

De invloed van intensiteit op akoestische stemkwaliteitsmetingen

Evy Lebbe¹, Jo Verstraete¹, Jan Deklerck¹, Youri Maryn²

¹*Katholieke Hogeschool Brugge-Oostende (KHBO), opleiding Logopedie en Audiologie, Brugge*

²*AZ Sint-Jan Brugge-Oostende AV, Dienst voor Neus-, Keel- en Oorzaken & Gelaat- en Halschirurgie, Dienst voor Logopedie en Audiologie, Brugge*

Samenvatting

Om de stemkwaliteit te bepalen in het klinisch stemonderzoek, wordt er frequent gebruik gemaakt van diverse akoestische metingen. Dit gebeurt meestal op een aangehouden klinker, geproduceerd op een comfortabele toonhoogte en intensiteit. In het huidige onderzoek wordt de invloed van verschillende geluidsintensiteiten op de akoestisch gemeten stemkwaliteit onderzocht.

Veertig adolescenten/volwassenen werden gevraagd om de klinkers [a:], [i:] en [u:] aan te houden op 70, 80, 90 en 100 dB SPL. Hiervan werd er telkens een digitale opname gemaakt en uit iedere opname werden er drie seconden geëxtraheerd om akoestisch te analyseren en de volgende negen metingen te bepalen: jitter local, jitter rap, jitter ppq5, shimmer local, shimmer local dB, shimmer apq11 en mean noise-to-harmonics ratio (NHR) in het programma Praat; en cepstral peak prominence (CPP) en smoothed cepstral peak prominence (CPPS) in het programma SpeechTool.

Uit de resultaten blijken er vrijwel uitsluitend significante verschillen te zijn tussen de vier intensiteitsniveaus, ongeacht de klinker waarop gefoneerd werd. Enkel bij NHR en CPPS zijn er niet-significante verschillen tussen de intensiteitsniveaus gevonden.

Op basis van dit onderzoek kan besloten worden dat de intensiteit waarmee gefoneerd wordt een belangrijke variabele is in het akoestisch onderzoek van stemkwaliteit. Het is dus belangrijk om deze variabele zo veel als mogelijk te controleren tijdens klinisch stemonderzoek.

Summary

Acoustic analysis of vowel recordings is common practice in clinical assessment of voice quality. In this study, the influence of sound intensity on several acoustic measures was investigated.

Forty adolescent or adult participants were asked to sustain the vowels [a:], [i:] and [u:] on four sound intensity levels: 70, 80, 90 and 100 dB SPL. The medial three seconds from

the digital recordings of these vowel productions were extracted and analyzed to yield the next nine acoustic measures: jitter local, jitter rap, jitter ppq5, shimmer local, shimmer local dB, shimmer apq11 and mean noise-to-harmonics ratio (NHR) in the program Praat; and cepstral peak prominence (CPP) and smoothed cepstral peak prominence (CPPS) in the program SpeechTool.

Regardless of the vowel, and except for NHR and CPPS, the data of the acoustic measures differed significantly between sound intensity levels. The results indicate improved voice quality with increasing sound intensity.

Sound intensity is an important variable in the acoustic assessment of voice quality/dysphonia, one that should be controlled during clinical voice examination.

Inleiding

Tijdens het klinisch stemonderzoek wordt er vaak beroep gedaan op diverse akoestische metingen, teneinde de stemkwaliteit objectief te evalueren en subtiele onregelmatigheden in de stemgeving te detecteren (Brockmann et al., 2009). Deze akoestische metingen vormen hiermee een belangrijke aanvulling op de subjectieve auditief-perceptuele beoordeling. Reeds vele jaren kunnen de signaalverwerking en de akoestische metingen gebeuren aan de hand van diverse computerprogramma's. Hierdoor kan het stemgeluid eenvoudig, niet-invasief en relatief goedkoop onderzocht worden (Brockmann et al., 2009; Maryn et al., 2009a).

