

발성시 음도 및 강도의 변화가 음성분석검사 결과에 미치는 영향

성균관대학교 의과대학 이비인후과학교실, 삼성서울병원
손영익 · 윤영선 · 권중근 · 추광철

= Abstract =

The Effect of Frequency and Intensity of /a/ Phonation on the Result of Acoustic Analysis

Young-Ik Son, M.D., Young-Sun Yun, M.A.,
Joong-Keun Kwon, M.D., Kwang-Chol Chu, M.D.

*Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine,
Sungkyunkwan University, Samsung Medical Center, Seoul, Korea*

Measuring phonatory stability using MDVP(Multi-dimensional voice program, Kay Ele-metrics Corp., NJ, USA) are becoming popular in many Korean clinics and laboratories, yet questions about standardization and reference values have remained. The purpose of present study was to examine the effects of frequency and intensity variation on the results of acoustic analysis related to phonatory stability. Twenty young adults(ten females and ten males) were asked to sustain vowel /a/ for more than 3 seconds under 9 different pitch and loudness conditions. Using MDVP, nine voice samples were analyzed, and jitter percent, fundamental frequency variation, shimmer percent, peak amplitude variation, noise to harmonic ratio, amplitude tremor intensity index, and degree of subharmonics were compared. The results showed that intensity changes can significantly affect various phonatory stability measures, and the lowest perturbation values can be obtained from slightly louder(10dB) phonatory condition than comfortable level phonation.

KEY WORDS : Frequency · Intensity · Phonatory stability · Comfortable level.

서 론

에성에 대한 객관적인 평가를 위하여 주파수나 진폭에 관련된 발성의 안정성을 측정하여 이를 비교하는 것은 이미 많은 연구나 임상에서 보편화되어 있다. 국내에서는 Kay사의 MDVP(Multi-dimensional voice program, Kay Elemetrics Corp., NJ, USA) 프로그램이

소개되어 여러 연구소나 병원에서 발성의 안정성을 측정하는 장비로 사용되고 있는 것으로 알고 있으나, 발성의 조건에 따른 표준화에 대한 보고나 연구가 부족한 실정이다.

실제로 본 병원 음성검사실에서 환자에게 약3초 내외의 지속적인 /아/ 발성을 시킨 후 발성의 안정성에 관련된 여러 변수를 MDVP를 이용하여 분석하여 본 결과, 발성의 상태에 따라 한 환자의 음성에서도 여러가지 일

정치 않은 결과를 보일 수 있음을 관찰하였다.

이에 저자들은 정상 성인을 대상으로 /아/ 발성의 음도와 강도의 변화에 따른 발성의 안정성에 관련된 검사 결과의 다양성 및 변화성을 제시함으로써, MDVP를 비롯한 음성분석 검사결과를 해석하거나 비교함에 있어서 오류를 최소화하는데 도움을 주고자 하였으며, 일관성있게 가장 안정된 결과를 얻을 수 있는 발성의 조건을 제시하여 보고자 하였다.

연구대상 및 방법

청력 및 조음이 정상이며 후두에 병변이 없어 정상 발성이 가능한 20-30대의 성인 남녀 각각 10명을 연구대상으로 하였다. 피검자는 의자에 편안히 앉은 자세를 취하며, head-worn microphone(AKG C410, Austria)을 피검자의 입에서 1cm 떨어지도록 착용하게 하였다. 3초간 지속한 /아/ 발성은 50KHz로 샘플링하였으며, DAT(Digital Audio Tape, DTC-59ESJ, Sony, Japan)에 녹음한 뒤 이를 재생하여 분석에 사용하였다.

음성의 강도를 수치로 나타내는 sound level meter(CAT. No. 33-2055, Radio shack, USA)는 피검자의 정면에서 삼발이 스탠드를 이용해 설치해 두고, 피검자의 입과 50cm 떨어진 거리에서 검사시 피검자가 앉은 자세에서 dB의 숫자를 관찰할 수 있도록 sound level meter를 수평에서 40도 정도로 기울여 위치시켜 강도를 일정하게 유지하도록 시각적 피이드백을 주었다. 기준음의 강도(65dB)에서 +/- 10dB의 차이를 두어서 3가지 강도환경(soft : 55dB, comfortable : 65dB, loud : 75dB)으로 발성을 하도록 하였다.

