

MULTI-DIMENSIONAL VOICE PROGRAM™ ÄÄNIHÄIRIÖIDEN ARVIOINNISSA

Jaana Sellman, Puhetieteiden laitos, Helsingin yliopisto
jaana.sellman@helsinki.fi

Moniparametrinen akustinen analyysi on osoittautunut lupaavaksi äänen laadun arvioinnin työvälineeksi. Artikkelissa kuvataan yhden laajasti tunnetun ja niin kliinisessä kuin tutkimustyössäkin käytetyn äänianalyysiohjelman (Multi-Dimensional Voice Program™) ominaisuuksia. Artikkelissa pohditaan akustisen analyysin käyttöä kliinisessä äänihäiriöiden arvioinnissa. Lisäksi artikkelissa esitellään yleisesti akustisen analyysin etuja ja haasteita. Huomiota kiinnitetään erityisesti perturbaation lähteisiin, normaalin ja patologisen äänen raja-arvojen ongelmaan sekä mittaustulosten tulkintaan.

Avainsanat: äänianalyysi, MDVP, akustinen analyysi, äänihäiriöt, perturbaatio

1. JOHDANTO

Puheen tuoton akustisten ilmentymien ymmärrys alkoi oleellisesti lisääntyä, kun *Gun-nar Fant* julkaisi vuonna 1960 työnsä tulokset kirjassaan *Acoustic Theory of Speech Production*. Eri tutkimusalojen yhteistyö on sittemmin jouduttanut äänitutkimusta ja lisännyt tietoa äänihuulten värähtelystä. Äänihuulten kahden massan mallista (Ishizaka & Flanagan, 1972) on edistytty monimutkaisiin äänihuulten värähtelyn moniulotteisuutta kuvaaviin fysikaalisiin ja tietokoneavusteisiin malleihin (mm. Childers, Hicks, Moore & Alsaka, 1986; Titze, 1989), mikä on osaltaan edesauttanut myös äänen akustisten analyysimenetelmien kehittymistä.

Akustista äänianalyysiä käytetään hyödyksi mm. telekommunikaatiotutkimuksessa (speech transmission), puhetieteiden ja lingvistiikan perustutkimuksessa ja ihmisen kommunikoinnin arvioinnissa (Titze, 1994a). Akusti-

sen analyysin sovelluksia ovat esim. laryngaalisen patologian kuvaus ja synteettisen puheen luonnollisuuden parantaminen (Schoentgen & de Guchteneere, 1995). Akustinen analyysi on myös yksi keino yhtenäistää äänen laadun perkeptuaalista arviointia ja käsitteistöä (ks. Hirano ym., 1986; Hammarberg, 1986). Tässä artikkelissa käsitellään Multi-Dimensional Voice Program™ (MDVP™) -ohjelmaa ja sen soveltuvuutta äänihäiriöiden kuvaukseen. Olen tarkastellut ohjelman kliinistä soveltuvuutta yksityiskohtaisemmin lisensiaaintyössäni (Sellman, 2000).

2. MULTI-DIMENSIONAL VOICE PROGRAM™

Kun halutaan ymmärtää syvällisesti ihmisen äänenlaadun kokonaisuutta, äänen akustinen analyysi täydentää muiden tutkimusmenetelmien, kuten äänihuulten värähtelytoiminnan ja äänen perkeptuaalisen arvioinnin, aerodynaamisten ja fonaatiotoiminnan mittausten sekä kurkunpään elektromyografian, antamia tuloksia. Fonaatiokäyttäytymisen syvempi ymmärtäminen puolestaan edesauttaa hoito- ja terapiamenetelmien kehittämistä ja arviointia. Multi-Dimen-

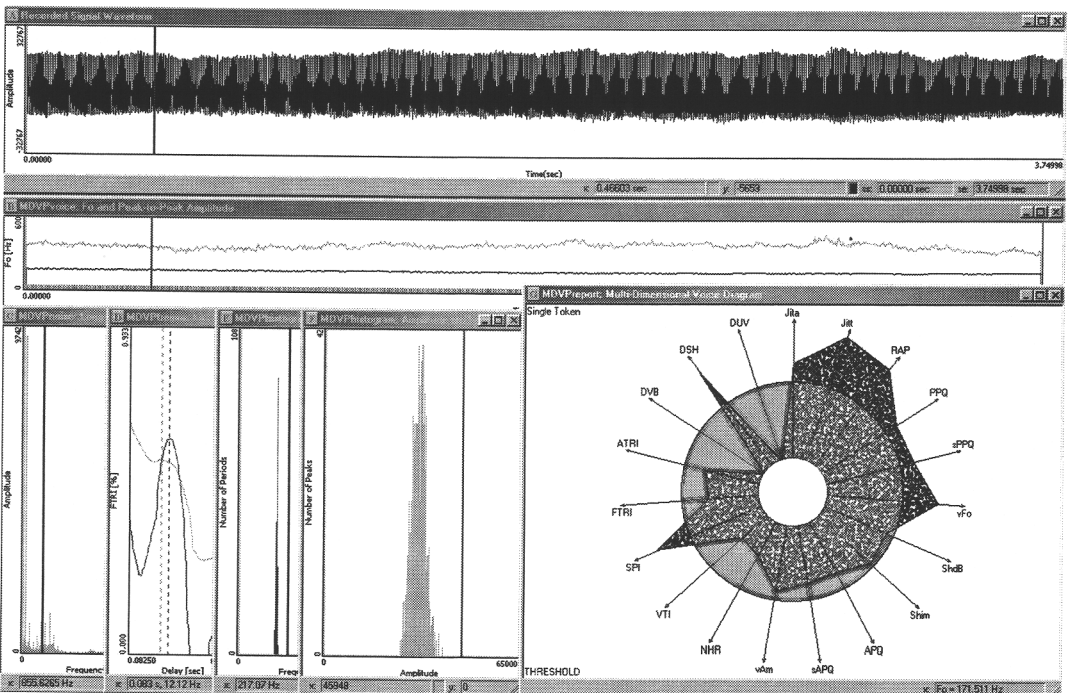
sional Voice Program™ -äänianalyysiohjelma (MDVP) toimii lisäoptiona Kay Elemetricsin Computerized Speech Lab- eli CSL-laitteistossa. Kay Elemetricsin ohjelma on yksi käytetyimmistä analyysiohjelmissä (Bloothoof, Van Dommelen, Espain, Hazan, Huckvale & Wigforss, 1998, 13) ja on vakiinnuttanut asemansa äänitutkimuksessa (Vanas, Hilgers, Verdonckdeleuw & Koopmans van Beinum, 1998; Kent, Kent, Duffy, Thomas, Weismer & Stuntebeck, 2000; Yiu, Worrall, Longland & Mitchell, 2000; Parsa & Jamieson, 2001; Pützer, 2001; Kent, Vorperian, Kent & Duffy, 2003). Viime vuosina MDVP-ohjelmaa on yhä enenevästi käytetty neurologisten potilaiden äänen arvioinnissa niin tutkimuksessa kuin kliinisessä työssäkin (Kent ym., 2003). MDVP-ohjelmalla voi äänittää asiakkaalta korkeatasoisia puhenäytteitä (näytteenottotaajuus vokaalissa 50 kHz ja puheessa 25 kHz), jotka ovat digitaalisen tallennusmuotonsa avulla helposti käsiteltävissä ja kuulonvaraista arviota varten uudelleen toistettavissa satunnaisessa järjestyksessä. Ohjelman äänipa-

rametrianalyysi esittää 33 erilaista numeerista analyysitulosta, joita voidaan verrata joko graafisesti tai numeerisesti ohjelman tarjoamaan normatiiviseen raja-arvotietokantaan. Myös korkeuden ja amplitudin histogrammit ja pitkäaikaisspektri (LTAS) näkyvät analyysikuvassa graafisesti (ks. kuva 1).