Traditioneel zijn de perturbatiemetingen in het tijd-domein (e.g., jitter en shimmer) de meest gebruikte metingen (Awan & Roy, 2009). De face-validiteit van deze metingen berust vooral op het feit dat door een stemstoornis de aperiodiciteit in de stemplooi-trilling en dus ook in het stemgeluidssignaal toeneemt. Wil men dus de ernst van een stemstoornis en de impact daarvan op de stemkwaliteit kwantificeren, kan men zogenaamde perturbatiemetingen zoals jitter en shimmer aanwenden (Brockmann et al., 2009). Hoe hoger de jitter (hoe groter de verschillen in periode tussen opeenvolgende stemplooi-cycli) of de shimmer (hoe groter de verschillen in intensiteit tussen opeenvolgende stemplooi-cycli), hoe heeser de stem klinkt (Maryn et al., 2009a). Daarnaast zijn er akoestische methodes die het stemgeluid in het frequentie-domein analyseren. De harmonic-to-noise-ratio (HNR), bijvoorbeeld, meet de verhouding tussen harmonische energie en interharmonische energie (ruis) ter hoogte van bepaalde frequenties. Het reflecteert dus de relatieve aperiodiciteit of de ruis in relatie tot de periodische of harmonische componenten van het stemsignaal (Ma & Yiu, 2005). Hoe hoger de HNR-waarde, hoe gunstiger de energieverdeling en dus hoe beter de stemkwaliteit, en vice versa (Boersma, 2004). Tenslotte zijn er ook methodes om het stemgeluid in het cepstrum te analyseren. In dat geval wordt er gemeten in het frequentie-domein. Om een cepstrum te bekomen, dient er een Fouriertransformatie te gebeuren van het logaritme van de magnitude van het spectrum. Het is dus eigenlijk een inverse spectrum. De meest beschreven cepstrale stemkwaliteitsmetingen zijn cepstral peak prominence (CPP) en smoothed cepstral peak prominence (CPPs) (Hillenbrand et al., 1994; Hillenbrand & Houde, 1996; Heman-Ackah et al., 2003). Een recente meta-analyse van de mate waarin diverse akoestische metingen correleren met de algemene ernst van heesheid (de mate waarin ze valide zijn) duidt CPPs aan als

meest valide metingen, met bruikbaarheid in zowel aangehouden vocalen als doorlopende spraak (Maryn et al., 2009b).

Praktijkervaring evenals empirische bevindingen wijzen op een belangrijke invloed die dergelijke akoestische metingen kunnen ondervinden van de intensiteit waarop gefoneerd wordt. Zo bleek uit onderzoek van Brockmann et al. (2009) reeds dat de perturbatiemetingen vooral beïnvloed worden door de intensiteit (in vergelijking met de geproduceerde klank, het geslacht en de fundamentele frequentie). Ze vonden zowel bij gezonde als bij pathologische stemmen dat de perturbatiewaarden dalen bij toename van intensiteit, vooral boven 80 dB SPL. Het blijkt dus om een belangrijke invloed te gaan, waar rekening mee moet worden gehouden tijdens het klinisch stemonderzoek. Onderzoeksdata op verschillende momenten verzameld, kunnen namelijk een verkeerd beeld schetsen van evolutie door de invloed van luider/stiller foneren. Het is bijgevolg noodzakelijk om de studie van Brockmann et al. (2009) op dat vlak te repliceren en om na te gaan of de invloed van de intensiteit op de stemkwaliteit significant is.

De huidige onderzoeksvraag luidt daarom als volgt: hebben verschillende vocale intensiteiten (70, 80, 90 en 100 dB SPL) tijdens verschillende aangehouden vocalen ([a:], [i:] en [u:]) een significante invloed op de uitkomst van de akoestische metingen jitter, shimmer, HNR, CPP en CPPs? De hypothese hierbij is dat toename in intensiteit zorgt voor verbetering in akoestische data (lagere jitter- en shimmerwaarden, en hogere HNR-, CPP- en CPPs-waarden).

Methode

Proefpersonen

De proefgroep bestond oorspronkelijk uit 40 Vlaamse adolescenten en volwassenen zonder stemproblemen. Het betrof enerzijds studenten van de KHBO en anderzijds mensen die mondeling of via e-mail gecontacteerd werden. Er waren 13 mannen en 27 vrouwen met een leeftijd tussen 15 en 60 jaar. De volgende factoren golden als exclusiecriteria: voorgeschiedenis met stemproblemen, tracheale intubatie en/of oncologische behandeling in hoofd- en halsgebied, gepercipieerde heesheid op het moment van de opname, jitter > 5% (Titze, 1995), er na training niet in slagen om minstens 3 seconden te foneren op een stabiele intensiteit. Dit leidde tot de exclusie van 4 personen, waarna er nog 36 deelnemende proefpersonen overbleven. Er werd geen laryngoscopie gedaan om alsnog eventuele stemplooiopathologie uit te sluiten.

