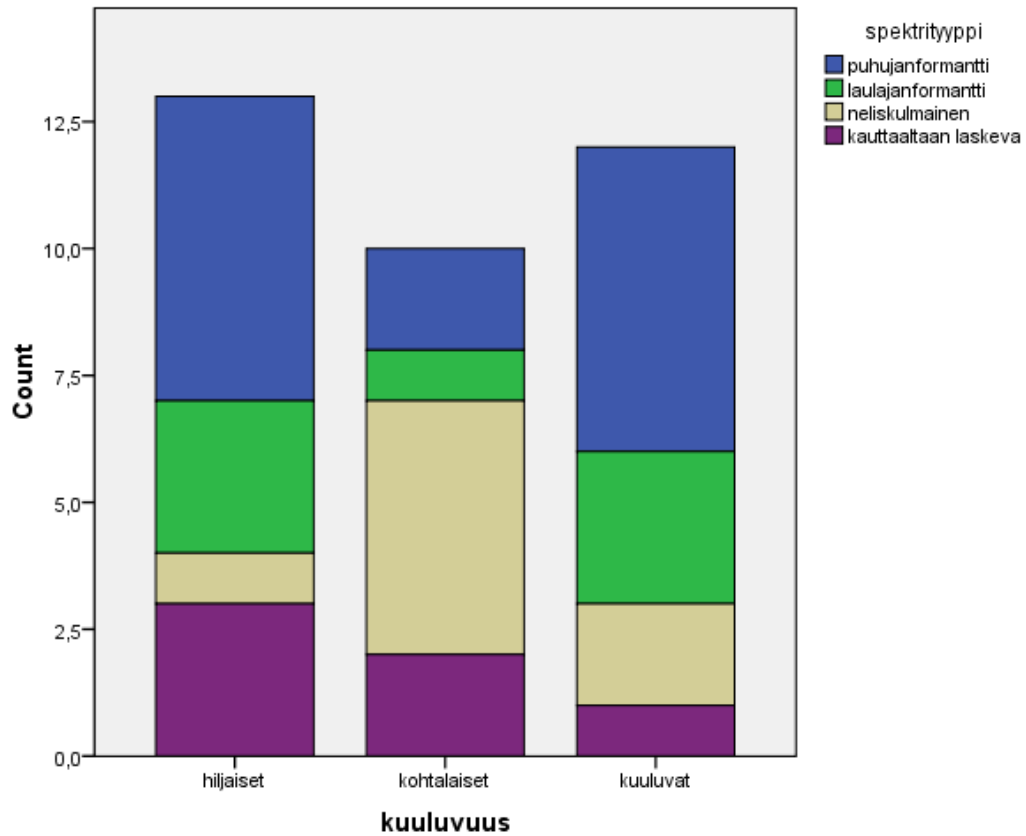
4.3.2 Spektrit ja perkeptuaaliset arviot

Spektrit jaettiin neljään malliin ja eri spektrimallien yhteyttä arvioituun äänenlaatuun ja äänen kuuluvuuteen tarkasteltiin. Tätä tarkastelua varten äänet luokiteltiin äänenlaadun ja kuuluvuuden suhteen kolmeen luokkaan kuunteluarvioiden perusteella. Selvästi tavallista huonommaksi arvioidut äänet (äänenlaadun ka 40-85) luokiteltiin huonoiksi (N=11). Keskinkertaisiksi (N=11) luokiteltiin äänet, jotka oli arvioitu lähelle tavallista (äänenlaadun ka 86-102) ja hyviksi (N=13) luokiteltiin äänet, joiden äänenlaatu oli arvioitu tavallista paremmiksi (äänenlaadun ka 106-141). Kuvassa 7 näkyy spektrimallien esiintyminen laatuluokittain. Laadultaan huonojen äänien spektreissä ei esiinny lainkaan neliskulmaista spektrimallia. Keskinkertaisten äänien spektreissä taas ei ole spektrimalleja, joissa on laulajanformantti. Laadultaan hyvissä äänissä esiintyi kaikkia spektrimalleja. Hyvälaatuisten äänien selvästi yleisin spektrimalli oli spektri, jossa oli puhujanformantti.



Kuva 7. Eri spektrimallien esiintyminen kussakin laatuluokassa.

Kuuluvuuden suhteen huutonäytteet luokiteltiin hiljaisiksi (N=13, kuultu kuuluvuus ka 5-31), kohtalaisiksi (N=10, kuultu kuuluvuus ka 36-47) ja kuuluviksi (N=12, kuultu kuuluvuus ka 55-81). Kuvassa 8 näkyy spektrimallien esiintyminen kuuluvuusluokittain. Kaikkia spektrimalleja esiintyi kaikissa kuuluvuusluokissa, mutta äänistä, joissa oli kauttaaltaan laskeva spektri, vain yksi oli arvioitu kuuluvaksi.



Kuva 8. Eri spektrimallien esiintyminen kuuluvuusluokittain.

4.4 Näyttelijäopiskelijoiden ja muiden erot

4.4.1 Akustiset piirteet

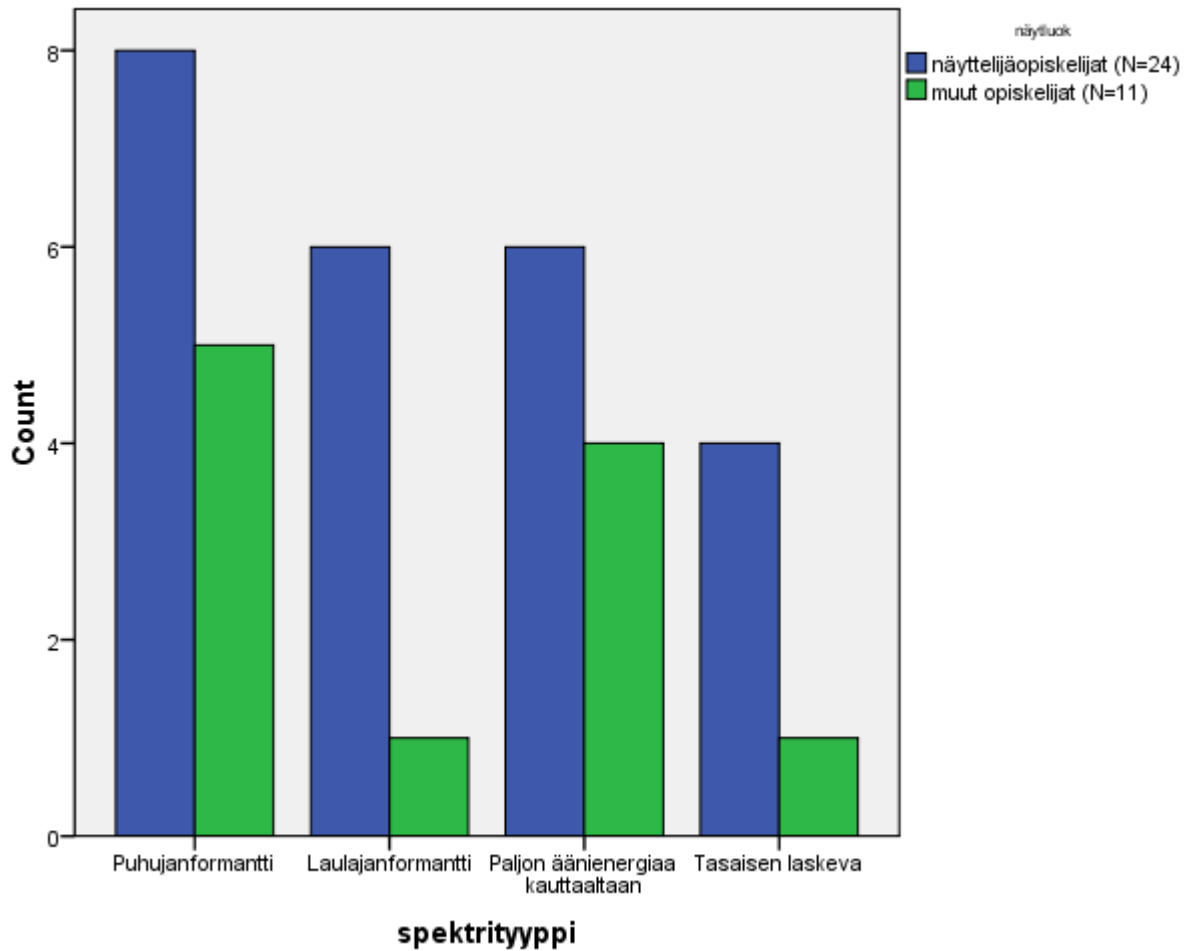
Taulukossa 10 näkyvät näyttelijöiden (N=24) ja muiden opiskelijoiden (N=11) akustisten piirteiden keskiarvot.