Äänen kliinisessä arvioinnissa hyödyllisiksi akustisiksi muuttujiksi ovat osoittautuneet mm. perustaajuuden (F0) ja äänenpainetason (SPL) keskiarvo ja hajonta sekä perustaajuuden ja amplitudin perturbaatio (=jitter ja shimmer) (Stemple 1993; Baken, 1987). Hillin, Meyersin ja Schererin (1990) mukaan jitter ja shimmer osoittavat äänihuulten dynaamisen epätasapainon jopa tarkemmin kuin stroboskopia.

Myös fonetogrammimitausta, jossa mitataan puhujan sävelkorkeuden vaihtelulajuus (F0-alue) sekä voimakkuuden ääriarvot ja niiden erotus (SPL-alue) sekä keskimääräinen dynamiikka (samalla sävelkorkeudella tuotetun hiljaisimman ja voimakkaimman äänen välinen keskimääräinen ero), on suo-

Kuva 1. MDVP-ohjelman analyysikuva. Seitsemän parametri-ikkunaa esittävät graafisesti akustisen analyysin tulokset.



TAULUKKO 1. MDVP-ohjelman akustiset parametrit (MDVP, operations manual, s. 12)

Symboli	Yksikkö	Parametrin kuvaus ¹	Raja-arvo
FO	Hz	Perustaajuuden keskiarvo	–
TO	ms	Periodin keskiarvo	–
Fhi	Hz	Korkein perustaajuus	–
Flo	Hz	Matalin perustaajuus	–
STD	Hz	Analysoidun näytteen perustaajuuden keskihajonta	–
PFR	Semitones	Perustaajuusalue puolisävelaskelina	–
Tsam	s	Analysoidun näytteen kesto	–
PER		Havaittujen periodien määrä	–
SEG		Autokorrelaatioanalyysissa käsiteltyjen segmenttien määrä	–
Jita	us	Absoluuttinen jitter arvioi peräkkäisten periodien perustaajuuden vaihtelua.	83,2
Jitt	%	Jitter-prosentti edustaa suhteellista peräkkäisten periodien perustaajuuden vaihtelua.	1,04
RAP	%	Suhteellinen perturbaation keskiarvo (relative average perturbation), tasoituskerroin (smoothing factor) kolme periodia	0,68
PPQ	%	Periodien perturbaation osamäärä (pitch period perturbation quotient), tasoituskerroin viisi periodia	0,84
sPPQ	%	Tasoitettu (tasoituskerroin n asetus 55) periodien perturbaatio (smoothed pitch period perturbation)	1,02
vFO	%	Perustaajuuden variaatio kertoo näytteen pitkäaikaisesta perustaajuuden vaihtelusta.	1,10
ShdB	dB	Shimmer desibeleinä kertoo peräkkäisten periodien amplitudin (peak-to-peak) vaihtelusta.	0,35
Shim	%	Shimmer prosentteina edustaa peräkkäisten periodien amplitudivaihteluita.	3,81
APQ	%	Amplitudin perturbaation osamäärä (amplitude perturbation quotient), tasoituskerroin 11.	3,07
sAPQ	%	Tasoitettu (tasoituskerroin n asetus 55) amplitudin perturbaatio (smoothed amplitude perturbation)	4,23
vAm	%	Huippuamplitudin vaihtelu (peak amplitude variation) kertoo näytteen pitkäaikaisesta amplitudin vaihtelusta.	8,20
DVB	%	Äänenkatkojen aste (degree of voice breaks) ilmaisee prosentteina äänenkatkojen suhteen näytteen äänelliseen osaan.	1,00
NVB		Äänenkatkojen määrä (number of voice breaks) kertoo, kuinka monta kertaa perustaajuus keskeytyy.	0,90
DSH	%	Subharmonisten osasävelten aste (degree of sub-harmonics) on suhteellinen arvio ääninäytteen subharmonisten osasävelten suhteesta perustaajuuskomponenttien määrään.	1,00
NSH		Subharmonisten segmenttien määrä (number of sub-harmonic segments) kertoo analyysin löytämien	0,90
DUV	%	Soinnittomuuden aste (degree of voiceless) on ei-harmonisen alueen (= alue, jossa perustaajuutta ei löydy) suhteellinen arvio.	1,00
NUV		Autokorrelaatioanalyysin aikana havaittujen soinnittomien segmenttien määrä (number of unvoiced segments).	0,90
NHR		Hälyn suhde harmonisiin (noise-to-harmonic ratio) on 1500–4500 Hz alueen ei-harmonisten komponenttien suhde 70–4500 Hz alueella oleviin harmonisiin komponentteihin. NHR kertoo yleisesti analysoidussa signaalissa olevasta hälyn määrästä.	0,19
VTI		Äänen turbulenssin tunnusluku (voice turbulence index) kertoo spektrin ei-harmonisen korkeataajuisen energian (2800 – 5800 Hz) suhteen spektrin harmoniseen energiaan 70–4500 Hz alueella. VTI mittaa korkeiden taajuuksien suhteellisen energiatason ja korreloi useimmiten epätäydellisen tai löyhän äänihuulten adduktion aiheuttaman turbulenssin kanssa.	0,0061
SPI		Pehmeän fonaation tunnusluku (soft phonation index) kertoo spektrin harmonisesta rakenteesta. SPI ilmoittaa matalataajuisen (70 -1600 Hz) alueen harmonisen energian suhteen korkeataajuisen (1600–4500 Hz) alueen harmoniseen energiaan. SPI:n suurentunut arvo voi liittyä epätäydelliseen tai löysään äänihuulten sulkun. Koska SPI on herkkä vokaalien formanttirakenteelle, vain saman vokaalin arvja voidaan verrata. Ohjelman valmistaja suosittelee käytettäväksi /a:/ta.	14,12
FTRI	%	Perustaajuuden vapinan voimakkuuden tunnusluku (FO tremor intensity index) ilmaisee prosentteina voimakkaimman matalataajuisen moduloivan osan (FO vapina) perustaajuuden suhteessa koko analysoidun äänisignaalin perustaajuuteen. Tremor-analyysi (FTRI, ATRI) etsii äänen periodisia vaihteluita. Mikäli perustaajuuden tai amplitudin muutos ei ole periodinen tremor-parametrit eivät reagoi.	0,95
ATRI	%	Amplitudin vapinan voimakkuuden tunnusluku (amplitude tremor intensity index) ilmaisee prosentteina voimakkaimman matalataajuisen amplitudin moduloivan osan (amplitudin vapina) suhteessa koko analysoidun äänisignaalin amplitudiin.	4,37
Fftr	Hz	Perustaajuuden vapinan taajuus (FO tremor frequency) kertoo voimakkaimman matalataajuisen komponentin taajuuden tietyllä alueella. Mikäli vastaava FTRI-arvo on alle raja-arvon, Fftr arvoa ei lasketa.	–
Fatr	Hz	Amplitudin vapinan taajuus (amplitude tremor frequency) kertoo voimakkaimman matalataajuisen komponentin taajuuden tietyllä alueella. Mikäli vastaava ATRI-arvo on alle raja-arvon, Fatr arvoa ei lasketa.	–

siteltu äänentuoton kliiniseksi arviointivälineeksi (Schutte & Seidner, 1983).

MDVP-ohjelman analyysin tuloksia tulkittaessa akustiset parametrit voidaan jakaa seuraaviin kuuteen ryhmään: 1) *perustaajuudesta kertovat mittaukset*, 2) *lyhyt- ja pitkäaikaiset perustaajuuden* ja 3) *amplitudin perturbaatiomittaukset*, 4) *äänenkatkoihin ja subharmoonisiin*, 5) *hälyyn* ja 6) *tremoriin liittyvät parametrit*. Taulukossa 1 parametrit on jaoteltu em. ryhmittelyyn mukaisesti.