Geluidsopnames

Teneinde de invloed van achtergrondlawaai te minimaliseren, werden alle geluidsopnames in dezelfde anechoïsche ruimte gemaakt. Het betrof een audiometrische cabine als stemonderzoeklokaal op de Dienst voor Neus-, Oor- en Keelziekten & Gelaat- en Halschirurgie van het AZ Sint-Jan Brugge-Oostende AV te Brugge. Teneinde stabiele mond-tot-microfoon-afstand

te garanderen, werd er gebruik gemaakt van een AKG C420 op het hoofd geplaatste condensatormicrofoon (AKG Acoustics, München, Duitsland). De opnames gebeurden in verschillende sessies, hoofdzakelijk in de voormiddag. Om praktische redenen werden er ook enkele opnames in de namiddag gepland. Iedere proefpersoon hield rechtstaand de drie vocalen [a:], [i:] en [u:] gedurende minimum drie seconden aan op vier verschillende intensiteiten: 70, 80, 90 en 100 dB SPL. Om de intensiteit te controleren, werd er gebruik gemaakt van real-time visuele biofeedback via het computerprogramma Real-Time Pitch (KayPentax, Lincoln Park, NJ, VSA). Dit liet de proefpersonen toe om de eigen intensiteit continu op te volgen en gedurende minstens drie seconden stabiel te houden in een zone van -2 dB SPL tot +2 dB SPL rond de vooropgestelde intensiteit. Indien niet meer op 70 dB SPL of 100 dB SPL gefoneerd kon worden, werd er gemeten op het minimaal of maximaal te bereiken intensiteitsniveau, respectievelijk. Om een systematisch vermoeibaarheidseffect uit te schakelen, werd de volgorde van de klinkers en de intensiteiten gerandomiseerd. Per proefpersoon werden er dus met Real-Time Pitch twaalf mediale vocaalsegmenten opgenomen en in wav-formaat opgeslagen.

Akoestische analyses

De volgende akoestische metingen werden bepaald voor de 432 opnames in deze studie: jitter local, jitter rap, jitter ppq5, shimmer local, shimmer local dB, shimmer apq11 en mean HNR met behulp van het computerprogramma Praat (Paul Boersma, Instituut voor Fonetische Wetenschappen, Amsterdam, Nederland), en CPP en CPPs met behulp van de 'CPPah'-functie (cepstrale analyse voor aangehouden vocalen) in het computerprogramma SpeechTool (James Hillenbrand, Western Michigan University, Kalamazoo, MI, VSA).

Statistische analyses

De akoestische data werden statistisch geanalyseerd met behulp van het computerprogramma SPSS for Windows versie 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, VSA). De verschillen tussen de vier intensiteiten werden onderzocht door middel van de parametrische t-test voor gepaarde steekproeven met als nulhypothese (Dassen & Keuning, 2009): per vocaal en per akoestische meting hebben de verschillende steekproefparen (70-80 dB SPL, 80-90 dB SPL, en 90-100 dB SPL) dezelfde gemiddelden. Twee steekproeven worden als statistisch significant verschillend beschouwd bij $p < 0,05$.

Resultaten

Tijdens de opname van de stemsamples viel op dat niet iedereen 70 dB SPL en 100 dB SPL kon bereiken of gedurende 3 seconden stabiel kon aanhouden binnen de zone van 4 dB SPL. Dit was het geval bij 14 van de 36 proefpersonen. Deze stemsamples werden dan ook soms boven de grens van +2 dB opgenomen. Wie niet op 100 dB kon foneren, werd gevraagd om zo luid mogelijk te foneren zonder rekening te houden met de grenzen. De bereikte intensiteit werd niet opgemeten.

Al de resultaten van deze studie worden samengevat in Tabel 1. Zoals blijkt uit de verschillen tussen de gepaarde metingen, is er in het algemeen een betere stemkwaliteit (lagere perturbatiewaarden en hogere HNR- en cepstrale piekwaarden) wanneer de vocale intensiteit toeneemt, met de minst goede waarden voor 70 dB SPL en de beste waarden voor 100 dB SPL. Voor alle vocalen is er in het geval van alle perturbatiemetingen en alle CPP-waarden een significant verbeterde gemiddelde waarde per toename van 10 dB SPL. Ook de HNR-data tonen meestal significant verbeterde gemiddelde waarden met toegenomen intensiteit. Uitzonderingen hier zijn de niet-significante stijging in HNR van 80 dB SPL naar 90 dB SPL voor [a:] en de niet-significante stijgingen in HNR van 90 dB SPL naar 100 dB SPL voor [i:] en [u:]. Tenslotte valt er voor de CPPs-waarden een plafondeffect op bij alle vocalen, met significante stijging in CPPs van 70 dB SPL naar 80 dB SPL en van 80 dB SPL naar 90 dB SPL, maar met significante daling van 90 dB SPL naar 100 dB SPL.