Akustinen muuttuja	Näyttelijäopiskelijoiden KA	Muiden opiskelijoiden KA
Matalin mahdollinen ääni	78 Hz	86 Hz
F0-keskiarvo	215 Hz	250 Hz
Suhteellinen F0	17 psa	18 psa
Leq	100 dB	94 dB
Alfaratio	-3,9	-4,2
L1-L0	5,3 dB	6,0 dB
Kuuluvuus soneina	54 sonia	52 sonia

Taulukko 10. Ryhmien väliset erot akustisten muuttujien osalta.

Näyttelijäopiskelijoilla oli keskimäärin matalampi matalin mahdollinen ääni, matalampi perustaajuus, pienempi suhteellinen F0, suurempi äänenpainetaso, suurempi alfaratio, pienempi desibelitasoero ensimmäisen formantin alueen ja perustaajuusalueen välillä ja suurempi kuuluvuus soneina. Tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) ryhmät erosivat toisistaan kuitenkin vain matalimman mahdollisen äänen osalta. Lisäksi F0-keskiarvo erosi tilastollisesti suuntaa-antavasti ($p = 0.06$).

Kaikkia spektrimalleja esiintyi sekä näyttelijäopiskelijoilla että muilla opiskelijoilla. Kuvassa 9 näkyvät spektrimallien jakautuminen molemmilla ryhmillä. Molemmilla ryhmillä spektrimalli, jossa näkyy puhujanformantti, oli yleisin. Laulajanformanttia esiintyi monilla näyttelijäopiskelijoista, mutta vain yhdellä muista opiskelijoista.



Kuva 9. Spektrimallien jakautuminen näyttelijäopiskelijoiden ja muiden opiskelijoiden välillä.

4.4.2 Perkeptuaaliset piirteet

Näyttelijäopiskelijoiden ja muiden väliset kuunteluarvioiden keskiarvot on koottu taulukkoon 11.

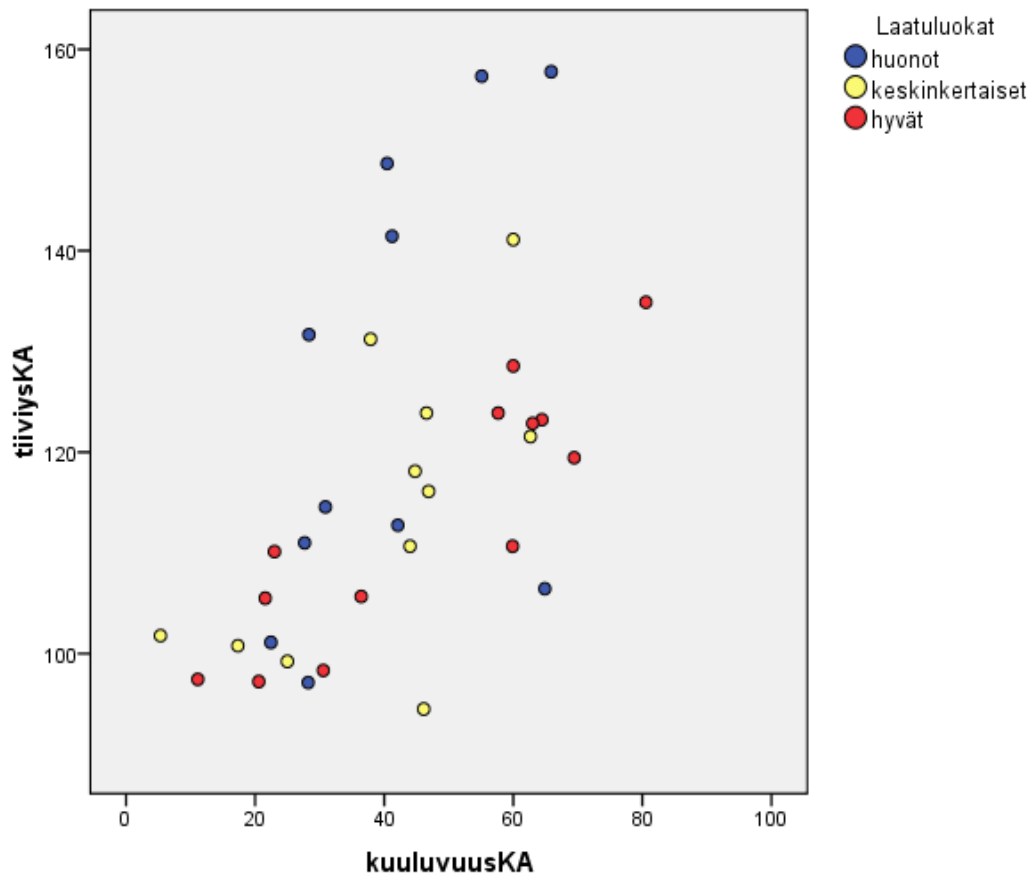
Äänen piirre ja asteikko	Näyttelijäopiskelijoiden KA	Muiden opiskelijoiden KA
Äänenlaatu (0=huono, 100=tavallinen, 200=erinomainen)	99	88
Äänenväri (0=tumma, 100=tavallinen, 200=kirkas)	87	102
Korkeus (0=liian matala, 100=sopiva, 200=liian korkea)	101	119
Tiiviys (0=vuotoinen/hypofunktionaalinen, 100=sopiva, 200=kireä/hyperfunktionaalinen)	116	122
Hälypitoisuus (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	29	32
Kuuluvuus/kantavuus (0=liian hiljainen, 100=kuuluva)	45	37
Rahina/särinä (0=ei ollenkaan, 100=hyvin paljon)	31	34

Taulukko 11. Perseptuaalisten arvioiden keskiarvot millimetreinä näyttelijäopiskelijoilla ja muilla opiskelijoilla.

Näyttelijäopiskelijoiden äänenlaatu oli arvioitu keskimäärin paremmaksi, äänenväri tummemmaksi ja äänenkorkeus matalammaksi. Lisäksi näyttelijäopiskelijoiden ääniä ei ollut arvioitu niin tiiviiksi kuin muiden, eikä niissä esiintynyt niin paljoa hälyä eikä rahinaa kuin muilla. Näyttelijäopiskelijoiden äänet arvioitiin myös keskimäärin kuuluvammiksi kuin muiden. Tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) ryhmät kuitenkin erosivat vain arvioidun äänen korkeuden suhteen. Lisäksi äänenväri erosi tilastollisesti suuntaa antavasti ($p = 0.06$).

4.5 Hyvän huutoäänien piirteet

Huutoäänien tulisi olla laadultaan hyvää, mutta myös kuuluva. Tässä aineistossa tiiviys korreloi negatiivisesti äänelaadun kanssa. Toisaalta tiiviys kuitenkin korreloi positiivisesti havaitun kuuluvuuden kanssa. Kuvassa 10 näkyvät näytteiden jakaantuminen tiiviiden ja kuuluvuuden suhteen. Kuvassa näkyvät värikoodeittain hyvälaatuisten, keskinkertaisten ja laadultaan huonojen äänien (laatuluokkien mukaan) sijoittuminen näille ulottuvuuksille.