Koska tutkimuskirjallisuudessa käytetään eri algoritmeja eli laskumenetelmiä mm. perturbaation mittaukseen, on MDVP-ohjelmaan sisällytetty useita eri algoritmeilla laskettuja perturbaatioparametrejä. Näin tutkijalla on mahdollisuus verrata omia tutkimustuloksiaan muiden tuloksiin. MDVP-ohjelman käyttöohjeessa muistutetaan, että absoluuttinen jitter (Jita), jota mitataan millisekunneina, on riippuvainen perustaajuudesta. Toisin sanoen, mitä korkeampi äänen perustaajuus, sitä vähemmän siinä on absoluuttista jitteriä. Ohjelman normatiiviset raja-arvot ovat kuitenkin naisille ja miehille samat. Muut MDVP-ohjelman jitterparametrit (Jitt, RAP, PPQ, sPPQ) samoin kuin kaikki shimmerparametrit ovat suhteellisia (engl. F0-related) mittauksia eli ottavat huomioon puhujan äänen perustaajuuden. Absoluuttinen jitter (Jita) ja suhteellinen jitterprosentti (Jitt) edustavat samantyyppistä korkeuden perturbaation analyysiä (Kay Elemetrics 1993, 108) ja ovat hyvin lyhytaikaisesta, peräkkäisten periodien perturbaatiosta kertovia parametrejä. Myös RAP ja PPQ kuvaavat hyvin lyhytaikaista korkeuden perturbaatiota, mutta eivät ole niin herkkiä periodista periodiin mitatulle vaihtelulle kuin absoluuttinen jitter (Jita) ja jitterprosentti (Jitt). Ohjelman valmistajat suosittelivat jitter-parametreistä käytettäväksi RAP ja PPQ -parametrejä ja shimmer-parametreistä APQ-parametriä. Näissä parametreissä on tasoitus-

kerroin (smoothing factor), joka vähentää niiden herkkyyttä äänenkorkeuden jaksopi-tuuden laskentavirheille. MDVP-ohjelmassa pidemmän ajan vaihtelusta kertovia parametrejä ovat perustaajuuden variaatio (vF0) ja amplitudin variaatio (vAm). Pitkäaikaismittausten antama tieto täydentää jitter- ja shimmer-mittausten antamaa tietoa.

3. ÄÄNEN LAADUN AKUSTINEN ANALYYSI KLIINISESSÄ TYÖSSÄ

Patologisen äänen akustisen analysoinnin päätarkoituksena on äänihäiriön luonteen ja asteen määrittely sekä muutosten monitorointi. Erilaiset patologiat vaikuttavat kurkunpään fysiologiaan eri tavoin ja ovat mahdollisesti myös eri tavalla herkkiä akustiselle analyysille (Zyski, Bull, McDonald & Johns, 1984). Moniparametrinen analyysin, kuten MDVP:n, etu onkin siinä, että se näyttää nopeasti, yhdellä analyysillä, useita eri akustisia parametrejä ja kuvaa eri häiriöitä erilaisin profilein (ks. myös Kent ym., 1999). Esimerkiksi vuotoisessa äänessä (breathy voice) jitterin arvot voivat olla normaalit, mutta vuotoisuuden aste saattaa näkyä lisääntyneinä ”turbulenssin” arvoina sellaisissa parametreissa kuten VTI tai SPI (Kay Elemetrics, 1999). Koska eri parametrit saattavat olla eri tavoin herkkiä eri häiriöille, MDVP:tä hyväksikäyttäen voidaan yrittää etsiä parasta selittävien muuttujien joukkoa, jolla tiettyä äänihäiriötä tai äänen laatua voitaisiin kuvata.

Monien akustisten tutkimusten (mm. Lieberman, 1963; Iwata & von Leden, 1970; Hiraoka, Kitazoe, Ueta, Tanaka & Tanabe, 1984; Banci, Monini, Falaschi & De Sario, 1986; Hurme & Sonninen, 1986; Sellman, 2000) tavoitteena on ollut selvittää, erottelee-ko jokin mittaustekniikka normaalin ja patologisen äänen toisistaan. Deliyski, Orlikoff ja Kahane (1991) ovat todenneet, että suurin osa MDVP-ohjelman mittauksista erottelee

esimerkiksi terveääniset ja spasmodisesta dysfoniasta kärsivät naiset toisistaan. Zwirnerin, Murryn ja Woodsonin (1991) tutkimuksessa F0std eli analysoidun näytteen perustaajuuden hajonta erotteli erilaisista neurologisista häiriöistä kärsivät potilasryhmät sekä normaali-verrokeista että toisistaan paremmin kuin mikään perturbaatioparametreistä. Tutkijat totesivat myös, että dysfonian kuulonvaraisesti arvioitu vaikeusaste ja akustiset parametrit korreloivat ataktisessa dysartriassa tilastollisesti merkitsevästi: mitä vaikeampi dysfonian aste oli, sitä suuremmat olivat akustisten parametrien arvot. Myös kirjoittajan tutkimuksessa (Sellman, 2000) Multi-Dimensional Voice Program -ohjelman parametreistä perustaajuuden keskijajonta (F0std) erotteli perustaajuuden vaihtelun (vF0) sekä jitterparametrien (Jita, Jitt, RAP, PPQ ja sPPQ) ohella hyvin kyhmypotilaat ja terveääniset tutkittavat toisistaan.

Hyvin harvat kuulijat voivat erottaa kuulohavainnon perusteella äänestä jitteriä ja shimmeriä, jotka voivat olla yhteydessä äänihuulten orgaaniseen tai toiminnalliseen häiriöön (Lieberman, 1963; Iwata & von Leden, 1970). Akustinen analyysi voikin olla apuna erityisesti niille laryngologeille, foniatreille ja puheterapeuteille, jotka tapaavat potilaita harvoin tai joiden korva ei ole vielä riittävän harjaantunut äänen laadun arviointiin. Kliinisessä työssä olen todennut käyttökelpoiseksi MDVP-ohjelmalla tulostettavan raportin, johon on mahdollista kirjata potilaan numeeristen ja graafisten analyysitulosten lisäksi potilastiedot ja tutkijan kommentit. Näin potilaan mittaustulokset on helpo liittämään sairaskertomukseen. Olen myös havainnut, että kliinisessä työssä akustiset mittaukset toimivat hyvin palautteena sekä asiakkaalle että tarvittaessa myös terapeutille. Visuaalinen palaute motivoi useimpia asiakkaita ja on myös monelle asiakkaalle huomattavasti konkreettisempi kuin oma audi-

tiivinen tai puheterapeutin antama verballinen palaute.

4. AKUSTISEN ANALYYSIN HAASTEET

4.1. Normaalin ja patologisen äänen raja-arvon ongelma

Perturbaatiomittauksia käytetään nimenomaan silloin, kun analysoidaan äänihäiriöitä. Yleisesti on hyväksytty käsitys, että häiriöisen äänen perturbaatioarvot ovat suuremmat kuin terveen äänen (Lieberman, 1961, 1963). Jitteriä ja shimmeriä esiintyy kuitenkin aina myös normaalissa äänessä. MDVP-ohjelman graafinen profiili näyttää normatiiviset raja-arvot (Threshold Diagram) ympyrän kehänä (ohjelmassa vihreä). Vaikka ääninäytteen analyysitulokset sijoittuvat MDVP-ohjelman antamassa graafisessa profiilissa normatiivisen raja-ympyrän ulkopuolelle eli ylittävät normatiiviset raja-arvot, ei tämä kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, että kyseessä on äänihäiriö. MDVP näyttää 95 %:n luottamusvälillä häiriöiset arvot, jolloin raja-arvot on asetettu osittain melko alhaisiksi, jotta välttytään ns. vääriltä negatiivisilta tuloksilta (Kay Elementrics 1999, 22). Tällöin kaikki häiriöiset arvot ovat normatiivista raja-arvoa suurempia. On kuitenkin huomattava, että tällöin myös monet normaalit äänet ylittävät normatiivisen rajan. Ohjelman Windows-versioon on vertailua helpottamaan lisätty sekä normaaliäänisten naisten että miesten akustisten parametrien keskiarvot ja hajonnat (+1sd). Tutkittavan ääntä voidaan siten graafisessa profiilissa ja numeerisessa raportissa verrata joko raja-arvoihin (Threshold Diagram) tai samaa sukupuolta edustavien normaaliäänisten keskiarvoihin (Normative Diagram).