Uit de standaarddeviaties blijkt bovendien dat voor de meeste perturbatiemetingen bij de meeste vocalen de variabiliteit tussen proefpersonen afneemt naarmate de intensiteit toeneemt. Voor de andere metingen blijkt eerder een omgekeerde trend, en neemt de variabiliteit tussen proefpersonen toe bij toenemende intensiteit.

Discussie

In het algemeen kan gesteld worden dat intensiteit een belangrijke factor is in de akoestische metingen van ernst van dysfonie. De volgende regel kan hierin gehanteerd worden: hoe luid er gefoneerd/gesproken wordt, hoe beter/helderder/minder hees de stem klinkt, en vice versa. De verklaring voor dit fenomeen dienen we te zoeken in de fysiologie van de stemplooiën en hun activiteit tijdens verschillende intensiteiten. Bij luidere fonatie neemt de subglottale luchtdruk toe, stijgt de intrinsieke stemplooi spanning en vergroot de amplitude van de stemplooi bewegingen (Jiang et al., 2000). Dit zorgt enerzijds voor snellere adductiebewegingen en stevigere contacten tussen de stemplooiën, waardoor harmonischen zich gemakkelijker kunnen ontwikkelen. Anderzijds neemt met luidere stemgeving de variabiliteit in verschillende aspecten van de stemplooi trillingen af, waardoor het stemgeluid minder geperturbeerd is. Brockmann et al. (2008) wijzen in dit verband op de kritische drempel van 80 dB SPL.

In het kader van standaardisatie is het dus belangrijk om rekening te houden met de intensiteit waarop tijdens het stemonderzoek gefoneerd wordt. Brockmann et al. (2008) stellen daarom voor om de volgende methode strikt te volgen: stemgeven op [a:], met een mondtot-microfoonafstand van 10 cm, en met een intensiteit van minimum 80 dB SPL. Het huidige onderzoek wijst er echter op dat niet iedereen eenzelfde intensiteit kan bereiken en aanhouden. Zo hadden sommige proefpersonen moeite om op 100 dB SPL te foneren, en slaagden anderen er niet in om aanhoudend op 70 dB SPL te foneren. Bovendien heeft iedereen een eigen habituele spreekintensiteit (Baken & Orlikoff, 2000) en kan verondersteld worden dat men bij een bewuste afwijking van die intensiteit (e.g., systematisch boven 80 dB SPL) onnatuurlijk

Tabel 1: Figuur 1. De gemiddelde waarden (μ) en standaarddeviaties (σ) van de steekproeven per akoestische meting en per vocaal en de overeenkomstige significantieniveaus (p) uit de gepaarde t-toetsen per paar van intensiteiten.