Kuva 10. Laadultaan huonojen, keskinkertaisten ja hyvien äänien sijoittuminen tiiviiden ja kuuluvuuden suhteen.

Kuvasta on nähtävissä kuuluvuuden ja tiiviynen lineaarinen yhteys. Laadultaan tavallista parempia ääniä ei esiinny tietyn tiivysasteen jälkeen, jolloin ääntö siirtynee havaittavaan puristeisuuteen. Laadun arviointi ei näytä liittyvän kuuluvuuteen, joten kuuntelijat eivät ole arvioineet sitä, onko kyseessä hyvä huutoääni, vaan ovat arvioineet laadun hyväksi myös hiljaisissa, hyvälaatuisissa äänissä. Kuvasta kuitenkin näkyy, että näytteiden joukossa on ääniä, jotka on arvioitu sekä kuuluviksi, että äänenlaadultaan tavallista paremmiksi. Näitä näytteitä voidaan pitää hyvinä huutoääninä.

Hyviä huutoääniä, eli ääniä, jotka oli arvioitu sekä kuuluviksi että laadultaan hyväksi (=kuuluvat laatuluokkaan ”hyvät” ja kuuluvuusluokkaan ”kuuluvat”), oli aineistossa seitsemän. Näistä äänistä 6 kuului näyttelijäopiskelijoille. Näiden seitsemän äänen spektreistä kolmessa oli puhujanformantti, kahdessa oli laulajanformantti ja kaksi oli neliskulmaista mallia, eli energiaa oli tasaisesti ilman selkeitä huippu- ja laaksokohtia. Kauttaaltaan laskevia spektrejä ei hyvien huutonäytteiden spektreissä ollut yhtään. Kuvassa 11 on esimerkki sekä hyvälaatuiseksi että kuuluvaksi arvioidun äänen spektristä. Ääni, josta spektri on tehty, oli arvioitu äänenlaadultaan tavallista paremmaksi (ka 112). Ääni oli arvioitu aineiston toiseksi kuuluvimmaksi (ka 69).



Kuva 11. Esimerkki hyvän huutoäänen spektristä, $Leq=103$, $F0=293$ (koehenkilö 29).

Aineistossa oli myös näytteitä, jotka oli arvioitu sekä laadultaan että kuuluvuudeltaan huonoiksi (=kuuluvat laatuluokkaan ”huonot” ja kuuluvuusluokkaan ”hiljaiset”). Tällaisia ääniä oli viisi, ja neljä näistä oli näyttelijäopiskelijoiden ääniä. Näiden huonojen äänien spektreistä kahdessa oli puhujanformantti, kahdessa laulajanformantti ja yksi oli kauttaaltaan laskeva.

Hyvien (N=7) ja huonojen (N=5) näytteiden akustisia ja perkeptuaalisia eroja tarkasteltiin laskemalla keskiarvot kustakin piirteestä sekä testaamalla t-testillä eroavatko ryhmät jonkin piirteen suhteen tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Taulukossa 12 näkyvät ryhmien keskiarvot ja –hajonnat akustisten piirteiden osalta sekä ryhmien välisten erojen tilastollinen merkitsevyys. Hyvissä äänissä Leq-keskiarvo oli suurempi, F0 korkeampi, suhteellinen F0 suurempi, soneina mitattu kuuluvuus pienempi, alfaratio suurempi ja L1-L0 pienempi kuin huonoissa äänissä. Akustisista piirteistä kuitenkin vain alfaratio erosi tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$).

Group Statistics

huudon hyvyys		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Sig. (2-tailed)
Leq	hyvä huutoääni	7	104,44	8,294	3,135	
	huono huutoääni	5	98,36	9,441	4,222	0,281
F0ka	hyvä huutoääni	7	237,40	61,215	23,137	
	huono huutoääni	5	209,07	33,587	15,020	0,330
suhteellinenF0	hyvä huutoääni	7	19,29	4,152	1,569	
	huono huutoääni	5	17,40	2,510	1,122	0,352
Alfaratio	hyvä huutoääni	7	-2,81	2,324	0,879	
	huono huutoääni	5	-5,86	1,723	0,770	0,026
L1L0	hyvä huutoääni	7	4,48	2,268	0,857	
	huono huutoääni	5	5,55	3,040	1,359	0,528
Kuuluvuus soneina	hyvä huutoääni	7	53,43	4,392	1,660	
	huono huutoääni	5	57,45	12,016	5,374	0,508

Taulukko 12. Hyvien ja huonojen huutoäänien akustisten piirteiden keskiarvot ja –hajonnat sekä erojen tilastollinen merkitsevyys.

Perceptuaalisten piirteiden keskiarvot ja –hajonnat sekä erojen tilastollinen merkitsevyys hyvien ja huonojen huutonäytteiden osalta näkyvät taulukosta 13. Hyvät huudot olivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) äänenlaadultaan parempia, korkeampia ja kuuluvampia. Lisäksi hyvissä huutoäänissä oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) vähemmän hälyä ja tilastollisesti suuntaa antavasti ($p = 0,06$) vähemmän rahinaa kuin huonoissa.

Group Statistics

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Sig. (2-tailed)
LaatuKA	huudon hyvyys					
	hyvä huutoääni	7	114,14	11,469	4,335	
	huono huutoääni	5	68,22	17,396	7,780	0,002
VäriKA	hyvä huutoääni	7	99,4603	19,21467	7,26246	
	huono huutoääni	5	72,8222	26,28941	11,75698	0,095
KorkeusKA	hyvä huutoääni	7	110,14	11,056	4,179	
	huono huutoääni	5	82,53	16,977	7,592	0,017
TiiviysKA	hyvä huutoääni	7	123,36	7,493	2,832	
	huono huutoääni	5	111,09	13,509	6,042	0,118
HälyKA	hyvä huutoääni	7	20,8413	5,52244	2,08729	
	huono huutoääni	5	50,1556	14,28428	6,38813	0,008
KuuluvuusKA	hyvä huutoääni	7	65,00	7,863	2,972	
	huono huutoääni	5	27,51	3,094	1,384	0,001
RahinaKA	hyvä huutoääni	7	27,41	7,329	2,770	
	huono huutoääni	5	49,71	19,740	8,828	0,063

Taulukko 13. Hyvien ja huonojen huutojen perseptuaalisten piirteiden keskiarvot ja -hajonnat sekä erojen tilastollinen merkitsevyys.

5. POHDINTA

Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena tutkia miesten huutoäänen akustisia ja perkeptuaalisia piirteitä, niiden välisiä suhteita sekä sitä, eroavatko näyttelijäopiskelijoiden ja muiden opiskelijoiden huutoäännet toisistaan. Lisäksi oli tarkoitus selvittää mitkä akustiset ja perkeptuaaliset piirteet liittyvät hyvään huutoääneen.

5.1 Tulosten pohdintaa

5.1.1 Akustiset piirteet

Huutoäänen tärkeänä akustisena piirteenä voidaan pitää tavallista suurempaa fysikaalista voimakkuutta. Leinon et al. (2008) tutkimuksessa mitattiin huudon maksimivoimakkuutta yksittäisiä sanoja huudettaessa. Tässä tutkimuksessa huutaessa ei tavoiteltu maksimaalista fysikaalista voimakkuutta, vaan äänen kantavuutta ja ilmaisevuutta. Lisäksi koehenkilöt huusivat kokonaisen monologin katkelman pätkän, ei yksittäisiä sanoja. Keskimääräisten äänenpainetasojen keskiarvo olikin näissä näytteissä noin 10 desibeliä Leinon et al. (2008) raportoimia maksimaalisia huutoääniä pienempi. Tässä tutkimuksessa käytettyjen ääninäytteiden keskimääräinen äänenpainetaso oli kuitenkin 15 dB suurempi kuin Belen (2006), 5 dB suurempia kuin Masterin et al. (2008), 21 dB suurempi kuin Pinczowerin ja Oatesin (2005) ja 8 dB suurempi kuin Leinon et al. (2008) tutkimuksissa olleissa voimistetuihin äänissä. Tässä suhteessa on siis perusteltua puhua huutoäänen piirteistä, eikä voimistetun äänen piirteistä.