Koike tutkimusryhmineen kyseenalaisti jo 70-luvulla normaalin ja patologisen äänen välisen ns. rajaviivan olemassaolon (Treole &

Trudeau, 1997). Äänihän voi olla käheä, vaikka kurkunpäässä ei olisi havaittavissa mitään patologista. Äänihuulten värähtelyn epäperiodisuus, jonka kuulemme äänen käheytenä tai karheutena, aiheuttaa melkoisia poikkeamia mm. korkeuden perturbaatioon (jitter). Kurkunpään orgaaninen sairaus ei kuitenkaan välttämättä aiheuta mainittavaa äänihäiriötä ennen kuin vasta huomattavan pitkälle edettyään (Treole & Trudeau, 1997). Koike onkin todennut, että mikä tahansa rajaviiva, joka erottaa epänormaalin normaalista äänestä olisi määriteltävä operationaalisesti (Treole & Trudeau, 1997). Sitä kohtaa, missä ääni muuttuu normaalista epänormaalksi ei kuitenkaan voida määritellä. Tästä syystä Mathieson (2000) katsookin, että käsitteet normaali ja epänormaali ääni eivät ole erillisinä käyttökelpoisia. Näiden erillisten käsitteiden tilalle hän ehdottaa yhtenäistä käsitettä 'normaalin ja häiriöisen äänen jatkumo'.

Tämänhetkiset MDVP-ohjelman normatiiviset raja-arvot on kerätty pienehköllä (n= 68) kulttuuri- ja kielisidonnaisella ryhmällä (Deliyski, 1993). Tutkittavista 15 (7 miestä, 8 naista) oli normaaliäänisiä ja 53 (25 miestä, 28 naista) äänipotilaita, joilla oli jokin seuraavista diagnooseista: kurkunpään syöpä tai hyvänlaatuisen kasvain, krooninen laryngiitti, toiminnallinen äänihäiriö tai äänihuulihalvaus. Deliyski (1993) myöntää, että normatiiviset raja-arvot saattavat vaihdella eri äänihäiriöluokissa, ja siksi hän suosittelee, että erilaisiin tarkoituksiin luodaan ja valitaan erilaisia tietokantoja ja raja-arvot muutetaan tapauskohtaisesti. Vertailun helpottamiseksi tarvittaisiin suurempia, kattavampia, eri maihin ja kulttuureihin soveltuvia tietokantoja eri ikäisistä terveistä ja patologisista mies- ja naisäänistä. Normatiivisen tiedon keräystä on kuitenkin jarruttanut standardin puute. Tutkijat odottavat yhä akustisen analyysin standardia, jossa määriteltäisiin mm. aineiston keräämiseen liittyvät seikat, kuten äänityslaitteiston, mikrofonin ja

äänitystilan ominaisuudet sekä fonaatiotehtävä ja näytteen kesto. Aivan viime vuosina on normatiivisen tiedon keräys, varsinkin MDVP-ohjelmalla, kuitenkin lisääntynyt. Esimerkiksi Suomessa Mäenniemi (2000) on määritellyt naisäänelle (n = 68) akustisia normiarvoja. Kanadassa on kerätty tietokantaa lasten (4–18-vuotiaat) äänten akustisista arvoista (Campisi, Tewfik, Manoukian, Schloss, Pelland-Blais & Sadeghi, 2002). Kent ym. (2003) ovat ansiokkaasti koonneet omaan artikkeliinsa eri tutkimusten MDVP-ohjelmalla tuottamaa normatiivista tietoa. Näistä normiarvoista on hyötyä kliinisessä työssä, mutta kokeellisissa äänituskimuksissa normiarvot eivät kuitenkaan yksin riitä, vaan analyysituloksia on verrattava aina kontrolliryhmän tuloksiin.

4.2. Perturbaation lähteet

Akustisia mittauksia käytetään rutiininomaisesti joka päivä niin äänituskimuksissa kuin kliinisessä työssäkin, vaikka itse perturbaatioilmioista ei tiedetä vielä tarpeeksi. Titzen (1994b, 283–288) mukaan äänihuulivärähtelyn epävakaisuuden (engl. fluctuation) ja perturbaation lähde voi olla neurologinen, biomekaaninen, aerodynaaminen tai akustinen. Lisäksi mittaustuloksiin vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten äänentallennusolosuhteet, koehenkilön ominaisuudet, fonaatiotehtävä, harjoittelun määrä, analysointilaitteiston sekä analysointiohjelman ominaisuudet. Äänitystilanteessa on näytteen tallennukseen liittyvien teknisten seikkojen lisäksi huomioitava mm. potilaan äänentuottotapa, testiolosuhteet, asiakkaan terveydentila, väsymys, testiä edeltäneet aktiviteetit, lääkitys, mielentila, ahdistus ja halukkuus testaukseen. Kaikki nämä tekijät ovat aina läsnä ja voivat vaikuttaa mittaustuloksiin. Sitä, miten edellä mainitut tekijät vaikuttavat, tutkitaan yhä. Myös ohjelmien huolellinen testaus ja reliabiliteetin arviointi on jäänyt melko vähäiseksi (ks. esim.

TAULUKKO 2. Perturbaatioon vaikuttavat tekijät (Titze 1994; ks. myös Rantala 2000; Sellman 2000)