기준음을 얻기 위하여, 편안하게 /아/ 소리를 지속해서 내보라는 지시를 주어 측정된 기본주파수와, 자연스러운 대화를 유도하여 피검자가 말하는 평서문 형식의 자연발화 중 5초간을 분석하여 얻어진 평균주파수를 비교하여 반음(1 semitone) 내의 차를 보이면, 초기의 /아/ 발성시 결과물을 편안한 수준의 발성인 기준음으로 간주하였다. 반음 이상의 차이를 보이면 /아/ 발성을 2~3회 다시 해 보게 하여 평균의 값을 기준음으로 취하였다. 기준음이 설정되면, pitch pipe(Quartz metronome, SQ-88, Seiko, Japan)를 이용하여 기준음 높이에서 +/- 2 semitones으로 일정 음높이에 대한 청각적 단서(cue)를 제공하면서 3가지 음도 환경(high/comfortable/low

pitch)으로 발생하게 하여서, 피검자마다 3가지 강도환경과 3가지 음도환경을 조합한 총 9가지의 발성의 조건에서 검사를 하여 그 결과로 발성의 안정성을 비교하였다.

상기한 9가지의 검사조건에 따른 /아/ 발성을 MDVP를 이용하여 분석한 결과 중, 발생시 주파수의 안정성을 보기 위하여 jitter percent(Jitt)와 fundamental frequency variation(vFo)을 비교하였으며, 발생시 진폭의 안정성을 보기 위하여 shimmer percent(Shim)와 peak amplitude variation(vAm)을 비교하였다. 그 외에 noise to harmonic ratio(NHR), amplitude tremor intensity index(ATRI), degree of subharmonics(DSH)를 비교하였다(Table 1).

통계처리는 기준음, 즉 편안한 발성 수준의 음도와 강도, 즉 기본주파수와 65dB크기 조건에서의 발성 결과를 기준으로 하여, 기타의 8가지 발성 조건시 결과를 각각 비교하여 이를 paired *t*-test로 처리하였다.

결 과

Short-term frequency perturbation을 의미하는 Jitt의 경우 발생강도가 작을 때 통계적으로 유의하게 불안정한 값을 보였고, 강도가 클 때 안정된 값을 보였다. Long-term frequency perturbation을 의미하는 vFo는 발생강도가 작을 때 통계적으로 유의하게 불안정한 값을 보였다(Table 2).

Short-term amplitude perturbation을 의미하는 Shim의 경우 발생강도가 클 때 편안한 발성조건에 비하여 통계적으로 유의하게 안정된 값을 보였다. Long-term amplitude perturbation를 의미하는 vAm에서는 발생강도가 크고 높은 음도에서 통계적으로 유의하게 안정된 값을 보였다(Table 2).

발성강도의 떨림의 크기정도를 나타내는 ATRI에서는 발생강도가 낮을 때 통계적으로 유의하게 불안정한 값을 보였으며, 반대로 발생강도가 클 때 안정된 값을 보였다(Table 2).

배음(harmonics)에 대한 잡음의 정도를 의미하는 NHR이나 sub-harmonics의 정도를 의미하는 DSH에서는 모든 조건에서 비교적 안정된 값을 보였고, 편안한 발성조건에 비하여 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2).

Table 1. Definition of parameters of Multi-dimensional voice program(MDVP)

Sym*	Parameter	Definition
Jitt	Jitter percent	Evaluation of the variability of the pitch period It represents the relative period-to-period(very short term) variability
vFo	Fundamental frequency variation	Relative standard deviation of the period-to-period calculated Fo It reflects the very long term variations of Fo
Shim	Shimmer percent	Evaluation of the variability of the peak-to-peak amplitude It represents the relative period-to-period(very short term) variability of the peak-to-peak amplitude
vAm	Peak amplitude variation	Relative standard deviation of the period-to-period calculated peak-to-peak amplitude It reflects the very long term amplitude variations
NHR	Noise to harmonic ratio	Average ratio of energy of the inharmonic components in the range 1500-4500Hz to the harmonic components in the range of 70-4500Hz General evaluation of the noise presence
ATRI	Amplitude tremor intensity index	The ratio of the most intensive low frequency modulating components(amplitude tremor) to the total amplitude
DSH	Degree of sub-harmonics	Estimated relative evaluation of subharmonic to Fo components in the voiced sample

Sym* : symbols of parameters of MDVP

고 찰

임상에서 발성의 안정성을 측정할 때에 한 환자에서도 발성의 조건에 따라 결과가 일정치 않음을 볼 수 있었고, 또한 편안한 수준의 발성이 가장 안정된 조건을 만들어 내지 않는 경향을 관찰한 바, 저자들은 발성의 음도와 강도의 변화에 따른 결과의 다양성을 살펴보고, 가장 안정된 발성 조건을 제시해보고자 하였다.