Tämän aineiston perustaajuuskeskiarvo oli 220 hertsiä (=sävelasteikolla pienen oktaavin A, ks. Liite 1). Perustaajuus oli odotetusti huomattavasti korkeampi kuin

miehillä on raportoitu olevan normaalivoimakkuudella puhuttaessa (Bele 2006; Master et al. 2008; Leino et al. 2008). Perustaajuus oli myös keskimäärin korkeampi kuin monien aikaisempien tutkimusten voimistetussa äänessä on havaittu olevan. Masterin et al. (2008) aineistossa voimakkaiden äänien perustaajuuskeskiarvo oli näyttelijöillä 206 Hz (pienen oktaavin G#) ja muilla 194 Hz (pienen oktaavin G). Belen (2006) aineiston äänissä taas perustaajuus oli keskimäärin 163 Hz (pienen oktaavin E). Sävelasteikolla tarkasteltuna tämän aineiston äänet olivat siis keskimäärin 1-2 puolisävelaskelta korkeampia kuin Masterin et al. (2008) aineistossa ja noin viisi puolisävelaskelta korkeampia kuin Belen (2006) aineistossa. Leinon et al. (2008) tutkimusaineistossa voimakkaan äänen F0-keskiarvo oli 230 hertsiä (pienen oktaavin A#) ja huudon F0-keskiarvo oli 338,5 hertsiä (yksiviivaisen oktaavin E). Tämän tutkimuksen aineistossa F0-keskiarvo oli siis noin yhden puolisävelaskeleen matalampi kuin Leinon et al. (2008) tutkimuksen voimakkaissa äänissä ja jopa seitsemän puolisävelaskelta matalampi kuin Leinon et al. (2008) raportoima maksimaalisten huutoäänien perustaajuuskeskiarvo. Tämä viittaisi siihen, että tämän tutkimuksen koehenkilöt ovat osanneet kontrolloida jossain määrin perustaajuuden nousua, eivätkä päästäneet perustaajuutta kohoamaan liiaksi, vaikka voimakkuustaso oli suurempi kuin verrtailussa olleiden tutkimusten voimistetuissa äänissä (Pinczower ja Oates 2005; Bele 2006; Master et al. 2008; Leino et al. 2008).

Suhteellinen F0 oli tässä aineistossa samaa luokkaa kuin Leinon et al. (2008) raportoimissa voimakkaissa äänissä. Sen sijaan tämän aineiston suhteellinen F0 oli keskimäärin 5 puolisävelaskelta pienempi kuin Leinon et al. (2008) aineiston huutoäänissä. Leinon et al. (2008) mukaan perustaajuus saisi nousta tavallisesta puhevoimakkuudesta voimakkaaseen ääneen siirryttäessä noin oktaavin. Tämän suurempi muutos aiheuttaa muutoksen myös ilmaisussa, muuttaen esimerkiksi huutoäänien ilmaisemaan pikemmin hätää kuin tilanteen hallintaa. (Leino et al. 2008.) Tässä aineistossa keskimääräinen perustaajuus oli noin oktaavin korkeammalla kuin miesäänissä on todettu olevan keskusteluvoimakkuudella (Bele 2006; Master et al. 2008; Leino et al. 2008). Tällainen perustaajuus siis ei vielä vaikuttaisi ilmaisun muuttumiseen eikä esimerkiksi äänenlaatuun merkitsevästi. Tämä selittäisi sitä, miksi suhteellinen F0 ei korreloinut arvioidun äänenlaadun kanssa.

Perustaajuus korreloi keskimääräisen äänenpainetason kanssa, eli äänenpainetasoltaan voimakkaammissa äänissä myös perustaajuus oli suurempi. Tulos on samansuuntainen kuin aikaisemmissakin tutkimuksissa (esim. Gramming et al. 1988; Södersten et al. 2005; Bele 2006; Master et al. 2008; Leino et al. 2008; Pinczower & Oates 2005). Myös alfaration arvo kasvoi keskimääräisen äänenpainetason noustessa. Tämäkin tulos oli odotettu, sillä aikaisemmatkin tutkimukset (Gramming et al. 1988; Bele 2006; Master et al. 2008; Nawka et al. 1997; Pinczower & Oates 2005) ovat osoittaneet ylempien taajuuksien vahvistuvan suhteellisesti enemmän äänenpainetason noustessa.

Soneina mitattu kuuluvuus korreloi odotetusti keskimääräisen äänenpainetason kanssa, ovathan desibelit yksi ihmiskorvan kuuluvuutta mallintavan kuuluvuuden laskuperusteista. Soneina mitattu kuuluvuus ei kuitenkaan yllättäen korreloinut alfaration kanssa, vaikka ylempien taajuuksien vahvistumisen on aikaisemmissa tutkimuksissa (Master et al. 2008) todettu liittyvän kuulohavaintoon kuuluvuudesta.

Tasoero ensimmäisen formantin alueen ja perustaajuusalueen välillä ei näyttänyt olevan lineaarisessa yhteydessä minkään muun akustisen piirteen kanssa. Tämä on ristiriidassa aikaisempien tutkimusten (Bele 2002; Jónsdóttir 2003; Master et al. 2008) kanssa, joiden mukaan F1 voimistui suhteessa perustaajuuteen, eli L1-L0 kasvoi, voimakkuuden lisääntymisen myötä. Näin ollen L1-L0:n olisi voinut odottaa korreloivan keskimääräisen äänenpainetason kanssa.

Spektreissä oli neljää erilaista muotoa. Ensimmäisessä mallissa oli nähtävissä puhujanformantti eli energiakeskittymä taajuusalueella 3-4 kHz. Tämä spektrimalli muistutti muodoltaan aikaisemmissa tutkimuksissa (Leino 1994; Leino 2009) hyvälaatuiseksi havaitun puheäänien spektriä. Ääntöasetukset ovat ilmeisesti pysyneet normaalipuheen kaltaisina näiden spektrien ääniä tuottaessa. Toisessa spektrimallissa oli laulajanformanttia muistuttava osasävelvoimistuma-alue 2-3 kHz:n välissä. Näitä ääniä tuottaessa puhuja on saattanut laskea kurkunpäättään tavoitellessaan ”mahtavuutta” ääneensä (tämähän voisi olla yritystä kuulostaa isommalta kuin on, sillä pitkä väylä isokokoisilla vahvistaa matalia taajuuksia). Samalla formanttitaajuudet ovat laskeneet. Kolmannessa, neliskulmaisessa,

spektrimallissa äänienergiaa oli runsaasti lähes koko taajuusalueella 0-4 kHz. Tämä malli muistutti aikaisemmissa tutkimuksissa (Bele 2006; Nawka et al. 1997; Pinczower & Oates 2005) havaittuja huutoäänien neliskulmaisia spektrejä. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Bele 2006; Nawka et al. 1997; Pinczower & Oates 2005) juuri tämän mallista spektriä on pidetty huutoäänelle tyypillisenä. Tämän tutkimuksen spektreistä kuitenkin vain 10/35 oli muodoltaan tällaisia. Neljäs spektrimalli oli kauttaaltaan laskeva ja muistutti siten aikaisemmissa tutkimuksissa (Leino 1994; Leino 2009) huonolaatuisiksi arvioitujen puheäänien spektriä.

Keskimääräiseltä äänenpainetasoltaan suuremmissa äänissä oli eniten spektrimallia, jossa oli energiaa suhteellisen paljon ja melko tasaisesti 0-4 kHz:n alueella. Fyysisesti voimakkaissa äänissä oli kuitenkin muitakin spektrimalleja, joten äänenpainetaso ei suoraan selitä spektrin mallia. Lisäksi neliskulmaista spektriä esiintyi myös äänissä, joiden keskimääräinen äänenpainetaso oli pieni, kuten sivulla 36 esiintyvät kuvat 5 ja 6 osoittavat. Koska fyysinen voimakkuus ei selittänyt suoraan spektrimallien eroja, spektrien erilaisia muotoja voi selittää erilainen ääntötapa. Puristeisempien äänien spektreissä on havaittu olevan energiaa erityisesti 1-2 kHz:n alueella (Kitzing 1968). Ääntöväylän resonanssiominaisuudet tietysti osaltaan vaikuttavat osasävelten suhteisiin (esim. Laukkanen et al. 2009; Leino et al. 2010).