<u>Neurologinen</u>	Useiden kilpirusto-kannurustolihasen (m. thyreoarytaenoideus) lihasäiyryhmien supistumisen summautuksessa (=motoristen yksiköiden määrän lisääntyessä) ja hermoimpulsien nopeuden kasvaessa lihasten supistumisvoima pehmenee asteittain, mikä johtaa perturbaation vähenemiseen.
<u>Biomekaaninen</u>	
* Äänihuulten epäsymmetria - geometrinen (keskilinjan epäsymmetria) - mekaaninen (massan jännityserot)	Suuri epäsymmetrisyys häiritsee äänihuulten värähtelyrytmiä ja saattaa aiheuttaa subharmonisia taajuuksia, jotka kertovat siitä, että periodisuus saavutetaan vain joka toisessa tai kolmannessa jaksossa.
* Verenkierto	Verenvirtaus äänihuulten kudosten hiussuoniin, laajentaa ja supistaa kudosta, mikä puolestaan muuttaa äänihuulten muotoa ja jäykkyyttä.
* Hengitys	Hengityselimistön epävakaas lisää glottispulssin matalataajuista amplitudin ja perustaajuuden vaihtelua.
* Ääniväylän muutokset	Artikulaatioelimet (kieli, pehmeä suulaki, leuka jne.) voivat vaikuttaa äänihuulten värähtelyyn mekaanisen kytkennän kautta. Kun kieli liikkuu eteenpäin, se vetää kieliluuta eteen ja ylös, mikä puolestaan nostaa kurkunkäätä. Tämä nosto voi muuttaa äänihuulten jäykkyyttä (ks. myös Ternström, Sundberg & Collden, 1988) ja aiheuttaa mm. jitterin lisääntymisen.
Äänenpainetaso (SPL)	Äänenpainetaso kasvaessa jitter- ja shimmer-arvot pienenevät (Orlikoff & Kahane, 1991).
Perustaajuus (F0)	Perustaajuuden kasvaessa jitter pienenee (Lieberman, 1963).
<u>Kurkunkäätä anatomia</u>	
* Sukupuoli	Absoluuttinen jitter on naisilla pienempi kuin miehillä, kun taas suhteellinen jitter on naisilla suurempi (mm. Sorensen & Horii, 1983; Baken, 1987; Jafari ym., 1993; Sussman & Sapienza, 1994). Shimmerin arvot ovat naisilla pienemmät kuin miehillä (Sorensen & Horii, 1983). Perustaajuuden muutos muuttaa naisäänen jitteriä vähemmän kuin miesäänen (Orlikoff & Baken, 1990).
* Ikä	Lasten ja aikuisten naisten absoluuttiset jitterin arvot ovat melko samansuuruiset (Sussman & Sapienza, 1994). Perturbaatio lisääntyy ikääntyvillä (Benjaminin, 1981; Linville, 1987; Biever ja Bless, 1989).
<u>Fonaatiotehtävä</u>	
* Jatkuva puhe/vokaali	Jatkuvan puheen keskimääräiset perturbaatioarvot ovat suuremmat kuin pidennetyn vokaalin (Schoentgen, 1989).
* Vokaalin laatu	Perustaajuudeltaan korkeammassa vokaaleissa, kuten [i]-ssä ja [u]-ssa on vähemmän absoluuttista jitteriä kuin matalammassa vokaaleissa, kuten [a]-ssa (esim. Ternström, Sundberg & Collden, 1988; Horii, 1979; Wilcox ja Horii, 1980; Milenkovic, 1987). Suurin jitter-prosentti on [a]-vokaalissa (esim. Linville & Korabic, 1987; Deem, Manning, Knack & Matesich, 1989; Sussman & Sapienza, 1994; Piirto, 1999). Shimmerin keskiarvo on matalin [u]-ssa, korkein [a]-ssa ja siltä väliltä [i]-ssä (Sorensen ja Horii, 1983).
*Fonaatiotehtävän harjoittelu	Systemaattinen harjoittelu pienentää jitterin arvoja normaaliäänisillä (Ferrand, 1995).
<u>Mittaus</u>	
* Perturbaatioalgoritmi	Ainoastaan samalla laskukaavalla lasketut arvot ovat vertailukelpoisia.
* F0:n laskentatapa	Zero crossing -menetelmä on parempi kuin peak-picking, interpolointi parantaa tulosta (Deem, Manning, Knack & Matesich, 1989; Titze & Liang, 1993).
* Äänentallennusjärjestelmä	Häly tallennusjärjestelmässä lisää perturbaatioarvoja. Suositeltavaa on tallentaa suoraan tietokoneelle tai DAT-naururille. Kondensaattorimikrofoni on parempi kuin dynaaminen mikrofoni: mikrofonin suuntakuvio ja etäisyys vaikuttavat (Titze & Winholtz, 1993; Winholtz & Titze, 1997).
* Analyysilaitteisto	Laitekohtaiset erot vaikuttavat tulokseen (Karnell ym., 1991; Karnell ym., 1995).
* Näytteenottotaajuus	Näytteenottotaajuuden kasvaessa perturbaatio vähenee. 40 kHz riittävä (Horii, 1979).
* Näytteen kesto (=analyysi-ikkunan koko)	20–110 jaksoa on riittävä normaaliäänisillä jitterin ja shimmerin luotettavaan mittaamiseen (Karnell, 1991). Häiriöisille äänille suositellaan pitempiä näytteitä.
* Ääninäytteen mittauskohta	Näytteen keskiosassa on vähemmän perturbaatiota kuin alussa tai lopussa (Lieberman, 1961).

Bough, Heuer, Sataloff, Hills & Cater, 1996; Kent ym., 1999). Taulukkoon 2 olen koonnut eri lähteistä perturbaatioarvoihin vaikuttavia tekijöitä, jotka on aina mittattaessa huomioitava, jotta välttyään tulosten virheellisistä tulkinnoista.

Vaivattomuutensa ja noninvasiivisuutensa ansiosta akustisista mittauksista on tullut suosittuja; ne mahdollistavat tiedon keruun laajalta ihmisryhmältä. Eri klinikoiden mitaustulokset ovat kuitenkin olleet usein ristiriitaisia mm. siitä syystä, että analyysimenetelmät eivät ole olleet tutkimuksissa identtisiä (Kent ym., 2003). Esimerkiksi analysoidun fonaation kesto on saattanut vaihdella (Kay Elemetrics suosittelee 3 sekunnin mitausta näytettä). Tutkijat (esim. Bielamowicz, Kreiman, Gerratt, Dauer & Berke, 1996; Rabinov, Kreiman, Gerratt & Bielamowicz, 1995) ovat myös raportoineet akustisten mitareiden pettämisestä, kun äänen häiriöisyyden aste lisääntyy. Tämä liittyy akustisen analyysin mallien ja algoritmien teoreettisiin rajoituksiin. Jotta suurin osa esim. MDVP -ohjelman akustisista parametreista voidaan laskea, on ohjelman löydettävä luotettavasti signaalin perustaajuus (F0 extraction). Jos tämä prosessi äänen patologisuuden vuoksi epäonnistuu, muutkaan mittaukset eivät ole luotettavia. Ennen kuin eri tutkimuskeskusten tietoja voidaan täysin vertailla tai ennen kuin akustisesta analyysistä saadaan klinikoille luotettava äänihäiriöiden seulonta-tutkimuksen väline, onkin akustisen tutkimuksen menetelmät ja standardit selvitettävä perinpohjin (Karnell, 1991).

Jotta saavutettaisiin parempi yhteisymmärrys äänisignaalin akustisen analyysin metodeista ja tarkoituksesta The National Center for Voice and Speech (NCVS) on julkaissut oman suosituksensa (Titze, 1994a). NCVS on mm. suositellut, että ennen äänen analysointia on tutkittava spektrogrammilla, mikä tyyppinen äänisignaali on kyseessä. Sig-

naalit voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Titze, 1994a): 1) periodiset signaalit, joissa on vain vähän satunnaista perturbaatiota, 2) periodiset signaalit, joissa on subharmoninen rakenne ja modulaatiota sekä 3) epäperiodiset (kaoottiset) signaalit. Normaaliääniset ja suurin osa äänipolitaista kuuluvat ensimmäiseen ryhmään. Vain tähän ryhmään kuuluvat signaalit voidaan analysoida sen tyyppisillä ääniparametrianalyysillä, joita myös MDVP-ohjelma käyttää. Tämä tarkoittaa sitä, että ryhmään 2 ja 3 kuuluvia signaaleja, jotka ovat joko liian epäperiodisia, sisältävät liian paljon katkoja tai subharmonisia osia tai ovat kaoottisia, ei voida luotettavasti analysoida MDVP-ohjelmalla. Tämän tyyppisten signaalien analysointiin Titze suosittelee visuaalista (esim. spektrogrammi) ja perkeptuaalista arviointia. Se, miten päätetään, mihin ryhmään signaali kuuluu (ts. ryhmien väliset raja-arvot), on kuitenkin vielä epäselvää.