본 연구에서는 편안한 수준의 발성(comfortable level)을, 검사자가 피검자에게 어떤 모델링(modeling)이나 단서(cue) 없이 "편안하게 소리를 내보세요"라고 제시하였을 때 피검자가 내는 말소리로 정의를 하고, 그 때의 음도와 강도를 검사의 기준음으로 삼아 이를 중심으로 음도는 +/- 2 semitones로, 강도는 +/- 10dB로 변화를 주어 이들을 조합한 총 9가지의 발성조건을 설정하였다.

편안한 수준의 발성 변동은 하루 중에도 개인내 차가 4 semitones, 25dB로 나타나 비교적 차가 큰 것으로 보고한 연구¹⁾가 있는 반면, 1 semitone이하의 차를 보였다고 보고한 연구²⁾도 있는 등 이견이 많음을 알 수 있었다. 이에 저자들은 한 여자 피검자를 대상으로 6일 동안 하루 중 일정 시간을 고려하지 않고 지속적인 모음 /아/에 대한 기본 주파수를 측정하여, 편안한 수준의 발성의 일관

성 여부를 확인해 보았다. 그 결과, 최소 214Hz, 최대 227Hz로 약 1 semitone내의 적은 차를 보였으므로, 1회에 한한 검사로서도 편안한 수준의 발성에서의 기본 주파수를 얻을 수 있다고 보았다. 또한 /아/ 발성 1회 측정으로 기준음을 삼는 데에 대한 타당성을 보기 위해 검사자가 유도한 평서문 형의 일상 대화 발화에서의 기본 주파수 값과 비교하였다. 일정한 문장읽기 대신 대화시의 발화로 정한 것은 보다 자연스러운 상태의 조건을 주기 위한 것이고, 평서문으로 규정한 것은 의문문 등의 경우 억양으로 인한 음도의 차가 커져, 지속적인 모음 /아/의 결과와 비교하기에 용이하지 않으리라 사료되었기 때문이다.

기준음에서 음도와 강도의 차를 +/- 2 semitones, +/- 10dB로 설정한 것은 Gelfer³⁾의 연구에서 한 조건 내에서 목표음의 변동 허용 기준을 +/- 1 semitone과 +/- 5dB 내로 정한 것을 고려한 것으로, 각 검사조건 간에 가장 근접하는 환경으로 만들고자 한 것이다.

모음의 선택이 음의 안정도에 미치는 영향에 대해서는 /아/음과 /이/음이 /우/음에 비해 jitter나 shimmer에 대한 섭동이 크고⁶⁾¹⁰⁾, /아/음이 /이/음보다 jitter나 shimmer가 더 크다는 보고³⁾가 있었다. 본 연구에서 모음을 /아/음으로 정한 것도 이들 보고에 근거하여 jitter나 shimmer 등 음의 안정도를 보는 지표값의 차이를 크게 하기 위해서였다. 본 연구에서는 편안한 수준의 발

Table 2. Mean values of each parameter obtained from sustained phonation /a/ with different frequencies and intensities. The standard deviation associated with each measurement is in parenthesis (* : There was a significant difference($P < .05$) compared to the condition of comfortable pitch and loudness level.)

A. Jitter percent(Jitt)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	1.51(0.67)	0.73(0.57)	0.36(0.24)
Comfortable	1.15(0.64)*	0.61(0.40)	0.32(0.19)*
Low-pitched	1.62(1.63)*	0.68(0.56)	0.35(0.28)
B. Fundamental frequency variation(vFo)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	1.32(0.62)*	0.84(0.53)	0.59(0.40)
Comfortable	1.34(0.82)	0.76(0.48)	0.64(0.50)
Low-pitched	1.70(1.36)*	0.78(0.60)	0.63(0.26)
C. Shimmer percent(Shim)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	2.18(0.99)	2.33(1.76)	1.50(0.78)*
Comfortable	2.29(1.14)	2.56(1.06)	1.75(0.75)*
Low-pitched	2.86(1.41)	2.55(1.76)	2.03(0.88)*
D. Peak amplitude variation(vAm)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	8.82(5.10)	7.99(4.64)	4.14(3.85)*
Comfortable	6.92(4.28)	8.24(7.08)	4.85(3.08)*
Low-pitched	9.24(4.78)	5.75(4.86)	5.92(3.91)
E. Noise to harmonic ratio(NHR)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	0.09(0.05)	0.09(0.04)	0.33(1.07)
Comfortable	0.09(0.05)	1.79(7.67)	1.96(7.78)
Low-pitched	0.11(0.05)	0.09(0.05)	0.11(0.04)
F. Amplitude tremor intensity index(ATRI)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	4.12(2.49)*	4.04(2.73)*	1.42(1.37)*
Comfortable	2.54(2.13)	2.36(2.27)	2.01(1.77)
Low-pitched	3.87(2.56)*	2.24(2.01)	2.56(2.17)
G. Degree of sub-harmonics(DSH)			
	Soft	Comfortable	Loud
High-pitched	0.92(4.11)	1.45(3.50)	0.17(0.77)
Comfortable	0.00(0.00)	0.11(0.51)	0.06(0.26)
Low-pitched	1.44(6.43)	0.06(0.26)	0.00(0.00)