Aiempien tutkimusten (mm. Sundberg & Nordenberg 2006) perusteella olisi ollut odotettavissa, että suuri alfaratio liittyisi neliskulmaiseen spektriin. Tässä tutkimusaineistossa suuri alfaratio liittyi kuitenkin myös moniin spektreihin, joissa oli puhujan- tai laulajanformantti. Sen sijaan äänissä, joiden spektrimalli oli kauttaaltaan laskeva, alfaratio oli odotetusti pieni.

5.1.2 Perkeptuaaliset piirteet

Näytteiden äänenlaatu oli kuuntelijoiden mielestä keskimäärin tavallista huonompi. Tätä voi selittää se, että kuuntelijat olivat todennäköisesti tottuneempia kuuntelemaan ja arvioimaan tavallisella puhevoimakkuudella tuotettua ääntä. Äänenlaatu korreloi negatiivisesti tiiviyden kanssa eli äänenlaatu arvioitiin sitä paremmaksi, mitä

vähemmän äänessä oli havaittavissa kireyttä/hyperfunktionaalisuutta. Vahva negatiivinen korrelaatio tiiviyn kanssa johtui oletettavasti siitä, että joukossa ei ollut vuotoisia ääniä. Ääninäytteiden tiiviyden oli arvioitu keskimäärin liian suureksi eli äänet olivat pikemmin hyperfunktionaalisuuteen taipuvia kuin vuotoisia. Tämä selittää äänenlaadun ja tiiviyn suhdetta. Jos aineistossa olisi ollut myös vuotoisia ääniä, ei tiiviyn ja laadun välillä varmaankaan olisi ollut lineaarista riippuvuutta.

Äänenlaatu oli myös arvioitu sitä paremmaksi, mitä vähemmän äänessä esiintyi rahinaa/särinää ja hälyä. Liiallisen tiiviyn, hälyn ja rahinan runsas esiintyminen selittää näissä näytteissä huonoja laatuarvioita. Äänen voimakkuutta voidaan kurkunpään tasolla lisätä juuri adduktiota kasvattamalla (Laukkanen & Leino 1999), joten ei ole yllättävää, että huutonäytteet ovat enemmän kireitä/puristeisia kuin vuotoisia. Äänenvoimakkuuden lisäämisen on aikaisemmissakin tutkimuksissa todettu lisäävän havaintoa puristeisuudesta (Södersten et al. 2005). Hälyn ja rahinan esiintyminen taas liittyy lisääntyneeseen subglottaaliseen paineeseen ja suurempaan adduktioon sekä niiden väliseen epäbalanssiin (Bele 2007). Voimakkaassa äänessä on suurempi todennäköisyys subglottaalisen paineen ja äänihuulisulun väliseen epäbalanssiin. Tällöin äänihuulisulku voi olla riittämätön, jolloin ääniraon läpi kulkee ilmaa sulkuvaiheenkin aikana aiheuttaen hankaushälyä. Toisaalta epäbalanssi kasvattaa riskiä epäsäännölliseen äänihuulivärähtelyyn, joka kuullaan rahinana. Rahinan ja hälyn esiintyminen huutonäytteissä ei siis ole yllättävää.

Näytteiden korkeus arvioitiin keskimäärin melko sopivaksi. Äänenkorkeushavaintojen arvioiden olisi voinut olettaa olevan suurempia. Korkeammiksi havaitut äänet arvioitiin kuuluvammiksi. Kuulovaikutelma äänen suuremmasta tiiviydestä näytti myös liittyvän parempaan kuuluvuuteen.

5.1.3 Akustisten ja perkeptuaalisten piirteiden väliset yhteydet

Akustisista piirteistä mikään ei näyttänyt liittyvän äänenlaadun arvioon. Kuunteluarviointilomakkeessa pyydettiin arvioimaan äänenlaatua ilman erityistä painotusta siitä, että kyseessä oli huutoäänienlaatu. F0:n tai suhteellisen F0:n olisi

voinut odottaa määrittelevän jossain määrin äänenlaadun hyvyttä huutoäänissä, mutta tässä aineistossa näin ei kuitenkaan ollut. Suurin osa koehenkilöistä oli äänenkäytön koulutusta saaneita näyttelijäopiskelijoita, joten he ehkä osasivat välttää perustaajuuden liiallista nousua huutaessaan. Toisaalta näyttelijäopiskelijoiden perustaajuudet eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi matalampia kuin muilla. Tässä aineistossa kaikkien näytteiden F0-keskiarvo oli huomattavasti matalampi, kuin mitä esimerkiksi Leino et al. (2008) ovat raportoineet maksimaalisessa mieshuutoäänessä keskimäärin olevan. Näillä koehenkilöillä huudon perustaajuus siis näyttäisi olevan suhteellisen matala, ja tämä selittää sitä, miksi F0 ja suhteellinen F0 eivät määrittäneet tässä aineistossa äänenlaatua.

Äänen korkeus oli arvioitu sitä korkeammaksi, mitä suurempi perustaajuus oli. Kuuntelijat siis kuulivat hyvin taajuuden nousun korkeampana sävelkorkeutena. Sen sijaan suhteellinen F0 ei liittynyt havaintoon korkeudesta. Korkeutta arvioitiin asteikolla liian matala - sopiva - liian korkea. Kuuntelijoiden olisi voinut odottaa kuulevan äänet liian korkeana suhteellisen F0:n noustessa. Tämä voisi kertoa puhujalle liian korkeasta puhekorkeudesta. Toisaalta tämän aineiston suhteellinen F0 oli huomattavasti pienempi kuin Leino et al. (2008) raportoimat arvot maksimaalisen huutoäänien osalta, ja tämä selittää osaltaan sitä, etteivät kuulohavainnot korkeudesta korreloineet suhteellisen F0:n kanssa. Syynä voi olla se, että perustaajuus ei noussut koehenkilöillä liiaksi, tai se, että kaikki koehenkilöt eivät välttämättä ole todella tavoittaneen matalinta mahdollista ääntänsä mittaustilanteessa.

Keskimääräisen äänenpainetason noustessa äänen tiiviys, kuuluvuus ja rahina arvioitiin suuremmiksi. Tiiviys selittyy lisääntyneellä adduktioarpeella subglottaalisen paineen lisääntyessä. Tulos oli samanlainen kuin aikaisemmissakin tutkimuksissa (esim. Södersten et al. 2005) eli äänen voimistuessa ääntö helposti muuttuu hyperfunktionaaliseen suuntaan. Kuuluvuuden lisääntyminen keskimääräisen äänenpainetason noustessa oli myös odotettua. Rahinan suurempi esiintyminen äänissä, joissa äänenpainetaso on korkeampi, liittyy haasteeseen pitää subglottaalinen paine ja adduktio tasapainossa. Voimakkaammassa äänessä balanssi helposti järkkyy, mikä voi johtaa myös epäsäännölliseen äänihuulivärähtelyyn, joka kuuluu rahinana (Bele 2007).

Soneina mitattu kuuluvuus korreloi perkeptuaalisista piirteistä vain hälyn kanssa. Tätä voisi selittää hankaushälyn taajuuksien mahdollinen sijoittuminen taajuusalueelle, jotka vaikuttavat sonien laskemiseen. Yllättävää kuitenkin oli, ettei soneina mitattu kuuluvuus korreloinut havaitun kuuluvuuden kanssa, vaikka soneina mitatun kuuluvuusmittauksen nimenomaan pitäisi mallintaa korvan havaitsemaa kuuluvuutta. Syynä saattaa olla se, että sonit mitattiin vain lyhyestä kohdasta näytteen keskeltä, eivätkä ne siten edusta koko näytettä.