4.3. Analyysitulosten tulkinta

Instrumentaaliset analyysimenetelmät eivät automaattisesti takaa aiempaa objektiivisempaa äänitutkimusta. Analyysin potentiaalinen hyöty saadaan irti vain menetelmään perehtyneen ammattilaisen tulkitsessa tietoa mielekkäässä kontekstissa. Kun tutkitaan ihmisen käyttäytymistä teknologisin menetelmin, on muistettava, että läsnä on lukematon määrä erilaisia muuttujia. Esimerkiksi mitaukseen liittyvien tekijöiden (mm. äänityslaitteiston, mikrofonin ja äänitystilän ominaisuuksien, ks. tarkemmin taulukko 2) huomiotta jättäminen akustisen analyysin tuloksia tarkasteltaessa voi johtaa täysin virheelliseen tulkintaan, jota tietämätön ja/tai taitamaton tulkitsija voi pitää objektiivisena totuutena. Tiedon tulkitsijan on siis tiedettävä, mitä mitatut parametrien arvot kykenevät kertomaan ihmisen fysiologiasta ja mitkä te-

kijät näihin arvoihin voivat vaikuttaa.

Analyysituloksia tulkittaessa on muistettava, että fysiologisen tapahtuman ja tietyn parametrin välillä ei välttämättä ole suoraa kausaalisuuhdetta (Kay Elemetrics, 1993, 181). Esimerkiksi äänen turbulenssin tunnusluku (VTI) saattaa viitata siihen, että äänihuulet eivät sulkeudu täydellisesti, mutta parametrien arvosta ei kuitenkaan suoraan voida enustaa tätä suhdetta (Kay Elemetrics, 1993, 181). Parametrit eivät myöskään pysty ennustamaan tiettyä häiriötä tai esim. leesio-ko-koa. Esimerkiksi satunnainen äänihuul-ten pinnalla pyörivä lima voi aiheuttaa jopa suuremman äänihuul-ten värähtelyn perio- disen rytmien sekaantumisen kuin äänihuul-ten orgaaninen vaurio (esimerkiksi äänihuul- likyhyt). Tuloksia tulkittaessa on muistetta- va, että perturbaatiomittaukset kertovat pää- asiassa vain siitä, kuinka hyvin puhuja ky- kenee säilyttämään fonaatioelintensä (mm. hengityselimistö, kurkunpään) muodon muuttumattomana tuottaakseen mahdolli- simman tasaisen äännön (Orlikoff 1995). Terveäänisille tämä on monesti helpompaa kuin äänihäiriöisille. Äänitystilanteessa on lisäksi huomioitava, että esimerkiksi tehtä- vän jännittäminen, saattaa vaikuttaa koehen- kilön fonaation tasaisuuteen (Mendoza & Carballo, 1998). Sekä tutkittavien ryhmien sisäisen että yksilöiden peräkkäisten ääntö- jen vaihtelun on todettu olevan suurta (Kent ym., 2003; Sellman, 2000). Äänitystilantees- sa onkin pystyttävä päättämään, mikä näyte on edustava eli kuvaa parhaiten juuri kysei- sen potilaan ääntä. Toisaalta suuri paramet- rien arvojen vaihtelu peräkkäisissä äännöissä on sinällään arvokas havainto, koska se ker- too potilaan vaikeuksista kontrolloida omaa ääntään (Kent ym., 2003). Akustisen ana- lyysin tulosten tulkinta perustuu aina kuu- lohavaintoon, siksi klinikon havainnointitai- dot ovat edelleen välttämättömiä ja tarpeelli- sia teknologian meilte suomasta automaatti-

sesta tiedonkäsittelystä huolimatta (ks. esim. Koschke & Rammage, 1997).

Myös kuntoutuksen seurantatutkimuksissa on ymmärrettävä akustisen analyysin rajoit- tukset ja pidettävä mielessä, että numeerisen arvon suureneminen tai pieneneminen ei si- nällään todista asiakkaan äänihäiriön paran- tumista tai pahentumista (ks. esim. Sellman, 2000). Koska ilmvirtaa ja painetta tuotetaan ja kontrolloidaan useilla lihaksilla, puhuja voi saada aikaiseksi samanlaisen akustisen vaikutelman fysiologisesti erilaisilla tavoilla. Esimerkiksi perustajuutta voidaan vaihdel- la joko subglottaalista painetta muuttamal- la tai cricothyroideus-lihasta supistamalla (Cooper ym., 1993). Akustiset mittau- tukset reagoivat kuitenkin ainoastaan äänen akustiseen laatuun, eivät tuottotapaan. Myös pienetkin äänenpainetason vaihtelut vaikut- tavat jitterin, shimmerin ja NHR:n arvoihin, mikä tarkoittaa sitä, että verrattaessa saman tai eri puhujan näytteitä toisiinsa tulisi ää- nenpainetaso vakioida (Dejonckere, 1998). Kliinisisä kuntoutustutkimuksissa asiakkaan äänen voimakkuuden ja korkeuden manipu- lointi mittaustilanteessa saattaa kuitenkin ai- heuttaa virhelähteen kuntoutuksen tuloksia arvioitaessa. Äänen voimakkuuden muutos- han voi olla yksi kuntoutuksen konkreetti- nen tulos (esim. hypofunktionaalisen äänen kuntoutus). Mikäli puhuja joutuu terapian jälkeisessä mittaustilanteessa esim. hiljentä- mään äänen voimakkuutensa ennen terapi- aa olleelle tasolle, ei analyysitulokset kerro pal- joakaan tämän asiakkaan äänenlaadun muu- toksista tai kuntoutuksen tuloksista.

5. LOPUKSI

Multi Dimensional Voice Program -ohjel- maa on suhteellisen helppo ja nopea käyt- tää: muutamalla näppäimellä saadaan ääni- tetyksi korkealaatuinen näyte, josta kone yh- dellä käskyllä automaattisesti laskee useita eri

parametreja, jotka se esittää numeerisesti ja graafisesti. Akustisen analyysin rajoitukset on kuitenkin ymmärrettävä ja muistettava, että akustista analyysiä käytetään kuulohavainnon tukena. Kliinisesti relevantti tietoa äänen laadun muutoksista saadaan yhtä hyvin, jopa paremmin, kliinikon auditiivisen arvion kautta kuin MDVP-ohjelman avulla. Ohjelman avulla voi toki tarkistaa tai tarkentaa omaa kuulohavaintoaan. Oman käyttäjäkokemukseni ja tutkimukseni (Sellman, 2000) perusteella voin todeta, että ohjelma on ”oikeissa käsissä” käyttökelpoinen, mutta ei kuitenkaan välttämätön työväline kliinisessä työssä. Äänihäiriöiden seulontaan ohjelmaa ei myöskään yksinään voida käyttää. Välttämättömäksi akustinen analyysi tulee siinä tapauksessa, mikäli numeerisen tiedon arvostaminen korostuu. Myös vertaileva äänitutkimus kaipaa numeerista (ns. objektiivista) tietoa, jota MDVP-ohjelma toki monipuolisesti tarjoaa.