	$\mu[\sigma]_{(70d\ BSPL)}, \mu[\sigma]_{(80d\ BSPL)} - p$	$\mu[\sigma]_{(80d\ BSPL)}, \mu[\sigma]_{(90d\ BSPL)} - p$	$\mu[\sigma]_{(90d\ BSPL)}, \mu[\sigma]_{(100d\ BSPL)} - p$
Jitter local - [a:]	0,76[0,50], 0,47[0,26] - 0,003	0,47[0,26], 0,35[0,24] - 0,034	0,35[0,24], 0,21[0,13] - 0,001
Jitter local - [i:]	0,81[0,76], 0,38[0,19] - 0,002	0,38[0,19], 0,25[0,25] - 0,017	0,25[0,25], 0,12[0,07] - 0,002
Jitter local - [u:]	0,68[0,40], 0,43[0,27] - 0,004	0,43[0,27], 0,29[0,23] - 0,003	0,29[0,23], 0,17[0,11] - 0,003
Jitter rap - [a:]	0,44[0,32], 0,27[0,16] - 0,005	0,27[0,16], 0,20[0,15] - 0,036	0,20[0,15], 0,11[0,08] - 0,002
Jitter rap - [i:]	0,47[0,48], 0,22[0,13] - 0,003	0,22[0,13], 0,15[0,17] - 0,046	0,15[0,17], 0,06[0,04] - 0,003
Jitter rap - [u:]	0,39[0,26], 0,25[0,16] - 0,006	0,25[0,16], 0,17[0,14] - 0,004	0,17[0,14], 0,10[0,07] - 0,004
Jitter ppq5 - [a:]	0,45[0,24], 0,28[0,16] - 0,001	0,28[0,16], 0,21[0,14] - 0,030	0,21[0,14], 0,12[0,08] - 0,001
Jitter ppq5 - [i:]	0,46[0,39], 0,22[0,10] - 0,001	0,22[0,10], 0,14[0,12] - 0,003	0,14[0,12], 0,07[0,04] - 0,001
Jitter ppq5 - [u:]	0,38[0,18], 0,25[0,15] - 0,001	0,25[0,15], 0,17[0,14] - 0,008	0,17[0,14], 0,10[0,06] - 0,004
Shimmer local - [a:]	4,93[1,60], 2,22[0,61] - 0,000	2,22[0,61], 1,55[0,69] - 0,000	1,55[0,69], 0,68[0,49] - 0,000
Shimmer local - [i:]	4,52[1,94], 1,95[0,72] - 0,000	1,95[0,72], 0,91[0,35] - 0,000	0,91[0,35], 0,48[0,22] - 0,000
Shimmer local - [u:]	4,36[1,32], 2,15[1,11] - 0,000	2,15[1,11], 1,15[0,52] - 0,000	1,15[0,52], 0,75[0,60] - 0,005
Shimmer local dB - [a:]	0,45[0,15], 0,20[0,06] - 0,000	0,20[0,06], 0,14[0,06] - 0,000	0,14[0,06], 0,06[0,04] - 0,000
Shimmer local dB - [i:]	0,41[0,18], 0,17[0,06] - 0,000	0,17[0,06], 0,08[0,03] - 0,000	0,08[0,03], 0,04[0,02] - 0,000
Shimmer local dB - [u:]	0,39[0,12], 0,19[0,10] - 0,000	0,19[0,10], 0,10[0,05] - 0,000	0,10[0,05], 0,07[0,05] - 0,005
Shimmer apq11 - [a:]	4,24[1,56], 1,85[0,55] - 0,000	1,85[0,55], 1,16[0,48] - 0,001	1,16[0,48], 0,48[0,31] - 0,000
Shimmer apq11 - [i:]	3,87[1,37], 1,67[0,53] - 0,000	1,67[0,53], 0,73[0,22] - 0,000	0,73[0,22], 0,41[0,18] - 0,000
Shimmer apq11 - [u:]	3,78[1,24], 1,88[0,94] - 0,000	1,88[0,94], 0,91[0,39] - 0,000	0,91[0,39], 0,58[0,47] - 0,000
Mean HNR- [a:]	22,51[2,93], 25,56[2,77] - 0,000	25,56[2,77], 25,65[3,46] - 0,892	25,65[3,46], 28,11[3,73] - 0,001
Mean HNR - [i:]	25,46[3,62], 29,08[2,85] - 0,000	29,08[2,85], 30,62[3,42] - 0,021	30,62[3,42], 31,95[4,19] - 0,131
Mean HNR - [u:]	25,79[2,89], 30,34[3,34] - 0,000	30,34[3,34], 33,54[2,98] - 0,000	33,54[2,98], 34,65[3,19] - 0,098
CPP - [a:]	11,43[1,85], 16,03[2,81] - 0,000	16,03[2,81], 20,34[2,69] - 0,000	20,34[2,69], 22,71[2,35] - 0,000
CPP - [i:]	10,30[0,79], 14,31[3,02] - 0,000	14,31[3,02], 19,51[2,31] - 0,000	19,51[2,31], 20,92[2,15] - 0,000
CPP - [u:]	10,56[1,09], 12,49[1,75] - 0,000	12,49[1,75], 16,59[2,63] - 0,000	16,59[2,63], 19,11[2,96] - 0,000
CPPs - [a:]	4,98[1,94], 7,70[1,67] - 0,000	7,70[1,67], 9,17[1,64] - 0,000	9,17[1,64], 8,74[1,76] - 0,052
CPPs - [i:]	3,54[1,06], 5,52[1,77] - 0,000	5,52[1,77], 6,36[1,34] - 0,006	6,36[1,34], 5,62[1,50] - 0,007
CPPs - [u:]	4,75[1,58], 6,87[1,52] - 0,000	6,87[1,52], 7,56[1,62] - 0,021	7,56[1,62], 6,26[1,70] - 0,000

foneert en dat het onderzoek bijgevolg niet altijd representatief is voor dagelijks stemgebruik. Een andere manier om de intensiteit-gerelateerde variabiliteit in de metingen te minimaliseren, is een gelijke intensiteit nastreven tussen verschillende meetmomenten. Dit houdt in dat de intensiteit mee wordt geanalyseerd en wanneer blijkt dat er een te groot verschil is tussen twee opeenvolgende intensiteiten, kan de proefpersoon gevraagd worden om de vorige intensiteit te evenaren.