Äänet arvioitiin sitä tiiviimmiksi ja kuuluvammiksi, mitä suurempi oli alfaratio. Tämäkin on odotettu tulos, sillä puristeisessa ja voimakkaassa äänessä alfaration on todettu olevan suurempi (Master et al. 2008; Södersten et al. 2005). Tasoero ensimmäisen formantin alueen ja perustaajuusalueen välillä ei ollut yhteydessä perkeptuaalisiin arvioihin. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Master et al. 2008) suurempi L1-L0 oli yhteydessä havaintoon äänen paremmasta kuuluvuudesta. L1-L0 olisi voinut liittyä myös havaintoon äänen puristeisuudesta, sillä perustaajuus heikkenee, jos äänirako ei pääse aukeamaan laajasti.

Spektreistä löytyi neljää eri muotoa. Aikaisemmissa tutkimuksissa puhujanformantti on liitetty kuulohavaintoon hyvästä äänenlaadusta (Leino 1974, 1994, 2009; Bele 2006; Master et al. 2008). Tämän tutkimusaineiston hyvälaatuisten äänien spektreissä oli eniten mallia, jossa näkyy puhujanformantti, mutta muitakin malleja esiintyi. Tämän tutkimuksen mukaan hyviinkin huutoääniin voi siis liittyä erilaisia spektrimuotoja.

Aikaisemmissa tutkimuksissa ylempien taajuusalueiden vahvistumisen on todettu liittyvän kuulohavaintoon äänen kuuluvuudesta. Erityisesti puhujanformantin olemassaolon on todettu edesauttavan äänen kantavuutta (Pinczower & Oates 2005; Master et al. 2008). Tämän tutkimusaineiston kuuluviksikin arvioituissa äänissä puhujanformantillinen spektrimalli oli yleisin, mutta toisaalta yhtä monta puhujanformantillista huutonäytettä oli arvioitu liian hiljaisiksi. Näin ollen puhujanformantti ei sinällään tunnu selittävän äänen kuuluvuutta. Kuitenkaan ääniä, joissa oli kauttaaltaan laskeva spektri, ei ollut juurikaan arvioitu hyvälaatuisiksi tai

kuuluviksi. Tästä voidaan päätellä, että huutoäänessä pitää olla paljon energiaa ylemmilläkin taajuuksilla. Spektrimuoto ei kuitenkaan näyttänyt suoraan määrittävän äänenlaatua tai kuuluvuutta tämän tutkimuksen huutonäytteissä.

5.1.4 Näyttelijäopiskelijoiden ja muiden väliset erot

Näyttelijäopiskelijat ja muut opiskelijat erosivat toisistaan akustisten piirteiden osalta siten, että näyttelijäopiskelijoilla oli keskimäärin matalampi matalin mahdollinen ääni, matalampi perustaajuus ja pienempi suhteellinen F_0 kuin muilla opiskelijoilla. Näyttelijäopiskelijoiden keskimääräinen äänenpainetaso ja alfaratio olivat suurempia kuin muilla. Näyttelijäopiskelijoilla siis oli keskimäärin matalampi perustaajuus, mutta kuitenkin suurempi äänenpainetaso kuin muilla. Tämä viittaisi siihen, että näyttelijäopiskelijat osasivat kontrolloida perustaajuuden liiallista nousua paremmin voimistaessaan ääntään. Äänenkäytön koulutuksen on aikaisemmissakin tutkimuksissa (esim. Laukkanen et al. 2004) todettu vaikuttavan siten, että koulutuksen jälkeen perustaajuus on matalampi huolimatta äänenpainetason noususta. Tämän tutkimuksen tulos oli samansuuntainen. Tässä tutkimuksessa ei varsinaisesti tarkasteltu koulutuksen vaikutuksia, sillä ääninäytteinä oli vain yksi huuto henkilöä kohden, ei esimerkiksi näyttelijöiltä ennen ja jälkeen koulutuksen. On tietysti mahdollista, että näyttelijäopiskelijat olisivat eronneet jo ennen äänenkäytön koulutusta muista opiskelijoista. Joka tapauksessa näyttelijät olivat saaneet koulutusta äänenkäyttöön, joten todennäköisesti tämä vaikutti eroihin. Alfaration arvo oli suurempi näyttelijäopiskelijoilla kuin muilla, heidän äänissään oli siis enemmän energiaa ylemmillä taajuuksilla. Tämä voisi selittää keskimääräisen äänenpainetason lisäksi sitä, että kuuntelijat arvioivat näyttelijäopiskelijoiden äänet keskimäärin kuuluvammiksi kuin muiden äänet. Näyttelijäopiskelijoiden $L1-L0$ oli pienempi kuin muilla. Tämä voi osaltaan selittää sitä, että näyttelijäoppilaiden ääntä ei keskimäärin arvioitu niin puristeiseksi kuin muiden.

Tendenssi oli, että näyttelijäopiskelijoiden äänet oli arvioitu laadultaan paremmiksi eikä niissä ollut havaittavissa niin paljoa hälyä ja rahinaa kuin muiden äänissä. Kaikkia spektrimalleja esiintyi sekä näyttelijäopiskelijoilla että muilla opiskelijoilla.

Kuitenkin laulajanformanttia esiintyi useamman näyttelijäopiskelijan spektrissä, mutta vain yhdellä muista opiskelijoista. Tämä saattaa osaltaan selittää kuuntelijoiden havainnon näyttelijöiden keskimääräisesti tummemmasta äänenväristä.

5.1.5 Mitä on hyvä huuto?

Yhtenä tutkimuskysymyksenä oli selvittää mitkä piirteet tekevät huudosta hyvän. Hyvänä huutona voitaneen pitää laadultaan hyvää ääntä, joka on hyvin kuuluva. Aineistossa oli näytteitä, jotka oli arvioitu sekä hyvälaatuisiksi, että kuuluviksi (N=7). Toisaalta aineistossa oli myös huutoja, jotka olivat laadultaan huonoja sekä liian hiljaisia. Näitä ryhmiä tarkastelemalla havaittiin, että akustisista piirteistä vain alfaratio erosi hyvien ja huonojen huutojen kohdalla tilastollisesti merkitsevästi. Spektrin muoto ei näyttänyt määrittävän huutoäänien hyvyyttä tai huonoutta. Hyvien huutojen spektreissä ei kuitenkaan ollut yhtään kauttaaltaan laskevaa spektriä. Näin ollen siis hyvässä huutoäänessä on suhteellisesti enemmän äänienergiaa ylemmillä taajuuksilla. Akustiset piirteet eivät muilta osin eronneet merkitsevästi. Hyvää huutoa tuntuikin eniten määrittävän huutajan kyky pitää kasvanut subglottaalinen paine ja lisääntynyt adduktio balanssissa. Hyvissä huutoäänissä ei ollut hälyä ja rahinaa kuultavissa niin paljon kuin huonoissa.

5.2 Materiaalien ja menetelmien pohdintaa

Huutonäytteet olivat keskimääräiseltä äänenpainetasoltaan voimakkaampia kuin voimistetut äänet monissa aikaisemmissa tutkimuksissa (Bele 2006; Master et al. 2008; Pinczower & Oates 2005). Näytteet eivät kuitenkaan olleet niin voimakasta huutoa kuin Leinon et al. (2008) maksimaaliset huutoäänit. Olisi hyvin hankalaa huutoa maksimivoimakkuudella minuutin mittaista tekstikatkelmaa. Vaikka maksimaalinen huuto teknisesti onnistuisikin, se ei ilmaisullisesti vastaisi instruktioita huutoa lannistumattomasti ja mahtavasti. Noin minuutin mittainen ääninäyte tarvitaan,

jos halutaan tehdä äänenlaadusta luotettavasti kertova keskiarvospektri. Näin ollen ääninäytteet eivät edustaneet maksimaalista huutoääntä, mutta huutoäänistä on perusteltua puhua, sillä koehenkilöitä on kehoitettu huutamaan ja ääninäytteiden voimakkuus on suurempi kuin voimistetuissa äänissä. Tutkimuksen ääninäytteiksi ei otettu muutamia samalla instruktiolla nauhoitettuja ääniä, joissa koehenkilö kuulosti puhuvan liian hiljaisella voimakkuudella.