Äänen epäsäännöllisyys (irregularity), johon yleisesti viitataan käsitteellä perturbaatio, on pitkään ollut äänitutkimuksen ja varsinkin äänihäiriöiden tutkimuksen mielenkiinnon kohteena (Baken, 1990). Suurin osa nykyisistä perturbaatiomittareista mittaa peräkkäisten äänihuulivärähtelyjaksojen periodien tai amplitudien välisten erojen keskiarvoa, eivätkä ne näin ollen kvantifioi äänen epäsäännöllisyyttä, vaan pikemminkin äänen vaihtelua (variability) (Baken, 1990). Nykyiset jitter- ja shimmermittaukset eivät siis kykene erottamaan, onko äänisignaalin häly (noise) ns. kaoottista (determinististä ja nonlinearista) vai täysin satunnaista (random) perturbaatiota (Titze ym., 1993). Äänihuulivärähtelyn monimutkaisuuden ja perturbaatiomittausten ongelmat ja haasteet tiedostaen tutkijat pyrkivät jatkuvasti parantamaan ja tarkentamaan äänihuulivärähtelyä kuvaavia fysiologisia ja biomekaanisia malleja, jotta ne vastaisivat yhä paremmin todel-

lisuutta. Nonlineaarisen dynamiikan teoriaa yhdessä fraktaaligeometrian kanssa on sovellettu sellaisten värähtelevien biologisten ilmiöiden, kuten aivojen sähköisen aktiviteetin, hengityksen ja sydämen rytmin selityksissä. Titze ym. (1993) toteavat, että myös äänitiede ja varsinkin patologisen äänen ymmärtäminen hyötyvät nonlinearisen dynamiikan teoriaa ja fraktaaligeometriaa yhdistävistä analyysimenetelmistä, koska niiden avulla pystytään paremmin mittaamaan nimenomaan äänihuulivärähtelyn epäsäännöllisyyttä (irregularity). Ennen kliinisiä sovelluksia, on tutkijoiden kuitenkin selvitettävä kunkin yksittäisen, äänihuulten epäsäännöllistä värähtelyä aiheuttavan ilmiön (esim. liman, äänihuulten massan geometrisen tai mekaanisen epäsymmetrian; ks. taulukko 2) osuus ja vaikutus akustiseen signaaliin. Vastatämän jälkeen akustisten analyysiohjelmien perturbaatioparametrejä voidaan Titzen ym. (1993) mukaan täsmentää ja valita kliiniseen käyttöön parhaiten soveltuvat mittarit.

Kun MDVP-ohjelmaa käytetään tiettyä varovaisuutta ja huolellisuutta noudattaen yhtenä kokonaisvaltaisen äänianalyysin osana, se voi tarjota tärkeää uutta tietoa äänihäiriöistä (Kent ym., 2003; Sellman, 2000). Akustinen analyysiohjelma, joka kykenee paljastamaan äänisignaalista, mikä aiheuttaa epäsäännöllisen äänihuulivärähtelyn, on kuitenkin edelleen vain haave. Haastavinta onkin analyysitulosten mielekäs tulkinta ja eri havaintojen yhdistäminen, mikä mahdollistaa äänen ja kurkunpään toiminnan syvemmän ymmärtämisen.

VIITTEET

- Baken, R.J. (1987). *Clinical measurement of speech and voice*. Boston: Little, Brown and Company.
- Baken, R.J. (1990). Irregularity of vocal period and amplitude: a first approach to the fractal analysis of voice. *Journal of Voice*, 4, 185–197.
- Banci, G., Monini, S., Falaschi, A. & De Sario (1986). Vocal fold disorder evaluation by digital speech analysis. *Journal of Phonetics*, 14, 495–499.
- Benjamin, B. J. (1981). Frequency variability in the aged voice. *Journal of Gerontology*, 36, 722–726.
- Biever, D.M. & Bless, D.M. (1989). Vibratory characteristics of the vocal folds in young adult and geriatric women. *Journal of Voice*, 3, 120–131.
- Bielamowicz, S., Kreiman, J., Gerratt, B.R., Dauer, M.C. & Berke, G.S. (1996). Comparison of voice analysis systems for perturbation measurement. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 126–134.
- Bloothoof, G. van Dommelen, W., Espain, C., Hazan, V., Huckvale, M. & Wigforss, E. (toim.) (1998). *The landscape of future education in speech communication sciences. 2. Proposals*. Utrecht: Institute of Linguistics OTS.
- Bough, I.D. Jr., Heuer, R.J., Sataloff, R.T., Hills, J.R. & Cater, J.R. (1996). Intrasubject variability of objective voice measures. *Journal of Voice*, 10, 166–174.
- Campisi, P., Tewfik, T.L., Manoukian, J.J., Schloss, M.D., Pelland-Blais, E. & Sadeghi, N. (2002). Computer-assisted voice analysis: Establishing a pediatric database. *Archives of Otolaryngology – Head & Neck Surgery*, 128, 156–160.
- Childers, D.G., Hicks, D.M., Moore, G.P. & Al-saka, Y.A. (1986). A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80, 1309–1320.
- Cooper, D.S., Partridge, L.D. & Alipour-Haghighi, F. (1993). Muscle energetics, vocal efficiency, and laryngeal biomechanics. Kirjassa I.R. Titze (toim.) *Vocal fold physiology. Frontiers in basic science*, San Diego: Singular Publishing Group, 37–92.
- Deem, J.F., Manning, W.H., Knack, J.V. & Matesich, J.S. (1989). The automatic extraction of pitch perturbation using microcomputers: some methodological considerations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 689–697.
- Dejonckere, P.H. (1998). Effect of louder voicing on acoustical measurement in dysphonic patients. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 23, 79–84.
- Deliyski, D. (1993). Acoustic model and evaluation of pathological voice production. *Multi Dimensional Voice Program Operations Manual*, 183–186.
- Deliyski, D., Orlikoff, R.F. & Kahane, J.C. (1991). Multi-Dimensional acoustic analysis of spasmodic dysphonia. *Multi-Dimensional Voice Program Operations Manual*, 187–192.
- Fant, G. (1970). *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- Ferrand, C.T. (1995). Effects of practice with and without knowledge of results on jitter and shimmer levels in normally speaking women. *Journal of Voice*, 9, 419–423.
- Hammarberg, B. (1986). *Perceptual and acoustic analysis of dysphonia*. Studies in Logopedics and Phoniatrics No. 1. Huddinge University Hospital. Stockholm.
- Hill, D.P., Meyers, A.D. & Scherer, R.C. (1990). A comparison of four clinical techniques in the analysis of phonation. *Journal of Voice*, 4, 198–204.
- Hirano, M., Hibi, S., Terasawa, R. & Fujii, M. (1986). Relationship between aerodynamic, vibratory, acoustic and psychoacoustic correlates in dysphonia. *Journal of Phonetics*, 14, 445–456.
- Hiraoka, N., Kitazoe, Y., Ueta, H., Tanaka, S. & Tanabe, M. (1984). Harmonic-intensity analysis of normal and hoarse voices. *Journal of Acoustical Society of America*, 76, 1648–1651.
- Horii, Y. (1979). Fundamental frequency perturbation observed in sustained phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 22, 5–19.
- Hurme, P. & Sonninen, A. (1986). Acoustic, perceptual and clinical studies of normal and dysphonic voice. *Journal of Phonetics*, 14, 489–492.
- Ishizaka, K. & Flanagan, J.L. (1972). Synthesis of Voiced Sounds From a Two-Mass Model of the Vocal Cords. Kirjassa J.L. Flanagan & L.R. Rabiner (toim.). *Speech Synthesis*, 148–183.

- Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross.
- Iwata, S. & Von Leden H. (1970). Pitch perturbations in normal and pathologic voices. *Folia Phoniatica*, 22, 413–424.
- Jafari, M., Till, J.A., Truesdell, L.F., Law-Till, S.B. (1993). Time-shift, trial, and gender effects on vocal perturbation measures. *Journal of Voice*, 7, 326–336.
- Karnell, M.P. (1991). Laryngeal perturbation analysis: minimum length of analysis window. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 544–548.
- Karnell, M.P., Hall, K.D. & Landahl K.L. (1995). Comparison of fundamental frequency and perturbation measurements among three analysis systems. *Journal of Voice*, 9, 383–393.
- Karnell, M.P., Scherer, R.S. & Fisher, L.B. (1991). Comparison of acoustic voice perturbation measures among three independent voice laboratories. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 781–790.
- Kay Elemetrics Corp. (1993). Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) Model 4305. Operations Manual.
- Kay Elemetrics Corp. (1999). Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) Model 5105, Version 2.0. Software Instruction Manual.
- Kent, R.D., Weismer, G., Kent, J.F., Vorperian H.K. & Duffy, J.R. (1999). Acoustic studies of dysarthric speech: methods, progress, and potential. *Journal of Communication Disorders*, 32, 141–186.
- Kent, R.D., Kent, J.F., Duffy, J.R., Thomas, J.E., Weismer, G. & Stuntebeck, S. (2000). Ataxic dysarthria. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 43, 1275–1289.
- Kent, R.D., Vorperian, H.K., Kent, J.F., & Duffy J.R. (2003). Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program™. *Journal of Communication Disorders*, 36, 281–306.
- Koschke, D.L. & Rammage, L. (1997). *Voice care in the medical setting*. San Diego-London: Singular Publishing Group, Inc.
- Lieberman, P. (1961). Perturbation in vocal pitch. *Journal of The Acoustical Society of America*, 33, 597–603.
- Lieberman, P. (1963). Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathologic larynges. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 344–353.
- Linville, S.E. (1987). Acoustic-perceptual studies of aging voice in women. *Journal of Voice*, 1, 44–48.
- Linville, S.E. & Korabic, E. (1987). Fundamental frequency stability characteristics of elderly women's voices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1196–1199.
- Mathieson, L. (2000). Normal-disordered continuum. Kirjassa R.D. Kent & M. J. Ball (toim.) *Voice quality measurement*, 3–12, San Diego: Singular.
- Mendoza, E. & Carballo, G. (1998). Acoustic analysis of induced vocal stress by means of cognitive workload tasks. *Journal of Voice*, 12, 263–273.
- Milenkovic P. (1987). Least mean square measures of voice perturbation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 529–538.
- Orlikoff, R.F. (1995). Vocal stability and vocal tract configuration: an acoustic and electroglottographic investigation. *Journal of Voice*, 9, 173–181.
- Orlikoff, R.F. & Baken, R.J. (1990). Consideration of the relationship between the fundamental frequency of phonation and vocal jitter. *Folia Phoniatica*, 42, 31–40.
- Orlikoff, R.F. & Kahane, J.C. (1991). Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures. *Journal of Voice*, 5, 113–119.
- Parsa, V. & Jamieson, D.G. (2001). Acoustic discrimination of pathological voice: Sustained vowels versus continuous speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44, 327–339.
- Pützer, M. (2001). Multiparametrische Stimmqualitätserfassung männlicher und weiblicher Normalstimmen. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 53, 73–84.
- Rabinow, R.C., Kreiman, J., Gerratt, B.R. & Bielamowicz, S. (1995). Comparing reliability of perceptual ratings of roughness and acoustic measures of jitter. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 26–32.
- Rantala, L. (2000). Ääni työssä. Naisopettajien äänenkäyttö ja äänen kuormittuminen. Väitöstyö. Acta Universitatis Ouluensis B Humaniora 37. Oulun yliopisto.
- Schoentgen, J. (1989). Jitter in sustained vowels and isolated sentences produced by dysphonic

- speakers. *Speech Communication*, 8, 61–79.
- Schoentgen, J. & de Guchteneere, R. (1995). Time series analysis of jitter. *Journal of Phonetics*, 23, 189–201.
- Schutte, H. & Seidner, W. (1983). Recommendations by the Union of European Phoniatrians (UEP): standardizing voice area measurements/phonetography. *Folia Phoniatrica*, 35, 286–288.
- Sorensen, D. & Horii, Y. (1983). Frequency and amplitude perturbation in the voices of female speakers. *Journal of Communication Disorders*, 16, 57–61.
- Stemple, J.C. (1993). Voice research: so what? A clearer view of voice production, 25 years of progress; the speaking voice. *Journal of Voice*, 7, 293–300.
- Sussman, J.E. & Sapienza, C. (1994). Articulatory, developmental and gender effects on measures of fundamental frequency and jitter. *Journal of Voice*, 8, 145–156.
- Ternstrom, S., Sundberg, J. & Collden, A. (1988). Articulatory F0 perturbations and auditory feedback. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31, 187–192.
- Titze, I.R. (1989). A four-parameter model of the glottis and vocal fold contact area. *Speech Communication*, 8, 191–201.
- Titze, I.R. (1994a). Workshop on Acoustic Voice Analysis, Summary Statement. Iowa City. The National Center for Voice and Speech for the National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, The University of Iowa. <http://www.ncvc.org/ncvc/info/rescol/index.html>
- Titze, I.R. (1994b). *Principles of voice production*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Titze, I.R., Baken, R.J. & Herzel, H. (1993). Evidence of chaos in vocal fold vibrations. Kirjas-I.R. Titze (toim.) *Vocal fold physiology. Frontiers in basic science*, San Diego: Singular Publishing Group, 143–188.
- Titze, I.R., Horii, Y. & Scherer, R.C. (1987). Some technical considerations in voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 252–260.
- Titze, I.R. & Liang, H. (1993). Comparison of F0 extraction methods for high-precision voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 1120–1133.
- Titze, I.R. & Sundberg, J. (1992). Vocal intensity in speakers and singers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 2936–2946.
- Titze, I.R. & Winholtz, W.S. (1993). Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 1177–1190.
- Treole, K. & Trudeau, M.D. (1997). Changes in sustained production tasks among women with bilateral vocal nodules before and after voice therapy. *Journal of Voice*, 11, 462–469.
- Zwirner, P., Murry, T. & Woodson, G.E. (1991). Phonatory function of neurologically impaired patients. *Journal of Communication Disorders*, 24, 287–300.
- Zyski, B.J., Bull, G.L., McDonald, W.E. & Johns, M.E. (1984). Perturbation analysis of normal and pathologic larynges. *Folia Phoniatrica*, 36, 190–198.
- Vanas, C.J., Hilgers, F.J.M., Verdonckdeleuw, I.M. & Koopmans-van Beinum, F.J. (1998). Acoustical analysis and perceptual evaluation of tracheoesophageal prosthetic voice. *Journal of Voice*, 12, 239–248.
- Wilcox K. & Horii Y. (1980). Age and changes in vocal jitter. *Journal of Gerontology*, 35, 194–198.
- Winholtz, S.W. & Titze, I.R. (1998). Suitability of minidisk (MD) recordings for voice perturbation analysis. *Journal of Voice*, 12, 138–142.
- Yiu, E., Worrall, L., Longland, J. & Mitchell, C. (2000). Analyzing vocal quality of connected speech. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 14, 295–305.

Painamattomat lähteet

- Mäenniemi, R. (2000). Suomalaisen naisäänen akustiset normiarvot. Pro gradu –tutkielma. Suomen ja saamen kielen ja logopedian laitos, Oulun yliopisto.
- Piirto, H. (1999). Vokaalilaadun vaikutus äänen akustiseen analyysiin. Pro gradu –tutkielma. Fonetikan laitos. Helsingin yliopisto.
- Sellman, J. (2000). Moniulotteinen akustinen analyysi äänen laadun seurannassa ja äänipoltilaiden seulonnassa. Multi-Dimensional Voice Program™ (MDVP) –ohjelman tarkastelua neljän osatutkimuksen avulla. Lisensiaatintyö. Fonetikan laitos. Helsingin yliopisto.

MULTI-DIMENSIONAL VOICE PROGRAM™ IN EVALUATION OF VOICE DISORDERS

Jaana Sellman, Department of Speech Sciences, University of Helsinki, Finland

Multi-parameter acoustic analysis is a promising tool in assessing voice quality. In this article, one widely used acoustic program (Multi-Dimensional Voice Program™) is introduced. The application of MDVP in the assessment of voice disorders is discussed. In addition, some general benefits and challenges of acoustic analysis are presented. Issues like sources of perturbation, normative threshold values, and the interpretation of the numerical results are also discussed.

Keywords: voice analysis, MDVP, acoustic analysis, voice disorders, perturbation