Een belangrijke beperking van de huidige studie is dat er alleen normale proefpersonen zonder dysfonie werden onderzocht. De bevindingen mogen dus niet zonder bijkomende studie geëxtrapoleerd worden naar mensen met een dysfonie.

Conclusie

In deze studie werd nagegaan of stemkwaliteit/heesheid beïnvloed wordt door de intensiteit waarop gefoneerd wordt. Stemkwaliteit werd gekwantificeerd met behulp van diverse akoestische parameters (jitter, shimmer, HNR, CPP en CPPS). De hypothese 'toename in intensiteit gaat gepaard met betere stemkwaliteit' kon bevestigd worden.

Referenties

- Awan, S.N., & Roy, N. (2009). Outcomes measurement in voice disorders: application of an acoustic index of dysphonia severity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52, 482-499.
- Baken, R.J., & Orlikoff, R.F. (2000). *Clinical measurement of speech and voice*. San Diego: Singular Thomson Learning.
- Boersma, P. (2004). Stemmen meten met Praat. *Stem-, Spraak- en Taalpathologie*, 12, 237-251.
- Brockmann, M., Drinnan, M.J., Storck, C., & Carding, P.N. (2009). Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *Journal of Voice*, 25, 44-53.
- Brockmann, M., Storck, C., Carding, P.N., & Drinnan, M.J. (2008). Voice loudness and gender effects on jitter and shimmer in healthy adults. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 51, 1152-1160.
- Corthals, P. (2004). Sound pressure level of running speech: percentile level statistics and equivalent continuous sound level. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 56, 170-181.
- Dassen, T., & Keuning, F. (2009). *Lezen en beoordelen van onderzoekspublicaties*. Baarn: HB Uitgevers.
- Goding, G.S., Heman-Ackah, Y.D., & Michael, D.D. (2002). The relationship between cepstral peak prominence and selected parameters of dysphonia. *Journal of Voice*, 16, 20-27.
- Heman-Ackah, Y.D., Heuer, R.J., Michael, D.D., Ostrowski, R., Horman, M., Barody, M.M., Hillenbrand, J., & Sataloff, R.T. (2003). Cepstral peak prominence: a more reliable measure of dysphonia. *Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 112, 324-333.

- Hillenbrand, J., & Cleveland, R.A. (1994). Acoustic correlates of breathy vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 769-779.
- Hillenbrand, J., & Houde, R.A. (1996). Acoustic correlates of breathy vocal quality: dysphonic voices and continuous speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 311-322.
- Huang, D.Z., Lin, S., & O'Brien, R. (1997). *Dr.Speech user's guide*. Tiger Electronics, Inc.
- Jiang J., Lin, E., & Hanson, D.G. (2000). Vocal fold physiology. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 33, 699-718.
- Kay Elemetrics Corp. (1999). *Software instruction manual, Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) Model 5105*. Lincoln Park: Kay Elemetrics Corp.
- Ma, E.P.M., & Yiu, E.M.L. (2005). Suitability of acoustic perturbation measures in analysing periodic and nearly periodic voice signals. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 57, 38-47.
- Maryn, Y., Corthals, P., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P., & Deliyski, D. (2009a). Perturbation measures of voice: a comparative study between Multi-Dimensional Voice Program and Praat. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 61, 217-226.
- Maryn, Y., Roy, N., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P., & Corthals, P. (2009b). Acoustic measurement of overall voice quality: a meta-analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126, 2619-2634.
- Maryn, Y., Corthals, P., Van Cauwenberge, P., Roy, N., & De Bodt, M. (2010). Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: combining continuous speech and sustained vowels. *Journal of Voice*, 24, 540-555.
- Wevosys (2005). *lingWAVES Voice Clinic Suite Pro, Handbook version 2.5*. Duitsland: Wevosys.