성과 그것을 기준으로 일정량의 음도 및 강도가 다른 음을 비교하려고 하였기에, 검사를 수행하기 위해서는 피검자들로 하여금 목표한 음도 및 강도의 음을 내도록 유도하는 것이 중요하였다. 따라서 검사시 음도의 경우에

는 pitch pipe로 청각적 단서를 제공하였고, 강도의 경우에는 sound level meter로 시각적 피드백을 제공하였다. Ferrand²⁾의 연구에서는 /아/소리를 일정하게 내기 위해 시각 및 발성발어적 피드백을 제공해 준 집

단과 피이드백을 제공하지 않은 집단을 비교한 결과, jitter가 의미있게 차이가 난다고 보고하는 등, 소리 유지에 있어서 피이드백의 효과를 언급한 바 있다. 본 연구의 초기 단계에서는 videostroboscope 화면에서 보여주는 주파수 값과 sound level meter의 dB 값으로 시각적 피이드백을 제공해보기도 하였는데, 음도에 있어서는 시각적 피이드백보다는 pitch pipe로 제공한 청각적 단서를 제공한 경우에 주파수 섭동이 적게 나오는 결과를 보여서, 청각적 단서만 제공하여 연구를 진행하였다. 청각적 단서와 시각적 피이드백을 함께 제공한다면, 목표음의 유지 정도가 더 잘 이루어졌으리라 사료된다.

발성시 음도 및 강도의 변화에 따른 jitter와 shimmer의 변동에 대한 이전의 연구들은 대체적으로 음도가 높고 강도가 큰 음일수록 jitter 및 shimmer가 낮아 안정된 음이 된다는 결과를 보였다³⁾⁵⁾⁸⁾. 이런 현상에 대한 기전으로 발성시의 음성학적 특성을 고려해볼 수 있다. 우선 강도에 대해서는 발성강도에 따라 성대의 진동주기 중 open phase와 closed phase의 비율이 차이가 난다⁴⁾⁸⁾. 즉 강도가 낮은 음일 경우에는 closed phase에 비해 open phase가 상대적으로 길며, open phase는 closed phase보다 성문하 압력이나 와류, 성대근육의 긴장에 의한 떨림이 많으므로 섭동이 크다. 그러므로 open phase의 비율이 높은 부드러운 음에서는 음의 섭동정도가 커지게 된다. 음도의 변화에 따른 영향은 vocalis muscle과 cricothyroid muscle의 상호작용으로 설명할 수 있다. 저음에서는 안정된 음도를 유지하기 위해 vocalis muscle만이 주된 작용을 하고 있어 단일 근육의 정상적인 근긴장도 변화에 따라 성대의 진동질량(vibratory mass)이나 성대길이에 변화가 생긴다. 그러나 주파수가 높아짐에 따라 cricothyroid muscle의 수축비율이 높아져 vocalis muscle과 균형을 이루는데 이는 성대를 신전시키고 vocalis muscle에 길항작용을 하여 안정된 음을 낼 수 있게 한다⁹⁾. 이런 생리적 기전을 고려해 보면 고음과 발성강도가 강한 음에서는 jitter와 shimmer가 적은 안정된 음이 나오는 반면, 저음과 부드러운 음에서는 비교적 불안정한 음이 나오는 것을 이해할 수 있다.