Kuunteluarviointilomake saattoi olla kuuntelijalle hieman raskas. Kohdat hälypitoisuus ja rahina/särinä voisi tulevissa tutkimuksissa yhdistää, sillä molemmat tuntuvat voimakkaassa äänessä liittyvän subglottaalisen paineen ja äänihuulisulun väliseen epätasapainoon.

Kuuluvuusmittaus soneina tehtiin testimielessä, sillä on kiinnostavaa pystyykö ihmiskorvan kuuluvuushavaintoa mallintamaan tarkkaan laskennallisesti. Kuuluvuus soneina mitattiin vain yhdestä painollisesta vokaalista näytteen keskeltä, sillä koko näyteestä mittausta ei pysty tekemään. On hyvin mahdollista, että tällä tavalla ei saada koko ääninäytettä edustavaa soniarvoa. Lisäksi sonien arvot vaihtelivat todella paljon (vaihteluväli 29-131) näytteiden välillä, joten mittausmenetelmän luotettavuus on kyseenalainen.

Spektrimallien luokittelu on tulkinnanvaraista, sillä esimerkiksi puhujanformantti määritellään ympäristöstään erottuvaksi energiahuipuksi 3-4 kHz:n välillä. Jatkossa täytyisi pystyä määrittelemään tarkasti myös se, kuinka monta desibeliä huipun täytyy olla ympäristöään voimakkaampi, jotta sitä voidaan kutsua puhujanformantiksi.

5.3 Jatkotutkimusmahdollisuuksia

Tämä tutkimus ei vielä täysin selvittänyt hyvän huudon piirteitä. Lisää huutoäänien tutkimusta tarvitaan, jotta hyvän huutoäänien akustiset ja perseptuaaliset piirteet saadaan selville. Tämän tutkimuksen näyttelijäopiskelijat erosivat muista, mutta eivät tilastollisesti merkittävästi monenkaan piirteen osalta. Kenties heillä ei koulutuksestaan huolimatta ollut vielä optimaalinen huutotekniikka. Jatkossa olisikin

mielenkiintoista tutkia huutoa ammattinäyttelijöiltä, joilla olisi sekä koulutus että vankka kokemus lavatyöskentelystä. Myös kouluttamattoman lauluäänen ja huutoäänen välisiä eroja ja yhtäläisyyksiä olisi kiinnostavaa tutkia. Äänenkäytön koulutuksen vaikutusta huutotekniikkaan olisi myös hyvä tutkia vaihe vaiheelta siten, että verrataan miten huutoääni muuttuu koulutuksen myötä. Tämä antaisi arvokasta tietoa siitä minkälaisia ongelmia ja esteitä tällaisen erityistaidon oppimiseen liittyy. Näin osattaisiin jatkossa kouluttaa mielekkäällä ja tuloksellisella tavalla niitä, joiden työhön kuuluu runsas keskimääräistä voimakkaamman äänen käyttö.

6. LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen perusteella huutoäänen akustisia piirteitä ovat suuri äänenpainetaso, suhteellisen korkea F_0 sekä suuri alfaratio. Huutoäänien perkeptuaalisia piirteitä näyttivät olevan taipumus puristeisuuteen sekä suuri rahinan ja hälyn määrä, mistä johtuen huutoäänien yleinen äänenlaatu oli arvioitu tavallista huonommaksi. Näyttelijäopiskelijat erosivat muista opiskelijoista siten, että heillä oli suurempi keskimääräinen äänenpainetaso ja alfaratio sekä matalampi perustaajuus kuin muilla. Näyttelijäopiskelijoiden huutonäytteet myös arvioitiin laadultaan paremmiksi ja kuuluvammiksi kuin muiden. Hyvän huutoäänen piirteiksi kuuluvuuden kannalta todettiin suuri äänenpainetaso, suuri alfaratio ja äännön riittävä tiiviys sekä äänenlaadun kannalta huutajan kyky pitää subglottaalinen paine ja adduktio balanssissa, jolloin äänessä ei kuulu hälyä eikä rahinaa. Hyvien huutoäänien spektreissä esiintyi useita eri malleja, eikä mikään spektrimalli määrittänyt huudon hyvyyttä. Tutkimustuloksia voidaan tulevaisuudessa käyttää voimakkaan äänen koulutuksen suunnittelun ja toteutuksen apuna.

7. LÄHTEET

Alku P, Vintturi J, Vilkman E. Measuring the effect of fundamental frequency raising as a strategy for increasing vocal intensity in soft, normal and loud phonation. *Speech Communication*. 2002; 38:321-334.

Baken R, Orlikoff R. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Second edition. San Diego. Singular Publishing Group. 2000.

Bele I. *Professional Speaking Voice: A Perceptual and Acoustic Study of Male Actors' and Teachers' Voices*. Doctoral dissertation. University of Oslo; 2002.

Bele I. Reliability in perceptual analysis of voice quality. *Journal of Voice*. 2005;19:555-573.

Bele I. The speaker's formant. *Journal of Voice*. 2006;20:555-578.

Bele I. Dimensionality in voice quality. *Journal of Voice*. 2007;21:257-272

Borden G, Harris K, Raphael L. *Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002 (Fourth Edition).

Fant G. *Acoustic Theory of Speech Production*. Hague, Netherlands: Mouton & Co. 1960.

Gauffin J, Sundberg J. Spectral correlates of glottal voice source waveform characteristics. *Journal of Speech, language and hearing research*. 1989;32:556-565

Gramming P, Sundberg J, Ternström S, Leanderson R, Perkins W. Relationship between changes in voice pitch and loudness. *Journal of Voice*. 1988;2:118-126.

Hammarberg B, Fritzell B, Gauffin J, Sundberg J, Wedin L. Perceptual and acoustic correlates of abnormal voice qualities. *Acta Otolaryngologica*. 1980;90:441-451.

Hammarberg B, Gauffin J. Perceptual and acoustic characteristics of quality differences in pathological voices as related to physiological aspect. Teoksessa Fujimura O, Hirano M (toim.). *Vocal Fold Physiology: Voice quality control*. San Diego. Singular Publishing Group. 1995;283-303.

Jónsdóttir V. *The Voice an Occupational Tool. A Study of Teacher's Classroom Speech and the Effects of Amplification*. Acta Universitatis Tamperensis 969. Tampere University Press. 2003.

Kitzing P. LTAS criteria pertinent to the measurement of voice quality. *Journal of Phonetics*. 1986;14:477-482.

Kreiman J, Gerratt B. Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial, and framework for future research. *Journal of Speech and Hearing Research*. 1993;36:21-40.

Laukkanen A-M, Leino T. *Ihmeellinen ihmisääni*. Tampere: Gaudeamus; 1999.

Laukkanen A-M, Radolf V, Horáček J, Leino T. Estimation of the origin of a speaker's and singer's formant cluster using an optimization of 1D vocal tract model. Teoksessa Llorente J, Vilda P, Fraile R (toim.). *Workshop AVFA'09: 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop, 18th 20th May 2009, Madrid (Spain)*. Madrid: Cost 2103, Universidad Politecnica de Madrid, 2009;1-4.

Laukkanen A-M, Syrjä T, Laitala M, Leino T. Effects of two-month vocal exercising with and without spectral biofeedback on student actors' speaking voice. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*. 2004;29:66-76.

Laver J. *The Phonetic Description of Voice Quality*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press. 1981.

Leino T. *Hyvän äänen spektriirteet*. Helsingin yliopisto; Lisensiaattityö. 1974.