본 연구에서는 short-term frequency perturbation의 지표인 Jitt에서는 발성강도가 작을 때 편안한 발성에 비해 통계적으로 불안정한 값을 보였고 강도가 클 때 안정된 값을 보였으며, long-term amplitude pertu-

rbation의 지표인 vFo에서는 발성강도가 작을 때 불안정한 값을 보이는 등 발성 강도에 따른 변화의 폭이 크게 나타났다. Short-term amplitude perturbation을 알아보기 위한 지표인 Shim에서는 발성강도가 클 때 통계적으로 유의하게 안정된 값을 보였고, long-term amplitude perturbation인 vAm에서는 발성강도가 크고 높은 음도에서 안정된 값을 보이는 등 발성 강도에 따른 변화뿐만 아니라 음도에 따른 변화 양상도 볼 수 있었다. 그외 발성강도의 떨림의 크기를 볼 수 있는 ATRI 역시 발성강도가 작을 때보다 클 때 안정된 값을 보였다. 결론적으로 음도 및 강도의 조건이 모두 발성의 안정도에 영향을 주는 요소이지만, 음도보다는 강도의 조건에 따라 발성의 안정도의 차가 큰 것임을 알 수 있었다.

따라서, 편안한 수준의 발성보다 강도가 10dB 정도 큰 조건에서의 발성이 가장 안정된 결과를 얻을 수 있는 조건임을 알 수 있었으며, 치료 전후의 비교나 연구 결과를 비교함에 있어서도 어떠한 발성 조건하에서 검사를 실시하였는지를 함께 비교하는 것이 매우 중요하리라 사료되었다.

결 론

애성의 정도나 음성의 객관적인 평가를 위하여 음성분석검사를 시행함에 있어, 가장 일관성 있고 안정된 결과를 얻을 수 있는 발성조건을 찾기 위하여, 정상성인 20명을 대상으로 음도 및 강도의 차에 따라 9가지의 발성의 조건을 주고 그에 따른 결과를 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

편안한 발성에 비해 강도가 10dB 작을 때는 단기간의 주파수섭동(Jitt) 및 장기간의 주파수섭동(vFo), 그리고 음성떨림강도의 진폭값(ATRI)이 증가되는 불안정한 발성양상을 관찰하였으며, 반대로 10dB정도 발성강도가 클 때는 단기간진폭섭동(Shim), 장기간진폭섭동(vAm), ATRI의 값이 편안한 발성에 비해 감소되는 안정된 발성양상을 관찰하였다. 이는 검사시 안정된 발성에 영향을 주는 것은 발성의 주파수보다는 발성의 강도임을 의미하는 것으로 사료되었으며, 따라서 환자에게 편안한 발성보다 다소 큰 소리(10dB)로 발성하게 하여 음성분석검사를 하는 것이 일관성 있고 안정된 결과를 얻을 수 있는 발성조건이라고 생각되었다.

References

- 1) Brown W, Murry T, Hughes D : *Comfortable effort level : An experimental variable. Journal of the Acoustical Society of America.* 1976 ; 60 : 696-699
- 2) Ferrand CT : *Effects of practice with and without knowledge of results on jitter and shimmer levels in normally speaking women. Journal of Voice.* 1995 ; 9(4) : 419-423
- 3) Gelfer MP : *Fundamental Frequency , Intensity, and Vowel Selection : Effects on Measures of Phonatory Stability. Journal of Speech and Hearing Research.* 1995 ; 38 : 1189-1198
- 4) Glaze L, Bless D, Susser R : *Acoustic analysis of vowel and loudness differences in childrens voice. Journal of Voice.* 1990 ; 4 : 37-44
- 5) Huang DZ, Minifie FD, Kasuya H, et al : *Measures of vocal function during changes in vocal effort level. Journal of Voice.* 1995 ; 9(4) : 429-438
- 6) Linville SE, Korabic EW, Rosera M : *Intraproduction variability in jitter measures from elderly speakers. Journal of Voice.* 1990 ; 4 : 45-51
- 7) Murry T, Brown W : *Short-term consistency of vocal utterances ; In Lawrence, Transcripts of the Eleventh Symposium : Care of the Professional voice(Voice Foundation, New York), 1983*
- 8) Orlikoff RF, Kahane JC : *Influence of mean sound pressure level of jitter and shimmer measures. Journal of Voice.* 1991 ; 5(2) : 113-119
- 9) Shipp T, McGlone R : *Laryngeal dynamics associated with voice frequency change. Journal of Speech and Hearing Research.* 1971 ; 14 : 761-768
- 10) Wilcox KA, Horii Y : *Age and changes in vocal jitter. Journal of Gerontology.* 1980 ; 35 : 194-198