Leino T. Long-term average spectrum study on speaking voice quality in male actors. In: Friberg A, Iwarsson J, Janson E, Sundberg J, eds. *SMAC93 (Proceeding of the Stockholm Music Acoustics Conference)*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music; 1994:206-210. Stockholm, Sweden.

Leino T. Long-term average spectrum in screening of voice quality in speech: untrained male university students. *Journal of Voice*. 2009;23:671-676.

Leino T, Laukkanen A-M, Ilomäki I, Mäki E. Assessment of vocal capacity of Finnish university students. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. 2008;60:199-209.

Leino T, Laukkanen A-M, Radolf V. Formation of the actor's / speaker's formant. A study applying spectrum analysis and computer modeling. *Journal of Voice*. 2010 in press.

Leino T, Toivokoski R. Miten laulajan äänenlaatua voidaan mitata. *Laulupedagogi*;1994-95. Laulupedagogit ry., Helsinki.

Master S, De Biase N, Chiari BM, Laukkanen A-M. Acoustic and perceptual analyses of brazilian male actors' and nonactors' voices: Long-term average spectrum and the "Actor's Formant". *Journal of voice*. 2008;22:146-154.

Michel J, Willis R. An acoustic and and perceptual study of vocal projection. In: Lawrence VL ed. *Transcripts of the Twelfth Symposium Care of the Professional Voice. Part 1: Scientific papers*. New York: The Voice Foundation; 1983:52-55.

Moore BCJ. *An Introduction to the Psychology of Hearing*. London. Academic Press. 1982.

Nawka T, Anders LC, Cebulla M, Zurakowski D. The speaker's formant in male voices. *Journal of Voice*. 1997;11:422-428.

Nolan F. *The Phonetic Bases of Speaker Recognition*. Cambridge: Cambridge University Press; 1983.

Nordenberg M, Sundberg J. Effect on LTAS of vocal loudness variation. *Logopedics Phoniatics Vocology*. 2004;29:183-191.

Oates J. Auditory-perceptual evaluation of disordered voice quality. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. 2009;61:49-56.

Pickett JM. *The Acoustics of Speech Communication: Fundamentals, Speech Perception Theory, and Technology*. Boston; Allyn and Bacon. 1999.

Pinczower R, Oates J. Vocal projection in actors: The long-term average spectral features that distinguish comfortable acting voice from voicing with maximal projection in male actors. *Journal of Voice*. 2005;19:440-453.

Rantala L. *Ääni työssä. Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittuminen. Väitöskirja*. Oulun yliopisto. Oulun yliopiston julkaisuja B 37. 2000.

Sulter A, Schutte H, Miller D. Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training. *Journal of Voice*. 1995;9:363-377.

Sundberg J. *The Science of the Singing Voice*. Dekalb & Illinois: Northern Illinois University Press; 1987.

Sundberg J. The singer's formant revisited. *Journal of Voice*. 1995;4:106-119

Sundberg J. Level and center frequency of the singer's formant. *Journal of Voice*. 2001;15:176-186.

Sundberg J, Nordenberg M. Effects of vocal loudness variation on spectrum balance as reflected by the alpha measure of long-term-average spectra of speech. *Journal Acoust. Soc. Am.* Volume 120, Issue 1, pp. 453-457 (July 2006)

Suomi K. Johdatusta puheen akustiikkaan. Oulun Yliopisto monistus- ja kuvakeskus; 1990.

Södersten M, Ternström S, Bohman M. Loud speech in realistic environmental noise: Phonetogram data, perceptual voice quality, subjective rating, and gender differences in healthy speakers. *Journal of Voice.* 2005;19:29-46

Titze I. Principles of Voice Production. Iowa City: National Center for Voice and Speech; 2000 (Second Printing).

Titze I, Sundberg J. Vocal intensity in speakers and singers. In: National Center for Voice & Speech, Status and Progress Report -2; 1992:17-37.

White P, Sundberg J. Spectrum effects of subglottal pressure variation in professional baritone singers. In: TMH-Quarterly Progress and Status Report no. 4. Stockholm, Sweden: Department of Speech, Music and Hearing, Royal Institute of Technology; 2000:29-32.

Åkerlund L, Gramming P, Sundberg J. Phonetogram and averages of sound pressure levels and fundamental frequencies of speech: comparison between female singers and nonsingers. *Journal of Voice.* 1992;6:55-63.

http://naty.uta.fi/index_flash.html (8.2.2010)

<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (19.3.2010)

Liite1: Sävelasteikko hertsiarvoina

(<http://www2.siba.fi/akustiikka/index.php?id=18&la=fi>)

		sub- kontra	kontra	suuri	pieni	yksiviivainen oktaaviala	2- viiv.	3- viiv.	4- viiv.	5- viiv.	6- viiv.	7- viiv.
C	8,18	16,35	32,70	65,40	130,80	261,62556530	523	1047	2093	4186	8372	16744
C#	8,66	17,32	34,65	69,30	138,60	277,19263098	554	1109	2217	4435	8870	17740
D	9,18	18,35	36,71	73,40	146,80	293,66476792	587	1175	2349	4699	9397	18795
D#	9,72	19,45	38,89	77,80	155,60	311,12698372	622	1245	2489	4978	9956	19912
E	10,30	30,60	41,20	82,40	164,80	329,62755691	659	1319	2637	5274	10548	21096
F	10,91	21,83	43,65	87,30	174,60	349,22823143	698	1397	2794	5588	11175	22351
F#	11,56	23,12	46,25	92,50	185,00	369,99442271	740	1480	2960	5920	11840	23680
G	12,25	24,50	49,00	98,00	196,00	391,99543598	784	1568	3136	6272	12544	25088
G#	12,25	25,96	51,91	103,80	207,70	415,30469758	831	1661	3322	6645	13290	26580
A	13,75	27,50	55,00	110,00	200,00	440,00000000	880	1760	320	7040	14080	28160
A#	14,57	29,14	58,27	116,50	233,10	466,16376152	932	1865	3729	7459	14917	29834
H	15,43	30,87	61,74	123,50	246,90	493,88330126	998	1976	3951	7902	15804	31609
	C-1	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10

Liite 2: Huudon instruktio ja huutoteksti

Instruktio:

Voimakas, mahtava huuto. Lannistumaton, uhmaava.
Älä päästä korkeutta nousemaan, älä kiristä.
Silti voimaa ääneen! Täyteläinen resonanssi.

Huutoteksti:

Soi, tuuli! Poskes halkaise! Soi, riehu!
Veet rankat, tulvikaa, ja taivaan virrat, hukuttakaatte
Tornit viireineen! Te rikkiliekit, nopeat kuin aatos,
te airuet puunpirstaajien nuolten, kärventäkää
mun tukkani!
Ja sinä, maanjäristäjä ukkonen, lyö lattuun
Maapallon kupu, luonnon muotit särje, hävitä kerralla
jok'ainut itu tään ihmissuvun kiittämättömän!

William Shakespeare: Kuningas Lear, toinen näytös (suom. Yrjö Jylhä)

Liite 3: Kuuntelu-arviointilomake

HUUTONÄYTTTEIDEN KUUNTELUARVIOINTI

Arvioitavat parametrit: yleinen äänenlaatu, äänenväri, korkeus, tiivys, hälypitoisuus, kuuluvuus/kantavuus ja rahina/särinä

Näyte 1 ÄÄNENLAATU HUONO	TAVALLINEN	ERINOMAINEN
ÄÄNENVÄRI TUMMA	TAVALLINEN	KIRKAS
KORKEUS LIIAN MATALA	SOPIVA	LIIAN KORKEA
TIIVYYS VUOTOINEN/HYPOFUNKTIONAALINEN	SOPIVA	KIREÄ/HYPERFUNKTIONAALINEN
HÄLYPITOISUUS EI OLLENKAAN	HYVIN PALJON	
KUULUVUUS/KANTAVUUS LIIAN HILJAINEN	KUULUVA	
RAHINA/SÄRINÄ EI OLLENKAAN	HYVIN PALJON	